

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Implementación de una red de comunicaciones inalámbricas para brindar el acceso a internet a la región Ayacucho

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones.

Elaborado por

Juan Pablo Mogrovejo Lizarzaburu

 [0009-0002-5224-8406](https://orcid.org/0009-0002-5224-8406)

Asesor

M.Sc. Ing. Paul Fernando Troncoso Castro

 [0009-0003-9213-5913](https://orcid.org/0009-0003-9213-5913)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Mogrovejo Lizarzaburu [1]
Referencia/Reference	[1] J Mogrovejo Lizarzaburu, " <i>Implementación de una red de comunicaciones inalámbricas para la región Ayacucho</i> " [Trabajo de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Mogrovejo, 2025)
Referencia/Reference	Mogrovejo, J. (2025). <i>Implementación de una red de comunicaciones inalámbricas para la región Ayacucho</i> . [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre por siempre mostrarme que el camino de la honestidad, aunque difícil, es aquel en el que uno adquiere habilidades que debe de poner en favor de otros, sin lo cual no tendría sentido adquirirlas.

Resumen

El presente trabajo es realizado con la finalidad de aplicar la ingeniería para hacer los cálculos y fundamentos teóricos que, llevados a la práctica y complementándolos con la debida experiencia, se convierten en una puerta de oportunidades, que brinda, a las localidades rurales del país, el acceso al servicio de internet. En diversos casos este servicio, no es proporcionado por parte de los grandes operadores actuales, debido a la escasa o nula rentabilidad que se presenta al realizar proyectos de comunicaciones inalámbricas en las zonas rurales. Este trabajo brinda acceso al servicio de internet de banda ancha a entidades policiales, centros de salud e instituciones educativas. Se detalla cómo, de forma inalámbrica y con la frecuencia adecuada para enlaces punto a punto, en el caso de la comunicación entre nodos y luego de enlaces punto multipunto, se establece la comunicación desde los nodos hacia las entidades beneficiarias, en las cuales se encuentran alojados los dispositivos finales para brindar el acceso al servicio de internet a la población rural de la región Ayacucho. Se concluye que este servicio es beneficioso para la población, debido a que permite extender sus horizontes culturales y académicos al proporcionar acceso a la tecnología con la que antes no contaban.

Palabras clave — Localidades rurales, operadores de internet, educación, banda ancha.

Abstract

The present work is carried out with the purpose of applying engineering for calculations and theoretical foundations, which are put into practice and complemented by the necessary experience, become a door of opportunities arise that provide rural areas of the country with access to internet services. Often, this access is not provided by major current operators due to the limited or non-existent profitability found in implementing wireless communication projects in rural areas. This work provides broadband internet access to police entities, healthcare centers, and educational institutions. It details how, through wireless means and with the appropriate frequency for point-to-point links in the case of communication between nodes, and subsequently through point-to-multipoint links to establish communication from the nodes to the beneficiary entities, in which the end devices are housed, those end devices that provide internet access to the rural population of the Ayacucho region. It is concluded that this service is beneficial for the population, because it allows them to extend their cultural and academic horizons by providing access to technology that they did not have before.

Keywords — Rural localities, internet operators, education, broadband.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	xiii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	3
1.3 Objetivos del estudio	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos	7
1.4 Antecedentes investigativos	7
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	12
2.1 Marco teórico	12
2.1.1 Clasificación del espectro electromagnético según su frecuencia	12
2.1.2 Clasificación de las microondas	13
2.1.3 Ventajas de los radioenlaces de microondas frente a sistemas cableados ..	14
2.1.4 Desventajas de los radioenlaces de microondas	19
2.1.5 Modelo digital del terreno	19
2.1.6 Mediciones de BER promedio	21
2.1.7 Características de los equipos de radio	21
2.2 Marco conceptual	21
2.2.1 Redes de microondas	21
2.2.2 Multiplexación de canales	22
2.2.3 Muestreo	22
2.2.4 Modulación digital	23
2.2.5 Modulación de amplitud en cuadratura QAM	24
2.2.6 Modulación y codificación adaptativa (ACM)	26
2.2.7 Propagación de microondas	28
2.2.8 Umbral del receptor	36

2.2.9 Nivel de recepción nominal	36
2.2.10 Margen de desvanecimiento o fade margin	36
2.2.11 Características de la antena	36
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	40
3.1 Pasos a seguir para Implementar una red de microondas	40
3.1.1 Se realiza el resumen de planificación	40
3.1.2 Se realiza la planificación inicial	41
3.1.3 Se realiza el diagrama de la red	46
3.1.4 Se realiza el mapeo inicial.....	46
3.1.5 Se verifica la infraestructura existente y los sitios de repetidores en mapas topográficos	47
3.1.6 Se realiza el mapa de ruta.....	47
3.1.7 Se verifican los perfiles de ruta.....	48
3.1.8 Se realizan los estudios de radio.....	51
3.1.9 Se realiza la inspección de ruta.....	52
3.2 Detalles de la torre	55
3.3 Puesta a tierra	55
3.4 Sobre las frecuencias a emplear	57
3.4.1 Causas de la indisponibilidad	58
3.5 Consejos prácticos	59
3.6 Estándares de desempeño.....	60
3.7 Causas de las interrupciones	60
3.7.1 Efectos de desvanecimiento de trayectos múltiples.....	61
3.8 Valores requeridos para el diseño	61
3.9 Valores del mundo real.....	61
3.10 Sobre la afectación por lluvias en los enlaces de microondas	62
3.11 La seguridad de los equipos de comunicaciones.....	64
3.12 Red de acceso por microondas	65
3.12.1 Tipos de nodos a interconectar en la red de acceso	66
3.12.2 Enlaces de microondas punto a punto	71
3.12.3 Instalación de ODU y antena	74
3.12.4 Enlace de microondas punto multi punto	79

3.13 Caso de análisis	81
3.13.1 Datos técnicos	82
3.13.2 Datos de la obstrucción	82
3.14 Aturas de torre del proyecto	91
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	98
Conclusiones	100
Recomendaciones	101
Referencias bibliográficas	102
Anexos	106

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Velocidad de internet promedio por región en el Perú.	6
Tabla 2: Clasificación de las microondas (USA).	13
Tabla 3: Clasificación de las microondas (Unión Europea).	14
Tabla 4: Materiales requeridos para la instalación de enlace de 24 km empleando fibra óptica.	15
Tabla 5: Costos por instalación de enlace de fibra óptica de 24 km.	16
Tabla 6: Costos por instalación y materiales requeridos para implementación de enlace de microondas de 24 km.	17
Tabla 7: Eficiencia espectral teórica de acuerdo con el esquema de modulación.	27
Tabla 8: Comparación entre el factor k y el gradiente de refractividad G	33
Tabla 9: Distancia teórica máxima permitida para cada frecuencia.	58
Tabla 10: Datos generales de ambos sites.	81
Tabla 11: Datos técnicos de ambos sites.	82
Tabla 12: Altura de los obstáculos.	83
Tabla 13: Altura de las torres del proyecto	92
Tabla 14: Parámetros del enlace proporcionados por <i>Pathloss</i> 5.1.	98
Tabla 15: Cantidad de torres del proyecto, de acuerdo a su altura.	98

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Variación de hogares con acceso a internet en el Perú, del año 2015 al 2019.	4
Figura 2: Variación de hogares con acceso a internet en Lima Metropolitana, del año 2015 al 2019.....	4
Figura 3: Variación de hogares con acceso a internet en el resto urbano, del año 2015 al 2019.....	5
Figura 4: Variación de hogares con acceso a internet en el ámbito rural, del año 2015 al 2019.....	5
Figura 5: Clasificación del espectro electromagnético.	12
Figura 6: Ancho de banda en RF.....	13
Figura 7: Obtención de alturas SRTM.....	20
Figura 8: Multiplexación.....	22
Figura 9: Modulación del flujo de bits.....	24
Figura 10: Diagrama de fase de modulación PSK.	24
Figura 11: Diagrama de constelación QPSK.....	25
Figura 12: Diagrama de constelación 16QAM.	26
Figura 13: Modulación adaptativa.....	28
Figura 14: Refracción en el vacío.	30
Figura 15: Refracción en una atmósfera normal.	31
Figura 16: Refracción en una atmósfera anormal.	32
Figura 17: Curvatura del rayo causada por la refracción.....	35
Figura 18: Ancho de haz vs ganancia.....	38
Figura 19: Polarización de una bocina rectangular.	39
Figura 20: Ejemplo de una torre en la parte más alta de una montaña.	42
Figura 21: Vista frontal del grupo electrógeno empleado en la red de transporte.	43
Figura 22: Vista superior del grupo electrógeno.	44

Figura 23: Ejemplo de grupo electrógeno de la <i>red core</i>	44
Figura 24: Grupo electrógeno portátil.	46
Figura 25: Enlaces PTP en mapa (<i>Google earth</i>).	48
Figura 26: Perfil de enlace ejemplo.	49
Figura 27: Ejemplo de repetidor <i>back to back</i>	50
Figura 28: Ejemplo de reflector plano pasivo.	51
Figura 29: DJI Mavic Zoom – Drone quadracóptero con <i>zoom</i> óptico, cámara de 3 ejes, video en 4k, sensor de 48 megapíxeles.....	53
Figura 30: Vista desde la altura propuesta para la torre hacia la institución beneficiaria.	53
Figura 31: Vista de la institución beneficiaria desde una posición más cercana.	54
Figura 32: Sistema de puesta a tierra.	56
Figura 33: Pararrayos Franklin.	56
Figura 34: Mástil con pararrayos Franklin.	57
Figura 35: Mapa de zonas hidrometeorológicas.	63
Figura 36: Cámara PTZ (izquierda) y cámara domo(derecha).	64
Figura 37: Sensores de aniego.....	65
Figura 38: Esquema de general de la red de acceso.....	66
Figura 39: Vista referencial del gabinete shelter.	68
Figura 40: Ubicación de equipos en shelter.	69
Figura 41: Torre y shelter en un nodo de acceso.....	70
Figura 42: Vista superior de torre y gabinete shelter en el nodo.	71
Figura 43: Enlace PTP.	72
Figura 44: Enlace 1+0.	72
Figura 45: Configuración 1+0 XPIC.	73
Figura 46: Configuración 2+0 XPIC.	74
Figura 47: Acople de ODU y antena.	75
Figura 48: Polarización de una antena.	75
Figura 49: Acoplamiento de ODU y antena.....	76

Figura 50: Cambio de polarización de una antena.....	77
Figura 51: Izaje correcto de la antena.....	78
Figura 52: Montaje de la antena en soporte.....	78
Figura 53: Cableado SFTP en torre.....	79
Figura 54: Antena sectorial.....	80
Figura 55: Antena suscriptora.....	80
Figura 56: Antena sectorial y suscriptores conectados a esta.....	81
Figura 57: Antena en el site URPAY BAJO apuntando hacia NIÑO YUCAY.	82
Figura 58: Fotografías del obstáculo en el enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.	83
Figura 59: Fotos de 0° a 360° con saltos de 30° entre cada una. Para el enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.....	84
Figura 60: Análisis de enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.	85
Figura 61: Foto desde el site URPAY BAJO a 90°.....	86
Figura 62: Carga de archivo SRTM, con los datos del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.....	86
Figura 63: Alturas cargadas desde archivo. Para el enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.....	87
Figura 64: Carga de coordenadas de cada punto del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.....	87
Figura 65: Enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY cargado en Pathloss.....	88
Figura 66: Perfil del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.....	88
Figura 67: Claridad del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.....	89
Figura 68: Parámetros del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.	89
Figura 69: Altura de los obstáculos en el enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.	90
Figura 70: Obstáculos en la línea de vista del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.....	90
Figura 71: Resumen de datos del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.	91
Figura 72: Resumen de cantidad de torres del proyecto, de acuerdo a su altura.....	99

Introducción

Se realizó el presente trabajo en base a la experiencia adquirida laborando en proyectos de la red dorsal RDNFO, por más de ocho años, lo que ha permitido la observación, capacitación y aprendizaje sobre la implementación de la red troncal de fibra óptica, además del *backhaul* por parte de las redes regionales, hasta el usuario final que vienen a ser en este caso las entidades beneficiarias.

El haber visitado pequeños y recónditos pueblos por medio del despliegue de este proyecto, en regiones como San Martín, Ayacucho, Puno, Moquegua, Tacna, La Libertad o Arequipa me ha permitido conocer el sentir de sus pobladores, sus carencias, necesidades, temores con respecto a la tecnología y como esta puede realmente ayudarlos en su objetivo principal de superación por el bien de sus familias y comunidades.

Encajando todo ello con los conocimientos académicos obtenidos previamente durante mi formación universitaria, encuentro esas coincidencias, entre la teoría que he recibido de mis mentores y lo que ahora entiendo como una solución para aquellos problemas de comunicación del país, planteo entonces en este trabajo, el como mediante el empleo de la tecnología se alcanza ese soporte tan necesario para poder brindar estas comunidades rurales aisladas el beneficio de acceder al servicio de internet.

La experiencia mencionada permite conocer las buenas prácticas para una adecuada implementación de dicha red de comunicaciones rurales, empleando tanto en el fundamento teórico de ingeniería, así como la experiencia en campo, conceptos científicos y cálculos que llevados a la práctica dan como resultado un trabajo de calidad, escalable y duradero.

El desarrollo de este trabajo se divide en 4 capítulos, los cuales son los siguientes:

El capítulo I, Parte introductoria del trabajo, detalla las generalidades de estas redes, para luego pasar a una descripción del problema de investigación. Luego se

plantean los objetivos del estudio y se finaliza con los antecedentes investigativos del mismo.

En el capítulo II, Marcos teórico y conceptual, se detalla el fundamento teórico que se debe tener como base para el entendimiento de los posteriores planteamientos del trabajo, además se profundiza en conceptos claves para el mismo fin.

El capítulo III, Desarrollo del trabajo de investigación, detalla el proceso mediante el cual se desplegó esta red, se profundiza explicando los casos particulares y el porqué de diversas normas de la industria.

En el capítulo IV, Costos de implementación de la red de acceso, se muestra las tablas de utilización real en el proyecto.

En el capítulo V, Análisis y discusión de resultados, se detalla acerca de los resultados obtenidos en el despliegue de esta red, además de analizar los beneficios de todo el trabajo y los puntos a mejorar en posteriores esfuerzos.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

Internet es una de las tecnologías de comunicación y computación más significativas del siglo XX. Su creación fue relativamente reciente, datando de 1991, cuando se lanzó el World Wide Web, un evento que marcó un aumento exponencial en la velocidad y accesibilidad de la red. Este avance se debió a las innovaciones tecnológicas como las redes de microondas y la fibra óptica. La capacidad de transferencia de datos alcanzó niveles impresionantes en términos de velocidad y distancia. Apareciendo, por ejemplo, hoy en día, redes que brindan al usuario velocidades de descarga estándar de 600 Mbps o 1000 Mbps solo en Perú (regiones del primer mundo cuentan con acceso a velocidades aún mayores a este nivel como un estándar) y enlaces microondas que cruzan montañas y sin dificultad alcanzan los 30 km o 40 km.

La demanda de sistemas de transmisión rentables y de alta disponibilidad crece para satisfacer los requerimientos de los servicios multimedia necesitados de ancho de banda, tanto en aplicaciones fijas como móviles. Particularmente en las redes móviles, las tecnologías de tercera y cuarta generación están permitiendo un ancho de banda sin precedentes. Puede notarse, por ejemplo, como, actualmente, ya es posible realizar transmisiones en *streaming* con video en alta calidad o videojuegos en línea en tiempo real, velocidades de descarga por parte de redes móviles de 100 Mbps o superiores, accesibles actualmente dependiendo de la cobertura brindada por parte de los operadores.

Tecnologías como HSPA o LTE brindan al usuario capacidades teóricas de hasta 300 Mbps, pero terminan por empujar el cuello de botella a la red de transmisión, que debe transportar este tráfico.

En un mundo ideal, la transmisión por fibra óptica entrega un medio perfecto para este *backhaul*, debido a su ancho de banda virtualmente ilimitado; pero la realidad es que no está ampliamente disponible en la parte de acceso de la red. Esto se da a pesar del

crecimiento continuo de la fibra a través de iniciativas como los proyectos de acceso de próxima generación (NGA).

La radio de microondas tiene costos fijos más bajos asociados (se analiza con mayor detalle acerca de estos costos en la sección 2.1.3). Esto permite que los costos se distribuyan de manera más uniforme a lo largo de la vida útil del sistema, lo que además hace coincidir estos costos con los ingresos y reduce el riesgo de inversión. En algunos casos, se instala microondas para poner en marcha la red, debido a su rápida implementación, mientras se construye una red troncal de fibra y una vez que la fibra está disponible se implementa.

Los sistemas de cable presentan un perfil de costo lineal, lo que significa que al aumentar la distancia a tender también aumenta el costo. En contraste, los sistemas de radio dependen de la cantidad de saltos y repetidores de radio necesarios para la transmisión. Esto implica que los costos no se incrementaban de manera uniforme, sino que varían en función de la infraestructura requerida para mantener la comunicación a través de radiofrecuencia.

Los sistemas de radio son más resistentes a los desastres naturales, como terremotos e inundaciones, con un tiempo de recuperación más rápido. Por lo tanto, las rutas de radio a menudo se construyen como una copia de seguridad de la fibra. Incluso si una torre se cae, los enlaces a menudo se pueden restablecer rápidamente en una estructura temporal y operar en un camino con una línea que no necesariamente es la óptima, pero con suficiente disponibilidad para restablecer las comunicaciones. Por la naturaleza escalonada de la construcción de la infraestructura, las microondas son ideales para atravesar terrenos accidentados o difíciles. En este trabajo, se detalla como un par de torres en puntos bastante elevados son un escenario óptimo para un enlace de microondas, mientras que realizar dicha comunicación con fibra óptica representa una gran dificultad para un enlace que requiere un acceso adecuado a los caminos para el tendido correcto.

1.2 Descripción del problema de investigación

Según datos del INEI, al primer trimestre de 2015 (sabiendo que este proyecto es firmado el 27 de mayo del 2015) se observa lo siguiente:

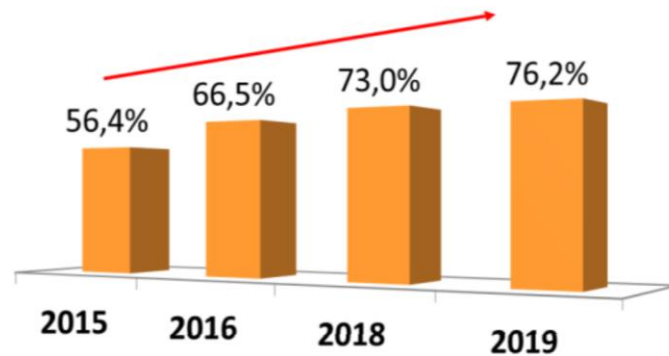
- **Conexión a Internet en Hogares Peruanos:** Se informó que el 27% de los hogares en Perú contaba con conexión a internet a nivel residencial. Los hogares de la capital, Lima, eran los que más accedían a este servicio, alcanzando un 44%. En el resto de las áreas urbanas, excluyendo Lima Metropolitana, la cobertura era del 28.8%. En contraste, en las zonas rurales, solo el 0.9% de los hogares tenía acceso a internet.
- **Disponibilidad de Computadoras:** En cuanto a la posesión de computadoras, se observó que el 48% de los hogares de Lima Metropolitana disponía de una computadora. Esta cifra era seguida por el 42.1% de los hogares en el resto urbano y solo el 6% en las áreas rurales. A nivel nacional, se registró que el 34.8% de los hogares del país contaba con una computadora.

De estas estadísticas se aprecia, en resumen, la gran diferencia existente para el acceso a internet por parte de las zonas rurales y Lima Metropolitana. Es esa gran brecha la que se busca acortar con este trabajo.

Si se analiza la cantidad de hogares con acceso a internet de acuerdo con el ámbito geográfico a nivel de todo el Perú, puede notarse un incremento del año 2015 al 2019, tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Variación de hogares con acceso a internet en el Perú, del año 2015 al 2019.

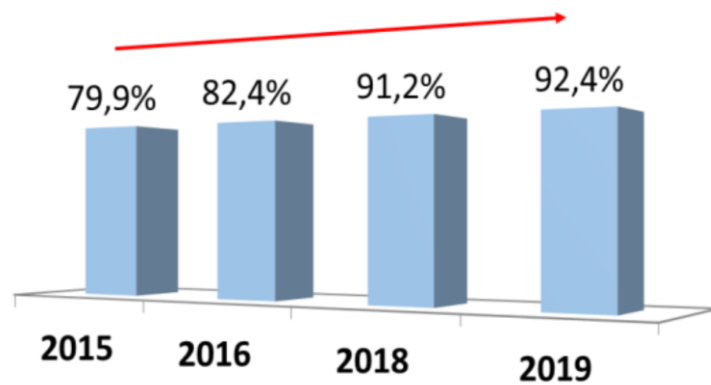


Nota: la figura nos indica la variación anual de hogares con acceso a internet en el Perú, por Osiptel, 2020.
Fuente <https://www.osiptel.gob.pe/media/uaxgb32q/ppt-retos-cerrar-brechadigital.pdf>.

Al analizar las estadísticas se aprecia que la mayor parte de ese incremento se encuentra en Lima metropolitana, acorde a la figura 2.

Figura 2

Variación de hogares con acceso a internet en Lima metropolitana, del año 2015 al 2019.

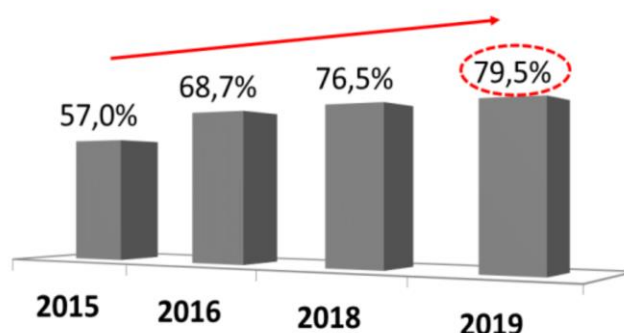


Nota: la figura nos indica la variación anual de hogares con acceso a internet en Lima metropolitana, por Osiptel, 2020, fuente <https://www.osiptel.gob.pe/media/uaxgb32q/ppt-retos-cerrar-brechadigital.pdf>.

Además del resto urbano tal como se aprecia en la figura 3.

Figura 3

Variación de hogares con acceso a internet en el resto urbano, del año 2015 al 2019.

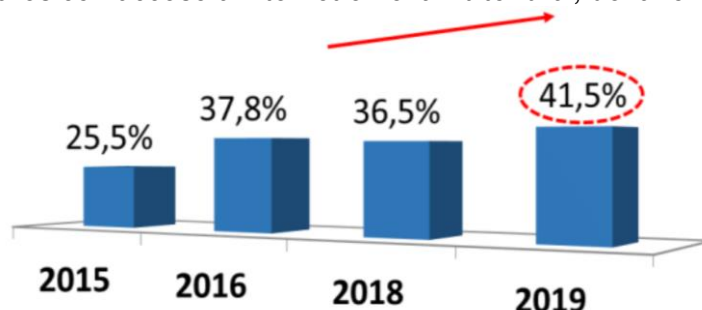


Nota: la figura nos indica la variación anual de hogares con acceso a internet en el resto urbano, por Osiptel, 2020. Fuente <https://www.osiptel.gob.pe/media/uaxgb32q/ppt-retos-cerrar-brechadigital.pdf>.

Sin embargo, al analizar el ámbito rural, se hace notorio el cambio drástico de estos porcentajes, tal como se aprecia en la figura 4.

Figura 4

Variación de hogares con acceso a internet en el ámbito rural, del año 2015 al 2019.



Nota: la figura nos indica la variación anual de hogares con acceso a internet en zonas rurales, por Osiptel, 2020. Fuente <https://www.osiptel.gob.pe/media/uaxgb32q/ppt-retos-cerrar-brechadigital.pdf>

Aquí el incremento de usuarios del servicio de internet es menor y ni siquiera es sostenido en el tiempo.

Al revisar el acceso al servicio desde otro punto de vista, es decir, evaluar no solo la cantidad de hogares que acceden al servicio, sino también con qué velocidad, se encuentran aún más diferencias.

La tabla 1 nos indica la velocidad promedio con la que se consigue acceder al servicio de internet en las diversas regiones del Perú.

Tabla 1

Velocidad de internet promedio por región en el Perú.

Departamento	Velocidad de descarga		Velocidad de subida	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural
Lima	83 Mbps	33 Mbps	65 Mbps	16 Mbps
Callao	73 Mbps	0 Mbps	53 Mbps	0 Mbps
Ica	70 Mbps	46 Mbps	79 Mbps	53 Mbps
Tumbes	66 Mbps	13 Mbps	57 Mbps	11 Mbps
Huánuco	61 Mbps	18 Mbps	42 Mbps	15 Mbps
San Martín	56 Mbps	20 Mbps	40 Mbps	18 Mbps
Cusco	55 Mbps	23 Mbps	22 Mbps	17 Mbps
Huancavelica	54 Mbps	14 Mbps	68 Mbps	13 Mbps
Arequipa	52 Mbps	14 Mbps	18 Mbps	11 Mbps
Pasco	52 Mbps	12 Mbps	55 Mbps	11 Mbps
Ayacucho	51 Mbps	11 Mbps	38 Mbps	9 Mbps
La Libertad	50 Mbps	19 Mbps	22 Mbps	17 Mbps
Piura	50 Mbps	28 Mbps	31 Mbps	27 Mbps
Áncash	49 Mbps	14 Mbps	26 Mbps	13 Mbps
Cajamarca	48 Mbps	25 Mbps	37 Mbps	24 Mbps
Puno	47 Mbps	19 Mbps	39 Mbps	19 Mbps
Ucayali	47 Mbps	11 Mbps	38 Mbps	7 Mbps
Amazonas	46 Mbps	13 Mbps	36 Mbps	9 Mbps
Lambayeque	46 Mbps	21 Mbps	18 Mbps	17 Mbps
Junín	44 Mbps	16 Mbps	21 Mbps	12 Mbps
Madre De Dios	44 Mbps	25 Mbps	39 Mbps	15 Mbps
Apurímac	42 Mbps	8 Mbps	44 Mbps	7 Mbps
Tacna	42 Mbps	14 Mbps	31 Mbps	11 Mbps
Moquegua	41 Mbps	16 Mbps	32 Mbps	11 Mbps
Loreto	21 Mbps	4 Mbps	13 Mbps	2 Mbps

Nota: fuente Speedtest – Ookla (2022). Fuente <https://ojo-publico.com/3488/crece-la-desigualdad-la-calidad-internet-sudamerica>

De los gráficos y la tabla mostrados, se aprecian dos problemas relacionados. El primero está dado por la escasa cantidad de personas que tienen la posibilidad de acceder al servicio, mientras que el segundo hace referencia a la baja velocidad con la que accede este grupo reducido de personas en el ámbito rural. Con trabajos como el presente, más personas, en el ámbito rural, pueden conectarse a internet accediendo a un servicio de mayor calidad; de forma tal que estos porcentajes mostrados cambian. No son solo estadísticas reflejadas únicamente en el ámbito urbano del Perú y siendo más específicos para este trabajo de la región Ayacucho.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 *Objetivo general*

Implementar de una red de comunicaciones inalámbricas para brindar el acceso a internet a la región Ayacucho.

1.3.2 *Objetivos específicos*

1. Realizar el diagrama de un enlace para analizarlo a detalle.
2. Ingresar en el software las coordenadas de los puntos, el porcentaje de la zona de Fresnel, el factor k, la frecuencia, además de la claridad con la cual se desea trabajar.
3. Obtener los valores de distancia y perfil de ruta empleando este software.

1.4 Antecedentes investigativos

Tarazona (2018) realizó la tesis titulada “Simulación de una Transmisión Adaptativa para enlaces de Microondas en la Selva Peruana”, en ella muestra cómo mejorar el rendimiento de una red y establecer la comunicación en la selva peruana pese a las adversidades del medio, las dificultades planteadas por su geografía, es así como valiéndose de la modulación adaptativa consigue mitigar los efectos de los hidrometeoros del clima. Analiza además el volumen de las precipitaciones, en que frecuencias es mayormente afectada la señal de microondas y las diferencias existentes entre los efectos

de las lluvias en los diversos climas del mundo. Concluye que la atenuación promedio para la selva peruana en un enlace de microondas por causa de hidrometeoros tan solo es superada por Brazil y zonas de la selva africana, frente a esto, esta implementación resulta positiva, ya que permite tener un acceso continuo a la información, en estas zonas.

Peralta (2019) realizó la tesis titulada “Desempeño en Redes Wireless para Zonas Rurales”, en ella propone el uso de herramientas computacionales que evalúan el rendimiento (throughput), la tasa de paquetes errados (BER), y niveles de potencia de recepción de redes Wireless e híbridas en combinación con redes satelitales con el objetivo de valorar este tipo de redes en zonas rurales. Estas herramientas son Matlab y Link y Budget Calculator, además de eso simula esta red Wireless empleando Riverbed OPNET Modeler. Concluyendo que la relación Portadora/ Ruido (C/N) es menor a mayores frecuencias sobre todo cuando existe el factor lluvia. Concluye también que en un enlace híbrido es el enlace de microondas el que posee el C/N más bajo por lo tanto es este el que amerita la mayor atención.

Sánchez (2021) realizó la tesis titulada “Propuesta de Diseño de una Red de Transporte de Microondas para Mejorar la Capacidad de los Radioenlaces de un Operador Móvil en la Zona del VRAEM” con el objetivo de mejorar la capacidad de transmisión de los radioenlaces de un operador móvil en la zona del Vraem, dimensionar el rendimiento y eficiencia de la red, además de plantear y validar el diseño de la red.

Llegando a la conclusión de que la elección del diámetro de la antena y los parámetros de transmisión y sensibilidad son importantes para definir la modulación QAM con la que operan los radioenlaces; puesto que de la modulación y del ancho de canal dependen la capacidad de transmisión según la hoja técnica del fabricante de radio. Además, la implementación del diseño propuesto por parte de una red de microondas tiene un costo hasta cuatro veces menor a un costo de implementación por fibra óptica. El arrendamiento de fibra de otro operador se realiza cuando se tiene caídas en los servicios de microondas.

Alarcón y Chicoma (2022) realizaron la tesis titulada “Diseño de una red inalámbrica en la zona rural de Santa Bárbara”, buscando brindar el acceso a internet al centro poblado rural de Santa Bárbara en Cajamarca. Llegando a la conclusión de que al evaluar la zona geográfica de Santa Bárbara se determina que si es posible una futura implementación de una red inalámbrica. Además, el presupuesto total presentado para el diseño de la red inalámbrica es de un aproximado de 25 000 soles usando equipos de la marca Ubiquiti.

Díaz y Gutiérrez (2022) realizaron la tesis titulada “Análisis de Rayo Reflejado para la Identificación de Alturas de Antena Asociadas a Menor Fluctuación de Potencia Recibida en Radioenlaces de Acceso Rural del Departamento De Huancavelica - Perú, 2019” con el objetivo de identificar, mediante el análisis de rayo reflejado, valores de altura de antena que favorezcan la reducción de fluctuación de la señal en radioenlaces de acceso rural de la región Huancavelica.

Nicola y Sánchez (2019) realizaron un estudio titulado “Análisis Comparativo Técnico-Económico de Tecnologías de Acceso para Proveer Servicios de Internet en Poblaciones Rurales en La Costa Ecuatoriana”. Este trabajo muestra una comparación entre el uso de redes inalámbricas y de fibra óptica, con el objetivo de determinar cual de estas dos es más conveniente para brindar el servicio de acceso a internet a zonas rurales. Llegando a la conclusión de que mientras que las redes inalámbricas son convenientes para escenarios en donde se presenta un menor número de usuarios, las redes de fibra óptica son más adecuadas en aquellos casos en los que se presenta un mayor número de usuarios finales.

Ruiz, Arévalo y Rivera (2022) realizaron un estudio titulado “Estudio de la Factibilidad Técnica de la Implementación de la Tecnología TVWS en las Instituciones Educativas Rurales en el Departamento de Cundinamarca” con el objetivo de verificar la conveniencia de emplear la sección del espectro conocida como TVWS (espacios en blanco de televisión) al compararla con frecuencias no licenciadas con un mayor

probabilidad de sufrir interferencias y otras tecnologías como la WIMAX con mayores costos, se verifica la viabilidad del uso de estas frecuencias en Cundinamarca, Colombia. Además de esto recopila información sobre la tecnología TVWS e identifica parámetros técnicos como proveedores de hardware, umbrales, normatividad y usuarios finales a coberturar.

Molina (2022) realizó un estudio titulado “Radioenlace en Banda Libre de 5ghz para Proveer de Internet a las Cabañas de las Lagunas De Mojanda”, este proyecto muestra la utilidad de instalar una red de comunicaciones inalámbricas para el complejo turístico Mojanda, Ecuador. Nos indica cuan vital llega a ser este trabajo debido a que al no tener un acceso al servicio de internet o telefonía móvil esta población no se puede comunicar efectivamente. Solucionar ello presenta ciertas dificultades, ya que al ser una comunidad alejada y de difícil acceso vehicular tampoco se cuenta con el suministro eléctrico que permita el funcionamiento de un sistema adecuado de comunicación. Siendo de esta forma, dentro de su propuesta incluye el uso de paneles solares y baterías. Además de ello este trabajo muestra una simulación de la red empleando el software UBIQUITI airLink para luego implementar estos dos enlaces consiguiendo una longitud total de 10.7 km. Se llega a verificar una gran similitud entre los datos teóricos obtenidos en la simulación y los verificados en la instalación, comprobándose así la utilidad de la simulación previa.

García (2023) realizó un estudio titulado “Diseño de un Operador Inalámbrico de Acceso a Internet para Zonas Rurales con Servicio de Seguridad IoT” El objetivo de este trabajo es el de brindar el acceso a internet a zonas rurales de República Dominicana, ya que en la mayoría de estos casos no se cuenta con un gran desarrollo en infraestructura de comunicaciones.

Realizó una maqueta de laboratorio con elementos de una red WISP (Wireless internet service provider). Esta red contó con 2 servidores Ubuntu cargados en Virtualbox, conexión a internet, Access Points, Routers, Switches y dispositivos IoT.

Se utilizó el software pfSense para simulación de routers core.

Se verificó en laboratorio el monitoreo de equipos utilizando un servidor Zabbix, el cual lo consigue a través del protocolo snmp, utilizando plantillas predefinidas para Mikrotik, pfSense y Cisco.

Concluyendo que existe una correcta interoperación entre el software Open Source y los equipos de fabricantes como Cisco y Mikrotik.

Además, nos indica que con ingenio y los conocimientos adecuados se puede conseguir objetivos como este, brindar conectividad a zonas aisladas aun teniendo un presupuesto limitado.

Rodríguez (2023) realizó un estudio titulado “Propuesta para la Conectividad Móvil Celular en Zonas Rurales de Colombia en Redes de Acceso 4G y 5G”, en este planea brindar el servicio de internet a poblaciones de condición social y económica, vulnerable y ubicadas en zonas rurales apartadas de Colombia.

Nos indica que en Colombia aproximadamente el 40% de los hogares no tiene acceso a internet, ya sea fijo o móvil. En particular, solo el 32.2% de los hogares en áreas rurales dispone de este servicio. Ante esta realidad, se propone realizar un estudio para evaluar la viabilidad técnica de implementar conectividad móvil a través de redes 4G y 5G en localidades que actualmente no están incluidas en los planes gubernamentales.

Empleando la herramienta HTZ Communications realiza una simulación de cobertura para la tecnología 4G y 5G.

Llega a la conclusión de que la implementación de redes 4G se presenta como una opción más viable para brindar conectividad móvil, especialmente al utilizar la banda de **700 MHz**, que ofrece una mayor cobertura. Esta banda, al ser de frecuencia baja, permite una mejor propagación de la señal, lo que resulta en una cobertura más amplia, especialmente en áreas rurales y de difícil acceso. Por lo tanto, se concluye que la tecnología **5G** no es la solución más adecuada para llevar conectividad a estas zonas.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

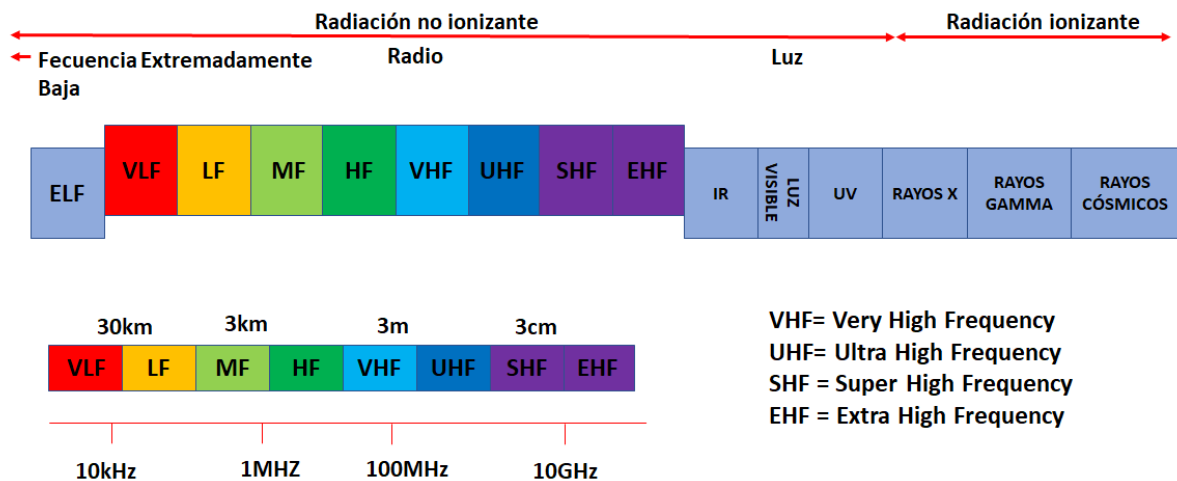
2.1 Marco teórico

2.1.1 Clasificación del espectro electromagnético según su frecuencia

Se observó que la cantidad de energía transportada por las ondas electromagnéticas aumentaba a medida que se incrementaba su frecuencia, tal como se aprecia en la figura 5.

Figura 5

Clasificación del espectro electromagnético.



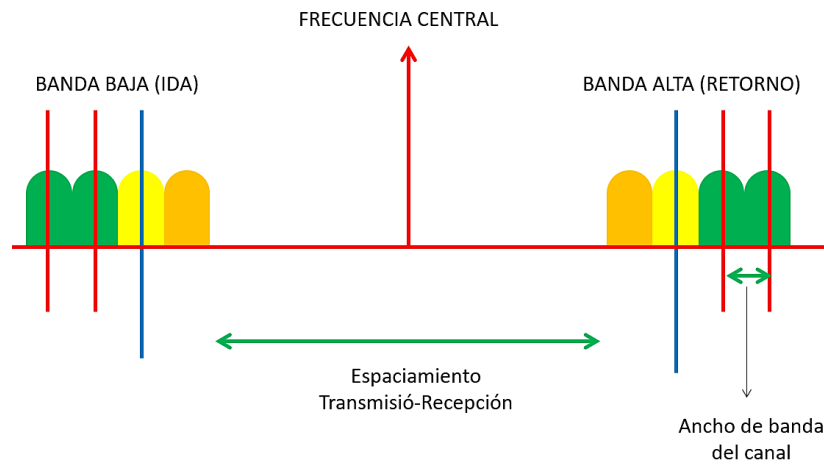
Nota: la figura nos muestra la clasificación del espectro electromagnético en función a su frecuencia. Adaptado de Microwave Radio Transmission Design Guide (p.5), por T. Manning, 1999, Artech house.

Con respecto a los enlaces considerados en este documento, cada radio frecuencia consta de un par de frecuencias para la transmisión y recepción respectivamente. Estos son referidos como canales de ida y retorno o canales de banda alta y banda baja.

El ancho de banda en RF es simétrico tal como se puede apreciar en la figura 6.

Figura 6

Ancho de banda en RF.



Nota: La figura nos muestra la simetría del ancho de banda en RF. Adaptado de Microwave Radio Transmission Design Guide (p.4), por T. Manning, 1999, Artech house.

2.1.2 Clasificación de las microondas

Con respecto a la clasificación en bandas, se muestran aquí dos enfoques.

La tabla 2 nos muestra la clasificación de las microondas de acuerdo con la visión estadounidense.

Tabla 2

Clasificación de las microondas (USA).

Antigua Clasificación (USA)	
HF 3–30 MHz	X 8–12 GHz
VHF 30–300 MHz	J/Ku 12–18 GHz
UHF 300–3 000 MHz	K 18–26.5 GHz
L 1–2 GHz	Q/Ka 26.5–40 GHz
S 2–4 GHz	U 40–60 GHz
C 4–8 GHz	O/E 60–90 GHz
SHF 3–30 GHz	EHF 30–300 GHz

Nota: Manning (1999, p.5).

La tabla 3 nos muestra la clasificación de las microondas de acuerdo con la Unión Europea. Esta clasificación es más usada actualmente.

Tabla 3

Clasificación de las microondas (Unión Europea).

Nueva Clasificación (Unión europea)
A 0–250 MHz
B 250–500MHz
C 500–1 000 MHz
D 1–2 GHz
E 2–3 GHz
F 3–4 GHz
G 4–6 GHz
H 6–8 GHz
I 8–10 GHz
J 10–20 GHz
K 20–40 GHz
L 40–60 GHz
M 60–100 GHz

Nota: Manning (1999, p.5).

2.1.3 Ventajas de los radioenlaces de microondas frente a sistemas cableados

- Volumen de inversión más reducido. Para tener una idea de la diferencia de costos a grandes rasgos, se considera el ejemplo de un enlace de aproximadamente 24km para comparar los costos entre establecer dicho enlace empleando fibra óptica o microondas.

La tabla 4 muestra los materiales requeridos para la instalación de dicho enlace empleando fibra óptica.

Tabla 4*Materiales requeridos para la instalación de enlace de 24 km empleando fibra óptica.*

Cantidad solicitada	Unidad	Precio unitario	Descripción	Total
24	UND	16.55	Amortiguador Vano 600, $\varnothing$ (13.50-14.50)mm	S/ 397.18
8	UND	593.35	Kit de cierre de empalme	S/ 4746.77
26	UND	24.96	Collarín 2 salidas 7"-8" Tuerca ojo 5/8"	S/ 648.96
6	UND	26	Collarín 2 salidas 8"-9" Tuerca ojo 5/8"	S/ 156
61	UND	40.65	Crucetas para reserva cable F.O.	S/ 2479.71
11	UND	2.17	Etiqueta amarilla plástica cierre empalme	S/ 23.88
251	UND	2.57	Etiqueta amarilla plástica cable F.O.	S/ 646.07
8000	m	3.85	F.O. PE span 200 m, $\varnothing$ (12.0+-0.5) mm / 4km	S/ 30784
24000	m	6.18	F.O. PE span 600 m, $\varnothing$ (14.0+-0.5) mm / 4km	S/ 148200
14	Caja por 30 m	54.41	Fleje de acero Inoxidable 5/8"	S/ 761.67
446	UND	0.48	Hebillas de acero inoxidable 5/8"	S/ 214.53
106	UND	18.08	H.R. Vano 200 m, $\varnothing$ (11.50-12.50) mm	S/ 1916.8
202	UND	19.6	H.R. Vano 200 m, $\varnothing$ (13.50-14.50) mm	S/ 3960.01
38	UND	99.37	H.R. Vano 400 m, $\varnothing$ (13.50-14.50) mm	S/ 3776.14
22	UND	20.32	H.S. Vano 200 m, $\varnothing$ (11.50-12.50) mm	S/ 447.02
11	UND	19.16	H.S. Vano 200 m, $\varnothing$ (13.50-14.50) mm	S/ 210.78
317	UND	13.35	Soporte especial perno 5/8" tuerca ojo	S/ 4232.27
17	UND	715	Poste de concreto 12m/300/2/165/345	S/ 12155
Total Materiales				S/ 215,756.78

La tabla 5 muestra los costos por instalación del enlace de 24 km empleando fibra óptica.

Tabla 5

Costos por instalación de enlace de fibra óptica de 24 km.

Cantidad	Unidad	Precio unitario	Descripción de la partida	Importe
8000	m	7.46	Instalación aérea de cable dieléctrico ADSS para fibras ópticas <i>span</i> hasta 200 m.	S/ 59696
22500	m	12.52	Instalación aérea de cable dieléctrico ADSS para fibras ópticas <i>span</i> hasta 800 m.	S/ 281677.5
30	m	4.81	Tendido de cable armado o ADSS en canalizaciones.	S/ 144.3
24	Pieza	27.77	Instalación de amortiguador espiral de vibraciones para vanos igual o superiores a 200 m.	S/ 666.43
106	Pieza	33.93	Instalación de herraje de retención para cable ADSS hasta <i>span</i> 200.	S/ 3596.58
22	Pieza	18.85	Instalación de herraje de suspensión hasta <i>span</i> 200.	S/ 414.7
11	Pieza	33.93	Instalación de herraje de suspensión para cable ADSS <i>span</i> hasta 800 m.	S/ 373.23
262	-	4.63	Instalación de etiqueta auto enrollable de 4" x 4" y/o marquilla de identificación.	S/ 1212.54
17	Pieza	352.11	Instalación de poste de concreto reforzado hasta 12m.	S/ 5985.79
61	Pieza	97.76	Elaboración y sujeción de reserva tipo cruceta.	S/ 5963.36
8	Pieza	2073.5	Montaje y sellado de cierre de empalme de fibra óptica en instalación aérea.	S/ 16588
48	-	41.47	Mediciones ópticas con equipo OTDR en capsula de empalme, tubo holgado y/o distribuidor de fibra óptica.	S/ 1990.56
1	Pieza	165.32	Instalación de rack de 19" o 23".	S/ 165.32
1	Pieza	1859	Instalación de distribuidor de fibra óptica 24 posiciones.	S/ 1859
48	-	19.21	Mediciones ópticas con equipo " <i>power meter</i> " (pruebas de potencia), tubo holgado y/o distribuidor de fibra óptica.	S/ 922.27
1	Pieza	634.83	Tubo galvanizado 3" incluye el suministro, adosamiento y acometida de poste a cámara hasta 3 m.	S/ 634.83
17	Und	27.37	Permeabilizado de postes de concreto de 12 metros incluye la base de asfalto liquido de curado rápido con dos metros de altura desde la base hacia arriba, mano de obra, limpieza del área de trabajo y todo lo necesario para su completa ejecución por unidad de obra terminada.	S/ 465.21
30	m	88.4	Construcción de canalización andén destapado, andén tierra o calzada destapada de sección de 40.0 cm. de ancho por 80.0 cm. de profundidad.	S/ 2652
180	m	15.86	Suministro e instalación de cable mensajero desnudo de 7 hilos (3 toneladas) para elaboración de cruces americanos.	S/ 2854.8
349	Und	50.83	Instalación de herraje (abrazadera) en elementos como postes, rieles, para soporte e instalación de fibra óptica o mensajero.	S/ 17739.67
1000	m	0.99	Diseño (incluye el recorrido de la ruta o tramo, georreferenciación de todos los puntos de apoyo (postes, rieles, cámara, etc) y datos de referencia.	S/ 988
Total Instalación				S/ 406,590.08
TOTAL ENLACE DE FIBRA ÓPTICA				S/ 622,346.86

Los costos referenciales para el caso de implementar el enlace por microondas se muestran tabla 6.

Tabla 6

Costos por instalación y materiales requeridos para implementación de enlace de microondas de 24km.

Tipo	Descripción	Clasificación	Cantidad por nodo	Valor	Requerido por enlace	Valor total
Kit	Kit de aire acondicionado.	Climatización	1	3000	2	S/ 6,000.00
Materiales	Conector tipo uña para cable de 6mm ² .	Energía	12	0.3	2	S/ 7.20
Materiales	Terminal tipo ojo para cable de 6mm ² .	Energía	4	0.2	2	S/ 1.60
Materiales	Cinta 4026 biadhesiva espuma 19mmx11m.	Energía	0.2	0.6	2	S/ 0.24
Materiales	Tarugo fischer	Energía	12	12	2	S/ 288.00
Materiales	Terminal tubular 0,5 SQ blue 22AWG.	Energía	112	0.1	2	S/ 22.40
Materiales	Manga termocontraible 12.7/6.4.	Energía	0.1	0.6	2	S/ 0.12
Materiales	Manga termocontraible X6mmQ.	Energía	0.15	0.6	2	S/ 0.18
Materiales	Tuerca M6 inoxidable.	Energía	4	2.4	2	S/ 19.20
Materiales	Compact circuit breaker 20A 2P.	Energía	1	7	2	S/ 14.00
Materiales	Socket 6way schuko US.	Energía	1	14	2	S/ 28.00
Materiales	Terminal tubular X M8 SEC. 16SQmm.	Energía	2	0.8	2	S/ 3.20
Materiales	3 contacs plug P. 3.81.	Energía	2	5	2	S/ 20.00
Kit	Kit de energía rectificador + baterías.	Energía	1	9000	2	S/ 18,000.00
Kit	Kit de cableado de energía.	Energía	1	8000	2	S/ 16,000.00
Equipo	Radio 5GHz AP	Enlace PTMP	1	1383	2	S/ 2,766.00
Materiales	Cintillo bandera L=110 mm.	Enlace PTMP	10	0.7	2	S/ 14.00
Equipo	Antena sectorial 120°.	Enlace PTMP	1	419	2	S/ 838.00
Kit	kit de puesta a tierra para cable diámetro 5-11mm.	Enlace PTP	2	20	1	S/ 40.00
Kit	Kit de fijación de 5 piezas.	Enlace PTP	1	4	1	S/ 4.00
Materiales	Cintillo plástico negro de 16".	Enlace PTP	50	0.1	1	S/ 5.00
Equipo	Antena 8GHZ 1.2m R120 STD.	Enlace PTP	2	5272.8	1	S/ 10,545.60
Equipo	Radio LICENCIADO 8Ghz SB=1L.	Enlace PTP	1	2766.4	1	S/ 2,766.40
Equipo	Radio LICENCIADO 8Ghz SB=1H.	Enlace PTP	1	2766.4	1	S/ 2,766.40
Materiales	Cintillo blanco 4.8mm x 292mm.	Indoor	30	0.12	2	S/ 7.20

Materiales	Envoltura espiral blanca de 12mm.	Indoor	2	1	2	S/ 4.00
Materiales	Cable UTP CAT5e 24AWG gris L=2m.	Indoor	7	2	2	S/ 28.00
Kit	Kit <i>networking</i> para nodo.	Indoor	1	4000	2	S/ 8,000.00
Materiales	Pernos hexagonales M6X12.	Indoor	4	2.6	2	S/ 20.80
Materiales	Kit de fijación de DDF.	Indoor	2	20	2	S/ 80.00
Materiales	Capuchón protector RJ45.	Indoor	20	1	2	S/ 40.00
Materiales	Conector RJ45 apantallado.	Indoor	20	1.5	2	S/ 60.00
Materiales	Conector RJ45 apantallado.	Indoor	12	2.5	2	S/ 60.00
Kit	Kit de seguridad para nodo.	Seguridad	1	9500	2	S/ 19,000.00
Kit	Torre autosoportada 36m.	Torre	1	75000	2	S/ 150,000.00
Kit	Zapata para torre de 36m.	Torre	1	6000	2	S/ 12,000.00
	Costos de instalación.	Instalación	1	25000	1	S/ 25,000.00
TOTAL						S/ 274,449.54

De los cálculos anteriores puede apreciarse la gran diferencia existente entre realizar el despliegue de un enlace por fibra óptica, en comparación a realizar el mismo enlace por microondas.

- Instalación más rápida y sencilla. En el caso de la fibra óptica, esta debe fijarse en cada poste, cuya distancia entre poste y poste depende del span empleado, por lo que debe recorrerse necesariamente todos los kilómetros de fibra a tender. Sin embargo, para un enlace de microondas basta con ubicarse en cada extremo para instalar los equipos necesarios en cada punto y conseguir establecer dicho enlace. Esto ahorra mucho tiempo en el despliegue y reduce drásticamente los costos, ya que no importa si el camino entre punto y punto del enlace es accesible o no, lo que permite a su vez superar con mayor facilidad las irregularidades del terreno.
- La regulación debe enfocarse exclusivamente en el equipo, ya que el medio es prácticamente constante dentro del ancho de banda de operación.
- Se puede aumentar la separación entre estaciones aumentando la altura de las torres.

2.1.4 Desventajas de los radioenlaces de microondas

- La explotación de este servicio está restringida a tramos donde existía visibilidad directa para los enlaces.
- También se destaca la necesidad de contar con un acceso adecuado a las estaciones, donde es esencial garantizar la disponibilidad de energía y acondicionamiento adecuados para los equipos.
- Las condiciones atmosféricas pueden causar desvanecimientos y desviaciones del haz, lo que a menudo requiere el uso de sistemas de diversidad y, en consecuencia, la incorporación de equipos adicionales.

2.1.5 Modelo digital del terreno

Herramienta de planificación inicial que lleva datos de elevación con respecto al nivel del mar de puntos representados en píxeles. Generalmente se trabaja con una resolución de 3 arcosegundos, pero también existen actualmente archivos con precisión de 1 arcosegundo.

Los datos de elevación se obtienen de la siguiente manera:

La Misión de Topografía de Radar de Transbordador (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM) es un proyecto internacional encabezado por la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA).

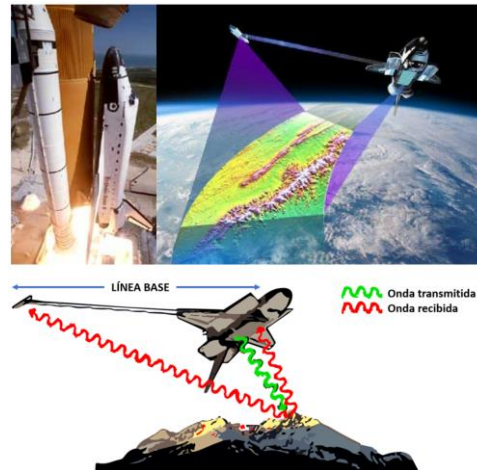
El 11 de febrero de 2000, la misión de topografía de radar de transbordador, a bordo del transbordador espacial Endeavour, se lanzó al espacio, barriendo con sus radares, la mayor parte de la superficie de la Tierra. SRTM adquiere suficiente información durante sus diez días de operación para obtener la base de datos casi global más completa de la topografía de la Tierra. En años posteriores, diferentes misiones de este mismo proyecto han podido actualizar los datos de las alturas obtenidas y mejorarlos con mayor precisión.

Para adquirir datos topográficos (elevación), esta misión se equipa con dos antenas de radar. Una antena está ubicada en la bahía del transbordador y la otra en el extremo de

un mástil de 60 metros que se extiende desde el transbordador al espacio, tal como puede apreciarse en la figura 7.

Figura 7

Obtención de alturas SRTM.



Nota: la figura nos muestra el transbordador enviado al espacio exterior para esta misión, por la NASA, 2015. <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>.

Esta misión emplea el método de la interferometría de radar, la cual corresponde al estudio de los patrones de interferencia causados por las señales de radar. Esta técnica estudia los patrones de interferencia creados al combinar dos conjuntos de señales de radar que permiten generar imágenes tridimensionales de la superficie de la Tierra.

Utilizando esta información digitalizada, se puede saber muy rápidamente si se puede lograr la línea de vista (LOS) entre dos sitios. Es necesario usar esto con cuidado al establecer rutas de radio de microondas de enlace fijo, porque cualquier error en los datos puede resultar en un error muy costoso.

Resoluciones bajas no brindan suficiente información para lograr la precisión de perfil requerido en rutas críticas, si se utiliza esta costosa herramienta de manera adecuada, el ciclo de planificación resulta considerablemente más corto.

2.1.6 Mediciones de BER promedio

En una transmisión de datos digitales, el BER se define como la proporción de bits recibidos con errores en relación con el total de bits recibidos durante un período específico

$$\text{BER} = \frac{\text{Cantidad de Bits recibidos con errores}}{\text{Cantidad total de Bits recibidos}} \quad (1)$$

Es importante tener en cuenta que, aunque es un indicador bastante usado, no siempre llega a ser sumamente adecuado, debido a que la métrica de rendimiento por cualquier ráfaga larga de errores distorsiona los resultados.

2.1.7 Características de los equipos de radio

Para el diseñador de red es importante entender varias características del equipo de radio, ya que ello afecta el rendimiento general. Mientras la tecnología de radio utilizada para construir equipos de radio de microondas avanza dramáticamente, el impacto se nota más en la reducción del factor de forma y el costo.

El requisito reciente de transportar Ethernet por radio también presenta varios desafíos en términos de las opciones para transportar una combinación de TDM y tráfico basado en paquetes a través de los enlaces. La característica más importante del equipo reciente es la codificación y modulación adaptativa (ACM). Esto con el fin de resolver el problema de cuello de botella de transmisión descrito anteriormente.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Redes de microondas

Las microondas son ondas electromagnéticas que tienen frecuencias que oscilan entre 300 MHz y 300 GHz. Debido a estas altas frecuencias, poseen longitudes de onda relativamente cortas, lo que justifica su denominación de "micro" ondas. Así por ejemplo la longitud de onda de una señal de microondas de 100 GHz es de 0.3 cm, mientras que la

señal de 100 MHz, como la de banda comercial de FM, tiene una longitud de onda de 3 metros (Sisodia & Gupta, 2007, p.11).

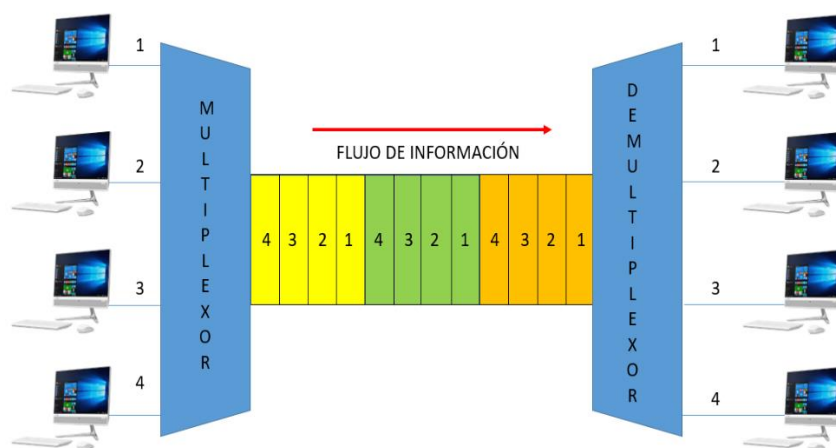
2.2.2 Multiplexación de canales

Este concepto surge cuando se transmite, al mismo tiempo, por un mismo canal, más de una señal. Existen varias líneas de entrada al multiplexor y una sola línea que conecta a este con el demultiplexor, de forma tal que dicho demultiplexor puede realizar el proceso inverso teniendo esa única línea de entrada, pero tantas líneas de salida como líneas de entrada tiene el multiplexor.

El multiplexor permite combinar los datos de las diferentes líneas de entrada y los transmite sobre una sola línea. El demultiplexor recibe señales multiplexadas, las separa mediante un proceso llamado demultiplexación y las dirige a las salidas adecuadas. La gran velocidad a la que se realizan estas operaciones impide que los usuarios finales puedan percatarse de que comparten un canal de información con otros. Una representación de ello se aprecia en la figura 8 (Huidobro, 2004, p.18).

Figura 8

Multiplexación.



2.2.3 Muestreo

En el mundo digital, la información nunca puede ser transmitida en su totalidad, pues siempre se envían muestras de ella. Por ejemplo, al hablar por teléfono se reciben

unas 8000 muestras por segundo, al ver un rostro humano en televisión, no se ve el rostro completo sino una gran cantidad de muestras de este, de forma tal que muchas veces la percepción humana cree recibir la información en su totalidad.

Lógicamente en este proceso, aquello que se reproduce no es idéntico a lo que se envió, se pierde detalle y calidad. Existe una mayor pérdida de detalles cuanto menor es el número de muestras.

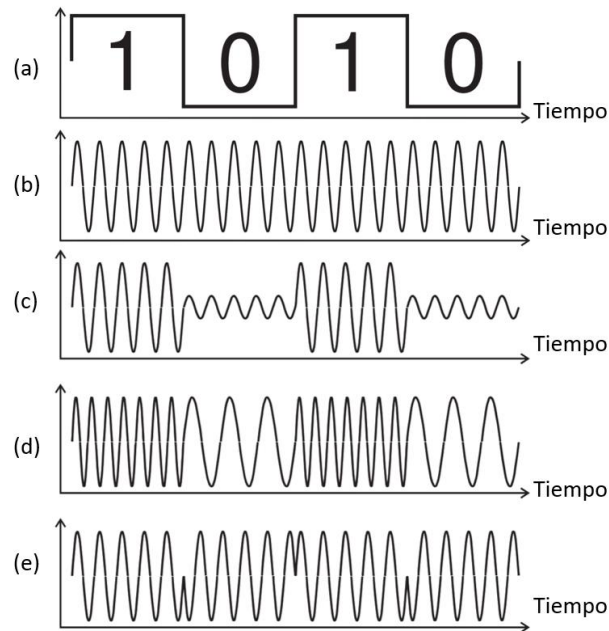
En telefonía, por citar un ejemplo, la pérdida de calidad puede ser tolerable, ya que, muchas veces, aún al dejar de transmitir los sonidos más agudos de la conversación, esta puede seguir siendo inteligible. Basta para ello con 8000 muestras por segundo. De hecho, esta cantidad de 8000 muestras es el doble de la separación entre canales lo cual no es una coincidencia, ya que existe un teorema matemático que sustenta dicho proceder. El teorema de Nyquist indica que, para poder reconstruir una señal analógica a partir de sus muestras, la tasa de muestreo es, al menos, dos veces el ancho de banda. En otras palabras, el doble de la frecuencia más alta en la señal (Huidobro, 2004, p.23).

2.2.4 Modulación digital

La radio digital transmite bits creando estados discretos, generalmente amplitudes y fases discretas de una portadora. El proceso de crear estos estados discretos a partir de un flujo de bits se llama modulación digital. Un estado se establece en un momento particular llamado tic del reloj. Eso significa que la información en la señal es el estado de la forma de onda, como la amplitud y la fase de un fasor, en cada tic del reloj, como cada microsegundo, tal como se muestra en la figura 9 (Steer, 2019, p.44).

Figura 9

Modulación del flujo de bits.



Nota: la figura 10 nos muestra los modos de una modulación digital: (a) modulación del flujo de bits; (b) portadora (c) portadora modulada mediante desplazamiento de amplitud, ASK; (d) portadora modulada utilizando desplazamiento de frecuencia, FSK; (e) portadora modulada mediante desplazamiento de fase binario, BPSK. Tomado de Microwave and RF Design (p.44), por M. Steer, 2019, Universidad NC State.

2.2.5 Modulación de amplitud en cuadratura QAM

Si se modula la fase o frecuencia de una portadora manteniendo una amplitud constante se consigue cierta inmunidad a los cambios de amplitud de la señal, sin embargo, se puede transmitir mucha más información si se varía la amplitud y la fase (Steer, 2019, p.64).

Empezando por considerar un sistema básico de modulación por desplazamiento bifásico (B-PSK), una señal portadora cambia de fase 180 grados para representar la cadena binaria de 0 y 1, lo que se aprecia en la figura 10.

Figura 10

Diagrama de fase de modulación PSK.

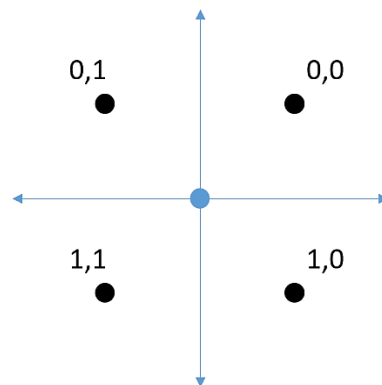


Nota: la figura nos muestra el diagrama de constelación para PSK. Adaptado de Microwave Radio Transmission Design Guide (p.111), por T. Manning, 1999, Artech house.

Para reducir a la mitad el ancho de banda con modulación multisímbolo, se puede emplear un segundo modulador B-PSK, que funcione en cuadrafase con el primero. Si el flujo binario entrante se divide en dos, enviando los bits alternos al par de moduladores B-PSK, existen entonces cuatro alternativas de fase diferentes como se muestra en la figura 11 (Manning, 1999, p.111).

Figura 11

Diagrama de constelación QPSK.



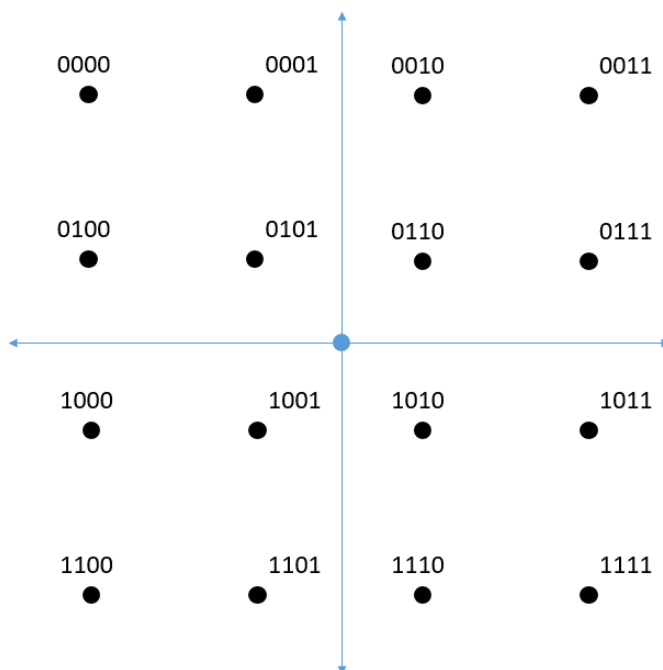
Nota: la figura nos muestra el diagrama de constelación para QPSK. Adaptado de Microwave Radio Transmission Design Guide (p.111), por T. Manning, 1999, Artech house.

Se debe tener en cuenta que, en QPSK, los vectores de fase tienen cada uno igual amplitud y fase diferente. Esto a veces se denomina modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK), ya que no se utiliza el valor de fase absoluto sino la diferencia entre dos estados de fase.

Ahora, considerando 16 QAM. En este caso, el flujo de bits entrante se divide en cuatro rutas y cada modulador de fase maneja cuatro bits a la vez, tal como se muestra en la figura 12 (Manning, 1999, p.112).

Figura 12

Diagrama de constelación 16QAM.



Nota: la figura nos muestra el diagrama de constelación para 16QAM. Adaptado de Microwave Radio Transmission Design Guide (p.112), por T. Manning, 1999, Artech house.

Los vectores varían en fase y amplitud así se consigue reducir a la mitad el requisito de ancho de banda en comparación con QPSK. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la distancia que el vector de fase puede moverse antes de ser decodificado como una secuencia de bits diferente ahora es mucho menor que con QPSK. En otras palabras, la relación S/N mínima requerida en el demodulador es mayor.

La decisión de modulación es, por lo tanto, una compensación entre un ancho de banda más estrecho y el rendimiento.

2.2.6 Modulación y codificación adaptativa (ACM)

La modulación digital es susceptible al ruido. Además, si el nivel de modulación es más alto, se tiene una mayor eficiencia del ancho de banda, pero se tiene, además, junto a ello, una mayor probabilidad de recibir bits erróneos. Por este motivo, es conveniente que las técnicas de modulación y codificación puedan adaptarse al desvanecimiento en el canal con la intención de mantener una relación señal/ ruido lo más estable posible.

Existe entonces un compromiso entre la eficiencia del ancho de banda y el rendimiento. Estos dos están siempre ligados, de forma tal que no se puede mejorar uno sin, en cierta forma, afectar al otro. La tabla 7 muestra el ancho de banda de la señal RF para los diferentes esquemas de modulación.

Tabla 7

Eficiencia espectral teórica de acuerdo con el esquema de modulación.

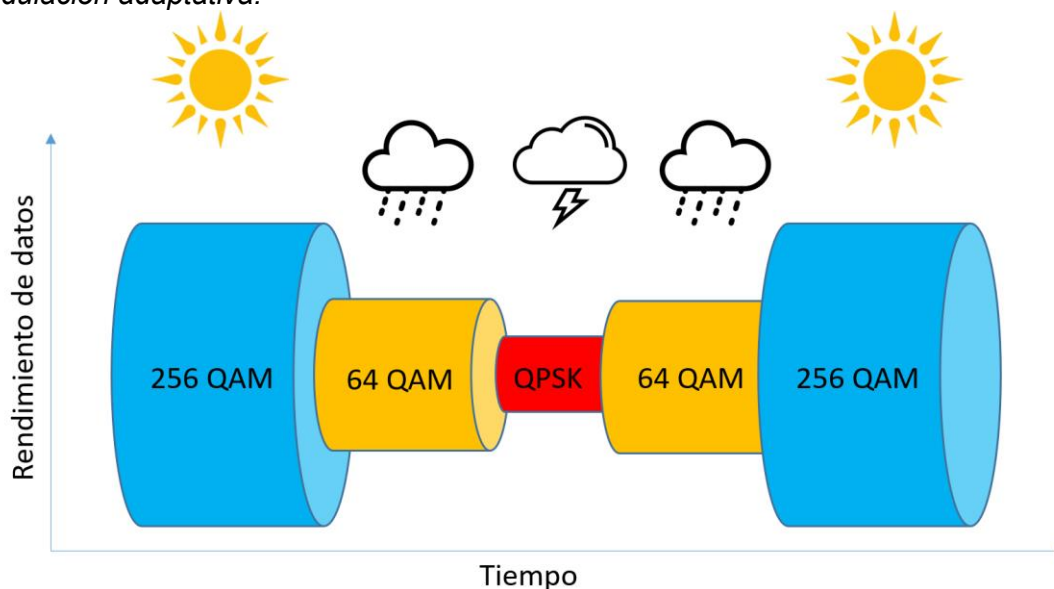
Esquema de modulación	Eficiencia espectral Bits/s/Hz	Ancho de banda de señal RF para 140-Mbps
4 PSK	2	70 MHz
16 QAM	4	35 MHz
64 QAM	6	23 MHz
128 QAM	7	20 MHz
256 QAM	10	14 MHz

Nota: fuente Manning (1999, p.112).

El sistema de modulación adaptativa decide el esquema de modulación más conveniente para las diferentes condiciones climáticas, dando prioridad a la calidad del servicio. Entendiéndose que las condiciones atmosféricas como días lluviosos, tormentas, rayos, entre otros pueden generar pérdidas de potencia; de forma tal que estos radios llevarán una tabla de BER típico para conmutar a la modulación más adecuada, cuando estos valores cambien por encima o debajo de los umbrales establecidos, tal como se muestra en la figura 13.

Figura 13

Modulación adaptativa.



Nota: la figura nos muestra la variación del tipo de modulación. Adaptado de Microwave Radio Transmission Design Guide (p.114), por T. Manning, 1999, Artech house.

Esta técnica permite que los sistemas de transmisión puedan adaptarse a las características del medio. Las cuales muchas veces pueden ser variantes en el tiempo. La técnica empieza en el receptor, el cual estima la respuesta del canal para luego enviar dichas respuestas al emisor. Esta retroalimentación permite que el transmisor, según los valores obtenidos, pueda elegir de forma inteligente el esquema de modulación más adecuado para las condiciones en un momento dado y variar el esquema cuando se degrada la calidad del enlace (Manning, 1999, p.114).

2.2.7 Propagación de microondas

Índice de refracción. Es la relación entre la velocidad de una onda electromagnética en el vacío (espacio libre) y la velocidad a la que viaja en un medio finito:

$$n = \frac{C_0}{C} \quad (2)$$

C_0 es la velocidad de la luz en el vacío y C es la velocidad de la onda (la señal de microondas) en el medio finito (aire). Ya que el índice de refracción del aire es muy cercano

a la unidad (1.0002926), la velocidad de la señal de microondas es muy cercana a la velocidad de la luz. Por lo que a efectos prácticos considera igual a la velocidad de la luz. En los cálculos del enlace se añade la atenuación atmosférica debida a la absorción de agua y oxígeno en la atmósfera, pero sólo es realmente significativa por encima de 10 GHz (Manning, 1999, p.130).

Radio refractividad. El índice de refracción, generalmente, es solo una pequeña fracción mayor que uno; por ejemplo, 1,000315 (índice terrestre promedio). La radio refractividad N es un valor más conveniente:

$$N = (n - 1) * 10^6 \quad (3)$$

Sustituyendo esto por el índice de refracción ($n = 1.000315$), se obtiene N igual a 315 N - unidades. Manning (1999, pág. 130).

Gradiente de refractividad. Al diseñar enlaces de radio, no se está tan interesado en el valor exacto de refractividad sino en el cambio de este valor en el frente de microondas. Por lo tanto, el gradiente de refractividad, es el de mayor interés.

El gradiente atmosférico varía de forma exponencial con la altitud, pero muchos metros más abajo, que es donde el eje del haz de microondas está viajando, se puede aproximar como un eje lineal degradado. El gradiente de refractividad se define como

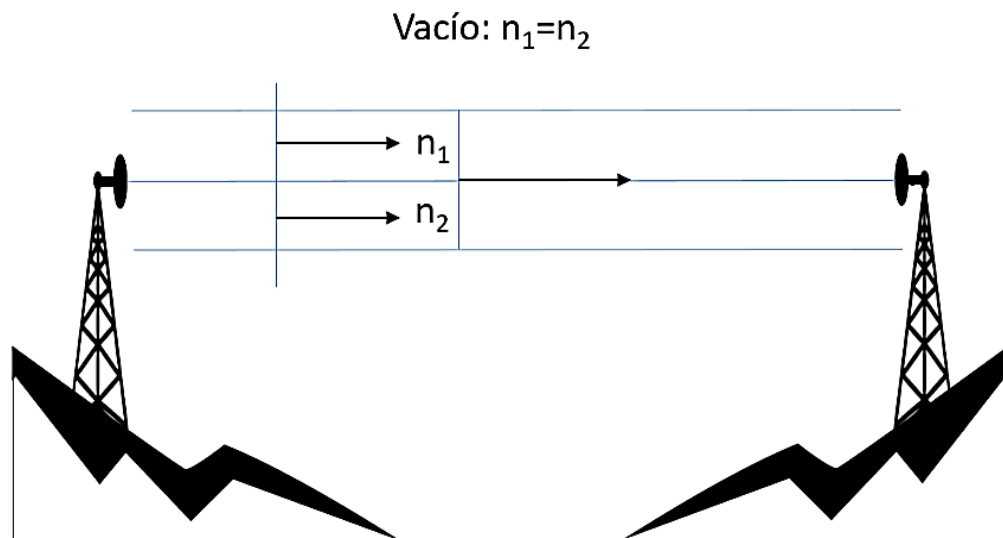
$$G = \frac{dN}{dh} \quad (4)$$

En una atmosfera homogénea, es constante. Experimentalmente se encuentra que el gradiente de refractividad para una longitud de salto típica es -39 Unidades/km.

Los gradientes de refractividad cambian con el tiempo, lo que lleva a condiciones de propagación anómalas como se muestra en las figuras siguientes. Se puede ver que, si el índice de refracción es constante a lo largo del frente de onda del haz, la velocidad de propagación en la parte superior de la viga es la misma que en la parte inferior y, por lo tanto, la onda viaja en línea recta, tal como se puede apreciar en la figura 14.

Figura 14

Refracción en el vacío.

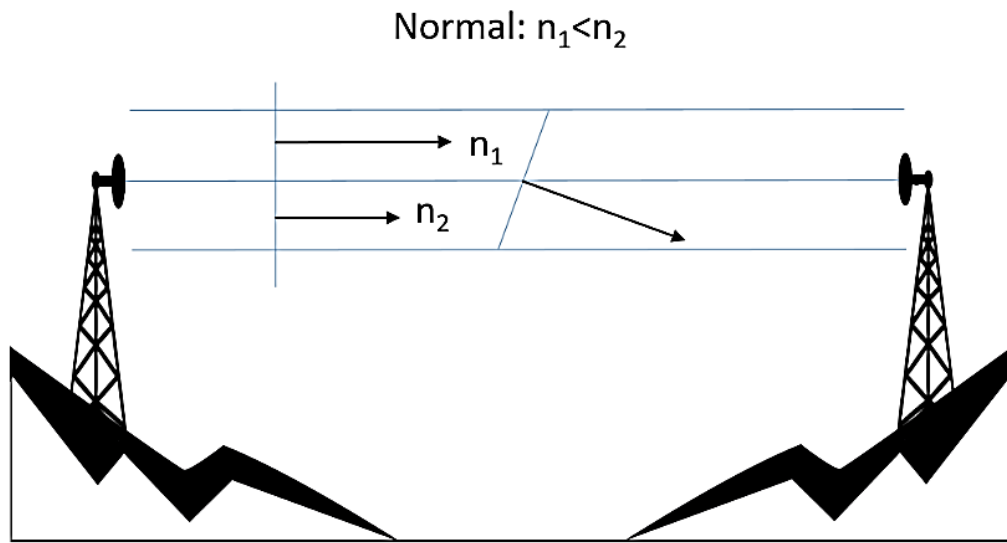


En una atmósfera normal homogénea, el índice de refracción disminuye con la altitud. En otras palabras, el aire es más delgado a medida que se sube en altitud. La densidad del aire que experimentan los rayos de microondas, a través del frente de onda, es menor en la parte superior del haz que en la parte inferior.

Así, el frente de onda se acelera en la parte superior del haz y se ralentiza en la parte inferior y como la dirección de propagación es perpendicular al plano de fase constante, una característica clave de una onda sin componentes de campo eléctrico o magnético en la dirección de propagación (TEM), el haz se dobla hacia abajo, tal como se aprecia en la figura 15.

Figura 15

Refracción en una atmósfera normal.



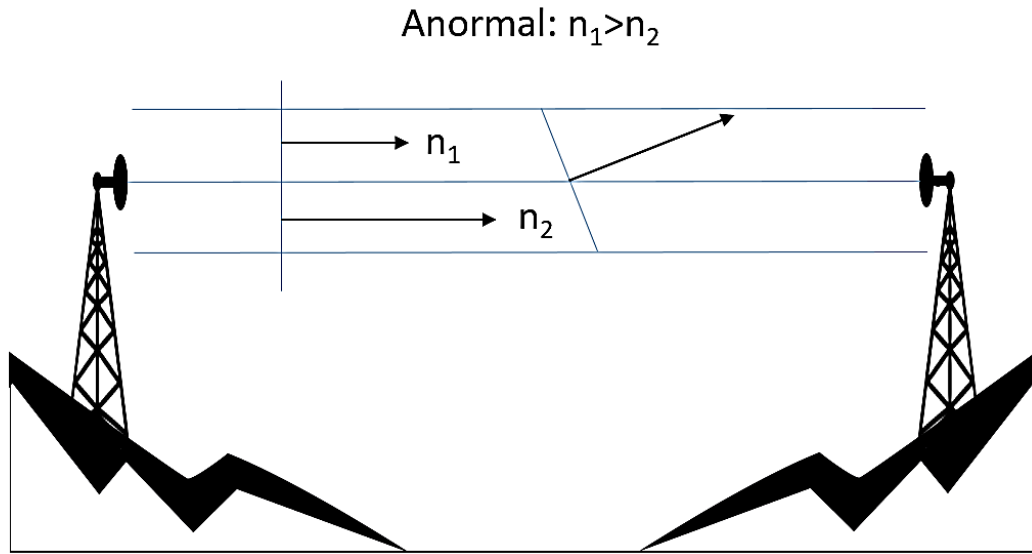
En la práctica, las antenas se inclinan ligeramente hacia arriba una fracción de grado para garantizar que el punto central del haz esté alineado con el eje de mira de la antena en condiciones normales.

Durante un pequeño porcentaje de tiempo, el índice de refracción en la parte superior del haz es mayor que en la parte inferior del haz y, por lo tanto, la parte superior del frente de onda se ralentiza y la parte inferior se acelera, lo que hace que el haz se doble hacia arriba como puede apreciarse en la figura 16.

El punto central de la viga viaja más cerca del suelo de lo normal, lo que resulta en una posible pérdida de difracción debido a un espacio libre insuficiente sobre cualquier obstáculo. De la misma manera, durante un pequeño porcentaje de tiempo, el índice de refracción en la parte superior del haz es anormalmente más bajo que en la parte inferior, por lo que la señal se desvía fuertemente hacia arriba. En estas condiciones, se pueden producir desvanecimientos por trayectos múltiples y conductos (Manning, 1999, p.133).

Figura 16

Refracción en una atmósfera anormal.



Radio efectivo de la tierra. La onda no viaja en línea recta, ya que el rayo se refracta. La curvatura del rayo depende del gradiente puntual de refractividad.

Si se promedia estos gradientes de puntos sobre la trayectoria, se llega a una curva. Por lo tanto, se considera un arco con radio r . Este radio es inversamente proporcional al gradiente del índice de refracción:

$$\frac{1}{r} = \frac{dn}{dh} \quad (5)$$

Para simplificar los cálculos se considera a la Tierra redonda de radio de 6 371 km. De esta forma se tendrá dos curvas, una sobre la otra, pero, para simplificar aún más los cálculos se asumirá al rayo de la onda como una línea recta viajando sobre la tierra redonda.

Se tomará el radio de la Tierra multiplicado por un factor “ k ” que depende del gradiente de refractividad. No se debe confundir con el factor geoclimático “ K ”. Es esencial comprender que cada vez que se utiliza el análisis del factor k , ya no se trabaja con el escenario real.

Dado esto, el factor k asume el valor infinito cuando la señal viaja paralela a la superficie de la Tierra.

Cuando una de estas trayectorias es recta k toma el valor de la unidad. Hablamos de una onda que viaja siguiendo una recta sobre la Tierra, considerando su radio real. El factor k y el gradiente del índice de refracción se relacionan de la siguiente forma:

$$k = \frac{1}{1 + a * \frac{dn}{dh}} \quad (6)$$

Donde a es el radio real de la Tierra.

Al reordenar esta ecuación utilizando la refractividad de radio N , se obtiene

$$n = N * 10^{-6} + 1 \quad (7)$$

Para obtener la pendiente, se deriva con respecto a la altura. Por eso

$$\frac{dn}{dh} = 10^{-6} \frac{dN}{dh} = 10^{-6} G \quad (8)$$

Sustituyendo la ecuación (6) en la ecuación (7), se obtiene

$$k = \frac{1}{1 + 0.006371 G} = \frac{157}{157 + G} \quad (9)$$

Utilizando esta ecuación, se pueden relacionar algunos valores de k comúnmente referidos a G , como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8

Comparación entre el factor k y el gradiente de refractividad G .

Factor k	Gradiente de refractividad G
$k = 1$	$G = 0$
$k = 4/3$	$G = -39$
$k = \infty$ (infinito)	$G = -157$
$k < 1$	$G > 0$

Nota: Manning (1999, p.135)

Propagación anómala. Los gradientes de refractividad, cambian con el tiempo.

Se puede apreciar que los valores extremadamente negativos y positivos solo están presentes en pequeños porcentajes del tiempo. El valor medio ($-39 \text{ N} - \text{unidades/km}$) para k igual a $4/3$.

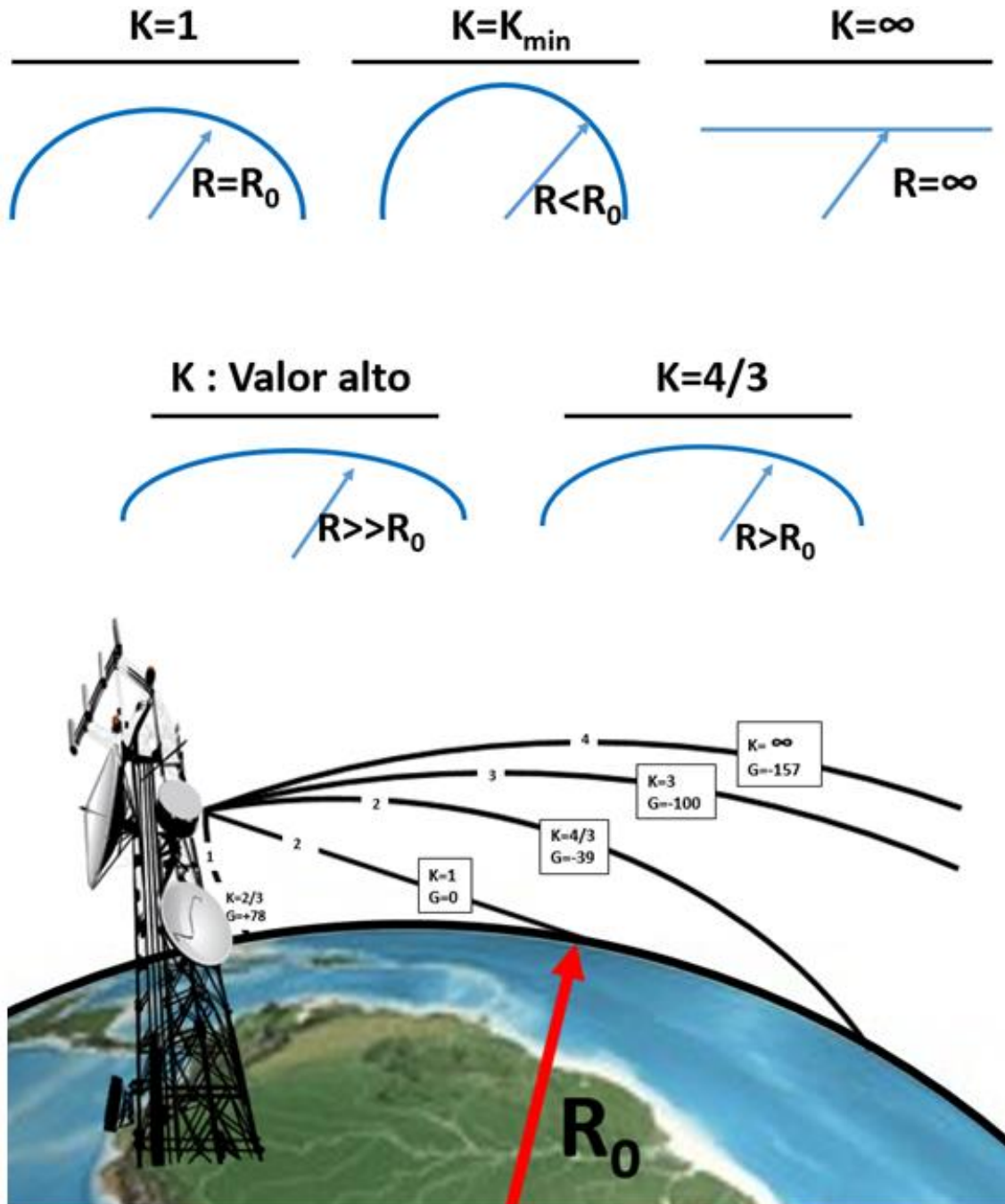
Se habla de refracción estándar si el gradiente de refractividad asume valores medios. Esto corresponde al valor comúnmente citado de $G = -39 \text{ N} - \text{unidades/km}$. Cuando el gradiente se vuelve positivo, se conoce como subrefracción y puede causar pérdida por difracción.

Se habla de superrefracción si el gradiente menor a $G = -100 \text{ N} - \text{unidades/km}$, da como resultado un desvanecimiento por trayectos múltiples.

Se tendrá condiciones de ductos si el gradiente es más negativo que $G = -157$, esto da como resultado múltiples caminos, dispersión del haz e incluso condiciones de apagón. La flexión de las ondas de radio causada por diferentes gradientes de refractividad son mostrados en la figura 17 (Manning, 1999, p.139).

Figura 17

Curvatura del rayo causada por la refracción.



Nota: la figura nos muestra los diferentes valores de k, además de los diferentes alcances de la onda electromagnética. Adaptado de Microwave Radio Transmission Design Guide (p.138), por T. Manning, 1999, Artech house.

2.2.8 Umbral del receptor

El umbral del receptor es la señal mínima requerida para que el demodulador funcione con una tasa de error específica (Manning, 1999, p.154).

2.2.9 Nivel de recepción nominal

Bajo condiciones no atenuadas, el *link budget* es

$$P_{RX} = P_{TX} - L_{TX} - FL_{TX} + A_{TX} - FSL + A_{RX} - FL_{RX} - L_{RX} \quad (10)$$

Donde P_{RX} es el nivel de recepción sin desvanecimiento en dBm (nivel RX nominal), P_{TX} es la potencia de salida del transmisor en dBm, $FL_{TX, RX}$ es la pérdida del alimentador del cable o la guía de onda en decibelios, $A_{TX, RX}$ es la ganancia de la antena en dBi, FSL es la pérdida de espacio libre en decibelios, y $L_{TX, RX}$ son las pérdidas de ramificación (pérdidas de línea de recepción) (Manning, 1999, p.155).

2.2.10 Margen de desvanecimiento o fade margin

Se llama así a La diferencia entre el nivel de recepción nominal y el nivel umbral del receptor.

El margen de desvanecimiento que debe lograrse debe coincidir con los objetivos de disponibilidad y rendimiento establecidos. En la práctica los proyectos actuales en Perú generalmente se diseñan con un margen de desvanecimiento de entre 15 a 25 dB.

2.2.11 Características de la antena

Una antena es un dispositivo que transforma la energía eléctrica, en un frente de onda electromagnética, generando campos eléctricos y magnéticos que oscilan.

Ganancia. Una antena es un dispositivo pasivo, no puede amplificar la señal, solo puede moldearla de manera que esta sea mayor una dirección. Se puede tomar como ejemplo un globo, si se aplica presión al globo por los lados, este se expande por los

extremos. De la misma forma la cantidad por la cual la antena da forma a la señal en una dirección representa su ganancia.

La ganancia de una antena de microondas generalmente se expresa en dBi:

$$dBi = 10 \log \frac{P}{P_{di}} \quad (11)$$

donde P es la densidad de potencia en una dirección y P_{di} es la densidad de potencia de un radiador isotrópico. Dado que en la práctica no se puede construir un radiador isotrópico, otra forma de representar la ganancia es compararla con un dipolo plegado, que es una antena física más cercana al mítico radiador isotrópico.

Esto se suele hacer para antenas VHF y UHF, que se expresan en dBd

$$dBd = 10 \log \frac{P}{P_{dd}} \quad (12)$$

donde P es la densidad de potencia en la dirección considerada y P_{dd} es la densidad de potencia de un dipolo omnidireccional. La relación es

$$dBi = dBd + 2.15 \quad (13)$$

Para antenas de microondas, la ganancia depende del área de la apertura de la antena. La ganancia de una antena se puede expresar como

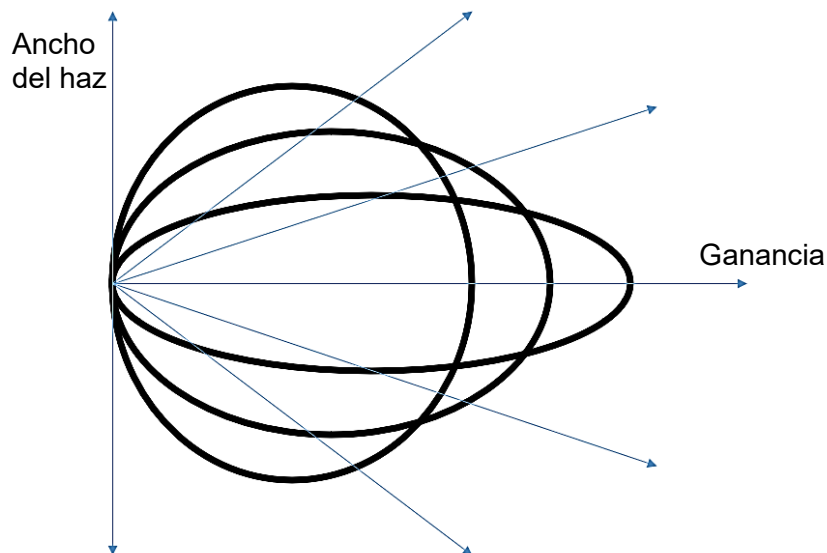
$$G(dBi) = 10 \log \eta \left(\frac{4\pi A_a}{\lambda^2} \right) \quad (14)$$

Donde η es la eficiencia de la apertura de la antena, A_a es el área de apertura de la antena y λ es la longitud de onda de la señal (Manning, 1999, p.177).

Ancho del haz. El ancho del haz es una medida que indica cuán estrecho es el lóbulo principal de una antena. Al aumentar la ganancia disminuye el ancho de haz y viceversa, tal como se muestra en la figura 18.

Figura 18

Ancho de haz vs ganancia.



Nota: la figura nos muestra la variación de la ganancia con respecto al ancho del haz. Adaptado de Microwave Radio Transmission Design Guide (p.179), por T. Manning, 1999, Artech house.

Esto se debe a que, a que cuando aumenta la ganancia en una dirección, los lóbulos laterales disminuyen en otra. El ancho de haz de la antena generalmente se reduce al aumentar el tamaño del reflector.

(Manning, 1999, p.179).

Polarización. La polarización de la señal está determinada por la alimentación de la antena. Se debe transmitir y recibir utilizando la misma polarización. Cuando una señal es recibida con una polarización diferente, la cantidad de atenuación que sufre se conoce como discriminación de polarización cruzada (XPD).

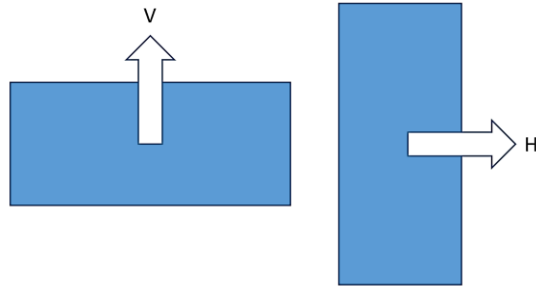
La operación de polaridad doble se usa a menudo para aumentar la capacidad del sistema utilizando una alimentación de polarización doble.

En estos casos generalmente se emplea un cancelador de interferencia de polarización cruzada (XPIC) para mitigar los efectos de la rotación de fase en un enlace de

microondas, especialmente en condiciones adversas como la lluvia. La polarización de una bocina rectangular es mostrada en la figura 19 (Manning, 1999, p.180).

Figura 19

Polarización de una bocina rectangular.



Nota: la figura nos muestra las dos polarizaciones posibles para una bocina rectangular. Adaptado de Microwave Radio Transmission Design Guide (p.180), por T. Manning, 1999, Artech house.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

Esta sección desarrolla los criterios empleados para el despliegue de una red de microondas, basándose en la experiencia adquirida en campo. Además, se detalla el porqué de muchos de los criterios y normas empleadas en el despliegue de una red como esta.

3.1 Pasos a seguir para Implementar una red de microondas

La siguiente lista muestra los pasos a seguir para implementar una red de microondas.

1. Se realiza el resumen de planificación.
2. Se realiza la planificación inicial.
3. Se realiza el diagrama de la red.
4. Se realiza el mapeo inicial.
5. Se verifica la Infraestructura existente y sitios de repetidores.
6. Se realiza el mapa de ruta.
7. Se verifican los perfiles de ruta.
8. Se realizan los estudios de radio.
9. Se realiza la inspección de ruta.

A continuación, se detalla acerca de cada uno de los pasos indicados:

3.1.1 *Se realiza el resumen de planificación*

El primer paso es establecer un resumen de planificación, que debe especificarse en términos de los servicios y el ancho de banda relacionado que se transporta a través del medio de transmisión.

Por ejemplo, para este caso se considera asegurar un 40% del ancho de banda contratado, ajustado a la normativa indicada al momento del desarrollo de este proyecto (año 2016). De este modo, se considera una velocidad de bajada de 4 096 kbps y una de

subida de 1 024 kbps. (en las bases del proyecto se solicita la mitad de estos valores) para brindar el servicio a las entidades tales como instituciones educativas, centros policiales y centros de salud. En marzo del 2022, Pronatel (Fitel en los años en los que se realizó el despliegue de este proyecto) indica un aumento de esta velocidad hasta 20 480 kbps.

3.1.2 Se realiza la planificación inicial

El siguiente paso es determinar la topología de red inicial. Se debe determinar la ubicación de los sitios y la energía para tales. En este caso, se ha hecho uso del programa Pathloss 5.1, con el cual se evalúan aquellos puntos desde los cuales se puede conseguir línea de vista al salto siguiente (LOS) y que, además de ello, permitan la cobertura de las entidades beneficiarias. La unión de estos puntos, en los cuales se hace viable construir uno de los nodos de la red de acceso y colocar en él la torre, conforman un polígono de búsqueda. Dicho polígono es proporcionado al área de Búsqueda, Saneamiento y Adquisición (SAQ) por el área de diseño de microondas.

Dentro de este polígono, SAQ busca un terreno que tenga las condiciones adecuadas para construir en él y que, además, pueda ser energizado sin demandar grandes costos adicionales. Luego se puede elaborar un diagrama inicial con las conexiones del circuito y la capacidad de tráfico. Un análisis detallado de un perfil de ruta solo tiene sentido si los datos de ubicación del sitio son precisos.

Desde el punto de vista del ingeniero de microondas, los terrenos con mayor elevación dentro de una comunidad casi siempre son los más viables para construir un nodo de comunicaciones y colocar una torre en ellos; sin embargo, esto debe ser verificado por otras áreas, para quienes la viabilidad se presenta en base a criterios diferentes y en ciertos casos opuestos.

Para el ejemplo mencionado, una torre en la parte más alta de una montaña, tal como se muestra en la figura 20, representa una gran dificultad para poder brindar la energía comercial. Además, presenta dificultades para el acceso al terreno por parte del transporte de personal, materiales de construcción, equipos, maquinaria, etc.

Figura 20

Ejemplo de una torre en la parte más alta de una montaña.



Es sabido que, en estos pequeños pueblos alejados, punto de interés de este proyecto, se presentan diversos cortes del fluido eléctrico, debido a lluvias, tormentas eléctricas en la zona o a muchos otros factores que no se aprecian en la capital, o al menos no con la misma frecuencia, es por ello que los nodos requieren un respaldo por parte de baterías.

Estas baterías van conectadas a un rectificador. El cuál convierte la corriente alterna de la red comercial a 48v en corriente continua (DC) con los cuales trabajan los equipos de comunicaciones. Además, presentan módulos de respaldo que realizan conmutaciones frente a algún corte o falla energética, que a su vez conectados a los sensores adecuados permiten enviar alarmas e indicar el fallo acaecido para su pronta corrección.

Todos los nodos, tanto de la red de acceso o transporte, requieren un respaldo energético por parte de baterías, sin embargo, para los nodos de la red de transporte y debido a lo crítico de su servicio no basta solo con ello. Por eso, además de emplear baterías, se requiere del uso de un grupo electrógeno.

Generalmente, los nodos de la red de transporte llevan un grupo electrógeno con una capacidad de entre 12 kw a 22 kw, que posee un peso aproximado de una tonelada; mientras que los nodos de la red core requieren muchas veces más de un solo grupo electrógeno y con una capacidad aproximada de 100 kw o más (el peso de estos últimos sobrepasa por mucho el de una tonelada y el valor exacto depende del fabricante (pueden alcanzar pesos de hasta 2.5 toneladas).

La ubicación del terreno determina la capacidad de potencia requerida para el grupo electrógeno. Generalmente, aquellos ubicados en zonas con gran elevación con respecto al mar requieren una mayor potencia de trabajo y esto es debido a los climas adversos. Un ejemplo de grupo electrógeno es mostrado en la figura 21.

Figura 21

Vista frontal del grupo electrógeno empleado en la red de transporte.



La figura 22 muestra una vista superior del grupo electrógeno en el site.

Figura 22

Vista superior del grupo electrógeno.



La red core emplea grupos electrógenos mucho más robustos, como puede apreciarse en el ejemplo de la figura 23.

Figura 23

Ejemplo de grupo electrógeno de la red core.



Estos grupos electrógenos generan un alto costo adicional a considerar (solo el costo por adquisición de uno de estos equipos varía entre S/ 30 000 a S/100 000 dependiendo de su capacidad). Su funcionamiento es similar al de un UPS, en el sentido

de que empiezan a operar de forma automática apenas se da el corte de energía comercial; sin embargo, además del alto costo de adquisición de estos voluminosos equipos, se debe considerar la alta cantidad de combustible requerido para su funcionamiento (la capacidad de su tanque que generalmente empieza en los 25 galones) y los costos de la grúa, que, además de transportarlos, los deja en el sitio para su correspondiente instalación. Un punto más a tomar en consideración, cuando se elige el terreno para el nodo, es que la cima de una montaña representa una gran dificultad para llevar a ella un equipo con un peso cercano a una tonelada. Esto debe de tenerse en cuenta, ya que es cierto que es el nodo de transporte el que lleva el grupo electrógeno y no así el de acceso; sin embargo, el hecho conseguir ubicar el nodo de acceso (en el caso de nodos distritales) junto al de transporte representa muchas veces un ahorro de costos para el proyecto.

Los grupos electrógenos, antes mencionados, solucionan el problema de energía eléctrica para los equipos de comunicaciones ya instalados; sin embargo, la instalación de estos equipos también requiere del uso de energía eléctrica tanto para la prueba de su correcto funcionamiento como para las herramientas empleadas. Es entonces cuando se requiere considerar también el empleo de grupos electrógenos de menor tamaño, portátiles tal como se muestra en la figura 24, que puedan trasladar los instaladores de un nodo a otro para aquellos sitios que presenten problemas de cortes de energía durante la instalación.

Figura 24

Grupo electrógeno portátil.



3.1.3 Se realiza el diagrama de la red

Una vez que se han determinado las ubicaciones de los sitios, deben trazarse geográficamente las conexiones del circuito lógico que se muestran para producir un diagrama de la red.

3.1.4 Se realiza el mapeo inicial

Se requiere un diagrama de red de radio de primer paso. Los enlaces de radio de microondas dependen de que exista LOS entre los dos extremos. Puede que el enlace funcione aún sin LOS, sin embargo, como regla de planificación inicial, se debe suponer que, si no hay LOS, el enlace no funciona.

La primera forma de verificar LOS, para fines de planificación inicial, es hacer un poco de trabajo de mapa. Como guía aproximada, los saltos de radio no deben tener una longitud superior a 50 km provisionalmente. En otras palabras, si dos sitios finales están separados por 80 km, se debe suponer que se requiere un repetidor de radio aproximadamente en la mitad del camino. Esta es solo una suposición, se puede hacer

que los saltos de radio funcionen en distancias superiores a 80 km, sin embargo, esta es la excepción y no la regla.

3.1.5 Se verifica la infraestructura existente y los sitios de repetidores en mapas topográficos

Una forma útil de comenzar el proceso de determinación de los requisitos del repetidor de radio es trazar los sitios identificados en el diagrama de conexión de la red en un mapa geográfico. Los mapas topológicos con una escala de 1:500 000 o 1:250 000 tienen la escala adecuada para proporcionar una vista de alto nivel de la red

La suposición del primer paso de saltos de 50 km se puede utilizar como punto de partida para encontrar repetidores adecuados. En la práctica, rara vez se encuentran repetidores adecuados en la mitad de la ruta, por lo que puede ser que, en lugar de una división ideal de 40 km/40 km, se encuentre un sitio con una división fuera de la ruta de 45 km/50 km.

Modelo digital del terreno. En este caso se usa una herramienta de planificación inicial. Específicamente para este proyecto se usó SRTM.

Estos datos DTM están disponibles de forma gratuita en Internet, desde Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

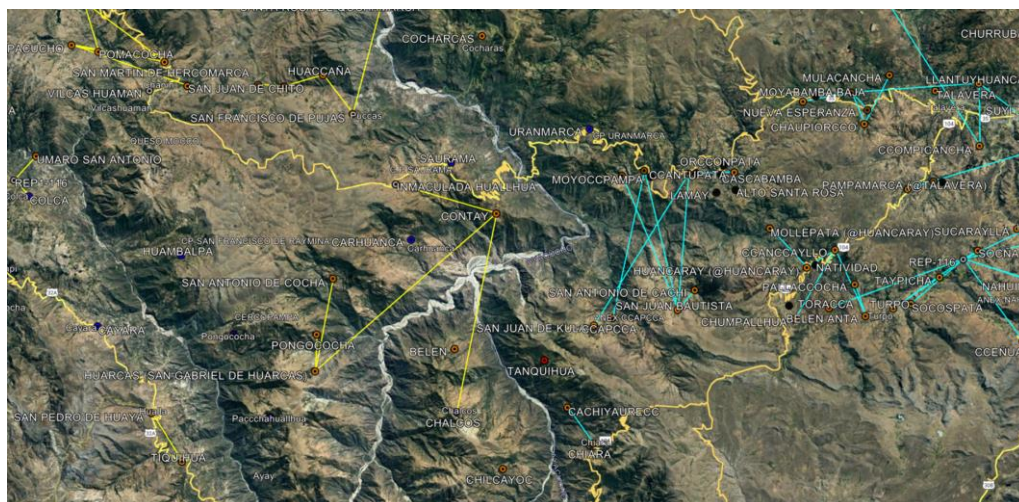
3.1.6 Se realiza el mapa de ruta

Al planificar la ruta de un enlace, es esencial explorar diversas alternativas de trayecto. Frecuentemente, desde una perspectiva ambiental, se requiere la evaluación de múltiples rutas. La selección del sitio es igualmente un aspecto fundamental en el proceso de planificación. Desde el inicio, es importante mantener abiertas todas las opciones posibles. El resultado de esta fase debe ser un mapa que represente la ruta sugerida y los posibles lugares para repetidores, además de una serie de rutas alternativas. Estos sitios repetidores se eligen según los criterios de las consideraciones de LOS o donde las longitudes de salto se consideran excesivas.

Particularmente, para este proyecto, se ha empleado Google earth como una herramienta que nos ha permitido trazar las rutas con información tal como la elevación del terreno y tener un diagrama claro de cómo, de forma teórica, van dispuestos los enlaces en el mapa, tal como se muestra en la figura 25.

Figura 25

Enlaces PTP en mapa (Google earth).



3.1.7 Se verifican los perfiles de ruta

Una vez que se ha establecido el mapa de ruta general y se han identificado los posibles sitios repetidores, debe seguir el trabajo crítico de producir perfiles de ruta. Los carísimos repetidores de radio, (entre 100 a 300 mil dólares por repetidor), a menudo se construyen en función del análisis del perfil de la ruta.

En zonas urbanas, un perfil no llega a ser tan importante porque los datos del terreno son insignificantes en comparación con las obstrucciones de edificios y otros, allí suele ser imprescindible realizar un estudio de LOS.

Para enlaces rurales, también es conveniente realizar el estudio de LOS debido a que el modelo digital del terreno no incluye obstrucciones tales como árboles u otros obstáculos y, además de ello, el estudio de LOS actualizado identifica las obstrucciones existentes y las que pudieran ya no estar allí. En tal sentido, el análisis de mapas (parte teórica) es esencial, por la verificación física de LOS óptico.

Es necesario tener en cuenta el abultamiento de la Tierra y la curvatura del haz de radio. Los puntos críticos de obstrucción identificados en el perfil de la ruta siempre deben inspeccionarse físicamente en busca de obstrucciones adicionales, como árboles o edificios ya mencionados previamente. Para producir el perfil del terreno, se deben marcar los dos sitios finales en el mapa y trazar una línea recta entre los dos.

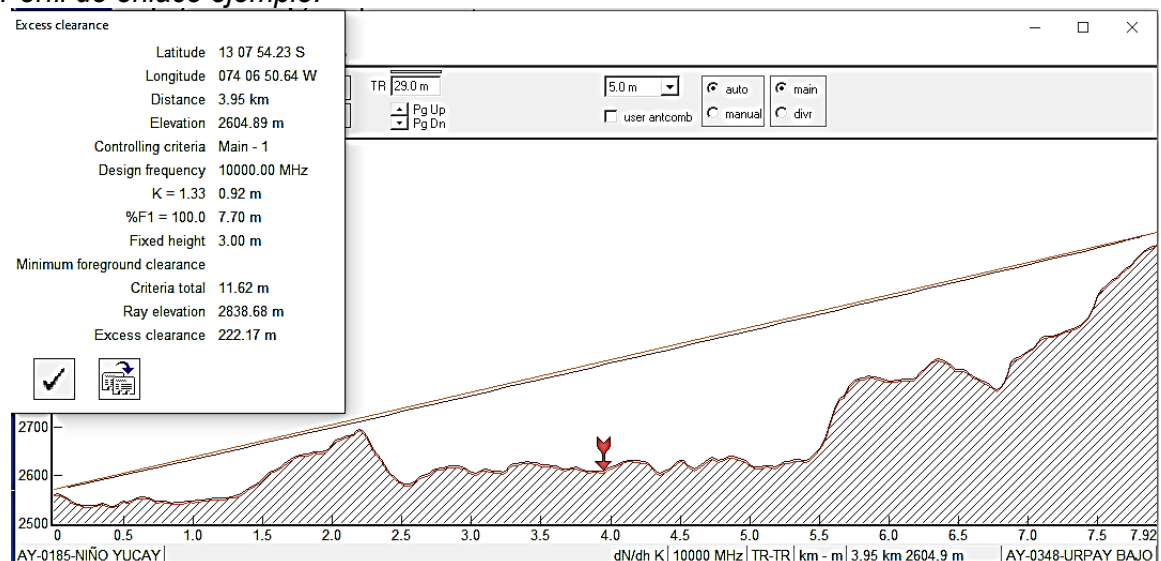
Para caminos muy llanos, es una buena práctica anotar un valor de elevación del terreno cada cierta cantidad de kilómetros. Aun si el valor es constante porque cuando un programa de computadora calcula el abultamiento de la Tierra, necesita un valor base como referencia.

Los planificadores inexpertos a menudo pasan por alto el hecho de que las trayectorias planas en realidad presentan los peores casos de espacio libre por la protuberancia de la Tierra y los obstáculos existentes en estos caminos.

La fórmula del abultamiento de la Tierra y factor k detallados en el fundamento teórico de este trabajo son de suma importancia para realizar los cálculos y poder trazar un perfil de ruta que se acerque mucho más a las condiciones reales del enlace, tal como se muestra en la figura 26.

Figura 26

Perfil de enlace ejemplo.



Repetidores de radio. El análisis del mapa y los perfiles de ruta generalmente resaltan dónde se requieren nuevos repetidores de radio. Debido a su alto costo y tiempo adicional demandado en el proyecto, debe incluirse la menor cantidad posible de estos.

Los repetidores de radio pueden ser activos o pasivos.

Repetidores pasivos. Redireccionan la señal de microondas para evitar obstáculos. Los repetidores pasivos tienen los siguientes puntos a su favor frente a los activos:

- No se requiere energía.
- No se requiere acceso regular por carretera.
- Son amigables con el medio ambiente.
- Requieren poco mantenimiento.

La figura 27 muestra un ejemplo de repetidor pasivo.

Figura 27

Ejemplo de repetidor back to back.

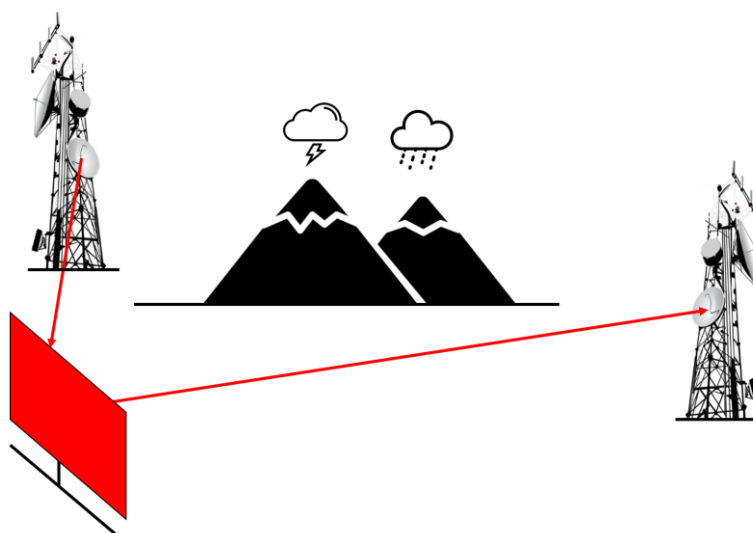


El segundo es un tipo de reflector plano pasivo en el que se utiliza un reflector de metal tipo cartelera plana para redirigir la señal. Estos a menudo se denominan reflectores pasivos o reflectores planos.

La figura 28 muestra como el uso de un repetidor soluciona el inconveniente de tener que atravesar una montaña como obstrucción. Además de los efectos del clima que pudiesen afectar el enlace si se consiguiese sortear las montañas.

Figura 28

Ejemplo de reflector plano pasivo.



Cabe señalar que el presente proyecto no considera la instalación de repetidores pasivos, sin embargo, los repetidores activos instalados muchas veces llevan paneles solares que permiten su autonomía.

3.1.8 Se realizan los estudios de radio

En la planificación de una ruta de radio, es imperativo que, una vez que se complete el mapa, se realice un estudio físico. Esto es para abordar problemas relacionados con el sitio del repetidor como se describió anteriormente y para verificar LOS. Los obstáculos que no se muestran en el mapa, como árboles, edificios, tanques de agua, etc., pueden bloquear la LOS y ser un obstáculo para la ruta planificada.

Las coordenadas del sitio también deben verificarse cuidadosamente. Además de ello, se puede incluir los datos de elevación de terreno y medida de las obstrucciones para

actualizar o corregir los cálculos teóricos combinando así el trabajo teórico con el práctico, haciendo este primero más detallado y describiendo así de forma más precisa la realidad.

Otro punto a tomar en consideración es el alcance de las antenas PTMP, ya que este es mucho más limitado que el de las PTP. Este proyecto considera una distancia máxima de 2km desde el AP sectorial hasta el suscriptor. Los fabricantes indican llegar a este valor o incluso poder sobrepasarlo para cierta capacidad de enlace. En la práctica esto no siempre llega a cumplirse, se presentan casos en los cuales la potencia de recepción es bastante más baja que la esperada e indicada en los datos técnicos del equipo. Resulta por ello, de suma importancia, que el equipo de instalación de estas antenas cuente con personal que lleve una experiencia previa en la instalación de estos equipos.

3.1.9 Se realiza la inspección de ruta

El método empleado para verificar la LOS, en este caso, contempla el uso de drones. Se eleva el dron y se verifica por medio de fotos y videos de alta calidad que altura es requerida para poder visualizar el salto siguiente (enlace PTP) y también los beneficiarios a los cuales se desea brindar cobertura (enlace PTMP). Estos datos de elevación del dron determinan la altura de la torre a construir en el terreno ya adquirido previamente. El personal en campo cuenta además con equipos dedicados GPS que permiten tomar datos precisos de la elevación del terreno.

Un ejemplo de dron usado en este trabajo es mostrado en la figura 29.

Figura 29

DJI Mavic Zoom – Drone cuadracóptero con zoom óptico, cámara de 3 ejes, video en 4k, sensor de 48 megapíxeles.



Utilizando drones, como en la figura anterior, pueden obtenerse fotos desde gran altura para verificar si la altura propuesta teóricamente para la torre permite visualizar las instituciones beneficiarias tal como se muestra en la figura 30.

Figura 30

Vista desde la altura propuesta para la torre hacia la institución beneficiaria.



La figura 32 fue capturada desde una posición más cercana a la institución beneficiaria del proyecto, brinda una mayor claridad al encontrarse más cerca de la institución, lo que permite tener la certeza de que la construcción visualizada en la figura 31 es el centro de salud requerido.

Figura 31

Vista de la institución beneficiaria desde una posición más cercana.



En base a esta evidencia, se puede determinar que la altura de 21 m o 24 m (considerando cierto margen de error) es la correcta para poder instalar una torre que permita el acceso a la institución beneficiaria.

Es necesario visitar los sitios para tener precisión en las suposiciones hechas sobre la preparación de este y elaborar un alcance del trabajo antes de que se pueda realizar la instalación de los equipos. En esta visita, también, se deben considerar aspectos tales como las coordenadas del sitio y altitud.

Se debe tener cuidado con la precisión alcanzable como se discutió anteriormente. Las coordenadas del sitio utilizadas para los perfiles de ruta deben verificarse cuidadosamente. Un análisis detallado de un perfil de ruta no tiene sentido si las coordenadas del sitio son inexactas.

En caminos donde existe una obstrucción dominante, la elevación del sitio también es un elemento clave a verificar. Con respecto a ello, este proyecto contempla un margen de error de 3 m a 4 m como máximo para la obtención de las coordenadas.

3.2 Detalles de la torre

El área de ingeniería civil debe evaluar las torres para determinar su resistencia estructural, especialmente para antenas de mayor diámetro. Otro punto a tener en consideración es la distancia con respecto a infraestructuras aeroportuarias, ya que, dependiendo de las reglas locales, se determina un tamaño máximo que las torres pueden presentar y una distancia mínima desde la cual se puede construir.

3.3 Puesta a tierra

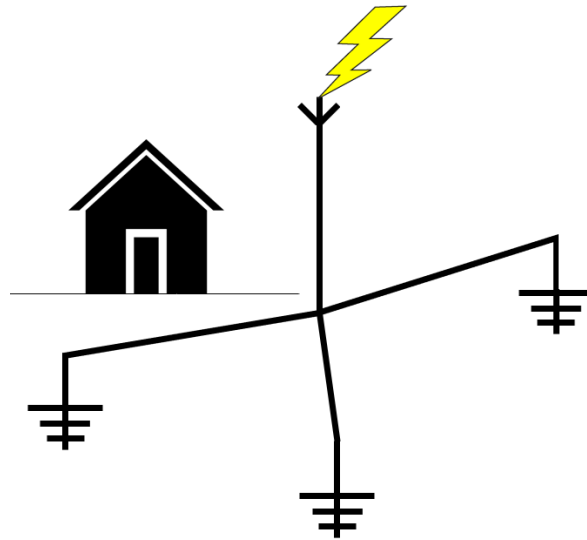
Otro punto considerado y por el cual puede ser descartado un terreno, es el nivel de resistividad del suelo. Las áreas de cultivo presentan valores de resistividad, considerablemente menores que aquellos sitios más rocosos. Frente a esto se debe realizar un estudio previo del sitio, para conocer entre otros detalles necesarios para la instalación, el valor de resistividad mencionado. Con dicho valor y realizando los cálculos adecuados, un ingeniero de energía puede determinar la cantidad de pozos requeridos para un sistema de puesta a tierra adecuado. Un terreno que presenta una mayor resistividad va a requerir una mayor cantidad de pozos conectados entre sí para alcanzar el nivel de resistencia esperado.

Los equipos de comunicaciones, de respaldo, climatización y demás son energizados, por lo cual no están libres de generar fugas de corriente en algún momento de su funcionamiento. Es por ello que deben instalarse los sistemas de puesta a tierra (SPAT), principalmente, para la protección del usuario (generalmente los sistemas de puesta a tierra para protección de personas tienen un valor no mayor a 25 Ohm para este proyecto). Se considera, también, la instalación de los correspondientes mástiles con pararrayos para que la descarga de los mismos no pueda ocasionar algún perjuicio.

Además del pozo de protección de personas, muchas veces es requerido también un pozo de protección de equipos cuyo valor de resistencia es inferior a 5 Ohm. La figura 32 muestra una representación de un sistema de puesta tierra conformado por tres pozos.

Figura 32

Sistema de puesta a tierra.



Instalar el sistema de puesta a tierra es tan importante como la instalación del mástil, que junto al pararrayos recibe las descargas, que luego envía a través de un cable de cobre desnudo de generalmente de 50mm² al sistema de puesta a tierra tal como se muestra en las figuras 33 y figura 34.

Figura 33

Pararrayos Franklin.



Figura 34

Mástil con pararrayos Franklin.



3.4 Sobre las frecuencias a emplear

La relación entre las frecuencias a emplear y las longitudes del enlace están fuertemente ligadas a las condiciones climáticas. Una mayor longitud del enlace indica que este pasa por climas diversos dentro de los cuales la probabilidad de ser afectado por la lluvia es mayor, sabiendo que las frecuencias más altas presentan mayor afectación por lluvias y de acuerdo a datos obtenidos de forma práctica se tiene la tabla 9.

Tabla 9

Distancia teórica máxima permitida para cada frecuencia.

Frecuencia del enlace	Distancia máxima permitida
7 Ghz	>30 km
13/15/18 Ghz	15 km a 30 km
23/26 Ghz	5km a 15 km
38 Ghz	Hasta 5km

Nota: fuente Manning (1999, p.44).

3.4.1 Causas de la indisponibilidad

Las interrupciones prolongadas generalmente se deben a la propagación o falla de equipos.

Las interrupciones relacionadas con la propagación que duran más de 10 segundos son principalmente por pérdida por difracción, conductos o lluvia.

Pérdida por difracción. La mayoría de las interrupciones por desvanecimiento multitrayecto duran menos de 10 segundos, por lo tanto, se consideran bajo los estándares de desempeño.

Si las antenas se colocan a una altura insuficiente sobre el suelo, en determinadas condiciones de propagación adversas, el haz de radio viaja más cerca del suelo de lo habitual y se produce una pérdida de señal.

Conductos. Se dan cuando la curvatura del haz es mayor que la curvatura de la Tierra. Entonces se produce un desvanecimiento por apagón de la señal y puede durar varias horas. Cuando existe esta condición, se puede utilizar la diversidad de espacio con una gran separación entre antenas para reducir su efecto.

Lluvia. La interrupción en la propagación de microondas debido a la lluvia es directamente proporcional a la intensidad de la precipitación en la zona. Las moléculas de agua absorben la energía de las microondas, un principio similar al utilizado en los hornos de microondas para calentar alimentos.

A medida que aumenta el tamaño de las gotas de lluvia, se incrementa la cantidad de energía absorbida, lo que explica por qué la niebla causa menos atenuación que una lluvia intensa. Aunque la nieve mojada tiene una atenuación mayor que la llovizna.

Es crucial evitar que la nieve o hielo se acumulen en la antena, ya que esto puede resultar en alta atenuación. Para prevenir esto, se utilizan cubiertas para antenas conocidas como radomos, que a veces son calentadas.

La única manera de mejorar la disponibilidad del sistema es aumentar su ganancia mediante el uso de antenas más grandes. Las técnicas de diversidad, ya sea en frecuencia o espacio, no mejoran el rendimiento, dado que ambos canales sufren atenuación de manera similar.

La diversidad de polarización ofrece una leve mejora en la polarización vertical, ya que las gotas de lluvia tienden a ser aplanadas al caer; por lo tanto, la atenuación es mayor en polarización horizontal que en vertical. La atenuación por lluvia incrementa con el aumento de frecuencia y se convierte en el mecanismo principal de desvanecimiento a frecuencias superiores a 10 GHz. En la práctica, esta atenuación es tan severa en bandas de alta frecuencia que limita el alcance operativo de las radios. El umbral de interrupción mencionado es fundamental para determinar el tamaño de las antenas en enlaces superiores a 10 GHz.

3.5 Consejos prácticos

Debido a lo rápido que se expanden las redes actuales y lo poco homogéneas que terminan siendo por ello, se dificulta que el diseñador del sistema determine el nivel de disponibilidad exacto, por lo tanto, la práctica en la industria ha sido interpretar los objetivos de la siguiente manera:

- Lluvia: una disponibilidad del enlace del 99,99%.
- Difracción: un valor k mínimo especificado para 99,99% (indisponibilidad de 0,01%).
- Ductos: ignorar esta afectación, excepto en áreas de alto riesgo.

La única forma de evitar una interrupción prolongada por una falla catastrófica es la diversidad de rutas. El problema se puede simplificar diseñando cada salto de radio con una disponibilidad fija (99,99 % a 99,999 %), donde la principal interrupción por desvanecimiento se debe a la lluvia.

3.6 Estándares de desempeño

Las mediciones promedio de BER son consideradas una métrica de desempeño inadecuada, ya que cualquier ráfaga prolongada de errores puede distorsionar los resultados. Un servicio que parece estar prácticamente libre de errores puede mostrar un BER promedio bajo si se incluyen breves períodos de errores. En este contexto, un operador de red podría argumentar que, al excluir la ráfaga de errores prolongada, el BER promedio es excelente. Este argumento no es infundado, dado que es probable que el servicio sea desviado durante el largo período de interrupción.

Los objetivos establecidos para BER solo consideran un sentido de transmisión y se evalúan durante un período específico de un mes, generalmente el más problemático. En contraste, los objetivos de disponibilidad se consideran para ambos sentidos de transmisión y se miden en cifras anuales, proporcionando una visión más completa del desempeño del sistema a lo largo del tiempo.

3.7 Causas de las interrupciones

Las interrupciones breves que afectan el rendimiento de un sistema son causadas principalmente por desvanecimiento de trayectos múltiples, errores de fondo en el equipo.

3.7.1 Efectos de desvanecimiento de trayectos múltiples

Debido a la refracción se establecen trayectos de radio múltiples a través del enlace, lo que resulta en cortes de desvanecimiento plano en sistemas de banda estrecha además de cortes selectivos.

3.8 Valores requeridos para el diseño

Este proyecto contempla los siguientes criterios de dimensionamiento para la red de acceso:

- Disponibilidad anual $\geq 99.99\%$.
- Alturas de torre: 15m, 18m, 24m, 30m, 36m, 42m, 48m, 54m, 60m.
- Claridad: 5m.
- Bandas: 5 Ghz, 13 Ghz, 23Ghz.
- BW (ancho de banda): 20 Mhz.
- Configuraciones de enlace: 1+0 / 1+ 0 XPIC / 2+0 XPIC.
- Margen de desvanecimiento: 25dB.
- Tasa de BER menor a 10^{-6} .
- Enlaces full duplex simétricos.

3.9 Valores del mundo real

Es esencial que los enlaces de transmisión, compuestos por saltos de radio de microondas, cumplan con los objetivos de confiabilidad y calidad de los circuitos de extremo a extremo que se transportan sobre ellos.

El enfoque de la ITU es repartir los enlaces de radio como parte de una conexión de referencia internacional y luego determinar, para cada ruta (o enlace) de radio, cuáles deben ser los objetivos de disponibilidad y calidad.

Los saltos individuales se pueden diseñar como un subconjunto de esos requisitos de enlace. El problema es que, a menudo, no hay información suficiente sobre la topología de red final para aplicar los objetivos del enlace y los operadores requieren saltos

individuales para cumplir con las métricas de rendimiento contractuales cuando se integran en sus redes, por lo que se desea un objetivo simple por salto en el peor mes. Los objetivos de rendimiento unidireccionales se convierten así en una cifra anual bidireccional. Esto no es trivial, ya que el desvanecimiento no se distribuye linealmente a lo largo del año. Esta cifra de rendimiento anual se suma luego a la cifra de disponibilidad anual para producir el objetivo de confiabilidad del salto.

La cifra de confiabilidad de 99,99 % corresponde a la interrupción de la confiabilidad del salto y, por lo tanto, debe incluir la interrupción del equipo, las interrupciones de propagación por lluvia y desvanecimiento por trayectos múltiples, algunos ajustes para la interferencia y el desvanecimiento por difracción (donde esté presente en condiciones atmosféricas normales).

Se puede ver que esto se confunde fácilmente con la disponibilidad de la red. De hecho, si bien esta metodología de diseño se usa ampliamente, no existe un estándar con el cual comparar esta cifra de confiabilidad por todas las causas. La disponibilidad se aplica de manera bastante consistente en la industria, es una cifra anual para definir el tiempo de actividad de la red o del circuito de extremo a extremo, incluidas las interrupciones de los equipos, las interrupciones de mantenimiento (planificadas y no planificadas). La calidad se utiliza como una medida genérica del rendimiento general como en la calidad de servicio (QoS) o para describir errores no relacionados con interrupciones.

Con la modulación adaptativa, es necesario calcular la fiabilidad de los saltos para cada esquema de modulación utilizado. El tráfico central alcanza un nivel más alto de confiabilidad que el tráfico adicional, que solo es posible durante el clima de cielo despejado.

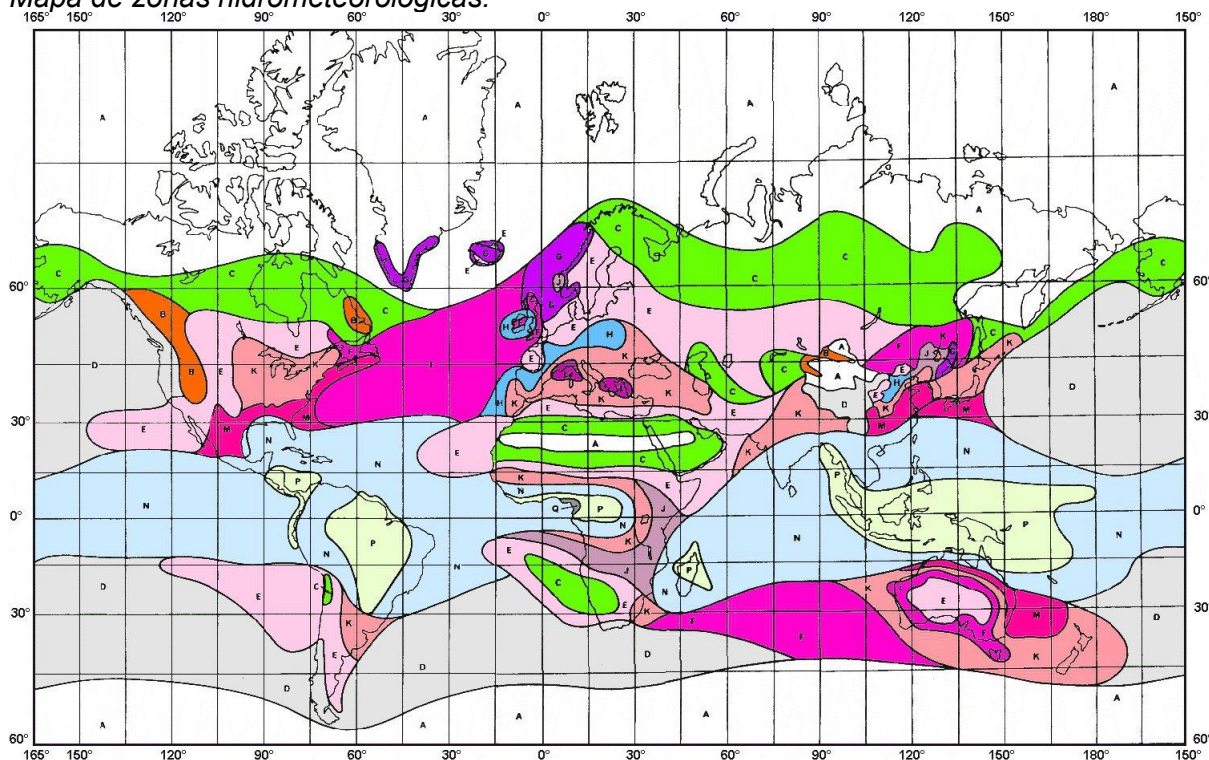
3.10 Sobre la afectación por lluvias en los enlaces de microondas

Diversos modelos estadísticos predicen la cantidad de lluvia que caerá a lo largo del año, siendo el modelo **ITU-R P.837** uno de los más usados por los diseñadores de microondas. Este modelo proporciona una serie de valores promedio adaptados a

diferentes zonas hidrometeorológicas, lo que resulta útil para la planificación y diseño de enlaces, tal como se muestra en la figura 35.

Figura 35

Mapa de zonas hidrometeorológicas.



Nota: la figura nos muestra las diferentes zonas hidrometeorológicas del mundo, por Le Leivre, 2015. Fuente https://leleivre.com/rf_mmwavelink.html.

Podemos apreciar en este mapa que a Perú le corresponde las zonas N y P y se les asocia una intensidad de lluvia media.

El software Pathloss tiene precargadas las características de estas regiones y también es posible considerar una zona hidrometeorológica para todo un grupo de enlaces, lo cual facilita mucho el diseño, ya que al elegir directamente el tipo de zona acorde a la región en la que se requiere trabajar el software modifica automáticamente el desvanecimiento afectando el fade margin de cada enlace, así el ingeniero no tiene que realizar los cálculos para dichos enlaces uno a uno, sabiendo que diversas regiones pueden tener una cantidad de 300 o más enlaces.

La lluvia en telecomunicaciones es un auténtico problema que todo ingeniero de microondas debe tener en consideración con el objetivo de detectar estos inconvenientes en la etapa de diseño y no en la de implementación cuando es más difícil hacerle frente.

3.11 La seguridad de los equipos de comunicaciones

Otro punto importante a considerar, en el proceso de instalación, es el de la seguridad a brindar en los nodos de comunicaciones, ya que se instalan equipos con costos elevados y se dejan en zonas alejadas. Frente a ello, contratar un personal de seguridad perenne en el sitio resulta sumamente costoso (por ejemplo, contratar un personal de vigilancia significa un costo de entre S/ 4 000 y S/ 8 000 mensuales dependiendo de la oferta del momento y de si se desea además que el vigilante porte armas o no) y en algunos casos imposible. Por este motivo, es sumamente importante el considerar todo un sistema de seguridad instalado en cada nodo, lo que permite un control 24 x 7; además de, reducir significativamente la cantidad de personal requerido para dicho control.

Se emplea, con tal fin, cámaras de seguridad, tanto PTZ como domo, tal como las mostradas en la figura 36.

Figura 36

Cámara PTZ (izquierda) y cámara domo(derecha).



Dentro del nodo o fuera de este, la sala de equipos de comunicaciones y la sala de fuerza (grupo electrógeno). Además, se debe considerar diversos sensores que en conjunto permitan ese monitoreo constante y con ello la reducción del riesgo. Estos son los sensores de aniego, tales como los mostrados en la figura 37, de flama, de humo, ocupacionales, de movimiento de 360° y 90° distribuidos de forma estratégica en los ambientes ya mencionados del nodo.

Figura 37

Sensores de aniego.

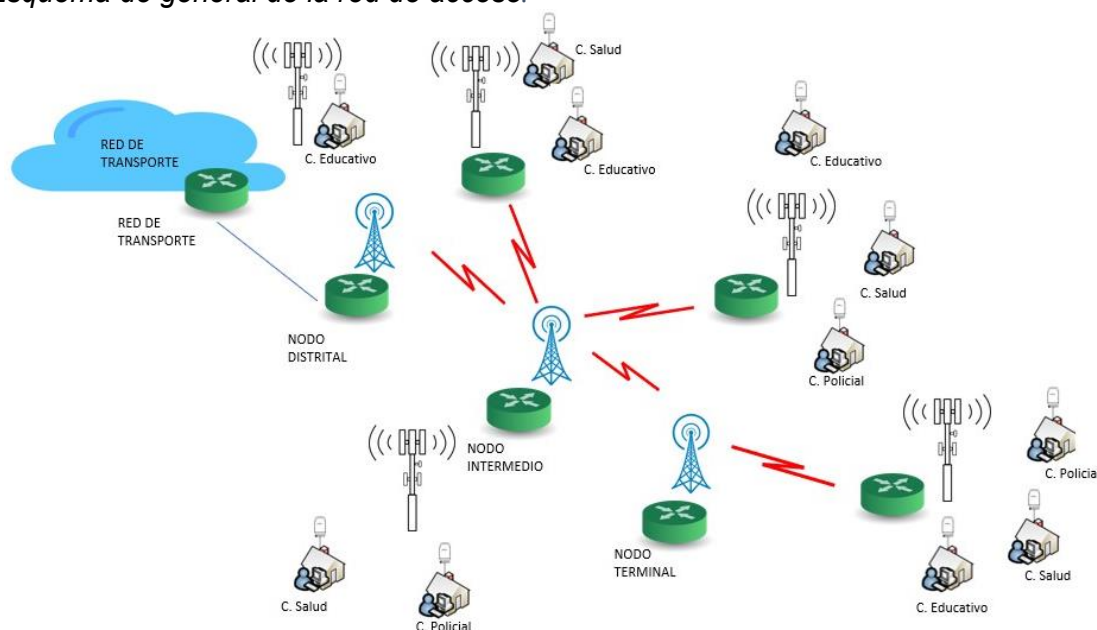


3.12 Red de acceso por microondas

Tal como puede apreciarse en la figura 38, esta topología permite el acceso a internet por parte de las entidades beneficiarias, que vienen a ser centros educativos, centros policiales y centros de salud.

Figura 38

Esquema de general de la red de acceso.



3.12.1 Tipos de nodos a interconectar en la red de acceso

Nodo distrital. Este nodo de la red de acceso es de vital importancia debido a que permite la conexión con la red de transporte. Generalmente, va ubicado, por ello, junto a un nodo de transporte, al cual se conecta por medio de un enlace de fibra óptica. Siendo un nodo de la red de acceso, en la mayoría de los casos presenta entidades beneficiarias con el objetivo de que estas puedan conectarse a internet.

Se considera para este nodo lo siguiente:

- Instalación gabinete shelter.
- Instalación de equipo rectificador y banco de baterías.
- Instalación de enrutador.
- Instalación de ODF de FO.
- Instalación de equipos seguridad física.
- Instalación de enlace de microondas punto-punto.
- Instalación de enlace de microondas punto-multipunto.

Nodo intermedio. Este nodo de la red de acceso permite la conexión entre el nodo distrital y el nodo terminal. Presenta también entidades beneficiarias.

Se considera para la instalación de este nodo lo siguiente:

- Instalación de gabinete shelter.
- Instalación de equipo rectificador y banco de baterías.
- Instalación de enrutador.
- Instalación de equipos seguridad física.
- Instalación de Enlace de Microondas Punto-Punto.
- Instalación de enlace de microondas punto-multipunto.

Nodo terminal. Este nodo corresponde a la punta del ramal establecido por el conjunto de nodos interconectados dentro de un mismo clúster. Presenta también entidades beneficiarias a las cuales brinda el acceso al servicio de internet.

Se considera para la instalación de este nodo lo siguiente:

- Instalación de gabinete shelter.
- Instalación de equipo rectificador y banco de baterías.
- Instalación de enrutador.
- Instalación de equipos de seguridad física.
- Instalación de enlace de microondas punto-punto.
- Instalación de enlace de microondas punto-multipunto.

Repetidor. Este nodo no presenta entidades beneficiarias debido a que su utilidad es la de permitir que se establezca la comunicación hacia nodos de la red de acceso inaccesibles de forma directa (en la sección de diseño de este documento se detalló de manera más profunda su utilidad e implementación). Debido a que no presenta entidades beneficiarias es llamado también intermedio aislado.

Se considera para la instalación de este nodo lo siguiente:

- Instalación de gabinete Shelter.

- Instalación de equipo rectificador y banco de baterías.
- Instalación de equipos de seguridad física.
- Instalación de enlace de microondas punto-punto.

Gabinete shelter. El gabinete (shelter) es un contenedor que permite alojar, en un ambiente controlado, equipos de telecomunicaciones sensibles para su correcto funcionamiento adecuados para instalar cualquier sistema de climatización.

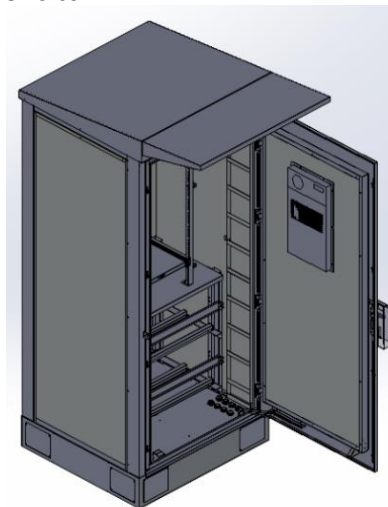
Diseñados para servicio en intemperie permite alojar y proteger los equipos contra diversos agentes del medio ambiente tales como lluvia, humedad, polvo, condensaciones externas, vientos, tolvaneras, etc.

Un gabinete, tal como el mostrado en la figura 39, incorpora lo siguiente:

- Rectificador
- Bancos de baterías
- Sistema de climatización
- Equipos de telecomunicaciones
- Equipos de seguridad

Figura 39

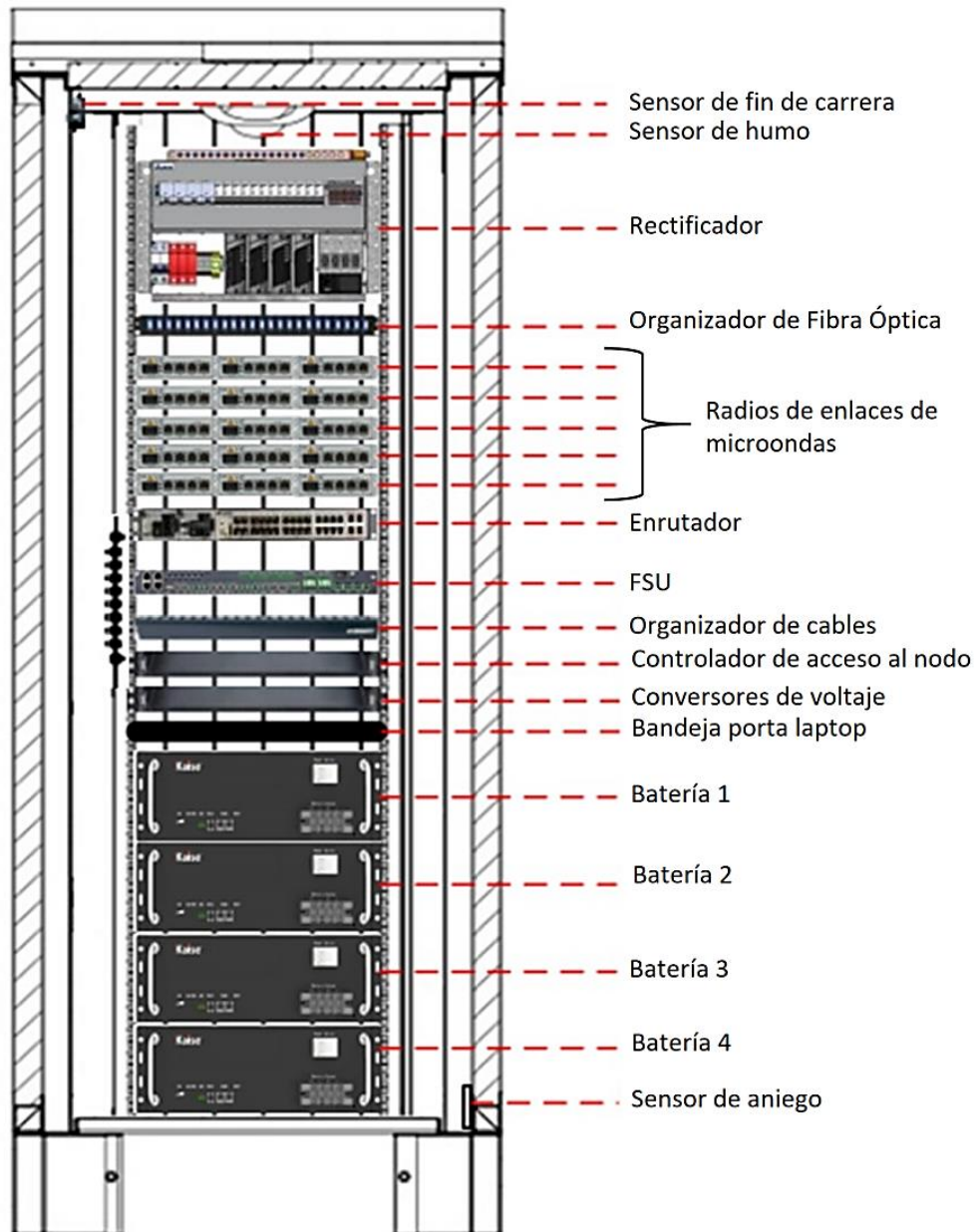
Vista referencial del gabinete shelter.



La figura 40 muestra un ejemplo de ubicación de equipos en el shelter.

Figura 40

Ubicación de equipos en shelter.



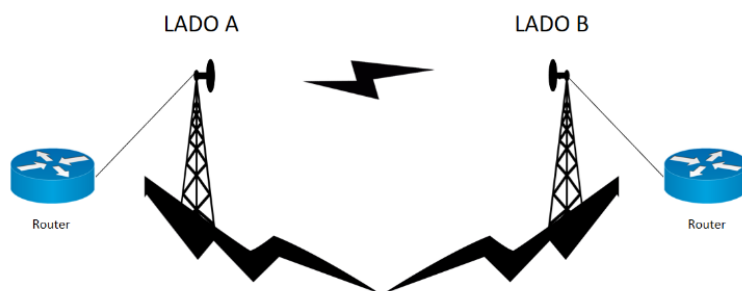
La figura 41 muestra una vista lateral del nodo en la que se puede apreciar la disposición de la torre y el gabinete shelter en un nodo de acceso de ejemplo.

Torre y shelter en un nodo de acceso.



Figura 43

Enlace PTP.

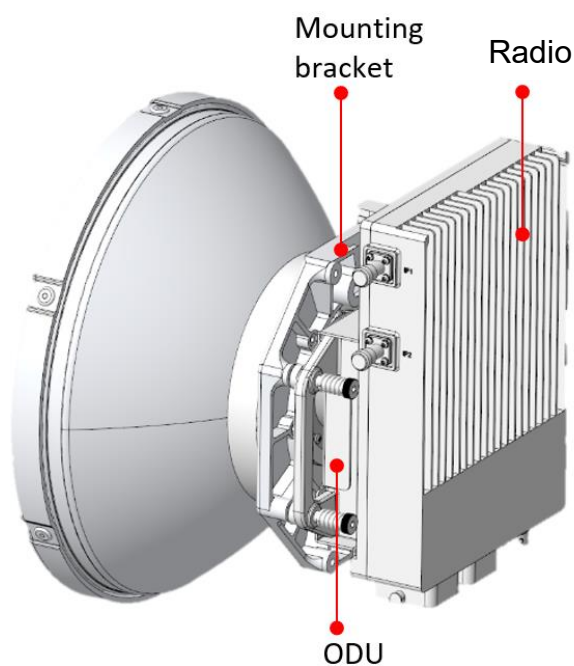


Las configuraciones físicas más usadas para un enlace PTP sin redundancia generalmente son las siguientes: 1+0, 1+0 XPIC y 2+0 XPIC.

Configuración 1+0. En una configuración 1+0, se usa una antena de polarización única. Según las especificaciones de la antena, una ODU puede montarse directamente en una antena (montaje directo) o conectarse a una antena mediante accesorios (Split mount). Un ejemplo de configuración 1+0 es mostrado en la figura 44.

Figura 44

Enlace 1+0.

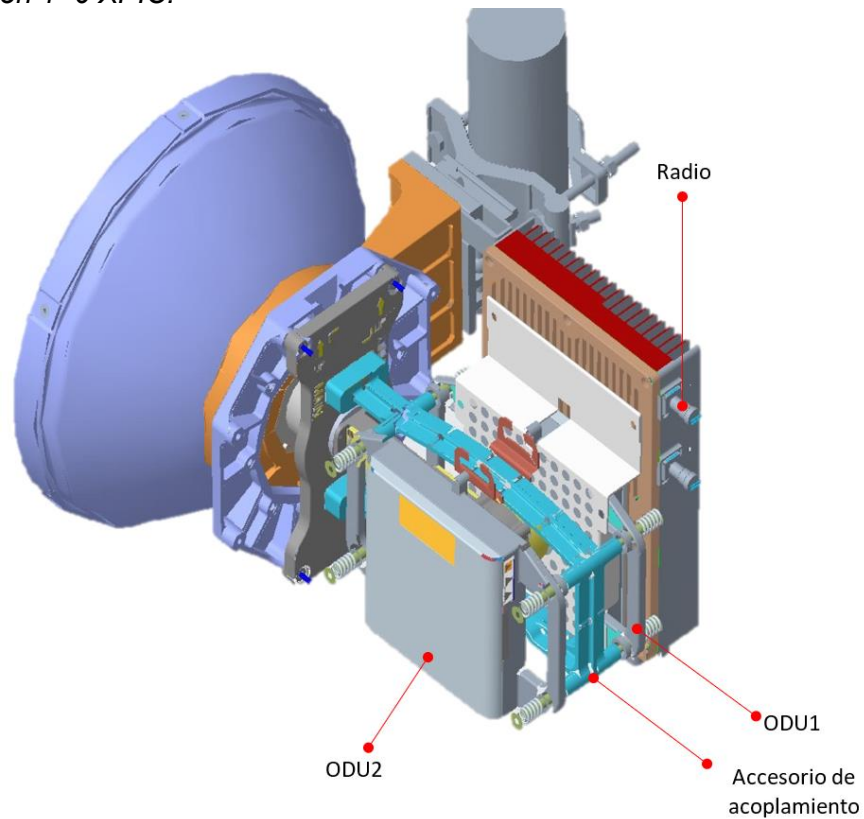


Configuración 1+0 XPIC. Una configuración XPIC es un enlace especial 1+0. En el enlace de microondas proporcionado por un sitio XPIC funcionan dos señales a la misma

frecuencia, pero sus direcciones de polarización son ortogonales. La función XPIC cancela la interferencia de polarización cruzada entre los dos enlaces de microondas. Un ejemplo de configuración 1+0 es mostrado en la figura 45.

Figura 45

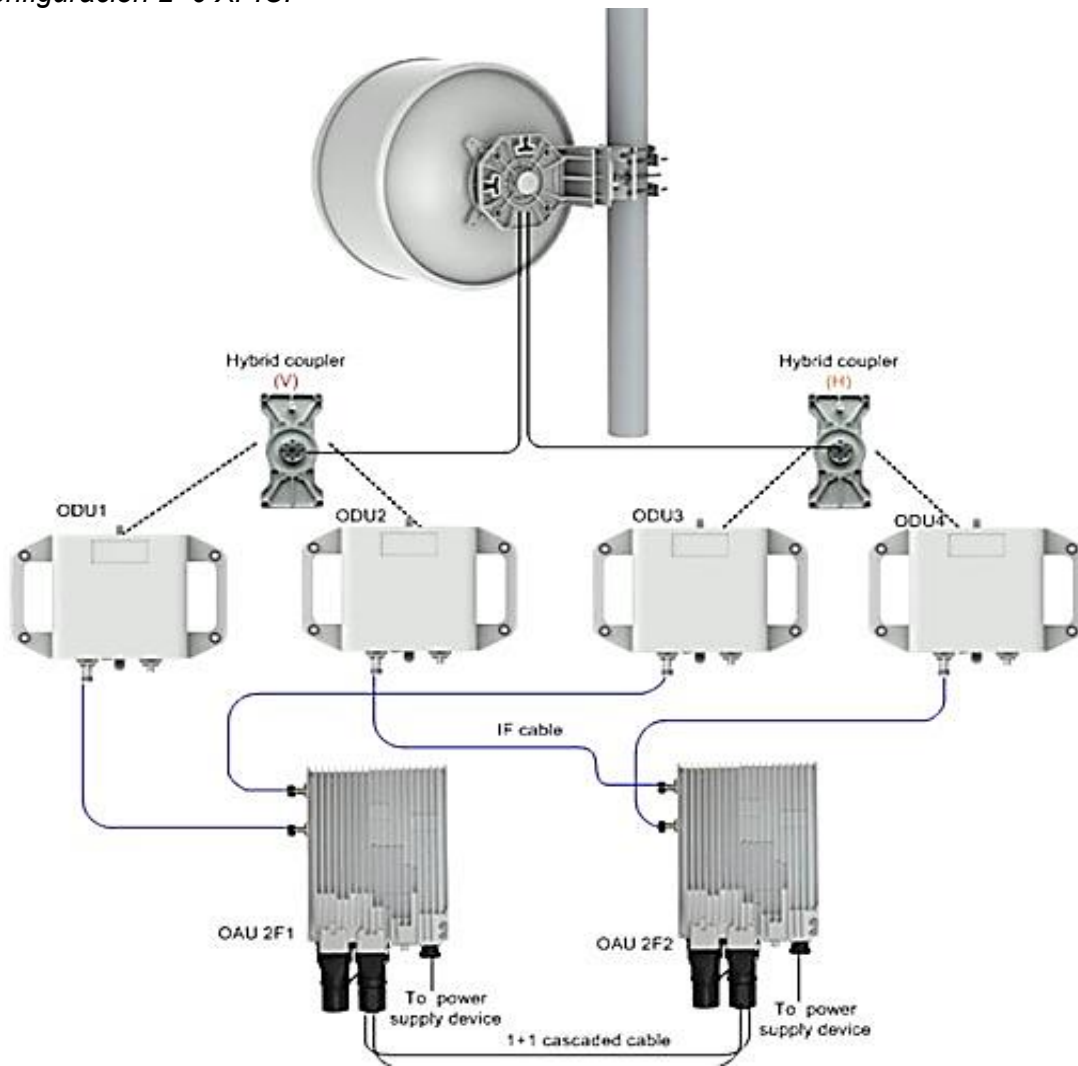
Configuración 1+0 XPIC.



Configuración 2+0 XPIC. Se hace notorio, en este tipo de enlace, la presencia de una radio por cada señal que requiere ser enviada, esto es mostrado en la figura 46.

Figura 46

Configuración 2+0 XPIC.

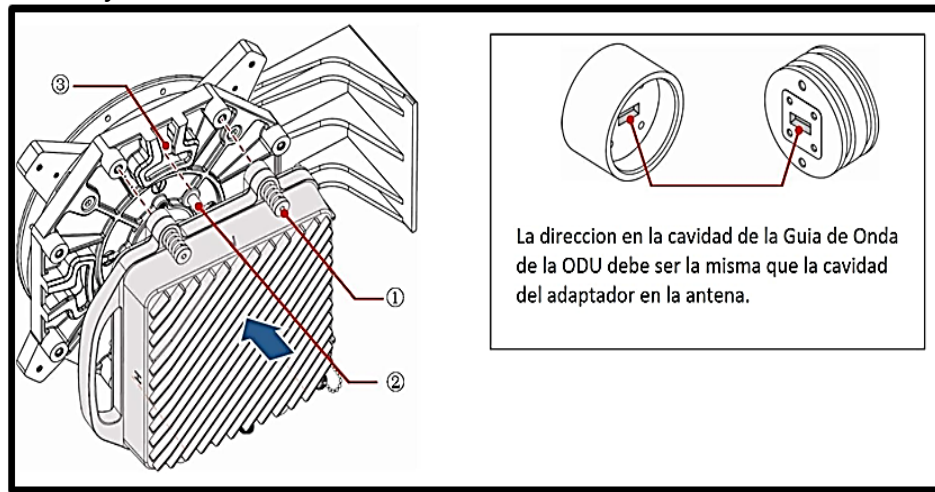


3.12.3 Instalación de ODU y antena

- Revisar la polarización de la ODU y la antena de acuerdo con el link budget. El acople correcto entre ODU y antena es mostrado en la figura 47.

Figura 47

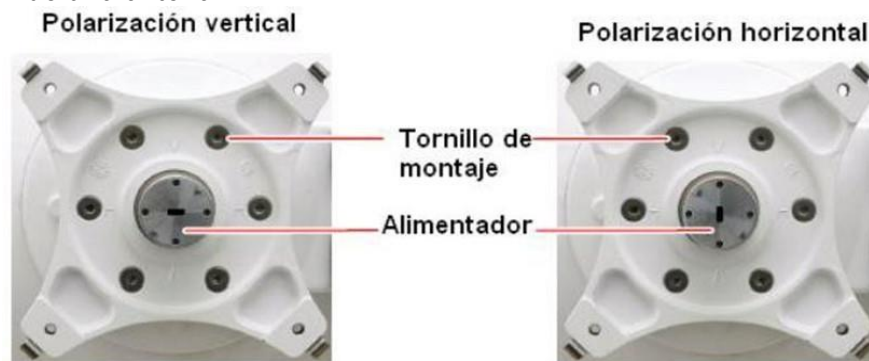
Acople de ODU y antena.



- Por defecto, las antenas empleadas en este caso tienen la polarización vertical configurada, sin embargo, si se requiere polarización horizontal se debe girar el alimentador de la antena, tal como se muestra en la figura 48.

Figura 48

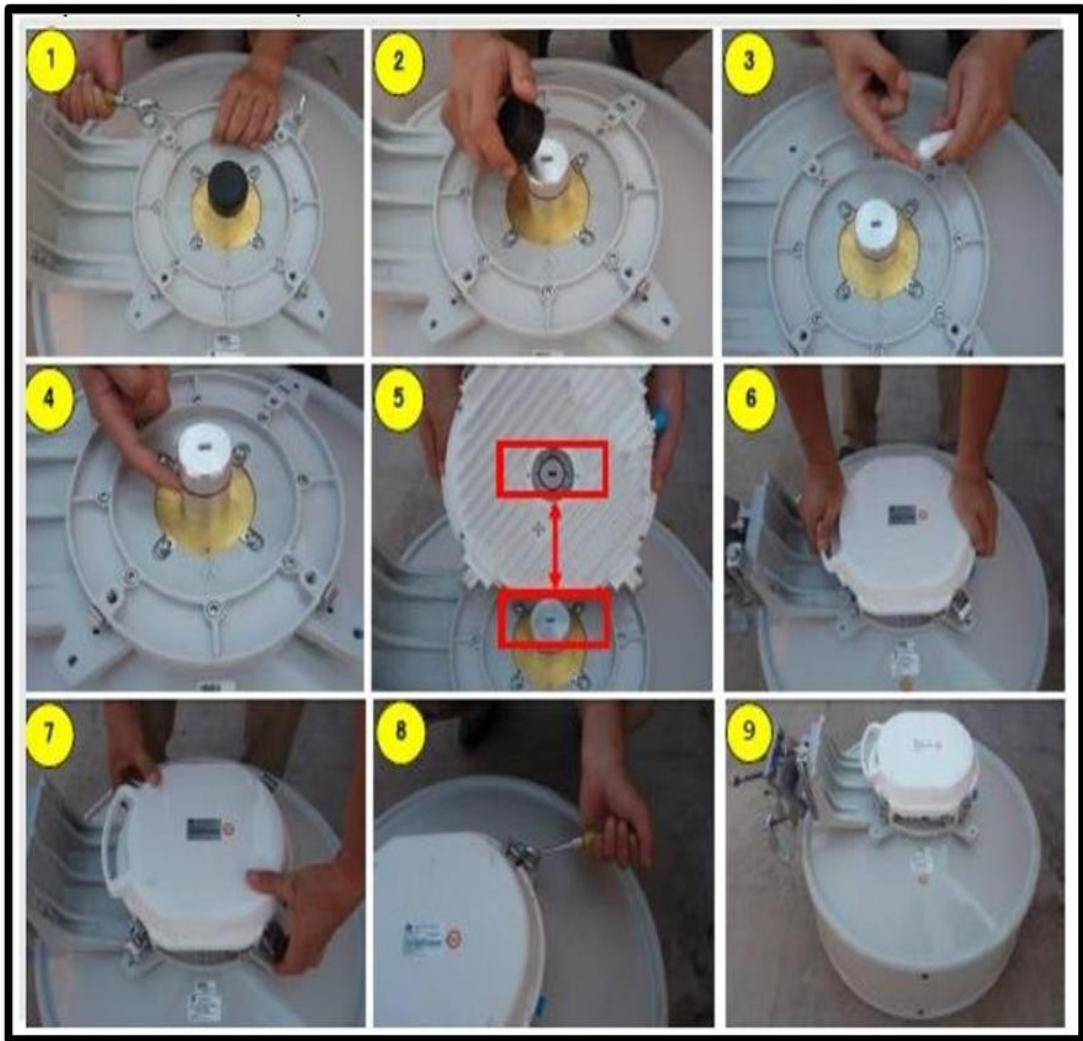
Polarización de una antena.



- La figura 49 muestra el acoplamiento correcto entre la antena y la correspondiente ODU.

Figura 49

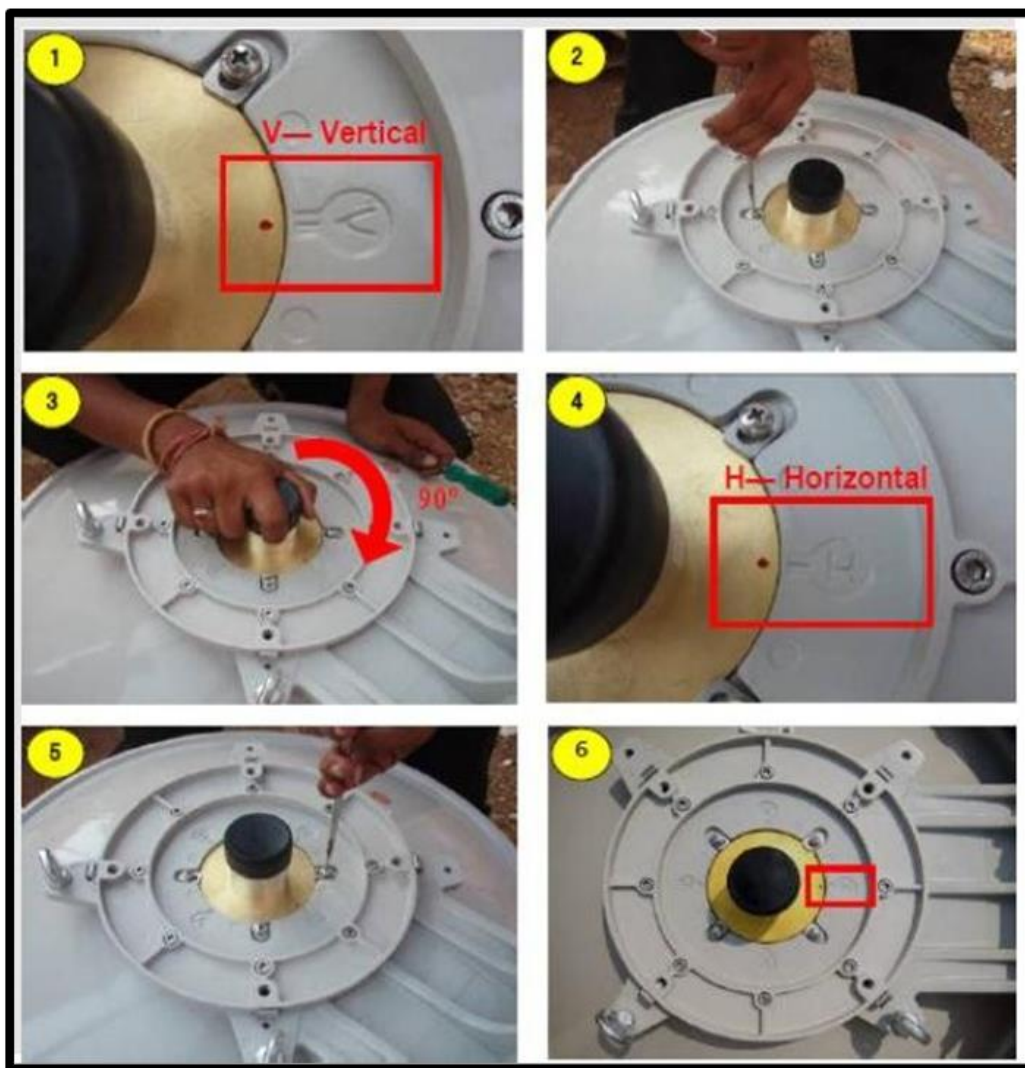
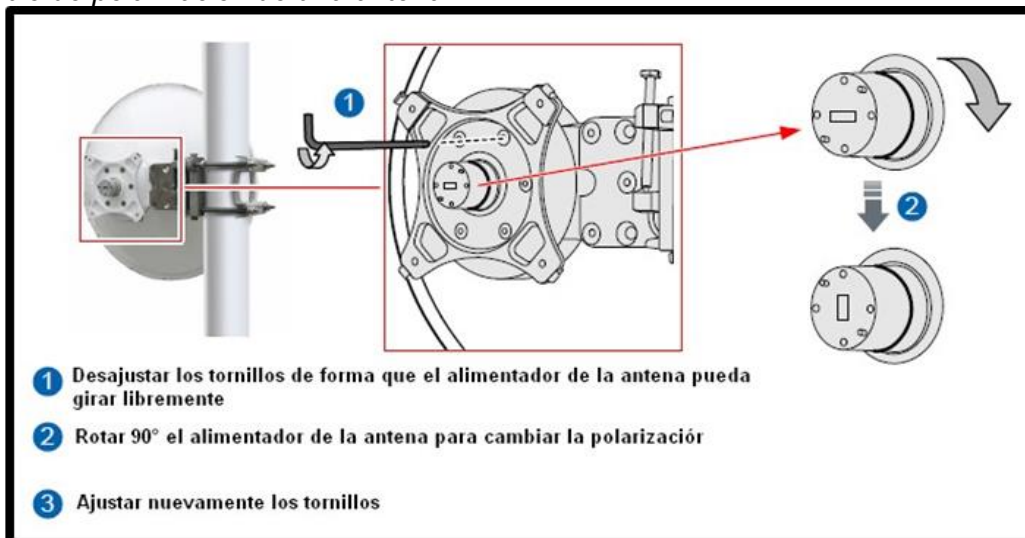
Acoplamiento de ODU y antena.



La figura 50 muestra la forma correcta de realizar un cambio de polarización de la antena.

Figura 50

Cambio de polarización de una antena.

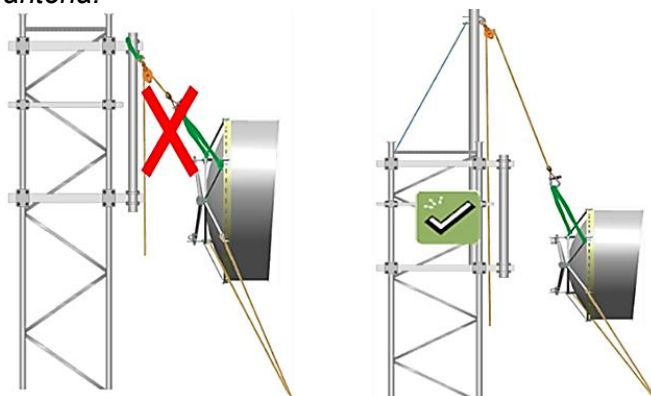


Antes del anclaje de la antena, se debe realizar la verificación de línea de vista existente, altura y azimut indicado en la ficha técnica del enlace. De igual forma, se verifica que el tipo de soporte es el correcto para la antena a instalar.

Para el izaje de la antena, se sugiere utilizar la polea y soga en la parte superior de la torre, lo que nos permite tener mayor espacio para maniobrar y evitar choques con la estructura, tal como se muestra en la figura 51.

Figura 51

Izaje correcto de la antena.



Izar e instalar la antena en el soporte de la torre haciendo encajar la parte posterior de la antena con la parte media del soporte, seguidamente ajustar los pernos de fijación al soporte tal como se muestra en la figura 52.

Figura 52

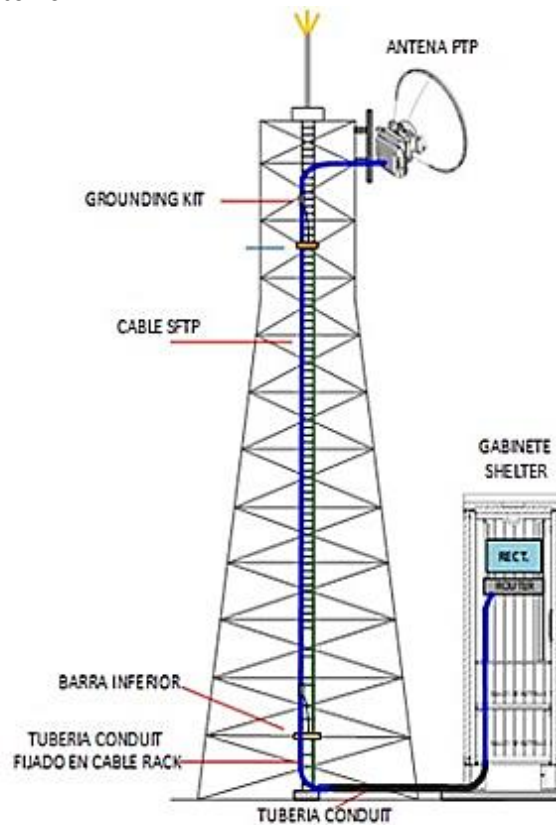
Montaje de la antena en soporte.



Se obtiene entonces una configuración acorde a la mostrada en la figura 53, donde además se visualiza el recorrido del cableado SFTP.

Figura 53

Cableado SFTP en torre.



3.12.4 Enlace de microondas punto multi punto

Estos enlaces permiten que diversas entidades beneficiarias cuenten con el acceso a internet, de forma tal que un nodo de acceso brinda cobertura a toda una localidad.

Está conformado por una o más antenas AP sectoriales, tal como se aprecia en la mostrada en la figura 54.

Figura 54

Antena sectorial.



Para poder conectarse a la red cada institución beneficiaria debe contar con una antena generalmente llamadas suscriptor, tal como la mostrada en la figura 55.

Figura 55

Antena suscriptora.



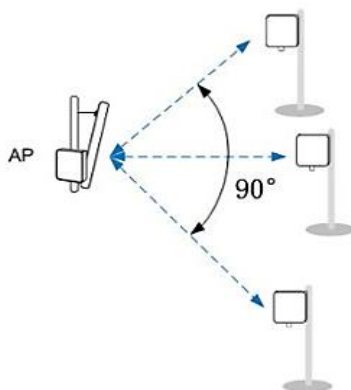
La frecuencia de operación generalmente es de 5 GHz.

Se tiene que ajustar el azimut y la elevación de la antena AP de acuerdo con el diseño de ingeniería.

Siendo de esta forma, se tiene entonces una antena por cada sector en el nodo y una o más antenas suscriptoras conectadas a uno de los sectores, tal como se muestra en la figura 56.

Figura 56

Antena sectorial y suscriptores conectados a esta.



La figura 59 muestra la cobertura de una antena sectorial hacia las entidades beneficiarias. En este ejemplo, el ángulo de apertura es de 90°, sin embargo, muchos otros fabricantes proporcionan antenas sectoriales con ángulos de apertura de 120°.

Esta disposición se replicará para cubrir beneficiarios en otras direcciones de ser necesario.

3.13 Caso de análisis

En el ejemplo mostrado a continuación, se puede verificar la obstrucción de la línea de vista para un enlace a analizar. Las antenas ya han sido instaladas acorde a la altura de torre determinada previamente; sin embargo, no se ha considerado en el diseño los obstáculos existentes, ya que no se ha realizado la verificación en campo del enlace (path survey). Para este caso en particular, se nota la existencia de cierto grupo de árboles que generan una obstrucción.

La tabla 10 nos muestra los datos generales de ambos sites.

Tabla 10

Datos generales de ambos sites.

	Datos del site A	Datos del site B
Nombre del sitio	URPAY BAJO	NIÑO YUCAY
Código de sitio	AY-0348	AY-0185
Tipo Nodo	Intermedio	Terminal

3.13.1 Datos técnicos

La tabla 11 nos muestra los datos técnicos de ambos sites.

Tabla 11

Datos técnicos de ambos sites.

	Site A	Site B
Latitud	-13.1398611	-13.1236389
Longitud	-74.07838	-74.14955
Altura de Torre(m)	15	30
Altura de antena(m)	14	29

3.13.2 Datos de la obstrucción

Debe apreciarse aquí la fotografía desde la ubicación del equipo en cuestión hacia el extremo opuesto, tal como se muestra en la figura 57.

Figura 57

Antena en el site URPAY BAJO apuntando hacia NIÑO YUCAY.



Fotografía del obstáculo. Esta debe llevar como referencia a una persona para tener una idea de la altura real del mismo, tal como se muestra en la figura 58.

Figura 58

Fotografías del obstáculo en el enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.



La tabla 12 nos muestra las alturas de los obstáculos.

Tabla 12

Altura de los obstáculos.

Obstáculo	Altura(m)
Obstáculo 1	17
Obstáculo 2	18

Fotos panorámicas desde la torre, estas fotos van desde 0° hasta 360° tal como se muestra en la figura 59.

Figura 59

Fotos de 0° a 360° con saltos de 30° entre cada una. Para el enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.

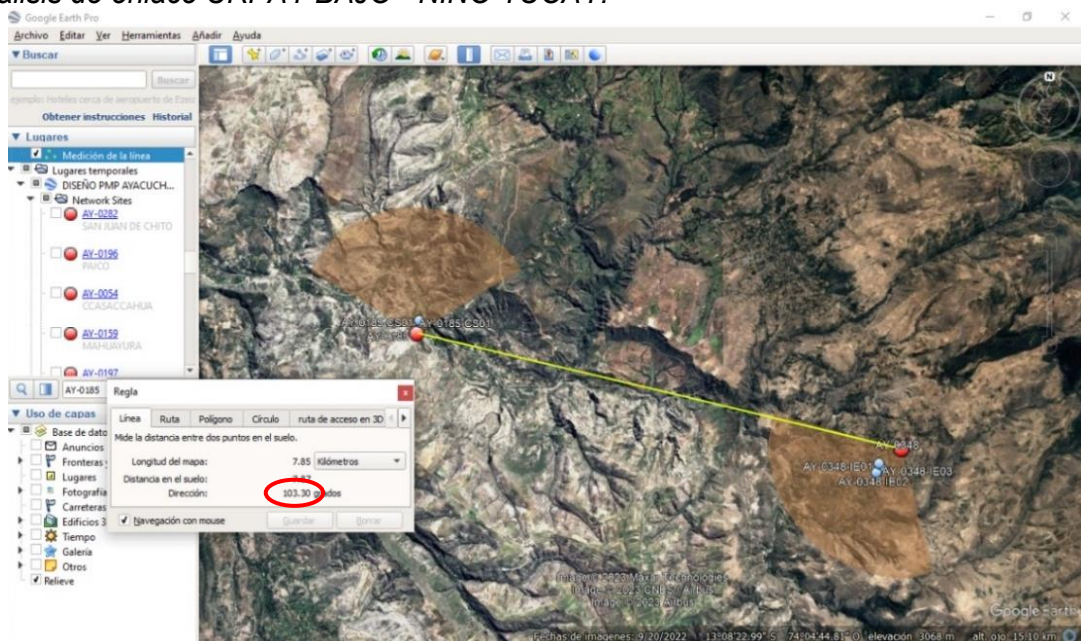


Empleando esta información obtenida en campo se puede analizar el enlace con mayor detalle:

- Primero, se debe ingresar las coordenadas en Google earth, esto permite tener una idea previa del azimuth hacia el cual se considera la línea de vista para dicho enlace, tal como se muestra en la figura 60 (el archivo de ingeniería a obtener del software Pathloss brinda mayor precisión acerca del azimuth).

Figura 60

Análisis de enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.



Se aprecian 103°, entonces, la foto a considerar es aproximadamente la capturada a 90°, tal como se muestra en la figura 61.

Figura 61

Foto desde el site URPAY BAJO a 90°.

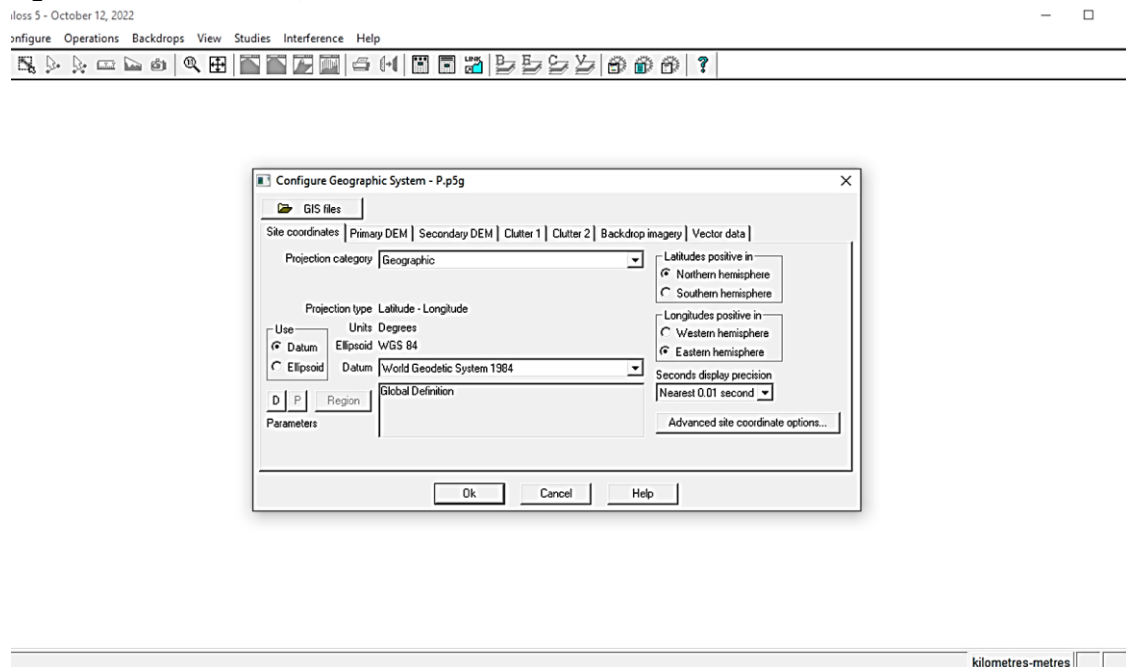


Se emplea el software Pathloss 5.1 para analizar este enlace:

- Se cargan las alturas del archivo SRTM, tal como se muestra en la figura 62.

Figura 62

Carga de archivo SRTM, con los datos del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.



La figura 63 muestra las alturas cargadas desde el archivo.

Figura 63

Alturas cargadas desde archivo. Para el enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.

SRITM (World)									
Files Edit Convert									
	file name	west edge °	east edge °	south edge °	north edge °	rows	columns	x cell °	y cell °
1	N00W068.hgt	-68.00013889	-66.99986111	-1.388889e-004	1.000138889	3601	3601	1.0	1.0
2	N00W069.hgt	-69.00013889	-67.99986111	-1.388889e-004	1.000138889	3601	3601	1.0	1.0
3	N00W070.hgt	-70.00013889	-68.99986111	-1.388889e-004	1.000138889	3601	3601	1.0	1.0
4	N00W071.hgt	-71.00013889	-69.99986111	-1.388889e-004	1.000138889	3601	3601	1.0	1.0
5	N00W072.hgt	-72.00013889	-70.99986111	-1.388889e-004	1.000138889	3601	3601	1.0	1.0
6	N00W073.hgt	-73.00013889	-71.99986111	-1.388889e-004	1.000138889	3601	3601	1.0	1.0
7	N00W074.hgt	-74.00013889	-72.99986111	-1.388889e-004	1.000138889	3601	3601	1.0	1.0
8	N00W075.hgt	-75.00013889	-73.99986111	-1.388889e-004	1.000138889	3601	3601	1.0	1.0
9	N00W076.hgt	-76.00013889	-74.99986111	-1.388889e-004	1.000138889	3601	3601	1.0	1.0
10	N00W077.hgt	-77.00013889	-75.99986111	-1.388889e-004	1.000138889	3601	3601	1.0	1.0
11	N00W078.hgt	-78.00013889	-76.99986111	-1.388889e-004	1.000138889	3601	3601	1.0	1.0
12	N00W079.hgt	-79.00013889	-77.99986111	-1.388889e-004	1.000138889	3601	3601	1.0	1.0
13	N01W068.hgt	-68.00013889	-66.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
14	N01W069.hgt	-69.00013889	-67.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
15	N01W070.hgt	-70.00013889	-68.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
16	N01W071.hgt	-71.00013889	-69.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
17	N01W072.hgt	-72.00013889	-70.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
18	N01W073.hgt	-73.00013889	-71.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
19	N01W074.hgt	-74.00013889	-72.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
20	N01W075.hgt	-75.00013889	-73.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
21	N01W076.hgt	-76.00013889	-74.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
22	N01W077.hgt	-77.00013889	-75.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
23	N01W078.hgt	-78.00013889	-76.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
24	N01W079.hgt	-79.00013889	-77.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
25	N01W080.hgt	-80.00013889	-78.99986111	0.9998611111	2.000138889	3601	3601	1.0	1.0
26	N02W068.hgt	-68.00013889	-66.99986111	1.9998611111	3.000138889	3601	3601	1.0	1.0
27	N02W069.hgt	-69.00013889	-67.99986111	1.9998611111	3.000138889	3601	3601	1.0	1.0
28	N02W070.hgt	-70.00013889	-68.99986111	1.9998611111	3.000138889	3601	3601	1.0	1.0
29	N02W071.hgt	-71.00013889	-69.99986111	1.9998611111	3.000138889	3601	3601	1.0	1.0

- Luego se ingresan las coordenadas de los puntos A y B del enlace, tal como se muestra en la figura 64.

Figura 64

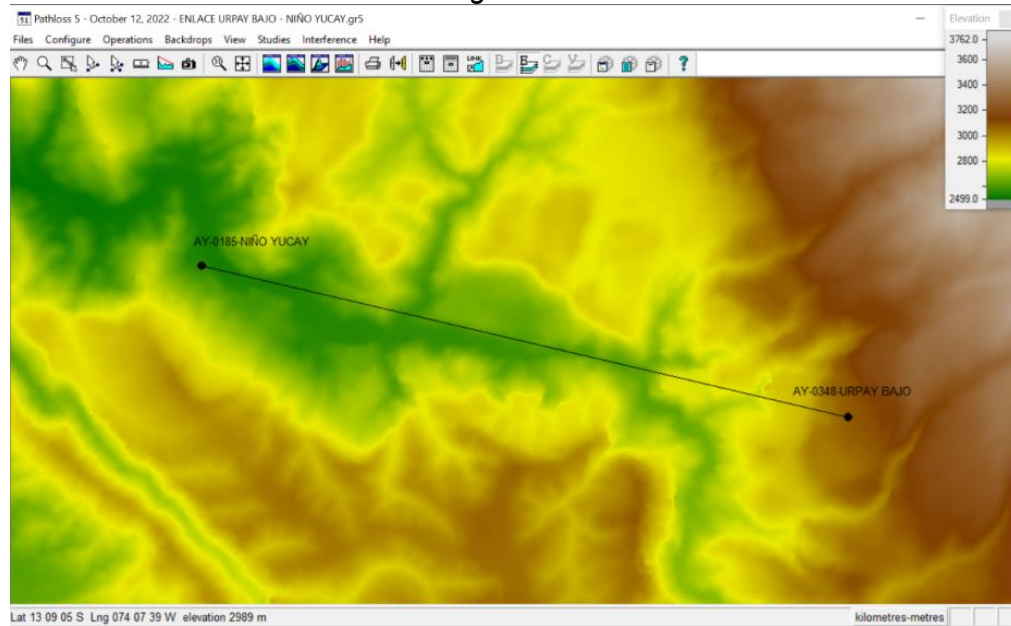
Carga de coordenadas de cada punto del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.

Site List												
Import Export Edit Find Mark sites Create Group Update PLS files Thematic mapping Show site groups Help												
	Site name	Latitude	Longitude	Call sign	Station code	Elevation (m)	Tower height (m)	Tower type	Site type	Site status	Base station	Show local study
1	AY-0348-URP	3 08 23.50 S	4 04 42.17 W					unknown	not defined	not specified	☐	☐
2	AY-0185-NIÑ	3 07 25.10 S	4 08 58.38 W					unknown	not defined	not specified	☐	☐
3								unknown	not defined	not specified	☐	☐
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												

- Con ello se obtiene el enlace listo para su correspondiente análisis, tal como se muestra en la figura 65.

Figura 65

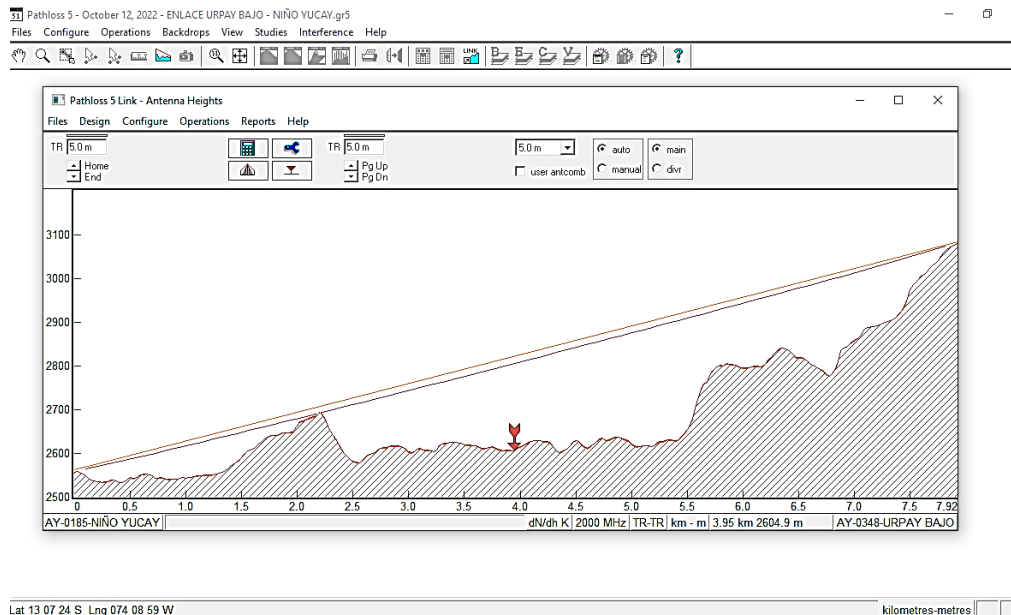
Enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY cargado en Pathloss.



La figura 66 muestra el perfil del enlace en Pathloss.

Figura 66

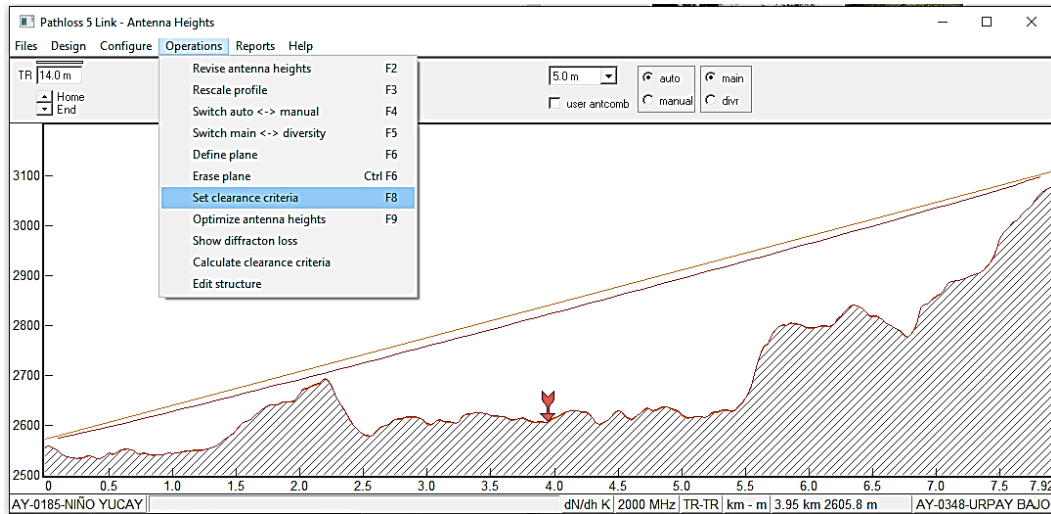
Perfil del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.



- Se ingresa la claridad con la cual se desea trabajar, además de las alturas de antena tal como se aprecia en la figura 67.

Figura 67

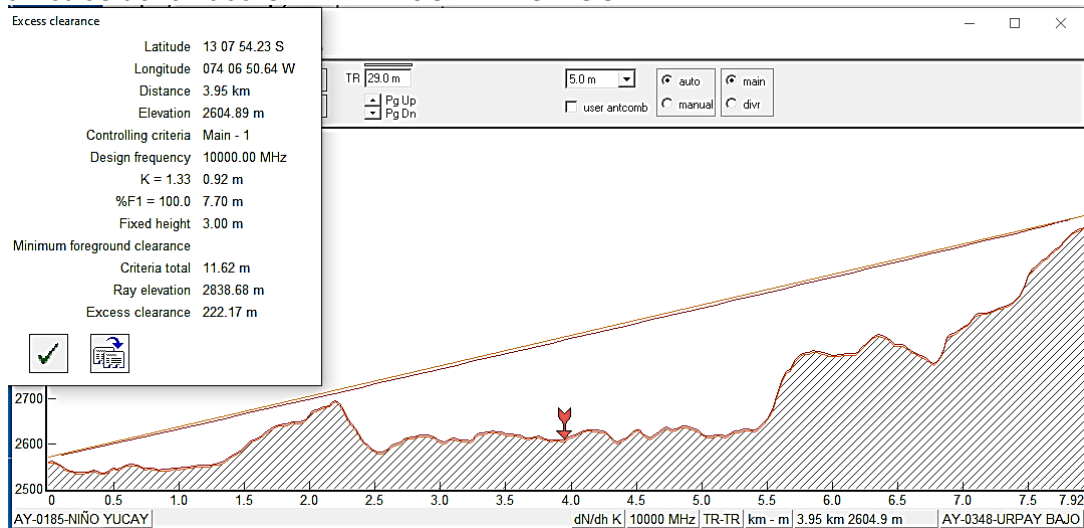
Claridad del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.



La figura 68 nos muestra los parámetros del enlace a analizar. Se puede notar que el valor de k elegido es el de $4/3 = 1.33$ (refracción estándar).

Figura 68

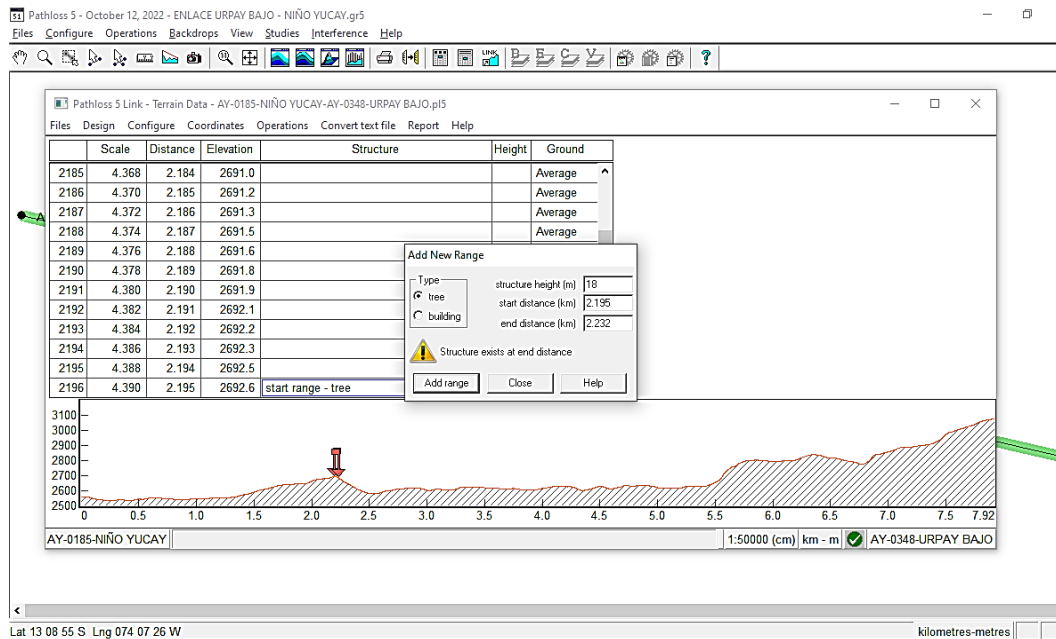
Parámetros del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.



- Se ingresa la altura de los árboles acorde a la información obtenida en campo, tal como se aprecia en la figura 69.

Figura 69

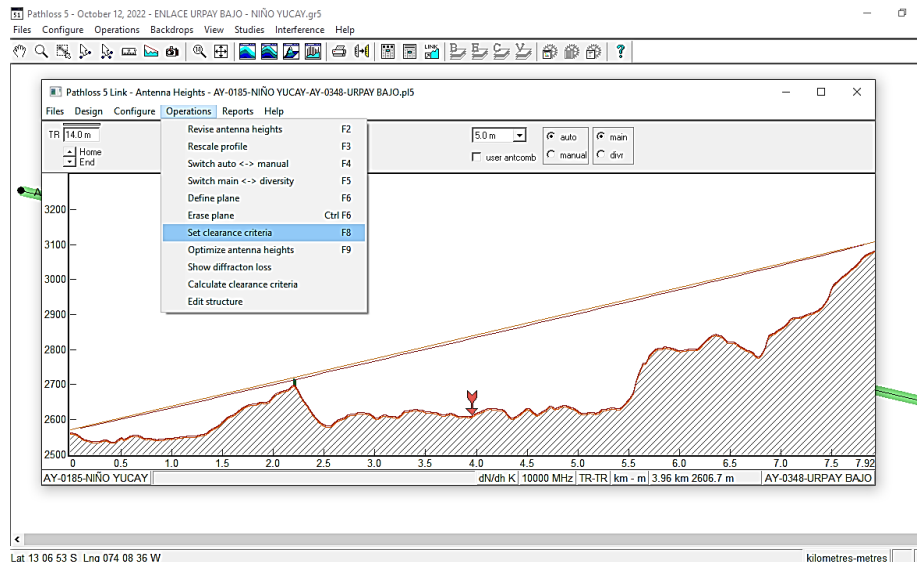
Altura de los obstáculos en el enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.



La figura 70 muestra la representación de los árboles mencionados, como obstrucción en la línea de vista.

Figura 70

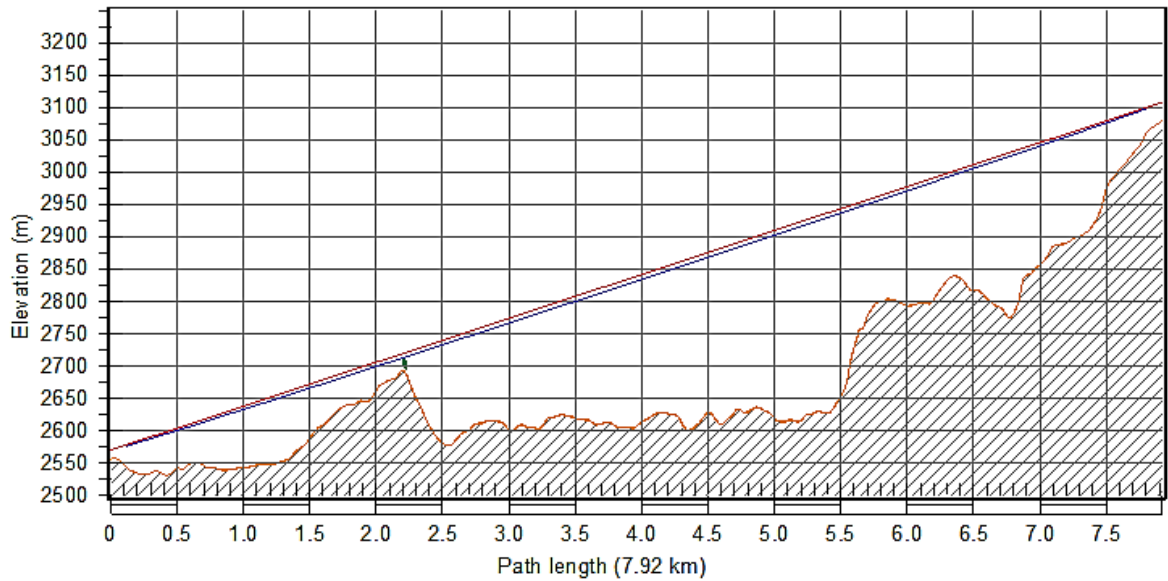
Obstáculos en la línea de vista del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.



Luego de este análisis puede exportarse el archivo de ingeniería empleando el propio Pathloss con los detalles del enlace, tal como se aprecia en la figura 71.

Figura 71

Resumen de datos del enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.



F = 10000.00 MHz K = 1.33 %F1 = 100.0, 60.0

	AY-0185-NIÑO YUCAY	AY-0348-URPAY BAJO
Latitude	13 07 25.10 S	13 08 23.50 S
Longitude	074 08 58.38 W	074 04 42.17 W
True azimuth (°)	103.10	283.08
Vertical angle (°)	3.86	-3.91
Elevation (m)	2556.66	3079.24
Antenna height (m)	14.00	29.00

Observando este perfil se nota entonces como dichos árboles obstruyen la línea de vista impidiendo que se consiga una zona de Fresnel libre.

El siguiente paso es el de brindar las coordenadas, junto con un polígono de desbroce, al área correspondiente para que esta pueda realizar el corte respectivo y conseguir así la línea de vista deseada.

3.14 Aturas de torre del proyecto

Un punto fundamental a considerar dentro del diseño es el correspondiente a las alturas de torre.

La tabla 13 muestra las alturas de torre consideradas en este proyecto.

Tabla 13:*Altura de las torres del proyecto*

Localidad	Latitud	Longitud	Altura de torre (m)
Maucallacta	-13.221498	-74.300629	42
Macachacra	-12.99405	-74.20935	42
Luricocha	-12.8924	-74.2711	24
Huamanguilla	-13.012011	-74.174811	30
Palmapampa	-12.767029	-73.659276	30
Palccacancha	-13.496	-74.0554	42
Llohegua	-12.415961	-73.911861	42
Corazón Pata	-12.444733	-73.996407	24
Muchapampa	-15.055881	-73.773561	24
Morcolla Chico (Marocolla)	-14.111085	-73.92277	36
Llauta	-14.24475	-74.919719	15
Carhuacucho	-14.21748	-74.92745	42
Mayhuavilca	-12.577819	-74.3474	24
Patahuasi	-13.572739	-74.039879	30
Paras	-13.551778	-74.628972	24
Paquecc	-12.97283611	-74.25737778	30
Pampas	-13.224695	-73.897678	18
Pampamarca Baja	-13.244488	-74.032159	60
Rosario	-12.596627	-73.829901	60
Otoca	-14.487981	-74.689169	15
Qollpacucho	-13.61735	-74.00421	18
Qarin	-13.21769	-73.68851	24
Putacca	-13.408661	-74.34915	42
Porta Cruz	-13.79323	-74.374541	30
Pomatambo	-13.6443	-73.86646	60
Pomacocha	-13.62144	-73.98714	60
Pomabamba	-13.60453	-74.233956	18
San francisco	-12.627131	-73.787289	18
Pampa Cangallo	-13.5555	-74.191667	24
Jusaymarca	-13.54864722	-74.22808889	60
San Antonio	-14.77728	-74.10387	60
Sallasalla	-15.353769	-73.606989	24
Sacsara	-15.19648	-73.86064	18
Sacharaccay	-13.09195	-73.8518	18
Rumi rumi	-13.168474	-73.849349	18
Chuvivana	-12.515403	-73.888492	42
Santiago de Paucaray	-14.043781	-73.638689	30
Santiago de Lucanamarca	-13.843881	-74.3718	60
Santa Rosa	-12.68596	-73.73672	42
San pedro de Huaya	-13.84858	-73.95283	24
San Pedro	-14.768689	-74.098681	15
San Pablo	-14.902161	-74.111031	15
San Martin de Hercomarc	-13.62858	-73.94371	24
San Juan	-14.65115	-74.2006	42
San José de Secce	-12.76695	-74.252069	18
San José de Parccahuanca	-13.200028	-74.014021	24
San Francisco de Pujas	-13.661321	-73.822416	24
Tambocucho	-13.3379	-74.28738	30
Tambo	-12.945693	-74.019276	60
Tambillo	-13.186417	-74.113222	42
Sivia	-12.508419	-73.859731	42
Socos	-13.215722	-74.291	18

Simariba	-12.702284	-73.735416	42
Rep1-110	-12.95781	-74.014913	24
Rep1-109	-14.26527	-73.9742	18
Rep1-105	-13.62302	-74.5302	24
Vischongo	-13.590081	-73.996589	15
Viracochan	-12.594931	-74.330481	42
Vinchos	-13.245547	-74.355976	15
Vilcanchos	-13.606639	-74.535637	42
Ramon Castilla	-13.57949	-74.48582	24
Urpay Bajo	-13.13987	-74.07837	15
Rep1-128	-13.04484	-74.25237	30
Rep1-124	-13.20675	-74.34101	30
Rep1-120	-13.302067	-73.86852222	24
Rep1-116	-13.68179	-74.02945	18
Rep1-114	-13.6601	-74.13044	24
Rep1-142	-12.607132	-74.401781	30
Rep1-141	-12.789755	-74.261637	18
Rep1-140	-12.402654	-73.918674	24
Rep1-139	-12.872782	-73.543253	24
Rep1-136	-13.99923	-73.60754	24
Villa Mejorada	-12.447352	-73.966509	30
Yaruri	-12.451692	-73.944606	30
Arequipa	-12.432903	-73.983489	18
Gloria Sol Naciente	-12.412648	-74.001681	18
Rep3-133	-12.885205	-73.606728	30
Rep2-132	-12.95368	-73.55408	60
Rep1-144	-13.98803	-73.85362	18
Llactapata	-12.42477	-74.43405	30
Acocro	-13.215343	-74.04653	24
Carampa	-13.64933333	-74.24428056	24
Canaria	-13.92576	-73.90571	30
Canal	-12.763269	-73.689962	42
Aycara	-14.984194	-73.798078	18
Alcamenca	-13.656361	-74.147831	24
Aucara	-14.278511	-73.975589	15
Asquipata	-14.053711	-73.908761	15
Huinchopata	-13.10847	-74.09106	42
Acos vinchos	-13.115789	-74.101589	18
Allcuhuillca	-13.011866	-74.246093	42
Chumpi	-15.095471	-73.750397	24
Chipao	-14.36556	-73.87821	42
Chilcas	-13.168981	-73.906761	42
Chaviña	-14.97972	-73.83616944	24
Anchihuay	-12.863569	-73.579961	24
Ccochcca	-12.972355	-73.983851	18
Tucsen	-13.614519	-74.189605	18
Ccaccas	-12.916408	-74.241756	24
Carhuaschoque	-13.21208	-74.06812	24
Carapo	-13.83648	-74.31693	24
Gloria Pata	-12.7173	-73.70615	30
Union Vista Alegre	-12.847334	-73.637553	42
Paquichari	-12.844902	-73.621857	60
Corazon de Ñaupas	-13.218727	-74.43897	60
Contay	-13.72495	-73.73084	24
Condoray	-13.195759	-74.13032	24
Concepcion	-13.53286	-73.87413	24
Colta	-15.161989	-73.293642	18

Chungui	-13.22045	-73.621153	15
Llausa	-13.00394	-73.9862	24
Llachoccmayo	-13.401019	-74.22085	18
Laramate (@laramate)	-14.29107	-74.84343	15
Colca	-13.712075	-74.032333	15
Ingahuasi	-13.3814	-74.37709	30
Incuyo	-15.25093	-73.56609	42
Huarcas (San Gabriel de Huarcas)	-13.822745	-73.847128	24
Chuschi	-13.585261	-74.352861	18
Huancaraylla	-13.717881	-74.10335	18
Chuqui huarcaya	-13.62423	-74.35794	24
Chalcos	-13.848389	-73.755739	15
Huaccaña	-13.63709	-73.84142	24
Huacaña	-14.1744	-73.8868	30
La Merced Loyanta	-13.174624	-74.307628	60
Acco Capillapata	-13.1872	-74.31220833	15
Villa Florida	-12.986529	-74.215181	24
Laramate (@Santiago de Pischa)	-13.02875	-74.378781	60
Ichupata	-13.01375	-74.2038	24
Huayhuas	-12.97087	-74.216055	15
Seccllas	-12.919284	-74.262566	42
Quinrapa	-12.93735	-74.261804	36
San José de Bellavista	-13.151834	-74.300922	15
Quiturara	-13.026168	-74.160999	24
Moya	-13.029369	-74.140751	15
Llamahuilca	-13.05413	-74.16528	24
Huayllapampa	-13.078877	-74.222129	15
Manallasacc	-13.47024	-74.145	15
Chichucancha	-13.564039	-74.078361	15
Puerto Amargura	-12.400717	-73.911829	42
Bellavista	-15.067431	-73.711239	15
Chihuire	-14.10357	-73.94179	24
Pucara	-14.2262	-74.89475	30
Llumchicancha Chanquil	-13.457832	-74.209264	15
Chanchayllo	-13.456144	-74.077706	15
Espite	-13.567541	-74.616863	24
Maynay	-12.955082	-74.251477	18
Huancayocc	-12.931693	-74.225473	15
Cangari	-12.989479	-74.285578	18
Azangaro	-12.917592	-74.29736	15
Asnacpampa	-13.194803	-73.914038	15
Chontaca	-13.28327	-74.04046	24
Yanahuanco bajo	-13.32117	-74.0056	18
Seccelambras	-13.259948	-74.075051	24
San juan de rayan	-13.264426	-74.000851	15
Challhuamayo	-12.572732	-73.890218	18
Carmen pampa	-12.641061	-73.795024	30
Aurora	-12.62358	-73.79273	18
Uruiza	-14.48137	-74.63348	60
San juan de chito	-13.6439	-73.92867	15
Anyay	-13.11202	-73.79906	30
Pallcca	-13.88934	-74.24944	42
Colpapampa	-13.64335	-73.88314	24
Sachabamba	-13.46581111	-74.09914167	18
Quishuarcancha	-13.444281	-74.133219	15
Hualchancca	-13.579074	-74.186707	18
Santa Rosa de la Victoria	-14.73481	-74.08088	42

Union Palaycca	-14.78687	-74.096077	48
Santiago de Vado	-14.603225	-74.275536	15
Chilques	-14.730151	-74.084622	30
Yuracchuasi	-15.25214	-73.68447	15
Tarco	-15.29915	-73.7496	18
Ccasacchua	-14.96566	-73.76099	18
Escana	-13.16238	-73.86636	15
Misquibamba	-13.070422	-73.926611	18
Triboline	-12.578613	-73.858333	18
San Juan de Matucana	-12.601894	-73.849622	24
San Martín	-12.56655	-73.828472	18
Compañía Baja	-12.533736	-73.876403	18
Balsamuyocc	-12.53571	-73.888018	24
Santa Rosa de Ccocha	-13.84115	-74.40897	60
San José de Huarcaya	-13.82998	-74.38574	36
Tiquihua	-13.87924	-73.93343	24
Villa huaylonga	-14.75903889	-74.209225	18
Chiribamba	-13.56884	-74.02643	60
Ccollcca	-13.309231	-73.974658	24
Occollo	-13.32891	-74.53499	24
Unión Potrero	-13.464481	-74.4091	60
Catalinayocc	-13.456392	-74.386133	18
Ccechcca	-13.21271	-74.10732	15
Tinte	-13.226064	-74.138547	42
Acco (@acocro)	-13.23196	-74.08893056	18
Yanayacu	-13.192325	-74.293843	15
Nueva Jerusalén	-12.693469	-73.772331	42
Comunpiari	-12.697478	-73.694046	24
Mahuayura	-12.872538	-73.994868	15
Huayao	-12.934127	-73.983741	15
Acco (@Tambo)	-12.92816	-74.027191	15
Sondondo	-14.294781	-73.942169	15
Ishua	-14.249869	-73.955111	15
Chuymay (Pueblo Nuevo)	-13.578413	-74.445709	15
Chacabamba	-13.6002	-74.51343	15
Cocas	-13.60844	-74.47418	15
Niño Yucay	-13.123592	-74.14954444	30
Muyurina	-13.113533	-74.19235278	15
San Juan de Culluhuancc	-13.175385	-74.416308	30
Qasanqay	-13.27584	-74.38774	60
Cuchoquesera	-13.44951	-74.33265	24
Arizona	-13.31303	-74.33968	15
Niño Jesús de Pajonal	-13.42361	-73.85041	24
Mayabamba	-13.32341	-73.88799	18
Umaro San Antonio	-13.68666	-74.02837	15
Quilla	-13.69275	-74.06047	24
Pampa Cruz	-13.65375556	-74.10371667	18
Incaraccay	-13.561884	-74.162896	15
Cancalla	-13.62894	-74.12445	15
Osno Alta	-12.913652	-74.00337222	24
Aranhuay	-12.69377	-74.29909	60
Marccare	-12.739716	-74.305158	18
Periavente Alta	-12.40794	-73.94006	24
Villa Unión	-12.884153	-73.54786	18
San Agustín (Samugari)	-12.821979	-73.61394	24
Paterine	-12.90185	-73.52975	18
Vista alegre	-13.946	-73.67183	15

Sihui	-13.97494	-73.65755	15
Autama	-14.10687	-73.64697	15
Atihuara	-14.069391	-73.640533	15
Ccayarpachi-Atacocha	-13.05035	-74.32927	60
Santiago de Pischa	-13.06666	-74.30462	18
Santa Rosa de Cochabamba	-13.165261	-74.296875	24
Simpapata	-13.076033	-74.257243	24
Qotopuquio	-13.260459	-73.595943	15
Guayaquil	-12.507331	-73.915272	24
Chaupimayo	-12.804849	-73.665022	24
Gloria Amargura	-12.416796	-73.97701	18
Chihuillo Alto San Antonio	-12.435175	-73.957242	18
Chongos Carmen Pampa	-12.457407	-74.018928	18
Buena Gana	-12.901024	-73.601268	18
Quillabamba	-13.012728	-73.486061	24
Arwimayo (Arhuimayo)	-12.961897	-73.528506	18
Amargura	-12.98855	-73.52756	18
Chonta	-13.97416	-73.8626	15
Marccaraccay	-12.69153	-74.23898	15
Ayahuanco	-12.63159	-74.29298	15
Chacari Antiguo	-13.5503	-73.86465	15
Santa Rosa de Gochamarca	-13.58699	-73.83486	24
Chumbes	-13.427899	-73.906346	24
Cceraocro	-13.34583	-73.90002	24
Satica	-13.43425	-74.26682	18
Pampa coris	-12.518063	-74.374007	18
Chachaspata	-12.4207	-74.46072	15
Rinconada baja	-12.72761	-73.67198	18
Pichiwilca	-12.79161	-73.641445	60
San Miguel de Motoy	-13.248919	-74.194004	15
San Francisco de Cuchic	-13.224117	-74.006076	15
Huaychao	-13.169966	-74.036386	18
Qochacc	-12.58464	-74.3642	30
Huayllabamba	-13.610436	-74.271031	18
Chacolla	-13.613404	-74.29237	18
Taca	-13.956452	-73.918614	24
Piriato	-12.771828	-73.637489	18
Huayllani	-14.967557	-73.811564	15
Putica	-13.59896	-74.13611	24
Huahuapuquio	-13.599229	-74.144413	18
Tintay	-14.07611	-73.86271944	42
Muruncancha	-13.083255	-74.167722	15
Suso	-13.089651	-74.13352	18
San Antonio de Cullucha	-12.878002	-74.222233	30
Acos	-15.123169	-73.77345	15
Moyobamba	-14.3687	-73.89585	15
Ninabamba	-13.090956	-73.913969	24
Magnupampa	-13.107902	-73.908084	24
Pinahua	-15.16972	-73.79234	24
Monterrico	-12.826872	-73.594178	30
Auquilla	-13.63255	-74.343949	15
Huambo	-13.67813	-74.1953	24
San Juan de Tambobamba	-13.16706	-74.11506	15
Pomapuquio	-13.25769	-74.05394	18
Pampa Miraflores	-12.720742	-73.723741	18
Miraflores	-12.875701	-73.616474	18
Isoccasa	-12.887593	-73.615515	30

Paccha	-13.208716	-74.407445	18
Ccoñani	-13.260213	-74.46733	18
Guayacondo	-13.161468	-74.169893	24
San Sebastián de Sacraca	-15.21452	-73.3445	15
Mirmaca Nuevo (hda. Porvenir)	-15.247	-73.348	15
Carhuanilla	-15.145	-73.739	15
Tupac Amaru de Patibamba	-13.063315	-73.939701	24
Cusibamba	-13.4305584	-74.2378354	15
Patachana	-14.257211	-74.826489	15
San Antonio de Cocha	-13.76456	-73.83548	24
Pongococha	-13.79969	-73.84599	60
Llusita	-13.69473	-74.12022	24
Circamarca	-13.72751	-74.12627	42
San Juan de Uchuyri	-13.59817	-74.34118	15
Cancha Cancha	-13.60729	-74.3119	15

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

Del caso analizado en el capítulo 3 el software pathloss 5.1 nos entrega los resultados mostrados en la tabla 14.

Tabla 14

Parámetros del enlace proporcionados por Pathloss 5.1

	Site A	Site B
	URPAY BAJO	NIÑO YUCAY
Latitud	-13.139861	-13.123639
Longitud	-74.07838	-74.14955
Azimut	103.1°	283.08°
Tilt	3.86°	-3.91°
Elevación	2556 m	3079.24 m
Altura de antena	14 m	29 m
Frecuencia	10GHz	
Factor K	1.33	
Distancia	3950 m	
Porcentaje libre de la primera zona de Fresnel	100%	

Estos valores teóricos como el tilt, azimut y altura de antena serán útiles para una correcta instalación por parte de los técnicos en campo.

Como análisis adicional en el caso de las alturas de torre mostradas en el capítulo anterior es notoria una tendencia a construir un mayor número de las torres de menor tamaño, tal como se aprecia en la tabla 15.

Tabla 15

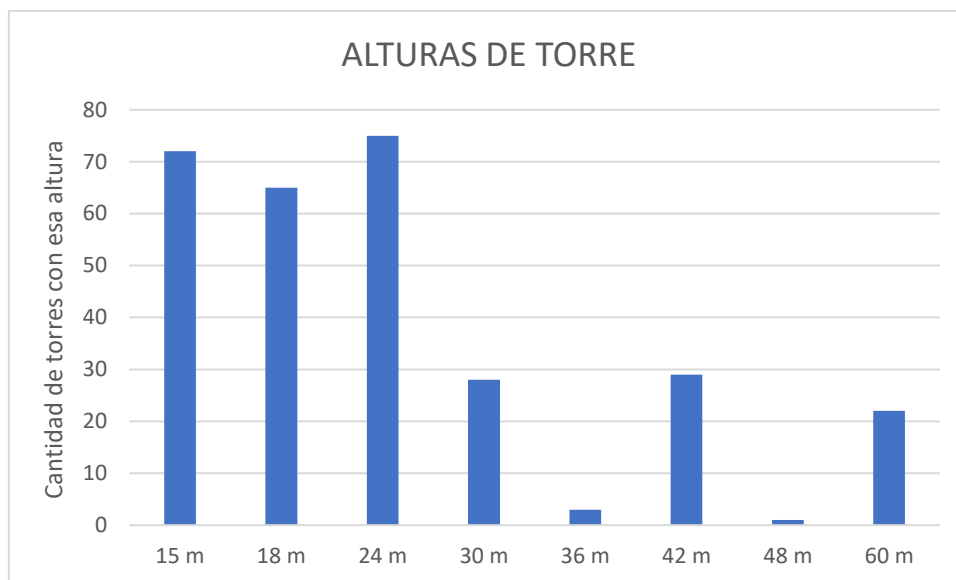
Cantidad de torres del proyecto, de acuerdo a su altura.

Altura de la torre	Cantidad de torres con esa altura
15 m	72
18 m	65
24 m	75
30 m	28
36 m	3
42 m	29
48 m	1
60 m	22

La figura 72 muestra un gráfico de barras con el resumen de la cantidad de torres del proyecto, de acuerdo a su altura.

Figura 72

Resumen de cantidad de torres del proyecto, de acuerdo a su altura.



Esta tendencia no es una coincidencia, ya que la diferencia de costos al adquirir una torre de mayor tamaño es considerable. Mientras que una torre de 36 m de altura tiene un costo aproximado de S/ 75 000, una de 54 m de altura tiene un costo aproximado de S/110 000 (valor ajustado a la fecha de las adquisiciones de este proyecto), este criterio, al igual que el de poder abarcar más de una localidad con una sola torre, es fundamental para poder minimizar los costos del proyecto.

Conclusiones

- Se realizó el diagrama de un enlace y se analizó a detalle.
- Se ingresó en el software Pathloss 5.1 las coordenadas de los puntos, el porcentaje de la zona de Fresnel a asegurar, el factor k, la frecuencia, además de la claridad con la cual se desea trabajar.
- Se obtuvo los valores de distancia y perfil de ruta empleando este software, además de ello se verificó la coincidencia con el caso real para los puntos en los cuales se debe realizar el corte de las obstrucciones.

Recomendaciones

Se recomienda realizar un análisis de ruta de todos los enlaces a instalar, ya que ello brinda información real de campo acerca de los obstáculos del camino. En el ejemplo que se ha analizado líneas arriba se confía únicamente en el análisis del software sin información real de campo, lo que deriva en el error mostrado.

A favor del desarrollo del proyecto, el dueño de los árboles aceptó que se realice el corte de estos; sin embargo, el ingeniero de diseño no puede ampararse siempre en ello, debido a que existe un gran número de casos en los cuales el propietario no otorga su consentimiento para realizar el corte. Un caso más complicado puede surgir si en lugar de árboles las obstrucciones presentadas fueran casas o edificios.

Con respecto a lo visto previamente en este trabajo, se recomienda también ser muy cuidadoso al considerar las alturas de torre. En el capítulo anterior se puede apreciar la búsqueda de las menores alturas de torre por el beneficio económico que representan, sin embargo, también se puede apreciar en el caso estudiado en el capítulo 3 y el cómo este afán por buscar la mínima altura de torre nos lleva al error si no se considera también el cálculo adecuado de dicha altura con el fin de poder instalar correctamente el enlace, es decir, obtener línea de vista y por ende un nivel de potencia de recepción adecuado, tanto para el enlace PTP como PTMP por medio de la altura adecuada para dicha torre.

De no ser cuidadoso con los cálculos y criterios realizados, este supuesto beneficio económico al disminuir la altura de la torre termina convirtiéndose en un gasto adicional considerable que se multiplicará por la cantidad de casos no analizados correctamente, tal como el ejemplo mostrado en el capítulo 3 para el enlace URPAY BAJO - NIÑO YUCAY.

Referencias bibliográficas

- Alarcón, O. y Chicoma, P. (2023). *Diseño de una red inalámbrica en la zona rural de Santa Bárbara*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. Repositorio Upagu. <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/2911/Tesis%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, J. y Gutiérrez, A. (2022). *Análisis de Rayo Reflejado para la Identificación de Alturas de Antenas Asociadas a Menor Fluctuación de Potencia Recibida en Radioenlaces de Acceso Rural del Departamento de Huancavelica - Perú, 2019*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio UPAO. https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12759/8905/REP_JUAN.D%c3%8dAZ_ANDREA.GUTIERREZ_ANALISIS.DE.RAYO.REFLEJADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García, N. M. (2023). *Diseño de un operador inalámbrico de acceso a internet para zonas rurales con servicio de seguridad IoT*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Digital de la Universidad Politécnica de Cartagena. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/12679/Memoria.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Huidobro Moya, J. M. (2012) *Comunicaciones móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE*. Grupo Editorial RA-MA
- Huidobro Moya, J. M. (2012) *Manual de Telecomunicaciones*. Grupo Editorial RA-MA
- Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI (2015, junio). 74 de cada 100 hogares del área rural cuentan con telefonía móvil. [inei.gob.pe. https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/74-de-cada-100-hogares-del-area-rural-cuentan-con-telefonía-movil-8479/](https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/74-de-cada-100-hogares-del-area-rural-cuentan-con-telefonía-movil-8479/)

- Le Leivre (2015). *mm Wave Link Budget Calculator*. Le Leivre.com.
https://leleivre.com/rf_mmwavelink.html
- Lehpamer, H. (2010). *Microwave Transmission Networks: Planning, Design, and Deployment*. The McGraw-Hill Companies
- Manning, T. (2009). *Microwave Radio Transmission Design Guide*. Artech House
- Martos, R., Angel H.A., Serrán, V. (2023, octubre). ¿En qué consiste el Rain Fade y cómo afecta al diseño de enlaces de microondas? Borrowbits.com.
<https://borrowbits.com/2015/08/en-que-consiste-el-rain-fade-y-como-afecta-al-diseno-de-radioenlaces/>
- Molina, F. D. (2022). Radioenlace en banda libre 5ghz para proveer de internet a las cabañas de las lagunas de Mojanda. [Tesis de maestría, Universidad Israel].
 Repositorio Digital Universidad Israel.
<https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3381>
- NASA (2015, diciembre). Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). NASA Earthdata.
<https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm>
- Nicola, J. J. y Sánchez, J. (2019). *Análisis Comparativo Técnico-Económico de Tecnologías de Acceso para Proveer Servicios de Internet en Poblaciones Rurales en la Costa Ecuatoriana* [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
 Repositorio DSPACE.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/47762/1/D-CD106693.pdf>
- Ookla (2022). *Speedtest Global Index*. Speedtest. <https://www.speedtest.net/global-index/peru>
- Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones Osiptel (2020) Retos para cerrar la brecha digital en el Perú.
<https://www.osiptel.gob.pe/media/uaxgb32q/ppt-retos-cerrar-brechadigital.pdf>
- Peralta, F. (2019). *Desempeño en Redes Wireless para Zonas Rurales*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio de la Universidad Nacional del Callao.

http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4483/Frans_Peralta_10-01-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Programa Nacional de Telecomunicaciones Pronatel (2024). Conecta Ayacucho. Programa Regional de Banda Ancha. Pronatel. <https://fitelconectaayacucho.pe>

PROINVERSIÓN (2015, diciembre). Anexo N° 8-B De las bases Especificaciones técnicas: Red de acceso. PROINVERSION. https://www.investinperu.pe/RepositorioAPS0/0/2/JER/PC_PROYECTOAYACUCHO/ANEXO_8_B_BASES_AYACUCHO.pdf

Rodríguez, A. D. (2023). *Propuesta para la Conectividad Móvil Celular en Zonas Rurales de Colombia en Redes de Acceso 4G y 5G*. [Tesis de maestría, Universidad Santo Tomas]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/52281/2023andresrodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ruiz, C. A., Arévalo, D. P., Rivera, D. X. (2022). *Estudio de la factibilidad técnica de la implementación de la tecnología TVWS en las instituciones educativas rurales en el departamento de Cundinamarca*. [Trabajo de bachiller, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/44010/2022dianaarevalo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez, J. (2021). *Propuesta de Diseño de una Red de Transporte de Microondas para mejorar la capacidad de los Radioenlaces de un Operador Móvil en la Zona del Vraem*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio UNTELS. <https://repositorio.untels.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/123456789/757/SANCHEZ%20PAIPAY%2C%20JONATHAN%20JOSUE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Segura Navarro, A., Tébar Martínez, E. (2003) *Tecnología de las comunicaciones móviles*. Universidad Miguel Hernández

- Sisodia, M. L., Laxmi Gupta, V. (2007). *Microwaves : Introduction to circuits, devices and antennas*. New Age International
- Steer, M. (2019). *Microwave and RF Design: Radio Systems*. North Carolina State University Libraries
- Tarazona, L. (2018). *Simulación de una Transmisión Adaptativa para enlaces de Microondas en la Selva Peruana*. [Tesis de bachiller, Universidad Católica San Pablo]. Repositorio de la Universidad Católica San Pablo. <https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/6c753aff-2b2c-44c5-bc8d-234bb21d081e/content>
- Tomasi, W. (2003) *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Pearson Education

Anexos

Anexo 1: Listado de localidades del proyecto	1
Anexo 2: Pasos requeridos para implementar una red de microondas.....	8
Anexo 3: Recomendaciones adicionales.....	9

Anexo 1

Listado de localidades del proyecto

La tabla muestra el listado de localidades beneficiarias del proyecto.

Listado de localidades beneficiarias del proyecto.

Nro	PROVINCIA	DISTRITO	LOCALIDAD	NÚMERO DE ENTIDADES PÚBLICAS BENEFICIARIAS				FUENTE
				LOCALES ESCOLARES	ESTABLECIMIENTOS DE SALUD	CENTROS POLICIALES	OTRAS ENTIDADES PÚBLICAS	
1	CANGALLO	CANGALLO	CHICHUCANCHA	1	1	0	0	CAMPO
2	CANGALLO	CANGALLO	HUAHUAPUQUIO	1	1	0	0	CAMPO
3	CANGALLO	CANGALLO	HUANCARUCMA	0	1	0	0	CAMPO
4	CANGALLO	CANGALLO	INCARACCAY	2	0	0	0	CAMPO
5	CANGALLO	CANGALLO	PAMPA CRUZ	2	0	0	0	CAMPO
6	CANGALLO	CANGALLO	PUTICA	1	1	0	0	CAMPO
7	CANGALLO	CANGALLO	TUCSEN	1	0	0	0	CAMPO
8	CANGALLO	CHUSCHI	CANCHA CANCHA	3	1	0	0	CAMPO
9	CANGALLO	CHUSCHI	CHACOLLA	2	1	0	0	CAMPO
10	CANGALLO	CHUSCHI	CHUSCHI	3	1	1	0	INEI 2007
11	CANGALLO	CHUSCHI	CUCHOQUESERA	1	1	0	0	INEI 2007
12	CANGALLO	CHUSCHI	PUNCUPATA	1	1	0	0	CAMPO
13	CANGALLO	CHUSCHI	QUISPILLACCTA	2	0	0	0	CAMPO
14	CANGALLO	CHUSCHI	SAN JUAN DE UCHUYRI	1	0	0	0	CAMPO
15	CANGALLO	CHUSCHI	UNION POTRERO	1	0	0	0	CAMPO
16	CANGALLO	LOS MOROCHUCOS	CUSIBAMBA	1	0	0	0	CAMPO
17	CANGALLO	LOS MOROCHUCOS	HUALCHANCCA	2	0	0	0	CAMPO
18	CANGALLO	LOS MOROCHUCOS	LLUMCHICANCHA CHANQUIL	3	1	0	0	CAMPO
19	CANGALLO	LOS MOROCHUCOS	PAMPA CANGALLO	3	2	0	0	INEI 2007
20	CANGALLO	MARIA PARADO DE BELLIDO	POMABAMBA	2	1	0	0	INEI 2007
21	CANGALLO	PARAS	PARAS	2	1	1	0	INEI 2007
22	CANGALLO	TOTOS	CHUYMAY (PUEBLO NUEVO)	2	1	0	0	CAMPO
23	CANGALLO	TOTOS	LLOCCLLASCCA ALTA	1	0	0	0	CAMPO
24	CANGALLO	TOTOS	RAMON CASTILLA	2	0	0	0	CAMPO
25	CANGALLO	TOTOS	TOTOS	2	1	0	0	INEI 2007
26	HUAMANGA	ACOCRO	ACOCRO	2	1	0	0	INEI 2007
27	HUAMANGA	ACOCRO	CARHUASCHOQUE	1	0	0	0	CAMPO
28	HUAMANGA	ACOCRO	CCOLLCCA	0	1	0	0	CAMPO
29	HUAMANGA	ACOCRO	MATARA	1	0	0	0	CAMPO
30	HUAMANGA	ACOCRO	PAMPAMARCA BAJA	0	1	0	0	CAMPO
31	HUAMANGA	ACOCRO	POMAPUQUIO	1	0	0	0	CAMPO
32	HUAMANGA	ACOCRO	SAN FRANCISCO DE CUCHICANCHA	1	0	0	0	CAMPO
33	HUAMANGA	ACOCRO	SAN JOSE DE PARCCAHUANCA	1	0	0	0	CAMPO
34	HUAMANGA	ACOCRO	SECCELAMBRAS	0	1	0	0	CAMPO
35	HUAMANGA	ACOCRO	YANAHUANCO ALTO	1	0	0	0	CAMPO
36	HUAMANGA	ACOS VINCHOS	ACOS VINCHOS	2	1	1	0	INEI 2007
37	HUAMANGA	ACOS VINCHOS	HUAYCHAO	2	1	0	0	CAMPO
38	HUAMANGA	ACOS VINCHOS	HUINCHOPATA	1	0	0	0	CAMPO
39	HUAMANGA	ACOS VINCHOS	URPAY BAJO	3	0	0	0	CAMPO
40	HUAMANGA	AYACUCHO	GLORIETA	0	1	0	0	CAMPO
41	HUAMANGA	AYACUCHO	MISQUIPUQUIO	0	1	0	0	CAMPO
42	HUAMANGA	AYACUCHO	MOLLEPATA	0	2	0	0	CAMPO
43	HUAMANGA	AYACUCHO	RANCHA CHANCHOCOCHA	2	1	0	0	CAMPO
44	HUAMANGA	AYACUCHO	SANTIAGO	0	1	0	0	CAMPO
45	HUAMANGA	AYACUCHO	YANAMILLA	0	1	0	0	CAMPO
46	HUAMANGA	CARMEN ALTO	ACCOERA	0	1	0	0	CAMPO
47	HUAMANGA	CARMEN ALTO	YANAMA	2	0	0	0	CAMPO
48	HUAMANGA	CHIARA	CHANCHAYLLO	1	0	0	0	CAMPO

49	HUAMANGA	CHIARA	CHIARA	2	1	0	0	INEI 2007
50	HUAMANGA	CHIARA	LLACHOCCMAYO	0	1	0	0	CAMPO
51	HUAMANGA	CHIARA	MANALLASACC	2	1	0	0	CAMPO
52	HUAMANGA	CHIARA	QUISHUARCANCHA	1	0	0	0	CAMPO
53	HUAMANGA	CHIARA	SACHABAMBA	2	1	0	0	CAMPO
54	HUAMANGA	OCROS	CCERAOCRO	1	1	0	0	CAMPO
55	HUAMANGA	OCROS	CHUMBES	2	1	0	0	CAMPO
56	HUAMANGA	OCROS	MAYABAMBA	2	0	0	0	INEI 2007
57	HUAMANGA	OCROS	NIÑO JESUS DE PAJONAL	1	1	0	0	INEI 2007
58	HUAMANGA	OCROS	OCROS	5	1	1	0	INEI 2007
59	HUAMANGA	OCROS	SAN JOSE DE NINABAMBA	1	1	0	0	INEI 2007
60	HUAMANGA	QUINUA	QUINUA	1	1	1	0	INEI 2007
61	HUAMANGA	SAN JOSE DE TICLLAS	CCACHUNA	0	1	0	0	CAMPO
62	HUAMANGA	SAN JOSE DE TICLLAS	SAN MARTIN DE PARAISO	2	0	0	0	CAMPO
63	HUAMANGA	SAN JOSE DE TICLLAS	SIMPAPATA	0	1	0	0	CAMPO
64	HUAMANGA	SAN JOSE DE TICLLAS	TICLLAS	2	1	0	0	INEI 2007
65	HUAMANGA	SANTIAGO DE PISCHA	ATACOCHA	0	1	0	0	CAMPO
66	HUAMANGA	SANTIAGO DE PISCHA	CCAYARPACHI	1	0	0	0	CAMPO
67	HUAMANGA	SANTIAGO DE PISCHA	LARAMATE	0	1	0	0	CAMPO
68	HUAMANGA	SANTIAGO DE PISCHA	SAN PEDRO DE CACHI	1	1	0	0	INEI 2007
69	HUAMANGA	SANTIAGO DE PISCHA	SANTIAGO DE PISCHA	0	1	0	0	CAMPO
70	HUAMANGA	SOCOS	ACCO CAPILLAPATA	1	0	0	0	CAMPO
71	HUAMANGA	SOCOS	LA MERCED LOYANTA	1	1	0	0	CAMPO
72	HUAMANGA	SOCOS	MANZANAYOCC	2	1	0	0	CAMPO
73	HUAMANGA	SOCOS	MAUCALLACTA	1	0	0	0	CAMPO
74	HUAMANGA	SOCOS	SAN RAFAEL	2	1	0	0	CAMPO
75	HUAMANGA	SOCOS	SANTA ROSA DE COCHABAMBA	1	1	0	0	CAMPO
76	HUAMANGA	SOCOS	SAPSI	1	0	0	0	CAMPO
77	HUAMANGA	SOCOS	SOCOS	4	1	0	0	INEI 2007
78	HUAMANGA	SOCOS	YANAYACU	1	0	0	0	CAMPO
79	HUAMANGA	TAMBILLO	CONDORAY	1	0	0	0	CAMPO
80	HUAMANGA	TAMBILLO	GUAYACONDO	0	1	0	0	CAMPO
81	HUAMANGA	TAMBILLO	MUYURINA	0	1	0	0	CAMPO
82	HUAMANGA	TAMBILLO	NIÑO YUCAY	0	1	0	0	CAMPO
83	HUAMANGA	TAMBILLO	TAMBILLO	2	1	0	0	INEI 2007
84	HUAMANGA	VINCHOS	ARIZONA	2	1	0	0	CAMPO
85	HUAMANGA	VINCHOS	CCAUÑAYOQ	0	1	0	0	CAMPO
86	HUAMANGA	VINCHOS	CCOÑANI	1	0	0	0	INEI 2007
87	HUAMANGA	VINCHOS	CORAZON DE ÑAUPAS	2	0	0	0	INEI 2007
88	HUAMANGA	VINCHOS	INGAHUASI	1	0	0	0	CAMPO
89	HUAMANGA	VINCHOS	PACCHA	2	1	0	0	CAMPO
90	HUAMANGA	VINCHOS	PUTACCA	2	1	0	0	CAMPO
91	HUAMANGA	VINCHOS	QASANQAY	2	0	0	0	CAMPO
92	HUAMANGA	VINCHOS	SAN JUAN DE CULLUHUANCCA	0	1	0	0	CAMPO
93	HUAMANGA	VINCHOS	SAN MARTIN DE CHAKI QPAMPA	1	0	0	0	CAMPO
94	HUAMANGA	VINCHOS	VINCHOS	4	1	1	0	INEI 2007
95	HUANCA SANCOS	CARAPO	CARAPO	3	1	0	0	INEI 2007
96	HUANCA SANCOS	CARAPO	PORTA CRUZ	2	1	0	0	CAMPO
97	HUANCA SANCOS	SACSAMARCA	PALLCCA	2	1	0	0	CAMPO
98	HUANCA SANCOS	SACSAMARCA	SACSAMARCA	3	1	0	0	CAMPO
99	HUANCA SANCOS	SANTIAGO DE LUCANAMARCA	SAN JOSE DE HUARCAYA	2	1	0	0	CAMPO
100	HUANCA SANCOS	SANTIAGO DE LUCANAMARCA	SANTA ROSA DE CCOCHA	1	1	0	0	INEI 2007
101	HUANCA SANCOS	SANTIAGO DE LUCANAMARCA	SANTIAGO DE LUCANAMARCA	2	1	0	0	INEI 2007
102	HUANTA	AYAHUANCO	AYAHUANCO	1	0	0	0	INEI 2007
103	HUANTA	AYAHUANCO	MAYHUAVILCA	0	1	0	0	CAMPO
104	HUANTA	AYAHUANCO	VIRACOCHAN	2	1	0	0	CAMPO
105	HUANTA	HUAMANGUILLA	HUAMANGUILLA	4	1	1	0	INEI 2007
106	HUANTA	HUAMANGUILLA	QUITURARA	1	1	0	0	CAMPO

107	HUANTA	HUANTA	CCACCAS	1	1	0	0	CAMPO
108	HUANTA	HUANTA	HUANCAYOCC	0	1	0	0	CAMPO
109	HUANTA	HUANTA	PALMAYOCC	1	0	0	0	CAMPO
110	HUANTA	HUANTA	PAQUECC	0	0	0	1	CAMPO
111	HUANTA	HUANTA	QUINRAPA	0	1	0	0	CAMPO
112	HUANTA	HUANTA	SECCLLAS	1	0	0	0	CAMPO
113	HUANTA	IGUAIN	ALLCUHUILLCA	0	1	0	0	CAMPO
114	HUANTA	IGUAIN	CANGARI	1	0	0	0	CAMPO
115	HUANTA	IGUAIN	HUAYHUAS	1	0	0	0	CAMPO
116	HUANTA	LLOCHEGUA	CANAYRE	3	1	0	0	INEI 2007
117	HUANTA	LLOCHEGUA	GLORIA AMARGURA	1	0	0	0	CAMPO
118	HUANTA	LLOCHEGUA	LLOCHEGUA	3	2	0	0	INEI 2007
119	HUANTA	LLOCHEGUA	PUERTO AMARGURA	1	1	0	0	CAMPO
120	HUANTA	LURICOCHA	AZANGARO	0	1	0	0	CAMPO
121	HUANTA	SANTILLANA	ARANHUAY	2	1	0	0	CAMPO
122	HUANTA	SANTILLANA	MARCCARACCAY	2	1	0	0	CAMPO
123	HUANTA	SANTILLANA	MARCCARE	1	0	0	0	CAMPO
124	HUANTA	SANTILLANA	SAN JOSE DE SECCE	3	2	0	0	INEI 2007
125	HUANTA	SIVIA	CHUVIVANA	1	1	0	0	CAMPO
126	HUANTA	SIVIA	SAN JOSE	1	0	0	0	CAMPO
127	HUANTA	SIVIA	SAN JUAN DE MATUCANA	1	1	0	0	CAMPO
128	HUANTA	SIVIA	SIVIA	4	1	1	0	INEI 2007
129	HUANTA	SIVIA	TRIBOLINE	0	1	0	0	CAMPO
130	LA MAR	ANCO	AMARGURA	0	1	0	0	CAMPO
131	LA MAR	ANCO	ANCHIHUAY	3	0	0	0	CAMPO
132	LA MAR	ANCO	ANYAY	1	0	0	0	CAMPO
133	LA MAR	ANCO	ARWIMAYO (ARHUIMAYO)	2	1	0	0	CAMPO
134	LA MAR	ANCO	BUENA GANA	1	1	0	0	CAMPO
135	LA MAR	ANCO	CHIQUINTIRCA	1	1	0	0	INEI 2007
136	LA MAR	ANCO	ISOCCASA	2	0	0	0	CAMPO
137	LA MAR	ANCO	MIRAFLORES	1	0	0	0	CAMPO
138	LA MAR	ANCO	QUILLABAMBA	1	0	0	0	CAMPO
139	LA MAR	ANCO	SACHARACCAY	2	1	0	0	CAMPO
140	LA MAR	ANCO	VILLA UNION	1	0	0	0	CAMPO
141	LA MAR	AYNA	AURORA	1	0	0	0	CAMPO
142	LA MAR	AYNA	ROSARIO	3	1	0	0	CAMPO
143	LA MAR	AYNA	SAN FRANCISCO	3	1	1	0	INEI 2007
144	LA MAR	AYNA	SAN MARTIN	1	0	0	0	CAMPO
145	LA MAR	CHILCAS	CHILCAS	2	1	0	0	CAMPO
146	LA MAR	CHILCAS	ESCCANA	1	1	0	0	CAMPO
147	LA MAR	CHILCAS	RUMI RUMI	1	0	0	0	CAMPO
148	LA MAR	CHUNGUI	CHUNGUI	2	1	0	0	INEI 2007
149	LA MAR	CHUNGUI	QARIN	1	1	0	0	CAMPO
150	LA MAR	CHUNGUI	QOTOPUQUIO	1	0	0	0	CAMPO
151	LA MAR	LUIS CARRANZA	ASNACPAMPA	1	0	0	0	CAMPO
152	LA MAR	LUIS CARRANZA	PAMPAS	1	1	0	0	INEI 2007
153	LA MAR	SAMUGARI	CANAL	2	0	0	0	CAMPO
154	LA MAR	SAMUGARI	MONTERRICO	2	1	0	0	CAMPO
155	LA MAR	SAMUGARI	PALMAPAMPA	3	0	0	0	INEI 2010
156	LA MAR	SAMUGARI	PAQUICHARI	1	0	0	0	CAMPO
157	LA MAR	SAMUGARI	PICHIWILCA	3	1	0	0	CAMPO
158	LA MAR	SAMUGARI	PIRIATO	1	0	0	0	CAMPO
159	LA MAR	SAMUGARI	SAN AGUSTIN	1	0	0	0	CAMPO
160	LA MAR	SAMUGARI	SANABAMBA	1	0	0	0	CAMPO
161	LA MAR	SAN MIGUEL	LLAUSA	1	0	0	0	CAMPO
162	LA MAR	SAN MIGUEL	NINABAMBA	3	1	0	0	CAMPO
163	LA MAR	SAN MIGUEL	TUPAC AMARU DE PATIBAMBA	0	1	0	0	CAMPO
164	LA MAR	SANTA ROSA	COMUNPIARI	1	1	0	0	CAMPO
165	LA MAR	SANTA ROSA	GLORIA PATA	1	0	0	0	CAMPO
166	LA MAR	SANTA ROSA	MARINTARI	2	1	0	0	CAMPO
167	LA MAR	SANTA ROSA	NUEVA JERUSALEN	0	1	0	0	CAMPO
168	LA MAR	SANTA ROSA	PAMPA MIRAFLORES	1	0	0	0	CAMPO

169	LA MAR	SANTA ROSA	RINCONADA BAJA	2	0	0	0	CAMPO
170	LA MAR	SANTA ROSA	SAN AGUSTIN	1	0	0	0	CAMPO
171	LA MAR	SANTA ROSA	SANTA ROSA	3	1	0	0	INEI 2007
172	LA MAR	SANTA ROSA	SIMARIBA	1	1	0	0	CAMPO
173	LA MAR	TAMBO	ACCO	1	0	0	0	CAMPO
174	LA MAR	TAMBO	CCOCHCCA	1	0	0	0	CAMPO
175	LA MAR	TAMBO	CHALLHUAMAYO BAJA	2	1	0	0	INEI 2007
176	LA MAR	TAMBO	HUAYAO	2	0	0	0	CAMPO
177	LA MAR	TAMBO	MAHUAYURA	1	0	0	0	CAMPO
178	LA MAR	TAMBO	OSNO ALTA	1	1	0	0	CAMPO
179	LA MAR	TAMBO	QARHUAPAMPA	2	1	0	0	CAMPO
180	LA MAR	TAMBO	TAMBO	5	1	2	0	CAMPO
181	LA MAR	TAMBO	VICOS	1	1	0	0	CAMPO
182	LA MAR	TAMBO	VISTA ALEGRE	2	0	0	0	CAMPO
183	LUCANAS	AUCARA	AUCARA	4	1	1	0	INEI 2007
184	LUCANAS	CABANA	CABANA	2	1	1	0	INEI 2007
185	LUCANAS	CABANA	SONDONDO	0	1	0	0	CAMPO
186	LUCANAS	CARMEN SALCEDO	ANDAMARCA	3	1	1	0	INEI 2007
187	LUCANAS	CHAVIÑA	CHAVIÑA	4	1	0	0	INEI 2007
188	LUCANAS	CHIPAO	CHIPAO	4	1	1	0	INEI 2007
189	LUCANAS	CHIPAO	MOYOBAMBA	1	1	0	0	INEI 2007
190	LUCANAS	HUAC-HUAS	HUAC-HUAS	2	1	0	0	INEI 2007
191	LUCANAS	LARAMATE	LARAMATE	3	1	1	0	INEI 2007
192	LUCANAS	LARAMATE	PATACHANA	1	1	0	0	CAMPO
193	LUCANAS	LEONCIO PRADO	TAMBO QUEMADO	0	1	1	0	INEI 2007
194	LUCANAS	LLAUTA	CARHUACUCHO	0	1	0	0	INEI 2007
195	LUCANAS	LLAUTA	LLAUTA	1	1	0	0	INEI 2007
196	LUCANAS	LLAUTA	PUCARA	0	1	0	0	CAMPO
197	LUCANAS	LUCANAS	LUCANAS	2	1	0	0	INEI 2007
198	LUCANAS	LUCANAS	SANTIAGO DE VADO	1	1	0	0	CAMPO
199	LUCANAS	OCAÑA	OCAÑA	2	1	0	0	INEI 2007
200	LUCANAS	OTOCA	OTOCA	3	1	1	0	INEI 2007
201	LUCANAS	OTOCA	URUIZA	2	1	0	0	INEI 2007
202	LUCANAS	PUQUIO	CHILQUES	0	1	0	0	CAMPO
203	LUCANAS	PUQUIO	PAMPARQUI	2	1	0	0	CAMPO
204	LUCANAS	PUQUIO	SAN ANDRES	1	0	0	0	CAMPO
205	LUCANAS	PUQUIO	SANTA ROSA	1	0	0	0	CAMPO
206	LUCANAS	SAISA	SAISA	1	1	0	0	CAMPO
207	LUCANAS	SAN JUAN	SAN JUAN	1	0	0	0	CAMPO
208	LUCANAS	SAN PEDRO	SAN ANTONIO	1	0	0	0	CAMPO
209	LUCANAS	SAN PEDRO	SAN PEDRO	2	1	0	0	INEI 2007
210	LUCANAS	SAN PEDRO DE PALCO	SAN PEDRO DE PALCO	0	1	0	0	INEI 2007
211	LUCANAS	SANCOS	SANCOS	2	1	0	0	INEI 2007
212	LUCANAS	SANTA ANA DE HUAYCAHUACHO	SANTA ANA DE HUAYCAHUACHO	2	1	0	0	INEI 2007
213	LUCANAS	SANTA LUCIA	SANTA LUCIA	0	1	1	0	INEI 2007
214	PARINACOCHAS	CHUMPI	ACOS	0	1	0	0	CAMPO
215	PARINACOCHAS	CHUMPI	BELLAVISTA	0	1	0	0	CAMPO
216	PARINACOCHAS	CHUMPI	CARHUANILLA	1	1	0	0	CAMPO
217	PARINACOCHAS	CHUMPI	CHUMPI	3	1	0	0	INEI 2007
218	PARINACOCHAS	CORACORA	AYCARA	1	1	0	0	CAMPO
219	PARINACOCHAS	CORACORA	CCASACCAHUA	0	1	0	0	CAMPO
220	PARINACOCHAS	CORACORA	MUCHAPAMPA	1	1	0	0	CAMPO
221	PARINACOCHAS	CORONEL CASTAÑEDA	ANISO	1	1	0	0	INEI 2007
222	PARINACOCHAS	PACAPAUZA	PACAPAUZA	1	1	0	0	INEI 2007
223	PARINACOCHAS	PULLO	PULLO	2	1	0	0	INEI 2007
224	PARINACOCHAS	PULLO	TARCO	1	1	0	0	CAMPO
225	PARINACOCHAS	PUYUSCA	INCUYO	3	1	0	0	INEI 2007
226	PARINACOCHAS	PUYUSCA	SALLASALLA	0	1	0	0	CAMPO
227	PARINACOCHAS	PUYUSCA	YURACCHUASI	0	1	0	0	CAMPO
228	PARINACOCHAS	SAN FRANCISCO DE RAVACAYCO	SAN FRANCISCO DE RAVACAYCO	1	1	0	0	INEI 2007
229	PARINACOCHAS	UPAHUACHO	UPAHUACHO	0	1	0	0	INEI 2007
230	PAUCAR DEL SARA SARA	COLTA	COLTA	1	1	0	0	INEI 2007

231	PAUCAR DEL SARA SARA	CORCULLA	CORCULLA	1	1	0	0	INEI 2007
232	PAUCAR DEL SARA SARA	LAMPA	LAMPA	2	1	0	0	INEI 2007
233	PAUCAR DEL SARA SARA	LAMPA	SAN SEBASTIAN DE SACRACA	3	1	0	0	CAMPO
234	PAUCAR DEL SARA SARA	MARCABAMBA	MARCABAMBA	2	1	0	0	INEI 2007
235	PAUCAR DEL SARA SARA	OYOLO	OYOLO	2	1	0	0	INEI 2007
236	PAUCAR DEL SARA SARA	PARARCA	PARARCA	0	1	0	0	INEI 2007
237	PAUCAR DEL SARA SARA	PAUSA	MIRMACA NUEVO (HDA. PORVENIR)	0	0	0	1	CAMPO
238	PAUCAR DEL SARA SARA	SAN JAVIER DE ALPABAMBA	SAN JAVIER DE ALPABAMBA	0	1	0	0	INEI 2007
239	PAUCAR DEL SARA SARA	SAN JOSE DE USHUA	SAN JOSE DE USHUA	0	1	0	0	INEI 2007
240	PAUCAR DEL SARA SARA	SARA SARA	QUILCATA	2	1	0	0	INEI 2007
241	SUCRE	BELEN	BELEN	1	1	0	0	INEI 2007
242	SUCRE	CHALCOS	CHALCOS	2	1	0	0	INEI 2007
243	SUCRE	CHILCAYOC	CHILCAYOC	1	1	0	0	INEI 2007
244	SUCRE	HUACAÑA	HUACAÑA	2	1	0	0	INEI 2007
245	SUCRE	MORCOLLA	MORCOLLA	2	1	0	0	INEI 2007
246	SUCRE	PAICO	PAICO	3	1	0	0	INEI 2007
247	SUCRE	PAICO	SIHUI	2	1	0	0	CAMPO
248	SUCRE	QUEROBAMBA	CHONTA	0	1	0	0	CAMPO
249	SUCRE	SAN PEDRO DE LARCAY	CHICHA (SAN PABLO DE CHICHA)	1	0	0	0	CAMPO
250	SUCRE	SAN PEDRO DE LARCAY	SAN PEDRO DE LARCAY	2	1	0	0	INEI 2007
251	SUCRE	SAN SALVADOR DE QUIJE	HUAYHUANI	0	1	0	0	CAMPO
252	SUCRE	SAN SALVADOR DE QUIJE	SAN SALVADOR DE QUIJE	2	1	0	0	INEI 2007
253	SUCRE	SANTIAGO DE PAUCARAY	ATIHUARA	0	1	0	0	CAMPO
254	SUCRE	SANTIAGO DE PAUCARAY	AUTAMA	1	1	0	0	CAMPO
255	SUCRE	SANTIAGO DE PAUCARAY	SANTIAGO DE PAUCARAY	1	1	0	0	INEI 2007
256	SUCRE	SORAS	SORAS	3	1	0	0	INEI 2007
257	VICTOR FAJARDO	ALCAMENCA	ALCAMENCA	1	1	0	0	INEI 2007
258	VICTOR FAJARDO	ALCAMENCA	CARAMPA	2	1	0	0	CAMPO
259	VICTOR FAJARDO	ALCAMENCA	HUAMBO	2	1	0	0	CAMPO
260	VICTOR FAJARDO	ALCAMENCA	SAN JUAN DE MIRATA	1	0	0	0	CAMPO
261	VICTOR FAJARDO	APONGO	APONGO	2	1	0	0	INEI 2007
262	VICTOR FAJARDO	ASQUIPATA	ASQUIPATA	0	1	0	0	INEI 2007
263	VICTOR FAJARDO	ASQUIPATA	CHIHUIRE	0	1	0	0	CAMPO
264	VICTOR FAJARDO	ASQUIPATA	MORCOLLA CHICO (MAROCOLLA)	0	1	0	0	CAMPO
265	VICTOR FAJARDO	CANARIA	CANARIA	1	1	2	0	INEI 2007
266	VICTOR FAJARDO	CANARIA	TACA	3	1	0	0	CAMPO
267	VICTOR FAJARDO	CAYARA	CAYARA	2	1	0	0	INEI 2007
268	VICTOR FAJARDO	COLCA	COLCA	2	1	0	0	INEI 2007
269	VICTOR FAJARDO	COLCA	QUILLA	0	1	0	0	CAMPO
270	VICTOR FAJARDO	HUAMANQUIQUIA	HUAMANQUIQUIA	2	1	0	0	INEI 2007
271	VICTOR FAJARDO	HUANCARAYLLA	CIRCAMARCA	2	1	0	0	CAMPO
272	VICTOR FAJARDO	HUANCARAYLLA	HUANCARAYLLA	3	1	0	0	INEI 2007
273	VICTOR FAJARDO	HUANCARAYLLA	LLUSITA	1	1	0	0	CAMPO
274	VICTOR FAJARDO	HUAYA	SAN PEDRO DE HUAYA	4	1	0	0	INEI 2007
275	VICTOR FAJARDO	HUAYA	TIQUIHUA	2	1	0	0	CAMPO
276	VICTOR FAJARDO	SARHUA	AUQUILLA	1	1	0	0	CAMPO
277	VICTOR FAJARDO	SARHUA	CHUQUI HUARCAYA	2	1	0	0	CAMPO
278	VICTOR FAJARDO	SARHUA	SARHUA	3	1	0	0	INEI 2007
279	VICTOR FAJARDO	VILCANCHOS	COCAS	2	1	0	0	CAMPO
280	VICTOR FAJARDO	VILCANCHOS	ESPIE	1	0	0	0	CAMPO
281	VICTOR FAJARDO	VILCANCHOS	VILCANCHOS	2	1	0	0	INEI 2007
282	VILCAS HUAMAN	ACCOMARCA	ACCOMARCA	2	1	0	0	INEI 2007
283	VILCAS HUAMAN	ACCOMARCA	HUARCAS (SAN GABRIEL DE HUARCAS)	0	1	0	0	CAMPO
284	VILCAS HUAMAN	ACCOMARCA	PONGOCOCHA	1	1	0	0	CAMPO
285	VILCAS HUAMAN	CONCEPCION	CONCEPCION	2	1	1	0	INEI 2007
286	VILCAS HUAMAN	CONCEPCION	SAN ANTONIO DE ASTANYA	1	1	0	0	CAMPO

287	VILCAS HUAMAN	HUAMBALPA	HUAMBALPA	2	1	0	0	INEI 2007
288	VILCAS HUAMAN	HUAMBALPA	SAN ANTONIO DE COCHA	2	1	0	0	INEI 2007
289	VILCAS HUAMAN	INDEPENDENCIA	NUEVO PACCHA HUALLHUA	2	0	0	0	INEI 2007
290	VILCAS HUAMAN	SAURAMA	CONTAY	1	0	0	0	CAMPO
291	VILCAS HUAMAN	SAURAMA	INMACULADA HUALLHUA	1	0	0	0	CAMPO
292	VILCAS HUAMAN	VILCAS HUAMAN	COLPAPAMPA	1	1	0	0	CAMPO
293	VILCAS HUAMAN	VILCAS HUAMAN	HUACCAÑA	0	1	0	0	CAMPO
294	VILCAS HUAMAN	VILCAS HUAMAN	POMATAMBO	0	1	0	0	CAMPO
295	VILCAS HUAMAN	VILCAS HUAMAN	SAN FRANCISCO DE PUJAS	2	1	0	0	CAMPO
296	VILCAS HUAMAN	VILCAS HUAMAN	SAN JUAN DE CHITO	1	0	0	0	CAMPO
297	VILCAS HUAMAN	VILCAS HUAMAN	SAN MARTIN DE HERCOMARCA	1	0	0	0	CAMPO
298	VILCAS HUAMAN	VISCHONGO	CHIRIBAMBA	0	1	0	0	CAMPO
299	VILCAS HUAMAN	VISCHONGO	PALLCCACANCHA	1	1	0	0	CAMPO
300	VILCAS HUAMAN	VISCHONGO	PATAHUASI	1	1	0	0	CAMPO
301	VILCAS HUAMAN	VISCHONGO	POMACocha	4	1	0	0	CAMPO
302	VILCAS HUAMAN	VISCHONGO	QOLLPACUCHO	1	0	0	0	CAMPO
303	VILCAS HUAMAN	VISCHONGO	UMARO SAN ANTONIO	1	1	0	0	CAMPO
304	VILCAS HUAMAN	VISCHONGO	VISCHONGO	1	1	0	0	INEI 2007
305	HUANTA	LLOCHEGUA	YARURI	1	1	0	0	CAMPO
306	HUANTA	HUAMANGUILLA	YANAPAMPA	1	0	0	0	CAMPO
307	HUAMANGA	ACOCRO	YANAHUANCO BAJO	1	0	0	0	CAMPO
308	HUANTA	LLOCHEGUA	VILLA MEJORADA	1	1	0	0	CAMPO
309	LUCANAS	SAN PEDRO	VILLA HUAYLONGA	1	0	0	0	CAMPO
310	HUANTA	IGUAIN	VILLA FLORIDA	1	0	0	0	CAMPO
311	LA MAR	SAMUGARI	UNION VISTA ALEGRE	1	0	0	0	CAMPO
312	LUCANAS	SAN PEDRO	UNION PALAYCCA	2	0	0	0	CAMPO
313	HUAMANGA	TAMBILLO	TINTE	1	0	0	0	CAMPO
314	SUCRE	MORCOLLA	TINTAY	2	1	0	0	CAMPO
315	HUAMANGA	SOCOS	TAMBOCUCHO	1	0	0	0	CAMPO
316	HUAMANGA	QUINUA	SUSO	1	1	0	0	CAMPO
317	VILCAS HUAMAN	CONCEPCION	SANTA ROSA DE QOCHAMARCA	1	0	0	0	CAMPO
318	LUCANAS	PUQUIO	SANTA ROSA DE LA VICTORIA	1	0	0	0	CAMPO
319	HUANTA	SANTILLANA	SANTA ROSA DE ARAUJO	2	0	0	0	CAMPO
320	LUCANAS	SAN PEDRO	SAN PABLO	2	1	0	0	CAMPO
321	HUAMANGA	SAN JOSE DE TICLLAS	SAN MARTIN DE PARAISO	2	0	0	0	CAMPO
322	HUAMANGA	TAMBILLO	SAN JUAN DE TAMBOBAMBA	1	0	0	0	CAMPO
323	HUAMANGA	ACOCRO	SAN JUAN DE RAYAN	1	0	0	0	CAMPO
324	HUAMANGA	SAN JOSE DE TICLLAS	SAN JOSE DE Bellavista	0	1	0	0	CAMPO
325	HUANCA SANCOS	SANTIAGO DE LUCANAMARCA	SAN ANTONIO DE JULO	1	0	0	0	CAMPO
326	HUANTA	HUANTA	SAN ANTONIO DE CULLUCHA	2	1	0	0	CAMPO
327	HUAMANGA	VINCHOS	SAN ANTONIO DE CHACLACAYO	1	0	0	0	CAMPO
328	PARINACOCHAS	PULLO	SACSARA	2	0	0	0	CAMPO
329	HUANTA	AYAHUANCO	QOCHACC	1	1	0	0	CAMPO
330	LUCANAS	SAN PEDRO	PUNCUHUACCA	1	0	0	0	CAMPO
331	PARINACOCHAS	CHUMPI	PINAHUA	2	0	0	0	CAMPO
332	HUANTA	LLOCHEGUA	PERIAVENTE ALTA	1	0	0	0	CAMPO
333	LA MAR	ANCO	PATERINE	1	0	0	0	CAMPO
334	HUANTA	AYAHUANCO	PAMPA CORIS	1	0	0	0	CAMPO
335	LA MAR	TAMBO	OSNO ALTA Sale con Vicos	1	1	0	0	CAMPO
336	HUAMANGA	VINCHOS	OCCOLLO	1	0	0	0	CAMPO
337	HUAMANGA	QUINUA	MURUNCANCHA	1	0	0	0	CAMPO
338	LUCANAS	CHIPAO	MAYOBAMBA	1	1	0	0	CAMPO
339	HUAMANGA	QUINUA	MOYA	1	0	0	0	CAMPO
340	LA MAR	SAN MIGUEL	MISQUIBAMBA	1	0	0	0	CAMPO
341	HUANTA	HUANTA	MAYNAY	1	1	0	0	CAMPO
342	LA MAR	SAN MIGUEL	MAGNUPAMPA	1	0	0	0	CAMPO
343	HUANTA	IGUAIN	MACACHACRA	2	0	0	0	CAMPO
344	HUANTA	LURICOCHA	LURICOCHA				0	CAMPO

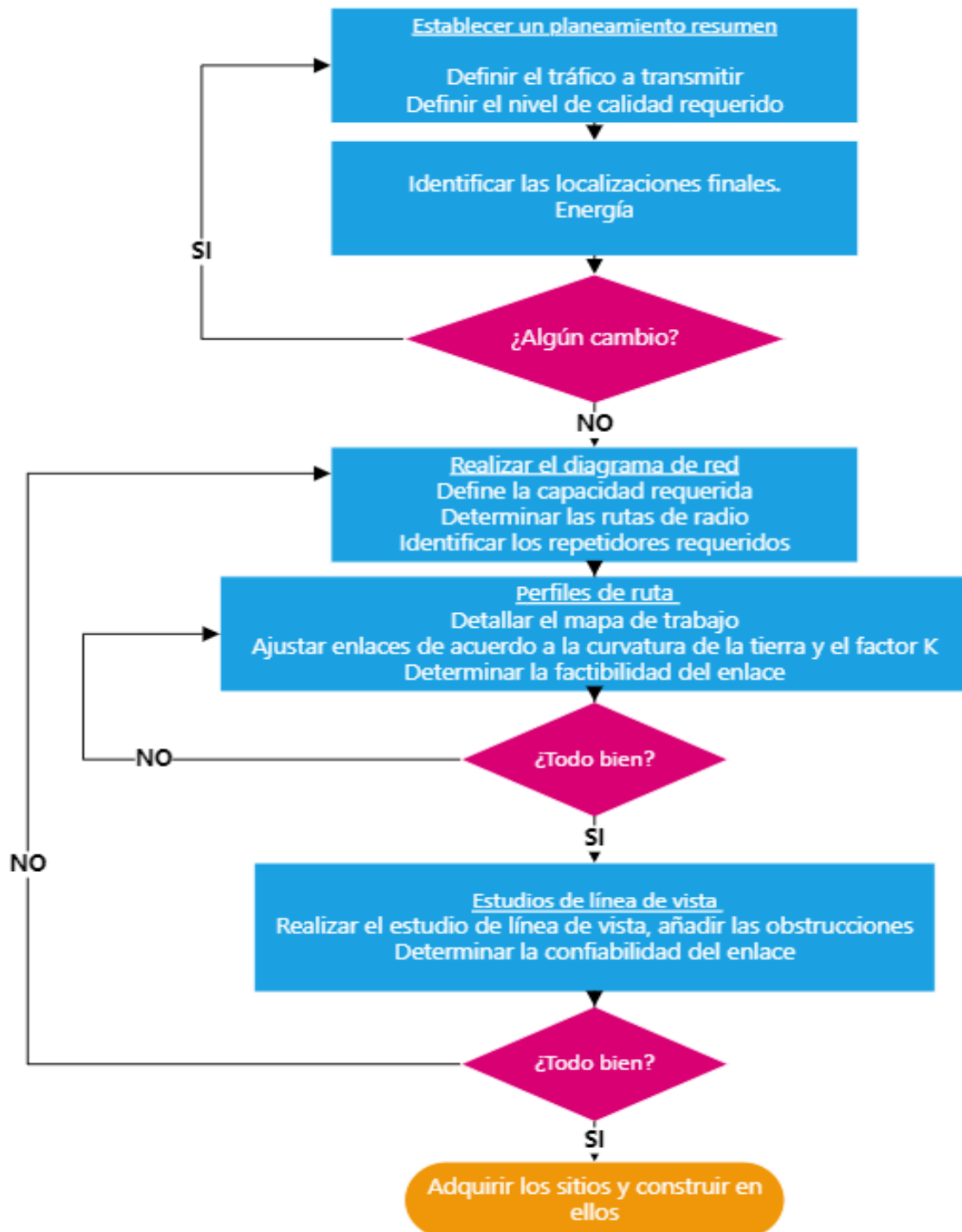
345	CANGALLO	TOTOS	LLOQLLASQA	1	0	0	0	CAMPO
346	HUAMANGA	QUINUA	LLAMAHUILLCA	1	1	0	0	CAMPO
347	CANGALLO	LOS MOROCHUCOS	JUSCAYMARCA	1	0	0	0	CAMPO
348	LUCANAS	AUCARA	ISHUA	1	0	0	0	CAMPO
349	HUANTA	LURICOCHA	INTAY	1	0	0	0	CAMPO
350	HUANTA	HUAMANGUILLA	ICHUPATA	0	1	0	0	CAMPO

Nota:
fuente PROINVERSION (2015, p.32).

Anexo 2

Pasos requeridos para implementar una red de microondas

El siguiente diagrama de flujo muestra de forma resumida y práctica los pasos requeridos para implementar una red de microondas.



Anexo 3

Recomendaciones adicionales

Informar a la población

Concientizar e informar a la población. Se debe brindar más información acerca del proyecto. Actualmente, se observa en los medios mucha publicidad y campañas sobre diversos temas, pero no sobre este proyecto.

Particularmente, se puede escuchar con suerte algún tipo de publicidad radial de unos cuantos segundos o algún video corto en televisión o internet, sin embargo, debe de impulsarse mucho más el esfuerzo por brindar la información adecuada a la población.

El desconocimiento, por parte de la población, sobre este proyecto los limita y los hace vulnerables no solo a dejarse llevar por rumores, planteamientos sin sentido o fundamento concreto acerca de la tecnología, sino también ser manipulados por personas con intereses distintos a los del desarrollo o avance de su comunidad.

La calidad y confiabilidad de los equipos a implementar

Un punto importante por considerar es la calidad de los equipos a implementar. Actualmente se busca desarrollar estos proyectos teniendo como prioridad para la elección de la empresa desarrolladora el costo de estos, punto obviamente fundamental en el diseño de una red, sin embargo, la calidad, confiabilidad y durabilidad de los equipos a implementar es un punto al cual se le debe dar la importancia que realmente requiere.