

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIONES
INALÁMBRICAS PARA LA REGIÓN SAN MARTÍN**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES

ELABORADO POR:

RODNEY HANS VEGA TORO

ASESOR

MSC. ING. MARCIAL ANTONIO LÓPEZ TAFUR

LIMA – PERÚ

2021

**DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS
PARA LA REGIÓN SAN MARTÍN**

Dedicatoria:

A Dios, por ponerme en el camino a grandes personas de las que aprendí mucho. A mis padres y abuelas por mostrarme el camino correcto y brindarme su apoyo incondicional, cada logro alcanzado es gracias a ellos, en especial a mi madre, quien me impulsó a cerrar este ciclo. A mi hermano, por quien me esfuerzo para ser su modelo. A mi amada esposa, quien siempre me motiva a seguir adelante con su ejemplo como persona y profesional. A la Universidad de Ingeniería, donde encontré a buenos amigos y profesores que me brindaron las pautas necesarias y consejos para brillar con luz propia, a todos ustedes, muchas gracias.

RESUMEN

Las áreas rurales son zonas alejadas y desatendidas a nivel de servicios digitales, presentan retraso en la conectividad y digitalización, esto agrava drásticamente la economía y trae consecuencias sociales, en el periodo de pandemia, el confinamiento impuesto por el gobierno para reducir la propagación del virus incrementa la demanda de herramientas digitales, con la finalidad de continuar de forma remota las actividades económicas, educativas y sociales. Para una empresa privada, un proyecto que provee servicios a la escasa cantidad de usuarios potenciales de estas áreas rurales no es provechoso, por esta razón es justificable revisar la mejor opción que permita solucionar esta falencia.

Una solución de red de comunicaciones inalámbricas mejora la penetración digital en áreas rurales de difícil acceso, con los criterios, parámetros y recomendaciones internacionales para lugares de vegetación agreste y grandes precipitaciones, esta red de comunicaciones es una buena opción a considerar, facilitando el proceso del mantenimiento preventivo y correctivo de la red.

En este trabajo se propone el diseño, planificación e implementación de una red de acceso con radioenlaces microondas punto a punto (PTP), usando el software Pathloss 5 y empleando equipos Nokia con características full outdoor que operan en banda licenciada, aplicando las recomendaciones internacionales y regulaciones nacionales para que el proyecto sea exitoso y beneficie de manera satisfactoria a seis localidades , catorce instituciones beneficiadas y cuatro plazas, con servicios de banda ancha de calidad en zonas rurales donde no existen esos servicios, contribuyendo a expandir la penetración digital, reduciendo las brechas y fortaleciendo el acceso digital.

ABSTRACT

Rural areas are remote and neglected areas at the level of digital services, they present delay in connectivity and digitization, this drastically aggravates the economy and brings social consequences, in the period of pandemic, the confinement imposed by the government to reduce the spread of the virus increases the demand for digital tools, in order to remotely continue economic, educational and social activities. For a private company, a project that provides services to the limited number of potential users in these rural areas is not profitable, for this reason it is justifiable to review the best option to solve this shortcoming.

A wireless communications network solution improves digital penetration in rural areas with difficult access, with the international criteria, parameters and recommendations for places of rugged vegetation and heavy rainfall, this communications network is a good option to consider, facilitating the process of preventive and corrective maintenance of the network.

This work proposes the design, planning and implementation of an access network with microwave point-to-point (PTP) radio links, using Pathloss 5 software and using Nokia equipment with full outdoor characteristics that operate in the licensed band, applying international recommendations and national regulations for the project to be successful and satisfactorily benefit six localities, fourteen benefited institutions and four places, with quality broadband services in rural areas where these services do not exist, helping to expand digital penetration, reducing gaps and strengthening digital access.

ÍNDICE

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
PRÓLOGO	1
CAPITULO I	
ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Evaluación del problema.....	3
1.3 Objetivos del trabajo	3
1.4 Alcances del trabajo	4
1.5 Exclusiones.....	5
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Preámbulo a las transmisiones radioeléctricas.....	6
2.1.1 Bases de los Enlaces Microondas.....	6
2.1.2 Espectro Electromagnético y RF	7
2.1.3 Términos y conceptos de Radioenlaces	8
2.2 Tipos de Soluciones de Comunicaciones Inalámbricas	10
2.2.1 Transmisión punto a punto.....	10
2.2.2 Transmisión punto a multipunto.....	11
2.3 Soluciones microondas.....	12
2.3.1 Diagrama de bloques básico de un sistema de radio.	12
2.3.2 Solución Full Indoor.	14
2.3.3 Solución Split.....	14
2.3.4 Solución Full Outdoor.	15
2.4 Equipos en los Enlaces Microondas	16
2.4.1 La Radio.....	16
2.4.2 La Línea de Transmisión	21
2.4.3 La Antena	22
2.5 Propagación y pérdidas del trayecto (Path Loss)	25
2.5.1 Reflexión.....	25

2.5.2 Difracción	26
2.5.3 Refracción	27
CAPITULO III	
PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	28
3.1 Enlaces de microonda Punto a Punto (PTP) en Banda Licenciada	29
3.1.1 Requerimientos	29
3.1.2 Criterios de Diseño	29
3.1.3 Tipos de Nodos	45
3.1.4 Dimensionamiento de los Nodos de Red de Acceso	46
3.2 Enlaces de radio Punto Multi Punto (PTMP) en Banda No Licenciada	51
3.2.1 Requerimientos de Diseño	51
3.2.2 Criterios de diseño para subscriptores	51
3.2.3 Solución PTMP Radwin	54
3.2.4 Listado de Enlaces y de Nodos.	58
3.3 Estimación del Tráfico de un Nodo.	60
CAPITULO IV	
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	65
4.1 Introducción	65
4.2 Estimación de costos de capital CAPEX (CAPital EXpenditure)	65
4.2.1 Estimación de costos de servicios e infraestructura	65
4.2.2 Estimación de costos de equipos de telecomunicaciones	66
4.3 Estimación de costos de operación y mantenimiento OPEX (OPerating EXpenditure)	68
4.4 Estimación de tiempos para el proyecto	70
CONCLUSIONES	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXO A	
REPORTE DE LOS ENLACES MICROONDAS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 - Nomenclatura de las Bandas Microondas.	7
Tabla 3.1 - Modulación y Capacidad de acuerdo al Ancho de Canal de los Equipos UBT de Nokia Wavence.....	30
Tabla 3.2 - Plan nacional de atribución de frecuencias – PNAF para banda de 11 GHz (10700 - 11700 MHz), Ancho de banda del canal: 40 MHz.....	31
Tabla 3.3 - Plan nacional de atribución de frecuencias – PNAF para banda de 15 GHz (14400 - 15350 MHz), Ancho de banda del canal: 28 MHz.....	32
Tabla 3.4 - Lista de Localidades Beneficiarias e Instituciones beneficiadas.....	46
Tabla 3.5 - Lista de nomenclaturas y codificación.....	48
Tabla 3.6 – Lista de nodos y alturas de torre.	49
Tabla 3.7 - Lista de sitios y alturas de instalación de antena en la torre.....	50
Tabla 3.8 - Planes de servicio de internet.	52
Tabla 3.9 - Planes para el servicio de intranet.	52
Tabla 3.10 - Planes para el servicio de intranet en las plazas.....	53
Tabla 3.11 - Capacidad de enlace de internet para las Plazas.....	53
Tabla 3.12 - Lista de Enlaces Punto Multi Punto.....	59
Tabla 3.13 - Lista de nodos y tráfico requerido.	62
Tabla 3.14 - Tráfico Requerido en los enlaces MW PTP.....	64
Tabla 3.15 - Análisis de Transmisión.	64
Tabla 4.1 - Cálculo de Estimación de Costos de Servicios e Infraestructura para el nodo A4204_SM_HUIMBAYOC.	65
Tabla 4.2 - Cálculo de Estimación de Costos de Servicios e Infraestructura para todos los Nodos.....	66
Tabla 4.3 - Cálculo de Estimación de Costos Unitarios de Equipos Telecom.....	67
Tabla 4.4 - Cálculo de Cantidades de Equipos Telecom.....	67
Tabla 4.5 - Cálculo de Estimación de Costos de Equipos Telecom en los Nodos.	68
Tabla 4.6 - Cálculo de Estimación de Costos de Gastos Operativos.....	69
Tabla 4.6 - Diagrama de Gantt con el cronograma de los tiempos de ejecución de las fases de los Nodos.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Plan de Canal RF - Duplex.	6
Figura 2.2 - Espectro Electromagnético.	7
Figura 2.3 - Red con Conectividad Punto a Punto.	11
Figura 2.4 - Red con Conectividad Punto a Multipunto.	11
Figura 2.5 - Sistema de Radio representado en Diagrama de Bloques.	13
Figura 2.6 - Flujo de Transmisión del Circuito de Voz.	13
Figura 2.7 - Configuración Típica de la Solución Split.	15
Figura 2.8 - Componentes Básicos para una Comunicación Microondas.	16
Figura 2.9 - Radio UBT-T y Antena.	18
Figura 2.10 - Radio UBT-S y Antena.	18
Figura 2.11 - Modulación Adaptativa.	20
Figura 2.12 - Ejemplos de Cable Coaxial.	21
Figura 2.13 - Ejemplo de Guía de Onda.	22
Figura 2.14 - Ejemplo de Antena.	22
Figura 2.15 - Diagrama de radiación tridimensional.	23
Figura 2.16 - Patrón de antena con lóbulos principales, posteriores y laterales.	24
Figura 2.17 - Características Físicas y Patrón de Radiación.	25
Figura 2.18 - Difracción. Se forman señales de longitudes de onda múltiples e impares elipsoides alrededor del rayo directo.	26
Figura 3.1 - Topología inalámbrica de la Red	28
Figura 3.2 - Separación de Antenas PTP (a la misma Banda frecuencia) en la Torre.	34
Figura 3.3 - Separación de Antenas PTP (en diferente Banda Frecuencia) en la Torre.	34
Figura 3.5 - Versión, Licencia y Módulos de Pathloss 5.1	35
Figura 3.6 - Intensidad de lluvia rebasada durante el 0,01% de un año medio	37
Figura 3.7 - Reporte Pathloss	41
Figura 3.8 - Topología de la Red.....	50
Figura 3.9 - Mapa global de factores de clima.....	54
Figura 3.10 - Tramas de Trasmisión y recepción de 02 sectores sin sincronización ...	57
Figura 3.11 - Tramas de Trasmisión y recepción con sincronización	58
Figura 3.12 - Topología de la solución Punto Multi Punto.	60
Figura 3.13 - Ejemplo de la estimación del tráfico en los enlaces MW PTP	63
Figura 3.14 - Tráfico estimado en los enlaces MW PTP.....	63

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACM - Adaptive Coding and Modulation.
ATPC - Automatic Transmitter Power Control.
BER - Bit Error Rate.
BW – Bandwidth.
CAPEX - Capital Expenditure.
CIR - Committed Information Rate.
DL – Down Link.
DTM - Digital Terrain Model.
F/B - Front to Back.
FM - Frecuencia Media.
GPS – Global Positioning System.
GUI - Graphical User Interface.
IAO – Instituciones Abonadas Obligatorias.
IDU - Indoor Digital Unit.
IF - Intermediate Frequency.
IPTV - Internet Protocol Television.
ITU - International Telecommunication Union.
MIR - Maximum Information Rate.
MTC - Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
ODU - Outdoor Digital Unit.
OPEX - Operating Expenditure.
PIRE - Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.
PM - Phase Modulation.
PNAF - Plan Nacional de Frecuencias.
POP - Point of presence.
SBM - Smart Bandwidth Manager.
SLA - Service Level Agreement.
SNMP - Simple Network Management Protocol.
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission.
TDD – Time Division Duplexing.

UL – Up Link.

VLAN - Virtual LAN.

VSWR - Voltage Standing Wave Ratio.

PRÓLOGO

En el presente informe de suficiencia profesional se describen el diseño y la planificación de una red de comunicaciones inalámbricas, que brinda servicios de banda ancha a lugares en donde el servicio digital no está disponible o no existe debido a la ausencia de empresas privadas. El servicio de banda ancha brinda acceso digital a estas localidades alejadas de la región San Martín, con una capacidad competitiva y de acuerdo a los planes actuales de velocidad de tráfico, mediante una solución viable que considera las zonas de difícil acceso, la agreste vegetación, el factor climático, las grandes precipitaciones, facilita la implementación y el mantenimiento preventivo de la mejor manera.

La propuesta de solución se enfoca en el diseño, planificación e implementación de una red de comunicaciones inalámbrica con características que cumplen con los requerimientos de una manera óptima, viable y sostenible.

El informe está organizado de la siguiente manera:

Capítulo I “Análisis del Problema”. - El cual es un capítulo introductorio donde se describe el problema, se definen los objetivos, se realiza la evaluación de la problemática y se establecen los alcances.

Capítulo II “Marco Teórico”. - En este capítulo se explican los aspectos conceptuales referentes a la solución, se describe la tecnología de comunicación inalámbrica en la que se basa este trabajo para las partes Punto a Punto y Punto Multi Punto.

Capítulo III “Planteamiento de la Solución”. - En este capítulo se expone el desarrollo de una red de comunicaciones inalámbrica usando distinto software de simulación como lo son Pathloss 5.1 y R-Planner, se plantea la solución evaluando los requerimientos del proyecto, evaluando alternativas y elaborando la propuesta de análisis de la solución, luego, se implementa la red, se presenta el hardware empleado y finalmente se describe la aplicación de la red, demostrando los recursos necesarios para cubrir la falta de los servicios de banda ancha.

Capítulo IV “Análisis y Presentación de Resultados”. - En este capítulo se presenta el diagrama de Gantt, el cuadro de costo y finalmente se expone la conclusión del trabajo realizado que relacionan los objetivos con los resultados. El informe se complementa con información de los reportes de los cálculos y resultados que se coloca en los anexos.

CAPITULO I

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se plantea el problema de ingeniería, se describe el problema, formulando los objetivos del presente trabajo, se evalúa el problema y se precisan los alcances, con la finalidad de presentar una síntesis del trabajo expuesto.

1.1 Descripción del problema

En la actualidad, en el periodo de pandemia en nuestro país, la realidad respecto a la situación de la brecha digital ha sido aún más visible, afectando múltiples sectores, siendo una de las más afectadas la educación, lo que conlleva una educación no inclusiva y el aislamiento de personas con menos recursos, a pesar de los esfuerzos del Gobierno y otras entidades, se aprecia un amplio camino por recorrer. Es necesario reducir esta brecha mediante la presencia de servicios de banda ancha de calidad. Lamentablemente, los servicios con las que actualmente se pueden contratar en los sitios más alejados y zonas rurales, no tienen la calidad necesaria o en el peor de los casos, no existe presencia de operadoras que proveen dicho servicio.

La penetración digital facilita la comunicación, el acceso a la educación e impulsa el emprendimiento, por ello fundamental elegir la tecnología para alcanzar dicho objetivo, es importante considerar la planificación, diseño, implementación, operación y mantenimiento.

Las soluciones más usadas para brindar servicios digitales en zonas rurales alejadas son las comunicaciones inalámbricas, estas soluciones, en conjunto con los criterios orientados a una geografía con vegetación complicada, altas precipitaciones y difícil acceso, pueden brindar grandes beneficios tanto para la operadora como para los beneficiarios.

1.2 Evaluación del problema

El trabajo que se presenta tiene la finalidad de explicar la solución de los problemas expuestos y reducir la brecha digital brindando con una red de comunicaciones inalámbricas cobertura, acceso, uso y apropiación de las nuevas tecnologías a las localidades y comunidades rurales de Yarina, Huimbayoc, Miraflores, Pucallpa, Leche y San Jose de Yanayacu, pertenecientes a la provincia de San Martín, departamento de San Martín, en este trabajo se conoce la ubicación de las localidades e instituciones beneficiadas que necesitan del servicio de banda ancha, también se conoce lo complicado del acceso hacia las localidades, por este motivo se propone una red de comunicaciones inalámbrica para brindar cobertura y acceso a los servicios digitales a las localidades e instituciones (instituciones educativas, establecimientos de salud y comisarias), a fin de generar mejores oportunidades para los beneficiados.

1.2.1 Formulación del problema

Problema general

¿En qué medida el diseño y la planificación de una red de comunicaciones inalámbricas permite brindar el servicio de banda ancha en la región San Martín?

Problemas específicos

- ¿De qué manera el diseño permite establecer los servicios digitales en zonas rurales?
- ¿En qué medida la planificación permite brindar un mejor servicio de banda ancha y generar mejores oportunidades?
- ¿De qué forma validar los resultados al implementar una red de comunicaciones inalámbricas en la región San Martín?

1.3 Objetivos del trabajo

Los objetivos del trabajo se formulan de la siguiente manera:

Objetivo general

Diseñar y planificar una red de comunicaciones inalámbricas que permita brindar el servicio de banda ancha para la región San Martín.

Objetivos específicos

- Diseñar la red de comunicaciones inalámbricas con enlaces microondas y equipos full outdoor en zonas rurales.
- Planificar la red que opere un tráfico de datos óptimos para brindar servicios de banda ancha de calidad.
- Validar los resultados aplicando los criterios, metodologías y recomendaciones considerados para la implementación de la red de comunicaciones en la región San Martín.

1.4 Alcances del trabajo

Un proyecto de telecomunicaciones emplea varias fases y procesos que deben ser definidos, sin embargo para los fines de este trabajo, se exponen los siguientes alcances:

- Análisis de la cobertura de la localidad y población beneficiada.
- Análisis de los servicios que se brindaran a las instituciones beneficiadas.
- Planificación de las frecuencias de los canales de comunicación.
- Planificación del tráfico considerando usuarios y servicios.
- Diseño la red de enlaces microonda.
- Descripción de los criterios de diseño para la geografía donde se desarrolla el proyecto.
- Selección de los equipos de comunicaciones microonda.
- Identificación de la configuración de la solución en los enlaces microondas.
- Cálculo de los costos del proyecto.
- Elaboración del cronograma y fases del proyecto.
- Presentación los resultados y su análisis.

1.5 Exclusiones

En este trabajo existen conceptos que no se muestran ni se consideran bases científicas ni desarrollo de algún programa software de cálculos o simulación, se utilizan recomendaciones, regulaciones y programas ya existentes y conocidas en el mercado, por ello, tampoco se detallan los procedimientos de instalación, protocolos, actas, reportes o entregables que normalmente se preparan y presentan, por lo que a continuación se presentan las siguientes exclusiones:

- Diseño de Servicios en Capa 2 y Capa 3 de Networking.
- Diagrama de conexiones físicas.
- Plan general para las direcciones IP.
- Seguridad de la Red.
- Diseño y gestión de la parte de energía.
- Descripción de los servidores y NOC.
- Diseño de Obras Civiles.
- Diseños y análisis de estructuras metálicas en torres.
- Manuales de instalación.
- Protocolos y Actas de aceptación.
- Diseño e Ingeniería de planta externa para la fibra óptica.
- Manuales de operación y de usuario.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describe de forma resumida los conceptos teóricos y metodológicos necesarios para el desarrollo de este trabajo.

2.1 Preámbulo a las transmisiones radioeléctricas

Las transmisiones radioeléctricas son el medio de intercambio de información realizada a través de ondas de radio y son muy comunes en las comunicaciones inalámbricas, para conocer las diferentes tecnologías existentes para las soluciones de red de comunicaciones inalámbricas, en esta sección se revisan brevemente algunos conceptos básicos y necesarios para comprender la tecnología existente y que se está aplicando actualmente.

2.1.1 Bases de los Enlaces Microondas

Los enlaces microondas que se presentan en este trabajo se refieren a enlaces digitales fijos punto a punto que operan en modo dúplex. El modo dúplex hace referencia a que en cada canal de radiofrecuencia existe un par de frecuencias para la transmisión y recepción respectivamente, comúnmente llamados canales de Banda Baja y Banda Alta, en la figura 2.1 se aprecia la diferencia entre estos dos portadores, se llama espaciado T a R. El ancho de banda es completamente simétrico.

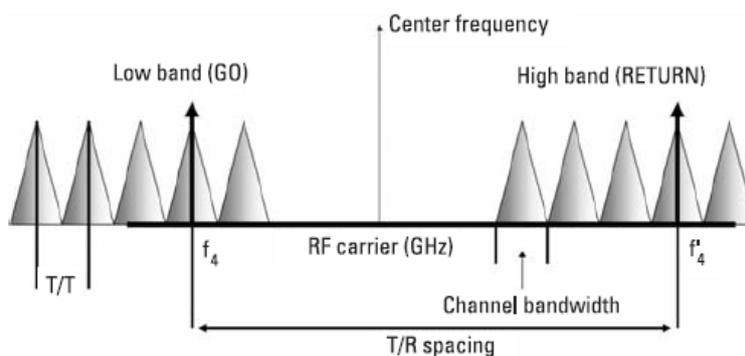


Figura 2.1 - Plan de Canal RF - Duplex. [1]

2.1.2 Espectro Electromagnético y RF

El Espectro Electromagnético es un recurso limitado en el espacio, en el espectro se usan un conjunto de frecuencias, como se ve en la figura 2.2, en estas frecuencias se propagan las ondas electromagnéticas. En la práctica, los enlaces de radio comerciales cubren el espectro de frecuencias desde 300 MHz hasta aproximadamente 90 GHz, estas frecuencias se aprecian en la tabla 2.1.

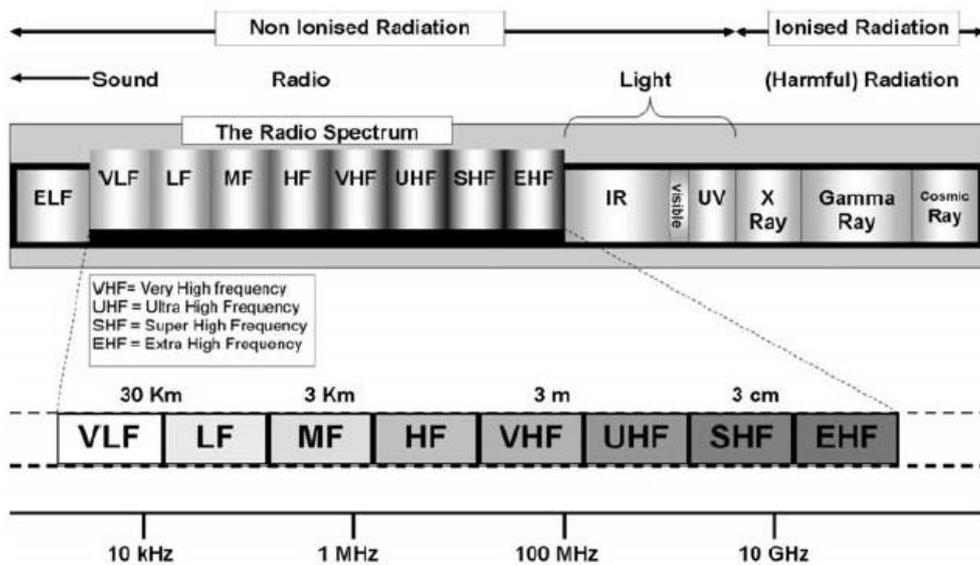


Figura 2.2 - Espectro Electromagnético. [1]

Tabla 2.1 - Nomenclatura de las Bandas Microondas. [1]

Old Bands		New Bands	
HF	3–30 MHz	A	0–250 MHz
VHF	30–300 MHz	B	250–500 MHz
UHF	300–3,000 MHz	C	500–1,000 MHz
L	1–2 GHz	D	1–2 GHz
S	2–3 GHz	E	2–3 GHz
S	3–4 GHz	F	3–4 GHz
C	4–8 GHz	G	4–6 GHz
SHF	3–30 GHz	H	6–8 GHz
X	8–12 GHz	I	8–10 GHz
J/Ku	12–18 GHz	J	10–20 GHz
K	18–26.5 GHz	K	20–40 GHz
Q/Ka	26.5–40 GHz		
U	40–60 GHz	L	40–60 GHz
O/E	60–90 GHz	M	60–100 GHz
EHF	30–300 GHz		

El espectro de RF forma parte del espectro electromagnético, al ser un recurso limitado, requiere una asignación y coordinación que en el caso de Perú la realiza el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), el MTC es la autoridad estatal que tiene competencia exclusiva sobre la administración, asignación y el control (monitoreo) del espectro radioeléctrico, también de la elaboración y aprobación del Plan Nacional de Frecuencias (PNAF), el PNAF al disponer con varios servicios de comunicación móvil, satélites, radiodifusión, militares y domésticos deben compartir este espectro común.

2.1.3 Términos y conceptos de Radioenlaces

Los términos y conceptos básicos más usados que se consideran en este trabajo son:

- Vano: es la distancia existente entre los dos extremos de un radioenlace, esta distancia varía entre unos pocos metros y unos 50 km. Además de los obstáculos, la longitud del vano es limitado por otros factores, como la curvatura de la Tierra y la atenuación de la señal. Si se necesita alcanzar una distancia mayor, se coloca repetidores intermedios.
- Radiocanal: es el conjunto de frecuencias utilizado en el radioenlace. Está conformado por dos frecuencias distintas, una para la transmisión y otra para la recepción.
- Repetidor: cuando la distancia entre los extremos del radioenlace es elevada o existe algún obstáculo en el trayecto, es común el uso de repetidores, estos pueden ser pasivos, que se limitan a cambiar la trayectoria del enlace, ya sea por reflexión o mediante el uso de dos antenas conectadas entre sí (back to back). Por el contrario, los repetidores activos demodulan la señal y vuelven a transmitirla amplificada intercambiando las frecuencias en el siguiente vano.
- Frecuencias disponibles: las distintas recomendaciones de la ITU asignan frecuencias a los radioenlaces destinados al servicio fijo que se operan en frecuencias desde los 1.5 GHz hasta los 55 GHz. La mayoría de los radioenlaces instalados en la actualidad operan por encima de los 10 GHz, ya que las bandas inferiores están muy saturadas.
- Radioenlace analógico: es el que utiliza modulaciones analógicas para la señal transmitida, la más habitual es la modulación en frecuencia (FM), aunque pueden existir algunos modelos con modulación en fase (PM). Los radioenlaces

analógicos permiten enviar volúmenes de tráfico de datos como pueden ser: unos 2 700 canales de voz telefónica, un canal de video de 5 MHz, etc.

- Radioenlaces digitales: al igual que sucede con la mayoría de las tecnologías, los sistemas digitales reemplazan progresivamente a los sistemas digitales. En el caso de los radioenlaces, las modulaciones digitales más utilizadas son las de cuadratura, como QPSK y QAM.
- Capacidad del enlace: se define como capacidad del enlace, especialmente en radioenlaces digitales, a la cantidad de información que este puede transmitir. Lo más habitual es el uso de tramas de 2 Mbps. Así, coloquialmente se conocerá como 2 x 2 a un enlace capaz de transmitir simultáneamente 2 tramas de 2 Mbps. Hasta 2 Mb/s se consideran radioenlaces de baja capacidad, pasando a ser de alta capacidad los que transmiten más de 34 Mbps.
- Protección o elementos de reserva: en algunos casos, es importante considerar un circuito de reserva para utilizarlo en caso de falla del enlace principal. Según este criterio, los enlaces se designan utilizando la expresión M + N, donde M es el número de canales principales y N el de canales de reserva. Así, un sistema 1 + 0 se denomina "sin protección" y un sistema 2 + 1 dispondrá de un canal de reserva ante el fallo de alguno de los canales activos.
- Despejamiento: para que podamos considerar que existe visibilidad directa, sin obstáculos, entre ambos extremos del radioenlace, debe existir una distancia entre la línea imaginaria que une ambas antenas y el obstáculo, como mínimo, mayor al 60% del radio de la primera zona de Fresnel.
- Primera zona de Fresnel: es el espacio entre el emisor y el receptor en cuyo volumen el desfase máximo de las ondas es de 180°. El radio se calcula con la siguiente fórmula:

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.1)$$

Donde:

d1: distancia del transmisor al obstáculo en metros

d2: distancia del obstáculo al receptor en metros

λ : longitud de onda de la señal en metros

r: radio de la zona de Fresnel (n=1,2,3...)

El lugar donde el radio de la zona de Fresnel es mayor se presenta el punto medio entre el transmisor y el receptor. [2]

2.2 Tipos de Soluciones de Comunicaciones Inalámbricas

Las soluciones de comunicaciones inalámbrica tienen gran diversidad para los sistemas de radiocomunicación, las clasificaciones más usuales son:

- Según el tipo de señales que operan, sistemas analógicos y digitales.
- Según el tipo de usuarios, sistema punto a punto y punto a multipunto.
- Según la banda de frecuencia, en sistema de banda estrecha y banda ancha.[3]

La clasificación de las comunicaciones inalámbricas varía y existen más por describir, sin embargo, las comunicaciones inalámbricas definidas en la sección 2.2 son las más relevantes en este trabajo. La comunicación generalmente consta de dos tipos principales de necesidad, por ejemplo, el primero es cuando una persona desea comunicarse y completar la comunicación con otra persona (punto a punto) y la segunda es cuando una persona desea comunicarse con múltiples personas (punto a multipunto).

2.2.1 Transmisión punto a punto.

La característica de este modelo de conectividad permite la transferencia de datos entre dos estaciones de comunicación, como se muestra en la figura 2.3. En este ejemplo, las dos estaciones intercambian datos simultáneamente si se requiere, estableciendo el modo denominado dúplex, constituido por el semicircuito de A hacia B y el semicircuito de B hacia A. Operando con frecuencias diferentes en cada estación, se transmite en una frecuencia (por su enlace ascendente) y se recibe en otra frecuencia (por su enlace descendente) que corresponde a la transposición de la frecuencia de la transmisión de la otra estación, realizada en el repetidor del satélite en que opera, cada enlace es un trayecto de la radiación desde una de las estaciones terrenas hasta el satélite o viceversa.

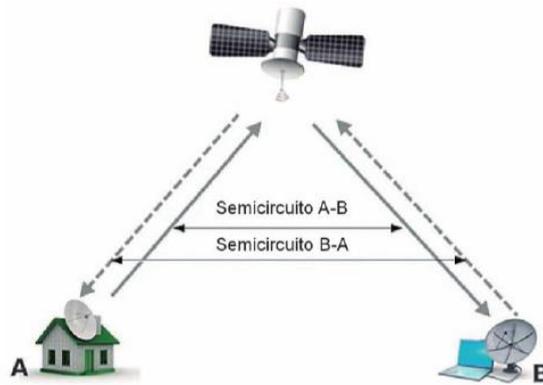


Figura 2.3 - Red con Conectividad Punto a Punto. [3]

2.2.2 Transmisión punto a multipunto.

El modelo de los sistemas punto a multipunto es básicamente la conectividad de una estación de comunicaciones principal o central hacia un gran número de posibles receptores, como por ejemplo los sistemas de radio difusión FM o la televisión, donde existe un transmisor central que usa una antena de haz amplio para poder alcanzar a un gran número de oyentes y/o televidentes, este modelo se puede apreciar en la figura 2.4. Esta característica brinda gran ventaja pues permite transmitir la señal desde una estación de comunicaciones a un gran número de usuarios dentro de la zona de cobertura, por lo que para un alto número de puntos de recepción y para obtener una buena recepción de la señal es conveniente aumentar la potencia de transmisión.



Figura 2.4 - Red con Conectividad Punto a Multipunto. [3]

2.3 Soluciones microondas.

La persona encargada de la planificación y el diseño de la solución de los enlaces microondas comprende y conoce varias características de los equipos de radio, ya que de esto depende el rendimiento de la solución en general, en ocasiones gran parte de los equipos llegan a ser considerados una caja negra, sin embargo, hay algunas características claves del equipo que afectan el diseño de los enlaces microondas.

2.3.1 Diagrama de bloques básico de un sistema de radio.

En aras de explicar con más detalle, en la figura 2.5 se muestra un diagrama de los diversos bloques que componen un sistema de radio, el tráfico de datos en la banda base (voz o datos), junto con los diversos bytes de sobrecarga para señalización, canales de servicio y control de radio, se envía a un multiplexor donde se combina en un flujo digital agregado y se decodifica para garantizar una distribución uniforme de las líneas espectrales, este flujo agregado luego se condensa en un flujo de bits más eficiente con un ancho de banda reducido en el modulador y se convierte a una IF (Intermediate Frequency) o Frecuencia Intermedia, en esta etapa la amplificación es más fácil al asociarlo con la linealidad, esto luego se convierte a la frecuencia de RF, utilizando un oscilador local de transmisión y alimentado al amplificador de potencia. Generalmente existe un módulo amplificador discreto de alta potencia (HPA) en la etapa final antes de ser alimentado a la unidad de derivación para la conexión a la antena.

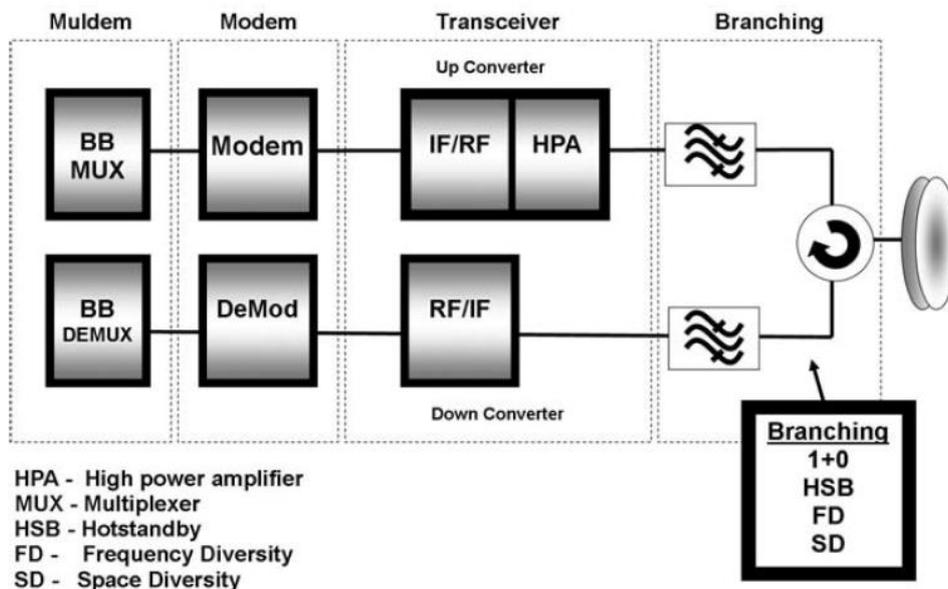


Figura 2.5 - Sistema de Radio representado en Diagrama de Bloques. [1]

La ruta de un circuito de voz sobre un sistema de radio se ilustra en la figura 2.6. La ubicación de estos componentes varía y se puede dividir con fines prácticos en tres categorías: Full Indoor, Solución Split y Full Outdoor.

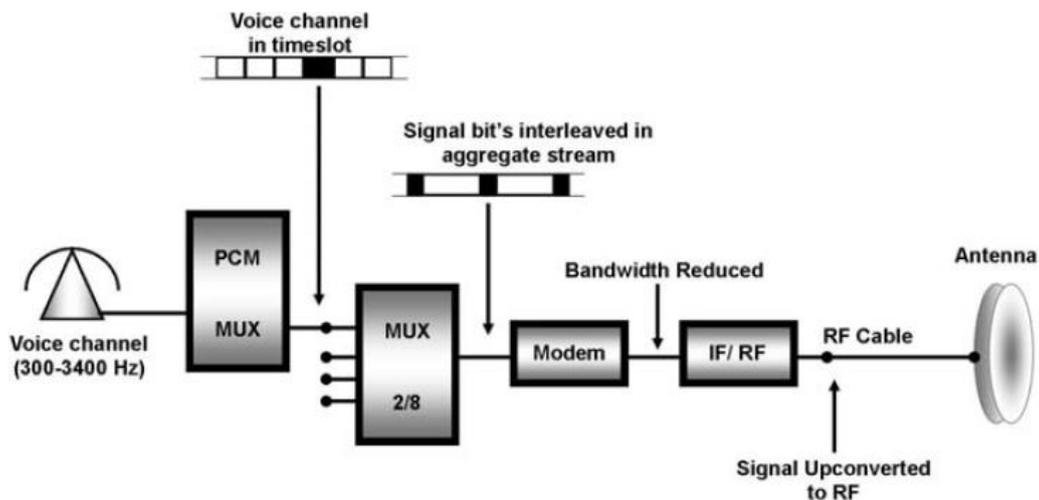


Figura 2.6 - Flujo de Transmisión del Circuito de Voz. [1]

2.3.2 Solución Full Indoor.

La solución full indoor es común en las soluciones con equipos de microonda tradicional, son instalados dentro de gabinetes (típicamente de 19 unidades rack) en una sala de equipos de transmisión, estos equipos tienen una conexión física con cable coaxial o de guía de ondas que transportan la señal de RF a la antena instalada en una torre. Los equipos que componen la solución full indoor, generalmente son fabricados con un modelo modular, de esta manera los trabajos de mantenimiento son más eficientes. Una práctica común en la planificación considera distintos diseños para las diferentes capacidades y bandas de frecuencias para operar. Los equipos que están al interior son idóneos para rutas de largo recorrido que requieren potencias de un gran nivel y arreglos de ramificación multifrecuencia.

2.3.3 Solución Split.

En la actualidad se aprecia que los equipos microondas se han alejado del enfoque tradicional que consiste en grandes estantes de equipos instalados en cuartos o ambientes interiores, ahora se adaptan a las redes de acceso donde el espacio es limitado y se prefieren los equipos modulares. Basado en una arquitectura de alta frecuencia que tiene los circuitos de RF instalados al aire libre para evitar las pérdidas muy altas de la guía de onda, ahora se encuentran disponibles en la mayoría de frecuencias y capacidades en una solución de instalación Split. En la solución Split, los circuitos de la banda base y del módem se instalan en una unidad Indoor, que normalmente es independiente de la frecuencia, este se conecta a la unidad Outdoor que aloja los circuitos de RF a través de un cable coaxial de baja pérdida. El cable coaxial transmite la señal banda base o IF (Intermediate Frequency) además de las señales de alimentación y de control. Los sistemas modulados por fase requieren una señal de IF para la conexión ascendente y descendente, mientras que los sistemas FSK pueden transportar una señal de banda base de subida y de bajada por un cable. La unidad Outdoor suele ser independiente de la capacidad. La configuración de la solución Split se muestra en la figura 2.7.

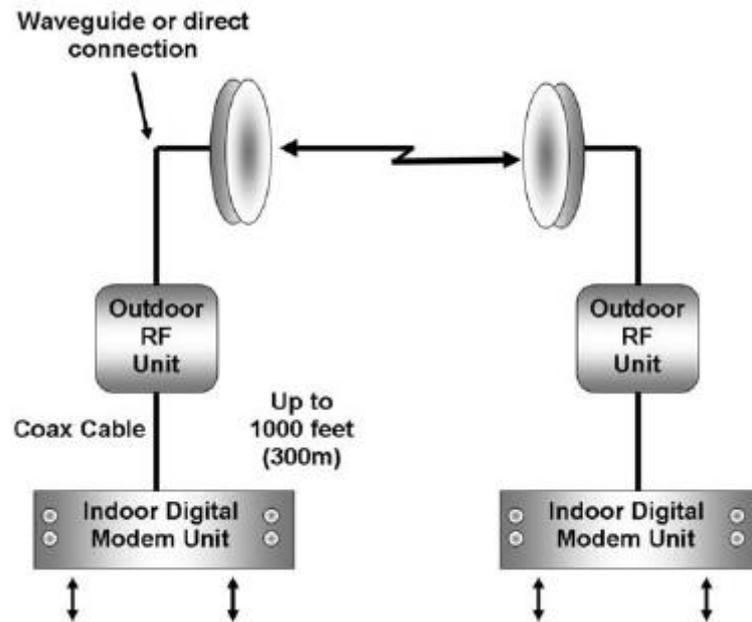


Figura 2.7 - Configuración Típica de la Solución Split. [1]

2.3.4 Solución Full Outdoor.

Esta solución permite disponer los equipos compactos como un solo módulo para la instalación en los exteriores, por ejemplo, cuando los enlaces de microondas son utilizados para la conexión de micro-celdas de tecnología celular o comunicar a usuarios a una distancia cercana del nodo, es necesario el uso de equipos de tamaño reducido con antenas pequeñas y fáciles de instalar que no consuman mucha energía. Los equipos de radio full outdoor cuentan con los elementos necesarios en un solo módulo para garantizar un funcionamiento correcto, este módulo está sellado herméticamente para evitar el deterioro y la corrosión de los componentes internos.

2.4 Equipos en los Enlaces Microondas

Los equipos microondas tienen diferentes funciones, para conocerlos, se muestran los componentes fundamentales para poder establecer una comunicación por medio de una solución microonda, en la lista de estos equipos fundamentales se incluye un radio transmisor microonda conectado a una antena direccional por medio de una línea de transmisión que se puede apreciar en la figura 2.8.

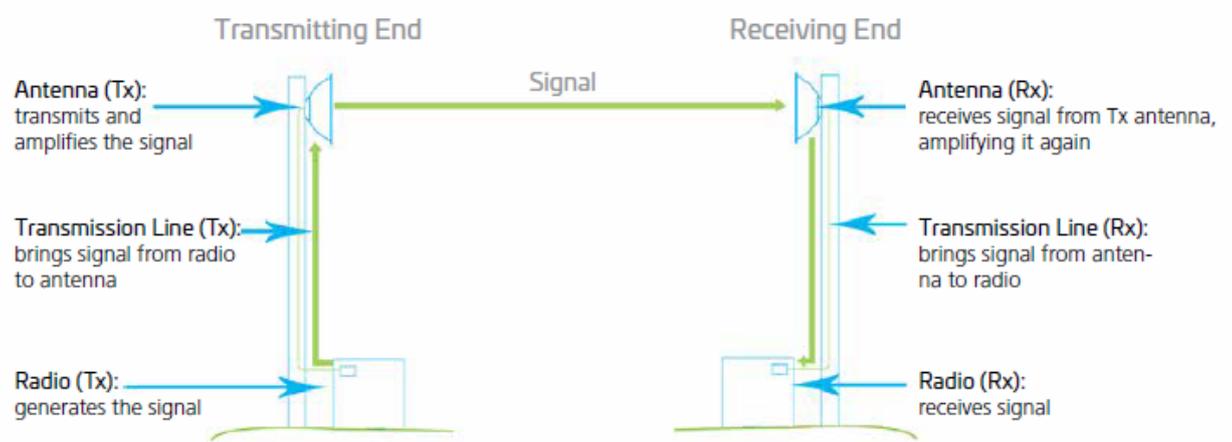


Figura 2.8 - Componentes Básicos para una Comunicación Microondas. [4]

Para revisar más de cerca sobre las tres partes de los bloques del enlace microonda de la figura, detallamos los radios, la línea de transmisión y las antenas a continuación.

2.4.1 La Radio

En cada final de un enlace microondas, existe su propia unidad de radio, comúnmente con la capacidad de realizar la transmisión (TX) y recepción (RX). Una radio de microondas típica utiliza aproximadamente 1 vatio de potencia o menos (30 dBm). El tráfico de datos de una radio generalmente oscila entre 100 y 300 Mbps

dentro de un rango de 50 MHz de ancho de banda, dependiendo del tipo de modulación utilizada.

El tráfico de datos se puede aumentar agregando más canales de datos utilizados o aumentando el esquema de modulación empleado. Los esquemas de modulación pueden variar desde orden bajo QPSK a 2048 QAM de orden superior o más, sin embargo, el aumento de la modulación reduce el sistema general de ganancia, que tiene el efecto práctico de aumentar la susceptibilidad a la interferencia y disminución general de la confiabilidad del enlace en condiciones menos que ideales.

La modulación adaptativa está ganando popularidad como un medio para encontrar el mejor equilibrio entre fiabilidad y tráfico en condiciones variables, ya que puede ajustar dinámicamente la modulación en respuesta al clima cambiante u otros factores limitantes. [4]

En el presente trabajo se usan las radios Nokia de la familia Wavence que posee las ODUs UBT-T y UBT-S, se usa su versión Full Outdoor y opera con la configuración 1+0 donde se utilizan ODUs del modelo UBT-S.

- **Ultra-Broadband Transceiver Twin (UBT-T)**

La ODU UBT-T tiene una configuración de "Doble portadora en una caja" que opera con múltiples frecuencias de microondas tradicionales hasta 42 GHz. Utilizando las tecnologías de radio más avanzadas, UBT-T tiene la capacidad de gestionar 2.5 Gbps (1.3 Gbps por canal), frecuencias de 6-42 GHz, modulación hasta 4096 QAM, latencia hasta 100 μ s, el equipo UBT-T se aprecia en la figura 2.9.

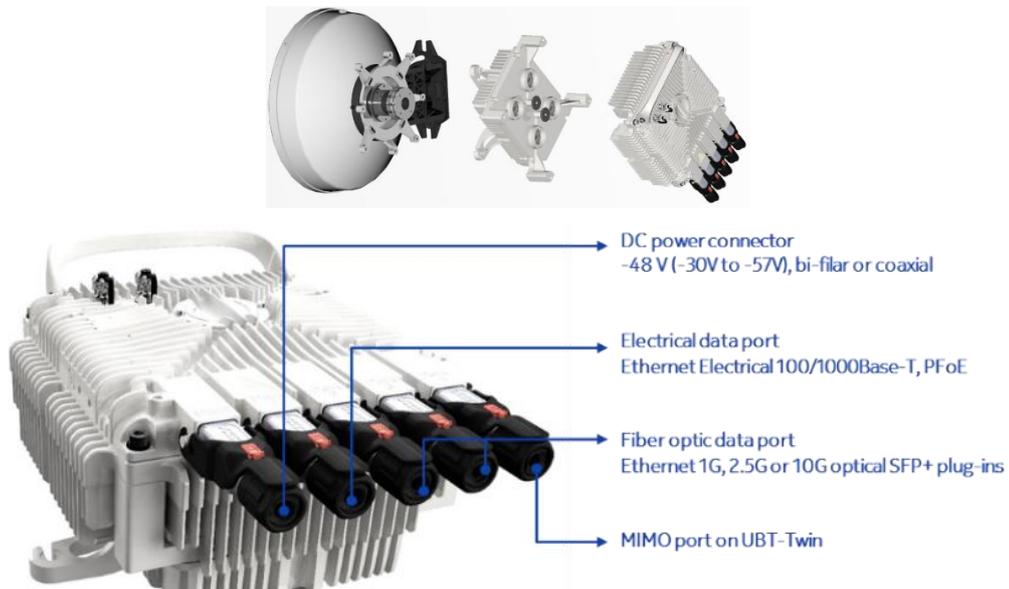


Figura 2.9 - Radio UBT-T y Antena.

Fuente: Proveedor

- **Ultra-Broadband Transceiver Single (UBT-S)**

La ODU UBT-S tiene la misma arquitectura que UBT-T, tiene la parte activa en una unidad separada frente a la pasiva, por lo que esta unidad de radio tiene una sola portadora, el equipo UBT-S se aprecia en la figura 2.10.

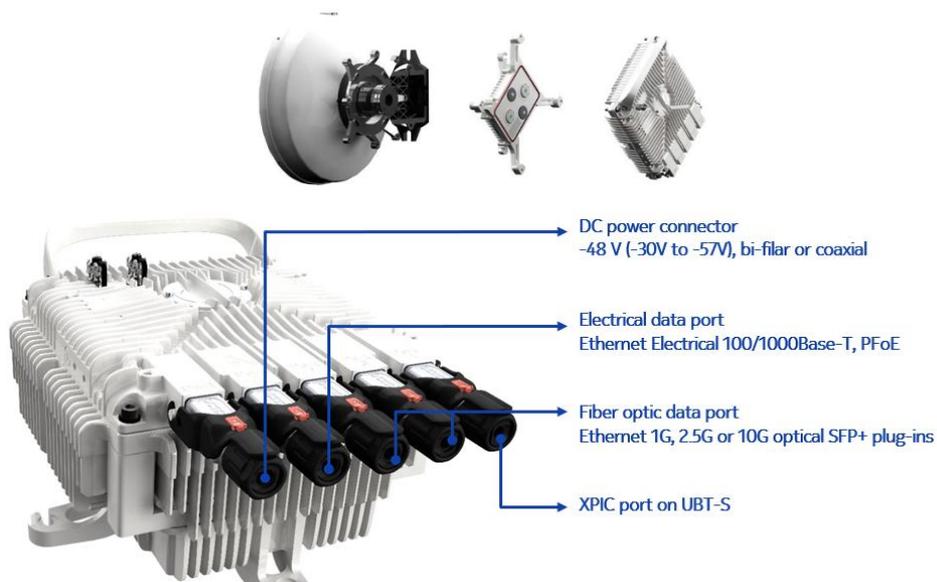


Figura 2.10 - Radio UBT-S y Antena.

Fuente: Proveedor

A. Modulación

Existen dos tipos principales de modulación para sistemas de radio digitales, la modulación directa y modulación indirecta. La modulación directa se genera cuando no existe una portadora de frecuencia intermedia. La señal de banda base se aplica directamente al modulador, reduciendo la complejidad y la gestión. La modulación indirecta conlleva, en primer lugar, convertir la señal de banda base en una IF (Frecuencia Intermedia) y luego convertirla en una frecuencia de RF. Hay tres tipos principales de modulación digital: modulación de amplitud, fase o frecuencia. Dado que la señal en la etapa de la modulación es una señal digital, esta modulación cambia la señal entre dos estados. En la modulación de amplitud, la codificación on-off (OOK) se usa cuando el valor de amplitud se cambia entre cero y alguna amplitud predeterminada; en modulación de fase (PSK), la fase se desplaza 180 grados, en la modulación de frecuencia, las frecuencias se desplazan entre dos valores de frecuencia. Los dos métodos de modulación más utilizados para equipos de radio por microondas se basan en FSK multinivel y n-QAM, que se basan en una combinación de los métodos discutidos anteriormente, estos esquemas utilizan modulación de múltiples símbolos para reducir los requisitos de ancho de banda. Los esquemas de modulación de múltiples símbolos, aunque requieren una relación S / N más alta para funcionar, reducen a la mitad los requisitos de ancho de banda para cada nivel utilizado.[1]

B. Codificación y modulación adaptables (ACM)

Los equipos empleados para este trabajo incluyen lo que se conoce como Adaptive Coding and Modulation (ACM), en los sistemas digitales, la señal de radio puede situarse justo por encima del límite de la curva del umbral del receptor y seguir funcionando prácticamente sin errores, pero se requiere el margen de desvanecimiento de diseño completo durante el porcentaje muy pequeño de tiempo que existen condiciones meteorológicas adversas (lluvia o conductos atmosféricos admite condiciones de trayectos múltiples), por lo tanto, se ve que durante la mayor parte del tiempo la radio puede funcionar con capacidad adicional en el mismo ancho de banda, utilizando un esquema de modulación de menor capacidad y menos

confiable, aceptando que el tráfico adicional se pierde cuando se produce el desvanecimiento, este es el principio detrás de la modulación adaptativa. El esquema de modulación se cambia a través del software cuando se produce el desvanecimiento para modular a mayor capacidad y más confiable en la duración del desvanecimiento. Este cambio puede ocurrir desde 4PSK hasta 256 QAM. [1]

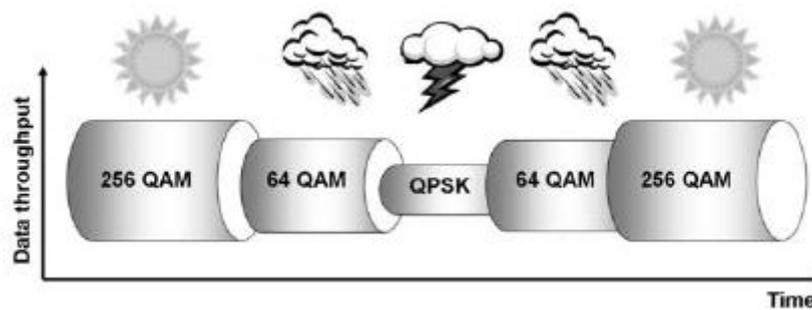


Figura 2.11 - Modulación Adaptativa. [1]

C. Transmisión de la Radio

La potencia de salida de transmisión con frecuencia se puede atenuar mediante la configuración del software en la radio. Un control de potencia de transmisión adaptativo llamado control automático de potencia de transmisión (ATPC) se utiliza para mejorar la interferencia de frecuencia al atenuar la potencia de transmisión en condiciones sin desvanecimiento y luego aumentar la potencia durante el desvanecimiento, esto se hace monitoreando el nivel de recepción y enviando esta información al transmisor. Si no se produce desvanecimiento, la potencia de transmisión se atenúa, reduciendo así la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE). Durante el desvanecimiento, la atenuación se elimina, restaurando todo el margen de desvanecimiento del diseño incluido para superar los efectos del desvanecimiento.[1]

2.4.2 La Línea de Transmisión

Cuando nos referimos a las Líneas de Transmisión, hablamos del medio físico que conectan la radio y la antena direccional o directiva, estos pueden ser cables coaxiales o guías de ondas, debido a la cantidad de pérdida de señal que pueden introducir, la elección del tipo de línea de transmisión está determinada en gran medida por la frecuencia en uso, la pérdida también puede estar sujeta a lo flexible y maniobrable que puede ser esta línea. Usualmente, una radio de solución Split con una ODU se instala directamente en la antena con una placa de interfaz especial que elimina la necesidad de una línea de transmisión por completo, algunos ejemplos son el cable Coaxial, adecuado en aplicaciones que utilizan frecuencias hasta o cercanamente por encima de 2GHz, a mayores frecuencias en la mayoría de las longitudes, la pérdida se vuelve muy alta para su uso práctico, por otro lado tenemos a la Guía de Onda, adecuado para frecuencias más altas, la guía de ondas elíptica presenta una sección transversal elíptica y puede admitir frecuencias de hasta alrededor de 40GHz, sin embargo, rara vez se usa en aplicaciones por encima de 13 GHz.[4]



Figura 2.12 - Ejemplos de Cable Coaxial. [4]



Figura 2.13 - Ejemplo de Guía de Onda. [4]

2.4.3 La Antena

La antena más usada en los sistemas microondas es la antena direccional, usualmente tiene forma parabólica, esta forma permite obtener el mayor foco de energía posible en un solo haz, estas antenas suelen ser polarizadas, verticales u horizontales, según la ubicación de su conexión de alimentación. El tamaño del plato de la antena es una parte clave de su diseño, su función y rol dentro de la red. Los platos de la antena más grandes pueden producir mayor potencia, pero la contraparte es su dificultad en la instalación y con ello la limitación del espacio en la torre a instalar, la carga que representa el peso y su resistencia al aire son factores que influyen. Un aspecto a considerar es que, a pesar de ser antenas altamente direccionales, estas pierden parte de la energía de la señal en ambos lados laterales y detrás de la antena, las antenas de mayor calidad reducen esta pérdida de energía y mitigan la interferencia, lo que las convierte en una inversión justificada a pesar de la diferencia del costo.



Figura 2.14 - Ejemplo de Antena. [4]

A. Diagrama de radiación

Una de las principales características de la antena es el diagrama de radiación, que es una representación gráfica de la densidad de potencia radiada por una antena en función de la dirección. [2]

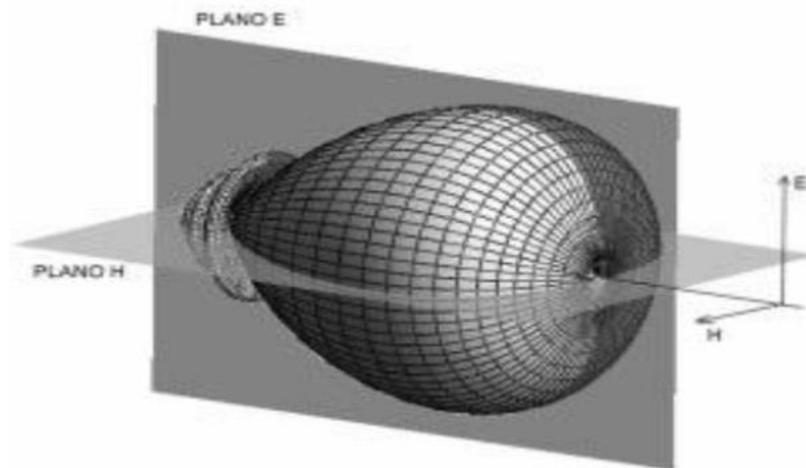


Figura 2.15 - Diagrama de radiación tridimensional. [5]

B. Ganancia

La antena, por definición, es un dispositivo pasivo que no puede amplificar la señal, sin embargo, puede distribuir la señal con la finalidad de aumentar más la intensidad en una dirección que en otra, esto es lo que consideramos ganancia de antena, es la radiación que sale directamente del frente de la antena. La ganancia se expresa como la relación entre la densidad de potencia de referencia (P) de un radiador isotrópico y la densidad de potencia en la dirección particular que se está considerando, suele expresarse en una escala logarítmica en decibelios. Las antenas de microondas generalmente se especifican en dBi. [1]

C. Lóbulos laterales

Las antenas además de su lóbulo principal también incluyen lóbulos laterales, estos existen ya que prácticamente es imposible configurar toda la energía en una sola dirección, parte de ella se desvía por los lados y posterior de la antena,

formando los lóbulos. El lóbulo principal está alrededor del centro de la antena, los lóbulos laterales de menor amplitud se producen alrededor del resto de la antena. El objetivo de una antena direccional es maximizar la energía en el lóbulo principal minimizando la energía en los lóbulos laterales.

D. Relación Front to Back

La relación Front to Back nos muestra que no toda la energía se irradia por el frente de la antena, como se puede apreciar en la figura 2.16, parte de ella irradia desde el lóbulo posterior. La relación F/B se define como la relación entre la ganancia en la dirección de avance deseada y la ganancia en la dirección opuesta.

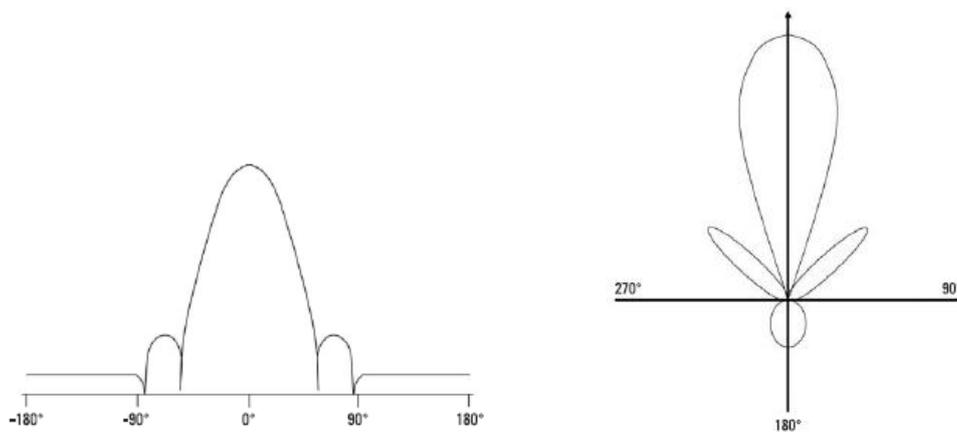


Figura 2.16 - Patrón de antena con lóbulos principales, posteriores y laterales. [1]

En el presente trabajo, se utilizan antenas de la marca TONGYU, con diámetros de 0.3m, 0.6m y 0.9m en simple polarización para las bandas de 11GHz y 15 GHz, como ejemplo se describe la antena 0.3m en simple polarización de 15 GHz que incluye un patrón de radiación que se aprecia en la figura 2.17 y las siguientes características:

- Ganancia: 32.1 dBi
- 3dB BW: 4.3°
- VSWR: 1.3
- F/B ratio (dB): 58
- Dimensiones (mm): Alto 399, Ancho 367, Profundidad 105.

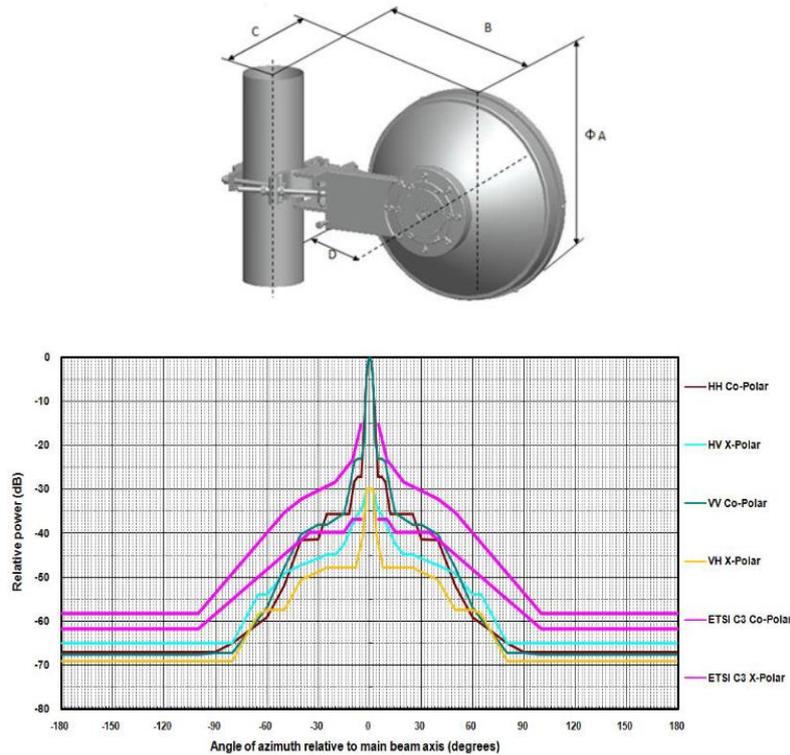


Figura 2.17 - Características Físicas y Patrón de Radiación.

Fuente: Proveedor

2.5 Propagación y pérdidas del trayecto (Path Loss)

Las ondas electromagnéticas, durante la propagación a través del espacio, se pueden encontrar con distintos obstáculos, según cómo afecte esto a la señal, aparecen distintos fenómenos que describimos a continuación.

2.5.1 Reflexión

La reflexión se produce cuando una onda electromagnética incide en una superficie, reflejándose parte de ella en otra dirección, esto dependerá de varios factores como la rugosidad de la superficie, el grosor, humedad, capacidad de absorción o penetración de la energía en el medio, así como de características de la señal como la longitud de onda y el ángulo de incidencia.

En cualquier reflexión se evidencia que el material absorbe parte de la energía (onda absorbida o transmitida al medio) y refleja otra parte (onda reflejada). La definición del coeficiente de reflexión es la relación entre el campo eléctrico reflejado y el incidente, este coeficiente es igual a 0 para materiales absorbentes puros y 1 para materiales reflectantes puros.

2.5.2 Difracción

Cuando una onda se encuentra ante un obstáculo, se produce el fenómeno conocido como difracción, es decir cada frente del obstáculo se convierte en un nuevo foco emisor, otro fenómeno importante en la propagación de la señal es la de dispersión, que se produce en obstáculos pequeños en comparación con la longitud de onda de la señal (superficies rugosas) y que consiste en la degradación de la señal debido a la reflexión en distintas direcciones de esta, esto se aprecia en la figura 2.18.

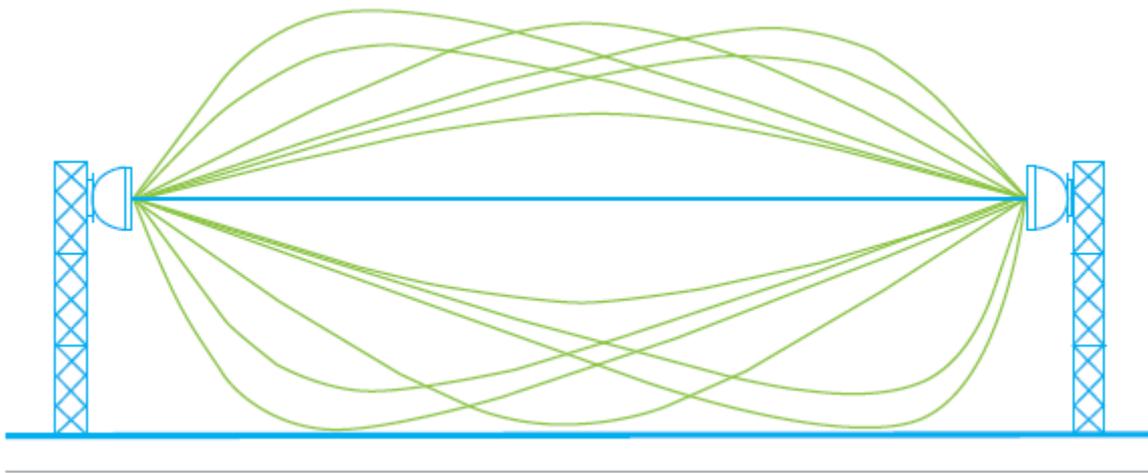


Figura 2.18 - Difracción. Se forman señales de longitudes de onda múltiples e impares elipsoides alrededor del rayo directo. [4]

2.5.3 Refracción

La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar por un medio material a otro, esto es, el ángulo de entrada de la onda en el medio y el de salida son distintos.

Las formas de propagación de la señal son variadas:

- Directa: la señal va del transmisor al receptor de forma directa, sin ningún tipo de obstáculo. Las estaciones están en alcance visual (línea de vista) y/o antenas muy altas.
- Terrestre: Las señales se propagan superficialmente siguiendo la curvatura de la tierra debido a un proceso de difracción.
- Reflejadas: Las señales son reflejadas en superficies lisas respecto a la longitud de onda de la señal.
- Propagación troposférica: donde las señales se transmiten por la baja atmósfera.
- Propagación por reflexión ionosférica: Las señales se reflejan en la ionosfera y regresan a la superficie terrestre. [2]

CAPITULO III

PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

La solución propuesta para brindar acceso a los servicios de Internet e Intranet a las Instituciones Abonadas Obligatorias de las Localidades Beneficiarias de la región San Martín requiere de una red inalámbrica conformada por dos tecnologías:

- Enlaces Punto a Punto (PTP) en Banda Licenciada
- Enlaces Punto – Multi Punto (PTMP) en Banda No Licenciada

La distribución en la topología de la red de las tecnologías PTP y PTMP se muestra en la figura 3.1.

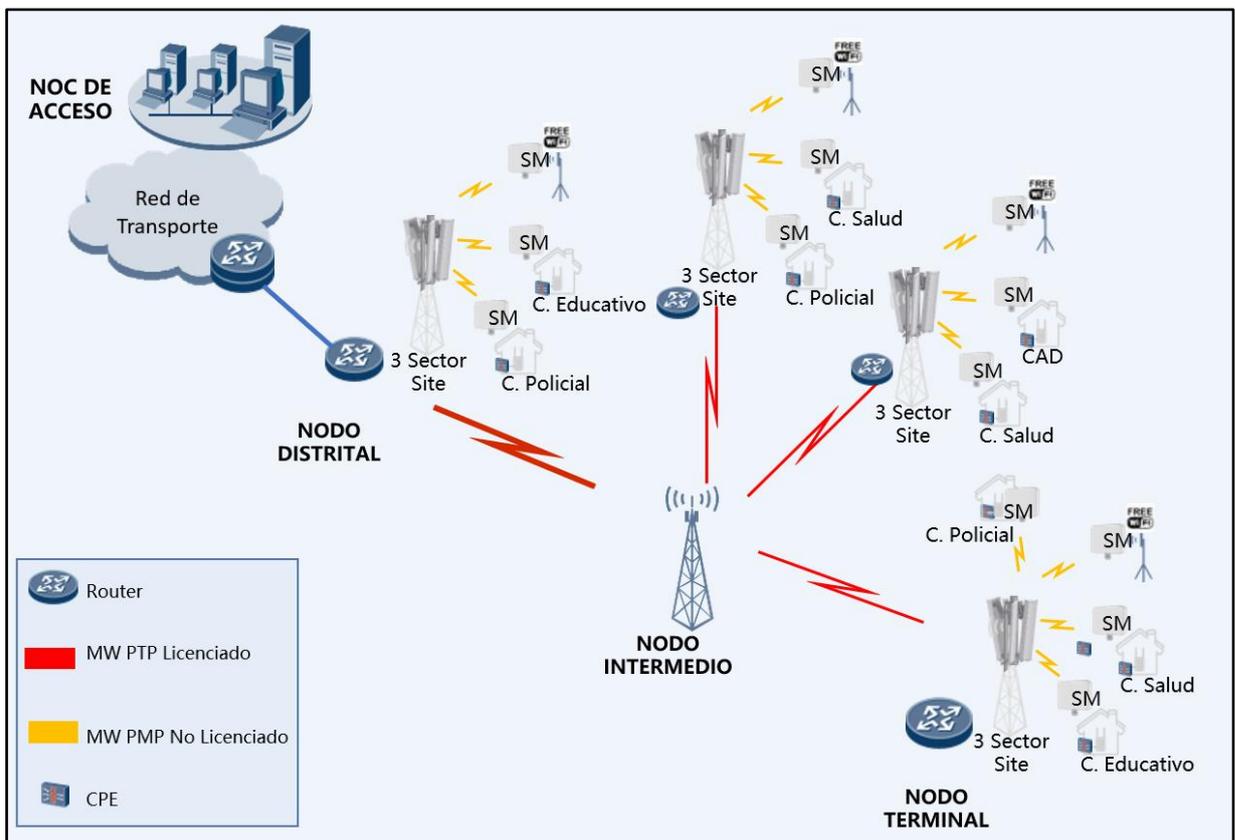


Figura 3.1 - Topología inalámbrica de la Red

Fuente y Elaboración: Propia

3.1 Enlaces de microonda Punto a Punto (PTP) en Banda Licenciada

En esta sección, se exponen los criterios de diseño utilizados para atender el requerimiento de la Red Inalámbrica Terrestre.

3.1.1 Requerimientos

Para la planificación del presente trabajo, se diseñó cinco enlaces de microondas PTP en banda licenciada, las frecuencias usadas son las siguientes:

- Banda 11 GHz, de acuerdo con el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF) de Perú.
- Banda 15 GHz, de acuerdo con el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF) de Perú.

3.1.2 Criterios de Diseño

El diseño es el proceso fundamental para la búsqueda de la solución empleando un sistema de comunicaciones inalámbricas, para asegurar el éxito del proyecto es importante determinar los criterios, lineamientos y pautas a usar.

A. Criterios para la asignación de banda, ancho de banda y capacidad

a. Criterio de asignación de banda por longitud de enlace

La asignación de banda por longitud de enlace se da de acuerdo a la sensibilidad, modulación y tráfico de los equipos de la línea UBT de Nokia Wavence, usando solo el criterio de distancia se considera lo siguiente:

- Uso de banda de 11GHz para enlaces cuya distancia sea mayor a 10Km.
- Uso de banda de 15GHz para enlaces cuya distancia sea menor a 10Km.

En los enlaces microondas también se aprecia la distribución de las frecuencias siguiendo una planificación de las bandas, en este trabajo se operan con las frecuencias de 15 GHz @ 28Mhz y 11 GHz @ 40 MHz, como se aprecia en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 - Modulación y Capacidad de acuerdo al Ancho de Canal de los Equipos
UBT de Nokia Wavence

Modulación	Ancho de Canal	11 GHz	15 GHz
4096QAM	28 MHz		265 Mbps
2048QAM			246 Mbps
1024QAM			221 Mbps
512QAM			199 Mbps
256QAM			185 Mbps
128QAM			160 Mbps
64QAM			135 Mbps
32QAM			112 Mbps
16QAM			86 Mbps
QPSK			45 Mbps
4096QAM	40 MHz	371 Mbps	
2048QAM		343 Mbps	
1024QAM		309 Mbps	
512QAM		284 Mbps	
256QAM		256 Mbps	
128QAM		229 Mbps	
64QAM		193 Mbps	
32QAM		154 Mbps	
16QAM		123 Mbps	
QPSK		61 Mbps	

Fuente: Proveedor

Elaboración: Propia

b. - Criterio de asignación de ancho de banda y capacidad de enlace

La asignación de tamaño del canal de espectro radio eléctrico y esquema de modulación está de acuerdo con el Plan Nacional De Atribución De Frecuencias (PNAF).

B. Asignación de Frecuencia

Las bandas licenciadas operan en las frecuencias de 11GHz y 15 GHz, usando como referencia el Plan Nacional de Atribución de Frecuencia (PNAF).

a. Banda de Frecuencia 11 GHz (10700 - 11700 MHz)

De acuerdo con el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF), como se muestra en la tabla 3.2, considera como base las recomendaciones ITU-R F.387-12 que proporciona hasta 12 canales de ida y retorno con ancho de Banda de 40 MHz y un

ancho de guarda de 530 MHz entre la frecuencia de ida y retorno por canal, estableciendo las frecuencias de cada canal expresadas mediante las siguientes relaciones:

- Mitad inferior de la banda: $f_n = f_0 - 525 + 40 n$ MHz
- Mitad superior de la banda: $f'_n = f_0 + 5 + 40 n$ MHz

Siendo:

- f_0 la frecuencia central de la banda de frecuencias ocupada (MHz).
- f_n la frecuencia central de un radiocanal en la mitad inferior de la banda (MHz).
- f'_n la frecuencia central de un radiocanal en la mitad superior de la banda (MHz).
- $n = 1, 2, 3, \dots, 12$ en las bandas tanto inferiores como superiores (para una disposición de 12 canales).

Tabla 3.2 - Plan nacional de atribución de frecuencias – PNAF para banda de 11 GHz (10700 - 11700 MHz), Ancho de banda del canal: 40 MHz

<i>$f_0 = 11200,0$ MHz</i>			
Canal (n)	f_n (MHz)	Canal (n')	f'_n (MHz)
1	10715,00	1'	11245,00
2	10755,00	2'	11285,00
3	10795,00	3'	11325,00
4	10835,00	4'	11365,00
5	10875,00	5'	11405,00
6	10915,00	6'	11445,00
7	10955,00	7'	11485,00
8	10995,00	8'	11525,00
9	11035,00	9'	11565,00
10	11075,00	10'	11605,00
11	11115,00	11'	11645,00
12	11155,00	12'	11685,00

Fuente: RESOLUCION VICEMINISTERIAL N.º 102-98-MTC-15.03

Elaboración: Propia

b. Banda de Frecuencia 15 GHz (14400 - 15350 MHz)

De acuerdo con el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF), como se muestra en la tabla 3.3, considera como base las recomendaciones ITU-R F.636-5 y proporciona hasta 16 canales de ida y retorno con Ancho de Banda de 28 MHz y un ancho de guarda de 490 MHz entre la frecuencia de ida y retorno por canal, estableciendo las frecuencias de cada canal expresadas mediante las siguientes relaciones:

- Mitad inferior de la banda: $f_n = f_r + 2688 + 28n$ MHz (3.1)

- Mitad superior de la banda: $f'_n = f_r + 3626 - 28(16 - n)$ MHz (3.2)

Siendo:

- f_r la frecuencia de referencia (MHz).
- f_n la frecuencia central de un radiocanal en la mitad inferior de la banda (MHz).
- f'_n la frecuencia central de un radiocanal en la mitad superior de la banda (MHz).
- $n = 1, 2, 3, \dots, 16$ en las bandas tanto inferiores como superiores (para una disposición de 16 canales)

Tabla 3.3 - Plan nacional de atribución de frecuencias – PNAF para banda de 15 GHz (14400 - 15350 MHz), Ancho de banda del canal: 28 MHz

<i>f_r = 11701,0 MHz</i>			
Canal (n)	f _n (MHz)	Canal (n')	f _{n'} (MHz)
1	14417,00	1'	14907,00
2	14445,00	2'	14935,00
3	14473,00	3'	14963,00
4	14501,00	4'	14991,00
5	14529,00	5'	15019,00
6	14557,00	6'	15047,00
7	14585,00	7'	15075,00
8	14613,00	8'	15103,00
9	14641,00	9'	15131,00
10	14669,00	10'	15159,00
11	14697,00	11'	15187,00
12	14725,00	12'	15215,00
13	14753,00	13'	15243,00
14	14781,00	14'	15271,00
15	14809,00	15'	15299,00
16	14837,00	16'	15327,00

Fuente: RESOLUCION VICEMINISTERIAL N.º 102-98-MTC-15.03

Elaboración: Propia

C. Criterios de asignación de sitios en frecuencia alta o baja

Para la asignación de frecuencias de la red inalámbrica, se aplica el criterio práctico del principio de Alta Frecuencia y Baja Frecuencia por sitio, dicho criterio se aplica de la siguiente manera, una vez que un sitio ha sido asignado como transmisor en el lado de Alta Frecuencia del Plan de Canalización de Frecuencias, todos los enlaces de microondas originados en dicho sitio transmitirán en Alta Frecuencia del Plan de Canalización de Frecuencias, este sitio transmisor en Alta Frecuencia transmite hacia el siguiente sitio, el siguiente sitio usará la Baja Frecuencia de acuerdo al Plan de Frecuencias, lo que significa que todos los enlaces en el sitio de Alta Frecuencia se conectan con frecuencias de Baja Frecuencia de los siguientes saltos y los sitios de Baja Frecuencia se conectan con frecuencias de Alta Frecuencia.

D. Criterios de distribución de antenas en la torre

La instalación de las antenas tiene un criterio que dependen de distintos factores, en esta sección, se presenta las consideraciones en el diseño respecto a la separación de la instalación de antenas en la torre de comunicaciones:

a. Separación de antenas Punto a Punto (PTP) que trabajan en la misma Banda de Frecuencia.

Las antenas PTP cuando están operando en la misma frecuencia y están instaladas muy cerca entre sí, tienen gran probabilidad de generar interferencia, para evitar y mitigar la interferencia entre las diferentes antenas instaladas en la torre de comunicaciones se considera la separación vertical de 3 metros, como se muestra en la figura 3.2.

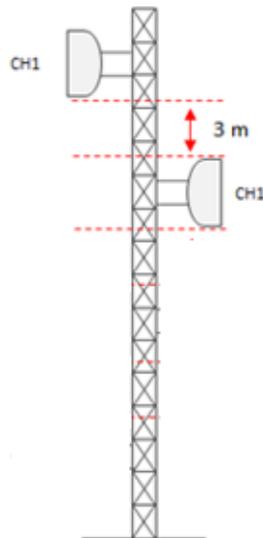


Figura 3.2 - Separación de Antenas PTP (a la misma Banda frecuencia) en la Torre.

Fuente y Elaboración: Recomendaciones de Instalación, Nokia

b. Separación de antenas Punto a Punto (PTP) que trabajan en diferente Banda de Frecuencia.

En el caso de incorporar varias antenas PTP instaladas en la torre de comunicaciones, se considera la separación vertical de 1 metro si las antenas están a diferentes frecuencias, como se muestra en la figura 3.3.

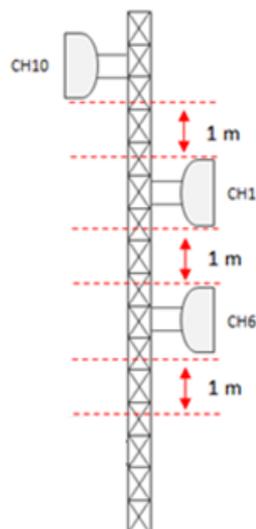


Figura 3.3 - Separación de Antenas PTP (en diferente Banda Frecuencia) en la Torre.

Fuente y Elaboración: Recomendaciones de Instalación, Nokia

E. Criterio de diseño de radioenlaces Punto a Punto

Todos los enlaces microondas PTP de este trabajo son diseñados con la finalidad de ser instalados en la región San Martín, para la simulación se usó el software de diseño Pathloss 5.1, la figura 3.4 muestra la distribución y la organización con el que opera.

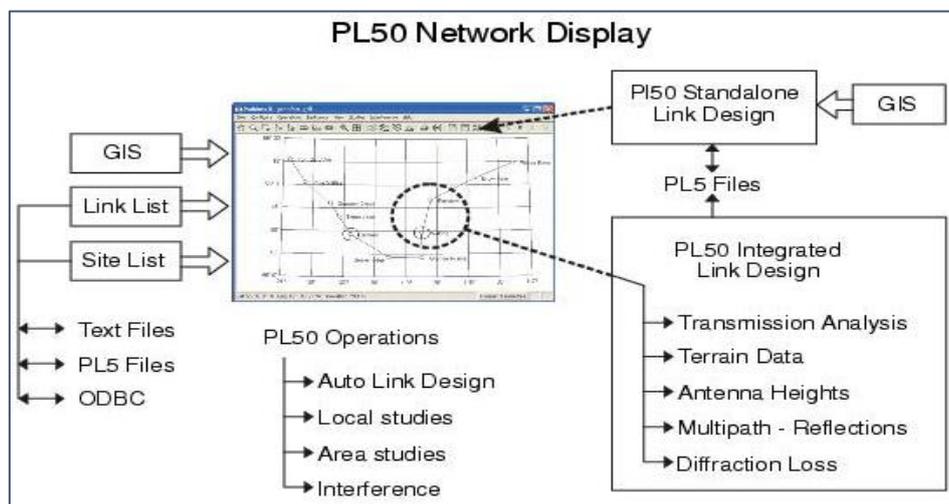


Figura 3.4 - Organización del programa Pathloss 5.1

Fuente y Elaboración: Manual General de Operación del Programa, Pathloss 5.1

En la figura 3.5 se describen los módulos que usa y la versión del software Pathloss utilizado para simulaciones de los enlaces Punto a Punto (PTP).

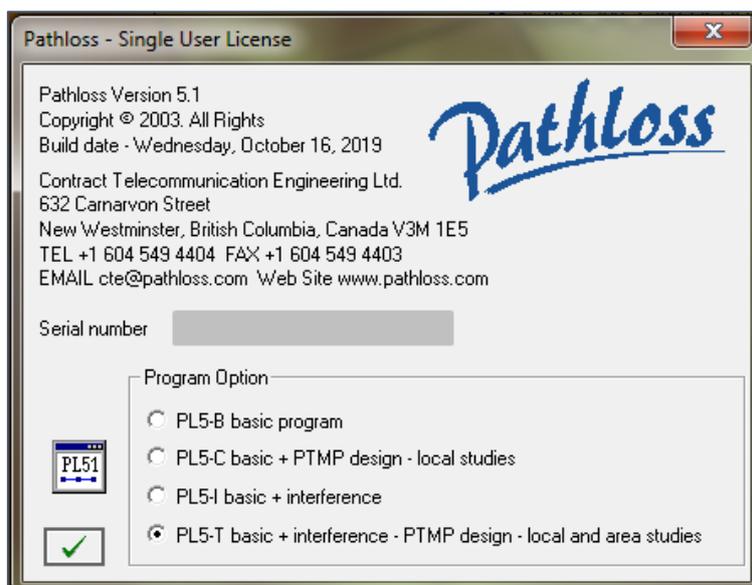


Figura 3.5 - Versión, Licencia y Módulos de Pathloss 5.1

Fuente y Elaboración: Programa Pathloss 5.1

Para el diseño se han empleado varios criterios y metodologías, considerando las diferentes regiones de lluvia y vegetación correspondiente a esta región, en esta sección se mencionan los criterios de diseño para la solución Punto a Punto.

a. Métodos y Criterios del Diseño de la Red Inalámbrica

Durante la fase del diseño, se utilizó los siguientes criterios y metodologías:

- Utilizar un Modelo Digital Terrestre (DTM) que contiene un archivo SRTM3 con mapa de resolución de 10 m.
- Definir la altura de antenas propuestas empleando el criterio de diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa establecido en la recomendación ITU.R P.530-17.
- Emplear la recomendación ITU-R P.453-14, el porcentaje de veces anuales y mensuales para las cuales el gradiente de refractividad ΔN a más de 100 m y < -100 NUnits/km (%) es 10
- Aplicar el método de predicción para multitrayecto plano y selectivo ITU.R P.530-7/8.
- Aplicar el método de predicción para lluvia ITU.R P.530-16 (proporciona métodos para los efectos de propagación en condiciones despejadas y con precipitaciones) en conjunto con las recomendaciones ITU.R P.837-5 e ITU.R P.838-3.
- Diseñar con la disponibilidad mínima para cada enlace de 99.995%
- Emplear un Fade Margin de 20 dB
- Considerar en las simulaciones la zona de precipitación, los valores de la figura 3.6 se utilizan para seleccionar la intensidad de lluvia sobrepasada durante el 0.01% del año medio para Perú.

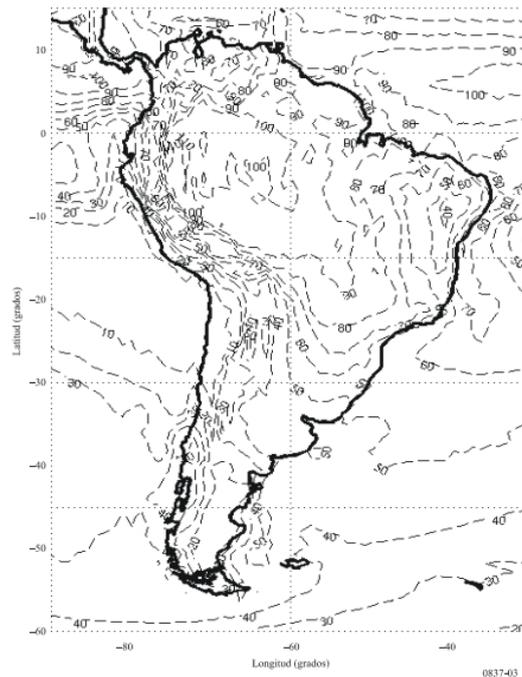


Figura 3.6 - Intensidad de lluvia rebasada durante el 0,01% de un año medio

Fuente y Elaboración: Rec. UIT-R P.837

Los reportes que genera el software Pathloss emplean un modelo previamente elaborado, en este trabajo se muestran los reportes que se exportan en el software Pathloss para cada enlace, estos reportes detallan todos los cálculos obtenidos, como ejemplo, se muestran los reportes de los enlaces A4204_SM_HUIMBAYOC - A4205_SM_MIRAFLORES y A4204_SM_HUIMBAYOC - A4207_SM_LECHE, los demás reportes correspondiente a los enlaces faltantes se muestran en el "Anexo A".



A4204_SM_HUIMBAYOC
 Latitude 06 25 00.73 S
 Longitude 075 45 57.06 W
 Azimuth 246.59°
 Elevation 174 m ASL
 Antenna CL 49.0 m AGL

Frequency (MHz) = 14690.0
 K = 1.33 FH = 20.0 m
 %F1 = 100.00

A4205_SM_MIRAFLORES
 Latitude 06 26 05.03 S
 Longitude 075 48 25.56 W
 Azimuth 66.60°
 Elevation 193 m ASL
 Antenna CL 44.0 m AGL

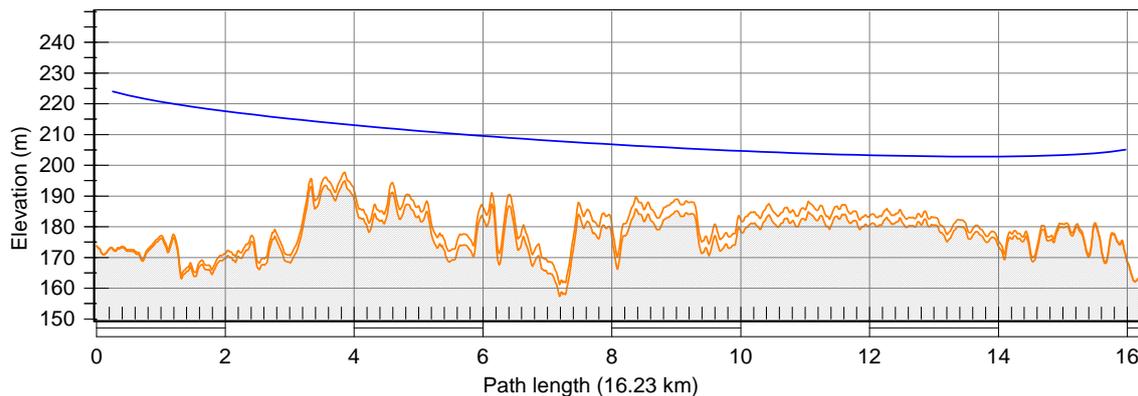
Transmission details (A4204_SM_HUIMBAYOC-A4205_SM_MIRAFLORES.p15)

	A4204_SM_HUIMBAYOC	A4205_SM_MIRAFLORES
Latitud	06 25 00.73 S	06 26 05.03 S
Longitud	075 45 57.06 W	075 48 25.56 W
Azimut real (°)	246.59	66.60
Elevación Vertical (°)	0.15	-0.19
Elevación (m)	173.87	193.48
Altura de Torre (m)	60.00	48.00
Modelo de Antena	TYA06U015S-AMPT (TR)	TYA06U015S-AMPT (TR)
Nombre del archivo de antena	tya06u015s-ampt	tya06u015s-ampt
Ganancia de antena (dBi)	36.80	36.80
Altura de antena en la torre(m)	49.00	44.00
Circulator branching loss (dB)	0.0	0.0
Frequency (MHz)	14690.00	
Polarización	Vertical	

	A4204_SM_HUIMBAYOC	A4205_SM_MIRAFLORES
Distancia del enlace (km)	4.97	
Free space loss (dB)	129.74	
Pérdida por absorción atmosférica (dB)	0.13	
Net path loss (dB)	57.87	57.87
Configuración	1+0	1+0
Modelo de Radio	15UBT028~265	15UBT028~265
Nombre del archivo del radio	15ubt028~265	15ubt028~265
Designador de emisiones	28MOD7W	28MOD7W
TX channel assignments	15G-28M-Hi-02 14935.V 15G-28M-Hi-02 14935.H	15G-28M-Lo-02 14445.V 15G-28M-Lo-02 14445.H
Factor geo climático	1.555E-005	
Path inclination (mr)	2.94	
Factor de ocurrencia de desvanecimiento (Po)	5.141E-005	
Polarización	Vertical	

	TX power (dBm)		RX threshold level (dBm)		EIRP (dBm)		Señal Recibida (dBm)		Margen de desvanecimiento o térmico (dB)		Flat fade margin - multirayecto (dB)	
2048 QAM 246	21.50	21.50	-58.50	-58.50	58.30	58.30	-34.77	-34.77	23.73	23.73	23.73	23.73

	Peor mes - multirayecto		Multirayecto anual		Lluvia anual		Total anual (2 way)	Tiempo en modo (2 vías)
2048 QAM 246	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9952	99.9952	99.9952	99.9952



A4204_SM_HUIMBAYOC
 Latitude 06 25 00.73 S
 Longitude 075 45 57.06 W
 Azimuth 139.18°
 Elevation 174 m ASL
 Antenna CL 53.0 m AGL

Frequency (MHz) = 10980.0
 K = 1.33 FH = 15.0 m
 %F1 = 100.00

A4207_SM_LECHE
 Latitude 06 31 40.51 S
 Longitude 075 40 11.75 W
 Azimuth 319.17°
 Elevation 163 m ASL
 Antenna CL 44.0 m AGL

Transmission details (A4204_SM_HUIMBAYOC-A4207_SM_LECHE.pl5)

	A4204_SM_HUIMBAYOC	A4207_SM_LECHE
Latitud	06 25 00.73 S	06 31 40.51 S
Longitud	075 45 57.06 W	075 40 11.75 W
Azimut real (°)	139.18	319.17
Elevación Vertical (°)	-0.12	0.01
Elevación (m)	173.87	163.37
Altura de Torre (m)	60.00	48.00
Modelo de Antena	TYA09U10WS-APBR (TR)	TYA09U10WS-APBR (TR)
Nombre del archivo de antena	tya09u10ws-apbr	tya09u10ws-apbr
Ganancia de antena (dBi)	37.60	37.60
Altura de antena en la torre(m)	53.00	44.00
Frequency (MHz)	10980.00	
Polarización	Vertical	
Distancia del enlace (km)	16.23	

	A4204_SM_HUIMBAYOC	A4207_SM_LECHE
Free space loss (dB)	137.49	
Pérdida por absorción atmosférica (dB)	0.25	
Net path loss (dB)	62.53	62.53
Configuración	1+0	1+0
Modelo de Radio	11UBT040~371	11UBT040~371
Nombre del archivo del radio	11ubt040~371	11ubt040~371
Designador de emisiones	40MOD7W	40MOD7W
TX channel assignments	11G-40M-Hi-01 11245.V	11G-40M-Lo-01 10715.V
Factor geo climático	1.548E-005	
Path inclination (mr)	1.20	
Factor de ocurrencia de desvanecimiento (Po)	4.233E-003	
Polarización	Vertical	

	TX power (dBm)		RX threshold level (dBm)		EIRP (dBm)		Señal Recibida (dBm)		Margen de desvanecimiento o térmico (dB)		Flat fade margin - multitrayecto (dB)	
64 QAM 193	25.00	25.00	-73.30	-73.30	62.60	62.60	-37.53	-37.53	35.77	35.77	35.77	35.77

	Peor mes - multitrayecto		Multitrayecto anual		Lluvia anual		Total anual (2 way)	Tiempo en modo (2 vías)
64 QAM 193	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9966	99.9966	99.9965	99.9965

Figura 3.7 - Reporte Pathloss

Elaboración: Propia

F. Criterio para garantizar la Disponibilidad del Radio enlace.

La modulación adaptativa es una función con la que operan los equipos de radio microondas Punto a Punto para garantizar sistemas de transmisión seguros y eficientes en el espectro cuando las características del canal son variantes con el tiempo. La modulación adaptativa consiste en estimar la respuesta del canal en la estación de comunicaciones receptora y enviar las estimaciones obtenidas a la estación transmisora realizando un sistema retroalimentado mediante un canal de retorno, con el propósito de que el transmisor, según los valores obtenidos, pueda decidir de forma inteligente el nivel de modulación más conveniente y de esta manera variar la tasa de datos o la potencia de transmisión cuando se degrada la calidad del enlace, por tal motivo, se diseñan los enlaces de radio microondas Punto a Punto habilitando la funcionalidad de modulación adaptativa (ACM), con la finalidad de garantizar la disponibilidad del radio enlace provocado por las variaciones temporales debido a los factores climatológicos.

G. Criterios para mitigar interferencia intrasistema e intersistema.

La interferencia intrasistema se calcula mediante el software Pathloss 5.1. El cálculo se organiza en grupos, solo se usan capas visibles en el cálculo, todos los sitios de comunicaciones y enlaces que no estén en una capa visible serán ignorados. Los cálculos utilizan archivos de datos de antena y radio, el método para calcular la interferencia dentro del sistema se desarrolla en orden y con las siguientes acciones:

- Asociar un archivo de datos Pathloss (pl4 o pl5) con cada enlace que utiliza en el cálculo.
- Especificar una base de datos para cada elemento (antenas, IDUs, ODU, etc.) en el enlace PTP de Pathloss.
- Analizar la transmisión, debe completarse el nivel de un cálculo de señal de recepción.
- Asignar la frecuencia de transmisión y recepción, se especifica para los archivos de datos Pathloss utilizados en el cálculo.
- Calcular la Interferencia.

El programa Pathloss incluye un módulo para realizar los cálculos de la interferencia en el diseño, el cálculo comienza al construir tablas de transmisión y recepción para los dos conjuntos de enlaces, si los dos conjuntos son iguales, solo se requiere un conjunto de tablas de transmisor y receptor. Los datos se leen normalmente de los archivos de datos Pathloss asociados con cada enlace, si uno de estos archivos está en la memoria, es decir, el archivo se ha cargado en una de las secciones de diseño, se utilizarán los datos de la memoria. El archivo de datos Pathloss en la memoria se puede editar y la interferencia se ejecuta nuevamente para ver el efecto de los cambios.

El objetivo de nivel interferente I_{obj} para cada receptor se calcula de la siguiente manera:

$$I_{obj} = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{N_{rx}}{10}} \cdot \left(10^{\frac{T_{do}}{10}} - 1 \right) \right) \quad (3.3)$$

Dónde:

T_{do} : Degradación de umbral permitida especificada en el cuadro de diálogo Interferencia.

N_{rx} : Umbral de ruido del receptor en dBm.

El cálculo del umbral de ruido del receptor depende de los datos específicos disponibles en el archivo de datos de radio Umbral a interferencia T_I y el umbral del receptor 10^{-9} BER RX_{thr} .

$$N_{rx} = RX_{thr} - T_I + 5.868 \text{ dBm} \quad (3.4)$$

Portador-interferencia de 3dB C_{I3dB} medido en el umbral del receptor BER 10^{-9} $RX_{thr10^{-9}}$.

$$N_{rx} = RX_{thr10^{-9}} - C_{I3dB} \quad (3.5)$$

Figura de ruido del receptor NF y ancho de banda del receptor de 3 dB BW_{3dB}

$$N_{rx} = 10 \cdot \log_{10} (n_f) + 30. + NF \text{ dBm} \quad (3.6)$$

Donde:

$$n_f = K \cdot T \cdot BW_{3dB} \cdot 1.E9 \quad (3.7)$$

K : 1.380658E-23 (constante de Boltzman)

T: 290 grados Kelvin

Y el ancho de banda (BW) de 3 dB se expresa en MHz

El nivel interferente representa la potencia total en la banda de paso del receptor del lado afectado que degrada el umbral del receptor en la cantidad especificada. El cálculo no considera las frecuencias y los anchos de banda del transmisor interferente y el receptor afectado, estos se utilizan más adelante para calcular la mejora del filtro.

Si el umbral de ruido del receptor no está disponible debido a la falta de datos, se utiliza el nivel mínimo de interferencia predeterminado.

Para mitigar la interferencia intrasistema se realizó lo siguiente:

- Analizar gráficamente de manera preliminar para evitar incidentes de interferencia por enlaces cuyos ángulos de apertura de antena coinciden (enlaces casi en línea recta) con la asignación de un canal de frecuencia idéntico.
- Verificar que las ODUs Wavence operen en toda una banda de frecuencia, se distribuyeron los canales de frecuencias estratégicamente, para evitar coincidencia de canales de frecuencia y reutilizar uno o varios canales de frecuencia.
- Usar antenas de alto desempeño con ángulos pequeños de apertura.
- Minimizar la interferencia frontal-posterior de antenas, consecuencia del criterio de Frecuencias Alta-Baja, se realizó una separación mínima de 90 grados en el plano horizontal y 2 metros de separación en altura en el plano vertical, para posibles reúsos de canales de transmisión en un mismo sitio.
- Usar la funcionalidad ATPC para minimizar los valores de potencia de transmisión y así reducir valores de posibles interferencias intrasistema.

3.1.3 Tipos de Nodos

- **Nodo Distrital**

Los nodos distritales son de mayor jerarquía en la red de acceso, por ende, los más cercanos a la red de Transporte, todos los nodos Distritales recibirán conexión física mediante fibra óptica como troncal de enlace entre la red de Acceso y la red de Transporte.

- **Nodo Intermedio**

Los nodos intermedios son de menor jerarquía que un nodo distrital en la red de acceso, su función es habilitar la interconexión entre los nodos Distritales y Terminales, por ejemplo, para asegurar la distribución y transporte del tráfico de datos de la red de Acceso, estos nodos no reciben conexión física mediante fibra óptica, únicamente operan con conexiones inalámbricas del tipo PTP y en casos de brindar servicio de datos a las Instituciones Abonadas Obligatorias de la zona, también se instalan radios del tipo PTMP.

- **Nodo Terminal**

Los nodos terminales son los nodos de menor jerarquía en toda la red de Acceso, puede conectarse de forma inalámbrica a nodos Distritales o Intermedios, tiene conexiones inalámbricas del tipo PTP para recibir el tráfico de datos y brindar servicio de datos a las Instituciones Abonadas Obligatorias de la zona, también son instalados radios del tipo PTMP.

3.1.4 Dimensionamiento de los Nodos de Red de Acceso

En base a la descripción y tipos de nodos antes expuestos, se muestran los criterios considerados para la planificación del tráfico de datos de las Instituciones Abonadas Obligatorias, estas Instituciones están en el Apéndice N° 1 del Anexo N°8-B de las bases del Proyecto “Creación de Banda Ancha para la Conectividad Integral y Desarrollo Social de la red de Acceso.

A. Listado de las Localidades e Instituciones Abonadas Obligatorias.

El listado de Localidades Beneficiarias e Instituciones de la región San Martín, que se aprecia en la tabla 3.4, fue gestionado por PRONATEL, para fines de este trabajo se eligieron cinco localidades con las respectivas instituciones:

Tabla 3.4 - Lista de Localidades Beneficiarias e Instituciones beneficiadas

CodINEI2015	LOCALIDAD	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	FUENTE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (MSNM)	Localidad con población menor a 1000 habitantes	Censo 2017
2209050010	YARINA	SAN MARTIN	SAN MARTIN	CHIPURANA	MED-GPS	-6.42293	-75.8625	158	No	1,517
2209070001	HUIMBAYOC	SAN M ARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	INEI	-6.41687	-75.76585	173	No	1,389
2209070009	MIRAFLORES	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	ESTUDIO DE CAMPO	-6.43473	-75.8071	196	Yes	462
2209070011	PUCALLPA	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	ESTUDIO DE CAMPO	-6.45359	-75.84517	159	Yes	505
2209070015	LECHE	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	ESTUDIO DE CAMPO	-6.52792	-75.66993	162	Yes	443
2209070016	SAN JOSE DE YANAYACU	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	ESTUDIO DE CAMPO	-6.55661	-75.63834	169	Yes	619

UBIGEO CODE	REGION	PROVINCIA	DISTRITO	LOCALIDAD	TIPO DE ENTIDAD	CODIGO UNICO DE MINISTERIO	NOMBRE DE LA INSTITUCION	CATEGORÍA	DIRECCIÓN
2209050010	SAN MARTIN	SAN MARTIN	CHIPURANA	YARINA	Hospital	6439	YARINA	I-3	YARINA
2209050010	SAN MARTIN	SAN MARTIN	CHIPURANA	YARINA	Colegio	482635	0711 - JORGE BASADRE GROHOMAN	SECUNDARIA	YARINA S/N
2209050010	SAN MARTIN	SAN MARTIN	CHIPURANA	YARINA	Colegio	482602	61	PRIMARIA	YARINA
2209070001	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	HUIMBAYOC	Colegio	483017	775	SECUNDARIA	JIRON ABANCAY CUADRA 4
2209070001	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	HUIMBAYOC	Hospital	6437	HUIMBAYOC	I-3	JR. SÁNCHEZ CERRO N° 109 - HUIMBAYOC
2209070001	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	HUIMBAYOC	Colegio	482857	53	INICIAL - JARDIN ; PRIMARIA	JIRON ABANCAY 115
2209070009	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	MIRAFLORES	Colegio	482862	54	INICIAL - JARDIN ; PRIMARIA ; SECUNDARIA	PROSPERO
2209070009	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	MIRAFLORES	Hospital	6441	MIRAFLORES	I-1	MIRAFLORES
2209070009	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	MIRAFLORES	Plaza				
2209070011	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	PUCALLPA	Colegio	482876	0055 SEGUNDO LEONARDO CHUJANDAMA HUAMAN	INICIAL - CUNA-JARDIN ; PRIMARIA ; SECUNDARIA	PUCALLPA
2209070011	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	PUCALLPA	Hospital	6447	PUCALLPA	I-1	PUCALLPA
2209070011	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	PUCALLPA	Plaza				
2209070015	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	LECHE	Hospital	6443	LECHE	I-1	LECHE
2209070015	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	LECHE	Colegio	482937	712	PRIMARIA ; SECUNDARIA	GRAU CDRA. 3
2209070015	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	LECHE	Plaza				
2209070016	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	SAN JOSE DE YANAYACU	Colegio	482881	97	PRIMARIA ; SECUNDARIA ; SECUNDARIA	JIRON ABANCAY CUADRA 4
2209070016	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	SAN JOSE DE YANAYACU	Hospital	6446	SAN JOSE DE YANAYACU	I-1	BENJAMIN PISCO OJANAMA
2209070016	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	SAN JOSE DE YANAYACU	Plaza				

Fuente: Anexo 8-B de las Bases del Proyecto – Pronatel

Elaboración: Propia

Para codificar los nombres de las localidades e instituciones se usa la siguiente nomenclatura que se aprecia en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 - Lista de nomenclaturas y codificación.

CODIGO DE NODO	CodINEI2015	REGION	PROVINCIA	DISTRITO	LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD
A4201_SM_YARINA	2209050010	SAN MARTIN	SAN MARTIN	CHIPURANA	YARINA	-6.42293	-75.8625
A4204_SM_HUIMBAYOC	2209070001	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	HUIMBAYOC	-6.41687	-75.76585
A4205_SM_MIRAFLORES	2209070009	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	MIRAFLORES	-6.43473	-75.8071
A4206_SM_PUCALLPA	2209070011	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	PUCALLPA	-6.45359	-75.84517
A4207_SM_LECHE	2209070015	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	LECHE	-6.52792	-75.66993
A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU	2209070016	SAN MARTIN	SAN MARTIN	HUIMBAYOC	SAN JOSE DE YANAYACU	-6.55661	-75.63834

CODIGO DE ENTIDADES	TIPO DE ENTIDAD	CODIGO UNICO DE MINISTERIO	NOMBRE DE LA INSTITUCION	LATITUD	LONGITUD	NODO ASIGNADO
4201_SM_YARINA_H006439	Hospital	6439	YARINA	-6.42611	-75.86337	A4201_SM_YARINA
4201_SM_YARINA_S482635	Colegio	482635	0711 – JORGE BASADRE GROHOMAN	-6.42312	-75.86261	A4201_SM_YARINA
4201_SM_YARINA_S482602	Colegio	482602	61	-6.42299	-75.86239	A4201_SM_YARINA
4204_SM_HUIMBAYOC_S483017	Colegio	483017	775	-6.41978	-75.76574	A4204_SM_HUIMBAYOC
4204_SM_HUIMBAYOC_H006437	Hospital	6437	HUIMBAYOC	6.416895	75.768687	A4204_SM_HUIMBAYOC
4204_SM_HUIMBAYOC_S482857	Colegio	482857	53	-6.4164	-75.7661	A4204_SM_HUIMBAYOC
4205_SM_MIRAFLORES_S482862	Colegio	482862	54	-6.43385	-75.80523	A4205_SM_MIRAFLORES
4205_SM_MIRAFLORES_H006441	Hospital	6441	MIRAFLORES	-6.4356	-75.80642	A4205_SM_MIRAFLORES
4205_SM_MIRAFLORES_Plaza	Plaza			-6.43523	-75.80635	A4205_SM_MIRAFLORES
4206_SM_PUCALLPA_S482876	Colegio	482876	0055 SEGUNDO LEONARDO CHUJANDAMA HUAMAN	-6.45347	-75.84392	A4206_SM_PUCALLPA
4206_SM_PUCALLPA_H006447	Hospital	6447	PUCALLPA	-6.4527	-75.84497	A4206_SM_PUCALLPA
4206_SM_PUCALLPA_Plaza	Plaza			-6.45256	-75.84379	A4206_SM_PUCALLPA

4207_SM_LECHE_H006443	Hospital	6443	LECHE	-6.52727	-75.66993	A4207_SM_LECHE
4207_SM_LECHE_S482937	Colegio	482937	712	-6.5284	-75.67031	A4207_SM_LECHE
4207_SM_LECHE_Plaza	Plaza			-6.5274	-75.66984	A4207_SM_LECHE
4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU_S482881	Colegio	482881	97	-6.55736	-75.63709	A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU
4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU_H006446	Hospital	6446	SAN JOSE DE YANAYACU	-6.55573	-75.63844	A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU
4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU_Plaza	Plaza			-6.55709	-75.63817	A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU

Fuente: Anexo 8-B de las Bases del Proyecto – Pronatel

Elaboración: Propia

3.1.4.2 Listado de Enlaces y Tipo de Nodos.

La cantidad de nodos fue definida considerando el número de localidades, el número de instituciones, la distancia y la geografía del lugar, en la tabla 3.6 se aprecia la información de los nodos utilizados y la altura de las torres de comunicación.

Tabla 3.6 - Lista de nodos y alturas de torre.

NODO	TIPO DE NODO	LATITUD	LONGITUD	ALTURA DE TORRE
A4201_SM_YARINA	Terminal	-6.42293	-75.8625	36 m
A4204_SM_HUIMBAYOC	Distrital	-6.41687	-75.76585	60 m
A4205_SM_MIRAFLORES	Intermedio	-6.43473	-75.8071	54 m
A4206_SM_PUCALLPA	Intermedio	-6.45359	-75.84517	48 m
A4207_SM_LECHE	Intermedio	-6.52792	-75.66993	54 m
A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU	Terminal	-6.55661	-75.63834	54 m

Elaboración: Propia

La topología de la red de los enlaces microondas se muestra en la figura 3.8, la topología fue elaborada en el software Pathloss 5.1.



Figura 3.8 - Topología de la Red

Elaboración: Propia

En la tabla 3.7 se aprecian los enlaces microondas considerados en el diseño para la red de comunicaciones inalámbrica PTP, la altura de instalación de las antenas en la torre de comunicación y la distancia.

Tabla 3.7 - Lista de sitios y alturas de instalación de antena en la torre.

Nombre del Sitio 1	Nombre del Sitio 2	Latitud S1	Latitud S2	Longitud S1	Longitud S2	Altura de antena en la torre(m) S1	Altura de antena en la torre(m) S2	Distancia (km)
A4207_SM_LECHE	A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU	-6.52792	-6.55661	-75.66993	-75.63834	32	47	4.72
A4204_SM_HUIMBAYOC	A4207_SM_LECHE	-6.41687	-6.52792	-75.76585	-75.66993	53	44	16.23
A4206_SM_PUCALLPA	A4201_SM_YARINA	-6.45359	-6.42293	-75.84517	-75.8625	29	30	3.9
A4205_SM_MIRAFLORES	A4206_SM_PUCALLPA	-6.43473	-6.45359	-75.8071	-75.84517	46	40	4.7
A4204_SM_HUIMBAYOC	A4205_SM_MIRAFLORES	-6.41687	-6.43473	-75.76585	-75.8071	49	44	4.97

Elaboración: Propia.

3.2 Enlaces de radio Punto Multi Punto (PTMP) en Banda No Licenciada

El sistema de radioenlace Punto Multi Punto (PTMP) se diseñó en su totalidad con equipos de radio de la marca RADWIN de la línea Radwin 5000, los requerimientos y criterios considerados en el diseño PTMP son descritos en esta sección.

3.2.1 Requerimientos de Diseño

Los requerimientos generales de diseño y cálculo para la solución de radioenlace PTMP en la región de SAN MARTÍN son los siguientes:

- Banda de frecuencia: 5Ghz
- Ancho de canal: 40MHz
- Disponibilidad: 99%
- Fade Margin: 6dB

3.2.2 Criterios de diseño para suscriptores

Los criterios de diseño para la solución PTMP se basan en garantizar la capacidad requerida total y asegurada para los canales de subida (uplink) y bajada (downlink) de las instituciones beneficiarias, en esta sección se muestran los planes de servicios.

A. Planes de servicios para Instituciones Abonadas Obligatorias

Los servicios brindados a las IAO son servicios de internet e intranet, estos servicios muestran las capacidades de los servicios de internet e intranet respectivamente con la finalidad de dimensionar correctamente el tráfico de datos en los equipos suscriptores (equipos PTMP) en las IAO, se considera un servicio de internet de 40Mbps y un servicio de intranet de 40Mbps, se tiene como resultado de la suma un total de 80Mbps como máximo (MIR) a ser procesado por el suscriptor, todo ello de acuerdo al anexo 8-B de las Bases del Proyecto. Se garantizará el 40% de estos servicios, es decir cada suscriptor de un IAO deberá asegurar mínimamente (CIR) 32Mbps full dúplex como se aprecian en las tablas 3.8 y 3.9.

Tabla 3.8 - Planes de servicio de internet.

Relación Subida/Bajada		04:01				
Capacidad Asegurada		40%				
PLAN	MIR			CIR		
	Velocidad de bajada (Mbps)	Velocidad de subida (Mbps)	Velocidad agregada (Mbps)	Velocidad de bajada (Mbps)	Velocidad de subida (Mbps)	Velocidad agregada (Mbps)
2	2	0.5	2.5	0.8	0.2	1
4	4	1	5	1.6	0.4	2
8	8	2	10	3.2	0.8	4
12	12	3	15	4.8	1.2	6
20	20	5	25	8	2	10
40	40	10	50	16	4	20

Fuente: Anexo 8-B de las Bases del Proyecto

Tabla 3.9 - Planes para el servicio de intranet.

Relación Subida/Bajada		01:01				
Capacidad Asegurada		40%				
PLAN	MIR			CIR		
	Velocidad de bajada (Mbps)	Velocidad de subida (Mbps)	Velocidad agregada (Mbps)	Velocidad de bajada (Mbps)	Velocidad de subida (Mbps)	Velocidad agregada (Mbps)
2	2	2	4	0.8	0.8	1.6
4	4	4	8	1.6	1.6	3.2
8	8	8	16	3.2	3.2	6.4
12	12	12	24	4.8	4.8	9.6
20	20	20	40	8	8	16
40	40	40	80	16	16	32

Fuente: Anexo 8-B de las Bases del Proyecto

B. Planes de servicio para Plazas

Los cálculos del dimensionamiento del tráfico de datos consideran el plan de las plazas para localidades con población entre 400 y 700 personas y una capacidad de Internet proyectada para el año 10 de 12,000 Kbps según la tabla 3.10.

Tabla 3.10 - Planes para el servicio de intranet en las plazas.

Población	Capacidad de Internet en Kbps									
	(Aseguramiento de 40% y relación UL/DL 1:4)									
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<400	4,400	4,800	5,200	5,600	6,000	6,400	6,800	7,200	7,600	8,000
>=400 & <700	6,600	7,200	7,800	8,400	9,000	9,600	10,200	10,800	11,400	12,000
>=700 & <1000	8,800	9,600	10,400	11,200	12,000	12,800	13,600	14,400	15,200	16,000

Fuente: Anexo 8-B de las Bases del Proyecto

Para el cálculo del tráfico se considera la proyección a 10 años de la capacidad asegurada (CIR) de enlace de internet para las Plazas con poblaciones entre 400 y 700 habitantes, DL (MIR) es 12,000Kbps. Los cálculos se muestran en la tabla 3.11, con una capacidad mínima de DL de 4.8 Mbps y subida (UL) de 1.2 Mbps.

Tabla 3.11 - Capacidad de enlace de internet para las Plazas.

DL (MIR)	UL (MIR)	Capacidad Agregada (MIR)	DL (CIR)	UL (CIR)	Capacidad Agregada Mínima (CIR)
12,000 Kpbs	3,000 Kpbs	15,000 Kpbs	4,800 Kpbs	1,200 Kpbs	6,000 Kpbs

Elaboración: Propia

3.2.3 Solución PTMP Radwin

En esta sección se muestran los criterios de diseño utilizados para atender tanto la cobertura como los requerimientos de los servicios en las Instituciones Abonadas Obligatorias y las Plazas con la solución PTMP.

A. Criterios de Diseño

La herramienta utilizada para la simulación del diseño es el software propietario de RADWIN llamado R-Planner, este software realiza las simulaciones y cálculos de enlace, emplea como base la información de ubicación y altimetría que entrega el Google Earth.

Los criterios de diseño considerados para este trabajo son:

- Banda de frecuencia: 5,4GHz y 5,8GHz
- Factor climático: 2

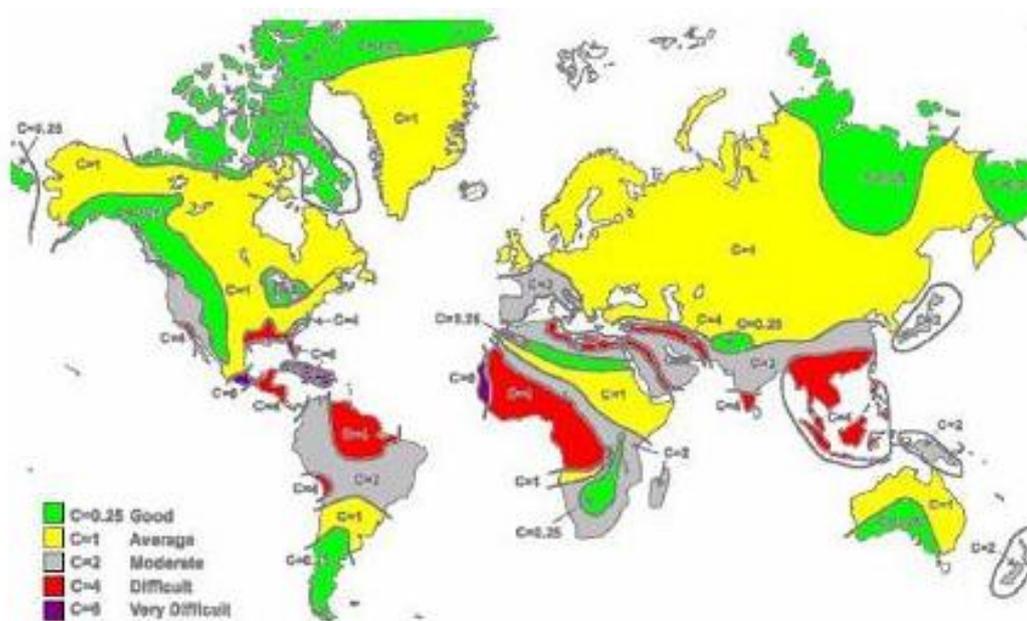


Figure 3.9 - Mapa global de factores de clima

Fuente: Proveedor

- Tipo de Área: RURAL
- Throughput CIR UL/DL 32Mbps/32Mbps
- Disponibilidad: 99%
- Fade Margin: 6dB

El software R-Planner emplea una librería de equipos para las simulaciones, los equipos considerados en este trabajo son:

- RW-5BG5-9458: Estación base (AP) RADWIN con doble-carrier de hasta 1.5 Gbps, tiene hasta 04 puertos RF de polarización dual (hasta 04 sectores).
- RW-5H00-9P54: Equipo subscriptor (Cliente) RADWIN que gestiona hasta 250Mbps con antena integrada de 22dBi.
- RW-9061-5014: Antena sectorial de 120° de polarización dual de hasta 11dBi de ganancia.

Los criterios de esta sección se emplean para la evaluación con el software R-Planner, cada uno de los enlaces PTMP muestra un resultado del estado del enlace, este resultado es calificado como PASS o FAIL, siendo el estado PASS la calificación de un enlace óptimo que cumple con los requerimientos de capacidad, RSSI, modulación, distancia, fade margin y línea de vista, y el estado FAIL que define si el enlace no cumple con alguno de los requerimientos.

B. Características principales de la solución RADWIN

La solución PTMP de la serie RADWIN 5000 es una solución certificada en laboratorio y en escenarios reales con excelentes prestaciones, opera en bandas sin licencia muy congestionadas en ambientes de escasos recursos de espectro, es una buena opción para aplicaciones que requieren un rendimiento altamente predecible y un SLA garantizado.

Las principales características de esta solución RW-5000 Multisectorial incluyen:

- Doble portadora en cada unidad de estación base.
- Dos antenas sectoriales por portadora, una solución de cobertura extendida de alto rendimiento.
- Modo TDD basado en la sincronización del GPS, el GPS incorporado elimina la interferencia mutua para un rendimiento máximo.
- Rendimiento de agregado neto, hasta 730 Mbps por cada portadora de estación base en canal de 80MHz y hasta 250 Mbps por unidad de subscritor.
- Bajos niveles de latencia y jitter.
- Rango de operación de enlaces con distancia máxima de 40 km.
- Seguro del equipo con el Acuerdo de Nivel de Servicio (Service Level Agreement, con sus siglas SLA) para aplicaciones exigentes, la gestión inteligente de ancho de banda (Smart Bandwidth Manager, con sus siglas SBM) de RADWIN garantiza el ancho de banda del usuario para garantizar de forma exclusiva el SLA para los subscritores del servicio CIR.
- Múltiples bandas de operación, la unidad individual admite muchas bandas de frecuencia (4.9-6.0 GHz), la selección de banda es independiente por portadora.
- Tasa de adaptación automática (ARA) que optimiza la velocidad en el enlace por subscritor de acuerdo con las condiciones de interferencia, manteniendo una baja latencia y jitter para proporcionar un servicio de alta calidad, independientemente para el enlace ascendente y el enlace descendente por cada subscritor.
- Ancho de banda dinámico del canal, cambia sin problemas entre los subcanales de 20/40/80 MHz del canal seleccionado de 40 u 80 MHz para proporcionar el mejor servicio, independientemente del enlace ascendente y el enlace descendente por cada subscritor.
- Alcance completo del tráfico asimétrico, capaz de entregar hasta el 80% del tráfico del canal en una dirección de enlace ascendente o descendente. Esta capacidad

es ideal para aplicaciones asimétricas completas (por ejemplo, videovigilancia, IPTV), así como para tráfico simétrico.

- VLAN de extremo a extremo y QoS, compatible con VLAN, 802.1p / 802.1q / QinQ / ToS / Differv para permitir a los usuarios priorizar los servicios a través del enlace.
- Interfaz mejorado para el Visor de Espectro (nivel sector / HSU).
- Interfaz GUI de administración basada en web (HTTP / HTTPs).
- Protocolos de administración de red SNMPv1 y SNMPv3.

La solución Multisector de RADWIN integra en las estaciones base (HBS) un GPS que a partir de la información de referencia temporal que este elemento transmite a las HBS cercanas/vecinas, son sincronizadas en las fases de transmisión y recepción, por tanto, los sectores cercanos o sobrepuestos que manejen la misma frecuencia no son interferentes como se aprecian en la figura 3.10 y 3.11.

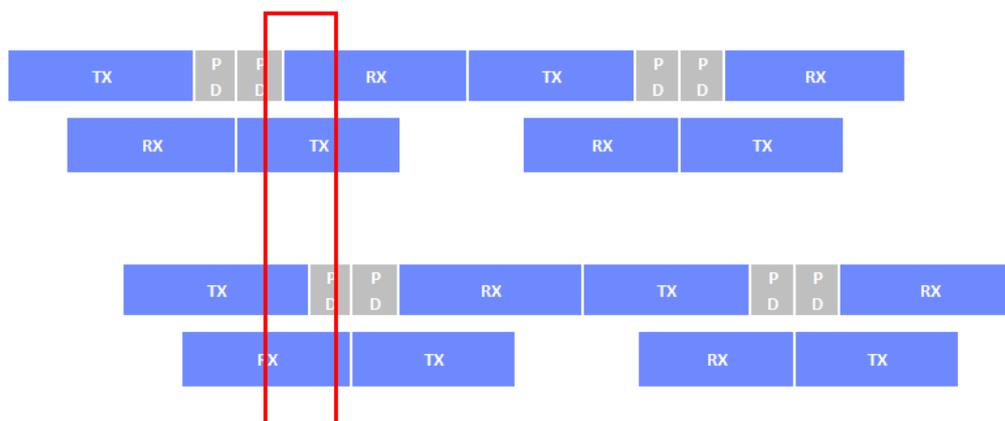


Figura 3.10 - Tramas de Trasmisión y recepción de 02 sectores sin sincronización

Fuente: Proveedor

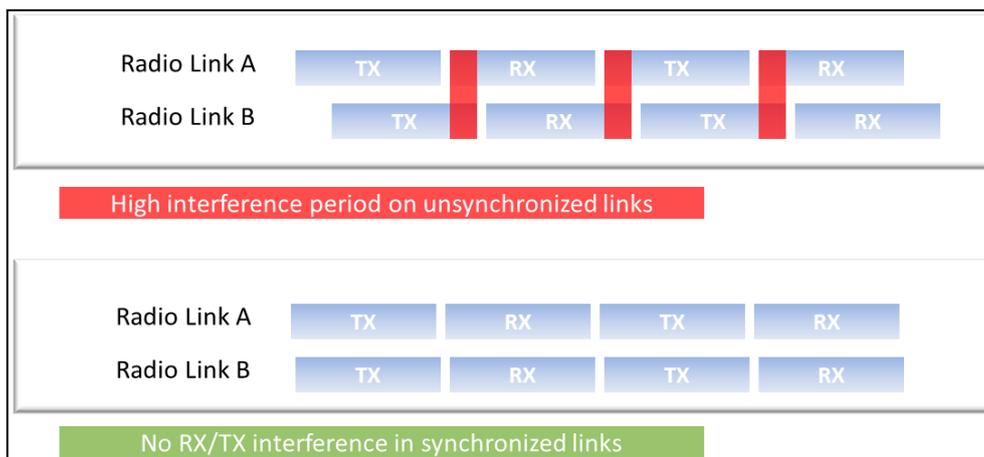


Figura 3.11 - Tramas de Trasmisión y recepción con sincronización

Fuente: Proveedor

C. Asignación de Frecuencias

En este trabajo se opera con la Banda No Licenciada del orden de 5GHz, una vez completada la topología del enlace y la asignación de las radios, antenas y otros dispositivos necesarios, puede asignar las frecuencias de forma automática o manual. Luego de asignar las frecuencias, el diseñador puede aplicar o reasignar frecuencias alternativas manualmente. Las frecuencias aplicadas son mostradas en la pantalla como una capa de radio dedicada.

3.2.4 Listado de Enlaces y de Nodos.

La cantidad de sitios o torres de comunicaciones (nodos), Instituciones Abonadas Obligatorias y plazas fueron definidos considerando el número de localidades, el número de instituciones, la distancia y la geografía del lugar, como se aprecia en la tabla 3.12.

Tabla 3.12 - Lista de Enlaces Punto Multi Punto.

SU site	Latitud (HBS)	Longitud (HBU)	Latitud (HSU)	Longitud (HSU)	Distancia [Km]	Altura de antena en la torre(HBS) [m]	Altura de antena en la torre(HSU) [m]
4201_SM_YARINA_H006439	-6.42293	-75.8625	-6.42611	-75.86337	0.367	23	5
4201_SM_YARINA_S482602	-6.42293	-75.8625	-6.42299	-75.86239	0.023	23	5
4201_SM_YARINA_S482635	-6.42293	-75.8625	-6.42312	-75.86261	0.03	23	5
4204_SM_HUIMBAYOC_H006437	-6.41687	-75.76585	-6.416895	-75.768687	0.318	59	5
4204_SM_HUIMBAYOC_S482857	-6.41687	-75.76585	-6.4164	-75.7661	0.081	59	5
4204_SM_HUIMBAYOC_S483017	-6.41687	-75.76585	-6.41978	-75.76574	0.328	59	5
4205_SM_MIRAFLORES_H006441	-6.43473	-75.8071	-6.4356	-75.80642	0.129	47	5
4205_SM_MIRAFLORES_Plaza	-6.43473	-75.8071	-6.43523	-75.80635	0.108	47	5
4205_SM_MIRAFLORES_S482862	-6.43473	-75.8071	-6.43385	-75.80523	0.232	47	5
4206_SM_PUCALLPA_H006447	-6.45359	-75.84517	-6.4527	-75.84497	0.108	41	5
4206_SM_PUCALLPA_Plaza	-6.45359	-75.84517	-6.45256	-75.84379	0.194	41	5
4206_SM_PUCALLPA_S482876	-6.45359	-75.84517	-6.45347	-75.84392	0.144	41	5
4207_SM_LECHE_H006443	-6.52792	-75.66993	-6.52727	-75.66993	0.084	47	5
4207_SM_LECHE_Plaza	-6.52792	-75.66993	-6.5274	-75.66984	0.072	47	5
4207_SM_LECHE_S482937	-6.52792	-75.66993	-6.5284	-75.67031	0.08	47	5
4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU_H006446	-6.55661	-75.63834	-6.55573	-75.63844	0.107	47	5
4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU_Plaza	-6.55661	-75.63834	-6.55709	-75.63817	0.07	47	5
4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU_S482881	-6.55661	-75.63834	-6.55736	-75.63709	0.166	47	5

Elaboración: Propia.

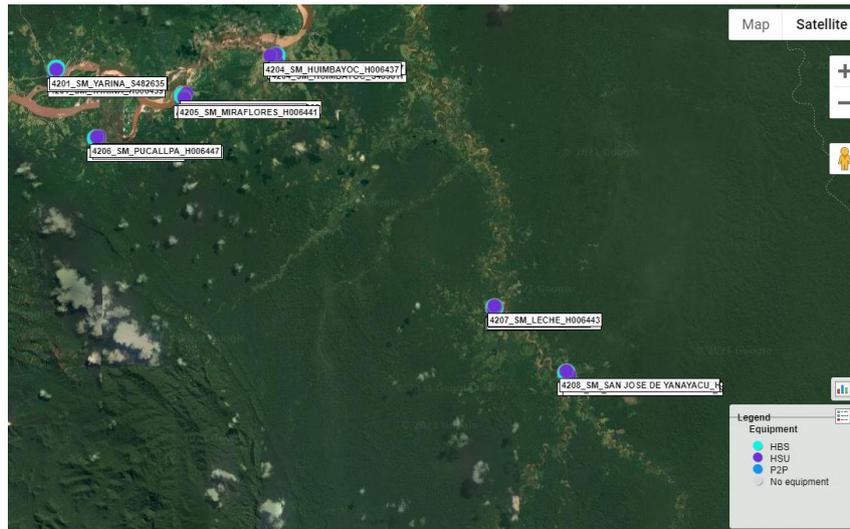


Figura 3.12 - Topología de la solución Punto Multi Punto.

Elaboración: Propia

3.3 Estimación del Tráfico de un Nodo.

El tráfico de un Nodo de Acceso con POP se estima de la siguiente manera, se usa un ejemplo que tiene las siguientes instituciones suscritas:

- Cantidad de Dependencia Policial: 1
- Cantidad de Centros de Salud: 1
- Cantidad de Centros Educativos: 1
- Cantidad de Plazas: 1

De acuerdo a la asignación anterior se muestra el siguiente resumen de instituciones suscritas al Nodo de Acceso:

- Cantidad de IAO: 3
- Cantidad de Plazas: 1

De las cantidades contadas, continuamos con los criterios descritos en las secciones 3.2.1 y 3.2.2 del este documento, las capacidades a considerar en cada institución son:

- Servicio de internet:

Para las IAO se consideran:

- Velocidad de Bajada (CIR): 16 Mbps
- Velocidad de Subida (CIR): 4 Mbps

Para las Plazas se consideran:

- Velocidad de Bajada (CIR): 4.8 Mbps
- Velocidad de Subida (CIR): 1.2 Mbps

- Servicio de intranet:

Para las IAO se consideran:

- Velocidad de Bajada (CIR): 16 Mbps
- Velocidad de Subida (CIR): 16 Mbps

Para las Plazas no se consideran el servicio de Intranet.

La Red de Acceso es una red Full-Duplex simétrica, a continuación se muestra la capacidad a reservar en la red por cada tipo de institución:

- Institución Abonada Obligatoria: Capacidad Reservada (Full-Duplex) de 32 Mbps
- Plaza: Capacidad Reservada (Full-Duplex) de 4.8 Mbps

La integración de tráfico en el nodo de Acceso por parte de las instituciones es la siguiente:

- Institución Abonada Obligatoria: Para 3 IAOs se calculan 32 Mbps (Full Duplex) y un tráfico agregado de 96 Mbps.
- Plazas: Para 1 Plaza se calculan 4.8 Mbps (Full Duplex) y un tráfico agregado de 4.8 Mbps.

Considerando las 3 IAO y 1 Plaza, el tráfico de datos agregado total es de 100.8 Mbps.

De acuerdo a lo visto, el tráfico de datos calculado “ABw” de las instituciones y plazas es:

$$ABw = \{ (\text{Internet IAO}) + (\text{Intranet IAO}) \} \times IAO + \{ (\text{Internet Plaza}) \} \times \text{Plazas}$$

$$ABw = (16 + 16) \times 3 + (4.8) \times 1 \quad (3.8)$$

$$ABw = 100.8 \text{ Mbps}$$

3.4 Estimación del Tráfico en la Red

En la sección 3.3, se mostró el cálculo para un nodo, se usa el mismo método para estimar el tráfico de las Instituciones Abonadas Obligatorias y las Plazas en los nodos de la red de acceso, los resultados del tráfico de datos requerido se aprecian en la tabla 3.13.

Tabla 3.13 - Lista de nodos y tráfico requerido.

NOMBRE DEL NODO	TIPO DE NODO	COMISARÍA	POSTA	ESCUELA	PLAZA	TRÁFICO CONSUMIDO
A4201_SM_YARINA	Terminal	0	1	2	0	96.00 Mbps
A4204_SM_HUIMBAYOC	Distrital	0	1	2	0	96.00 Mbps
A4205_SM_MIRAFLORES	Intermedio	0	1	1	1	68.80 Mbps
A4206_SM_PUCALLPA	Intermedio	0	1	1	1	68.80 Mbps
A4207_SM_LECHE	Intermedio	0	1	1	1	68.80 Mbps
A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU	Terminal	0	1	1	1	68.80 Mbps

Elaboración: Propia

Para los enlaces microonda Punto a Punto (PTP) en banda licenciada que se utilizan para la interconexión de los nodos de acceso, el recorrido del tráfico de datos es desde el Nodo Distrital hasta el Nodo Terminal de la Red de Acceso, este tráfico es correspondiente a los servicios de Internet e Intranet de las Instituciones y las plazas. El tráfico de datos de los enlaces PTP está sujeto a la cantidad de nodos que conectan

con el enlace en revisión y de la suma o agregación del tráfico de datos asignado que tenga cada nodo. En la figura 3.13 se muestra la topología de enlaces de microonda PTP en la red de acceso y detalla como el Tráfico Agregado (T.A) de cada nodo se suma en los enlaces de microonda PTP hasta el nodo Distrital para pasar por la Red de Transporte hacia el NOC de Acceso.

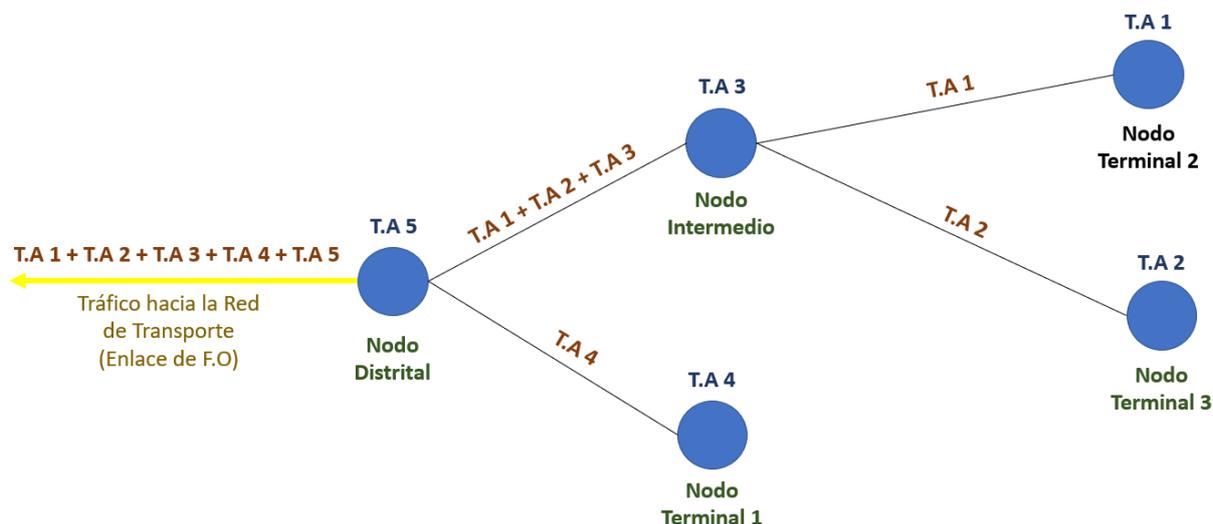


Figura 3.13 - Ejemplo de la estimación del tráfico en los enlaces MW PTP

Fuente y Elaboración: Propia

La estimación del tráfico en la topología se realiza con el procedimiento mencionado en la figura 3.13, el cálculo se muestra en la figura 3.14 y se detalla en la tabla 3.14:

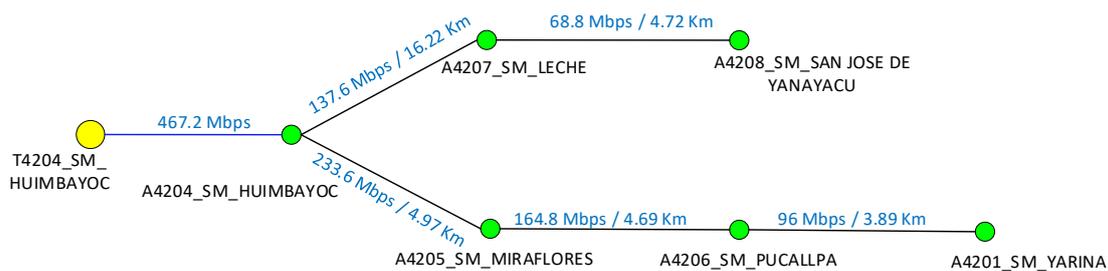


Figura 3.14 - Tráfico estimado en los enlaces MW PTP

Fuente y Elaboración: Propia

Tabla 3.14 - Tráfico Requerido en los enlaces MW PTP.

SITIO A	SITIO B	TRÁFICO REQUERIDO
A4204_SM_HUIMBAYOC	A4205_SM_MIRAFLORES	233.6 Mbps
A4204_SM_HUIMBAYOC	A4207_SM_LECHE	137.6 Mbps
A4205_SM_MIRAFLORES	A4206_SM_PUCALLPA	164.8 Mbps
A4206_SM_PUCALLPA	A4201_SM_YARINA	96.0 Mbps
A4207_SM_LECHE	A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU	68.8 Mbps

Elaboración: Propia.

El análisis de la transmisión en los enlaces microonda PTP se muestra en la tabla 3.15, donde se aprecia la modulación en la que operan los equipos de radio microonda para procesar y gestionar el tráfico de datos según lo calculado para cada enlace.

Tabla 3.15 - Análisis de Transmisión.

SITIO A	SITIO B	BANDA	Ancho de Banda	Modulación	Tráfico de Datos	Configuración del Enlace	TX Powers	RSSI	Fade Margen	Descripción de Antena	TX1 (MHz) 1	TX1 (MHz) 2
A4204_SM_HUIMBAYOC	A4205_SM_MIRAFLORES	15 GHz	28 MHz	2048 QAM	246 Mbps	1+0	21.5 dBm	-58.5 dBm	23.73 dB	Antenna 0.6m (2ft) - 15GHz	14935.V	14445.V
A4204_SM_HUIMBAYOC	A4207_SM_LECHE	11 GHz	40 MHz	64 QAM	193 Mbps	1+0	25 dBm	-37.53 dBm	35.7 dB	Antenna 0.9m (3ft) - 11GHz	11245.V	10715.V
A4205_SM_MIRAFLORES	A4206_SM_PUCALLPA	15 GHz	28 MHz	256 QAM	185 Mbps	1+0	23 dBm	-33.64 dBm	34.0 dB	Antenna 0.6m (2ft) - 11GHz	14557.V	15047.V
A4206_SM_PUCALLPA	A4201_SM_YARINA	15 GHz	28 MHz	32 QAM	112 Mbps	1+0	24 dBm	-39.32 dBm	37.3 dB	Antenna 0.3m (1ft) - 15GHz	15103.V	14613.V
A4207_SM_LECHE	A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU	15 GHz	28 MHz	32 QAM	112 Mbps	1+0	24 dBm	-40.95 dBm	35.7 dB	Antenna 0.3m (1ft) - 15GHz	14501.V	14991.V

Elaboración: Propia.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Introducción

En el presente capítulo se detalla la estimación de la inversión considerada para el trabajo realizado, el enfoque se centra en los análisis del capital (CAPEX) y la operación y el mantenimiento (OPEX).

4.2 Estimación de costos de capital CAPEX (CAPital EXpenditure)

La estimación del CAPEX muestra la inversión del capital que requiere el proyecto, en esta sección se muestra la estimación del cálculo y el método usado.

4.2.1 Estimación de costos de servicios e infraestructura

Los aspectos que se considera al determinar los costos, tanto de servicios como de infraestructura, son descritos en la tabla 4.1, para ello se usa como ejemplo el cálculo del nodo distrital A4204_SM_HUIMBAYOC, según el diseño de este trabajo consta de una altura de torre de 60m.

Tabla 4.1 - Cálculo de Estimación de Costos de Servicios e Infraestructura para el nodo A4204_SM_HUIMBAYOC.

ITEM	DESCRIPCIÓN		PRECIO	T.C.(3.6)
	PARTIDA	DETALLE		
1	Adquisición del Sitio	Estudio Técnico	\$ 3,500.00	S/ 12,600.00
		Compra de Terreno	\$ 7,400.00	S/ 26,640.00
2	Obras Civiles	Trabajos Previos Instalación	\$ 5,000.00	S/ 18,000.00
		Torre Metálica (60m)	\$ 70,000.00	S/ 252,000.00
3	Energía	Infraestructura Eléctrica (Sitio - Transformador)	\$ 6,000.00	S/ 21,600.00
4	Acarreo	Transporte de Materiales	\$ 11,000.00	S/ 39,600.00
		TOTAL:	\$ 102,900.00	S/ 370,440.00

Fuente: Proveedores

Elaboración: Propia.

Como se aprecia en el ejemplo de la tabla 4.1, el cálculo se realizó para el nodo distrital A4204_SM_HUIMBAYOC, para los demás nodos del proyecto, descritos en la tabla 4.2, se realiza el mismo método para los cálculos, considerando los gastos correspondientes y la altura de torre de acuerdo al diseño propuesto.

Tabla 4.2 - Cálculo de Estimación de Costos de Servicios e Infraestructura para todos los Nodos.

NODO	TIPO DE NODO	LATITUD	LONGITUD	ALTURA DE TORRE	PRECIO	T.C.(3.6)
A4201_SM_YARINA	Terminal	-6.42293	-75.8625	36 m	\$ 40,000.00	S/ 144,000.00
A4204_SM_HUIMBAYOC	Distrital	-6.41687	-75.76585	60 m	\$102,900.00	S/ 370,440.00
A4205_SM_MIRAFLORES	Intermedio	-6.43473	-75.8071	54 m	\$ 90,900.00	S/ 327,240.00
A4206_SM_PUCALLPA	Intermedio	-6.45359	-75.84517	48 m	\$ 84,900.00	S/ 305,640.00
A4207_SM_LECHE	Intermedio	-6.52792	-75.66993	54 m	\$ 90,900.00	S/ 327,240.00
A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU	Terminal	-6.55661	-75.63834	54 m	\$ 90,900.00	S/ 327,240.00
				TOTAL:	\$500,500.00	S/ 1,801,800.00

Fuente: Proveedores.

Elaboración: Propia.

4.2.2 Estimación de costos de equipos de telecomunicaciones

La siguiente estimación de costos considera la cantidad de equipos de telecomunicaciones calculados según el diseño elaborado para el presente trabajo, el cálculo está basado en los costos unitarios de los principales equipos de telecomunicaciones, como se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 - Cálculo de Estimación de Costos Unitarios de Equipos Telecom.

DETALLE	PRECIO	T.C.(S/ 3.6)
ODU UBT-S 11GHz	\$ 645.00	S/ 2,322.00
ODU UBT-S 15GHz	\$ 645.00	S/ 2,322.00
ANTENAS 0.3 m - 15GHz	\$ 425.00	S/ 1,530.00
ANTENAS 0.6 m - 15GHz	\$ 635.00	S/ 2,286.00
ANTENAS SP 0.6/0.9 m - 11GHz	\$ 635.00	S/ 2,286.00
ESTACION BASE PTMP	\$ 568.00	S/ 2,044.80
ANTENAS SECTORIALES 120° PTMP	\$ 230.00	S/ 828.00
POP ROUTER	\$ 240.00	S/ 864.00
GABINETE OUTDOOR	\$ 3,200.00	S/ 11,520.00

Fuente: Proveedores.

Elaboración: Propia.

La cantidad de equipos de telecomunicaciones que operan en cada nodo o sitio de comunicación, se muestran en la tabla 4.4, todos estos equipos son considerados para el cálculo de la estimación de los costos en cada nodo.

Tabla 4.4 - Cálculo de Cantidades de Equipos Telecom.

NOMBRE DEL NODO	CANTIDAD MW PTP UBT-S 11GHz	CANTIDAD MW PTP UBT-S 15 GHz	ANTENAS 0.3 m - 15GHz	ANTENAS SP 0.6 m - 11GHz	ANTENAS SP 0.9 m - 11GHz	ACCESS POINT PTMP	CANTIDAD ANTENAS SECTORIAL ES	CANTIDAD POP ROUTER	GABINETE OUTDOOR
A4201_SM_YARINA	0	1	1	0	0	1	3	1	1
A4204_SM_HUIMBAYOC	1	1	0	1	1	1	3	1	1
A4205_SM_MIRAFLORES	0	2	0	2	0	1	3	1	1
A4206_SM_PUCALLPA	0	2	1	1	0	1	3	1	1
A4207_SM_LECHE	1	1	1	0	1	1	3	1	1
A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU	0	1	1	0	0	1	3	1	1

Fuente: Proveedores.

Elaboración: Propia.

Con la lista de los costos unitarios de la tabla 4.3 y la cantidad de equipos de telecomunicaciones en cada sitio o nodo de la tabla 4.4, se realiza la estimación del costo para los principales equipos de telecomunicaciones y se muestra en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 - Cálculo de Estimación de Costos de Equipos Telecom en los Nodos.

NOMBRE DEL NODO	PRECIO	T.C.(3.6)
A4201_SM_YARINA	\$ 5,768.00	S/ 20,764.80
A4204_SM_HUIMBAYOC	\$ 7,258.00	S/ 26,128.80
A4205_SM_MIRAFLORES	\$ 7,258.00	S/ 26,128.80
A4206_SM_PUCALLPA	\$ 7,258.00	S/ 26,128.80
A4207_SM_LECHE	\$ 7,048.00	S/ 25,372.80
A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU	\$ 5,768.00	S/ 20,764.80
TOTAL:	\$ 40,358.00	S/ 145,288.80

Fuente: Elaboración Propia.

En las tablas 4.2 y 4.5, se aprecia que la estimación del total del CAPEX necesario para el presente trabajo es de \$ 540,858.00.

4.3 Estimación de costos de operación y mantenimiento OPEX (OPERating EXpenditure)

La presente estimación representa los costos que son importantes para realizar la etapa operativa del presente trabajo, se consideran las siguientes fases:

- El mantenimiento preventivo, es imprescindible para realizar la supervisión e inspección de la infraestructura y equipos instalados.
- El mantenimiento correctivo, ante cualquier eventualidad que impacte directamente el desempeño y funcionamiento de los equipos en la red, esto

demanda un tiempo de respuesta inmediato con el personal capacitado y provisto de los materiales necesarios para solventar y resolver cualquier incidente.

- La operación, contar con el personal a cargo, los ambientes para operar y realizar la revisión de los eventos registrados en la red.

Tabla 4.6 - Cálculo de Estimación de Costos de Gastos Operativos

ITEM	DESCRIPCIÓN		SUBTOTAL		
	PARTIDA	DETALLE	Costo Mensual	Costo Anual	T.C.(3.6)
1	Mantenimiento	Mantenimiento Preventivo y Correctivo para los equipamientos de la Red	\$ 3,500.00	\$ 42,000.00	S/ 151,200.00
2	Movilidad y Transporte	Camionetas Todo Terreno 4x4 (Incluido Combustible y Chofer)	\$ 1,600.00	\$ 19,200.00	S/ 69,120.00
3	Almacén	Alquiler de Almacén (Almacenaje de Equipos para la Red)	\$ 1,000.00	\$ 12,000.00	S/ 3,600.00
4	Oficinas	Alquiler de Oficinas	\$ 800.00	\$ 9,600.00	S/ 2,880.00

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

1. Para diseñar la red de comunicaciones en San Martín se optó por la solución de comunicación inalámbrica con características Full Outdoor, debido al difícil acceso, alta precipitación y la vegetación agreste de la región.
2. Los sitios o nodos con torre de comunicación para la red de acceso se localizaron en seis lugares con la solución de comunicación inalámbrica.
3. La altura de las torres de comunicación es de 36m como mínimo y 60m como máximo, debido a la geografía de la región San Martín que consta de una vegetación agreste.
4. En el diseño realizado para la red de acceso se establecieron cinco enlaces microondas punto a punto (PTP).
5. Las radios de microondas usadas son de la marca Nokia, de la línea Wavence, ya que operan con ATPC y ACM, ideales para mitigar la gran precipitación pluvial en la región San Martín.
6. El tráfico de datos más alto se genera en el enlace microondas de A4204_SM_HUIMBAYOC hacia A4205_SM_MIRAFLORES, opera en una modulación de 2048 QAM y brinda una capacidad de 246 Mbps, según el cálculo del tráfico requiere 233.6 Mbps, por lo que cumple con el diseño.
7. El fade margin mínimo en el diseño de enlaces microonda es de 23.72 dB, siendo 20 dB el mínimo establecido.
8. La disponibilidad mínima de servicio en el diseño de enlaces microonda es de 99.99518%, siendo 99.995% el mínimo establecido.

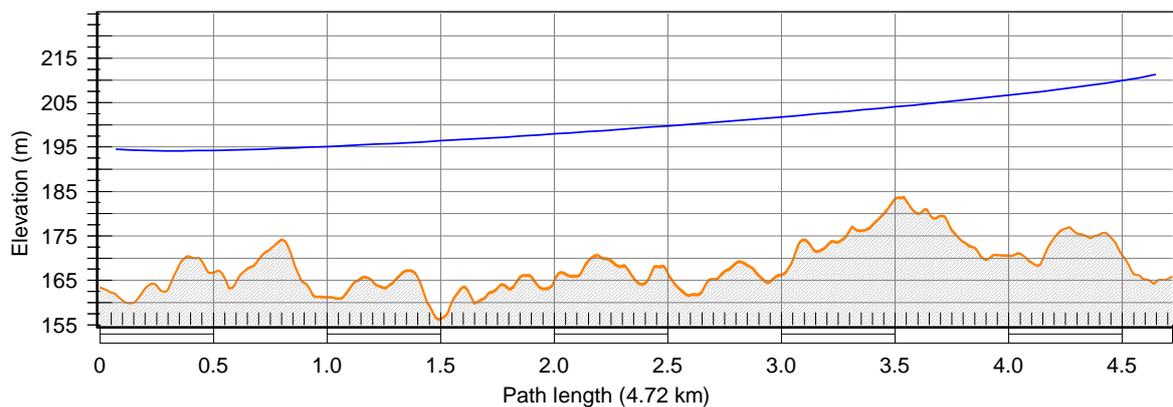
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Manning Trevor, Microwave Radio Transmission Design Guide, 2009.
- [2] Rodrigo y Santiago, Instalaciones de radiocomunicaciones, 2012.
- [3] Ramírez Luz Ramón, Sistemas de radiocomunicaciones, 2015.
- [4] Morgan Kurk, Microwave Communication Basics, 2017.
- [5] Cardama Aznar Angel, Antenas, 2002.

ANEXO A

REPORTE DE LOS ENLACES MICROONDAS

En el presente anexo se muestran los cálculos y parámetros de la transmisión de los enlaces microondas, así como los equipos de telecomunicaciones que se emplean y las configuraciones con las que operan en este trabajo.



A4207_SM_LECHE	
Latitude	06 31 40.51 S
Longitude	075 40 11.75 W
Azimuth	132.24°
Elevation	163 m ASL
Antenna CL	32.0 m AGL

Frequency (MHz) = 14746.0
K = 1.33 FH = 20.0 m
%F1 = 100.00

A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU	
Latitude	06 33 23.80 S
Longitude	075 38 18.02 W
Azimuth	312.24°
Elevation	166 m ASL
Antenna CL	47.0 m AGL

Transmission details (A4207_SM_LECHE-A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU.pl5)

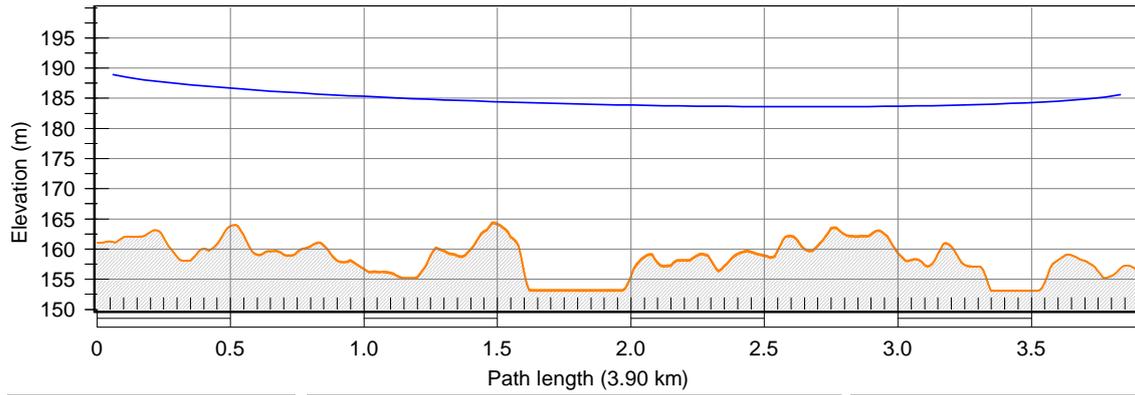
	A4207_SM_LECHE	A4208_SM_SAN JOSE DE YANAYACU
Latitud	06 31 40.51 S	06 33 23.80 S
Longitud	075 40 11.75 W	075 38 18.02 W
Azimut real (°)	132.24	312.24
Elevación Vertical (°)	0.20	-0.23
Elevación (m)	163.37	165.78
Altura de Torre (m)	48.00	48.00
Modelo de Antena	TYA03U015S-AMPT (TR)	TYA03U015S-AMPT (TR)
Ganancia de antena (dBi)	32.10	32.10
Diámetro de antena (m)	0.38	0.38
Altura de antena en la torre(m)	32.00	47.00
Frequency (MHz)	14746.00	
Polarización	Vertical	
Distancia del enlace (km)	4.72	
Configuración	1+0	1+0
Modelo de Radio	15UBT028~265	15UBT028~265
TX channel assignments	15G-28M-Lo-04 14501.V	15G-28M-Hi-04 14991.V
Polarización	Vertical	

	TX power (dBm)		RX threshold level (dBm)		EIRP (dBm)		Señal Recibida (dBm)		Margen de desvanecimien to térmico (dB)		Flat fade margin - multitrayecto (dB)	
32 QAM 112	24.30	24.30	-76.60	-76.60	56.40	56.40	-40.95	-40.95	35.65	35.65	35.65	35.65

	Peor mes - multitrayecto		Multitrayecto anual		Lluvia anual		Total anual (2 way)	Tiempo en modo (2 vías)
32 QAM 112	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9989	99.9989	99.9989	99.9989

Método de desvanecimiento por trayectos múltiples - Rec. ITU-R P.530-13/16

Método de desvanecimiento por lluvia - Rec. ITU-R P.530-14/16 (R837-5)



A4206_SM_PUCALLPA
 Latitude 06 27 12.92 S
 Longitude 075 50 42.61 W
 Azimuth 330.52°
 Elevation 161 m ASL
 Antenna CL 29.0 m AGL

Frequency (MHz) = 14858.0
 K = 1.33 FH = 20.0 m
 %F1 = 100.00

A4201_SM_YARINA
 Latitude 06 25 22.55 S
 Longitude 075 51 45.00 W
 Azimuth 150.52°
 Elevation 157 m ASL
 Antenna CL 30.0 m AGL

Transmission details (A4206_SM_PUCALLPA-A4201_SM_YARINA.pl5)

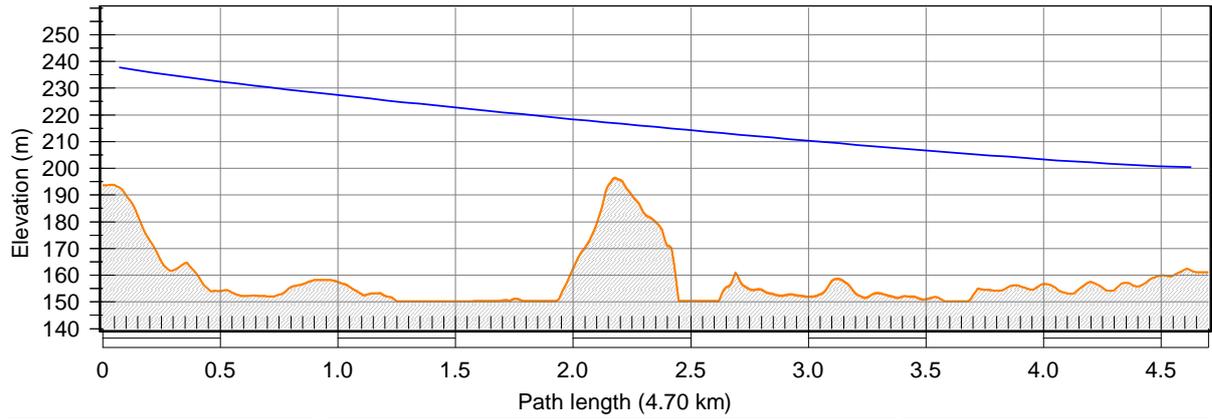
	A4206_SM_PUCALLPA	A4201_SM_YARINA
Latitud	06 27 12.92 S	06 25 22.55 S
Longitud	075 50 42.61 W	075 51 45.00 W
Azimut real (°)	330.52	150.52
Elevación Vertical (°)	-0.06	0.04
Elevación (m)	161.00	156.55
Altura de Torre (m)	42.00	36.00
Modelo de Antena	TYA03U015S-AMPT (TR)	TYA03U015S-AMPT (TR)
Ganancia de antena (dBi)	32.10	32.10
Diámetro de antena (m)	0.38	0.38
Altura de antena en la torre(m)	29.04	30.04
Frequency (MHz)	14858.00	
Polarización	Vertical	
Distancia del enlace (km)	3.90	
Configuración	1+0	1+0
Modelo de Radio	15UBT028~265	15UBT028~265
TX channel assignments	15G-28M-Hi-08 15103.V	15G-28M-Lo-08 14613.V
Polarización	Vertical	

	TX power (dBm)		RX threshold level (dBm)		EIRP (dBm)		Señal Recibida (dBm)		Margen de desvanecimien to térmico (dB)		Flat fade margin - multitrayecto (dB)	
32 QAM 112	24.30	24.30	-76.60	-76.60	56.40	56.40	-39.32	-39.32	37.28	37.28	37.28	37.28

	Peor mes - multitrayecto		Multitrayecto anual		Lluvia anual		Total anual (2 way)	Tiempo en modo (2 vías)
32 QAM 112	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9996	99.9996	99.9996	99.9996

Método de desvanecimiento por trayectos múltiples - Rec. ITU-R P.530-13/16

Método de desvanecimiento por lluvia - Rec. ITU-R P.530-14/16 (R837-5)



A4205_SM_MIRAFLORES
 Latitude 06 26 05.03 S
 Longitude 075 48 25.56 W
 Azimuth 243.65°
 Elevation 193 m ASL
 Antenna CL 46.0 m AGL

Frequency (MHz) = 14802.0
 K = 1.33 FH = 20.0 m
 %F1 = 100.00

A4206_SM_PUCALLPA
 Latitude 06 27 12.92 S
 Longitude 075 50 42.61 W
 Azimuth 63.65°
 Elevation 161 m ASL
 Antenna CL 40.0 m AGL

Transmission details (A4205_SM_MIRAFLORES-A4206_SM_PUCALLPA.pl5)

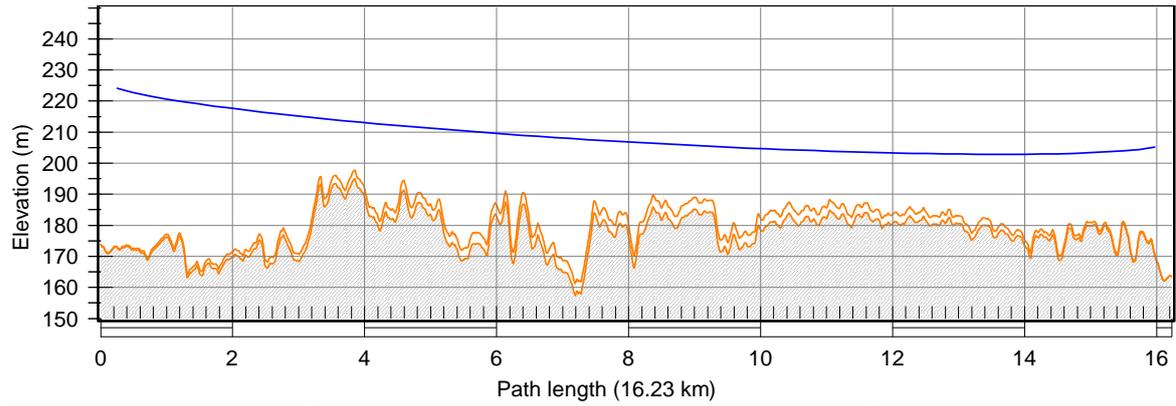
	A4205_SM_MIRAFLORES	A4206_SM_PUCALLPA
Latitud	06 26 05.03 S	06 27 12.92 S
Longitud	075 48 25.56 W	075 50 42.61 W
Azimut real (°)	243.65	63.65
Elevación Vertical (°)	-0.49	0.45
Elevación (m)	193.48	161.00
Altura de Torre (m)	48.00	42.00
Modelo de Antena	TYA06U015D-AMPT (TR)	TYA06U015D-AMPT (TR)
Ganancia de antena (dBi)	36.40	36.40
Diámetro de antena (m)	0.66	0.66
Altura de antena en la torre(m)	46.00	40.00
Frequency (MHz)	14802.00	
Polarización	Vertical	
Distancia del enlace (km)	4.70	
Configuración	1+0	1+0
Modelo de Radio	15UBT028~265	15UBT028~265
TX channel assignments	15G-28M-Lo-06 14557.V	15G-28M-Hi-06 15047.V
Polarización	Vertical	

	TX power (dBm)		RX threshold level (dBm)		EIRP (dBm)		Señal Recibida (dBm)		Margen de desvanecimiento térmico (dB)		Flat fade margin - multirayecto (dB)	
256 QAM 185	23.00	23.00	-67.70	-67.70	59.00	59.00	-34.44	-34.44	33.26	33.26	33.26	33.26

	Peor mes - multirayecto		Multirayecto anual		Lluvia anual		Total anual (2 way)	Tiempo en modo (2 vías)
256 QAM 185	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9987	99.9987	99.9987	99.9987

Método de desvanecimiento por trayectos múltiples - Rec. ITU-R P.530-13/16

Método de desvanecimiento por lluvia - Rec. ITU-R P.530-14/16 (R837-5)



A4204_SM_HUIMBAYOC
 Latitude 06 25 00.73 S
 Longitude 075 45 57.06 W
 Azimuth 139.18°
 Elevation 174 m ASL
 Antenna CL 53.0 m AGL

Frequency (MHz) = 10980.0
 K = 1.33 FH = 15.0 m
 %F1 = 100.00

A4207_SM_LECHE
 Latitude 06 31 40.51 S
 Longitude 075 40 11.75 W
 Azimuth 319.17°
 Elevation 163 m ASL
 Antenna CL 44.0 m AGL

Transmission details (A4204_SM_HUIMBAYOC-A4207_SM_LECHE.p15)

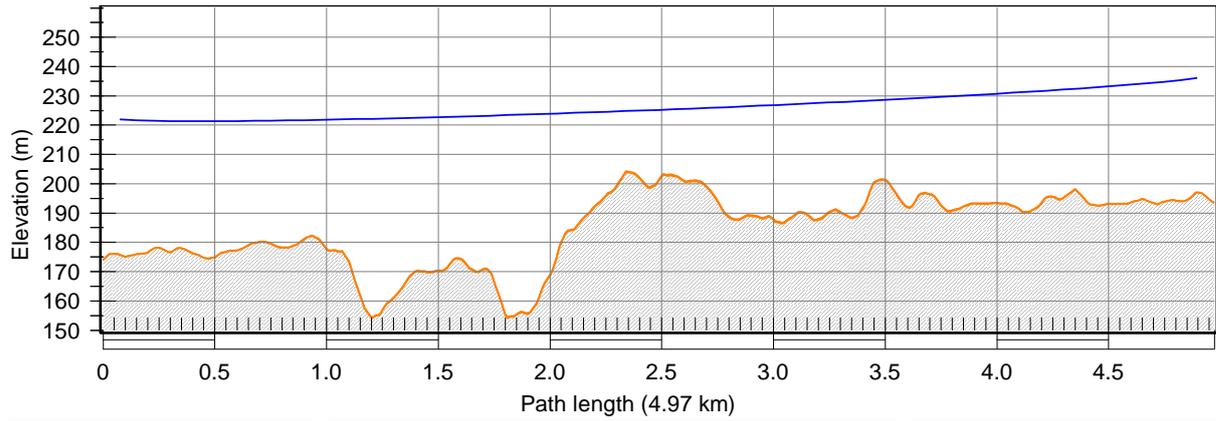
	A4204_SM_HUIMBAYOC	A4207_SM_LECHE
Latitud	06 25 00.73 S	06 31 40.51 S
Longitud	075 45 57.06 W	075 40 11.75 W
Azimut real (°)	139.18	319.17
Elevación Vertical (°)	-0.12	0.01
Elevación (m)	173.87	163.37
Altura de Torre (m)	60.00	48.00
Modelo de Antena	TYA09U10WS-APBR (TR)	TYA09U10WS-APBR (TR)
Ganancia de antena (dBi)	37.60	37.60
Diámetro de antena (m)	0.90	0.90
Altura de antena en la torre(m)	53.00	44.00
Frequency (MHz)	10980.00	
Polarización	Vertical	
Distancia del enlace (km)	16.23	
Configuración	1+0	1+0
Modelo de Radio	11UBT040~371	11UBT040~371
TX channel assignments	11G-40M-Hi-01 11245.V	11G-40M-Lo-01 10715.V
Polarización	Vertical	

	TX power (dBm)		RX threshold level (dBm)		EIRP (dBm)		Señal Recibida (dBm)		Margen de desvanecimien to térmico (dB)		Flat fade margin - multitrayecto (dB)	
64 QAM 193	25.00	25.00	-73.30	-73.30	62.60	62.60	-37.53	-37.53	35.77	35.77	35.77	35.77

	Peor mes - multitrayecto		Multitrayecto anual		Lluvia anual		Total anual (2 way)	Tiempo en modo (2 vías)
64 QAM 193	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9966	99.9966	99.9965	99.9965

Método de desvanecimiento por trayectos múltiples - Rec. ITU-R P.530-13/16

Método de desvanecimiento por lluvia - Rec. ITU-R P.530-14/16 (R837-5)



A4204_SM_HUIMBAYOC
 Latitude 06 25 00.73 S
 Longitude 075 45 57.06 W
 Azimuth 246.59°
 Elevation 174 m ASL
 Antenna CL 49.0 m AGL

Frequency (MHz) = 14690.0
 K = 1.33 FH = 20.0 m
 %F1 = 100.00

A4205_SM_MIRAFLORES
 Latitude 06 26 05.03 S
 Longitude 075 48 25.56 W
 Azimuth 66.60°
 Elevation 193 m ASL
 Antenna CL 44.0 m AGL

Transmission details (A4204_SM_HUIMBAYOC-A4205_SM_MIRAFLORES.pl5)

	A4204_SM_HUIMBAYOC	A4205_SM_MIRAFLORES
Latitud	06 25 00.73 S	06 26 05.03 S
Longitud	075 45 57.06 W	075 48 25.56 W
Azimut real (°)	246.59	66.60
Elevación Vertical (°)	0.15	-0.19
Elevación (m)	173.87	193.48
Altura de Torre (m)	60.00	48.00
Modelo de Antena	TYA06U015D-AMPT (TR)	TYA06U015D-AMPT (TR)
Ganancia de antena (dBi)	36.40	36.40
Diámetro de antena (m)	0.66	0.66
Altura de antena en la torre(m)	49.00	44.00
Frequency (MHz)	14690.00	
Polarización	Vertical	
Distancia del enlace (km)	4.97	
Configuración	1+0 XPIC	1+0 XPIC
Modelo de Radio	15UBT028~265	15UBT028~265
TX channel assignments	15G-28M-Hi-02 14935.V 15G-28M-Hi-02 14935.H	15G-28M-Lo-02 14445.V 15G-28M-Lo-02 14445.H
Polarización	Vertical	

	TX power (dBm)		RX threshold level (dBm)		EIRP (dBm)		Señal Recibida (dBm)		Margen de desvanecimiento a térmico (dB)		Flat fade margin - multitrayecto (dB)	
256 QAM 185	23.00	23.00	-67.70	-67.70	59.00	59.00	-34.87	-34.87	32.83	32.83	32.83	32.83

	Peor mes - multitrayecto		Multitrayecto anual		Lluvia anual		Total anual (2 way)	Tiempo en modo (2 vías)
256 QAM 185	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9985	99.9985	99.9985	99.9985

Método de desvanecimiento por trayectos múltiples - Rec. ITU-R P.530-13/16

Método de desvanecimiento por lluvia - Rec. ITU-R P.530-14/16 (R837-5)