

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES



**”PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA RED TRANSPORTE  
MICROONDAS PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE LOS  
RADIOENLACES DE UN OPERADOR MÓVIL EN LA ZONA DEL  
VRAEM”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**  
**SÁNCHEZ PAIPAY, JONATHAN JOSUÉ**

**ASESOR**  
**CLEMENTE ARENAS, MARK DONNY**

**Villa El Salvador**

**2021**

---

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mi madre, quien es el principal apoyo en todas las etapas de mi vida.

---

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por mostrarme la luz y el camino a seguir; familiares, profesores y compañeros de quienes aprendí y me apoyaron de diferentes formas tanto en la etapa académica como en lo laboral.

---

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES</b>	<b>3</b>
1.1. Contexto . . . . .	3
1.2. Delimitación temporal y espacial del trabajo . . . . .	9
1.3. Objetivos . . . . .	11
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>	<b>12</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	12
2.2. Bases Teóricas . . . . .	18
2.2.1. Generalidades de radioenlaces. . . . .	19
2.2.2. Espectro Electromagnético. . . . .	20
2.2.3. Propagación de ondas. . . . .	21
2.2.4. Antenas. . . . .	23
2.2.5. Técnicas de diversidad. . . . .	24
2.2.6. Modulación. . . . .	26
2.2.7. Decibel (dB) y unidades logarítmicas. . . . .	28
2.2.8. Tecnología XPIC. . . . .	28
2.2.9. Línea de vista (LOS – Line of Sight). . . . .	29
2.2.10. Zona de Fresnel (Fn). . . . .	30

---

2.2.11. Atenuación en el espacio (Ls). . . . .	31
2.2.12. Presupuesto de enlace (Link Budget). . . . .	32
2.2.13. Margen de desvanecimiento ( $F_m$ ). . . . .	33
2.2.14. Sensibilidad (Sn). . . . .	34
2.2.15. Confiabilidad del sistema (R). . . . .	35
2.2.16. Otras atenuaciones de diseño. . . . .	36
2.2.17. Relación señal a ruido (S/N). . . . .	39
2.2.18. Normativas y recomendaciones de la UIT. . . . .	40
2.2.19. Diseño jerárquico. . . . .	41
2.2.20. Software de simulación. . . . .	41
2.3. Definición de términos . . . . .	43
<b>CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL</b>	<b>46</b>
3.1. Determinación y análisis del problema. . . . .	46
3.2. Modelo de solución propuesto. . . . .	51
3.2.1. Consideraciones de frecuencias y altura de torres	51
3.2.2. Consideraciones de equipamiento. . . . .	52
3.2.3. Diseño de la red de transporte. . . . .	61
3.2.4. Descripción del equipamiento. . . . .	100
3.3. Resultados . . . . .	108
3.3.1. Resultados del diseño y capacidad. . . . .	108
3.3.2. Uso de los puertos. . . . .	115
3.3.3. Análisis de costos. . . . .	118
<b>Conclusiones</b>	<b>121</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>123</b>

---

---

<b>Anexos</b>	<b>129</b>
A.1. Anexo 1: Resultados de la simulación . . . . .	129
A.2. Anexo 2: Parte de la instalación en el enlace Yanahorco – Anco . . . . .	141
A.3. Anexo 3: Hoja técnica del cable feeder . . . . .	142
A.4. Anexo 4: Hoja técnica de Antena AU6D24HS . . . . .	143
A.5. Anexo 5: Hoja técnica de Antena A18D06HS . . . . .	144
A.6. Anexo 6: Hoja técnica de Antena 07D12HS . . . . .	145

---

## LISTADO DE FIGURAS

1.1. Porcentaje de población que hace uso de Internet, 2018	5
1.2. Causa de interrupciones de servicio en el año 2018 . . . .	6
1.3. Paquetes perdidos medidos desde la sede Junín, octubre del 2018 . . . . .	7
1.4. Diagrama de Gantt de las actividades . . . . .	9
1.5. Delimitación espacial del trabajo . . . . .	10
2.1. Espectro de frecuencia . . . . .	21
2.2. Izquierda: Ejemplo de antena microondas, Derecha: Diagrama de radiación . . . . .	25
2.3. Ejemplo de modulación adaptativa en el espacio . . . . .	27
2.4. Modo de trabajo CCDP y XPIC . . . . .	29
2.5. Ejemplo de primera zona de Fresnel . . . . .	30
2.6. Relación del margen de desvanecimiento y sensibilidad	35
2.7. Valores de la intensidad de lluvia según la zona climatológica (UIT-R P.837) . . . . .	38
2.8. Pantalla de diseño en Pathloss . . . . .	42
3.1. Pérdida de paquetes desde el nodo Yanahorco . . . . .	47
3.2. Capacidad y tráfico en el enlace Yanahorco - Sivia . . . .	48
3.3. Incremento de la demanda de tráfico en 1 año . . . . .	49
3.4. Diagrama de bloques de procedimientos . . . . .	60

---

3.5. Línea de vista del enlace Yanahorco - ANco . . . . .	63
3.6. Simulación del enlace Yanahorco - Anco . . . . .	65
3.7. Línea de vista del enlace Anco - Sivia . . . . .	66
3.8. Simulación del enlace Anco - Sivia . . . . .	68
3.9. Línea de vista del enlace Sivia - Llochegua . . . . .	69
3.10. Simulación del enlace Sivia - Llochegua . . . . .	71
3.11. Línea de vista del enlace Llochegua - Canayre . . . . .	72
3.12. Simulación del enlace Llochegua - Canayre . . . . .	74
3.13. Línea de vista del enlace Canayre - El Ene . . . . .	75
3.14. Simulación del enlace Canayre - El Ene . . . . .	77
3.15. Línea de vista del enlace Llochegua - Angeles . . . . .	78
3.16. Simulación del enlace Llochegua - Angeles . . . . .	80
3.17. Línea de vista del enlace Llochegua - Mayapo . . . . .	81
3.18. Simulación del enlace Llochegua - Mayapo . . . . .	83
3.19. Línea de vista del enlace Mayapo - Nueva Villa . . . . .	84
3.20. Simulación del enlace Mayapo-Nueva Villa . . . . .	86
3.21. Línea de vista del enlace Rosario - Lomas . . . . .	87
3.22. Simulación del enlace Rosario - Lomas . . . . .	90
3.23. Línea de vista del enlace Sivia - Rosario . . . . .	91
3.24. Simulación del enlace Sivia - Rosario . . . . .	93
3.25. Línea de vista del enlace Llochegua - Pueblo . . . . .	94
3.26. Simulación del enlace Llochegua - Pueblo . . . . .	96
3.27. Línea de vista del enlace Pueblo - Rinconada . . . . .	97
3.28. Simulación del enlace Pueblo - Rinconada . . . . .	99
3.29. Equipo IDU de la radio 980L . . . . .	101
3.30. Equipo IDU de la radio 950A . . . . .	103

---

3.31. Vista del router ATN910C . . . . .	104
3.32. Posibles elementos en un nodo de la red de acceso . .	105
3.33. Gestión de las alarmas de red a través del SCC800 . .	106
3.34. Configuración del equipo en el tramo Yanahorco - Anco	110
3.35. Configuración del equipo en el tramo Sivia - Llochegua	111
3.36. Mejora de capacidad en el tramo Yanahorco - Anco . .	113
3.37. Mejora de capacidad en el tramo Sivia - Llochegua . . .	114
3.38. Mejora de capacidad en el tramo Mayapo - Nueva Villa	114
3.39. Mejora de los paquetes perdidos desde la RNC . . . . .	115
3.40. Distribución de los puertos del nodo Yanahorco . . . . .	116
3.41. Gestión de las alarmas de red en el nodo Yanahorco . .	117
3.42. Gestión de las alarmas de red en el nodo Sivia . . . . .	118

---

## LISTADO DE TABLAS

2.1. Bandas de frecuencia para microondas . . . . .	21
2.2. Nomenclatura para la subdivisión de frecuencias . . . . .	22
2.3. Valores de las variables $k$ y $\alpha$ según las frecuencias . . . . .	37
3.1. Valores de capacidad esperados . . . . .	50
3.2. Valores de frecuencias y canales . . . . .	52
3.3. Altura de torres y ubicación . . . . .	53
3.4. Valores a considerar del equipo RTN980L . . . . .	54
3.5. Valores a considerar del equipo RTN950A . . . . .	55
3.6. Valores a considerar de algunas antenas según sus Datasheet . . . . .	57
3.7. Resumen de valores en distancia, frecuencia y canales . . . . .	62
3.8. Resumen de simulación y cálculo teórico . . . . .	100
3.9. Valores de capacidad de las radios . . . . .	107
3.10. Resumen de las capacidades obtenidas . . . . .	112
3.11. Comparación aproximada en costos con la fibra óptica . . . . .	120

---

## RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene como finalidad proponer un diseño de una red de transporte microondas para mejorar la capacidad de transmisión de servicios, que tiene como principal problema, la saturación y pérdida de paquetes en los radioenlaces principales de la entrada del VRAEM. Empieza desde el nodo agregador Yanahorco en la provincia de Ayacucho hasta nodos terminales como El Ene en la provincia del Cusco. El diseño considera la infraestructura de un operador de telefonía móvil conocido en el Perú y se pretende que opere como medio de transporte de datos y voz para los nodos de la zona.

Laborando como analista helpdesk dentro del consorcio Nokia – TecnoCom y en conjunto con otras áreas, se busca solucionar problemas mencionados de la red de transporte utilizando un nuevo equipamiento de mayor capacidad. Además, el empleo de la tecnología XPIC en las radios es importante para la mejora propuesta, considerando las recomendaciones que se indica en el documento.

Se usa el programa PL50 (PathLoss) para simular los radioenlaces con parámetros fijados como la frecuencia de transmisión en banda licenciada de 6 GHz, 8 GHz y 18 GHz. A través de la simulación y cálculos de diseño se obtuvo información como la potencia en recepción, margen de desvanecimiento, atenuación del espacio, entre otros. Se aplica la teoría de radios microondas y criterios de diseño para la mejor modulación del equipamiento de la marca Huawei, como son la radio RTN950A, RTN980L y el router ATN910C. Las radios

---

tienen capacidad de transporte de tecnología ethernet y TDM; slots para insertar tarjetas configurables con XPIC dependiendo del modo de trabajo y la modulación; y gestión de equipos o alarmas mediante el gestor U2000 incluido licencias. El router tiene hasta 16 puertos GE para la gestión de los elementos de acceso y brindar servicios a clientes corporativos directamente conectados. La explicación del diseño y el equipamiento, se indica en el presente trabajo de suficiencia profesional.

**Palabras clave:** Radioenlace, RTN, router, PathLoss, XPIC, Capacidad

---

## INTRODUCCIÓN

### Presentación

El presente proyecto pretende brindar una propuesta de mejora en el diseño de la red de transporte microondas, para aumentar la capacidad de transmisión de servicio Ethernet y SDH (del inglés Synchronous Digital Hierarchy – Jerarquía Digital Síncrona) usando equipamiento de radio como el RTN 980L para largas distancias y el RTN 950A para distancias normales o cortas. Ambas radios soportan tecnologías como el XPIC (tecnología de cancelación de interferencia de polarización cruzada) y CCDP (co-canal doble polarización), ambas en conjunto, para duplicar la capacidad de enlace enviando dos ondas electromagnéticas ortogonales entre sí y luego cancelar la interferencia en el receptor. Además, se busca incorporar routers como el modelo ATN910C (también del mismo vendor Huawei) para una mejor gestión y administración de los equipos de la red. De esta manera se pretende solucionar problemas como pérdida de paquetes, saturación de enlace y problemas de conectividad de usuarios finales en una zona del VRAEM (Valle de los ríos Apurímac, Ene y Mantaro). El diseño forma parte de la red de telefónica de una empresa operadora móvil conocida en el país. Con fines de confidencialidad se nombrará como “operador móvil” en adelante.

El trabajo elaborado se divide en cuatro partes principales: el capítulo 1, se enfoca en el contexto donde se desarrollará el diseño, justifica-

---

ción, delimitación y los objetivos planteados; el capítulo 2 es un marco teórico y el estado del arte de otros proyectos similares, bases teóricas y conceptos importantes para el diseño. Luego, el capítulo 3 profundiza el modelo de solución junto con los resultados de simulación y resultados reales al conseguir reducir la pérdida de paquetes. Por último, en conclusiones y recomendaciones se comenta los resultados obtenidos a partir de los objetivos planteados, y las motivaciones para posteriores trabajos.

---

## CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

### 1.1. Contexto

En la actualidad, para la mayoría de empresas de telecomunicaciones el negocio se centra dependiendo de la demanda zonal, justificada por el factor económico, debido a los costos que implica instalar y poner en servicio la operación. El estado peruano a través del ministerio de transportes y Comunicaciones (MTC) ha diseñado diferentes programas para el desarrollo inclusivo de la población en el sector de las comunicaciones a cargo de entidades públicas como FITEL (Fondo de Inversión de Telecomunicaciones) o PRONATEL (Programa Nacional de Telecomunicaciones). Estas organizaciones mediante alianzas con operadoras móviles, buscan brindar servicios de telecomunicación a zonas rurales del Perú con programas como el de “Internet para Todos”. Sin embargo, la localidad o población beneficiaria, tiene que cumplir con requisitos como: tener como mínimo 300 habitantes; número de estudiantes de escuela no menor a 100; 1 comisaría o un centro médico para poder acceder a la inscripción del programa (Ballon Medina, 2020).

Otro programa es la RDNFO (Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica) cuya licitación fue en el año 2014 a cargo de la empresa mexicana Azteca. Hasta el año pasado, este programa está siendo considerado

---

un fracaso en termino de rentabilidad, tanto para la empresa a cargo, como para el estado peruano. Según el artículo (Diario EL Comercio, 2020) , se debe principalmente a mal diseño, puesto que se implementó en lugares donde ya existía FO (fibra óptica) de otros operadores privados, en vez de ubicarlos en zonas rurales sin servicio. La RDN-FO solo funciona al 7 % de su capacidad, con tendencia a la baja, esto implica más pérdidas de dinero para el estado si no se cambia el modelo y rediseña el contrato (Diario EL Comercio, 2020).

Según información del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Información) (INEI, 2019), en el reporte publicado del año 2019 “Perfil Socioeconómico del VRAEM”, indica que el número de distritos se ha elevado a 69 en comparación al año 2012 donde el número era de 32 distritos. Con tendencia al crecimiento promedio anual de la población en la zona urbana de 32.2 % . En el mismo estudio, se menciona un crecimiento de 21.4 % de la población que cuenta con al menos un medio de acceso a las tecnologías de información (TI). También menciona de un crecimiento de un 23 % de la población que cuenta con teléfono celular. Para complementar la información del instituto nacional de estadística, se muestra en la Figura 1.1 un cuadro del crecimiento porcentual de la población que hace uso de Internet por área de residencia entre los años 2009 a 2019 (INEI, 2020). Todas estas cifras con tendencia de crecimiento provocan mayor saturación en la red de los operadores móviles, requiriendo de mayor capacidad para satisfacer la demanda indicada.

Perú: Población de 6 años y más que hace uso de Internet por área de residencia  
 Año: 2009 - 2019 y Trimestre: 2014 - 2020  
 (Porcentaje del total de población de 6 y más años de edad de cada área de residencia)

Año / Trimestre	Total	Área de residencia		
		Lima Metropolitana	Resto urbano 1/	Área rural
Indicadores anuales				
2009	33,9	50,3	37,3	9,2
2010	34,8	50,4	38,4	9,9
2011	36,0	52,9	39,1	10,0
2012	38,2	57,0	40,4	10,4
2013	39,2	58,3	41,1	10,9
2014	40,2	60,0	41,4	11,5
2015	40,9	59,4	42,7	12,0
2016	45,5	64,4	47,7	14,2
2017	48,7	69,3	50,4	15,4
2018	52,5	72,6	54,8	17,7
2019	57,1	75,9	59,7	22,6

Figura 1.1. Porcentaje de población que hace uso de Internet, 2018  
 Fuente: (INEI, 2020)

Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018), indica que el consumo de internet móvil 4G tuvo un incremento de 6.6 millones de conexiones desde Julio del 2016 a Julio de 2018. Además, cerca de 21 millones de líneas móviles cuentan con acceso a internet según el reporte del mes de agosto del 2018. Esto incrementa una carga en la red de telefonía que ofrece este servicio. Según OSIPTEL (Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones) (OSIPTEL, 2018) en su resumen de las mediciones de calidad del año 2018, reporta que el departamento de Ayacucho es uno de los que registra mayor minutos promedio de afectación al mes con niveles de hasta 41 minutos. Incluso menciona al 'operador móvil' como la empresa que no alcanzó el valor de promedio de cobertura de servicio de 95 %, mostrando un valor de apenas 88.49 %. En la Figura 1.2, se muestra una gráfica de origen de interrupciones de servicio de telecomunicaciones en el año 2018, mostrando un 14 % de motivos por falla en elementos de red.

## Interrupciones según Origen Total 2018 = 13,419

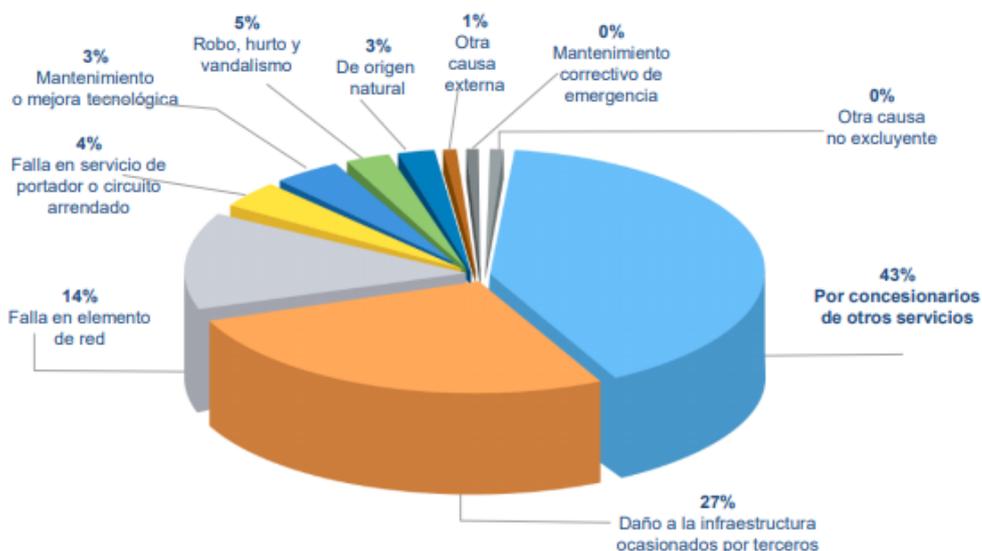


Figura 1.2. Causa de interrupciones de servicio en el año 2018

Fuente: OSIPTEL

La zona de alto conflicto sociopolítico conocida como VRAEM basa principalmente su desarrollo económico en el cultivo ilícito de la hoja de coca teniendo como principal aliado a personas relacionadas al terrorismo aún presentes en la zona desde hace más de 40 años. En un estudio realizado sobre el diagnóstico de la economía en el VRAEM, (Mendoza and Leyva, 2017) se considera 9 distritos priorizados para el desarrollo económico ubicados entre las regiones de Ayacucho, Junín y Cusco. En dicho informe se recomienda al estado, solucionar problemas de acceso, calidad de educación y otros temas referentes al crecimiento económico. Entre los 9 distritos destacan los de Sivia, Llochegua, Ayna y Rio Tambo, por donde está el despliegue de la red a desarrollar en este trabajo.

Hasta inicios del año 2019, la red de transporte principal de telefonía del operador móvil, operaba con radioenlaces microondas utilizando

equipos MPR9500 Alcatel. Estos equipos tienen poca capacidad de transmisión, dando lugar a problemas de saturación de enlace y pérdida de paquetes. En la Figura 1.3, se muestra un ejemplo de los paquetes perdidos en el mes de octubre del año 2018 medido desde la RNC (Controlador de la Red de Radio) de la sede Junín hasta el nodo Yanahorco (identificado con el ID 12838) en la entrada del VRAEM, mostrando valores de hasta 55 % de mensajes ping perdidos.

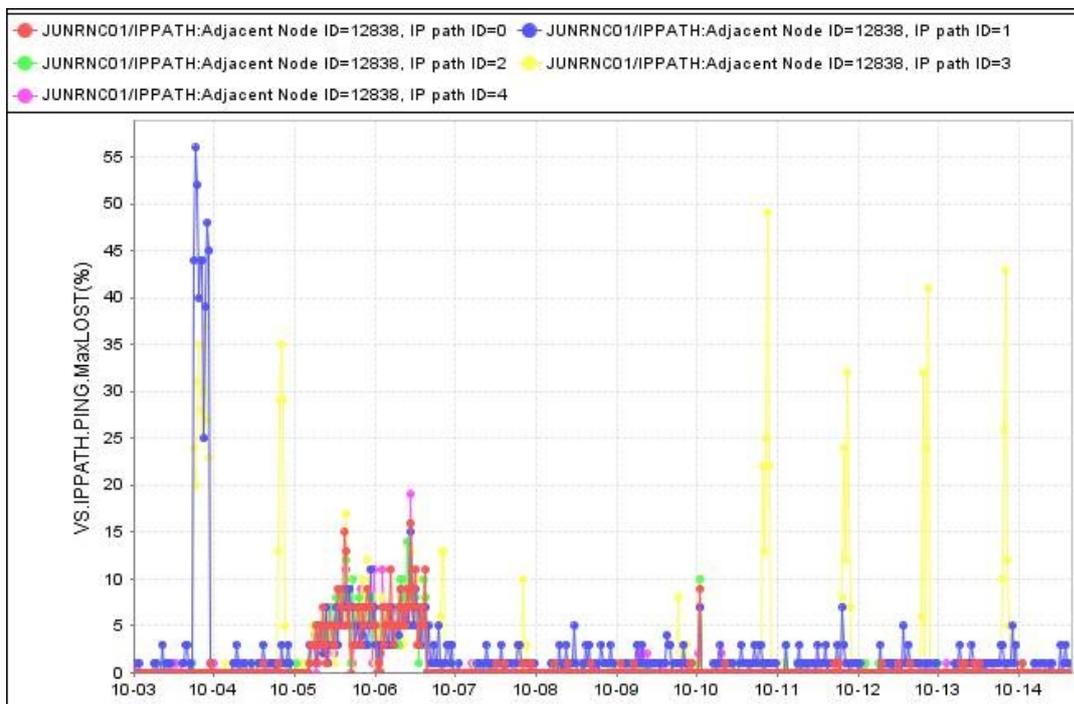


Figura 1.3. Paquetes perdidos medidos desde la sede Junín, octubre del 2018  
Fuente: Propio

---

## **Contexto de la empresa**

Desde el año 2015, la empresa MYN Multiservicios SAC en contrato con el consorcio NOKIA Network Perú S.A. e INDRA COMPANY S.A. brindan el servicio de operación y mantenimiento de la red celular de un operador móvil de telefonía. El servicio aplica en el sur y centro (incluye provincia de Lima) del territorio peruano y consta principalmente de la atención de las averías e incidencias causadas por falla en equipamiento de transmisiones, energía o aires acondicionados. Laborando dentro de las instalaciones de NOKIA Network S.A. se participó en el proyecto ejerciendo el cargo de analista HelpDesk siendo soporte nivel 1 para el personal técnico que atendía dichas averías.

Desde el mes de octubre del año 2018, se presentó problemas con caídas contantes, saturación de enlace, entre otras alarmas en la zona de entrada al VRAEM, en sus nodos principales. Esto debido al crecimiento de la red en las zonas dependientes y la poca capacidad de los radioenlaces en los equipos MPR9500 que operaban hasta ese año. El área de planificación y administración de red de transporte del operador móvil junto al consorcio de empresas que detectó y atendió las averías en campo; decidieron rediseñar el tramo principal desde el nodo YANAHORCO usando equipamiento de mayor capacidad para los enlaces. Es así que, desde el mes de marzo del 2019 se viene operando con la red de microondas nueva en los 13 nodos propuestos para el presente trabajo.

## 1.2. Delimitación temporal y espacial del trabajo

### Temporal

El presente trabajo tiene un tiempo de elaboración de 3 meses y medio desde el 16 de agosto hasta el 30 de noviembre del presente año. Con el contexto que la problemática ocurre durante el año 2018-2019. En la Figura 1.4, se muestra un diagrama de Gantt las actividades para el desarrollo del presente trabajo, y su cronología.

Nº	Actividad	Semanas													
		Agosto		Septiembre				Octubre				Noviembre			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Definición del tema y título	■	■												
2	Recolección y lectura de información particular		■	■											
3	Análisis de información bibliográfica			■	■	■									
4	Selección del equipamiento para el diseño				■	■	■								
5	Redacción y diseño del TSP					■	■	■	■	■	■	■	■		
6	Simulación y contraste con los resultados reales								■	■	■	■	■		
7	Conclusiones												■	■	
8	Presentación del trabajo													■	■

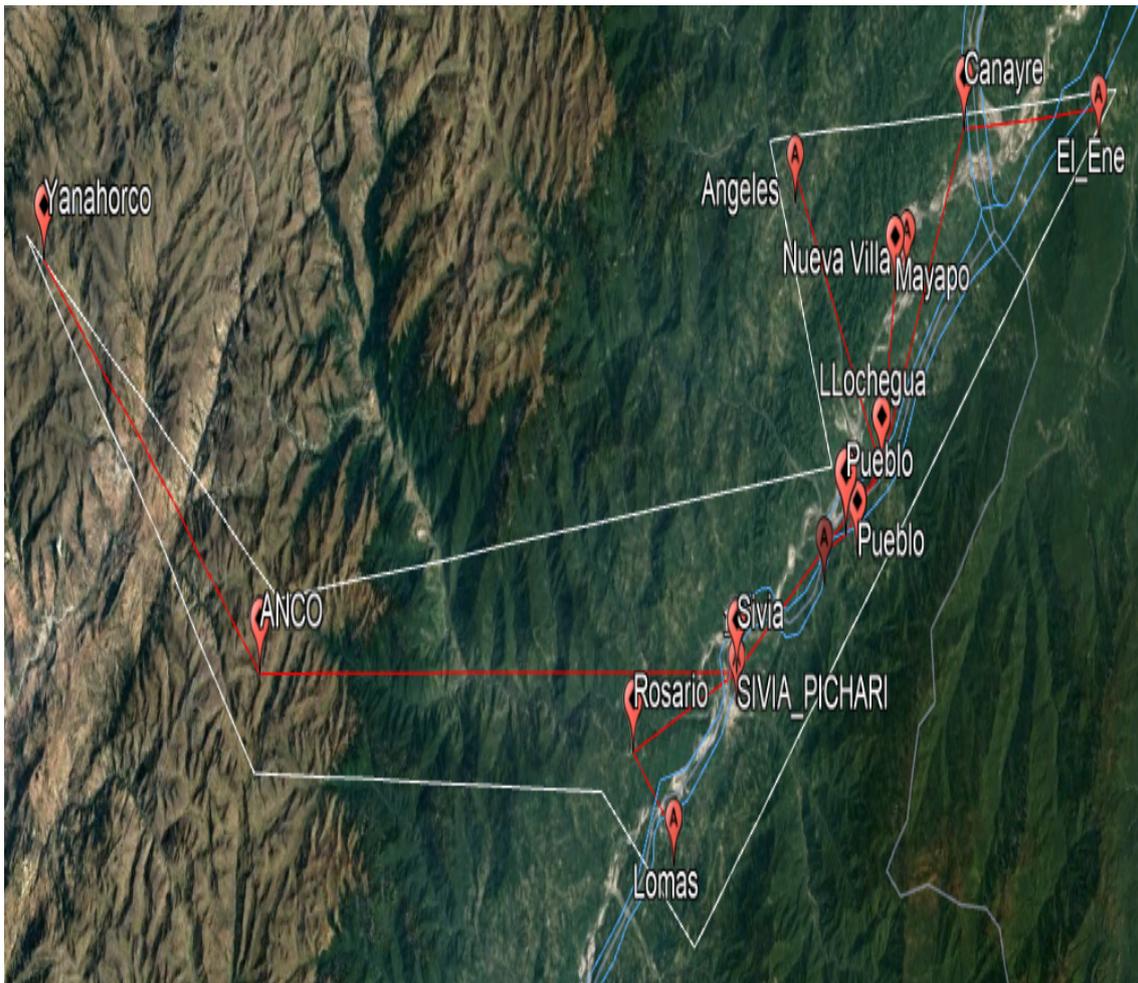
Figura 1.4. Diagrama de Gantt de las actividades

Fuente: Elaboración propia

### Espacial

El proyecto cubre una región de la entrada principal a la zona del VRAEM límite entre las provincias de Cusco, Ayacucho y Junín; donde se registró problemas de saturación de enlace y pérdida de paquetes. Además, por formar parte de los distritos de prioridad para el crecimiento económico revisado en el apartado de justificación. En la Figura 1.5, se muestra una delimitación geográfica aproximada, considerando 12 radioenlaces microondas distribuidos entre 13 nodos o estaciones base, que inicia en la ciudad de Ayacucho hasta la entrada

del VRAEM en un área aproximada de 873 Km<sup>2</sup>.



*Figura 1.5.* Delimitación espacial del trabajo

Fuente: Elaboración propia

---

### 1.3. Objetivos

#### Objetivo general

Diseñar una red de transporte microondas para mejorar la capacidad de transmisión de los radioenlaces de un operador móvil en la zona del VRAEM.

- **Objetivo específico 1:** Dimensionar el rendimiento y eficiencia de una red de transporte microondas al mejorar el equipamiento de transmisión en los nodos de mayor saturación de tráfico.
- **Objetivo específico 2:** Plantear un diseño agregando enrutadores de tráfico (router) en los nodos principales para un mejor desempeño y gestión de la red microondas, además de administrar otros elementos de la red de acceso.
- **Objetivo específico 3:** Validar el diseño de una red de transporte microondas de alta capacidad como alternativa ante una red de fibra óptica de alto costo, en una zona rural como el VRAEM.

---

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

En el presente apartado se muestra algunos proyectos orientados al diseñado e implementado de radioenlaces microondas para solucionar problemas de cobertura y/o saturación considerando la problemática y objetivos correspondientes. Se resume algunos de estos proyectos encontrados en la literatura.

#### **Antecedentes nacionales**

Un ejemplo de diseño de radioenlace para ultima milla se puede encontrar en el trabajo de suficiencia profesional presentado por (Ballon Medina, 2020). Dicho trabajo tiene por titulo: "Diseño del subsistema de microondas para una red punto a punto y punto a multipunto para brindar los servicios de Internet e Intranet en las regiones de Apurímac, Ayacucho y Huancavelica". El objetivo principal del trabajo citado es realizar un diseño microondas para brindar servicio de internet a localidades rurales de las regiones mencionadas. El trabajo citado concluyó obteniendo una capacidad máxima de 300 Mbps en configuración 1+1, banda no licenciada, y con una confiabilidad del sistema del 99.99 %. En el trabajo citado se describe la elabora-

---

ción de enlaces punto a punto hasta los nodos terminales para luego enlazar con punto a multipunto para los usuarios de última milla e instituciones beneficiarias. El autor cumple con los requisitos propuestos por el organismo FITEL y la empresa operadora respecto a la necesidad de los usuarios. Las capacidades de radioenlace obtenidas son aceptables considerando una red de acceso de última milla, pero no para enlaces de transporte robustos como se realiza en el presente trabajo de suficiencia.

Un ejemplo de enlace de transporte se muestra en el trabajo de suficiencia profesional redactado por (Asto Simbron, 2017), perteneciente a nuestra universidad, y que tiene por título “Diseño e implementación de un radio enlace para la ampliación de capacidad de transmisión entre las estaciones Nupamarca y Chavín de Huantar en Ancash”. El objetivo del trabajo citado es implementar un sistema microondas utilizando tecnología XPIC 2 + 0 para aumentar la capacidad de un enlace entre 2 estaciones, en una zona turística y rural de la provincia de Ancash. La autora cumple los objetivos, utilizando el equipamiento adecuado y un valor mínimo de capacidad solicitado por el cliente de 83 Mbps y con una modulación digital de 16 QAM a 28 Mhz de ancho de canal. El trabajo citado cumple un diseño de acuerdo a la necesidad de la empresa contratada y a los requerimientos propuestos, por lo que brinda una orientación para satisfacer necesidades de otros trabajos similares. El proyecto citado demuestra un aumento de la capacidad de enlace cuando se utiliza la tecnología XPIC, además demuestra que, al utilizar duplicidad de polaridad en una antena, re-

---

duce equipamiento en torre, disminuyendo costos. El trabajo citado no considera el cálculo de pérdidas por factores climatológicos además de enlazar un solo tramo troncal a una capacidad por debajo de los 100 Mbps; a diferencia del presente trabajo donde se considera mayor cobertura de enlace a mayores capacidades.

Un diseño complementario utilizando redes de transporte y última milla, se tiene en la tesis redactada por (Reinosa Sandoval and Caro Suárez, 2018) y titulada “Propuesta de diseño de una red de banda ancha para mejorar los servicios de telecomunicaciones de las zonas rurales de la provincia de Piura”. En el trabajo citado, el objetivo es mejorar la calidad de los servicios de telecomunicaciones en zonas rurales de la región Piura a través de un diseño red de banda ancha. El documento finaliza resaltando el diseño de una red óptica para el transporte troncal y una red microondas para el acceso de última milla. El Software de soporte para el cálculo y diseño de red microondas es el radio mobile, logrando enlazar hasta 30 localidades de última milla para el beneficio de una red de banda ancha. El autor se propone brindar cobertura de internet y telefonía móvil en las zonas mencionadas con un diseño de red acceso y transporte en jerarquía. El trabajo citado diseña una red óptica de alto costo para el transporte; y no considera factores de clima y terreno para la red microondas que son tomados en cuenta en el presente trabajo de suficiencia.

Un trabajo enfocado desde un punto de vista analítico, es la tesis redactada por (Achahue Alvarez and Rodríguez García, 2015) que tie-

---

ne como título “Aplicación de la tecnología XPIC como mejora de una red de transporte microondas existente en el Perú”. El objetivo principal es el análisis del uso de la tecnología XPIC en los radioenlaces de un operador móvil. El autor concluyó resaltando la importancia del XPIC, puesto que permite duplicar la capacidad de los radioenlaces, además de evitar la interferencia entre polaridades debido a diversos factores. El estudio añade la tecnología EPLA para la configuración con protección de enlace incluso en zonas con factor climatológico adverso. El autor utiliza el simulador PathLoss para obtener parámetros de enlace y compararlos con valores reales realizando estudio de campo; y el gestor U2000 de Huawei para monitorear enlaces donde no está implementado la tecnología XPIC. El trabajo citado se basa en el estudio de las tecnologías mencionadas sobre una red operativa, no tiene como objetivo incrementar las capacidades de enlace para satisfacer una necesidad, lo cual es objetivo principal del presente trabajo.

### **Antecedentes internacionales**

Respecto a trabajos fuera del territorio nacional se logran rescatar alguno de interés:

Un ejemplo de diseño microondas para ultima milla se encuentra en el trabajo de Fin de Grado elaborado por (Carlos Collantes, 2017) y titulado “Diseño y configuración de un radioenlace digital para un servicio de emergencia”. El objetivo es el estudio del terreno y el equipo a utilizar para diseñar un radioenlace ente una central de bomberos y

---

una central de emergencia. El autor concluyó indicando la importancia del estudio topográfico y la simulación hasta con 5 tipos de equipamiento para elegir al adecuado. El autor considera diferentes factores que causan pérdidas en el enlace y otros tipos de desvanecimiento teórico, sin embargo, en la solución, estos problemas se resuelven con apoyo de un programa de simulación propio (RADIOSIM). El diseño se compromete en brindar una alta capacidad de enlace según las recomendaciones del organismo fiscalizar del país, y la elección del equipamiento adecuado. El trabajo citado se limita a enlazar dos puntos con la necesidad del uso de repetidores, sin considerar una red de transporte, red principal para el desarrollo del presente trabajo.

Para el caso de una red principal de transporte se tiene el trabajo especial de grado redactado por (Hernández, J., 2016) y que se titula “Plan de migración de la red de microondas con plataforma PDH y WLAN a una red ALL-IP en la localidad capital de PDVSA”. El objetivo es la elaboración de un plan para migrar servicios TDM a tecnología Ethernet. El autor logra una mejora de capacidad de enlace de 366 Mbps luego de la propuesta planteada, mejorando la calidad de los servicios. El plan consiste en el diseño de una red microondas 19 estaciones en una zona urbana, considerando líneas de vista y otros factores de desvanecimiento. El trabajo citado propone una solución confiable por contar con enlace de respaldo 1+1 y gestionar los elementos de red vía remota con el protocolo SNMP. El estudio se realiza en un entorno urbano y para un organismo nacional con diferentes sucursales, por lo que no está diseñado para un operador móvil a di-

---

ferencia del presente trabajo de suficiencia.

Un trabajo relacionado al diseño pero desde un enfoque de desarrollo de software es el Informe de Tesis elaborado por (Ludeña Gonzales, 2005) y titulado “Desarrollo de un algoritmo e implementación de software para la determinación de confiabilidad de trayectoria en enlaces de microonda, en las bandas comerciales desde 2 a 12 GHz, sobre la base de la cartografía digital en formato dxf”. La autora plantea un algoritmo para el cálculo de los parámetros que influyen en el diseño de los radioenlaces. Concluye con la eficacia del modelo planteado siguiendo las recomendaciones del modelo UIT-R P.530, información topográfica del terreno y los tipos de desvanecimiento que afectan a los enlaces. El trabajo citado considera varios tipos de atenuación, desvanecimiento y niveles de confiabilidad del sistema para la elaboración del algoritmo de cálculo, para luego contrastarlo con las recomendaciones UIT y otros métodos. Las ecuaciones y el método propuesto se basan en las recomendaciones UIT y las frecuencias utilizadas son usadas para distintas aplicaciones microondas. El trabajo citado es muy influyente en el campo de la programación y software, sin embargo, no se centra en el diseño de una red microondas a diferencia del presente trabajo.

Un trabajo que combina el enfoque anterior y diseña una red de transporte, se encuentra en la tesis redactada por (Castro Jaramillo and Cobos García, 2007) y con título “Fundamentos, infraestructura, diseño e implementación de un enlace punto a punto de microondas

---

dentro de la Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH) en México”. El documento muestra un amplio concepto y detalles de diseño de una red microondas; además de desarrollar un software basado en Pathloss que sirve de soporte para el diseño. El autor concluyó mencionando los resultados finales logrados con el simulador desarrollado, comparándolo con otros simuladores, y mostrando valores similares en el cálculo. Se brinda una guía fundamentada en principios teóricos para un diseño de radioenlace, siendo de utilidad, puesto que detalla muchos conceptos básicos. El autor utiliza el software Pathloss V4 como apoyo para el desarrollo de su propio algoritmo, además de basar el marco teórico en las recomendaciones UIT. El trabajo citado tiene una información completa para la elaboración de un diseño microondas, adoptando incluso un propio software de simulación, sin embargo, carece de una problemática fundamentada, además de emplearse solo para el transporte de tecnología TDM y no Ethernet a diferencia del presente trabajo.

## **2.2. Bases Teóricas**

El presente apartado empieza con una breve descripción y generalidades de los radioenlaces. Sigue describiendo los principales conceptos, teorías y técnicas para realizar un diseño de radioenlace y mejorar el rendimiento de la red.

---

### 2.2.1. Generalidades de radioenlaces.

Los radioenlaces son sistemas de transmisión inalámbrico que permite transferir información desde un emisor hasta un receptor a través de ondas electromagnéticas. Se considera principalmente a los de tipo punto a multipunto (por ejemplo la difusión de radio con frecuencia modulada (FM)) y punto a punto (como los radioenlaces microondas). Para conseguir esta transmisión en el medio, se debe modular una onda de radio y una señal portadora, luego transmitir la señal modulada hasta su receptor (Martínez, 2018).

La propagación de la onda en el medio es a la velocidad de la luz y depende de su longitud de onda ( $\lambda$ ) y su frecuencia ( $f$ ). Se puede relacionar con una ecuación simple:  $3 \cdot 10^8 = \lambda f$ . De esta relación y lo indicado en (Flickenger, 2008) se describe dos características respecto a las propagación de la onda en los radioenlaces:

- A mayor longitud de onda, mayor alcance de propagación y la frecuencia es menor
- A menor longitud de onda, mayor cantidad de datos a transmitir y la frecuencia es mas alta.

Estas características de propagación de ondas en los radioenlaces son importantes para el diseño microondas en telefonía móvil, puesto que delimita la frecuencia a utilizar según la distancia entre las estaciones y la demanda requerida. Se menciona las principales ventajas al diseñar un radioenlace en el campo de la telefonía móvil (Martínez, 2018):

- Permite brindar cobertura a zonas rurales donde no es viable una

---

instalación cableada (fibra óptica); y es menos costosa que usar enlaces satelitales.

- El ancho de banda es configurable según la demanda de usuarios.
- La conexión es segura y confiable según el equipamiento y/o diseño.
- Por último, tiene un bajo costo de despliegue (ahorro de tiempo y capital humano).

### **2.2.2. Espectro Electromagnético.**

Cuando se transmite energía electromagnética por medio de ondas de radio, se usa el espacio libre como medio de transmisión; esta energía se distribuye en intervalos de frecuencia. Se define al espectro electromagnético como el espectro de frecuencias subdividido en estos intervalos o bandas y utilizado para diferentes aplicaciones ya sea comercial, de investigación, etc (Tomasi, 2003). En el Perú el organismo a cargo de la licitación de estas bandas para el uso privado es el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. En la Figura 2.1 se muestra al espectro de frecuencias en su unidad representativa de Hertz (Hz).

Del espectro electromagnético se considera la Tabla 2.1 donde se muestra las bandas de frecuencias para las microondas, longitud de onda y su aplicación en la industria de telecomunicaciones.

Luego, se tiene una subdivisión para las frecuencias de microondas

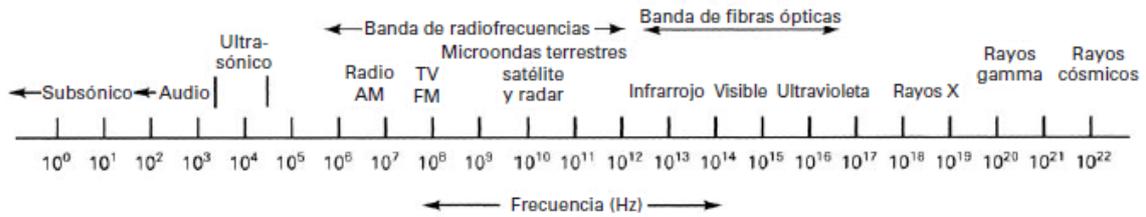


Figura 2.1. Espectro de frecuencia

Fuente: (Tomasi, 2003)

Tabla 2.1

Bandas de frecuencia para microondas

Banda	Frecuencias	Longitud de Onda	Aplicación
UHF (Ultra alta frecuencia)	300MHz - 3GHz	1m - 100mm	Celular, militar
SHF (Super alta frecuencia)	3GHz - 30GHz	100mm - 10mm	Radioenlaces, satelites
EHF (Extra alta frecuencia)	30GHz - 300GHz	10mm - 1mm	Radares

Fuente: Elaboración propia según (Bava, 2013)

muy utilizada en el entorno comercial. Se muestra en la Tabla 2.2 la subdivisión de frecuencias del espectro en microondas, las letras mayúsculas y minúsculas esta designado como nomenclatura estándar por la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) (Bava, 2013).

### 2.2.3. Propagación de ondas.

Se menciona los principales fenómenos de propagación de ondas en un medio de transmisión:

- Difracción** Este fenómeno se produce cuando entre el transmisor y receptor existe obstáculos dentro del “haz radioeléctrico” en la línea de vista, que forman una “zona de penumbra radioeléctrica” al absorber parte de la potencia transmitida y produce una

---

Tabla 2.2  
*Nomenclatura para la subdivisión de frecuencias*

<b>Banda</b>	<b>Frecuencia (GHz)</b>
L	1-2
S	2-4
C	4-8
X	8-12
Ku	12-18
K	18-27
Ka	27-40
V	40-75
W	75-110
mm	110-300

*Fuente:* Elaboración propia según (Bava, 2013)

atenuación en la recepción (Albornoz, 2007).

- **Reflexión** Fenómeno de propagación ocurrido cuando el receptor recibe ondas reflejadas de un terreno y no del transmisor directamente; generalmente esto provoca desvanecimiento de la señal recibida (Albornoz, 2007).
- **Refracción** Producida por la atmósfera terrestre que generalmente tiene variaciones de temperatura y humedad, esto hace que la propagación sea en forma de curva y no en línea recta. Por lo general esta curva es cóncava hacia abajo, lo cual beneficia la transmisión e incrementa la potencia en recepción. Sin embargo, se debe considerar algunas ocasiones que la curva sea cóncava hacia arriba, interrumpiendo la línea de vista de vista y degradando la señal por el efecto Fresnel (Albornoz, 2007).
- **Dispersión** Fenómeno producido por el oxígeno y el vapor de agua de la atmósfera que incide en la propagación de las ondas; de manera que, si estas ondas tienen una longitud mayor que las

---

gotas de agua, se absorbe y no habrá complicación. Sin embargo, si es igual o menor, ocurre la dispersión de la señal en distintas direcciones ocasionando pérdida de recepción (Martínez, 2018).

#### 2.2.4. Antenas.

Se define como parte de un sistema de comunicación (transmisor y receptor) que se encarga de radiar y/o recepcionar ondas electromagnética provenientes del medio. Estas ondas, están compuestas de un campo eléctrico y otro magnético; y el medio puede ser una línea de transmisión (como un cable o una guía de onda) o el espacio libre (usado en los radioenlaces) (Bava, 2013). Se mencionan algunas características importantes de las antenas:

- **Antena Isotrópica:** Se utiliza como modelo deseable para las antenas reales, se trata de una antena ideal que irradia con la misma intensidad en todas las direcciones.
- **Diagrama de radiación:** Es la gráfica de la potencia de una señal transmitida por la antena; donde se observa principalmente el lóbulo principal (que irradia la mayor intensidad) y los lóbulos laterales (donde se pierde una parte de la intensidad) (Benavides Paredes and Ordóñez Bautista, 2016).
- **VSWR o ROE:** Es la proporción entre los valores de voltaje mínimo y máximo de una onda estacionaria a lo largo de su línea de transmisión. El rango de valores para esta proporción es mayor o igual a 1 (Benavides Paredes and Ordóñez Bautista, 2016).

- 
- **Guía de onda:** Es un material físico que guían a las ondas electromagnéticas. Este material conductor puede tener sección rectangular, circular o elíptica. Las guías de onda tienen mejores propiedades de propagación que las líneas de transmisión como el cable coaxial; ambos son utilizado en entornos de radioenlaces (Bava, 2013).
  - **Antenas sectoriales:** Utilizadas en la industria de telefonía móvil para cubrir servicio en determinada zona. Agregando varias antenas sectoriales, se puede tener mejores ganancias que las antenas omnidireccionales (10 a 19 dBi), con un mayor precio.
  - **Antenas para microondas:** Caracterizadas por brindar altas ganancias y mejor direccionalidad para enfocar la potencia de la señal al receptor. Dependiendo del fabricante, estas antenas operan en rangos de frecuencia desde 1000MHz hasta 100GHz. Estas antenas con utilizadas para radioenlaces microondas y satelitales (Benavides Paredes and Ordóñez Bautista, 2016).

En la Figura 2.2, se observa a la ejemplo de antenas para microondas y a la derecha un ejemplo de su diagrama de radiación.

#### 2.2.5. Técnicas de diversidad.

Los radioenlaces microondas utilizan la línea de vista como medio de transmisión en el espacio. Cuando existe una interrupción en el trayecto, el servicio sufre una afectación; estas interrupciones causan una disminución de la intensidad de potencia recibida. A este fenómeno se le conoce como desvanecimiento de la radio que general-

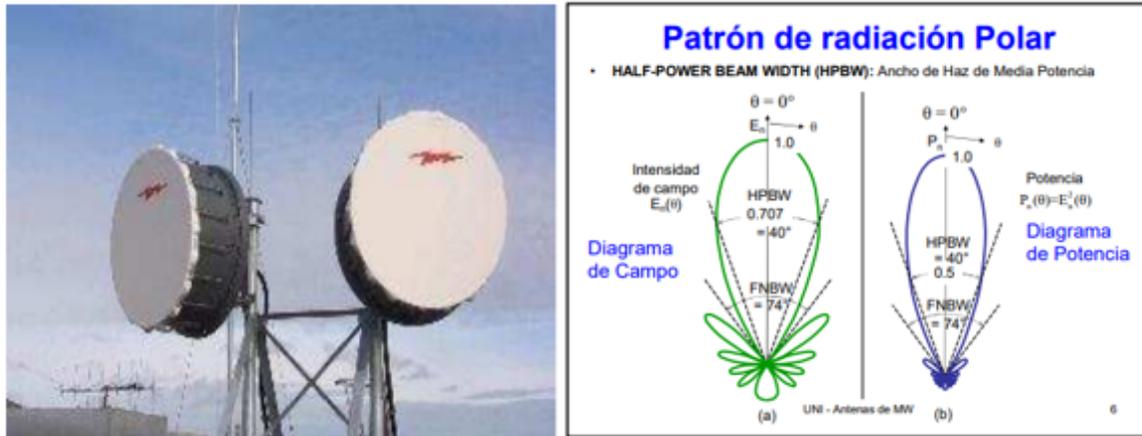


Figura 2.2. Izquierda: Ejemplo de antena microondas, Derecha: Diagrama de radiación

Fuente: <http://aniak.uni.edu.pe/CH%2010%20MW%20Antenas%202010-2.pdf>

mente lo provocan factores climatológicos, presencia de frecuencias ajenas en el espectro, entre otras (Tomasi, 2003).

Para superar estos desvanecimientos se suelen utilizar distintas técnicas de diversidad dependiendo del problema que cause el desvanecimiento; estas técnicas consisten que exista más de una forma de transmisión disponible entre el emisor y el receptor. Para un sistema microondas el propósito del uso de técnicas de diversidad es aumentar la confiabilidad del sistema (Rábanos et al., 2013).

Entre las técnicas más usadas de diversidad, se tiene:

- **Diversidad de frecuencias** Se basa en la transmisión de dos señales de radiofrecuencia (RF) que tienen la misma información en la señal banda base moduladas con portadoras distintas. Cuando la transmisión llega al receptor, se demodula y se escoge la señal de mejor calidad. Esta técnica es utilizada en entornos urbanos donde hay más probabilidad de interferencia con otras frecuencias. La desventaja de esta técnica es el uso adicional de

---

una frecuencia en el espectro, además de requerir equipamiento adicional (Rábanos et al., 2013).

- **Diversidad de espacio** Se basa en la redundancia de antenas receptores y una emisora, proporciona una ruta adicional para el radioenlace. Los receptores tienen que estar separados por una determinada longitud de onda para evitar desfases y reducción de potencia. Con esta técnica es poco probable que las señales radioeléctricas se afecten por el desvanecimiento, por lo que casi siempre una de las señales se podrá usar. Es la más utilizada para entornos de multitrayecto y zonas rurales (Rábanos et al., 2013).
- **Diversidad híbrida** Esta técnica combina los beneficios de la diversidad de frecuencias con la diversidad de espacio; los receptores están separados verticalmente de un extremo y del otro se forma horizontal. Requiere equipo y canal de radiofrecuencia adicional, por lo que es más costoso, pero es más seguro (Tomasi, 2003).

#### 2.2.6. Modulación.

En telecomunicaciones, la modulación consiste en insertar una señal a modular (o de banda base) en el espectro de frecuencias para poder ser transmitida; esto se logra mediante el uso otra señal de mayor frecuencia dentro del espectro, llamada moduladora (o portadora). La modulación de amplitud en cuadratura (QAM) es una técnica de modulación donde la señal es modulada en la amplitud y fase de la onda (Vega and López, 2007). Dependiendo del grupo de bits

que ingresan al canal de modulación, las variables de fase y amplitud se subdividen en QAM (2 bits), 8-QAM (3 bits), 16-QAM (4 bits), etc. Mientras mayor sea el grupo de bits a modular, el sistema tendrá más capacidad (Mbps), sin embargo, es más sensible al ruido y/o interferencia. Es así que, se define el término modulación adaptativa; el cual dependiendo del medio donde se está transmitiendo la señal modulada, se adapta para disminuir o aumentar el grupo de bits según sea necesario (Sánchez Rodríguez, 2016).

En la Figura 2.3 se muestra un ejemplo de la operación de esta técnica diseñada para sistemas robustos y eficientes.

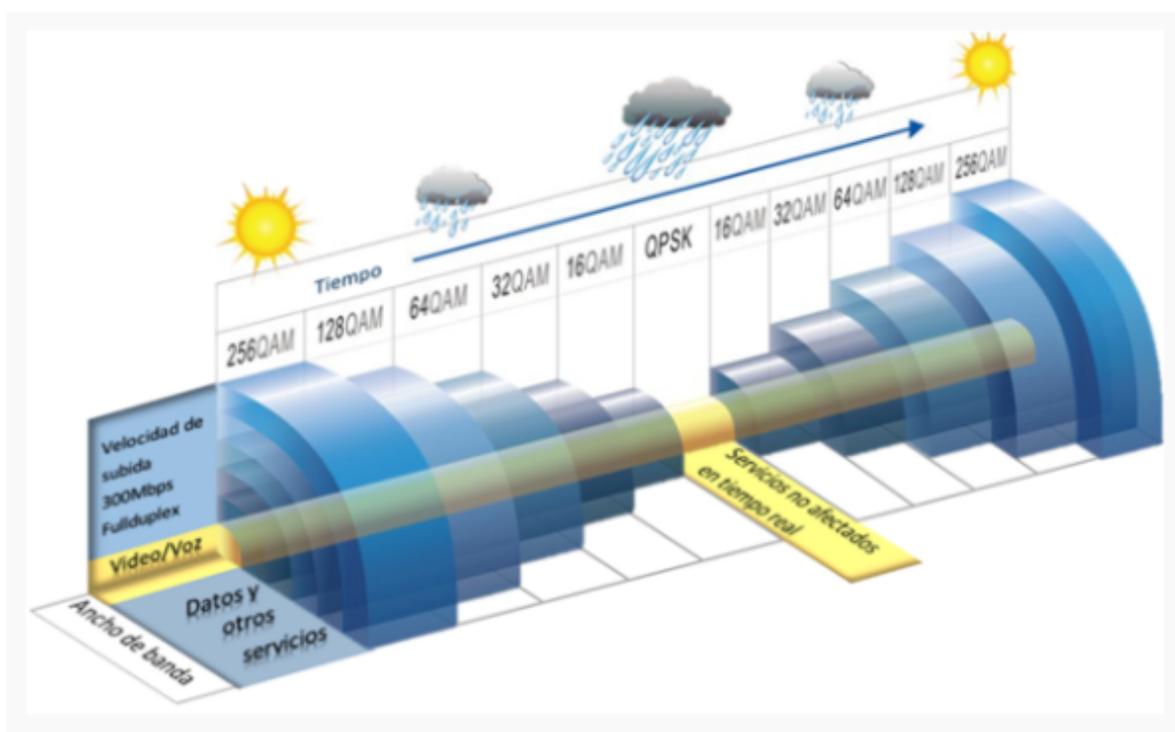


Figura 2.3. Ejemplo de modulación adaptativa en el espacio  
Fuente: (Sánchez Rodríguez, 2016)

La modulación QPSK (modulación por desplazamiento de fase en cuadratura) consiste en variar solo la fase de la onda, mientras que la amplitud se mantiene constante (Vega and López, 2007). En los

---

equipos de radio utilizados en el presente trabajo, esta modulación solo lo considera en 4 fases y no es usada en las configuraciones por presentar una limitada capacidad de enlace.

#### **2.2.7. Decibel (dB) y unidades logarítmicas.**

El decibel es una unidad logarítmica que indica una magnitud de potencia respecto a un nivel de referencia. En los sistemas de radio-enlace, se utilizan para calcular el presupuesto de enlace, PIRE, entre otros valores. Los valores de dB se suman cuando hay ganancia en el sistemas y restan cuando hay atenuaciones. Los niveles de referencia más utilizados para el presente trabajo son el dBm que es la unidad referida a la potencia de 1 mW, y el dBi usada para expresar ganancia de una antena respecto a una isotrópica. Las operaciones entre valores de dB, dBm y dBi se realizan sin considerar las unidades, debido a que el dB es una unidad 'adimensional', mientras que las potencias de referencia son medidas absolutas (Buettrich, 2007).

#### **2.2.8. Tecnología XPIC.**

El modo de configuración de canal CCDP (polarización dual co-canal) permite la transmisión de la onda en las polaridades lineales vertical y horizontal en simultaneo. La acción se realiza en anchos de canales de 28 MHz, 40 MHz o 56 MHz que utilizan varios tipos de modulación (Huawei, 2014). En la práctica, existe una interferencia entre las señales vertical y horizontal, a pesar que son ortogonales, producto del deterioro de la discriminación de la polarización cruzada (XPD) en la antena y la degradación del canal. La tecnología XPIC (cancelación de interferencia de polaridad cruzada) opera en el re-

ceptor y cancela la interferencia entre polaridades, luego se procesan las señales originales para recuperar el contenido (Huawei, 2015). En la Figura 2.4 se muestra el modo de funcionamiento de la configuración de canal CCDP utilizando el XPIC; el término RFU (unidad de radiofrecuencia) hace referencia a la ODU.

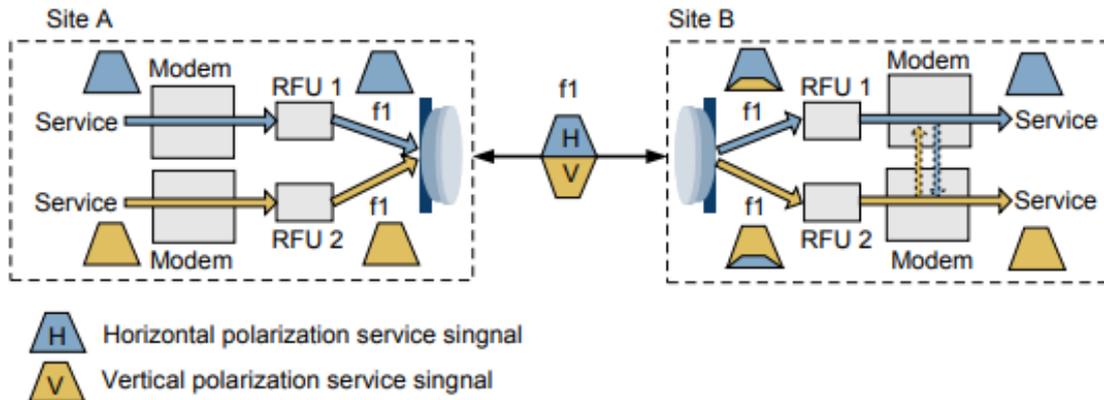


Figura 2.4. Modo de trabajo CCDP y XPIC  
Fuente: (Huawei, 2015)

### 2.2.9. Línea de vista (LOS – Line of Sight).

Las ondas electromagnéticas y la luz tienen una propagación similar en el espacio (difieren en la longitud de onda que es afectada por los fenómenos de propagación); cuando se observa un punto B desde un punto A con un haz de luz en línea recta sin obstáculos, se considera que se tiene línea de vista. Cuando se propaga la energía de las ondas electromagnéticas, la línea recta se convierte en una elipse para llegar al receptor B, debido a los efectos de propagación; este criterio se explica en el concepto de la zona de Fresnel (Flickenger, 2008).

---

### 2.2.10. Zona de Fresnel (Fn).

Las ondas electromagnéticas al no propagarse en línea recta, sufren fenómenos como los de reflexión, causando que la onda llegue al receptor con un ángulo fuera de fase, provocando interferencia. La teoría de Fresnel determina la zona en forma de elipsoide, entre un transmisor y receptor, libre de obstáculos, para reducir al mínimo estos fenómenos mencionados. Es así que, el radio de Fresnel es formado por la sección transversal del elipsoide en el obstáculo más alto de la línea de vista (Vega and López, 2007). Según las recomendaciones para el diseño de radioenlaces (Flickenger, 2008), la primera zona de Fresnel debe estar despejada en un 60 % para considerar un diseño aceptable. En la Figura 2.5 se observa un ejemplo de la primera zona de Fresnel, siendo  $F_n$  el radio de la sección trasversal ubicada en el obstáculo más alto determinado.

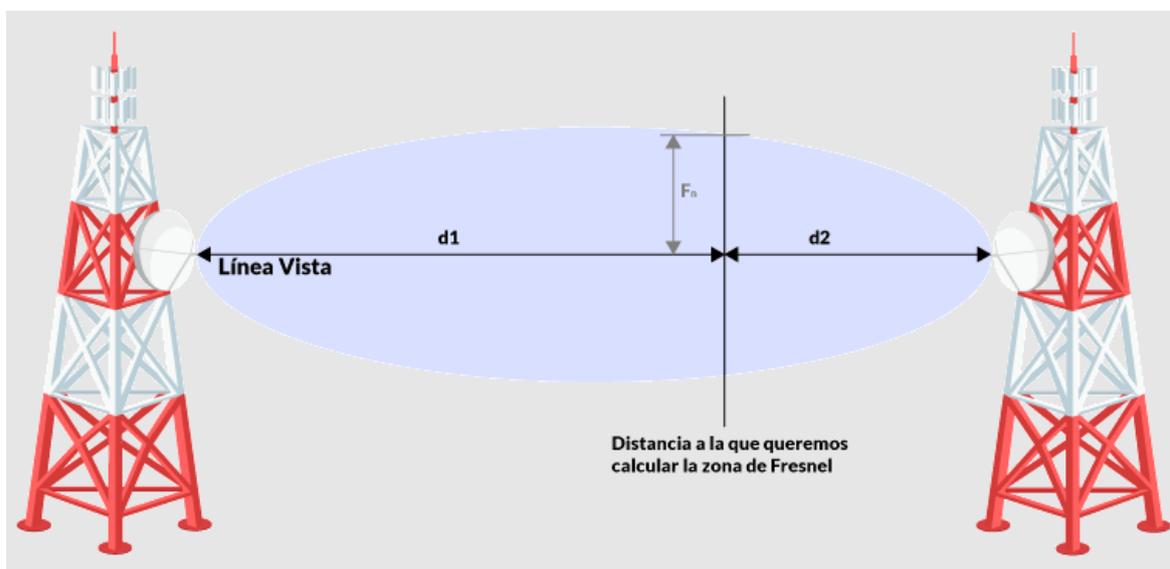


Figura 2.5. Ejemplo de primera zona de Fresnel

Fuente: <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>

Se puede calcular el radio de Fresnel ( $F_n$ ) para la primera zona ( $n$ )

---

= 1) mediante la ecuación 2.1:

$$Fn = 17,32 \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{(d_1 + d_2) \cdot f}} \quad (2.1)$$

Donde, d1 y d2 las distancias de cada antena al obstáculo respectivamente en (Km) y f la frecuencia de transmisión en (GHz).

**Altura de despeje y altura de antenas (Fn')**: La altura de despeje es el valor del radio de Fresnel es su primera zona, relacionado a las alturas de las antenas sobre el nivel del mar. Para el presente trabajo, la altura de las torres ya esta delimitado por el 'operador móvil'; por lo que se utiliza la ecuación para validar el despeje con un valor de  $K = 4/3$  (valor de la curvatura de la tierra para un despeje del 100 %) (Castro Jaramillo and Cobos García, 2007). En la ecuación 2.2 se calcula la altura de despeje, donde h1 y h2 son alturas de las antenas de transmisor y receptor sobre el nivel del mar, h0 es la altura del obstáculo más alto y A es el radio de la tierra (6371 Km.)

$$Fn' = h1 + \frac{d1}{d1 + d2}(h2 - h1) - \left(h0 + \frac{d1d2}{2KA}\right) \quad (2.2)$$

#### 2.2.11. Atenuación en el espacio (Ls).

También conocida como pérdida por dispersión, es causada cuando la señal que se transmite en el espacio libre a través de ondas electromagnéticas, sufre una pérdida de potencia debido a la propagación en el vacío. Estas pérdidas dependen de la distancia entre las antenas y de la frecuencia de propagación. Se puede definir la atenuación en el espacio (Ls) mediante la ecuación 2.3 en unidades de decibelios (dB) y considerando de referencia una antena isotrópica

---

(Tomasi, 2003):

$$L_s(dB) = 92,4 + 20 \log f_{(GHz)} + 20 \log D_{(Km)} \quad (2.3)$$

Donde  $f$  es la frecuencia en (GHz) y  $D$  la distancia en (Km). Está en la mínima atenuación en el espacio libre a considerar en un diseño de radioenlace; luego se describirá otras atenuaciones a considerar.

#### 2.2.12. Presupuesto de enlace (Link Budget).

Es el cálculo de ganancias y pérdidas de potencias en decibelios entre un transmisor y un receptor, se define mediante la ecuación 2.4 (Buettrich, 2007), donde las ganancias de antenas están en (dBi) y las potencias de transmisión y receptor en (dBm) y el resto de valores en (dB).

$$P_{rx} = P_{tx} - L_{txcc} + G_{tx} - L_s + G_{rx} - L_{rxcc} \quad (2.4)$$

Donde  $P_{rx}$  es la potencia que recibe el equipo receptor para ser procesada;  $L_{txcc}$  y  $L_{rxcc}$  son las pérdidas por conectores y cables en transmisión y receptor respectivamente. Los demás parámetros se describen a continuación:

- **Ganancia de antena ( $G_{tx}$ ) y ( $G_{rx}$ ):** Varía según el tipo y la instalación de la antena, los valores nominales son dadas por el fabricante de la antena.
- **Atenuación de conectores y cables ( $L_{cc}$ ):** La pérdida en los conectores se debe principalmente a problemas de soldadura, se considera un valor de 1.3 dB (Buettrich, 2007). La pérdida en los cables depende del tipo, uso, y frecuencia; para el presente traba-

---

jo se considera un cable feeder por presentar menores pérdidas ante frecuencias altas.

- **Atenuación del espacio ( $L_s$ ):** Concepto definido líneas arriba del texto.
- **Potencia de transmisión ( $P_{tx}$ ) y P.I.R.E:** El termino PIRE (Potencia irradiada isotrópica efectiva) refiere a la potencia concentrada en el lóbulo principal de una antena para aumentar su intensidad de radiación. El valor depende de la potencia de la antena, ganancia y atenuación de los cables y conectores. El PIRE es regulado por las autoridades nacionales que permiten un valor máximo según el país. En el Perú, el valor máximo de PIRE es de 4W (36dBm) para frecuencias no licenciadas (Diario El Peruano, 2012). Se puede definir el PIRE en la ecuación 2.5. Donde  $L_{txcc}$  es la atenuación por cables y conectores en el transmisor y  $G_{tx}$  es la ganancia de la antena de transmisión.

$$PIRE_{(dBm)} = P_{tx} - L_{txcc(dB)} + G_{tx} \quad (2.5)$$

La potencia de transmisión ( $P_{tx}$ ) es la potencia de transmisión generada por la ODU de la radio. Este valor es brindado en la hoja técnica del fabricante.

### 2.2.13. Margen de desvanecimiento ( $F_m$ ).

Es una variable de pérdida en dB para el presupuesto de enlace, que considera características no ideales de la propagación de la onda, causadas generalmente por factores climatológicos temporales o

---

superficies irregulares del terreno que alteran la eficiencia del radioenlace. Esta variable también influye en la confiabilidad del sistema (Tomasi, 2003). Se puede definir mediante la ecuación 2.6, donde  $F_m$  es el margen de desvanecimiento,  $D$  la distancia en Km y  $f$  la frecuencia en GHz.

$$F_m = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad (2.6)$$

$A$  es un factor de rigurosidad,  $B$  es un factor de conversión anual y  $R$  es el factor de confiabilidad del sistema. Para el presente trabajo, se obtiene  $F_m$  a partir de la sensibilidad del sistema. Puesto que,  $R$  es el porcentaje de confiabilidad que se espera obtener luego del diseño.

#### **2.2.14. Sensibilidad ( $S_n$ ).**

Es el valor mínimo de potencia que necesita el receptor para mantener operativo el sistema. Cuando  $P_{rx}$  se desvanece por debajo del valor de sensibilidad, el radioenlace está inoperativo afectando los servicios. La sensibilidad del equipo es un valor brindado por el mismo fabricante, dependiendo de la marca y modelo. En la ecuación 2.7 se expresa la relación entre el margen de desvanecimiento y la potencia de recepción.

$$F_m = P_{rx} - S_n \quad (2.7)$$

En la Figura 2.6 se observa la relación entre la potencia de recepción (nivel nominal), sensibilidad del receptor (umbral de recepción) y margen de desvanecimiento.

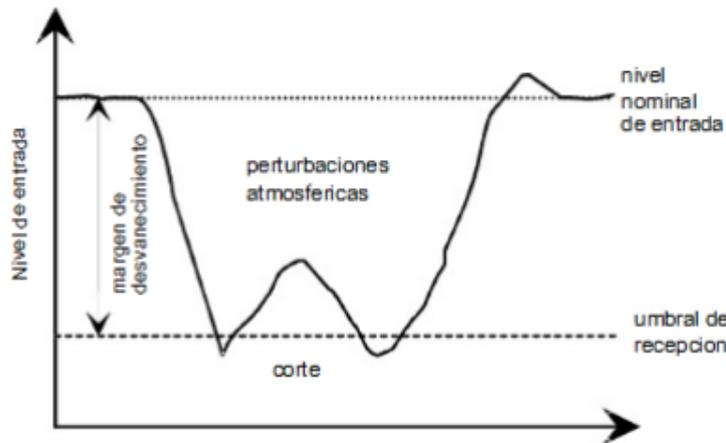


Figura 2.6. Relación del margen de desvanecimiento y sensibilidad

Fuente: [https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Apuntes %20Tema %203.pdf](https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Apuntes%20Tema%203.pdf)

### 2.2.15. Confiabilidad del sistema (R).

Es un valor porcentual que indica el tiempo promedio de operación de un sistema de telecomunicaciones, en este caso microondas, sin que exista interrupción de servicio. Para el presente trabajo, el cálculo teórico de este parámetro se obtiene del método de Vigants Barnett (Tercero Carrasco and Rivera Morales, 2013) descrita en la ecuación 2.5 para enunciar el margen de desvanecimiento. El valor de A será 0.25 (terreno montañoso) y B = 0.125 (zona motañosa) según lo indicado en (Tomasi, 2003). En la ecuación 2.8 se tiene despejado el valor de 1 - R y describe la probabilidad del sistema dependiendo del margen de desvanecimiento (Fm).

$$1 - R = 6,10^{-7} \cdot A \cdot B \cdot f \cdot D^3 \cdot 10^{-Fm/10} \quad (2.8)$$

---

### 2.2.16. Otras atenuaciones de diseño.

- Atenuación debido a los gases atmosféricos: Las moléculas de vapor de agua y a las moléculas de oxígenos son las causantes de este tipo de atenuación. Estas moléculas afectan a las ondas cuya longitud está en el rango de los centímetros (cm); puesto que, a partir de los 60GHz la atenuación tiene un valor de 15 dB/Km. Seleccionando adecuadamente las frecuencias de radioenlace (por ejemplo, menores a 20 GHz), estas atenuaciones no son relevantes (Vega and López, 2007).
- Atenuación por lluvia: Producida por partículas de agua en diferentes estados (lluvia, nieve, neblina) afectando principalmente a radioenlaces con altas frecuencias a partir de 8 GHz. Esta atenuación depende: de la atenuación específica ( $Y_r$ ), de la intensidad de la lluvia  $R$ (mm/h), y de la distancia efectiva del tramo ( $d_{efe}$ ). Se define la atenuación específica ( $Y_r$ ) en la ecuación 2.9 (Ramos, 2014).

$$Y_r = kR^\alpha \quad (2.9)$$

Las constantes  $k$  y  $\alpha$  dependen de la frecuencia y de la polarización de la onda, el cálculo se realiza siguiendo las recomendaciones de la UIT-R P.838 según la Tabla2.3.

Para determinar la intensidad de la lluvia  $R$  (mm/h) se utiliza la versión 1 de la recomendación UIT-R P.837, debido a la facilidad de cálculo respecto a otras versiones actuales, además de ser la más utilizada en el diseño de radioenlaces (García García, 2018). En la Figura 2.7 se observa en el cuadro superior, los valores de  $R$

Tabla 2.3

Valores de las variables  $k$  y  $\alpha$  según las frecuencias

Frecuencia (GHz)	Polarización horizontal		Polarización vertical	
	$k$	$\alpha$	$k$	$\alpha$
6	0.0007056	1.59	0.0004878	1.5728
8	0.004115	1.3905	0.00345	1.3797
10	0.01217	1.2571	0.01129	1.2156
18	0.7078	1.0818	0.07708	1.0025
30	0.2403	0.9485	0.2291	0.9129
40	0.4431	0.8673	0.4274	0.8421
60	0.8606	0.7656	0.8515	0.7486
100	1.3671	0.6815	1.368	0.6765

Fuente: (Achahue Alvarez and Rodríguez García, 2015)

según la zona climatológica y el porcentaje de tiempo; en la parte inferior se observa la distribución de dichas zonas en América del Sur. Correspondiéndole al Perú (en la zona del presente trabajo) la letra N.

La distancia efectiva ( $d_{efe}$ ) se obtiene según la recomendación UIT-R P.530, multiplicando un factor  $r$  a la distancia real entre dos estaciones. Se define en la ecuación 2.10 la distancia efectiva, donde  $D$  es la distancia real entre dos estaciones (García García, 2018).

$$d_{efe} = rD \quad (2.10)$$

Luego mediante la ecuación 2.11 se define el valor de  $r$ , donde  $D$  es la distancia real y  $d_0$  es un coeficiente que depende de la intensidad de la lluvia ( $R$ ) para un porcentaje de tiempo de 0.01 %.

$$r = \frac{1}{1 + \frac{D}{d_0}} \quad (2.11)$$

Siendo  $d_0$ :

Porcentaje de tiempo (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1,0	<0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	1.5	2	4	5	12	24
0,3	0.8	2	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	13	4.2	7	11	15	34	49
0,1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0,03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0,01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

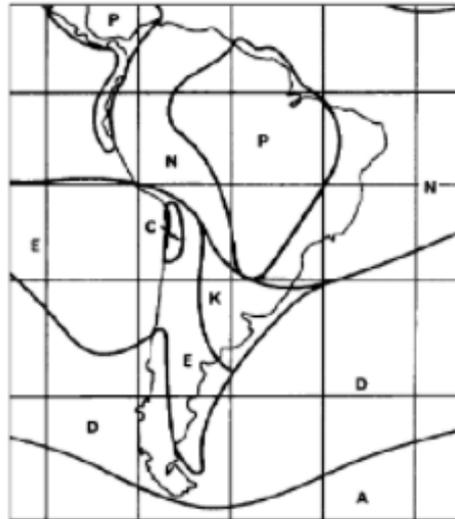


Figura 2.7. Valores de la intensidad de lluvia según la zona climatológica (UIT-R P.837)

Fuente: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.837-1-199408-S!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.837-1-199408-S!!PDF-S.pdf)

$$d_0 = 35e^{-0,015R} \quad (2.12)$$

Después de obtener los valores indicados, finalmente en la ecuación 2.13 se determina la atenuación por lluvia ( $A_p$ ) válida para frecuencias menores a 40GHz y distancias de estaciones (D) menores a 60Km, además de considerar una intensidad de lluvia de 0.01 % del tiempo (García García, 2018).

$$A_p = Yr(d_{eff}) \quad (2.13)$$

---

El cálculo de la atenuación por lluvia es utilizado para determinar la confiabilidad de los enlaces ante la probabilidad del evento. La polarización horizontal en altas frecuencias es más vulnerable ante este tipo de atenuación, debido a la forma de propagación de la onda (Ramos, 2014). Para el presente diseño no se considera en el presupuesto de enlace debido a tratarse de un evento inestable siempre y cuando se encuentre dentro del margen de desvanecimiento.

#### **2.2.17. Relación señal a ruido (S/N).**

Es la relación entre la señal portadora modulada en recepción y la potencia de ruido en el receptor. Para los radioenlaces, este ruido es causado por el mismo receptor, sin embargo, la interferencia de otros usuarios que utilizan similar banda de frecuencia causan también un valor de ruido. Estas interferencias son menos frecuentes al tratarse de bandas licenciadas. La medición de una potencia de ruido es compleja considerando que no son ondas senoidales obtenidas por un analizador de espectro; por lo que se emplea cálculos matemáticos para conocer el ruido total del sistema (Vega and López, 2007).

El valor de una señal a ruido indica la calidad que tiene un sistema de transmisión y mientras el valor sea más alto, el sistema es más robusto. Sin embargo, se debe considerar el factor costo que conlleva esta implementación. Para los sistemas de transmisión digital se suele utilizar el concepto de BER para referirse a la relación señal a ruido (Vega and López, 2007). Se puede expresar mediante la ecua-

---

ción 2.14 la relación señal a ruido en dB:

$$\frac{S}{N} = 10 \log\left(\frac{P_{rx}}{P_{ruido}}\right) \quad (2.14)$$

### 2.2.18. Normativas y recomendaciones de la UIT.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es un organismo encargado de regularizar las telecomunicaciones entre las empresas operadoras y los entes administrativos de estado. Entre las distintas normas y recomendaciones de la UIT en el campo de las radiocomunicaciones, se rescatan algunas de interés para el uso del presente trabajo.

- UIT-R P.525: Recomendación para el cálculo de atención en el espacio libre.
- UIT-R P.526: Recomendación para evitar la propagación por difracción.
- UIT-R P.530: Brinda datos de propagación y métodos para el diseño de sistemas con radioenlace.
- UIT-R P.676: Indica sobre la atenuación por gases atmosféricos y sus efectos.
- UIT-R P.837 y P.838: Información de las características de las lluvias para los efectos de propagación.
- UIT-R F.386, F.384 y F.595: Define los canales para los radioenlaces digitales en las bandas de frecuencia 8 GHz, 6 GHz y 18 GHz respectivamente.

---

### **2.2.19. Diseño jerárquico.**

El concepto de jerarquía en una red se define según un criterio de mayor a menor importancia, lo que significa tener un orden en el escalamiento de operación. La empresa Cisco propone un modelo jerárquico de 3 capas para el diseño de una red escalable: capa de núcleo, capa de distribución y capa de acceso (Diaz Castiblanco, 2018). Para los enlaces microondas aplicados en telefonía móvil, los servicios de voz y datos requieren ser procesados en los servidores core, a través del medio de transporte. Es así que, según el modelo de red, los enlaces microondas suelen operar dentro de la capa de distribución y/o acceso.

- Capa de núcleo: Proporciona a la red alta velocidad en la conmutación de paquetes. Tiene acceso a todos los servidores de servicios y gestión.
- Capa de distribución: Capa de transporte entre el núcleo y el acceso; la conectividad a los servicios depende de las políticas de red. Brinda el transporte y redundancia de los servicios a las capas adyacentes.
- Capa de acceso: Brinda el servicio de la red a los usuarios a través de sus dispositivos finales.

### **2.2.20. Software de simulación.**

-El PL50 (Pathloss versión 5): es una herramienta de simulación de sistemas de radioenlace. Las funciones de operación, algoritmos de desvanecimiento, algoritmos de pérdidas por distintos factores, entre

otros cálculos, se basan en las recomendaciones UIT. Esta versión es mejorada y se obtiene mediante una descarga con licencia de la página oficial. En la Figura 2.8 se muestra un ejemplo del entorno de diseño del programa.

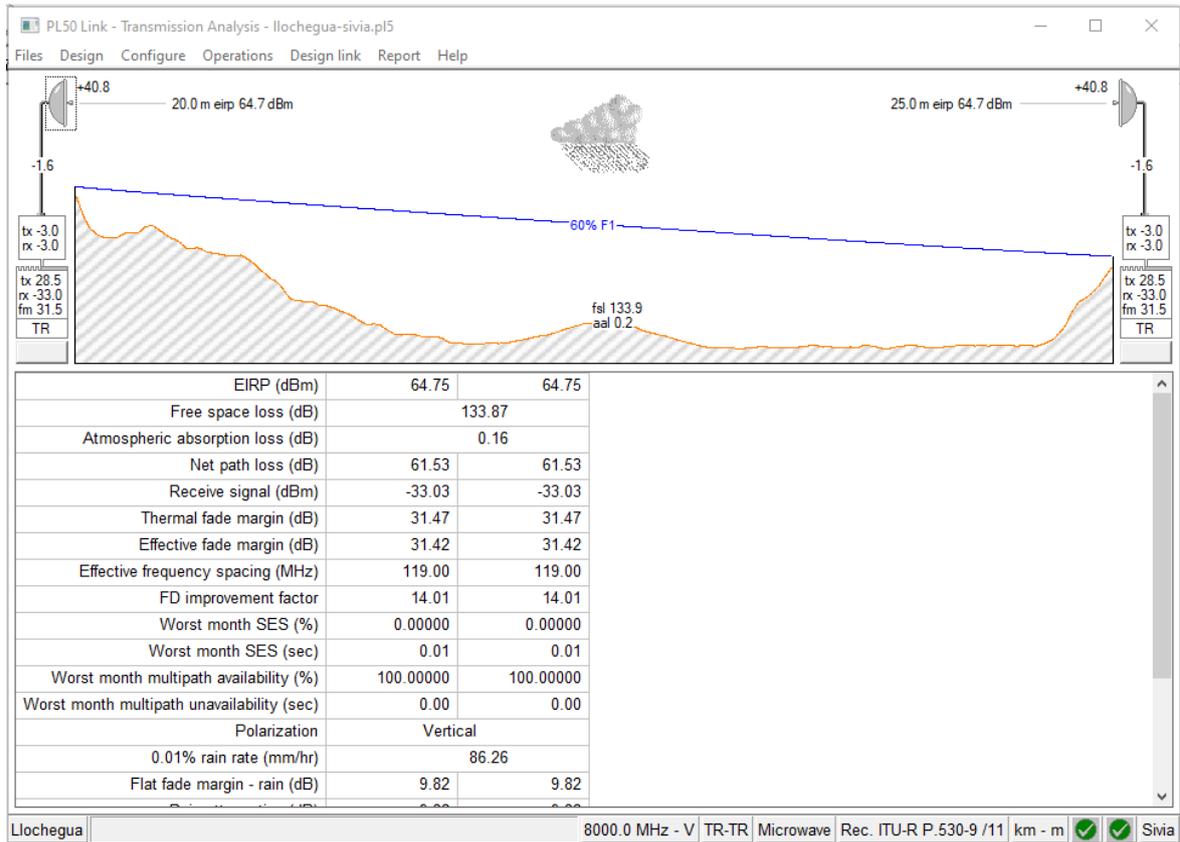


Figura 2.8. Pantalla de diseño en Pathloss

Fuente: Elaboración propia

-iManager U2000 de Huawei: Es un sistema unificado de administración de red, utilizado para gestionar, monitorear y controlar diferentes elementos de red del vendor Huawei. El acceso a este sistema de gestión es por licencia mensual para empresas y se subdivide en muchas plataformas para la administración de los elementos. Por motivos de restricción de acceso a algunas de estas plataformas, en el presente trabajo, el gestor U2000 se utilizará como muestra de gráficos de red, y validación del funcionamiento de los enlaces reales.

---

### 2.3. Definición de términos

- **Ancho de canal:** Se puede definir como el tamaño de un rango de frecuencias del espectro electromagnético donde se concentra la energía de la señal. Mientras mayor sea la anchura, tiene mayor velocidad de transmisión, y a su vez mayor posibilidad de tener interferencia.
- **Tecnología XPIC:** Conocida como cancelación de interferencia con polarización cruzada; se produce cuando el emisor transmite dos señales portadoras con direcciones de polarización ortogonales (vertical y horizontal) y el receptor cancela las interferencias entre ellas para procesarlas. Con XPIC se duplica la capacidad de un enlace sin cambiar el ancho de banda utilizando el modo CCDP.
- **CCDP (Co-Channel dual polarization):** Técnica que opera con la tecnología XPIC para duplicar la capacidad de un canal utilizando polaridades ortogonales lineales.
- **PLA (Physical Link Aggregation):** Es una técnica de agregación de enlaces para evitar pérdidas de paquetes en los equipos de radio Huawei. Su operación se basa en el protocolo LAG (IEEE 802.1ad) para dispositivos de red IP. Su versión mejorada EPLA tiene más capacidad de agregación de canales para una mejor protección de los radioenlaces compartiendo la carga.
- **BER (Tasa de error binaria):** Es la relación entre el número de

---

bits recepcionados y el total de bits enviados durante un determinado periodo de tiempo. En base a esta relación, se puede conocer la velocidad con la que se produce los errores en un sistema de transmisión. Estos errores son generalmente causados por el ruido del sistema y por los fenómenos de propagación.

- **Polarización:** Es la orientación en el espacio de las ondas electromagnéticas al ser propagadas desde la antena. Las polarizaciones más utilizadas en radioenlaces, son las de tipo vertical, horizontal y cruzada.
- **TDM (Multiplexación por división de tiempo):** Término usado para referirse a las tecnologías SDH y PDH que utilizan este tipo de multiplexación (de baja capacidad), para la transmisión de datos.
- **XPD (Discriminador de polaridad cruzada):** Término referido a la capacidad de la antena y/o sistema para medir el nivel de interferencia entre polaridades ortogonales.
- **Ángulo de azimut:** Se define como el ángulo que forma la antena respecto al norte en el plano horizontal de la tierra. Considerando al norte como  $0^\circ$ , la antena estará en un ángulo definido siguiendo las manecillas del reloj.
- **ODU (unidad Outdoor):** Son equipos donde tienen incorporados modulador, demodulador y amplificador de potencia tanto para la transmisión como para la recepción; procesa la señal que llega desde la IDU y las convierte en RF (radiofrecuencia) para tras-

---

mitirlo por línea de transmisión a la antena. La conexión a la IDU es mediante cable coaxial.

- **IDU (unidad Indoor):** Es el equipo que contiene las funciones de banda base y frecuencia media. Puede ofrecer diferentes tecnologías según el fabricante, como Ethernet o TDM. Para el presente trabajo, la IDU es la unidad de radio RTN.
- **BBU (unidad de banda base):** Su principal función es la de procesar señales banda base en los enlaces de transmisión y recepción. Entre otras funciones destaca la de administrar la estación base y proveer las interfaces y puertos para la comunicación con la red de transporte.
- **RRU (unidad radio remota):** Por lo general ubicado en la torre, cerca de la antena (usado en la arquitectura e-UTRAN). Encargada del procesamiento de señales de banda base en radio frecuencia; se conecta a la BBU mediante fibra óptica (FO) por medio de la interfaz CPRI.
- **Transmisión Full Duplex:** Es un término que refiere a la capacidad que tiene un sistema de telecomunicaciones de transmitir y recibir señales de forma bidireccional y simultánea.

---

## **CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL**

### **3.1. Determinación y análisis del problema.**

En el presente apartado, se describe la problemática que causa la saturación de los radioenlaces de transporte microondas originado principalmente por el equipamiento de poca capacidad y el incremento de demanda en la zona. Esta capacidad se relaciona con la demanda en base a un estudio realizado por el “operador móvil”, el cual se menciona de manera breve en el presente trabajo. Finalmente se detalla una necesidad secundaria de gestionar elementos de acceso de la red a través de la plataforma de gestores Huawei.

La zona de la entrada del VRAEM es un punto vulnerable para el estado peruano, pero de potencial crecimiento económico; busca formar parte de la inclusión social en el Perú. La industria de las telecomunicaciones, forma parte importante dentro de este objetivo. El “operador móvil” desde el año 2014, empleaba un diseño de microondas con equipos MPR9500 Alcatel-Lucent, utilizando tecnologías de transmisión SDH, PDH o Ethernet; velocidades hasta 300 Mbps en transmisión; modulación digital de máximo 256-QAM y capacidad limitada de puertos para enlaces multipunto.

El problema surge en el año 2018, con la saturación de los enlaces

de transporte principales, originando pérdida de paquetes, bajo valor de accesibilidad, retrasos de transmisión prolongados y otros indicadores que mostraban deficiencia en la red. Esto causó, entre otros problemas, reclamos de los usuarios finales, por falta de cobertura, ya sea de voz o datos.

Cuando se tuvo problemas con la saturación de enlace, el principal indicador es el porcentaje de paquetes perdidos en la red. Esta saturación era producida cuando se excedía el nivel máximo de potencia de recepción del equipo. En la Figura 3.1 se muestra el porcentaje de paquetes perdidos reflejados desde la RNC de la sede Junín hasta el nodo YANAHORCO durante los últimos días de noviembre del 2018. Teniendo en cuenta que se trata de un nodo principal de transporte, el problema causaba constantes afectaciones de servicios en los nodos dependientes.

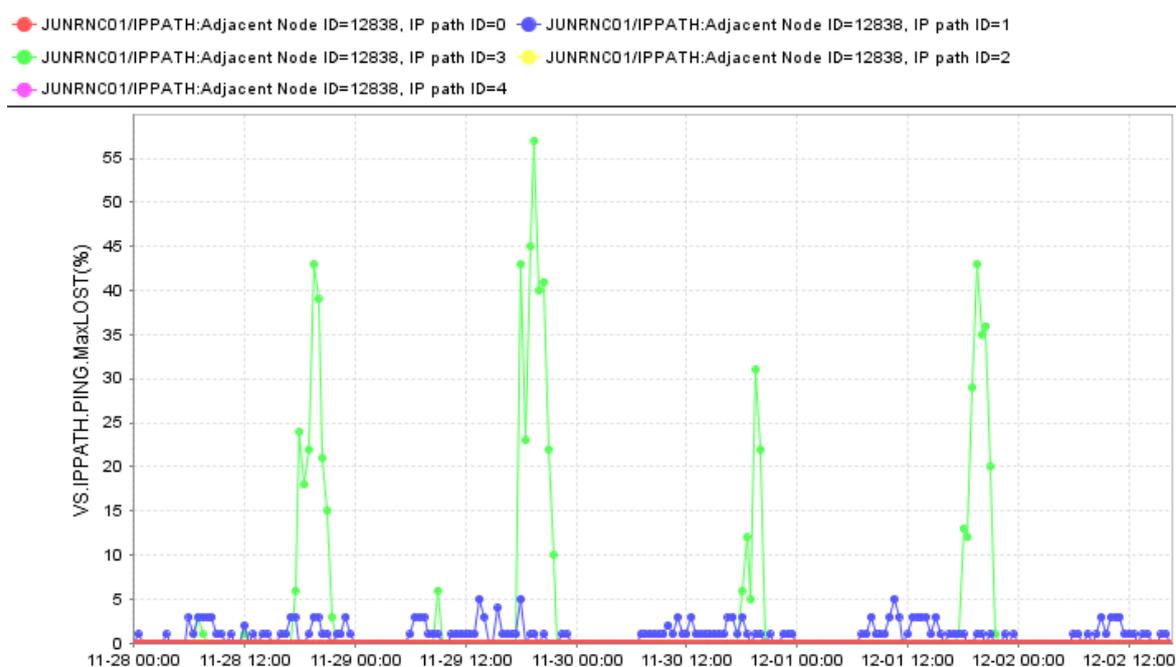
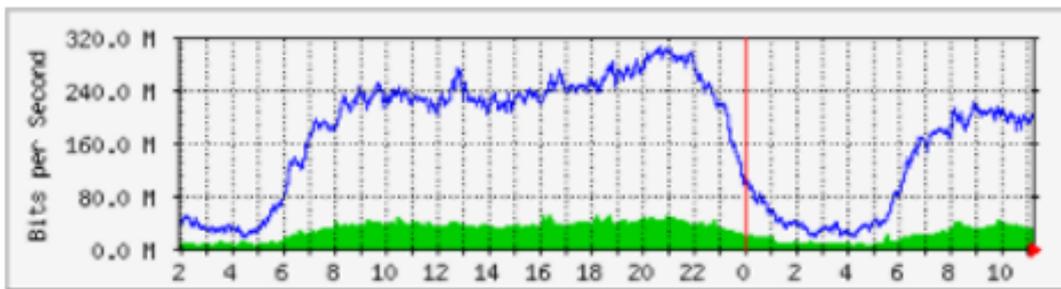


Figura 3.1. Pérdida de paquetes desde el nodo Yanahorco

Fuente: Elaboración propia

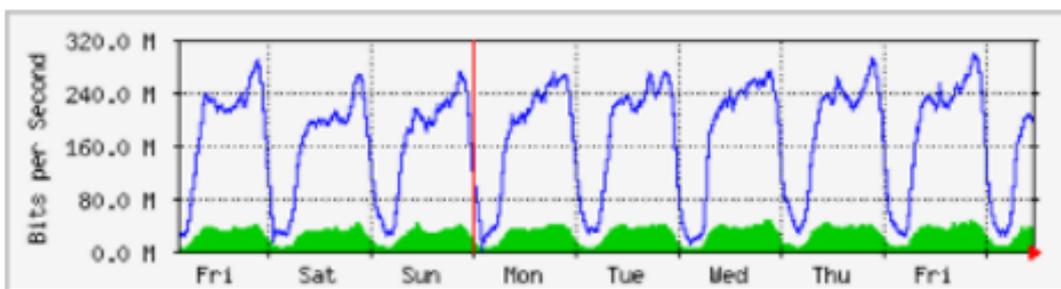
En la Figura 3.2 se muestra una medición del tráfico de la red en el tramo de enlace Yanahorco - Anco en Mbps, donde se observa valores al límite de los 300 Mbps de capacidad máxima del equipo MPR9500, causando posteriormente la saturación y la afectación de los servicios dependientes. Estos valores se observan en horas del día, luego al realizar un muestreo semanal, se observa que el comportamiento tiende a ser diario.

### 'Daily' Graph (5 Minute Average)



	Max	Average	Current
In	50.6 Mb/s (15.9%)	26.2 Mb/s (8.6%)	29.9 Mb/s (9.3%)
Out	300.8 Mb/s (94.1%)	163.3 Mb/s (51.3%)	206.6 Mb/s (64.7%)

### 'Weekly' Graph (30 Minute Average)

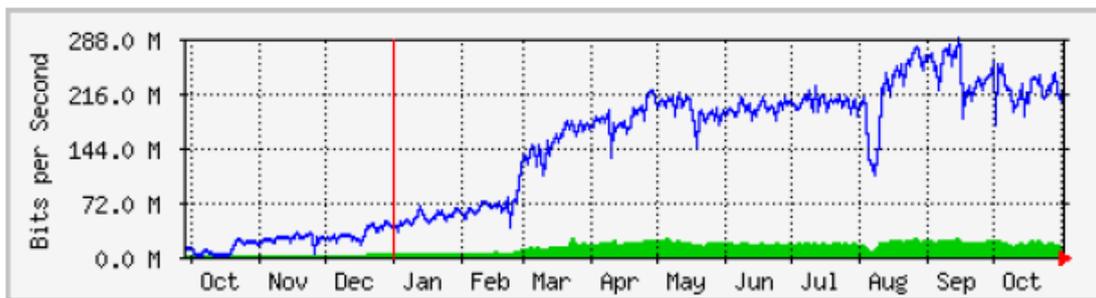


	Max	Average	Current
In	46.7 Mb/s (14.5%)	26.0 Mb/s (8.3%)	32.3 Mb/s (10.0%)
Out	295.4 Mb/s (92.3%)	169.5 Mb/s (52.9%)	190.8 Mb/s (59.1%)

Figura 3.2. Capacidad y tráfico en el enlace Yanahorco - Sivia  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.3 se muestra el incremento de demanda de capacidad en 1 año (desde octubre del 2017 a octubre del 2018) medidos desde varios tramos de la zona del VRAEM; se observa un crecimiento progresivo en la demanda del tráfico, que sobrepasa la capacidad de los equipos que se tenían instalados para entonces.

### 'Yearly' Graph (1 Day Average)



	Max	Average	Current
In	24.1 Mb/s (8.4%)	11.6 Mb/s (4.1%)	13.8 Mb/s (4.7%)
Out	285.4 Mb/s (98.4%)	136.9 Mb/s (47.2%)	184.4 Mb/s (57.4%)

Figura 3.3. Incremento de la demanda de tráfico en 1 año  
Fuente: Elaboración propia

En el presente trabajo se ha delimitado geográficamente el transporte de servicios de 13 nodos de red celular. Estas estaciones brindan servicio de distinto tipo a los usuarios finales y/o clientes arrendados. Dentro de las expectativas del nuevo diseño microondas que espera el “operador móvil”, es superar los 300 Mbps de capacidad en los enlaces (teniendo como prioridad los troncales entre los nodos Yanahorco, Anco y Sivia); además de considerar 100 Mbps por nodo para usuarios finales en cada área de cobertura. Por lo que se considera el uso de la tecnología XPIC N + 0 para duplicar la capacidad de los canales por el empleo de la transmisión en polaridad dual. Por otro lado, el “operador móvil” tiene previsto un crecimiento de la demanda en la

Tabla 3.1

*Valores de capacidad esperados*

<b>Enlace</b>	<b>Tecnología sugerida</b>	<b>Capacidad mínima esperada</b>
Yan - Anc	3 + 0 XPIC	1 Gbps
Anc - Siv	3 + 0 XPIC	1 Gbps
Siv - Llo	2 + 0 XPIC	700 Mbps
Llo - Can	2 + 0 XPIC	700 Mbps
Can - Ele	2 + 0 XPIC	700 Mbps
Llo - Ang	2 + 0 XPIC	700 Mbps
Llo - May	2 + 0 XPIC	700 Mbps
May - Nue	1 + 0 XPIC	350 Mbps
Ros - Lom	2 + 0 XPIC	700 Mbps
Siv - Ros	2 + 0 XPIC	700 Mbps
Llo - Pue	2 + 0 XPIC	700 Mbps
Pue - Rin	1 + 0 XPIC	350 Mbps

Fuente: Elaboración propia basado en valores esperados de (Huawei, 2015)

zona de trabajo según en previo estudio realizado en base a la Figura 3.3; para lo cual exige un valor mínimo de capacidad de enlace según se muestra en la Tabla 3.1, estos valores son aproximados.

Otra necesidad de la empresa es la gestión de los elementos de red de acceso que no son de transporte, por ejemplo los sistemas de energía, respaldo de baterías y sistemas de seguridad. Debido a una limitada cantidad de puertos de gestión de los equipos de radio, se tiene la necesidad de utilizar equipo adicional para satisfacer esta necesidad. El router ATN910C brinda la cantidad de puertos suficientes para este requerimiento como se describe posteriormente. Además, brinda conectividad para clientes corporativos arrendados.

---

### **3.2. Modelo de solución propuesto.**

En este apartado se plantea el modelo de solución propuesto ante la problemática mencionada. Se empieza mencionando las consideraciones previas al re-diseño brindadas por el “operador móvil”. Luego, se propone el modelo de solución basados en cálculos matemáticos, complementándolos con la simulación en el programa PL50 Pathloss, considerando las ecuaciones mencionadas en el capítulo 2, las recomendaciones UIT y los objetivos a alcanzar para la solución del problema. Posteriormente, se describe el equipamiento a utilizar, teniendo en cuenta las características de los equipos del fabricante Huawei. Al final, se analiza los valores obtenidos de la simulación por cada enlace.

#### **3.2.1. Consideraciones de frecuencias y altura de torres**

Las frecuencias a utilizar para el presente trabajo, son consideradas de acuerdo a las distancias de los enlaces y a la disponibilidad del espectro en cada zona donde se ubica las estaciones. Estas frecuencias son licenciadas por el estado peruano al “operador móvil” para su uso en las zonas mencionadas. Siguiendo las recomendaciones de la UIT-R F.386, F.384 y F.595 descritos en el capítulo 2, y el ancho de canal indicado por el “operador móvil”; se resume en la Tabla 3.2 los valores de frecuencia, y número de canales. Las frecuencias son de la banda SHF del tipo C y Ku para los valores de 6 GHz, 8 GHz y 18 GHz respectivamente.

Las alturas de las torres en las estaciones base están definidas por el “operador móvil”, debido a su construcción para los radioenlaces

Tabla 3.2

*Valores de frecuencias y canales*

<b>Banda de frecuencia / Frecuencia central</b>	<b>Número de canales</b>	<b>Ancho de canal (MHz)</b>	<b>Frecuencias de baja y alta (GHz)</b>
6 GHz (UP) / 6.770 GHz	1	40	6.460 - 6.800
	2	40	6.500 - 6.840
	3	40	6.540 - 6.880
	4	40	6.580 - 6.920
	5	40	6.620 - 6.960
	6	40	6.660 - 7.000
	7	40	6.700 - 7.040
	8	40	6.740 - 7.080
8 GHz / 8 GHz	1	56	7.762 - 8.073
	2	56	7.821 - 8.133
	3	56	7.881 - 8.192
	4	56	7.940 - 8.251
18 GHz / 18.700 GHz	1	56	17.81 - 18.82
	2	56	17.865 - 18.875
	3	56	17.92 - 18.93
	4	56	17.975 - 18.985
	5	56	18.03 - 19.04
	6	56	18.085 - 19.095
	7	56	18.14 - 19.15
	8	56	18.195 - 19.205

Fuente: Elaboración propia

precedentes al presente trabajo. Las alturas de las antenas pueden varias de acuerdo al diseño propuesto y a la disponibilidad de espacio en la torre. Se describe en la Tabla 3.3 las alturas de las torres y su ubicación geográfica.

### **3.2.2. Consideraciones de equipamiento.**

El “operador móvil” solicita un plan de mejora en los radioenlaces de la entrada del VRAEM, debido a los diversos problemas de saturación y caída de señal de la zona. Como se mencionó en el capítulo 1, se realizó el proyecto con la participación de distintas áreas, incluyendo nuestro consorcio encargado de resolver las averías de campo.

Tabla 3.3  
*Altura de torres y ubicación*

<b>Nodo</b>	<b>Altura (m.)</b>	<b>Coordenadas</b>
Yanahorco (Yan)	45	-12.9833, -74.1050
Anco (Anc)	65	-12.8584, -73.9241
Sivia (Siv)	65	-12.5124, -73.8398
Llohegua (Llo)	28	-12.3872, -73.8857
Canayre (Can)	42	-12.2951, -73.9922
El Ene (Ele)	14	-12.1939, -73.9741
Mayapo (May)	30	-12.3612, -73.9475
Nueva Villa (Nue)	16	-12.3482, -73.961
Angeles (Ang)	16	-12.4264, -74.0078
Pueblo (Pue)	28	-12.0363, -73.8689
Rosario (Ros)	20	-12.5960, -73.8305
Lomas (Lom)	23	-12.5725, -73.7946
Rinconada (Rin)	23	-12.437, -73.8664

Fuente: Elaboración propia

Debido a característica del proveedor Huawei, se designó al equipo de radio OptiX RTN980L para largas distancias (superiores a 20Km). Para los demás enlaces se designó el equipo de radio OptiX RTN950A de menor capacidad. Se muestra en la Tabla 3.4 y en la Tabla 3.5 algunas especificaciones de las hojas técnicas de cada equipo de radio respectivamente (Huawei, 2015), (Huawei, 2014).

Tabla 3.4

Valores a considerar del equipo RTN980L

<b>Frecuencia \ Modulación</b>	<b>QPSK</b>	<b>16 QAM</b>	<b>32 QAM</b>	<b>64 QAM</b>	<b>128 QAM</b>	<b>256 QAM</b>	<b>512 QAM</b>	<b>1024 QAM</b>
Potencia de transmisión máxima nominal (dBm)								
6 GHz	31.5	31.5	31.5	30.5	30.5	29.5	29.5	27.5
Potencia de transmisión mínima nominal (dBm)								
6 GHz	6	6	6	6	6	6	6	6
Sensibilidad del receptor (dBm con BER = 10 <sup>-6</sup> )								
6 GHz (Ancho de canal 40MHz)	-86	-80	-76	-73.5	-70.5	-67.5	-65	-61.5

Fuente: Elaboración propia, basado en la hoja técnica de (Huawei, 2014)

Tabla 3.5  
Valores a considerar del equipo RTN950A

<b>Frecuencia \ Modulación</b>	<b>QPSK</b>	<b>16 QAM</b>	<b>32 QAM</b>	<b>64 QAM</b>	<b>128 QAM</b>	<b>256 QAM</b>	<b>512 QAM</b>	<b>1024 QAM</b>
Potencia de transmisión máxima nominal (dBm)								
8 GHz	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	28.5	28.5	27.5
Potencia de transmisión mínima nominal (dBm)								
8 GHz	5	5	5	5	5	5	5	5
Sensibilidad del receptor (dBm con BER = 10 -6)								
8 GHz (Ancho de canal 56 MHz)	-86	-79	-76	-72.5	-69.5	-66.5	-64.5	-61
Potencia de transmisión máxima nominal (dBm)								
18 GHz	24	23	23	22	22	20	19	17
Potencia de transmisión mínima nominal (dBm)								
18 GHz	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7
Sensibilidad del receptor (dBm con BER = 10 -6) con XPIC								
18 GHz (Ancho de canal 56 MHz)	-85	-78	-75	-71.5	-68.5	-65.5	-63.5	-60

Fuente: Elaboración propia, basado en la hoja técnica de (Huawei, 2015)

---

Respecto al equipo de antenas, se utilizó las recomendadas por el mismo proveedor, debido a las características del fabricante, algunas de estas características a utilizar se observan en la Tabla 3.6, considerando un modelo de antena para cada rango de frecuencias según sus hojas técnicas (Huawei, 2021).

Tabla 3.6  
Valores a considerar de algunas antenas según sus Datasheet

Antena	Frecuencia de trabajo (GHz)	Polarizacion	Ganancia media (dBi)	Diámetro (m)	XPD (dB)
Modelo AU6D24HS	6.425 - 7.125	Dual	41.8	2.4	30
Modelo A07D12HS	7.125 - 8.5	Dual	37.3	1.2	30
Modelo A07D12HS	7.125 - 8.5	Dual	40.8	1.8	30
Modelo A18D06HS	17.7 - 19.7	Dual	38.9	0.6	30
Modelo A18D18HS	17.7 - 19.7	Dual	47.8	1.8	30

Fuente: Elaboración propia, basado en la hoja técnica de (Huawei, 2021)

---

Para el cálculo de las pérdidas por cables tanto del lado transmisor como del receptor, se considera una distancia máxima de 1 metro desde la ODU hasta la antena. Se utilizó el cable feeder para frecuencias altas, del cual se tiene una atenuación de 25.5 dBm por cada 100 metros a frecuencias entre los 6000 MHz a 9000 MHz según su datasheet (LianStar, 2021). Para frecuencias superiores en el presente trabajo se utilizó el mismo cable. Debido a la transmisión con XPIC se requiere un acoplador para la doble polarización lineal, por lo que genera una pérdida de 6 dBm adicionales (3 dBm por transmisión y recepción) (Achahue Alvarez and Rodríguez García, 2015).

#### **Consideraciones técnicas**

- En el presente trabajo, se considera el diseño en 1 sola polaridad, la duplicidad de capacidad utilizando XPIC se implementa en la configuración del equipo real (doble polaridad). El empleo de  $N + 0$  XPIC multiplica por  $N$  dicha capacidad en la configuración.
- Para mantener un sistema de respaldo ante una caída de algún enlace principal de transporte, el 'operador móvil' cuenta con un sistema de FO desde la ciudad de Ayacucho hasta el nodo Sivia y desde la ciudad de Junín hasta el nodo El Ene. Ambos sistemas son arrendados de otro operador móvil, por lo que su uso se considera un gasto extra por los días de servicio.
- El 'operador móvil' solicita una confiabilidad para los enlaces de 99.99 % para futuros reportes ante OSIPTEL.
- Solo se considera instalación de router en los nodos Yanahorco,

---

Sivia, Anco, Llochegua, Canayre, Rosario y El Ene por contar con enlace principal y/o tener clientes corporativos arrendados para el 'operador móvil'.

### **Consideraciones de clima y terreno**

Los nodos Yanahorco y Anco están en zonas montañosas con altitud elevada (1500 – 4000 msnm). Se presenta un clima nublados y secos, con temperaturas que varían entre los 8 °C y los 22 °C; las lluvias intensas inician en el mes de octubre y se prolongan hasta abril con una intensidad de lluvia R promedio de 76 (mm/H) (Spark, sf). El resto de nodos están en una zona de menor altitud (500 – 1200 msnm) con abundante vegetación. Presenta un clima seco en verano y húmedo en invierno, las temperaturas varían entre los 20 °C y los 33 °C; las lluvias intensas inician en el mes de octubre y se prolongan hasta abril con una intensidad de lluvia R promedio de 88 (mm/H) (Spark, sf). Del apartado de bases teóricas revisado en el presente trabajo, se tiene un valor promedio de  $R = 95$  (mm/H), encontrándose en el rango para los cálculos de atenuación por lluvia. También se revisó que la atenuación por lluvias afecta a frecuencias altas desde 8 GHz. Para los nodos ubicados en la zona de abundante vegetación, se consideró antenas lo suficientemente altas para evitar la obstrucción y/o atenuación por las hojas de los árboles.

En la Figura 3.4 se muestra un diagrama de bloques con los procedimientos para el desarrollo del presente trabajo.

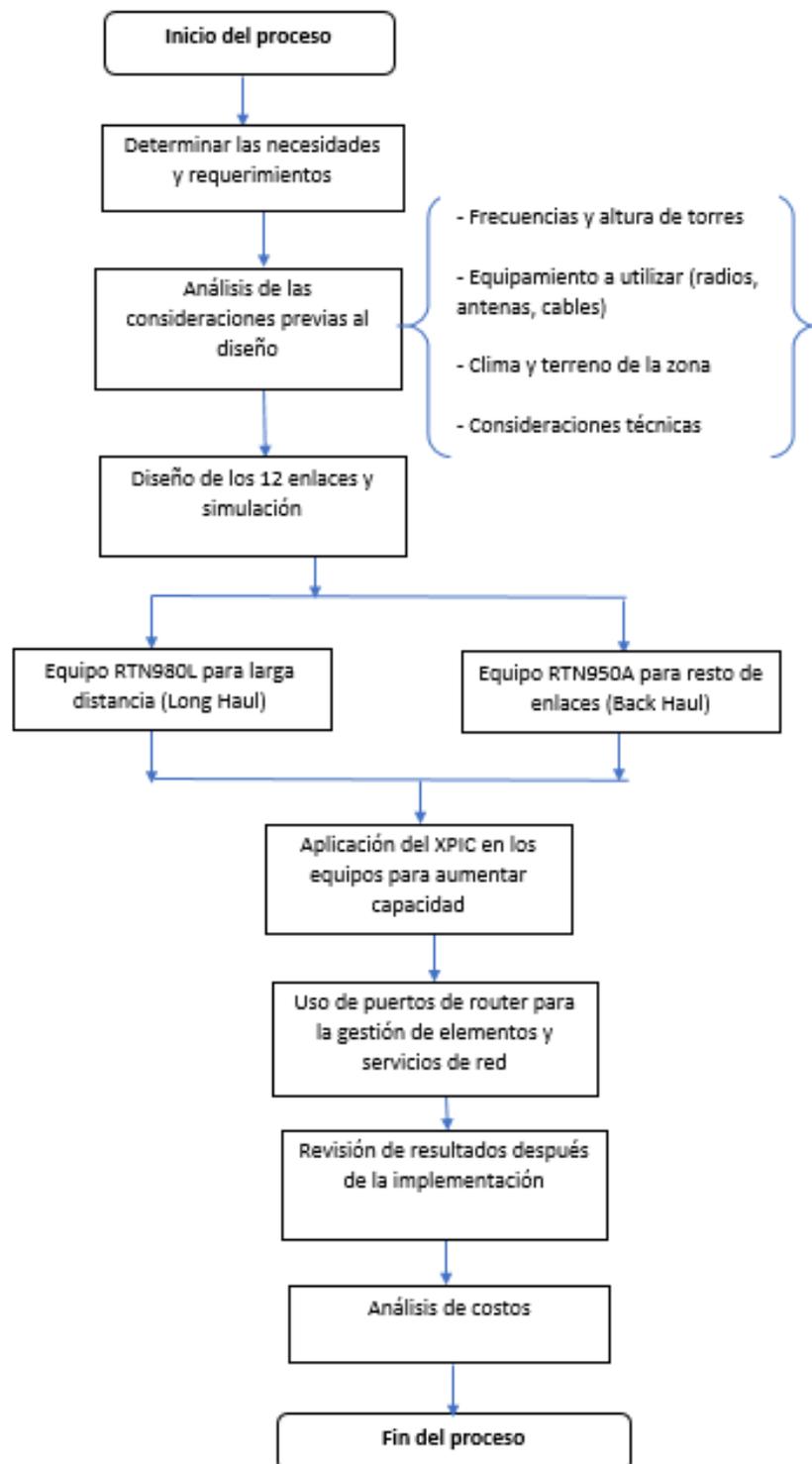


Figura 3.4. Diagrama de bloques de procedimientos  
Fuente: Elaboración propia

---

### **3.2.3. Diseño de la red de transporte.**

De la Figura 1.5 mencionada en la delimitación geográfica del capítulo 1, se tiene 12 radioenlaces microondas full dúplex punto a punto entre 13 nodos. De los cuales tienen distintas distancias, por consiguiente, se asigna diferentes frecuencias según lo revisado anteriormente. En la Tabla 3.7 se resume los enlaces a diseñar considerando las distancias, el número de canales por enlace, frecuencias y frecuencia central. Para el presente trabajo, se realiza los cálculos y simulación para luego mostrar los resultados finales.

Tabla 3.7

Resumen de valores en distancia, frecuencia y canales

Nº de canal	Enlace	Distancia	Frecuencia		Frecuencia central (MHz)
			de alta (A)	(MHz) de baja (B)	
1 3 5	Yan (A) - Anc (B)	24.01 Km	6800 6880 6960	6460 6540 6620	6770 6770 6770
2 4 6	Anc (A) - Siv (B)	39.36 Km	6840 6920 7000	6500 6580 6660	6770 6770 6770
1 3	Siv (A) - Llo (B)	14.71 Km	8073 8192	7762 7881	8000 8000
1 3	Llo (A) - Can (B)	15.42 Km	6800 6880	6460 6540	6770 6770
1 3	Can (A) - Ele (B)	11.37 Km	8073 8192	7762 7881	8000 8000
1 3	Llo (A) - Ang (B)	14.25 Km	8073 8192	7762 7881	8000 8000
2 4	Llo (A) - May (B)	7.31 Km	8133 8251	7821 7940	8000 8000
1 3	May (A) - Nue (B)	2.05 Km	18820 18930	17810 17920	18700 18700
1 3	Ros (A) - Lom (B)	4.70Km	18820 18930	17810 17920	18700 18700
2 4	Siv (A) - Ros (B)	9.30 Km	8133 8251	7821 7940	8000 8000
1 3	Llo (A) - Pue (B)	4.03 Km	18820 18930	17810 17920	18700 18700
2 4	Pue (A) - Rin (B)	1.93 Km	18875 18985	17865 17975	18700 18700

Fuente: Elaboración propia

### Enlace Yanahorco – Anco

En la Figura 3.5 se muestra el perfil de elevación con la altura del obstáculo más alto a 21.34 km desde el nodo Yanahorco. Esta altura es de 4 187 m aproximados sobre el nivel del mar. Considerando la

altura de las torres de la Tabla 3.3, se ubica la antena a 40 m en el nodo Yanahorco y a 55 m en el nodo Anco. La distancia entre nodos es 24.01 Km.

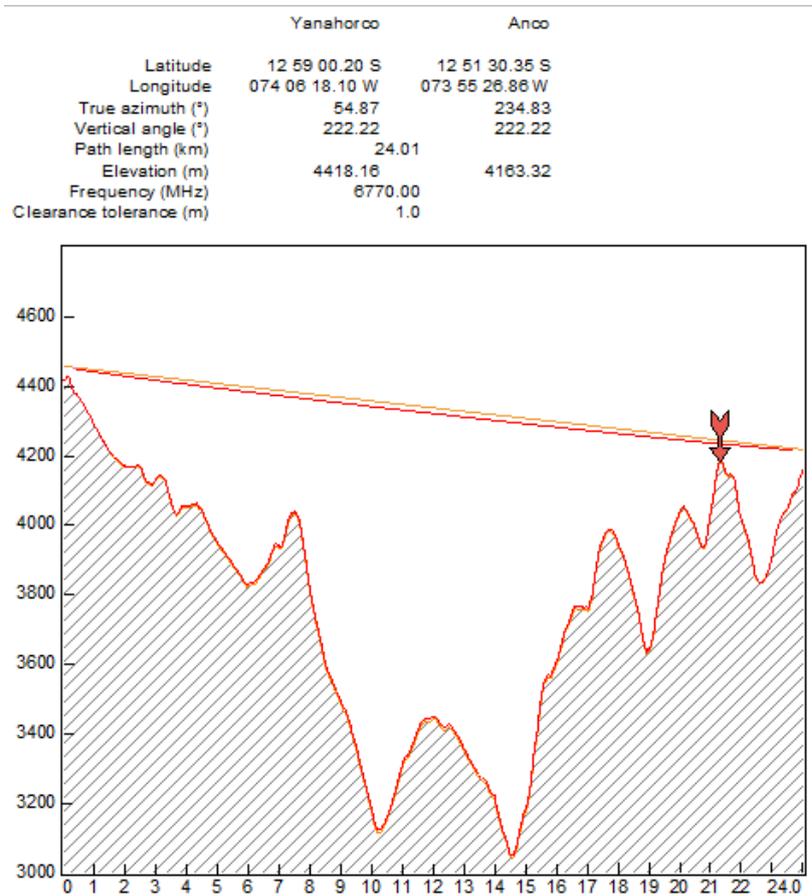


Figura 3.5. Línea de vista del enlace Yanahorco - ANco  
Fuente: Elaboración propia

De las ecuaciones 2.1 y 2.2, se calcula el radio de Fresnel y el radio de despeje:

$$Fn = 17,32 \sqrt{\frac{(21,34) \cdot (2,68)}{(24,01) \cdot (6,77)}} = 10,27m \quad (3.1)$$

$$Fn' = 4218 + \frac{(2,68)}{(24,01)}(240) - \left( 4187 + \frac{(21,34) \cdot (2,68)}{2(1,33)(6371)Km} \right) = 54,44m \quad (3.2)$$

Se verifica que el radio de despeje es mayor que el radio de Fres-

---

nel, por lo que se valida una buena línea de vista.

De las consideraciones del apartado anterior, se tiene que una pérdida por el cable feeder de 0.25 dB, más 6 dB por el acoplador de doble polaridad y 1.3 por pérdida de conectores mencionados en el capítulo 2. La suma de estos valores resulta las pérdidas de  $L_{cc}$  tanto para emisor y receptor. Se considera los mismos valores para el resto de radioenlaces.

De las ecuaciones 2.3 se obtiene la atenuación básica por pérdidas en el espacio:

$$L_{s(dB)} = 92,4 + 20\log(6,77) + 20\log(24,01) = 136,62dB \quad (3.3)$$

De las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.7, se calcula el valor de la potencia de recepción, el valor de PIRE en el transmisor y el margen de desvanecimiento del enlace. Los valores de ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad se obtienen de la Tabla 3.6 y Tabla 3.4 considerando una modulación de 512 QAM:

$$P_{rx} = 29,5 - 4,56 + 41,8 - 136,62 + 41,8 - 4,56 = -32,64dBm \quad (3.4)$$

$$PIRE_{(dBm)} = 29,5 - 4,56 + 41,8 = 66,74dBm \quad (3.5)$$

$$F_m = -32,64 - (-65) = 32,36dBm \quad (3.6)$$

De la ecuación 2.8 se obtiene la confiabilidad (R) del enlace, se usa método de Vigants Barnet por facilidad de cálculo; para la simulación

se utiliza los métodos recomendados por la UIT:

$$1 - R = 6 \cdot (10)^{-7} \cdot (0,25) \cdot (0,125) \cdot (6,77) \cdot (24,01)^3 \cdot (10)^{-32,36/10} = 99,999 \% \quad (3.7)$$

Para la simulación se utiliza valores similares a los mencionados, trabajando en 1 sola polaridad. Se muestra en la Figura 3.6 una simulación del enlace, considerando un factor de lluvia para el cálculo de confiabilidad.

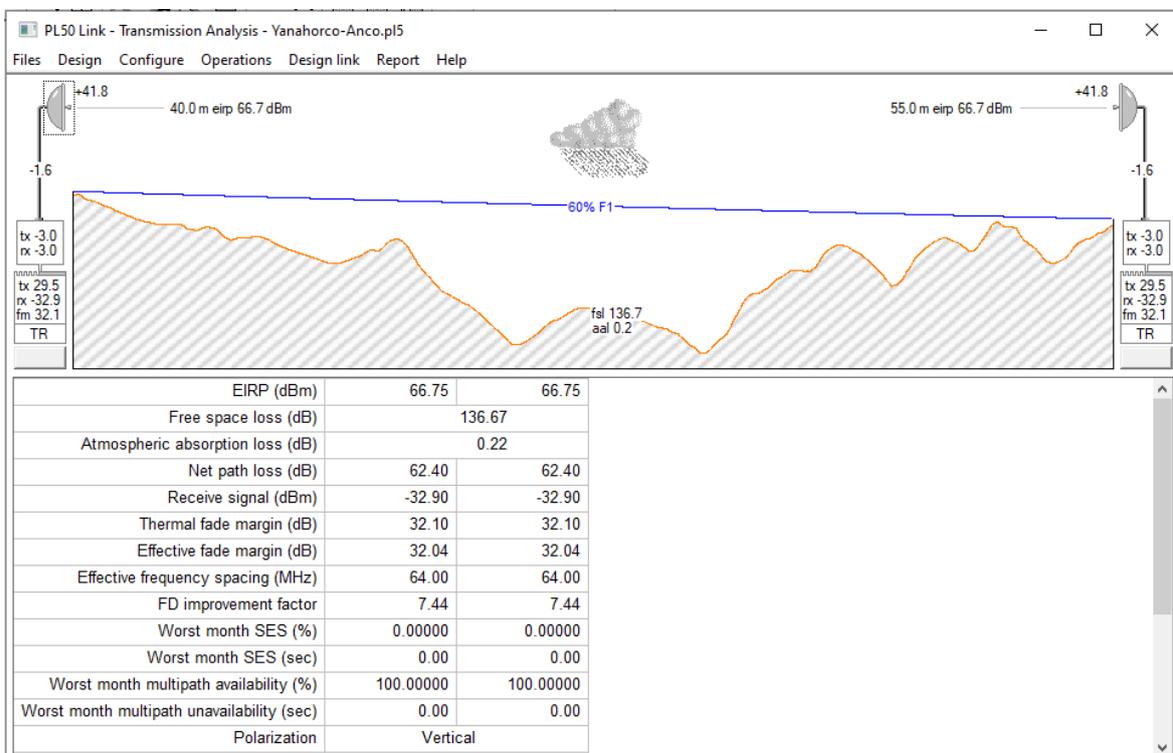


Figura 3.6. Simulación del enlace Yanahorco - Anco

Fuente: Elaboración propia

### Enlace Anco – Sivia

En la Figura 3.7 se muestra el perfil de elevación con la altura del obstáculo más alto a 3.32 km desde el nodo Anco. Esta altura es de 3 911 m aproximados sobre el nivel del mar. Considerando la altu-

ra de las torres de la Tabla 3.3, se ubica la antena a 62 m en el nodo Anco y a 63 m en el nodo Sivia. La distancia entre nodos es 39.36 Km.

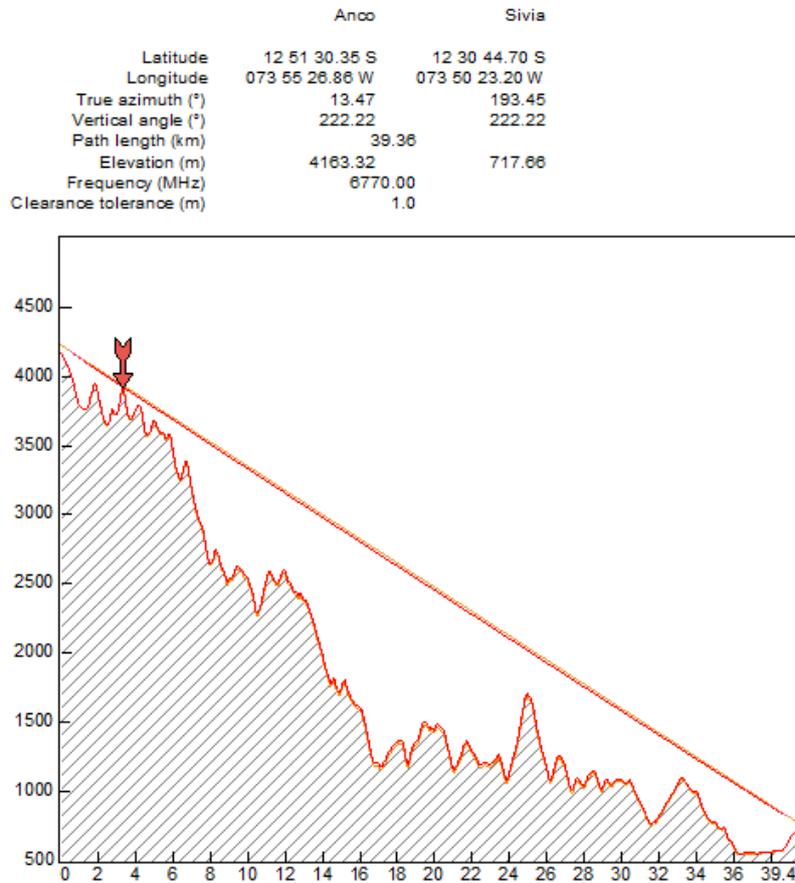


Figura 3.7. Línea de vista del enlace Anco - Sivia  
Fuente: Elaboración propia

De las ecuaciones 2.1 y 2.2, se calcula el radio de Fresnel y el radio de despeje:

$$Fn = 17,32 \sqrt{\frac{(36,04) \cdot (3,32)}{(39,36) \cdot (6,77)}} = 11,6m \quad (3.8)$$

$$Fn' = 780 + \frac{(36,04)}{(39,36)}(3445) - \left( 3911 + \frac{(36,04) \cdot (3,32)}{2(1,33)(6371)Km} \right) = 16,37m \quad (3.9)$$

Se verifica que el radio de despeje es mayor que el radio de Fresnel, por lo que se valida la línea de vista.

---

De las ecuaciones 2.3 se obtiene la atenuación básica por pérdidas en el espacio:

$$L_{s(dB)} = 92,4 + 20\log(6,77) + 20\log(39,36) = 140,91dB \quad (3.10)$$

De las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.7, se calcula el valor de la potencia de recepción, el valor de PIRE en el transmisor y el margen de desvanecimiento del enlace. Los valores de ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad se obtienen de la Tabla 3.6 y Tabla 3.4 considerando una modulación de 512 QAM:

$$P_{rx} = 29,5 - 4,56 + 41,8 - 140,91 + 41,8 - 4,56 = -37,43dBm \quad (3.11)$$

$$PIRE_{(dBm)} = 29,5 - 4,56 + 41,8 = 66,74dBm \quad (3.12)$$

$$F_m = -37,43 - (-65) = 27,57dBm \quad (3.13)$$

De la ecuación 2.8 se obtiene la confiabilidad (R) del enlace, se usa método de Vigants Barnet por facilidad de cálculo; para la simulación se utiliza los métodos recomendados por la UIT:

$$1 - R = 6 \cdot (10)^{-7} \cdot (0,25) \cdot (0,125) \cdot (6,77) \cdot (39,36)^3 \cdot (10)^{-27,57/10} = 99,999 \% \quad (3.14)$$

Para la simulación se utiliza valores similares a los mencionados, trabajando en 1 sola polaridad. Se muestra en la Figura 3.8 una simulación del enlace.

Nota: solo para este enlace se debería de realizar un estudio de los efectos de desvanecimiento por multitrayecto para largas distancias.

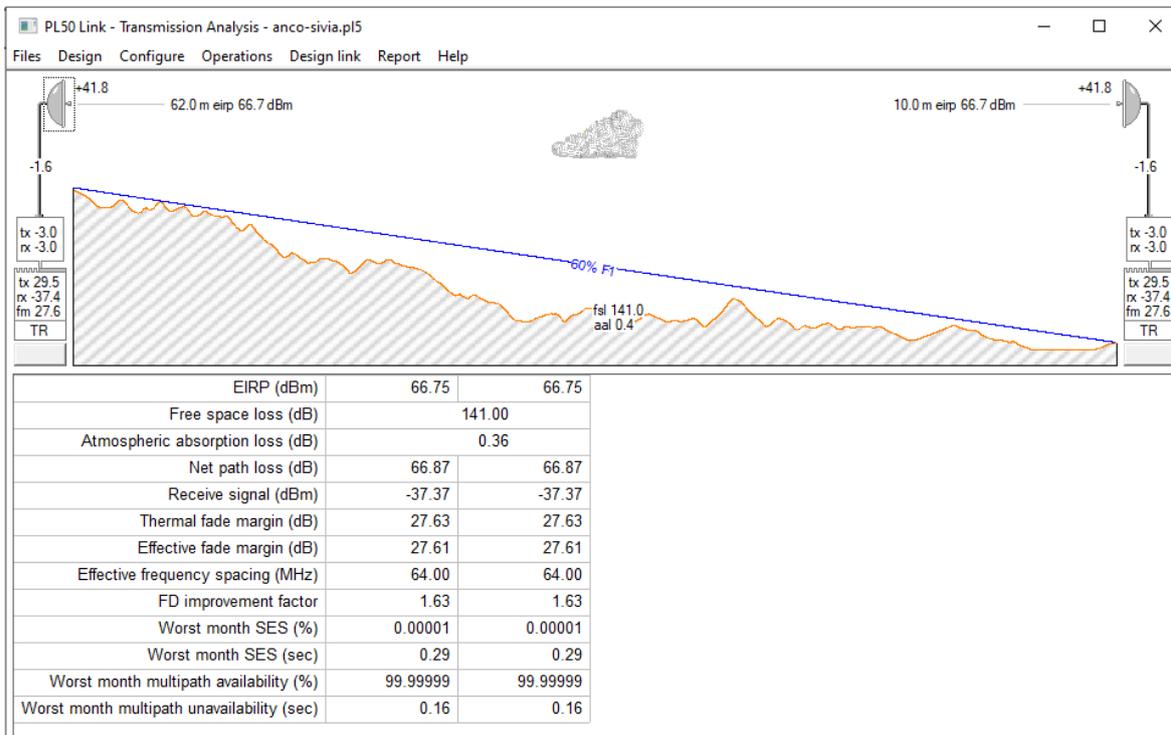


Figura 3.8. Simulación del enlace Anco - Sivia

Fuente: Elaboración propia

### Enlace Sivia – Llochegua

En la Figura 3.9 se muestra el perfil de elevación con la altura del obstáculo más alto a 13.61 km desde el nodo Sivia. Esta altura es de 810 m aproximados sobre el nivel del mar. Considerando la altura de las torres de la Tabla 3.3, se ubica la antena a 25 m en el nodo Sivia y a 20 m en el nodo Llochegua. La distancia entre nodos es 14.71 Km. De las ecuaciones 2.1 y 2.2, se calcula el radio de Fresnel y el radio de despeje:

$$F_n = 17,32 \sqrt{\frac{(13,61) \cdot (1,1)}{(14,71) \cdot (8)}} = 6,18m \quad (3.15)$$

$$F_n' = 742 + \frac{(13,61)}{(14,71)}(157) - \left(810 + \frac{(13,61) \cdot (1,1)}{2(1,33)(6371)Km}\right) = 76,38m \quad (3.16)$$

Se verifica que el radio de despeje es mayor que el radio de Fresnel, por lo que se valida una buena línea de vista.

	Llohegua	Sivia
Latitude	12 23 14.10 S	12 30 44.70 S
Longitude	073 53 08.50 W	073 50 23.20 W
True azimuth (°)	180.18	340.17
Vertical angle (°)	222.22	222.22
Path length (km)	14.72	
Elevation (m)	879.28	717.66
Frequency (MHz)	8000.00	
Clearance tolerance (m)	1.0	

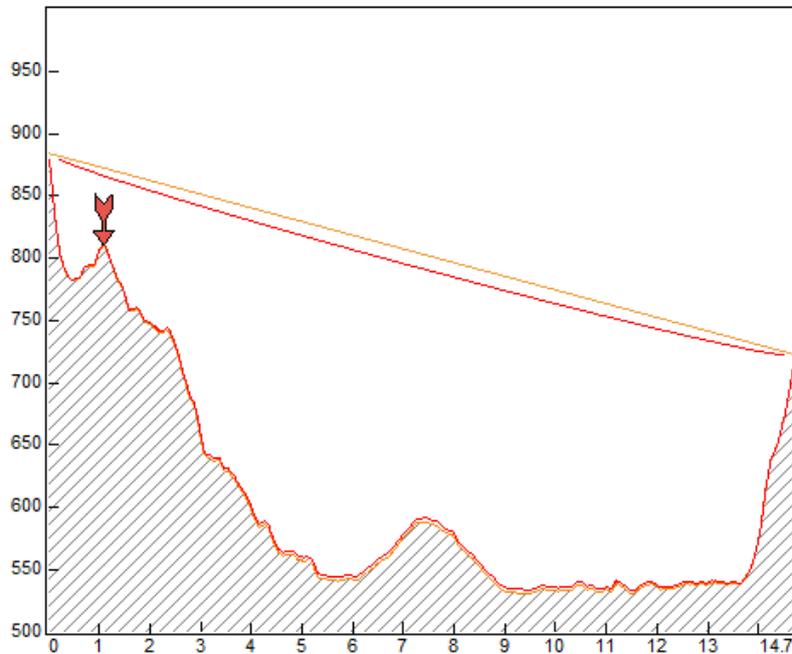


Figura 3.9. Línea de vista del enlace Sivia - Llohegua  
Fuente: Elaboración propia

De las ecuaciones 2.3 se obtiene la atenuación básica por pérdidas en el espacio:

$$L_{s(dB)} = 92,4 + 20\log(8) + 20\log(14,71) = 133,81dB \quad (3.17)$$

Para este enlace se considera un antena de 1.8 m para mayor ganancia. Para el cálculo de las atenuaciones por lluvia, se reemplaza los valores de la Tabla 2.3 en la ecuación 2.9 y considerando el valor de R (mm/H) en el apartado anterior.

$$Y_r = (0,00345) \cdot (95)^{1,3797} = 1,84dB/Km \quad (3.18)$$

---

Se calcula de la ecuación 2.12  $d_0 = 8,418$ .

Este valor es constante para el resto de los enlaces. Luego se obtiene el valor de  $r$  en la ecuación 2.11, para finalmente calcular la atenuación por lluvia de 2.10 y 2.13.

$$r = \frac{1}{1 + \frac{14,71}{8,418}} = 0,364Km \quad (3.19)$$

$$A_p = (1,84).(0,364)(14,71) = 9,85dB \quad (3.20)$$

De las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.7, se calcula el valor de la potencia de recepción, el valor de PIRE en el transmisor y el margen de desvanecimiento del enlace. Los valores de ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad se obtienen de la Tabla 3.5 y Tabla 3.6 considerando una modulación de 512 QAM:

$$P_{rx} = 28,5 - 4,56 + 40,8 - 133,81 + 40,8 - 4,56 = -32,83dBm \quad (3.21)$$

$$PIRE_{(dBm)} = 28,5 - 4,56 + 40,8 = 64,74dBm \quad (3.22)$$

$$F_m = -32,83 - (-64,5) = 31,67dBm \quad (3.23)$$

De la ecuación 2.8 se obtiene la confiabilidad (R) del enlace, se usa método de Vigants Barnet por facilidad de cálculo; para la simulación se utiliza los métodos recomendados por la UIT:

$$1 - R = 6.(10)^{-7}.(0,25).(0,125).(8).(14,71)^3.(10)^{-31,67/10} = 99,999 \% \quad (3.24)$$

Para la simulación se utiliza valores similares a los mencionados, trabajando en 1 sola polaridad. Se muestra en la Figura 3.10 una si-

## mulación del enlace.

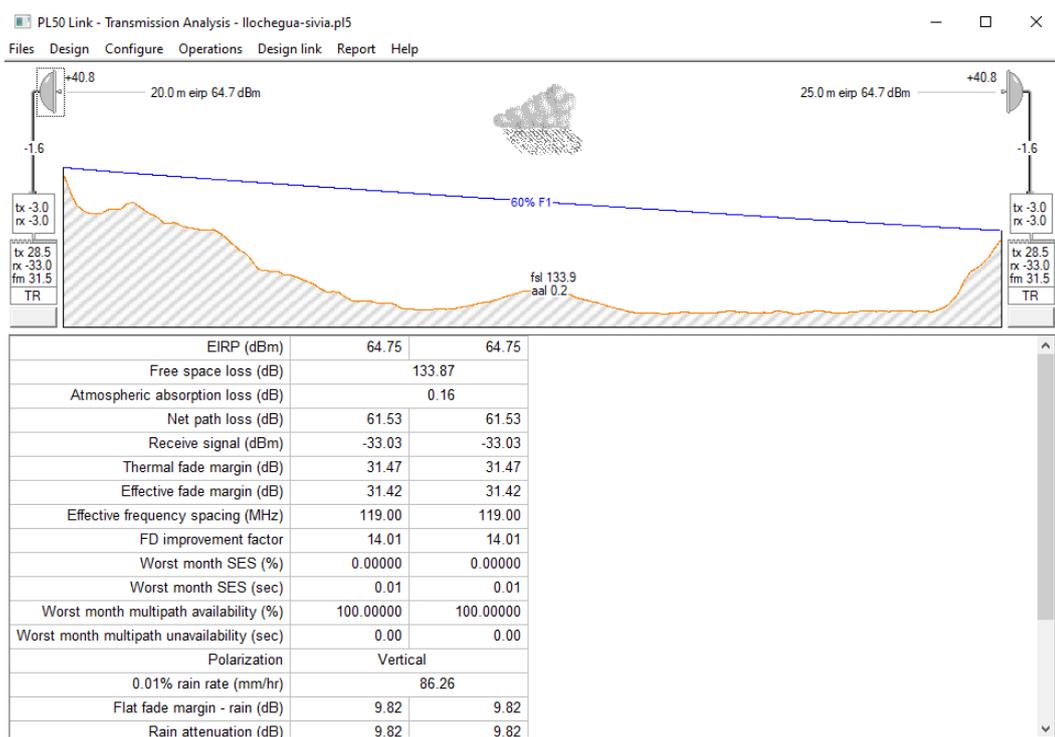


Figura 3.10. Simulación del enlace Sivia - Llochegua

Fuente: Elaboración propia

## Enlace Llochegua – Canayre

En la Figura 3.11 se muestra el perfil de elevación con la altura del obstáculo más alto a 8.94 km desde el nodo Llochegua. Esta altura es de 618 m aproximados sobre el nivel del mar. Considerando la altura de las torres de la Tabla 3.3, se ubica la antena a 40 m en el nodo Canayre y a 15 m en el nodo Llochegua. La distancia entre nodos es 15.42 Km.

De las ecuaciones 2.1 y 2.2, se calcula el radio de Fresnel y el

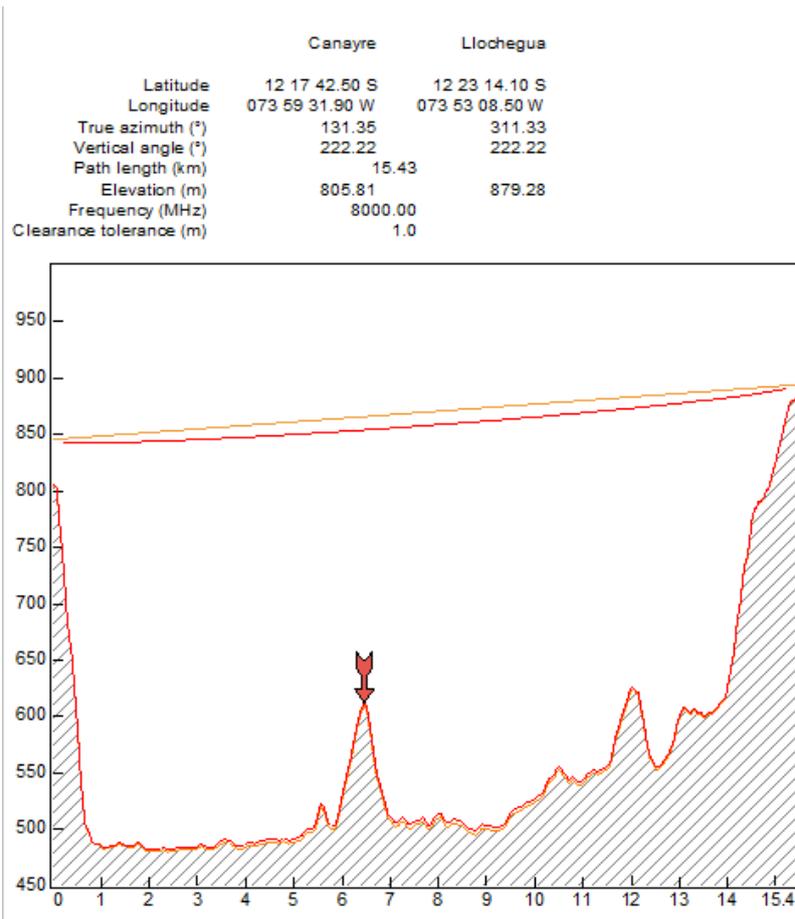


Figura 3.11. Línea de vista del enlace Llochegua - Canayre  
Fuente: Elaboración propia

radio de despeje:

$$Fn = 17,32 \sqrt{\frac{(6,48) \cdot (8,94)}{(15,42) \cdot (6,77)}} = 13,9m \quad (3.25)$$

$$Fn' = 845 + \frac{(6,48)}{(15,42)}(49) - \left(618 + \frac{(6,48) \cdot (8,94)}{2(1,33)(6371)Km}\right) = 244,18m \quad (3.26)$$

Se verifica que el radio de despeje es mayor que el radio de Fresnel, por lo que se valida una buena línea de vista.

Para este enlace se considera al equipo RTN950A con valores para frecuencia de 6 GHz. De las ecuaciones 2.3 se obtiene la atenuación

---

básica por pérdidas en el espacio:

$$L_{S(dB)} = 92,4 + 20\log(6,77) + 20\log(15,42) = 132,77dB \quad (3.27)$$

De las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.7, se calcula el valor de la potencia de recepción, el valor de PIRE en el transmisor y el margen de desvanecimiento del enlace. Los valores de ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad se obtienen de la Tabla 3.6 y Tabla 3.4 considerando una modulación de 1024 QAM:

$$P_{rx} = 27,5 - 4,56 + 41,8 - 132,77 + 41,8 - 4,56 = -30,79dBm \quad (3.28)$$

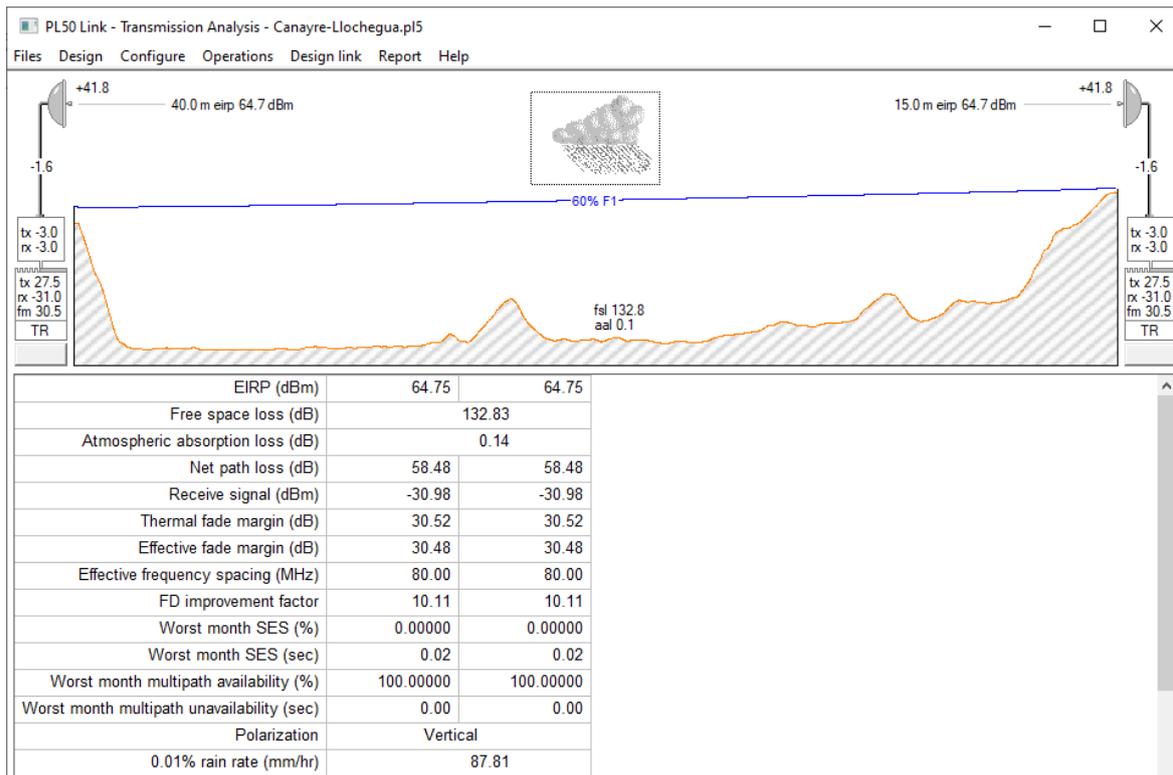
$$PIRE_{(dBm)} = 27,5 - 4,56 + 41,8 = 64,74dBm \quad (3.29)$$

$$F_m = -30,79 - (-64,5) = 33,95dBm \quad (3.30)$$

De la ecuación 2.8 se obtiene la confiabilidad (R) del enlace, se usa método de Vigants Barnet por facilidad de cálculo; para la simulación se utiliza los métodos recomendados por la UIT:

$$1 - R = 6 \cdot (10)^{-7} \cdot (0,25) \cdot (0,125) \cdot (6,77) \cdot (39,36)^3 \cdot (10)^{-33,95/10} = 99,99 \% \quad (3.31)$$

Para la simulación se utiliza valores similares a los mencionados, trabajando en 1 sola polaridad. Se muestra en la Figura 3.12 una simulación del enlace.



*Figura 3.12.* Simulación del enlace Llochegua - Canayre  
Fuente: Elaboración propia

### Enlace Canayre – El Ene

En la Figura 3.13 se muestra el perfil de elevación con la altura del obstáculo más alto a 9.93 km desde el nodo Canayre. Esta altura es de 1 051 m. aproximados sobre el nivel del mar. Considerando la altura de las torres de la Tabla 3.3, se ubica la antena a 35 m en el nodo Canayre y a 11 m en el nodo El Ene. La distancia entre nodos es 11.37 Km.

De las ecuaciones 2.1 y 2.2, se calcula el radio de Fresnel y el radio de despeje:

$$Fn = 17,32 \sqrt{\frac{(9,93) \cdot (1,44)}{(11,37) \cdot (8)}} = 6,87m \quad (3.32)$$

	Canayre	El Ene
Latitude	12 17 42.50 S	12 11 37.97 S
Longitude	073 59 31.90 W	073 58 26.87 W
True azimuth (°)	9.95	189.95
Vertical angle (°)	222.22	222.22
Path length (km)	11.37	
Elevation (m)	805.81	1144.21
Frequency (MHz)	8000.00	
Clearance tolerance (m)	1.0	

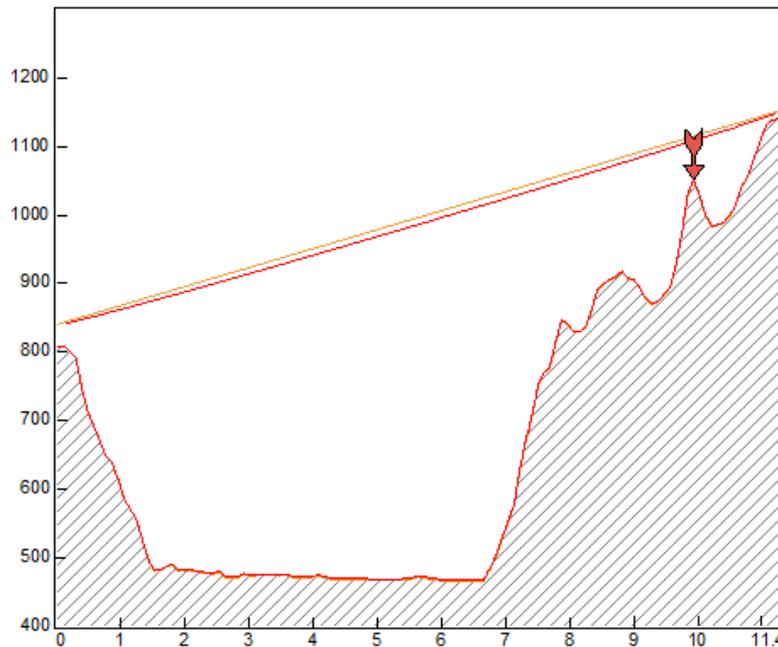


Figura 3.13. Línea de vista del enlace Canayre - El Ene  
Fuente: Elaboración propia

$$Fn' = 840 + \frac{(9,93)}{(11,37)}(315) - \left(1051 + \frac{(9,93) \cdot (1,44)}{2(1,33)(6371)Km}\right) = 63,26m \quad (3.33)$$

Se verifica que el radio de despeje es mayor que el radio de Fresnel, por lo que se valida una buena línea de vista.

De las ecuaciones 2.3 se obtiene la atenuación básica por pérdidas en el espacio:

$$Ls_{(dB)} = 92,4 + 20\log(8) + 20\log(11,37) = 131,58dB \quad (3.34)$$

Para el cálculo de las atenuaciones por lluvia, se reemplaza los valores de la Tabla 2.3 en la ecuación 2.9 y considerando el valor de

---

R (mm/H) en el apartado anterior.

$$Y_r = (0,00345).(95)^{1,3797} = 1,84dB/Km \quad (3.35)$$

Luego se obtiene el valor de r en la ecuación 2.11, para finalmente calcular la atenuación por lluvia de 2.10 y 2.13.

$$r = \frac{1}{1 + \frac{11,37}{8,418}} = 0,425Km \quad (3.36)$$

$$A_p = (1,84).(0,425)(11,37) = 8,89dB \quad (3.37)$$

De las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.7, se calcula el valor de la potencia de recepción, el valor de PIRE en el transmisor y el margen de desvanecimiento del enlace. Los valores de ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad se obtienen de la Tabla 3.6 y Tabla 3.4 considerando una modulación de 512 QAM:

$$P_{rx} = 28,5 - 4,56 + 37,3 - 131,58 + 37,3 - 4,56 = -37,6dBm \quad (3.38)$$

$$PIRE_{(dBm)} = 28,5 - 4,56 + 37,3 = 61,24dBm \quad (3.39)$$

$$F_m = -41,66 - (-64,5) = 26,9dBm \quad (3.40)$$

De la ecuación 2.8 se obtiene la confiabilidad (R) del enlace, se usa método de Vigants Barnet por facilidad de cálculo; para la simulación se utiliza los métodos recomendados por la UIT:

$$1 - R = 6.(10)^{-7}.(0,25).(0,125).(8).(11,37)^3.(10)^{-26,9/10} = 99,999 \% \quad (3.41)$$

Para la simulación se utiliza valores similares a los mencionados,

trabajando en 1 sola polaridad. Se muestra en la Figura 3.14 una simulación del enlace.

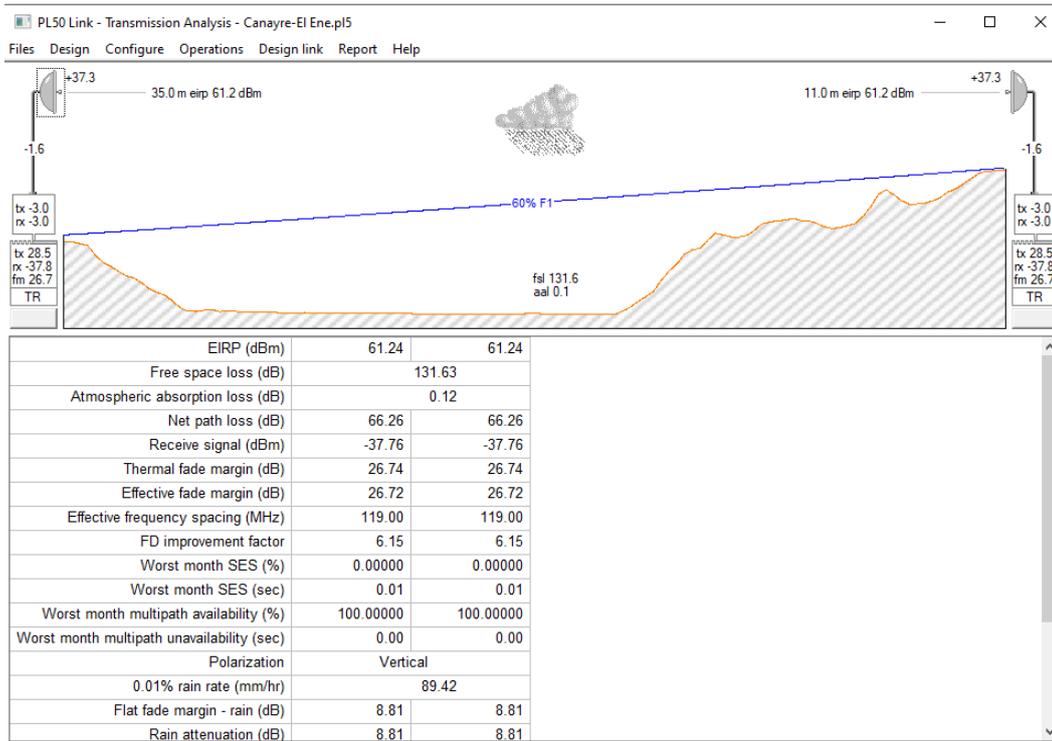


Figura 3.14. Simulación del enlace Canayre - El Ene  
Fuente: Elaboración propia

### Enlace Llochegua - Angeles

En la Figura 3.15 se muestra el perfil de elevación con la altura del obstáculo más alto a 12.82 km desde el nodo Llochegua. Esta altura es de 933 m. aproximados sobre el nivel del mar. Considerando la altura de las torres de la Tabla 3.3, se ubica la antena a 25 m en el nodo Llochegua y a 10 m en el nodo Angeles. La distancia entre nodos es 14.25 Km.

De las ecuaciones 2.1 y 2.2, se calcula el radio de Fresnel y el

	Angeles	Llochegua
Latitude	12 25 35.20 S	12 23 14.10 S
Longitude	074 00 38.20 W	073 53 08.50 W
True azimuth (°)	72.31	252.28
Vertical angle (°)	222.22	222.22
Path length (km)	14.28	
Elevation (m)	1045.84	879.28
Frequency (MHz)	8000.00	
Clearance tolerance (m)	1.0	

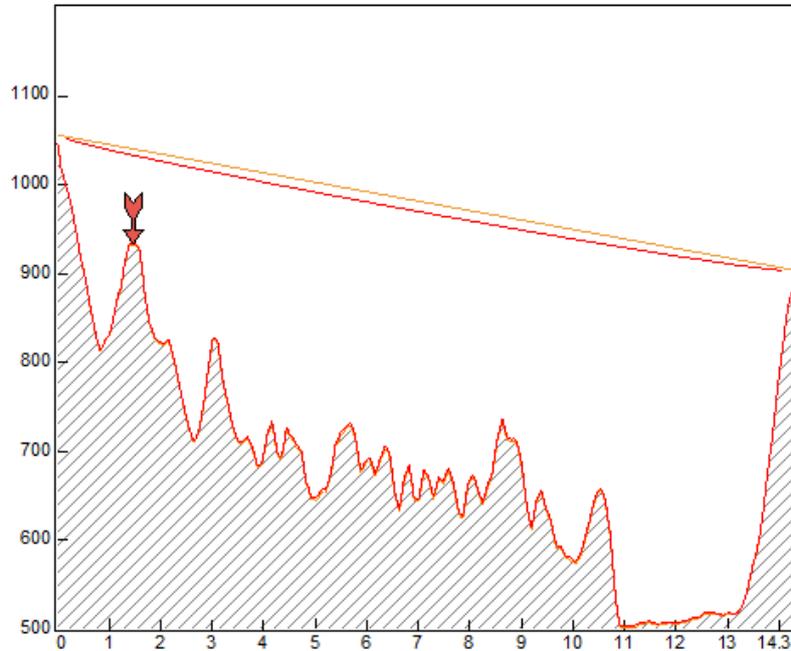


Figura 3.15. Línea de vista del enlace Llochegua - Angeles  
Fuente: Elaboración propia

radio de despeje:

$$Fn = 17,32 \sqrt{\frac{(1,43) \cdot (12,82)}{(14,25) \cdot (8)}} = 19,64m \quad (3.42)$$

$$Fn' = 904 + \frac{(12,82)}{(14,25)}(151) - \left( 933 + \frac{(1,43) \cdot (12,82)}{2(1,33)(6371)Km} \right) = 105,77m \quad (3.43)$$

Para este enlace se considera antena de 1.8 m para mayor ganancia. De las ecuaciones 2.3 se obtiene la atenuación básica por pérdidas en el espacio:

$$Ls_{(dB)} = 92,4 + 20 \log(8) + 20 \log(14,25) = 133,54dB \quad (3.44)$$

Para el cálculo de las atenuaciones por lluvia, se reemplaza los valores de la Tabla 2.3 en la ecuación 2.9 y considerando el valor de R (mm/H) en el apartado anterior.

$$Y_r = (0,00345) \cdot (95)^{1,3797} = 1,84dB/Km \quad (3.45)$$

Luego se obtiene el valor de r en la ecuación 2.11, para finalmente calcular la atenuación por lluvia de 2.10 y 2.13.

$$r = \frac{1}{1 + \frac{14,25}{8,418}} = 0,371Km \quad (3.46)$$

$$A_p = (1,84) \cdot (0,371)(14,25) = 9,73dB \quad (3.47)$$

De las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.7, se calcula el valor de la potencia de recepción, el valor de PIRE en el transmisor y el margen de desvanecimiento del enlace. Los valores de ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad se obtienen de la Tabla 3.6 y Tabla 3.4 considerando una modulación de 512 QAM:

$$P_{rx} = 28,5 - 4,56 + 40,8 - 133,54 + 40,8 - 4,56 = -32,56dBm \quad (3.48)$$

$$PIRE_{(dBm)} = 28,5 - 4,56 + 40,8 = 64,74dBm \quad (3.49)$$

$$F_m = -32,56 - (-64,5) = 31,94dBm \quad (3.50)$$

De la ecuación 2.8 se obtiene la confiabilidad (R) del enlace, se usa método de Vigants Barnet por facilidad de cálculo; para la simulación

se utiliza los métodos recomendados por la UIT:

$$1 - R = 6 \cdot (10)^{-7} \cdot (0,25) \cdot (0,125) \cdot (8) \cdot (14,25)^3 \cdot (10)^{-31,94/10} = 99,99 \% \quad (3.51)$$

Para la simulación se utiliza valores similares a los mencionados, trabajando en 1 sola polaridad. Se muestra en la Figura 3.16 una simulación del enlace.

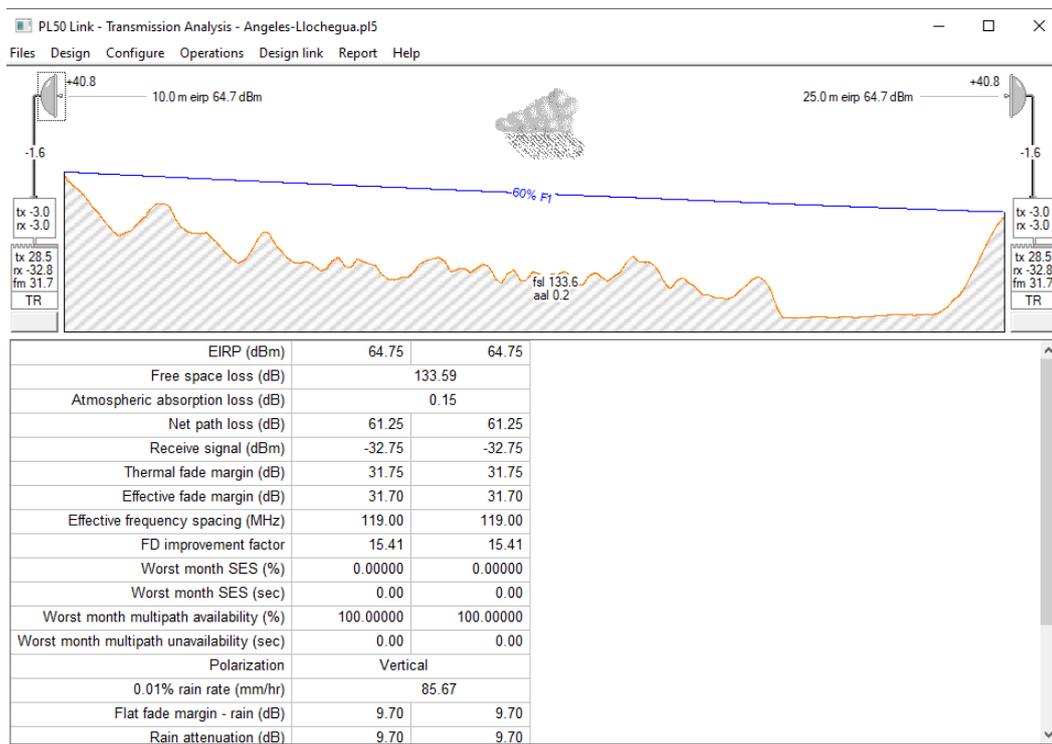


Figura 3.16. Simulación del enlace Llochegua - Angeles  
Fuente: Elaboración propia

### Enlace Llochegua - Mayapo

En la Figura 3.17 se muestra el perfil de elevación con la altura del obstáculo más alto a 0.7 km desde el nodo Llochegua. Esta altura es de 756 m. aproximados sobre el nivel del mar. Considerando la altura de las torres de la Tabla 3.4, se ubica la antena a 28 m en el nodo

Llochegua y a 25 m en el nodo Mayapo. La distancia entre nodos es 7.31 Km.

	Mayapo	Llochegua
Latitude	12 19 00.40 S	12 23 14.10 S
Longitude	073 58 20.20 W	073 53 08.50 W
True azimuth (°)	113.24	293.23
Vertical angle (°)	222.22	222.22
Path length (km)	7.31	
Elevation (m)	772.11	879.28
Frequency (MHz)	8000.00	
Clearance tolerance (m)	1.0	

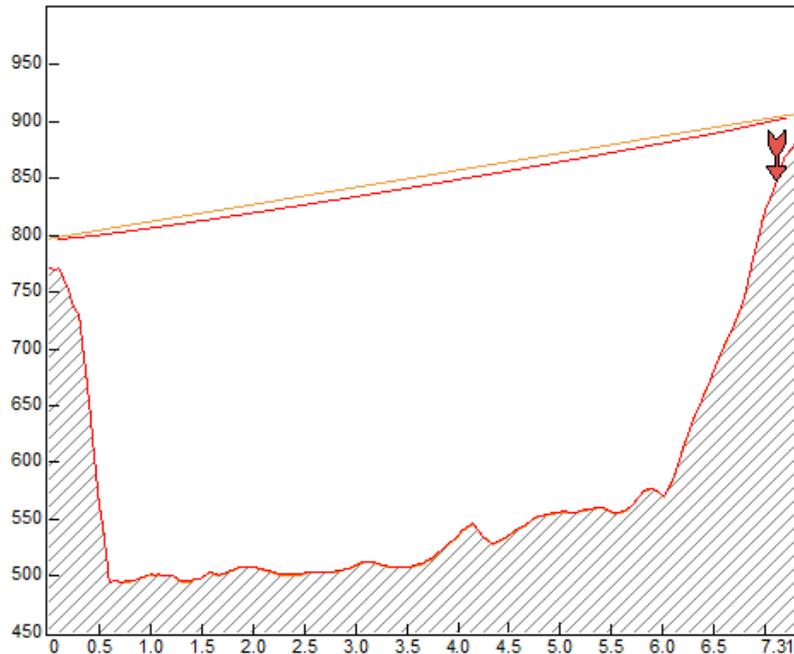


Figura 3.17. Línea de vista del enlace Llochegua - Mayapo  
Fuente: Elaboración propia

De las ecuaciones 2.1 y 2.2, se calcula el radio de Fresnel y el radio de despeje:

$$Fn = 17,32 \sqrt{\frac{(0,7) \cdot (6,61)}{(7,31) \cdot (8)}} = 4,87m \quad (3.52)$$

$$Fn' = 797 + \frac{(0,7)}{(7,31)}(110) - \left(933 + \frac{(0,7) \cdot (6,61)}{2(1,33)(6371)Km}\right) = 51,26m \quad (3.53)$$

Se verifica que el radio de despeje es mayor que el radio de Fresnel, por lo que se valida una buena línea de vista.

---

De las ecuaciones 2.3 se obtiene la atenuación básica por pérdidas en el espacio:

$$L_{s(dB)} = 92,4 + 20\log(8) + 20\log(7,31) = 127,74dB \quad (3.54)$$

Para el calculo de las atenuaciones por lluvia, se reemplaza los valores de la Tabla 2.3 en la ecuación 2.9 y considerando el valor de R (mm/H) en el apartado anterior.

$$Y_r = (0,00345) \cdot (95)^{1,3797} = 1,84dB/Km \quad (3.55)$$

Luego se obtiene el valor de r en la ecuación 2.11, para finalmente calcular la atenuación por lluvia de 2.10 y 2.13.

$$r = \frac{1}{1 + \frac{7,31}{8,418}} = 0,535Km \quad (3.56)$$

$$A_p = (1,84) \cdot (0,371)(14,25) = 7,20dB \quad (3.57)$$

De las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.7, se calcula el valor de la potencia de recepción, el valor de PIRE en el transmisor y el margen de desvanecimiento del enlace. Los valores de ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad se obtienen de la Tabla 3.6 y Tabla 3.4 considerando una modulación de 512 QAM:

$$P_{rx} = 28,5 - 4,56 + 37,3 - 127,74 + 37,3 - 4,56 = -33,76dBm \quad (3.58)$$

$$PIRE_{(dBm)} = 28,5 - 4,56 + 37,3 = 61,24dBm \quad (3.59)$$

$$F_m = -33,76 - (-64,5) = 30,74dBm \quad (3.60)$$

De la ecuación 2.8 se obtiene la confiabilidad (R) del enlace, se usa

método de Vigants Barnet por facilidad de cálculo; para la simulación se utiliza los métodos recomendados por la UIT:

$$1 - R = 6 \cdot (10)^{-7} \cdot (0,25) \cdot (0,125) \cdot (8) \cdot (7,31)^3 \cdot (10)^{-30,74/10} = 99,99 \% \quad (3.61)$$

Para la simulación se utiliza valores similares a los mencionados, trabajando en 1 sola polaridad. Se muestra en la Figura 3.18 una simulación del enlace.

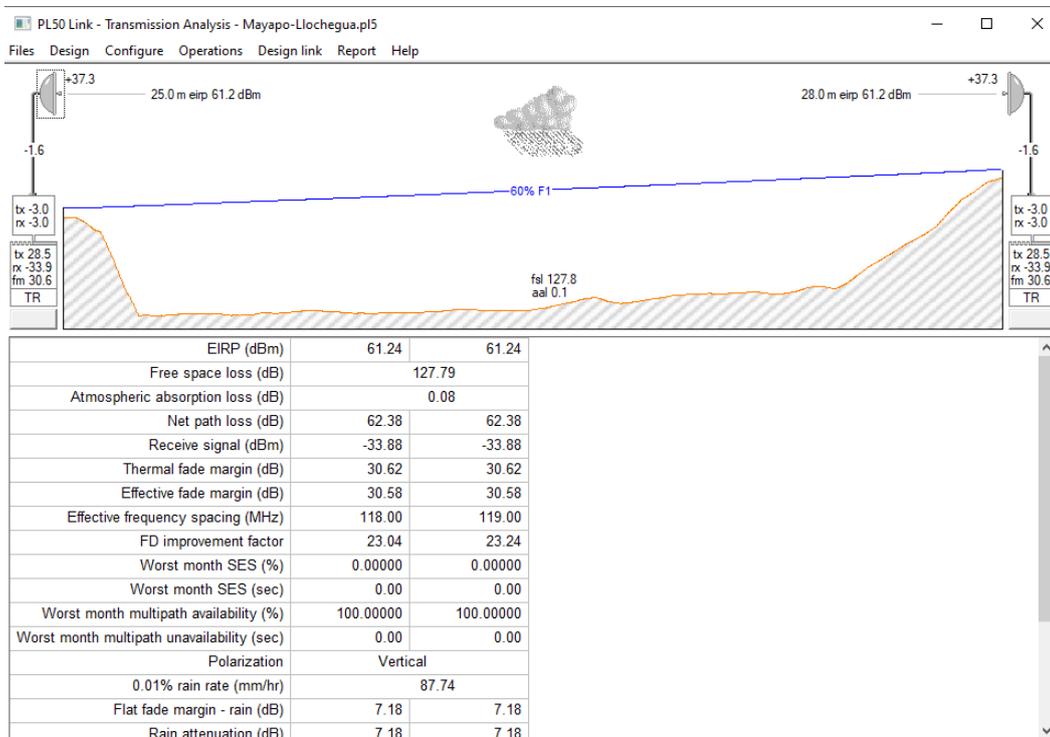


Figura 3.18. Simulación del enlace Llochegua - Mayapo  
Fuente: Elaboración propia

### Enlace Mayapo - Nueva Villa

En la Figura 3.19 se muestra el perfil de elevación con la altura del obstáculo más alto a 1.92 km desde el nodo Nueva Villa. Esta altura es de 749 m. aproximados sobre el nivel del mar. Considerando la al-

tura de las torres de la Tabla 3.3, se ubica la antena a 28 m en el nodo Mayapo y a 10 m en el nodo Nueva Villa. La distancia entre nodos es 2.05 Km.

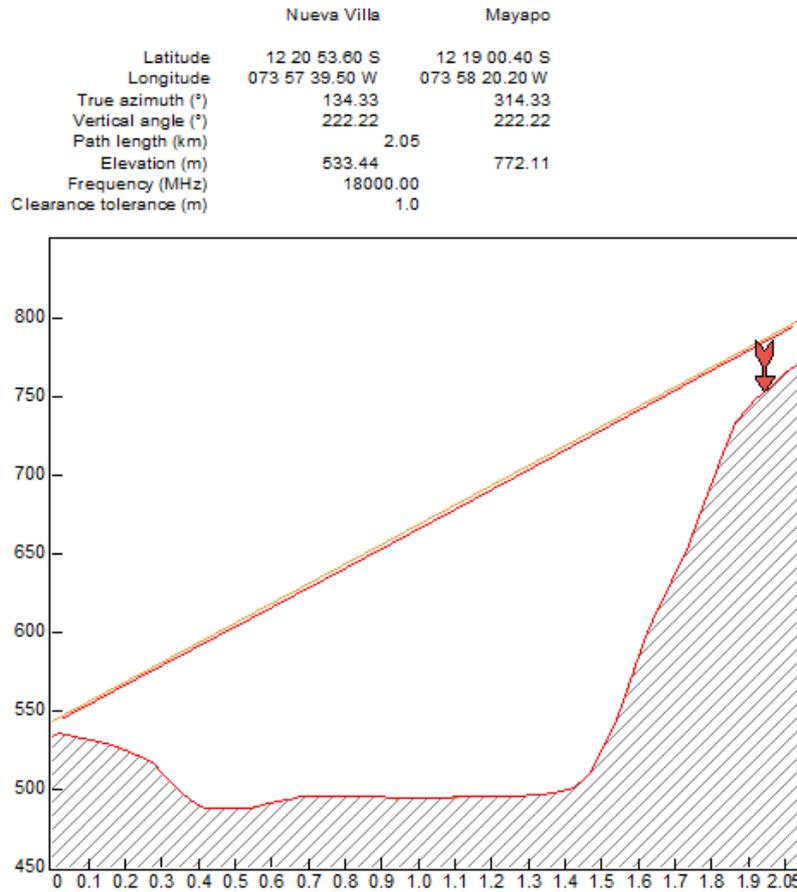


Figura 3.19. Línea de vista del enlace Mayapo - Nueva Villa  
Fuente: Elaboración propia

De las ecuaciones 2.1 y 2.2, se calcula el radio de Fresnel y el radio de despeje:

$$Fn = 17,32 \sqrt{\frac{(0,13) \cdot (1,92)}{(2,05) \cdot (18)}} = 1,42m \quad (3.62)$$

$$Fn' = 543 + \frac{(1,92)}{(2,05)}(257) - \left(749 + \frac{(0,13) \cdot (1,92)}{2(1,33)(6371)Km}\right) = 34,69m \quad (3.63)$$

Se verifica que el radio de despeje es mayor que el radio de Fres-

---

nel, por lo que se valida una buena línea de vista.

De las ecuaciones 2.3 se obtiene la atenuación básica por pérdidas en el espacio:

$$Ls_{(dB)} = 92,4 + 20\log(18,7) + 20\log(2,05) = 124,07dB \quad (3.64)$$

Para el cálculo de las atenuaciones por lluvia, se reemplaza los valores de la Tabla 2.3 en la ecuación 2.9 y considerando el valor de R (mm/H) en el apartado anterior. Además, se calcula sobre una polarización horizontal por ser más vulnerable a la lluvia a estas frecuencias.

$$Y_r = (0,07078) \cdot (95)^{1,0818} = 9,75dB/Km \quad (3.65)$$

Luego se obtiene el valor de r en la ecuación 2.11, para finalmente calcular la atenuación por lluvia de 2.10 y 2.13.

$$r = \frac{1}{1 + \frac{2,05}{8,418}} = 0,80Km \quad (3.66)$$

$$A_p = (9,75) \cdot (0,80) \cdot (2,05) = 15,99dB \quad (3.67)$$

De las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.7, se calcula el valor de la potencia de recepción, el valor de PIRE en el transmisor y el margen de desvanecimiento del enlace. Los valores de ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad se obtienen de la Tabla 3.6 y Tabla 3.4 considerando una modulación de 128 QAM:

$$P_{rx} = 19 - 4,56 + 38,9 - 124,07 + 38,9 - 4,56 = -36,39dBm \quad (3.68)$$

$$PIRE_{(dBm)} = 19 - 4,56 + 38,9 = 53,34dBm \quad (3.69)$$

$$F_m = -36,39 - (-63,5) = 27,11dBm \quad (3.70)$$

De la ecuación 2.8 se obtiene la confiabilidad (R) del enlace, se usa método de Vigants Barnet por facilidad de cálculo; para la simulación se utiliza los métodos recomendados por la UIT:

$$1 - R = 6 \cdot (10)^{-7} \cdot (0,25) \cdot (0,125) \cdot (18,7) \cdot (2,05)^3 \cdot (10)^{-27,11/10} = 99,99 \% \quad (3.71)$$

Para la simulación se utiliza valores similares a los mencionados, trabajando en 1 sola polaridad. Se muestra en la Figura 3.20 una simulación del enlace.

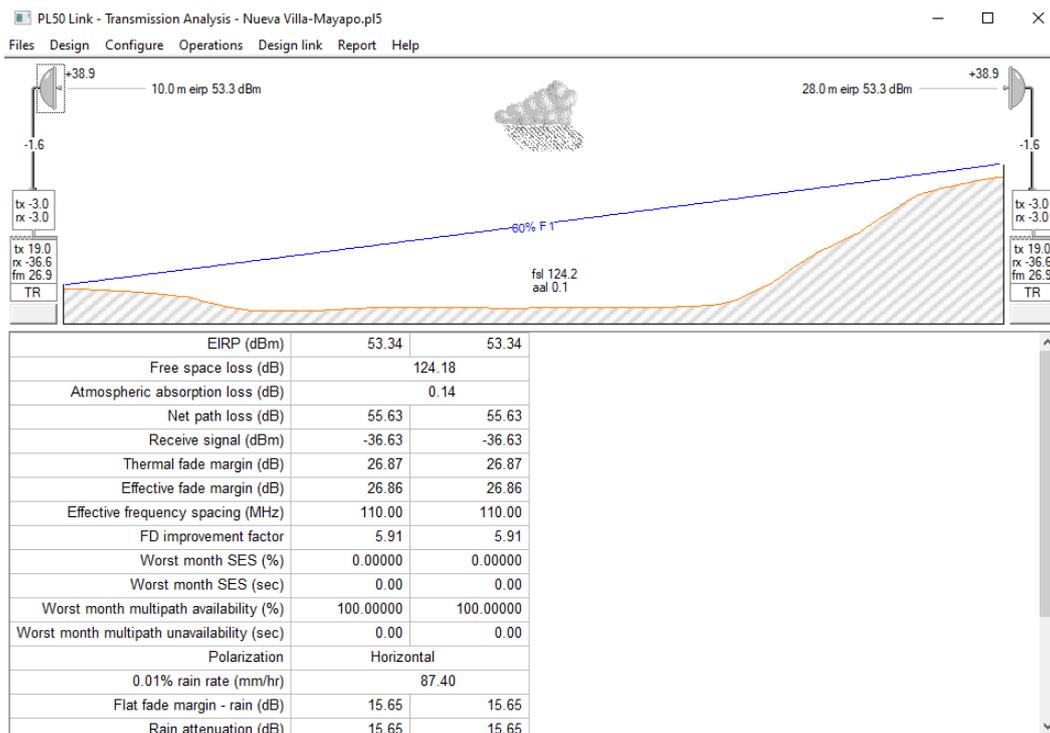


Figura 3.20. Simulación del enlace Mayapo-Nueva Villa  
Fuente: Elaboración propia

## Enlace Rosario - Lomas

En la Figura 3.21 se muestra el perfil de elevación con la altura del obstáculo más alto a 0.07 km desde el nodo Rosario. Esta altura es de 1 019 m. aproximados sobre el nivel del mar. Considerando la altura de las torres de la Tabla 3.3, se ubica la antena a 25 m en el nodo Rosario y a 20 m en el nodo Lomas. La distancia entre nodos es 4.70 Km.

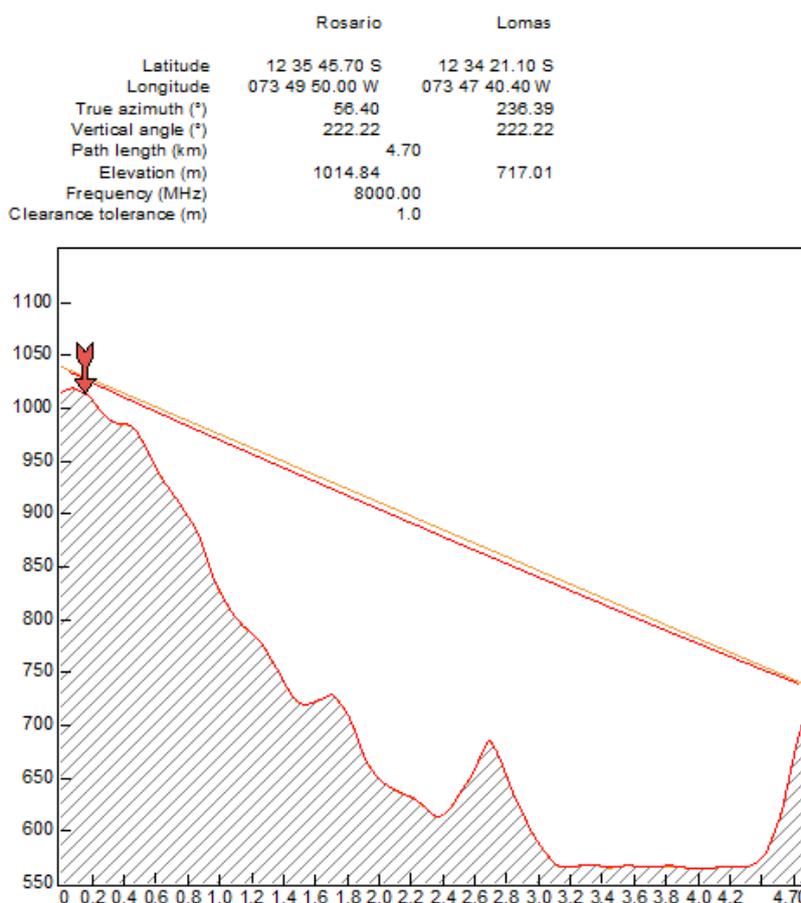


Figura 3.21. Línea de vista del enlace Rosario - Lomas

Fuente: Elaboración propia

De las ecuaciones 2.1 y 2.2, se calcula el radio de Fresnel y el

---

radio de despeje:

$$Fn = 17,32 \sqrt{\frac{(4,63) \cdot (0,07)}{(4,7) \cdot (18)}} = 1,07m \quad (3.72)$$

$$Fn' = 737 + \frac{(4,63)}{(4,7)}(302) - (1019 + \frac{(4,63) \cdot (0,07)}{2(1,33)(6371)Km}) = 15,48m \quad (3.73)$$

Se verifica que el radio de despeje es mayor que el radio de Fresnel, por lo que se valida una buena línea de vista.

Para este enlace se utiliza la antena A18D18HS por tener mayor ganancia con el diámetro. De las ecuaciones 2.3 se obtiene la atenuación básica por pérdidas en el espacio:

$$Ls_{(dB)} = 92,4 + 20\log(18,7) + 20\log(4,70) = 131,28dB \quad (3.74)$$

Para el cálculo de las atenuaciones por lluvia, se reemplaza los valores de la Tabla 2.3 en la ecuación 2.9 y considerando el valor de R (mm/H) en el apartado anterior. Además, se calcula sobre una polarización horizontal por ser más vulnerable a la lluvia a estas frecuencias.

$$Y_r = (0,07078) \cdot (95)^{1,0818} = 9,75dB/Km \quad (3.75)$$

Luego se obtiene el valor de r en la ecuación 2.11, para finalmente calcular la atenuación por lluvia de 2.10 y 2.13.

$$r = \frac{1}{1 + \frac{4,70}{8,418}} = 0,641Km \quad (3.76)$$

$$A_p = (9,75) \cdot (0,641)(4,70) = 29,37dB \quad (3.77)$$

Para este enlace se utiliza una antena de 1.2m. De las ecuacio-

nes 2.4, 2.5 y 2.7, se calcula el valor de la potencia de recepción, el valor de PIRE en el transmisor y el margen de desvanecimiento del enlace. Los valores de ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad se obtienen de la Tabla 3.6 y Tabla 3.4 considerando una modulación de 256 QAM:

$$P_{rx} = 20 - 4,56 + 44,5 - 131,28 + 44,5 - 4,56 = -31,4dBm \quad (3.78)$$

$$PIRE_{(dBm)} = 20 - 4,56 + 44,5 = 59,94dBm \quad (3.79)$$

$$F_m = -31,4 - (-65,5) = 34,1dBm \quad (3.80)$$

De la ecuación 2.8 se obtiene la confiabilidad (R) del enlace, se usa método de Vigants Barnet por facilidad de cálculo; para la simulación se utiliza los métodos recomendados por la UIT:

$$1 - R = 6 \cdot (10)^{-7} \cdot (0,25) \cdot (0,125) \cdot (18,7) \cdot (1,98)^3 \cdot (10)^{-34,1/10} = 99,999 \% \quad (3.81)$$

Para la simulación se utiliza valores similares a los mencionados, trabajando en 1 sola polaridad. Se muestra en la Figura 3.22 una simulación del enlace.

### **Enlace Sivia - Rosario**

En la Figura 3.23 se muestra el perfil de elevación con la altura del obstáculo más alto a 8.75 km desde el nodo Sivia. Esta altura es de 968 m. aproximados sobre el nivel del mar. Considerando la altura de las torres de la Tabla 3.3, se ubica la antena a 20 m en el nodo Rosario y a 40 m en el nodo Sivia. La distancia entre nodos es 9.30 Km.

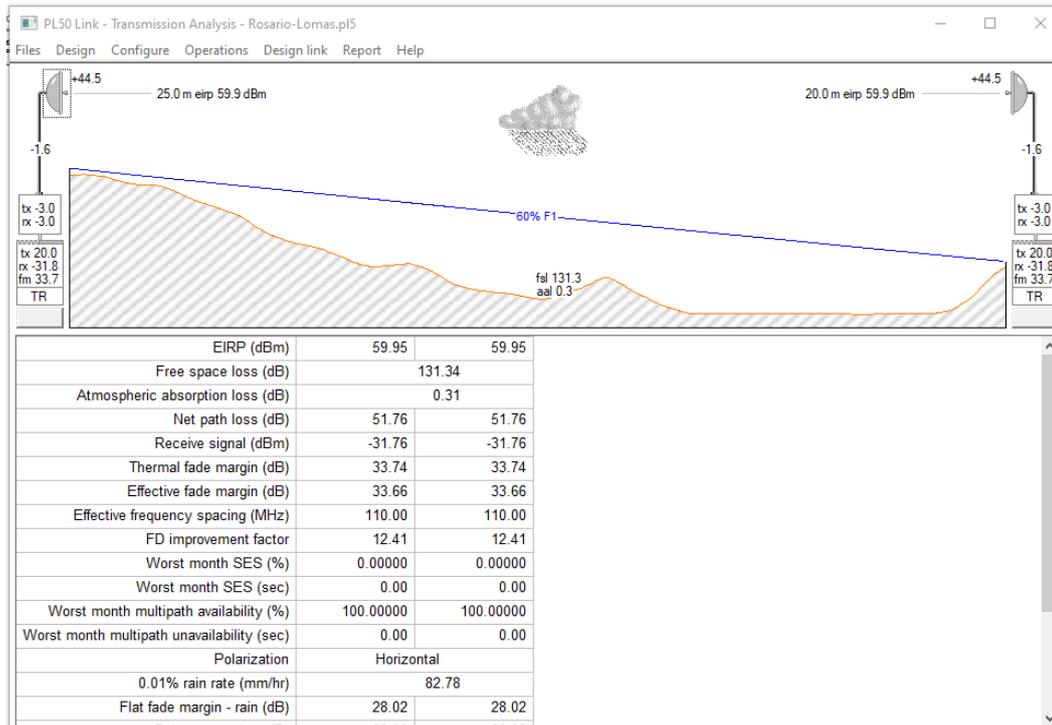


Figura 3.22. Simulación del enlace Rosario - Lomas

Fuente: Elaboración propia

De las ecuaciones 2.1 y 2.2, se calcula el radio de Fresnel y el radio de despeje:

$$Fn = 17,32 \sqrt{\frac{(8,49) \cdot (0,81)}{(9,3) \cdot (8)}} = 5,27m \quad (3.82)$$

$$Fn' = 757 + \frac{(8,49)}{(9,3)}(977) - (968 + \frac{(8,49) \cdot (0,81)}{2(1,33)(6371)Km}) = 41,47m \quad (3.83)$$

Se verifica que el radio de despeje es mayor que el radio de Fresnel, por lo que se valida una buena línea de vista.

De las ecuaciones 2.3 se obtiene la atenuación básica por pérdidas en el espacio:

$$Ls_{(dB)} = 92,4 + 20\log(8) + 20\log(9,30) = 129,83dB \quad (3.84)$$

	Sivia	Rosario
Latitude	12 30 44.70 S	12 35 45.70 S
Longitude	073 50 23.20 W	073 49 50.00 W
True azimuth (°)	173.82	353.82
Vertical angle (°)	222.22	222.22
Path length (km)	9.30	
Elevation (m)	717.66	1014.84
Frequency (MHz)	8000.00	
Clearance tolerance (m)	1.0	

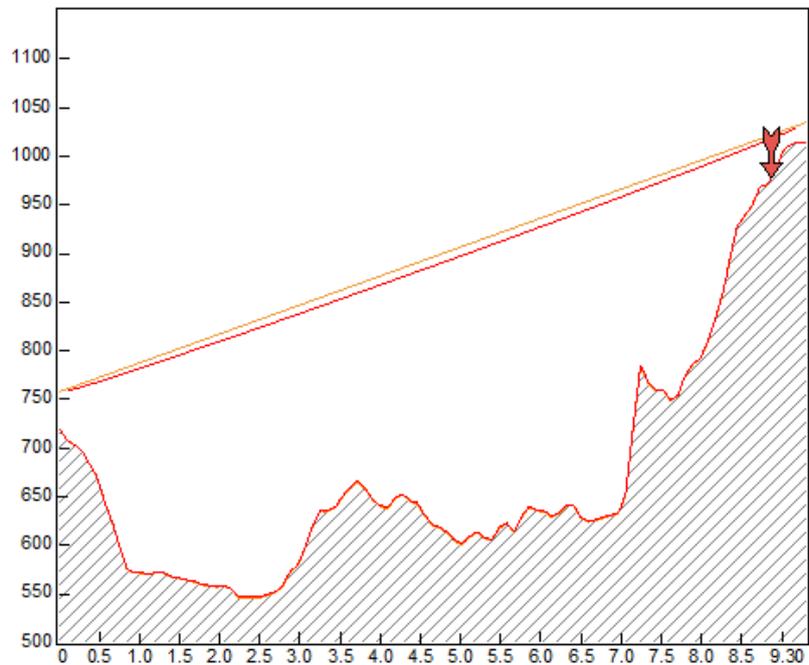


Figura 3.23. Línea de vista del enlace Sivia - Rosario

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de las atenuaciones por lluvia, se reemplaza los valores de la Tabla 2.3 en la ecuación 2.9 y considerando el valor de R (mm/H) en el apartado anterior.

$$Y_r = (0,00345) \cdot (95)^{1,3797} = 1,84 \text{ dB/Km} \quad (3.85)$$

Luego se obtiene el valor de r en la ecuación 2.11, para finalmente calcular la atenuación por lluvia de 2.10 y 2.13.

$$r = \frac{1}{1 + \frac{9,30}{8,418}} = 0,475 \text{ Km} \quad (3.86)$$

$$A_p = (1,84) \cdot (0,475) \cdot (9,30) = 8,13 \text{ dB} \quad (3.87)$$

De las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.7, se calcula el valor de la potencia de recepción, el valor de PIRE en el transmisor y el margen de desvanecimiento del enlace. Los valores de ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad se obtienen de la Tabla 3.6 y Tabla 3.4 considerando una modulación de 512 QAM:

$$P_{rx} = 28,5 - 4,56 + 37,3 - 129,83 + 37,3 - 4,56 = -35,85dBm \quad (3.88)$$

$$PIRE_{(dBm)} = 28,5 - 4,56 + 37,3 = 61,24dBm \quad (3.89)$$

$$F_m = -35,85 - (-64,5) = 28,65dBm \quad (3.90)$$

De la ecuación 2.8 se obtiene la confiabilidad (R) del enlace, se usa método de Vigants Barnet por facilidad de cálculo; para la simulación se utiliza los métodos recomendados por la UIT:

$$1 - R = 6 \cdot (10)^{-7} \cdot (0,25) \cdot (0,125) \cdot (8) \cdot (9,30)^3 \cdot (10)^{-28,65/10} = 99,99 \% \quad (3.91)$$

Para la simulación se utiliza valores similares a los mencionados, trabajando en 1 sola polaridad. Se muestra en la Figura 3.24 una simulación del enlace.

### **Enlace Llochegua - Pueblo**

En la Figura 3.25 se muestra el perfil de elevación con la altura del obstáculo más alto a 1.18 km desde el nodo Llochegua. Esta altura es de 870 m. aproximados sobre el nivel del mar. Considerando la altura de las torres de la Tabla 3.3, se ubica la antena a 10 m en el nodo Llochegua y a 25 m en el nodo Pueblo. La distancia entre nodos es

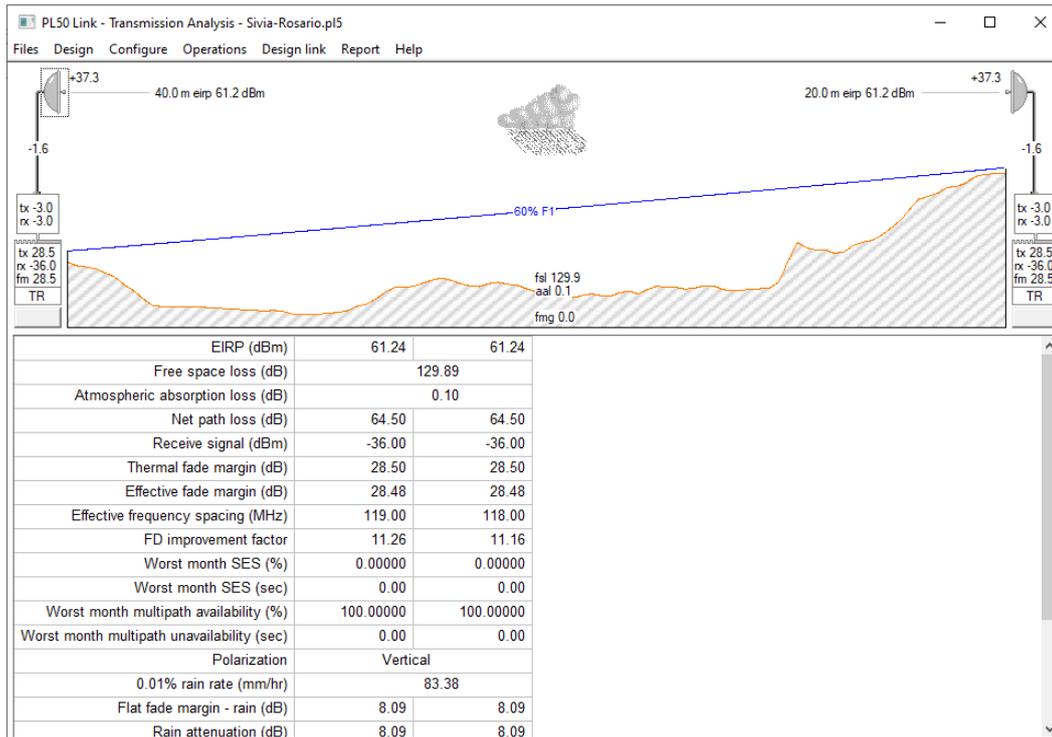


Figura 3.24. Simulación del enlace Sivia - Rosario  
Fuente: Elaboración propia

4.03 Km.

De las ecuaciones 2.1 y 2.2, se calcula el radio de Fresnel y el radio de despeje:

$$Fn = 17,32 \sqrt{\frac{(1,18) \cdot (2,85)}{(4,03) \cdot (18)}} = 3,73m \quad (3.92)$$

$$Fn' = 869 + \frac{(2,85)}{(4,03)}(20) - \left(870 + \frac{(1,18) \cdot (2,85)}{2(1,33)(6371)Km}\right) = 12,96m \quad (3.93)$$

Se verifica que el radio de despeje es mayor que el radio de Fresnel, por lo que se valida una buena línea de vista.

De las ecuaciones 2.3 se obtiene la atenuación básica por pérdidas

	Llochegua	Pueblo
Latitude	12 23 14.10 S	12 25 10.93 S
Longitude	073 53 08.50 W	073 52 08.22 W
True azimuth (°)	153.11	333.11
Vertical angle (°)	222.22	222.22
Path length (km)	4.03	
Elevation (m)	879.28	844.45
Frequency (MHz)	8000.00	
Clearance tolerance (m)	1.0	

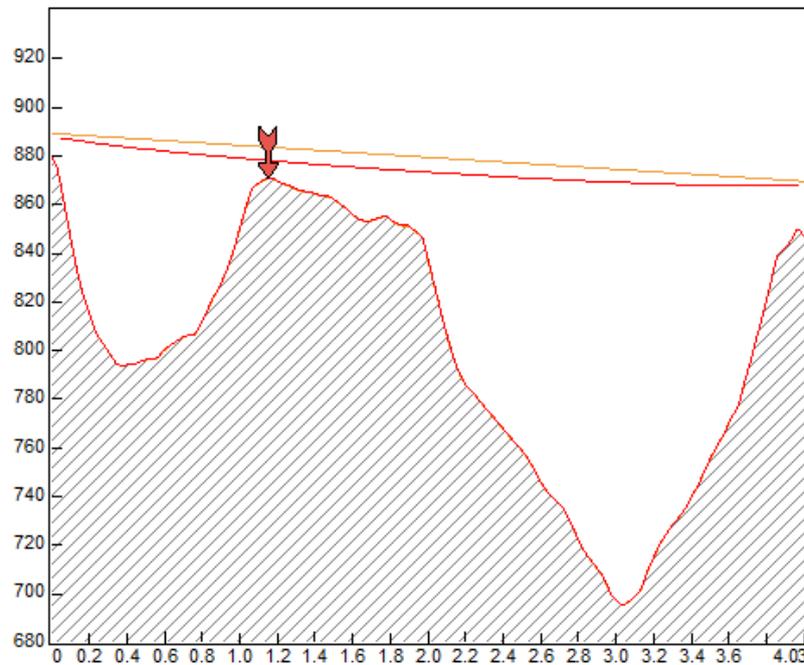


Figura 3.25. Línea de vista del enlace Llochegua - Pueblo  
Fuente: Elaboración propia

en el espacio:

$$L_s(dB) = 92,4 + 20\log(18,7) + 20\log(4,03) = 129,94dB \quad (3.94)$$

Para el cálculo de las atenuaciones por lluvia, se reemplaza los valores de la Tabla 2.3 en la ecuación 2.9 y considerando el valor de R (mm/H) en el apartado anterior. Además, se calcula sobre una polarización horizontal por ser más vulnerable a la lluvia a estas frecuencias.

$$Y_r = (0,07078) \cdot (95)^{1,0818} = 9,75dB/Km \quad (3.95)$$

Luego se obtiene el valor de r en la ecuación 2.11, para finalmente

---

calcular la atenuación por lluvia de 2.10 y 2.13.

$$r = \frac{1}{1 + \frac{4,03}{8,418}} = 0,76Km \quad (3.96)$$

$$A_p = (9,75).(0,76)(4,03) = 29,86dB \quad (3.97)$$

Para este enlace se utiliza una antena de 1.2m. De las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.7, se calcula el valor de la potencia de recepción, el valor de PIRE en el transmisor y el margen de desvanecimiento del enlace. Los valores de ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad se obtienen de la Tabla 3.6 y Tabla 3.4 considerando una modulación de 256 QAM:

$$P_{rx} = 20 - 4,56 + 44,5 - 129,94 + 44,5 - 4,56 = -30,06dBm \quad (3.98)$$

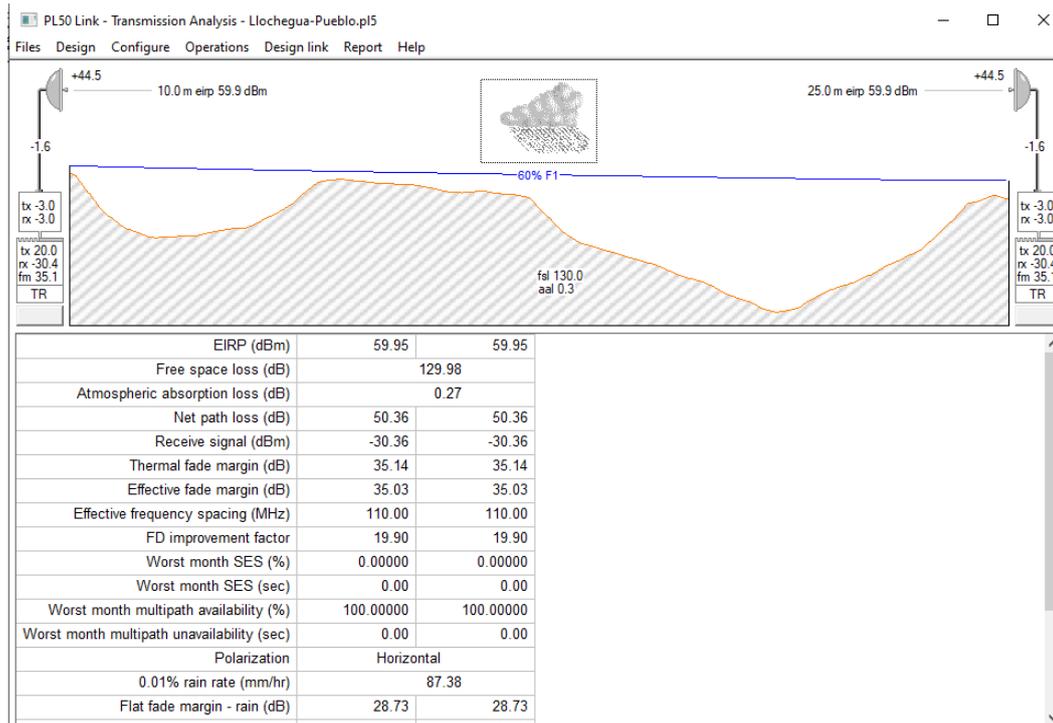
$$PIRE_{(dBm)} = 20 - 4,56 + 44,5 = 59,94dBm \quad (3.99)$$

$$F_m = -30,06 - (-65,5) = 35,44dBm \quad (3.100)$$

De la ecuación 2.8 se obtiene la confiabilidad (R) del enlace, se usa método de Vigants Barnet por facilidad de cálculo; para la simulación se utiliza los métodos recomendados por la UIT:

$$1 - R = 6.(10)^{-7}.(0,25).(0,125).(18,7).(1,98)^3.(10)^{-35,444/10} = 99,99\% \quad (3.101)$$

Para la simulación se utiliza valores similares a los mencionados, trabajando en 1 sola polaridad. Se muestra en la Figura 3.26 una simulación del enlace.



**Figura 3.26.** Simulación del enlace Llochegua - Pueblo  
Fuente: Elaboración propia

### Enlace Pueblo - Rinconada

En la Figura 3.27 se muestra el perfil de elevación con la altura del obstáculo más alto a 0.295 km desde el nodo Pueblo. Esta altura es de 793 m. aproximados sobre el nivel del mar. Considerando la altura de las torres de la Tabla 3.4, se ubica la antena a 20 m en el nodo Rinconada y a 20 m en el nodo Pueblo. La distancia entre nodos es 1.93 Km.

De las ecuaciones 2.1 y 2.2, se calcula el radio de Fresnel y el radio de despeje:

$$Fn = 17,32 \sqrt{\frac{(0,295) \cdot (1,635)}{(1,93) \cdot (18)}} = 2,04m \quad (3.102)$$

	Pueblo	Rinconada
Latitude	12 25 10.93 S	12 28 13.10 S
Longitude	073 52 08.22 W	073 51 59.00 W
True azimuth (°)	171.71	351.71
Vertical angle (°)	222.22	222.22
Path length (km)		1.93
Elevation (m)	844.45	561.12
Frequency (MHz)	8000.00	
Clearance tolerance (m)		1.0

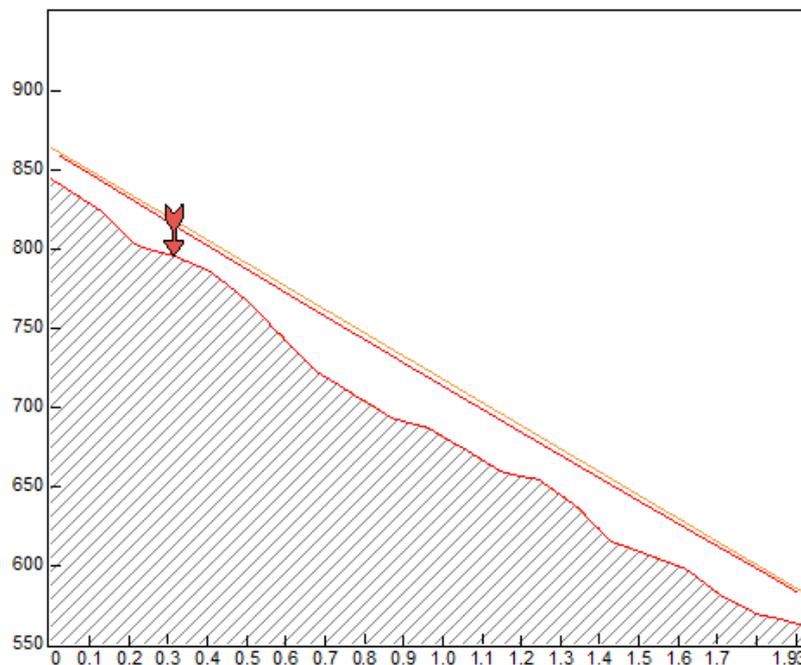


Figura 3.27. Línea de vista del enlace Pueblo - Rinconada  
Fuente: Elaboración propia

$$Fn' = 581 + \frac{(1,635)}{(1,93)}(183) - \left(793 + \frac{(0,295) \cdot (1,635)}{2(1,33)(6371)Km}\right) = 28,8m \quad (3.103)$$

Se verifica que el radio de despeje es mayor que el radio de Fresnel, por lo que se valida una buena línea de vista.

De las ecuaciones 2.3 se obtiene la atenuación básica por pérdidas en el espacio:

$$L_{S(dB)} = 92,4 + 20\log(18,7) + 20\log(1,98) = 123,77dB \quad (3.104)$$

Para el cálculo de las atenuaciones por lluvia, se reemplaza los valores de la Tabla 2.3 en la ecuación 2.9 y considerando el valor de R (mm/H) en el apartado anterior. Además, se calcula sobre una

polarización horizontal por ser más vulnerable a la lluvia a estas frecuencias.

$$Y_r = (0,07078).(95)^{1,0818} = 9,75dB/Km \quad (3.105)$$

Luego se obtiene el valor de r en la ecuación 2.11, para finalmente calcular la atenuación por lluvia de 2.10 y 2.13.

$$r = \frac{1}{1 + \frac{1,98}{8,418}} = 0,813Km \quad (3.106)$$

$$A_p = (9,75).(0,813)(1,98) = 15,69dB \quad (3.107)$$

De las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.7, se calcula el valor de la potencia de recepción, el valor de PIRE en el transmisor y el margen de desvanecimiento del enlace. Los valores de ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad se obtienen de la Tabla 3.6 y Tabla 3.4 considerando una modulación de 128 QAM:

$$P_{rx} = 19 - 4,56 + 38,9 - 123,77 + 38,9 - 4,56 = -36,09dBm \quad (3.108)$$

$$PIRE_{(dBm)} = 19 - 4,56 + 38,9 = 53,34dBm \quad (3.109)$$

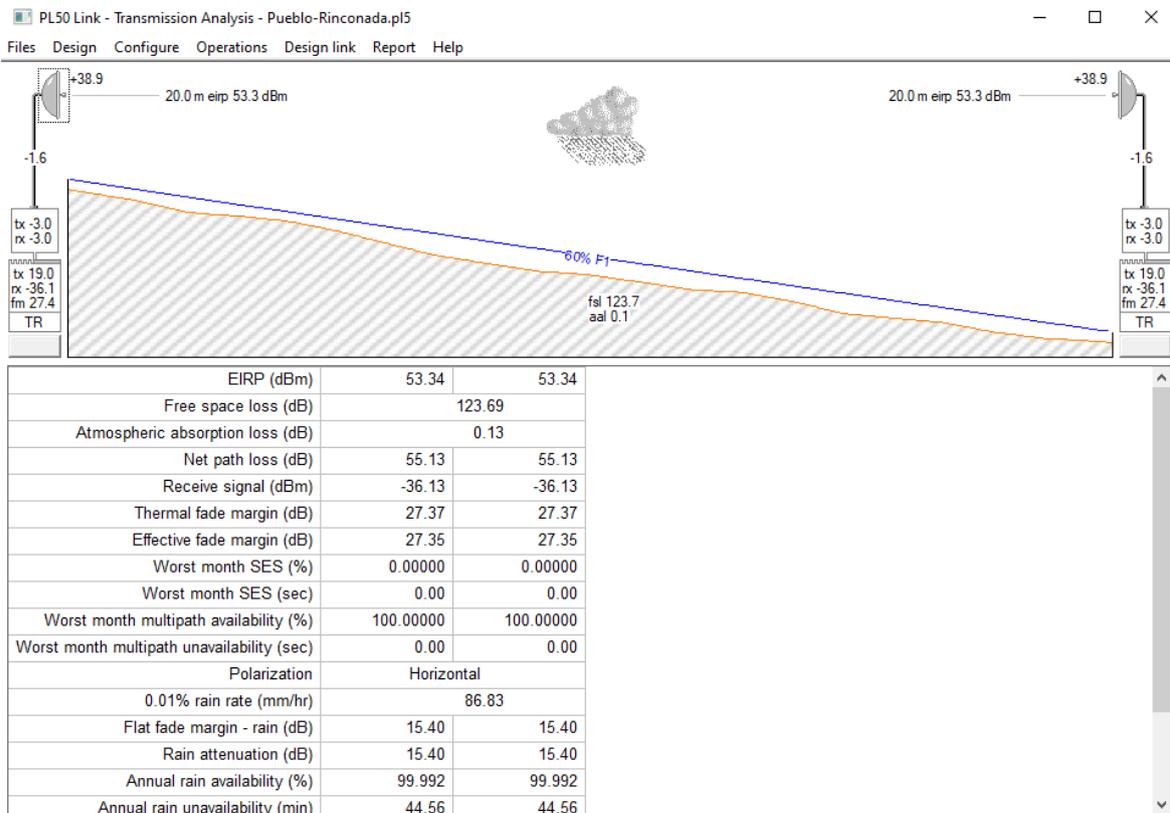
$$F_m = -36,09 - (-63,5) = 27,41dBm \quad (3.110)$$

De la ecuación 2.8 se obtiene la confiabilidad (R) del enlace, se usa método de Vigants Barnet por facilidad de cálculo; para la simulación se utiliza los métodos recomendados por la UIT:

$$1 - R = 6.(10)^{-7}.(0,25).(0,125).(18,7).(1,98)^3.(10)^{-20,69/10} = 99,99\% \quad (3.111)$$

Para la simulación se utiliza valores similares a los mencionados,

trabajando en 1 sola polaridad. Se muestra en la Figura 3.28 una simulación del enlace.



*Figura 3.28.* Simulación del enlace Pueblo - Rinconada  
Fuente: Elaboración propia

Del cálculo realizado en las atenuaciones por lluvia, se observan que se encuentran dentro de los márgenes de desvanecimiento para cada enlace, por lo que no debería ser causa de una afectación de servicios; considerando que son eventos imprevistos durante algunos periodos de tiempo según lo revisado en las consideraciones de clima. Para los enlaces de alta frecuencia de 18 GHz se consideró incluso la polarización horizontal, la cual es mas sensible a los eventos de lluvia.

En la Tabla 3.8 se muestra los resultados comparados de la simulación y algunos valores teóricos, los valores completos simulados se muestran en los anexos del presente trabajo.

Tabla 3.8  
Resumen de simulación y cálculo teórico

Enlace	Valores	Parámetros				
		PIRE (dB)	Total de pérdidas (dB)	Potencia de recepción (dBm)	Margen de desvanecimiento (dBm)	Confiabilidad (%)
Yan - Anc	teóricos	66.74	62.14	-32.64	32.36	99.999
	simulados	66.75	62.4	-32.9	32.1	99.999
Anc - Siv	teóricos	66.74	66.93	-37.43	27.57	99.99
	simulados	66.75	66.87	-37.37	27.63	99.999
Siv - Llo	teóricos	64.74	61.33	-32.83	31.67	99.999
	simulados	64.75	61.53	-33.03	31.47	99.99
Llo - Can	teóricos	64.74	58.29	-30.79	33.95	99.999
	simulados	64.75	58.48	-30.98	30.52	99.999
Can - Ele	teóricos	61.24	66.1	-37.6	26.9	99.99
	simulados	61.24	66.26	-37.76	26.74	99.99
Llo - Ang	teóricos	64.74	61.06	-32.56	31.94	99.99
	simulados	64.75	61.25	-32.75	31.75	99.99
Llo - May	teóricos	61.24	62.26	-33.76	30.74	99.999
	simulados	61.24	62.38	-33.88	30.62	99.99
May - Nue	teóricos	53.34	55.39	-36.39	27.11	99.99
	simulados	53.34	55.63	-36.63	26.87	99.99
Ros - Lom	teóricos	59.94	51.4	-31.4	34.1	99.99
	simulados	59.95	51.76	-31.76	33.74	99.99
Siv - Ros	teóricos	61.24	64.35	-35.85	28.65	99.999
	simulados	61.24	64.5	-36	28.5	99.99
Llo - Pue	teóricos	59.94	50.06	-30.06	35.44	99.99
	simulados	59.95	50.36	-30.36	35.14	99.99
Pue - Rin	teóricos	53.34	55.09	-36.09	27.41	99.99
	simulados	53.34	55.13	-36.13	27.37	99.99

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4. Descripción del equipamiento.

El equipo RTN 980L está conformada por la ODU, la IDU y los acopladores. La unidad de radiofrecuencia (ODU) se ubica en la intemperie junto a la antena, al utilizar 2 ODUs se garantiza una transmisión

con polarización dual full dúplex con XPIC, el equipo tiene un multiplexor integrado para la transmisión y recepción simultanea. En la unidad interna IDU del equipo RTN 980L se tiene 14 slots para configurar diferentes tipo de tarjetas, según las necesidades que se requiere. 2 slots para las tarjetas controladoras CSHL que se encargan del proceso y control de los servicios a transmitir. Otros 2 slots para las tarjetas PIU encargadas del control de la energía eléctrica del equipo. El último slot es para la tarjeta FAN, encargada de la ventilación del equipo. En la figura 3.29 se muestra en la parte superior una imagen del equipo en mención, luego en la parte inferior, se muestra la ubicación de los slots en el equipo.



Slot 28 (FAN)	Slot 26 (PIU)	Slot 27 (PIU)
	Slot 13 (EXT)	Slot 14 (EXT)
	Slot 11 (EXT)	Slot 12 (EXT)
	Slot 9 (EXT)	Slot 10 (EXT)
	Slot 20 (CSHL)	
	Slot 7 (EXT)	Slot 8 (EXT)
	Slot 15 (CSHL)	
	Slot 5 (EXT)	Slot 6 (EXT)
	Slot 3 (EXT)	Slot 4 (EXT)
	Slot 1 (EXT)	Slot 2 (EXT)

Figura 3.29. Equipo IDU de la radio 980L

Fuente: (Huawei, 2014)

---

Se menciona algunas tarjetas a utilizar en el presente trabajo, las tarjetas PIU, FAN y CSHL mencionadas anteriormente, son de uso necesario para el funcionamiento de la radio:

- **ISV3:** Tarjeta proporciona solo una interfaz IF para conexión a la ODU, soporta funciones XPIC y PLA. Soporta tecnologías de transporte Ethernet y SDH. Adaptada para diferentes modulaciones QAM. El proceso XPIC para un enlace lo realiza con cables cruzados entre la tarjeta vertical y la horizontal. Se puede utilizar en los slots del 1 al 14.
- **ISM6:** Tarjeta proporciona dos interfaces IF para conexión a la ODU, soporta funciones XPIC y EPLA. ISM6 realiza el proceso XPIC de forma interna, a diferencia de ISV3, donde requiere una tarjeta para cada polaridad. Soporta tecnologías de transporte Ethernet y SDH. Adaptada para diferentes modulaciones QAM. Se puede utilizar en los slots del 1 al 14.
- **EG4:** Proporciona 4 puertos Gigabitethernet para conexión RJ45/SFP (FO). Es el puerto de conexión al router, en caso se requiera.

El equipo de radio RTN950A tiene funciones similares al RTN980L, la principal diferencia entre ambos radios en la cantidad de slots y la capacidad del equipo para las transmisión a distancia; el equipo RTN 980L tiene más capacidad para el transporte microondas a larga distancia (Long Haul). La IDU del equipo 950A tiene 6 slots para insertar tarjetas de radio de distinto tipo. Las tarjetas necesarias para esta radio están en el slot 11 para la tarjeta FAN que sirve de ventilación al

equipo y la tarjeta controladora CSHO en el slot 7, la tarjeta que suministra energía al equipo (PIU) está incorporada en la controladora. En la Figura 3.30 se muestra en la parte superior una imagen del equipo en mención, luego en la parte inferior, se muestra la ubicación de los slots en el equipo.

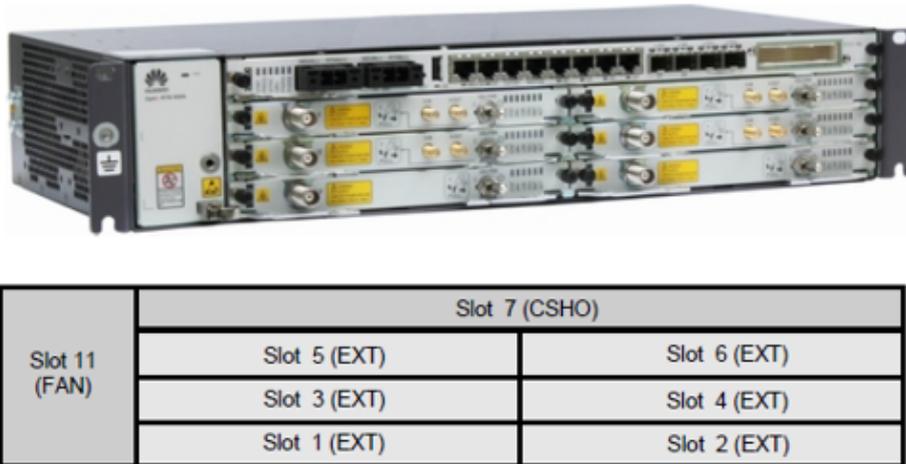


Figura 3.30. Equipo IDU de la radio 950A

Fuente: (Huawei, 2015)

Se menciona algunas tarjetas a utilizar en el presente trabajo:

- **ISV3:** Tarjeta proporciona solo una interfaz IF para conexión a la ODU, soporta funciones XPIC y EPLA. Soporta tecnologías de transporte Ethernet y SDH. Adaptada para diferentes modulaciones QAM. Se puede utilizar en los slots del 1 al 6.
- **ISM6:** Tarjeta proporciona dos interfaces IF para conexión a la ODU, soporta funciones XPIC y EPLA. ISM6 realiza el proceso XPIC de forma interna, a diferencia de ISV3, donde requiere una tarjeta para cada polaridad. Soporta tecnologías de transporte Ethernet y SDH. Adaptada para diferentes modulaciones QAM. Se puede utilizar en los slots del 1 al 6.

- 
- **EG4:** Proporciona 4 puertos Gigabitethernet para conexión RJ45/SFP (FO). Es el puerto de conexión al router, en caso se requiera.

El router ATN910C pertenece a una serie de enrutadores utilizados para los multiservicios de red en una área MAN (red de área metropolitana) basados en rutas que admiten convergencia móvil de punto a punto en capa de acceso. También brinda soluciones IP RAN y líneas arrendadas para clientes corporativos en el servicio 3G y LTE (Evolución a Largo Plazo). Entre algunas características del equipo en mención, se indica: 4 puertos de 10GE + 8 puertos FE/GE, soporta distintos protocolos de capa 2 y capa 3, calidad de servicios QoS y suministro de energía AC y DC. En la parte superior de la Figura 3.31, se muestra la vista frontal del router ATN910C y en la parte inferior la ubicación de las tarjetas y los puertos (Huawei, 2018).

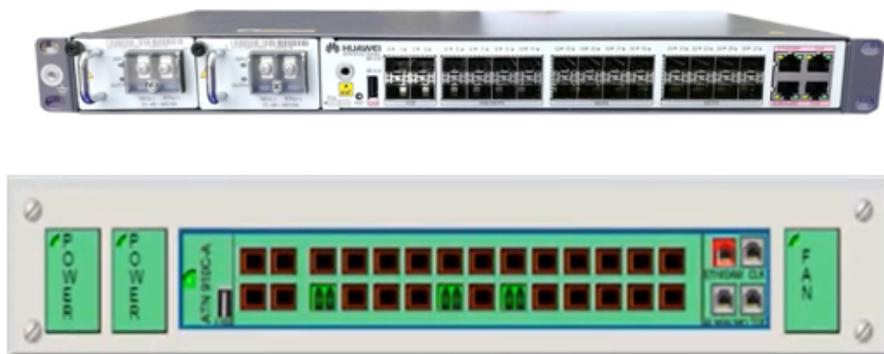


Figura 3.31. Vista del router ATN910C

Fuente: (Huawei, 2018)

El uso del router para los enlaces microondas influye en la capacidad para enrutar paquetes de voz y datos a la red backbone de servicios. En un diseño anterior que consideraba el uso de la radio MPR9500 presentaba problemas por la cantidad de datos que se transportaba entre nodos, hasta ubicar un enrutador adecuado para los pa-

quetes. Además, debido a la cantidad de puertos del equipo, se propone utilizarlos para la gestión de otros elementos de la red de acceso. Cuando se presentaba alarmas externas en los nodos, el monitoreo se limitaba a la cantidad de puertos que tenían las radios. Incluso, el monitoreo se reducía aún mas al intentar incorporar líneas arrendadas para clientes corporativos. Considerando solo la gestión de los elementos de red, requiere de por lo menos 3 puertos GE. Se muestra en la Figura 3.32 un bosquejo de los elementos de la red de acceso de una estación de telefonía móvil.

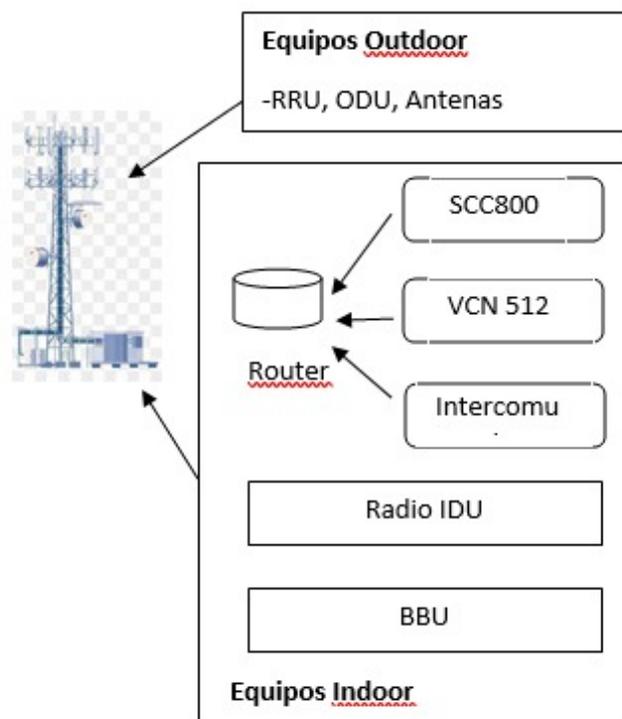


Figura 3.32. Posibles elementos en un nodo de la red de acceso  
Fuente: Elaboración propia

La BBU y la RRU son equipamiento necesario para la RAN (red de acceso radio) siendo utilizado por los usuarios finales. El equipo SCC800 es un elemento para la gestión de distintas alarmas y/o peri-

féricos de red. El equipo VCN 510 es utilizado para la seguridad con vídeo cámaras, su implementación es opcional. El intercomunicador conecta a un puerto del router y es utilizado para la gestión y seguridad del personal que trabaje en el nodo. Se muestra en la Figura 3.33 un ejemplo de la gestión de las alarmas de los elementos de red en el nodo Anco, indicando alarmas de aire acondicionado y en el grupo electrógeno.

Counter Name	Current Value	Unit	Updated
Device Address	1		2021-10-27 07:02:00
Port No. Connected			2021-10-27 07:02:00
Phase L1 Output Voltage	111.0	V	2021-10-27 17:44:21
Phase L2 Output Voltage	0.0	V	2021-10-27 07:02:00
Phase L3 Output Voltage	111.0	V	2021-10-27 17:44:21
Phase L1 Output Current	6.0	A	2021-10-27 17:44:21
Phase L2 Output Current	0.0	A	2021-10-27 07:02:00
Phase L3 Output Current	6.0	A	2021-10-27 17:44:21
Speed	1867.0	rpm	2021-10-27 18:15:50
Coolant Temperature	76.0	degC	2021-10-27 18:01:20
Fuel Level	86	%	2021-10-27 18:09:43
Output Frequency	61.9	Hz	2021-10-27 17:44:21
Total Runtime	476.4	h	2021-10-27 18:07:30
Power Factor	0.98		2021-10-27 17:44:21
Phase L1 Power Factor	0.98		2021-10-27 17:44:21
Phase L2 Power Factor	0.00		2021-10-27 07:02:00
Phase L3 Power Factor	0.98		2021-10-27 17:44:21
Oil Pressure	N/A	Bar	2021-10-27 07:02:00
Control Mode	ATS		2021-10-27 07:02:00
Nominal Power	20.0	kW	2021-10-27 07:02:00

Figura 3.33. Gestión de las alarmas de red a través del SCC800

Fuente: Elaboración propia

Se menciona que el diseño técnico y/o electrónico de la funcionalidad de estos elementos conectados a la red, fueron realizados por otra área de trabajo y no forman parte del presente documento para mejorar la capacidad de los radioenlaces de transporte.

Las capacidades de los enlaces son obtenidas considerando el an-

cho de portadora y la modulación QAM; los valores de capacidad son brindados por el fabricante de radios en sus hojas técnicas según los parámetros mencionados. Estos parámetros a su vez, depende del modo de trabajo de la radio de acuerdo al diseño propuesto en el presente trabajo. Se muestra en la Tabla 3.9 los valores de capacidad de acuerdo a las hojas técnicas las radios RTN980L (Huawei, 2014) y RTN950A (Huawei, 2015), considerando el ancho de portadora propuesto y la modulación requerida.

Tabla 3.9  
Valores de capacidad de las radios

Modo de trabajo	Modulación	Capacidad (Mbps)
Ancho de canal 40 MHz Larga distancia	QPSK	60 a 139
	16 QAM	120 a 279
	32 QAM	158 a 367
	64 QAM	188 a 437
	128 QAM	222 a 517
	256 QAM	254 a 592
	512 QAM	263 a 611
	1024 QAM	270 a 712
Ancho de canal 56 MHz Media y corta distancia	QPSK	-
	16 QAM	175 a 269
	32 QAM	219 a 222
	64 QAM	275 a 423
	128 QAM	326 a 501
	256 QAM	368 a 565
	512 QAM	382 a 588
	1024 QAM	436 a 670

Fuente: Elaboración propia, basado en la hoja técnica de (Huawei, 2014) y (Huawei, 2015)

Los valores mostrados son intervalos de capacidad en la que opera el equipo mediante el empleo de XPIC en una portadora (XPIC 1 + 0), sin embargo, estos valores se duplican o triplican según el modo de operación propuesto en el presente trabajo. Los resultados finales por enlace se muestran en el siguiente apartado.

---

### **3.3. Resultados**

En el presente apartado se muestra los resultados del diseño propuesto para ampliar la capacidad de los radioenlaces. Estos resultados son obtenidos luego de la fase de implementación a cargo de otras áreas de construcción de las cuales no se tuvo participación. Luego se describe la distribución de puerto en un router y el monitoreo de algunas estaciones donde se implementó el sistema. Finalmente se realiza un contraste de los beneficios obtenidos a comparación con la fibra de respaldo alquilada de otra empresa de telecomunicaciones.

#### **3.3.1. Resultados del diseño y capacidad.**

El diseño se implementó considerando la propuesta de incrementar las capacidades mediante el uso de  $N + 0$  XPIC, y teniendo en cuenta las limitaciones con los slots por cada equipo y la disponibilidad de los canales de frecuencias. Para los enlaces troncales de larga distancia se configuró  $3 + 0$  XPIC ( $3x(1+0)$ ) en tarjetas ISV3 por cada polaridad y/o ISM6. Para los enlaces de  $2 + 0$  ( $2x(1+0)$ ) XPIC se configuró en tarjetas ISM6 de doble polaridad; de la misma forma para los enlaces  $1 + 0$  XPIC simples que enlazan nodos terminales.

Es recomendable que los valores del discriminador de polarización cruzada (XPD) se encuentren lo más cercano posible a 30 dB en el proceso de alineamiento de las antenas. Esto para evitar la interferencia entre las polaridades teóricamente ortogonales. Si bien el XPIC debería cancelar las interferencias mencionadas, lo ideal es mantener una linealidad con los valores descritos en las hojas técnicas de los equipos. En la Figura 3.34 se observa parte de la configuración real

---

del enlace YANAHORCO-ANCO en una tarjeta ISM6, con valores similares a los propuestos en el diseño. La tarjeta se configura con 1+0 XPIC en polaridad dual, se configuran aparte otras 2 tarjetas ISM6 con valores iguales. Las tres tarjetas se agrupan en una configuración lógica EPLA para su funcionamiento en 3+0 XPIC (en capa 2) que se requiere para este enlace. En la Figura 3.35 se observa un proceso similar para el enlace Sivia-Llochegua. Gráficos son retirados del gestor U2000 iManager de Huawei.

En la Tabla 3.8 se observa que los valores de margen de desvanecimiento están por encima de los 26 dBm, por lo que las atenuaciones por lluvia no es mayor que dicho margen para ninguno de los casos, teniendo en cuenta estos eventos imprevistos. De lo revisado en el capítulo 2, el margen se mantiene como respaldo del enlace mientras no sobrepase el nivel de sensibilidad del equipo.

De lo considerado en el punto 3.2.2, el 'operador móvil' tiene como sistema de respaldo una red de fibra óptica que enlaza algunos de los nodos principales, esta FO es alquilada desde otro operador y tiene un costo alto por los 850 Mbps que ofrece. En la Tabla 3.8 se observa porcentajes de disponibilidad superiores a 99.99 % para todos los enlaces, considerando evento de indispensabilidad por lluvia y otros factores atmosféricos. El uso de tarjetas ISV3 mantienen el respaldo en 1 polaridad cuando se avería una de ellas, a coste del espacio en la radio. Los nodos que tienen router mantienen un sistema de respaldo de energía mediante generadores eléctricos automáticos; todos los nodos cuentan con reserva de baterías. Se resume en la Tabla 3.10 los resultados de capacidad obtenidos luego de la implementación del

presente trabajo.

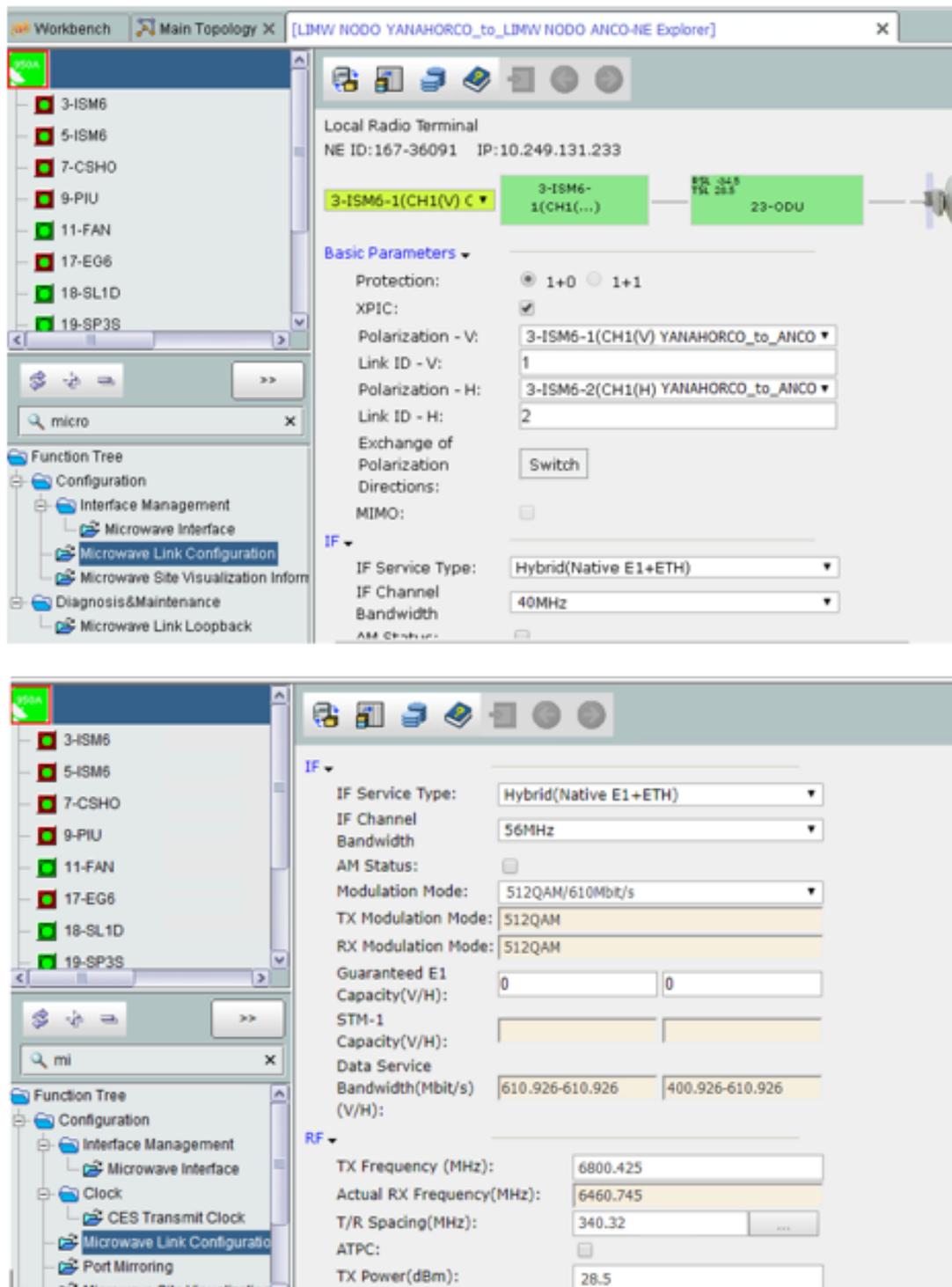


Figura 3.34. Configuración del equipo en el tramo Yanahorco - Anco  
Fuente: Elaboración propia

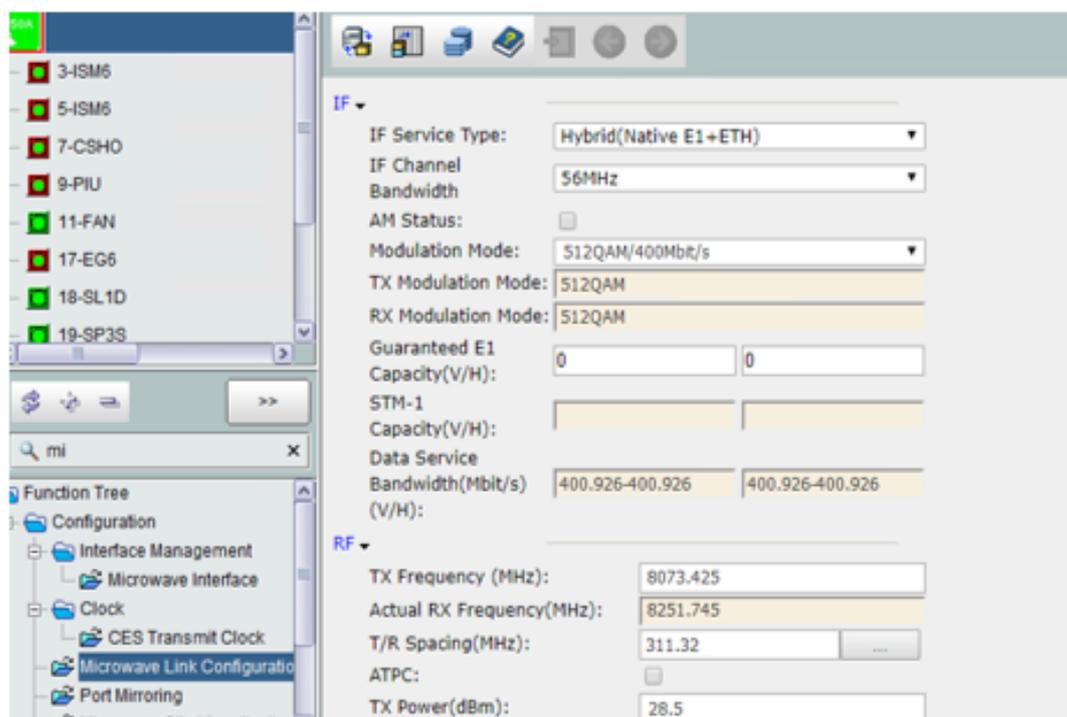
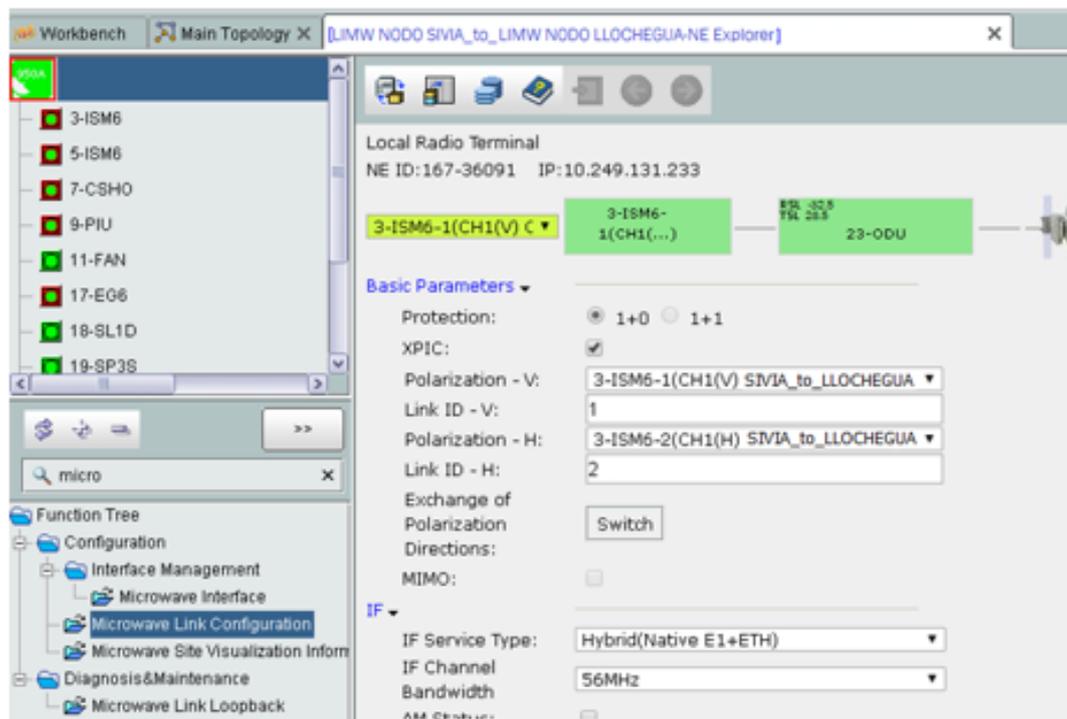


Figura 3.35. Configuración del equipo en el tramo Sivia - Llochegua  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10

*Resumen de las capacidades obtenidas*

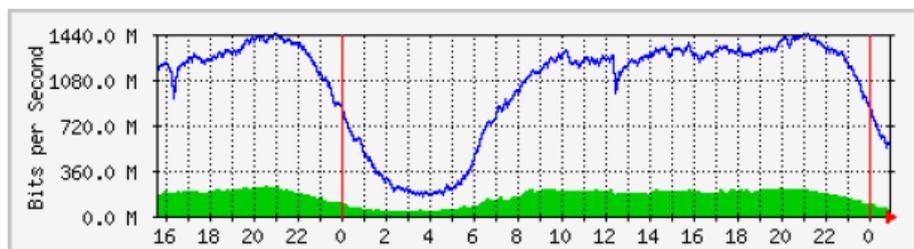
<b>Enlace</b>	<b>Frecuencia media</b>	<b>Modo de trabajo</b>	<b>Ancho de canal</b>	<b>Modulación media</b>	<b>Potencia Rx promedio real</b>	<b>Capacidad total obtenida (Mbps)</b>
Yan - Anc	6.770 GHz	3 + 0 XPIC	40 MHz	512 QAM	-34.5	1 800
Anc - Siv	6.770 GHz	3 + 0 XPIC	40 MHz	512 QAM	-37.4	1 800
Siv - Llo	8 GHz	2 + 0 XPIC	56 MHz	512 QAM	-33.2	1 000
Llo - Can	8 GHz	2 + 0 XPIC	56 MHz	1024 QAM	-32.1	1 100
Can - Ele	8 GHz	2 + 0 XPIC	56 MHz	512 QAM	-37.7	1 000
Llo - Ang	8 GHz	2 + 0 XPIC	56 MHz	512 QAM	-33.5	1 000
Llo - May	8 GHz	2 + 0 XPIC	56 MHz	512 QAM	-34.7	1 000
May - Nue	18.700 GHz	1 + 0 XPIC	56 MHz	128 QAM	-37.6	500
Ros - Lom	18.700 GHz	2 + 0 XPIC	56 MHz	256 QAM	-31.7	900
Siv - Ros	8 GHz	2 + 0 XPIC	56 MHz	512 QAM	-36.5	1 000
Llo - Pue	18.700 GHz	2 + 0 XPIC	56 MHz	256 QAM	-31.9	900
Pue - Rin	18.700 GHz	1 + 0 XPIC	56 MHz	128 QAM	-36.8	500

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.36 se muestra el incremento del tráfico de red en el Yanahorco – Anco medidos en Mbps, donde se observa también el incremento de capacidad superando el valor de 1 Gbps que se tenía previsto para estos enlaces troncales, utilizando 3 + 0 XPIC Long Haul.

The statistics were last updated **Saturday, 6 November 2021 at 0:55**, at which time 'YAN-ANC-DN01' had been up for **451 days, 20:04:18**.

**'Daily' Graph (5 Minute Average)**



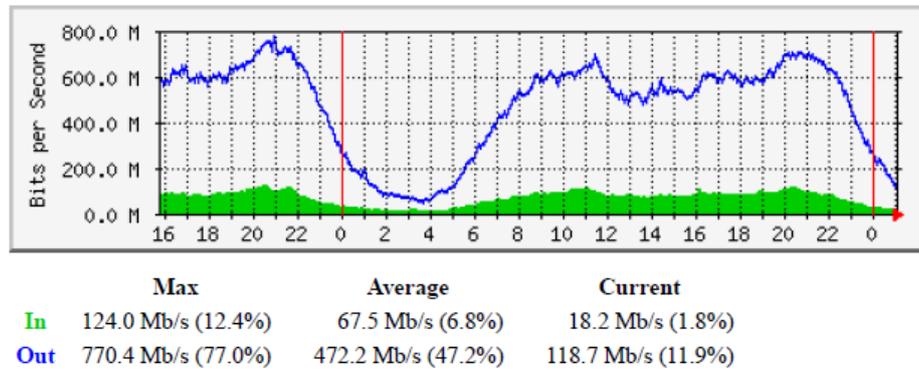
	Max	Average	Current
In	243.6 Mb/s (13.4%)	162.5 Mb/s (9.1%)	54.9 Mb/s (3.1%)
Out	1435.7 Mb/s (79.7%)	1036.5 Mb/s (57.4%)	546.4 Mb/s (30.4%)

Figura 3.36. Mejora de capacidad en el tramo Yanahorco - Anco  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.37 se observa el incremento de capacidad para el enlace Sivia - Llochegua usando configuración 2 + 0 XPIC, obteniendo hasta 1000 Mbps. Y en la Figura 3.38 se observa el incremento de hasta 500 Mbps para tramos cortos utilizando solo el 1 + 0 XPIC. Gráficos son retirados del gestor U2000 iManager de Huawei.

The statistics were last updated **Saturday, 6 November 2021 at 1:05**, at which time 'SIV-LLO-DN01' had been up for **450 days, 22:21:36**.

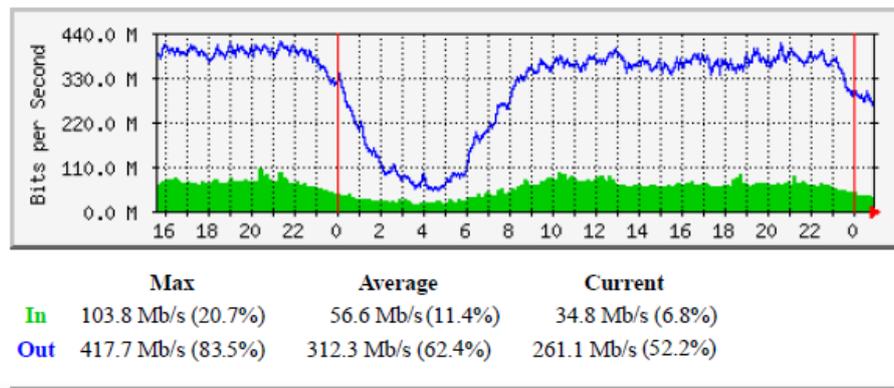
**'Daily' Graph (5 Minute Average)**



*Figura 3.37.* Mejora de capacidad en el tramo Sivia - Llochegua  
Fuente: Elaboración propia

The statistics were last updated **Saturday, 6 November 2021 at 1:00**, at which time 'MAY-NUE-DN01' had been up for **76 days, 12:55:58**.

**'Daily' Graph (5 Minute Average)**



*Figura 3.38.* Mejora de capacidad en el tramo Mayapo - Nueva Villa  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.39 se muestra la recuperación de los paquetes perdidos desde la RNC Junín hasta el nodo Yanahorco en los 5 sectores, mejorando lo observado en la Figura 3.1.

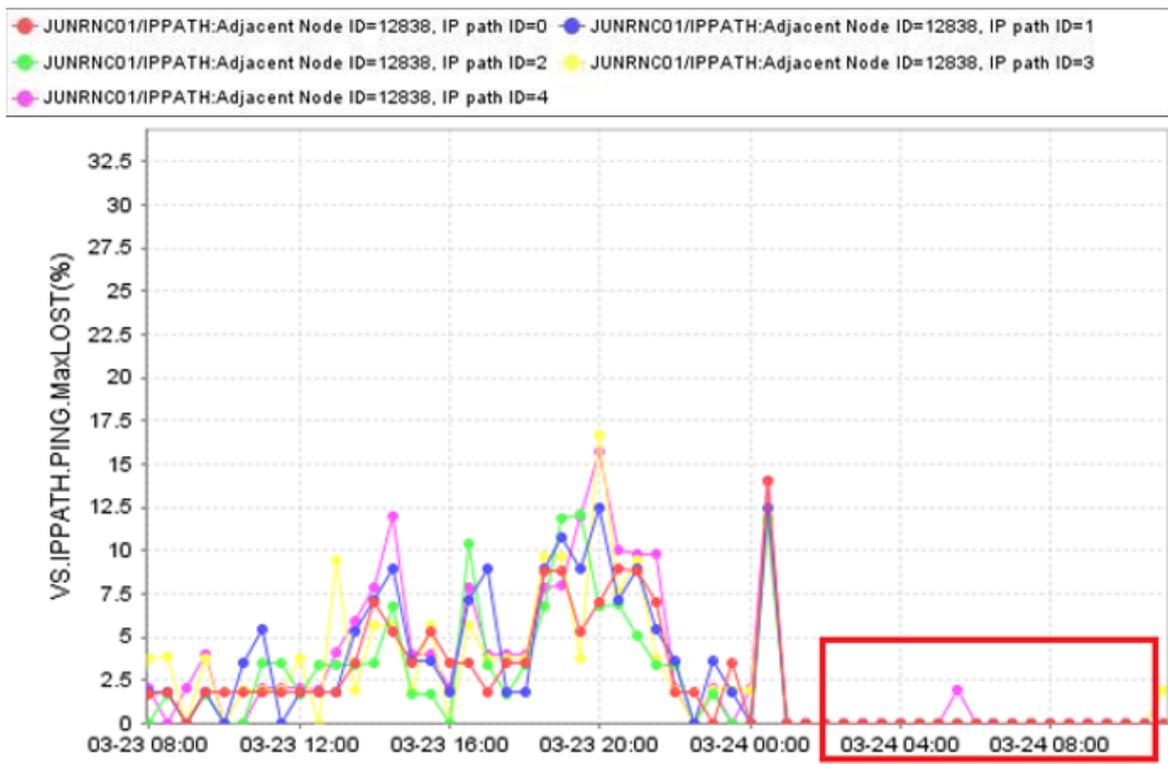


Figura 3.39. Mejora de los paquetes perdidos desde la RNC  
Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2. Uso de los puertos.

Como se menciona en el apartado anterior, la configuración de los puertos para la gestión de los elementos y/o servicios adicionales de la red microondas fue diseñado en un proyecto distinto al presente trabajo. La configuración del equipo implica gestión de VLAN's, servicios y protocolos destinados para el enrutamiento en cada puerto. En la Figura 3.40 se muestra la distribución de los puertos del nodo Yanahorco. De los cuales se observa a los puertos GE 0/2/24-26 utilizados para la gestión de los elementos de red, dos interfaces loopback y los puertos GE 0/2/4, GE 0/2/23 y GE 0/2/27 para clientes corporativos arrendados brindado los servicios por VLAN (subinterfaces por servicio).

NE Explorer: LIM-NODAL\_YANAHORC-DIST-ATN910C IP:10.141.2.X

Interface

All Records

Interface Name	Interface Description	Main and Sub Interfaces	Interface Type	Main Interface Name	Administrative Status
GigabitEthernet0/2/17		Main Interface	GE		Administratively Up
GigabitEthernet0/2/18		Main Interface	GE		Administratively Up
GigabitEthernet0/2/19		Main Interface	GE		Administratively Up
GigabitEthernet0/2/20		Main Interface	GE		Administratively Down
GigabitEthernet0/2/21		Main Interface	GE		Administratively Up
GigabitEthernet0/2/22		Main Interface	GE		Administratively Up
GigabitEthernet0/2/23		Main Interface	GE		Administratively Up
GigabitEthernet0/2/24	'Gestion Camara de seguridad(VCM) NODAL YANAHORCO - RUTA MOVIL -RUTA CLARO'	Main Interface	GE		Administratively Up
GigabitEthernet0/2/25	'Gestion Intercomun_IP NODAL YANAHORCO - RUTA MOVIL -RUTA CLARO'	Main Interface	GE		Administratively Up
GigabitEthernet0/2/26	'Gestion SCC800 NODAL YANAHORCO - RUTA MOVIL -RUTA CLARO'	Main Interface	GE		Administratively Up
GigabitEthernet0/2/27		Main Interface	GE		Administratively Up
LoopBack1	GESTION	Sub-interface	GE		Administratively Up
LoopBack0	SYSTEM	Main Interface	Loopback		Administratively Up
GigabitEthernet0/2/4.1044	IDE 687036 CID 11907833 CLLI L10388 CLARO PERU 1044 0/2/19 >> LIM-YANAHORC-DIST-	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/4	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/4.1045	IDE 687036 CID 11907833 CLLI L10388 CLARO PERU 1044 0/2/19 >> LIM-YANAHORC-DIST-	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/4	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/23.991		Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/23	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/23.119	IDE CID CLLI CLARO PERU LIM-YANAHORC-DIST-ATN910C 0/2/23 >> LIM-SANTA_BARBAR	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/23	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/27.116	IDE CID CLLI CLARO PERU LIM-YANAHORC-DIST-ATN910C 0/2/27 >> LIM-SANTA_BARBAR	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/27	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/27.110	IDE CID 12012691 CLLI L14492 CLARO PERU LIM-YANAHORC-DIST-ATN910C 0/2/27 >> LIM-	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/27	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/27.117	IDE CID 11973842 CLLI L14759 CLARO PERU LIM-YANAHORC-DIST-ATN910C 0/2/27 >> LIM-	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/27	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/27.112	IDE CID 12012665 CLLI L15262 CLARO PERU LIM-YANAHORC-DIST-ATN910C 0/2/27 >> LIM-	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/27	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/27.113	IDE CID 11973367 CLLI L14491 CLARO PERU LIM-YANAHORC-DIST-ATN910C 0/2/27 >> LIM-	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/27	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/27.100		Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/27	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/27.111	IDE CID 11973682 CLLI L14494 CLARO PERU LIM-YANAHORC-DIST-ATN910C 0/2/27 >> LIM-	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/27	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/27.118	IDE CID 12018559 CLLI L14853 CLARO PERU LIM-YANAHORC-DIST-ATN910C 0/2/27 >> LIM-	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/27	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/22.800	'Gestion SCC800 NODAL YANAHORCO - RUTA MOVIL'	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/22	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/22.801	'Gestion Intercomun_IP NODAL YANAHORCO - RUTA MOVIL'	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/22	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/22.802	'Gestion Camara de seguridad(VCM) NODAL YANAHORCO - RUTA MOVIL'	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/22	Administratively Up
GigabitEthernet0/2/27.990	Gestion RTN NODAL YANAHORCO	Sub-interface	GE	GigabitEthernet0/2/27	Administratively Up

Figura 3.40. Distribución de los puertos del nodo Yanahorco

Fuente: Elaboración propia

Se muestra en la Figura 3.41 y en la Figura 3.42 la importancia de la gestión de los elementos de red de acceso en dos nodos de la zona trabajada a través de la plataforma NETECO de Huawei.

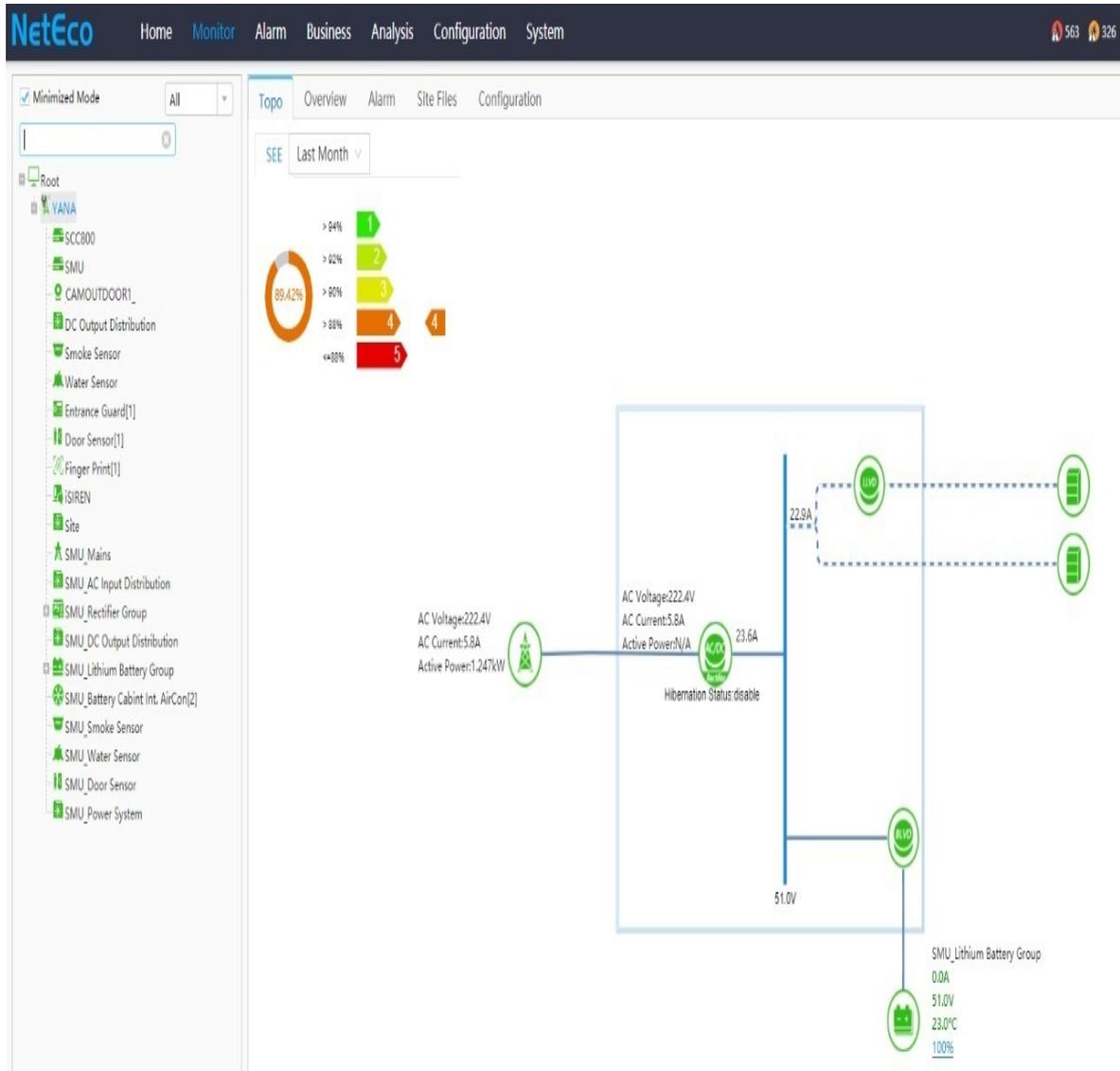


Figura 3.41. Gestión de las alarmas de red en el nodo Yanahorco  
Fuente: Elaboración propia

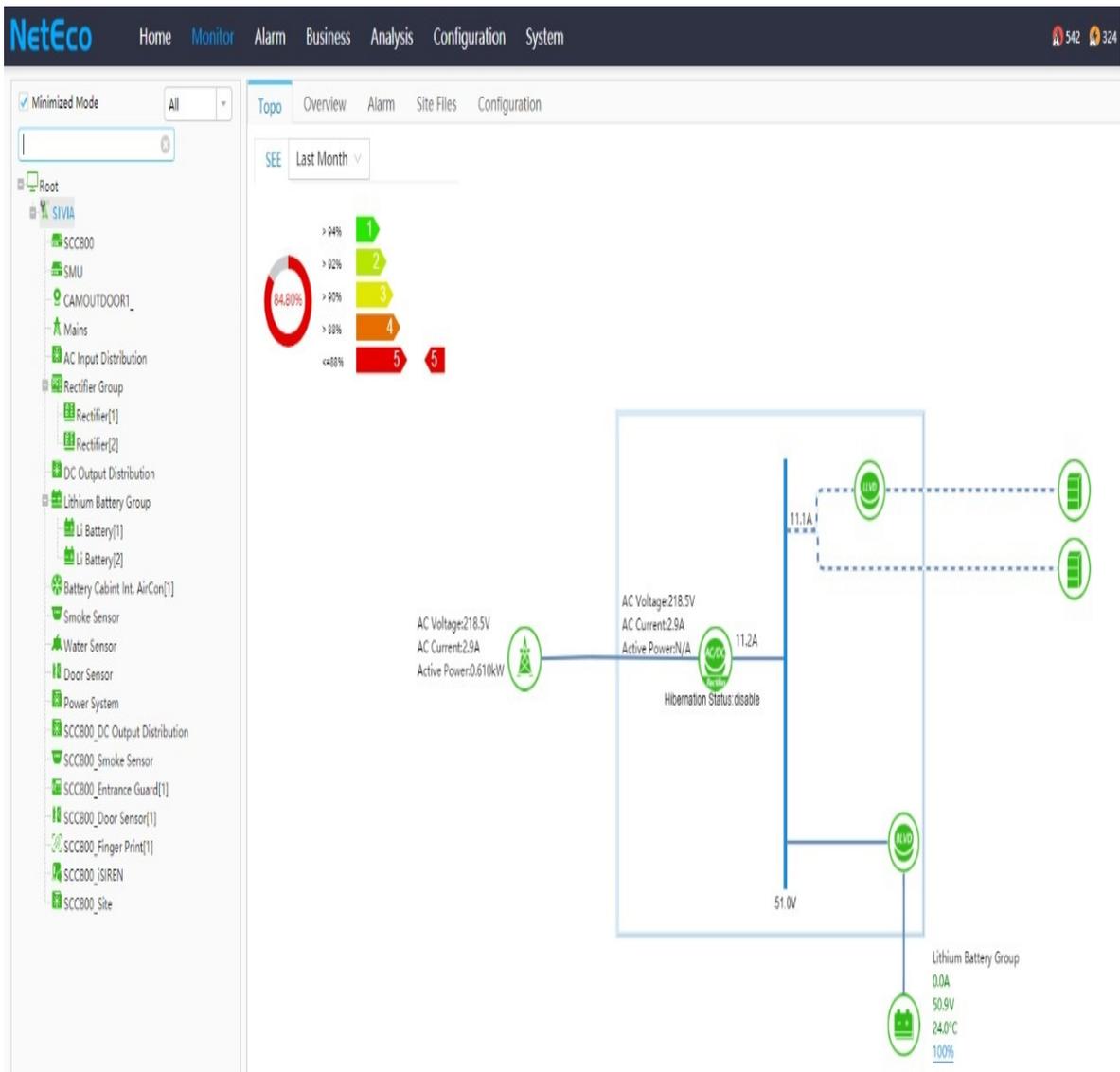


Figura 3.42. Gestión de las alarmas de red en el nodo Sivia  
Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3. Análisis de costos.

El diseño propuesto fue implementado en 3 meses por parte del área de construcción del “operador móvil”, posteriormente se alquila una red de fibra ante posibles averías imprevistas de la red microondas. El diseño e implementación de una red de FO propio, generaría un gasto excesivo en CAPEX (gastos de capital) y OPEX (gastos de operación) considerando principalmente la geografía accidentada y la

---

poca accesibilidad debido a los conflictos políticos de la zona. La FO alquilada tiene una capacidad de 850 Mbps en los enlaces troncales y es utilizada como respaldo en los tramos desde Yanahorco – Sivia y El Ene – Sivia considerando solo la delimitación geográfica del presente trabajo. En la Tabla 3.11 se muestra una comparativa del presupuesto usado en la implementación del proyecto en comparación a un gasto aproximado realizado por otra empresa de telecomunicaciones (información aproximada). Se observa un ahorro de cuatro veces menos respecto a una posible instalación de FO propia.

Tabla 3.11  
Comparación aproximada en costos con la fibra óptica

Concepto de lo requerido	Microondas		Fibra óptica	
	Costo por nodo \$.	Total \$.	Costo por nodo \$.	Total \$.
<b>Gastos Opex</b>				
Equipamiento de energía y respaldo (13 nodos)	7 500	97 500	7 500	97 500
Antenas y equipamiento de radio (13 nodos)	12 700	165 100	-	-
FO y equipamiento óptico (13 nodos) + Km	-	-	10 000	1 470 000
Traslado e instalación de equipamiento		123 000		250 000
Consumo de energía mensual (13 nodos)	2 000	26 000	2 000	26 000
Gasos mensuales por OPEX (13 nodos)		10 000		50 000
<b>Gastos Capex</b>				
Diseño de ingeniería		25 000		80 000
Programas y actualización de licencias		10 000		5 000
Puesta en marcha de la operación		50 000		-
<b>Totales</b>		<b>506 600</b>		<b>1 978 500</b>

Fuente: Elaboración propia

---

## Conclusiones

- El diseño mostrado con una polaridad propone el uso de la tecnología XPIC en el equipamiento de radio RTN950A y RTN980L para aumentar la capacidad, obteniendo más de 1.5 Gbps en los enlaces 3+0 XPIC y más de 700 Mbps en los enlaces 2+0 XPIC, mejorando los 300 Mbps que ofrecía el equipo de radio anterior.
- La elección del diámetro de la antena, los parámetros de transmisión y sensibilidad son importantes para definir la modulación QAM con la que operan los radioenlaces; puesto que de la modulación y del ancho de canal dependen la capacidad de transmisión según la hoja técnica del fabricante de radio.
- Se diseñó 12 radioenlaces con un margen de desvanecimiento superior a los 26 dBm, lo cual sirve de respaldo ante atenuaciones repentinas como la lluvia. Los valores de atenuación por lluvia obtenidos del simulador Pathloss, son menores a los márgenes de desvanecimiento, y al ser un evento repentino, se considera para el cálculo de la disponibilidad del sistema, lo cual se mantiene sobre el 99.99 % de lo requerido por el operador.
- El router instalado en algunos nodos, cumple con la función de gestionar los elementos de la red de acceso e incluso la radio de

---

transporte, se mostró la configuración en el nodo Yanahorco con los elementos que gestiona y los clientes arrendados por puerto en el router.

- La implementación del diseño propuesto tiene un costo de hasta cuatro veces menor a un costo de implementación por fibra óptica. El arrendamiento de fibra de otro operador se realiza cuando se tiene caídas en los servicios microondas; la fibra tiene una capacidad de 850 Mbps, siendo un gasto adicional al mes y/o acordado entre operadores.

---

## Recomendaciones

- Se recomienda la implementación de los sistemas de radioenlaces según los datos obtenidos en el diseño. Para la configuración de las tarjetas de las radios, se recomienda el uso de ISV3 o ISM6 dependiendo la disponibilidad de los slots; las pruebas de alineamiento y XPD serán importantes para el correcto funcionamiento del XPIC y por lo tanto el aumento de capacidad.
- Es recomendable analizar un estudio sobre el efecto de las atenuaciones por difracción o reflexión y desvanecimientos por multitrayecto para largas distancias; para luego evaluar el uso de técnicas de diversidad según sea necesario.
- Para complementar el presente trabajo, se puede considerar la designación de direcciones lógicas IP para la identificación de los elementos en la red; en algunas figuras se observan direcciones ya definidas en el proceso final de implementación, pero no descritas en el presente documento.

---

## Bibliografía

- Achahue Alvarez, E. M. and Rodríguez García, M. A. (2015). Aplicación de la tecnología xpic como mejora de una red de transporte microondas existente en el Perú.
- Albornoz, J. M. (2007). Radioenlaces digitales. *España: Académica Española*.
- Asto Simbron, K. (2017). Diseño e implementación de un radioenlace para la ampliación de capacidad de transmisión entre las estaciones nupamarca y chavín de huantar en ancash.
- Ballon Medina, F. A. (2020). Diseño del subsistema de microondas para una red punto a punto y punto a multipunto para brindar los servicios de internet e intranet en las regiones de apurímac, ayacucho y huancavelica.
- Bava, J. A. (2013). *Antenas Reflectoras en microondas*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Benavides Paredes, H. D. and Ordóñez Bautista, R. A. (2016). Red de acceso lan con agregación por enlace microondas para mejorar el proceso de atención de averías de la red celular claro de la ciudad de huaraz.

---

Buettrich, S. (2007). Cálculo de radioenlace).

Carlos Collantes, E. (2017). *Diseño y configuración de un radioenlace digital para un servicio de emergencia*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Valencia.

Castro Jaramillo, R. and Cobos García, E. A. (2007). Fundamentos, infraestructura, diseño e implementación de un enlace punto a punto de microondas dentro de la jerarquía digital plesiócrona (pdh) en México.

Diario EL Comercio (2020). El fracaso de la red dorsal, aquella que nunca alcanzó a despegar.

Diario El Peruano (2012). Resolución ministerial n°309-2012-mtc/03. *Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/proyectos-de-decreto-supremo-y-resolucion-ministerial-que-mo-resolucion-ministerial-n-309-2012-mtc03-801878-1/>*.

Diaz Castiblanco, J. C. (2018). Propuesta de una red segura para la empresa de telecomunicaciones telemática Ltda.

Flickenger, R. (2008). *Redes inalámbricas en los países en desarrollo: una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo*. [Gran Bretaña]: Hacker Friendly LLC, 2008.

García García, S. (2018). Diseño de una red de agregación de radioenlaces punto a punto para el servicio fijo de banda ancha. B.S. thesis.

---

Hernández, J. (2016). Plan de migración de la red de microondas con plataforma pdh y wlan a una red all-ip en la localidad capital de pdvsa.

Huawei (2014). Manual optix rtn 980l long haul radio transmission. *Recuperado de <https://support.huawei.com/enterprise/fr/doc/-EDOC1100042210?section=j004>*.

Huawei (2015). Manual optix rtn 950a radio transmission system. *Recuperado de <https://support.huawei.com/enterprise/en/transmission-network/optix-rtn-950a-pid-8691595>*.

Huawei (2018). Datasheet routers huawei. *Recuperado de <https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/carrier-ip/router/atn>*.

Huawei (2021). Datasheet antenas con diámetros diversos. *Recuperado de <https://support.huawei.com/enterprise/en/transport-network/rtn-xmc-pid-16321>*.

INEI (2019). Perfil sociodemográfico del valle de los ríos apurímac, ene y mantaro (vraem).

INEI (2020). Informe técnico - informe técnico estadísticas de las tecnologías de información y comunicación en los hogares: Julio-agosto-septiembre 2019 y 2020.

LianStar (2021). Datasheet cable feeder 1/2. *Recuperado de <https://lianstar.com/en/1-2-feeder-cable.php>*.

---

Ludeña Gonzales, P. J. (2005). Desarrollo de un algoritmo e implementación de software para la determinación de confiabilidad de trayectoria en enlaces de microonda, en las bandas comerciales desde 2 a 12 ghz, sobre la base de la cartografía digital en formato dxf.

Martínez, J. L. (2018). ¿qué es un radioenlace? *Recuperado de <https://jlmartinez-es.medium.com/qu%C3%A9-es-un-radioenlace-159ab9a66775>*.

Mendoza, W. and Leyva, J. (2017). *LA ECONOMÍA DEL VRAEM Diagnóstico y opciones de política*. Ediciones Nova Print, 1 edition.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). Nota de prensa mtc 17 de agosto de 2018.

OSIPTEL (2018). Resultado de mediciones de calidad de los servicios públicos de telecomunicaciones (enero - diciembre 2018).

Ramos, F. (2014). Radioenlaces: Tecnologías inalámbricas y diseño deradioenlaces. *Recuperado de <http://www.radioenlaces.es/>*.

Reinosa Sandoval, R. H. and Caro Suárez, C. A. (2018). Propuesta de diseño de una red de banda ancha para mejorar los servicios de telecomunicaciones de las zonas rurales de la provincia de piura.

Rábanos, J. M., Tomas, L. M., and Salis, J. M. (2013). *Transmisión por radio*. Editorial Universitaria Ramón Areces.

Spark, W. (s.f.). El tiempo durante todo el año. *Recuperado de <https://es.weatherspark.com/>*.

---

Sánchez Rodríguez, J. E. (2016). Modulación adaptativa acm (adaptive coding and modulation).

Tercero Carrasco, M. A. and Rivera Morales, R. N. (2013). *Diseño de interconexión para enlace de microondas punto a punto entre las comunidades de San Carlos y el Archipiélago de Solentina-me*. PhD thesis, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.

Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Pearson educación.

Vega, C. P. and López, A. C. (2007). *Sistemas de telecomunicación*. Ed. Universidad de Cantabria.

# Anexos

## A.1. Anexo 1: Resultados de la simulación

### Enlace Yanahorco - Anco

	Yanahorco	Anco
Latitude	12 59 00.20 S	12 51 30.35 S
Longitude	074 06 18.10 W	073 55 26.86 W
True azimuth (°)	054 52 02.03	234 49 36.41
Elevation (m)	4418.16	4163.32
Antenna gain (dBi)	41.80	41.80
Antenna height (m)	40.00	55.00
TX line unit loss (dB/100 m)	25.50	25.50
TX line length (m)	1.00	1.00
TX line loss (dB)	0.26	0.26
Connector loss (dB)	1.30	1.30
Circulator branching loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)		6770.00
Polarization		Vertical
Path length (km)		24.02
Free space loss (dB)		136.67
Atmospheric absorption loss (dB)		0.22
Net path loss (dB)	62.40	62.40
TX power (dBm)	29.50	29.50
EIRP (dBm)	66.75	66.75
TX channel assignments	Canal 1 6800.V Canal 3 6880.V Canal 5 6960.V	Canal 1 6460.V Canal 3 6540.V Canal 5 6620.V
RX threshold level (dBm)	-65.00	-65.00
Receive signal (dBm)	-32.90	-32.90
Thermal fade margin (dB)	32.10	32.10
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Dispersive fade occurrence factor		1.00
Effective fade margin (dB)	32.04	32.04
Geoclimatic factor		2.387E-005
Path inclination (mr)		10.61
Fade occurrence factor (Po)		2.477E-007
Worst month SES (%)	0.00000	0.00000
Worst month SES (sec)	0.00	0.00
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.00	0.00
Polarization		Vertical
0.01% rain rate (mm/hr)		65.85
Flat fade margin - rain (dB)	32.10	32.10
Rain attenuation (dB)	32.10	32.10
Annual rain availability (%)	100.000	100.000
Annual rain unavailability (min)	0.00	0.00
Annual availability (%)	100.00000	100.00000
Annual unavailability (min)	0.00	0.00

## Enlace Anco - Sivia

	Anco	Sivia
Latitude	12 51 30.35 S	12 30 44.70 S
Longitude	073 55 26.86 W	073 50 23.20 W
True azimuth (°)	013 28 11.54	193 27 04.86
Elevation (m)	4163.32	717.66
Antenna gain (dBi)	41.80	41.80
Antenna height (m)	62.00	10.00
TX line unit loss (dB/100 m)	25.50	25.50
TX line length (m)	1.00	1.00
TX line loss (dB)	0.26	0.26
Connector loss (dB)	1.30	1.30
Circulator branching loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)	6770.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	39.52	
Free space loss (dB)	141.00	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.36	
Net path loss (dB)	66.87	66.87
TX power (dBm)	29.50	29.50
EIRP (dBm)	66.75	66.75
TX channel assignments	Canal 2 6840.V Canal 4 6920.V Canal 6 7000.V	Canal 2 6500.V Canal 4 6580.V Canal 6 6660.V
RX threshold level (dBm)	-85.00	-85.00
Receive signal (dBm)	-37.37	-37.37
Thermal fade margin (dB)	27.63	27.63
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	27.61	27.61
Geodimatic factor	2.452E-005	
Path inclination (mr)	87.32	
Fade occurrence factor (Po)	1.621E-004	
Worst month SES (%)	0.00001	0.00001
Worst month SES (sec)	0.29	0.29
Worst month multipath availability (%)	99.99999	99.99999
Worst month multipath unavailability (sec)	0.16	0.16

## Enlace Sivia - Llochegua

	Llochegua	Sivia
Latitude	12 23 14.10 S	12 30 44.70 S
Longitude	073 53 08.50 W	073 50 23.20 W
True azimuth (°)	160 10 46.93	340 10 11.29
Elevation (m)	879.28	717.66
Antenna gain (dBi)	40.80	40.80
Antenna height (m)	20.00	25.00
TX line unit loss (dB/100 m)	25.50	25.50
TX line length (m)	1.00	1.00
TX line loss (dB)	0.26	0.26
Connector loss (dB)	1.30	1.30
Circulator branching loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)	8000.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	14.72	
Free space loss (dB)	133.87	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.16	
Net path loss (dB)	61.53	61.53
TX power (dBm)	28.50	28.50
EIRP (dBm)	64.75	64.75
TX channel assignments	Canal 1 7762.V Canal 3 7881.V	Canal 1 8073.V Canal 3 8192.V
RX threshold level (dBm)	-64.50	-64.50
Receive signal (dBm)	-33.03	-33.03
Thermal fade margin (dB)	31.47	31.47
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	31.42	31.42
Geoclimatic factor	2.645E-005	
Path inclination (mr)	10.98	
Fade occurrence factor (Po)	5.476E-005	
Worst month SES (%)	0.00000	0.00000
Worst month SES (sec)	0.01	0.01
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.00	0.00
Polarization	Vertical	
0.01% rain rate (mm/hr)	86.26	
Flat fade margin - rain (dB)	9.82	9.82
Rain attenuation (dB)	9.82	9.82
Annual rain availability (%)	99.996	99.996
Annual rain unavailability (min)	21.18	21.18
Annual availability (%)	99.99597	99.99597
Annual unavailability (min)	21.18	21.18

## Enlace Llochegua - Canayre

	Canayre	Llochegua
Latitude	12 17 42.50 S	12 23 14.10 S
Longitude	073 59 31.90 W	073 53 08.50 W
True azimuth (°)	131 20 57.33	311 19 35.39
Elevation (m)	805.81	879.28
Antenna gain (dBi)	41.80	41.80
Antenna height (m)	40.00	15.00
TX line unit loss (dB/100 m)	25.50	25.50
TX line length (m)	1.00	1.00
TX line loss (dB)	0.26	0.26
Connector loss (dB)	1.30	1.30
Circulator branching loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)	6770.00	
Polarization	Horizontal	
Path length (km)	15.43	
Free space loss (dB)	132.83	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.14	
Net path loss (dB)	58.48	58.48
TX power (dBm)	27.50	27.50
EIRP (dBm)	64.75	64.75
TX channel assignments	Canal 1 6460.V Canal 3 6540.V	Canal 1 6800.V Canal 3 6880.V
RX threshold level (dBm)	-61.50	-61.50
Receive signal (dBm)	-30.98	-30.98
Thermal fade margin (dB)	30.52	30.52
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	30.48	30.48
Geoclimatic factor	2.723E-005	
Path inclination (mr)	4.76	
Fade occurrence factor (Po)	9.945E-005	
Worst month SES (%)	0.00000	0.00000
Worst month SES (sec)	0.02	0.02
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.00	0.00
Polarization	Horizontal	
0.01% rain rate (mm/hr)	87.81	
Flat fade margin - rain (dB)	30.52	30.52
Rain attenuation (dB)	30.52	30.52
Annual rain availability (%)	100.000	100.000
Annual rain unavailability (min)	0.00	0.00
Annual availability (%)	100.00000	100.00000
Annual unavailability (min)	0.00	0.00

## Enlace Canayre - El Ene

	Canayre	El Ene
Latitude	12 17 42.50 S	12 11 37.97 S
Longitude	073 59 31.90 W	073 58 26.87 W
True azimuth (°)	009 57 12.67	189 56 58.88
Elevation (m)	805.81	1144.21
Antenna gain (dBi)	37.30	37.30
Antenna height (m)	35.00	11.00
TX line unit loss (dB/100 m)	25.50	25.50
TX line length (m)	1.00	1.00
TX line loss (dB)	0.26	0.26
Connector loss (dB)	1.30	1.30
Circulator branching loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)		8000.00
Polarization		Vertical
Path length (km)		11.38
Free space loss (dB)		131.63
Atmospheric absorption loss (dB)		0.12
Net path loss (dB)	66.26	66.26
TX power (dBm)	28.50	28.50
EIRP (dBm)	61.24	61.24
TX channel assignments	Canal 1 8073.V Canal 3 8192.V	Canal 1 7762.V Canal 3 7881.V
RX threshold level (dBm)	-64.50	-64.50
Receive signal (dBm)	-37.76	-37.76
Thermal fade margin (dB)	26.74	26.74
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Dispersive fade occurrence factor		1.00
Effective fade margin (dB)	26.72	26.72
Geoclimatic factor		2.773E-005
Path inclination (mr)		29.75
Fade occurrence factor (Po)		8.330E-006
Worst month SES (%)	0.00000	0.00000
Worst month SES (sec)	0.01	0.01
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.00	0.00
Polarization		Vertical
0.01% rain rate (mm/hr)		89.42
Flat fade margin - rain (dB)	8.81	8.81
Rain attenuation (dB)	8.81	8.81
Annual rain availability (%)	99.996	99.996
Annual rain unavailability (min)	23.47	23.47
Annual availability (%)	99.99553	99.99553
Annual unavailability (min)	23.47	23.47

## Enlace Llochegua - Angeles

	Angeles	Llochegua
Latitude	12 25 35.20 S	12 23 14.10 S
Longitude	074 00 38.20 W	073 53 08.50 W
True azimuth (°)	072 18 34.36	252 16 57.74
Elevation (m)	1045.84	879.28
Antenna gain (dBi)	40.80	40.80
Antenna height (m)	10.00	25.00
TX line unit loss (dB/100 m)	25.50	25.50
TX line length (m)	1.00	1.00
TX line loss (dB)	0.26	0.26
Connector loss (dB)	1.30	1.30
Circulator branching loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)	8000.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	14.26	
Free space loss (dB)	133.59	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.15	
Net path loss (dB)	61.25	61.25
TX power (dBm)	28.50	28.50
EIRP (dBm)	64.75	64.75
TX channel assignments	Canal 1 7762.V Canal 3 7881.V	Canal 1 8073.V Canal 3 8192.V
RX threshold level (dBm)	-84.50	-84.50
Receive signal (dBm)	-32.75	-32.75
Thermal fade margin (dB)	31.75	31.75
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	31.70	31.70
Geoclimatic factor	2.629E-005	
Path inclination (mr)	11.68	
Fade occurrence factor (Po)	3.391E-005	
Worst month SES (%)	0.00000	0.00000
Worst month SES (sec)	0.00	0.00
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.00	0.00
Polarization	Vertical	
0.01% rain rate (mm/hr)	85.67	
Flat fade margin - rain (dB)	9.70	9.70
Rain attenuation (dB)	9.70	9.70
Annual rain availability (%)	99.996	99.996
Annual rain unavailability (min)	20.69	20.69
Annual availability (%)	99.99606	99.99606
Annual unavailability (min)	20.69	20.69

## Enlace Llochegua - Mayapo

	Mayapo	Llochegua
Latitude	12 19 00.40 S	12 23 14.10 S
Longitude	073 58 20.20 W	073 53 08.50 W
True azimuth (°)	113 14 23.08	293 13 35.41
Elevation (m)	772.11	879.28
Antenna gain (dBi)	37.30	37.30
Antenna height (m)	25.00	28.00
TX line unit loss (dB/100 m)	25.50	25.50
TX line length (m)	1.00	1.00
TX line loss (dB)	0.26	0.26
Connector loss (dB)	1.30	1.30
Circulator branching loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)		8000.00
Polarization		Vertical
Path length (km)		7.31
Free space loss (dB)		127.79
Atmospheric absorption loss (dB)		0.08
Net path loss (dB)	62.38	62.38
TX power (dBm)	28.50	28.50
EIRP (dBm)	61.24	61.24
TX channel assignments	Canal 2 7821.V Canal 4 7940.V	Canal 2 8133.V Canal 4 8251.V
RX threshold level (dBm)	-64.50	-64.50
Receive signal (dBm)	-33.88	-33.88
Thermal fade margin (dB)	30.62	30.62
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Dispersive fade occurrence factor		1.00
Effective fade margin (dB)	30.58	30.58
Geoclimatic factor		2.717E-005
Path inclination (mr)		14.65
Fade occurrence factor (Po)		4.160E-006
Worst month SES (%)	0.00000	0.00000
Worst month SES (sec)	0.00	0.00
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.00	0.00
Polarization		Vertical
0.01% rain rate (mm/hr)		87.74
Flat fade margin - rain (dB)	7.18	7.18
Rain attenuation (dB)	7.18	7.18
Annual rain availability (%)	99.996	99.996
Annual rain unavailability (min)	20.02	20.02
Annual availability (%)	99.99619	99.99619
Annual unavailability (min)	20.02	20.02

## Enlace Mayapo - Nueva Villa

	Nueva Villa	Mayapo
Latitude	12 20 53.60 S	12 19 00.40 S
Longitude	073 57 39.50 W	073 58 20.20 W
True azimuth (°)	134 19 59.53	314 19 49.14
Elevation (m)	533.44	772.11
Antenna gain (dBi)	38.90	38.90
Antenna height (m)	10.00	28.00
TX line unit loss (dB/100 m)	25.50	25.50
TX line length (m)	1.00	1.00
TX line loss (dB)	0.26	0.26
Connector loss (dB)	1.30	1.30
Circulator branching loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)	18700.00	
Polarization	Horizontal	
Path length (km)	2.06	
Free space loss (dB)	124.18	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.14	
Net path loss (dB)	55.63	55.63
Radio code	8818-8ds1	8818-8ds1
TX power (dBm)	19.00	19.00
EIRP (dBm)	53.34	53.34
TX channel assignments	Canal 1 17810.V Canal 3 17920.V	Canal 1 18820.V Canal 3 18930.V
RX threshold level (dBm)	-63.50	-63.50
Receive signal (dBm)	-36.63	-36.63
Thermal fade margin (dB)	26.87	26.87
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	26.86	26.86
Geoclimatic factor	2.703E-005	
Path inclination (mr)	115.90	
Fade occurrence factor (Po)	3.712E-008	
Worst month SES (%)	0.00000	0.00000
Worst month SES (sec)	0.00	0.00
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.00	0.00
Polarization	Horizontal	
0.01% rain rate (mm/hr)	87.40	
Flat fade margin - rain (dB)	15.65	15.65
Rain attenuation (dB)	15.65	15.65
Annual rain availability (%)	99.990	99.990
Annual rain unavailability (min)	50.58	50.58
Annual availability (%)	99.99038	99.99038
Annual unavailability (min)	50.58	50.58

## Enlace Rosario - Lomas

	Rosario	Lomas
Latitude	12 35 45.70 S	12 34 21.10 S
Longitude	073 49 50.00 W	073 47 40.40 W
True azimuth (°)	056 23 48.22	236 23 19.98
Elevation (m)	1014.84	717.01
Antenna gain (dBi)	44.50	44.50
Antenna height (m)	25.00	20.00
TX line unit loss (dB/100 m)	25.50	25.50
TX line length (m)	1.00	1.00
TX line loss (dB)	0.26	0.26
Connector loss (dB)	1.30	1.30
Circulator branching loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)	18700.00	
Polarization	Horizontal	
Path length (km)	4.71	
Free space loss (dB)	131.34	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.31	
Net path loss (dB)	51.76	51.76
TX power (dBm)	20.00	20.00
EIRP (dBm)	59.95	59.95
TX channel assignments	Canal 1 18820.V Canal 3 18930.V	Canal 1 17810.V Canal 3 17920.V
RX threshold level (dBm)	-65.50	-65.50
Receive signal (dBm)	-31.76	-31.76
Thermal fade margin (dB)	33.74	33.74
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	33.66	33.66
Geoclimatic factor	2.530E-005	
Path inclination (mr)	63.33	
Fade occurrence factor (Po)	5.939E-007	
Worst month SES (%)	0.00000	0.00000
Worst month SES (sec)	0.00	0.00
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.00	0.00
Polarization	Horizontal	
0.01% rain rate (mm/hr)	82.78	
Flat fade margin - rain (dB)	28.02	28.02
Rain attenuation (dB)	28.02	28.02
Annual rain availability (%)	99.990	99.990
Annual rain unavailability (min)	50.11	50.11
Annual availability (%)	99.99047	99.99047
Annual unavailability (min)	50.11	50.11

## Enlace Sivia - Rosario

	Sivia	Rosario
Latitude	12 30 44.70 S	12 35 45.70 S
Longitude	073 50 23.20 W	073 49 50.00 W
True azimuth (°)	173 49 01.24	353 48 54.03
Vertical angle (°)	001 40 30.36	001 44 16.38
Elevation (m)	717.86	1014.84
Antenna gain (dBi)	37.30	37.30
Antenna height (m)	40.00	20.00
TX line unit loss (dB/100 m)	25.50	25.50
TX line length (m)	1.00	1.00
TX line loss (dB)	0.26	0.26
Connector loss (dB)	1.30	1.30
Circulator branching loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)	8000.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	9.31	
Free space loss (dB)	129.89	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.10	
Field margin (dB)	0.00	
Net path loss (dB)	64.50	64.50
TX power (dBm)	28.50	28.50
EIRP (dBm)	61.24	61.24
TX channel assignments	Canal 2 8133.V Canal 4 8251.V	Canal 2 7821.V Canal 4 7940.V
RX threshold level (dBm)	-64.50	-64.50
Receive signal (dBm)	-36.00	-36.00
Thermal fade margin (dB)	28.50	28.50
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	28.48	28.48
Geoclimatic factor	2.557E-005	
Path inclination (mr)	29.78	
Fade occurrence factor (Po)	4.748E-006	
Worst month SES (%)	0.00000	0.00000
Worst month SES (sec)	0.00	0.00
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.00	0.00
Polarization	Vertical	
0.01% rain rate (mm/hr)	83.38	
Flat fade margin - rain (dB)	8.09	8.09
Rain attenuation (dB)	8.09	8.09
Annual rain availability (%)	99.997	99.997
Annual rain unavailability (min)	17.26	17.26
Annual availability (%)	99.99672	99.99672
Annual unavailability (min)	17.26	17.26

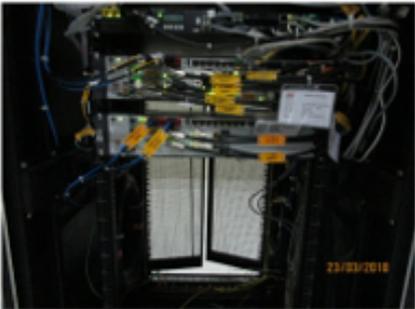
## Enlace Llochegua - Pueblo

	Llochegua	Pueblo
Latitude	12 23 14.10 S	12 25 10.93 S
Longitude	073 53 08.50 W	073 52 08.22 W
True azimuth (°)	153 06 35.06	333 06 22.11
Elevation (m)	879.28	844.45
Antenna gain (dBi)	44.50	44.50
Antenna height (m)	10.00	25.00
TX line unit loss (dB/100 m)	25.50	25.50
TX line length (m)	1.00	1.00
TX line loss (dB)	0.26	0.26
Connector loss (dB)	1.30	1.30
Circulator branching loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)	18700.00	
Polarization	Horizontal	
Path length (km)	4.03	
Free space loss (dB)	129.98	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.27	
Net path loss (dB)	50.36	50.36
TX power (dBm)	20.00	20.00
EIRP (dBm)	59.95	59.95
TX channel assignments	Canal 1 18820.V Canal 3 18930.V	Canal 1 17810.V Canal 3 17920.V
RX threshold level (dBm)	-85.50	-85.50
Receive signal (dBm)	-30.36	-30.36
Thermal fade margin (dB)	35.14	35.14
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	35.03	35.03
Geoclimatic factor	2.684E-005	
Path inclination (mr)	8.65	
Fade occurrence factor (Po)	1.856E-006	
Worst month SES (%)	0.00000	0.00000
Worst month SES (sec)	0.00	0.00
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.00	0.00
Polarization	Horizontal	
0.01% rain rate (mm/hr)	87.38	
Flat fade margin - rain (dB)	28.73	28.73
Rain attenuation (dB)	28.73	28.73
Annual rain availability (%)	99.993	99.993
Annual rain unavailability (min)	35.42	35.42
Annual availability (%)	99.99326	99.99326
Annual unavailability (min)	35.42	35.42

## Enlace Pueblo - Rinconada

	Pueblo	Rinconada
Latitude	12 25 10.93 S	12 26 13.10 S
Longitude	073 52 08.22 W	073 51 59.00 W
True azimuth (°)	171 42 26.67	351 42 24.69
Elevation (m)	844.45	561.12
Antenna gain (dBi)	38.90	38.90
Antenna height (m)	20.00	20.00
TX line unit loss (dB/100 m)	25.50	25.50
TX line length (m)	1.00	1.00
TX line loss (dB)	0.26	0.26
Connector loss (dB)	1.30	1.30
Circulator branching loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)	18700.00	
Polarization	Horizontal	
Path length (km)	1.95	
Free space loss (dB)	123.69	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.13	
Net path loss (dB)	55.13	55.13
TX power (dBm)	19.00	19.00
EIRP (dBm)	53.34	53.34
TX channel assignments	Canal 2 18875.V	Canal 2 17865.V
RX threshold level (dBm)	-63.50	-63.50
Receive signal (dBm)	-36.13	-36.13
Thermal fade margin (dB)	27.37	27.37
Dispersive fade margin (dB)	51.00	51.00
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	27.35	27.35
Geoclimatic factor	2.661E-005	
Path inclination (mr)	145.71	
Fade occurrence factor (Po)	2.276E-008	
Worst month SES (%)	0.00000	0.00000
Worst month SES (sec)	0.00	0.00
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.00	0.00
Polarization	Horizontal	
0.01% rain rate (mm/hr)	86.83	
Flat fade margin - rain (dB)	15.40	15.40
Rain attenuation (dB)	15.40	15.40
Annual rain availability (%)	99.992	99.992
Annual rain unavailability (min)	44.56	44.56
Annual availability (%)	99.99152	99.99152
Annual unavailability (min)	44.56	44.56

## A.2. Anexo 2: Parte de la instalación en el enlace Yanahorco – Anco

VM1: CAMBIO DE ODU SPARE					
					
ITEM	PARTIDA	FOTO	ITEM	PARTIDA	FOTO
3.00	YANAORCO ANTES	3	4.00	ANCO ANTES	4
					
ITEM	PARTIDA	FOTO	ITEM	PARTIDA	FOTO
5.00	YANAORCO DESPUES	5	6.00	ANCO DESPUES	6
					
ITEM	PARTIDA	FOTO	ITEM	PARTIDA	FOTO
9.00	RIN	9	10.00	RIN	10

### A.3. Anexo 3: Hoja técnica del cable feeder

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100m)	Power Rating (kW)	Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100m)	Power Rating (kW)
10	0.665	12	900	6.85	1.2
30	1.16	6.9	950	7.06	1.1
50	1.51	5.3	960	7.10	1.1
88	2.01	4.0	1000	7.26	1.1
100	2.15	3.7	1200	8.02	0.98
108	2.24	3.6	1400	8.74	0.90
174	2.86	2.8	1600	9.41	0.83
200	3.08	2.6	1800	10.0	0.78
300	3.81	2.1	1900	10.4	0.76
400	4.43	1.8	2000	10.7	0.74
450	4.72	1.7	2200	11.3	0.70
500	4.99	1.6	2400	11.8	0.66
512	5.06	1.6	2600	12.4	0.63
600	5.50	1.4	2800	12.9	0.61
700	5.98	1.3	3000	13.4	0.58
800	6.43	1.2	3400	14.4	0.54
850	6.64	1.2	6000	20.2	0.39
890	6.81	1.2	8800	25.5	0.31

\* Attenuation values are typical at ambient temperature +20°C. Power rating ambient temperature +40°C, inner conductor +100°C.

## A.4. Anexo 4: Hoja técnica de Antena AU6D24HS



### Antenna Product Specifications

#### AU6D24HS

(2.4m) High Performance, Dual-Polarized Antenna, for 6.425~7.125 GHz



#### Electric Performance

Frequency (GHz)	6.425~7.125
Polarization	Dual
Regulatory Compliance	ETSI Class2
Gain,Low (dBi)	41.4
Gain,Mid (dBi)	41.8
Gain,Top (dBi)	42.3
Beamwidth (deg.)	1.3
Cross. Pol. Disc (dB)	30
F/B Ratio (dB)	65
VSWR max	1.3
IPI (dB)	35

#### Mechanical Performance

Diameter (m)	2.4
Antenna Color (color charts)	Gray (PANTONE Gray 443C)
Flange Type	PDR70
Radome Options	Flexible, White
Azimuth Adjustment	Coarse : 360 °    Fine : ±5 °
Elevation Adjustment	Fine : ±5 °
Diameter of mounting pipe (mm)	Φ114
Ice-load(mm)	25.4
Operational Temperature (°C)	-45~+60

#### Wind Force

Wind Velocity Survival Rating (km/h)	200
Wind Velocity Operational (km/h)	110
Axial Force (N)	17481
Side Force (N)	8628
Twisting Moment (N · m)	11590

#### Packed Dimensions

Gross Weight,Packed Antenna (kg)	278
Net Weight,Only Antenna (kg)	188
L×W×H (mm×mm×mm)	2720×1150×2560

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd.

## A.5. Anexo 5: Hoja técnica de Antena A18D06HS



### Antenna Product Specifications

---

#### A18D06HS

(0.6m) Ultra-high Performance, Dual-Polarized Antenna, for 17.7-19.7GHz



#### Electric Performance

---

Frequency (GHz)	17.70 ~19.70
Polarization	Dual (V and H)
Regulatory Compliance	ETSI Class3
Gain, Low (dBi)	38.4
Gain, Mid (dBi)	38.9
Gain, Top (dBi)	39.1
Beamwidth (deg.)	2.1
Cross. Pol. Disc (dB)	30
Isolation (dB)	35
F/B Ratio (dB)	67
VSWR max	1.3

#### Mechanical Performance

---

Diameter (m)	0.6
Antenna Color (color charts)	PANTONE Light Gray 1C
Waveguide Type	154IEC-UBR220
Radome Options	Molded, Light Gray
Azimuth Adjustment	Coarse : 360° Fine : ±15°
Elevation Adjustment	Coarse : ±10° Fine : ±15°
Diameter of mounting pipe (mm)	Φ51~Φ114
Ice-load (mm)	25.4
Operational Temperature (°C)	-45~+60

#### Wind Force

---

Wind Velocity Survival Rating (km/h)	250
Wind Velocity Operational (km/h)	200
Axial Force (N)	1260
Side Force (N)	620
Twisting Moment (N · m)	490

#### Packed Dimensions

---

Gross Weight,Packed Antenna (kg)	18±1
Net Weight, Only Antenna (kg)	11±1
L×W×H (mm×mm×mm)	750×750×440

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd.

## A.6. Anexo 6: Hoja técnica de Antena 07D12HS



### Antenna Product Specifications

#### A07D12HS

(1.2m) Ultra-high Performance, Dual-Polarized Antenna, for 7.125-8.5GHz



#### Electric Performance

Frequency (GHz)	7.125 ~ 8.5
Polarization	Dual (V and H)
Regulatory Compliance	ETSI Class3
Gain, Low (dBi)	36.8
Gain, Mid (dBi)	37.3
Gain, Top (dBi)	37.7
Beamwidth (deg.)	2.2
Cross. Pol. Disc (dB)	30
F/B Ratio (dB)	63
Isolation (dB)	35
VSWR max	1.3

#### Mechanical Performance

Diameter (m)	1.2
Antenna Color (color charts)	PANTONE Light Gray 1C
Waveguide Type	154IEC-UBR84
Radome Options	Molded, Light Gray
Azimuth Adjustment	Coarse : 360° Fine : ±10°
Elevation Adjustment	Fine : ±10°
Diameter of mounting pipe (mm)	Φ114
Ice-load (mm)	25.4
Operational Temperature (°C)	-45~+60

#### Wind Force

Wind Velocity Survival Rating (km/h)	250
Wind Velocity Operational (km/h)	200
Axial Force (N)	4520
Side Force (N)	2220
Twisting Moment (N · m)	1710

#### Packed Dimensions

Gross Weight,Packed Antenna (kg)	65±4
Net Weight, Only Antenna (kg)	40±2
L×W×H (mm×mm×mm)	1380×450×1700