UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE REDES

Y COMUNICACIONES

**Diseño de una red de banda ancha inalámbrica para las oficinas registrales
del Reniec en Lima Metropolitana**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero de Redes y Comunicaciones

AUTOR

Guzmán Espinoza, Giancarlo (0000-0001-6871-0875)

ASESOR

Gonzales Figueroa, Renatto (0000-0003-3658-3415)

Lima, 22 de marzo de 2019

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, en primer lugar, y a mis padres y a mi hija, por el apoyo incondicional que me brindaron para llegar a esta meta.

RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en el diseño de una red de banda ancha inalámbrica para interconectar las oficinas registrales del Registro Nacional de Identificación y Estado Civil (Reniec) en Lima Metropolitana.

Se diseñó una red de microondas de banda ancha que cumple la regulación del MTC, según el Decreto Supremo n.º 006-2013-MTC, y las normas de las UIT, que son las siguientes: UIT-R P530-12, UIT-R P530-13, UIT-R P.526.9 y UIT-R P.525. Para el dimensionamiento de los enlaces, considerando las coordenadas geográficas de cada una de las oficinas registrales, se realizó la simulación mediante el *software* LINKPlanner y, luego, se analizaron los resultados obtenidos.

Posteriormente, se evaluó el equipamiento de banda ancha para que cumpla los requerimientos técnicos evaluados en el estudio de tráfico y radiopropagación. Se evaluaron dos equipos microondas de marcas diferentes. Se realizó el cálculo del tráfico actual de consumo de ancho de banda en cada oficina registral teniendo en cuenta los servicios de red, tales como telefonía IP, video vigilancia e internet, además de los aplicativos en línea.

Por otro lado, el diseño cumplió un sistema que soporte el tráfico requerido, considerando los diferentes servicios de la institución y un crecimiento del 15 % en cinco años.

Finalmente, se propuso un diseño que permita reducir los costos generados por la interconexión de las oficinas registrales del Reniec, haciendo la evaluación de capex y opex.

Palabras clave: red de banda ancha inalámbrica, recomendaciones de fabricante, regulación del MTC, evaluación de capex y opex.

Design of a wireless broadband network to interconnect the registry offices of the National Registry of Identification and Civil Status (Reniec) in Metropolitan Lima.

ABSTRACT

This project focuses on the design of a wireless broadband network to interconnect the registry offices of the National Registry of Identification and Civil Status (Reniec) in Metropolitan Lima.

A broadband microwave network was designed that complies with the regulation of MTC, according to Supreme Decree No. 006-2013-MTC, and the standards of the UIT, which are the following: UIT-R P530-12, UIT-R P530-13, UIT-R P.526.9 and UIT-R P.525. For the sizing of the links, considering the geographical coordinates of each of the registry offices, the simulation was carried out using the LINKPlanner software and then the results obtained were analyzed.

Subsequently, the broadband equipment was evaluated so that it meets the technical requirements evaluated in the study of traffic and radio propagation. Two microwave equipment of different brands were evaluated. The calculation of the current traffic of bandwidth consumption in each registry office was made taking into account the network services, such as IP telephony, video surveillance and internet, in addition to the online applications.

On the other hand, the design fulfilled a system that supports the required traffic, considering the different services of the institution and a growth of 15% in five years.

Finally, a design was proposed to reduce the costs generated by the interconnection of the Reniec registry offices, making the evaluation of capex and opex.

Keywords: wireless broadband network, manufacturer's recommendations, regulation of MTC, evaluation of capex and opex.

ÍNDICE

Resumen	iii
Abstract	iv
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras	xi
Introducción	xv
1 ASPECTOS INTRODUCTORIOS	17
1.1 Organización objetivo	17
1.2 Campo de acción en la organización objetivo.....	18
1.3 Situación problemática y problemas en el campo de acción.....	20
1.3.1 Situación problemática.....	20
1.3.2 Problemas por resolver	20
1.4 Objetivos general y específicos.....	20
1.4.1 Objetivo general.....	20
1.4.2 Objetivos específicos	21
1.5 Indicadores o mecanismos del logro de los objetivos	22
1.6 Justificación del proyecto.....	24
1.7 Estado del arte	24
1.7.1 Radioenlaces	24
1.7.1.1 Evolución	24
1.7.1.2 Actualidad y tendencias de redes microondas.....	25
1.7.1.3 Tendencia a futuro.....	28
1.7.1.4 Fabricantes	30
1.7.1.5 Banda ancha	30
1.7.1.6 Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).....	31

1.7.1.7	Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF)	33
1.7.1.8	Casos de éxito.....	34
2	MARCO TEÓRICO	35
2.1	Radioenlaces.....	35
2.1.1	Onda electromagnética.....	35
2.1.2	Espectro electromagnético	37
2.1.3	Antenas.....	38
2.1.4	Margen de desvanecimiento.....	38
2.1.5	Zonas Fresnel	40
2.1.6	Ganancia de antenas	41
2.2	Topología e infraestructura básica de redes inalámbricas.....	42
2.2.1	Topologías básicas de red	42
2.2.2	Tipos de enlaces inalámbricos	43
2.3	Diseño de radioenlace punto a punto	45
2.3.1	Línea de vista.....	45
2.3.2	Diseño.....	46
2.3.3	Energía eléctrica	47
2.3.4	Seguridad externa	47
2.3.5	Pararrayos.....	48
2.3.6	Sistema de protección pozo a tierra.....	48
2.4	Normatividad.....	49
2.4.1	Para radioenlaces en Perú y la UIT.....	49
3	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	51
3.1	Presentación del problema.....	51
3.2	Impacto en la organización.....	51

3.2.1 Nivel organizacional	51
3.2.2 Nivel técnico	52
3.2.3 Nivel económico	60
3.3 Detalle infraestructura de red	61
3.4 Matriz de interesados.....	67
3.5 Estructura de descomposición del trabajo	69
3.6 Requerimiento del proyecto	70
4 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	73
4.1 Evaluación del ancho de banda requerido en la red de banda ancha inalámbrica por cada sede considerando los servicios de voz, video y datos	73
4.1.1 Análisis del ancho de banda requerido por el sistema de video vigilancia, con alta calidad de video, considerando la cantidad de cámaras, códec, resolución, tamaño del frame y la velocidad del frame por cámara (FPS). 73	
4.1.2 Análisis del ancho de banda requerido por el sistema de telefonía IP entre las diferentes sedes, considerando la cantidad de anexos telefónicos, así como el códec.	74
4.1.3 Análisis del ancho de banda total requerido por cada oficina registral	75
4.2 Diseño de la red de banda ancha entre las sedes principales y oficinas registrales.....	76
4.2.1 Ubicación de las sedes principales y de las oficinas registrales en Google Earth, considerando sus coordenadas geográficas	76
4.2.2 Evaluación de la línea de vista entre los diferentes locales del Reniec considerando el perfil del terreno y las obstrucciones con LINKPlanner y Google Earth	78
4.2.3 Evaluación técnica de los equipos de radiocomunicaciones, considerando el ancho de banda total requerido por cada oficina registral	88

4.2.4	Cálculos de radiopropagación entre las sedes principales y las oficinales registrales, considerando la regulación del MTC y las recomendaciones de los fabricantes	89
4.2.5	Plan de frecuencia de los enlaces de radio entre las sedes principales y las oficinas registrales	92
4.2.6	Definición de la infraestructura de comunicaciones	93
4.2.7	Arquitectura física de radiocomunicación de las sedes principales y de las oficinas registrales	93
4.3	Análisis económico en capex y opex de la solución propuesta.....	94
5	PRUEBAS, RESULTADOS Y VALIDACIÓN	96
5.1	Evaluación de los resultados en los enlaces de radio considerando el cumplimiento de la regulación del MTC, de las normas de la UIT y de las buenas prácticas de los fabricantes.....	96
5.2	Evaluación de los resultados en los enlaces de radio considerando que el equipamiento de banda cumpla los requerimientos técnicos evaluados en el estudio de tráfico y radiopropagación	119
5.3	Evaluación de los resultados en los enlaces de radio considerando que el sistema soporte el tráfico requerido para la operatividad de los servicios de la institución, con un crecimiento del 15 % en cinco años	121
5.4	Evaluación de los resultados en los enlaces de radio considerando los costos generados por la interconexión con las sedes diferentes de la institución	125
5.5	Conclusiones	127
5.6	Recomendaciones	128
6	REFERENCIAS.....	129
7	GLOSARIO	130
8	SIGLARIO.....	131
9	ANEXOS	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Locales del Reniec	18
Tabla 2. Indicadores o mecanismos del logro de los objetivos.....	22
Tabla 3. Tráfico de acceso a internet por sede	53
Tabla 4. Tráfico generado por el aplicativo AFIS por sede	54
Tabla 5. Tráfico generado por imágenes de captura en vivo	55
Tabla 6. Tráfico generado por imágenes de captura en vivo en cada sede	56
Tabla 7. Consumo de cámara IP por sede considerando calidad media	58
Tabla 8. Consumo de cámara IP por sede considerando calidad alta	59
Tabla 9. Anexos analógicos actuales y anexos IP requeridos	60
Tabla 10. Gastos ocasionados por tipo de línea	61
Tabla 11. Sedes principales y oficinas registrales del Reniec Lima	62
Tabla 12. Sedes principales y oficinas registrales del Reniec Lima	65
Tabla 13. Tabla resumen de objetivos específicos y requerimientos	71
Tabla 14. Cálculo del tráfico total por oficina registral	75
Tabla 15. Coordenadas geográficas de las sedes del Reniec.....	76
Tabla 16. Comparación entre el Radwin 2000 D+ vs. Cambium PTP670.....	88
Tabla 17. <i>Throughput</i> por cada ancho de canal	88
Tabla 18. Disponibilidad del enlace	90
Tabla 19. Disponibilidad del enlace	90
Tabla 20. Plan de frecuencia considerando un ancho de canal de 20 MHz	92
Tabla 21. Plan de frecuencia considerando un ancho de canal de 40 MHz	92
Tabla 22. Equipamiento requerido de la red de microondas.....	94
Tabla 23. Capex y opex de la red de microondas.....	95
Tabla 24. Objetivo específico 1	96
Tabla 25. Resumen de resultados del margen de desvanecimiento	116
Tabla 26. Resumen de disponibilidad por enlace.....	117
Tabla 27. Resumen de nivel de recepción por enlace microondas.....	118
Tabla 28. Resumen de capacidad (Mbps) por cada enlace	119
Tabla 29. Objetivo específico 2.....	119
Tabla 30. Frecuencias de operación de los enlaces microondas	120
Tabla 31. Comparación de las soluciones de banda ancha inalámbrica.....	121

Tabla 32. Objetivo específico 3..... 121

Tabla 33. Resumen de la capacidad por enlace con un crecimiento del 15 % 122

Tabla 34. Mejoras en los enlaces microondas debido al crecimiento de capacidad 123

Tabla 35. Objetivo específico 4..... 125

Tabla 36. Opex considerando líneas dedicadas por sede del Reniec 125

Tabla 37. Capex y opex de la red de microondas..... 126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aplicación de los sistemas microondas.	25
Figura 2. Capacidad alcanzada en sistemas microondas.	26
Figura 3. Enlace punto a punto.	27
Figura 4. Modulación y velocidad de transmisión.	29
Figura 5. Evolución de las tecnologías de redes microondas.	30
Figura 6. Fabricantes de soluciones PTP según bandas licenciada y no licenciada.	30
Figura 7. Regiones y zonas del mundo.	32
Figura 8. Onda electromagnética.	36
Figura 9. Espectro electromagnético.	38
Figura 10. Zona de Fresnel.	41
Figura 11. Lóbulo de la antena.	41
Figura 12. Topologías.	43
Figura 13. Enlace punto a punto.	44
Figura 14. Enlace punto a multipunto.	44
Figura 15. Enlace multipunto a multipunto.	45
Figura 16. Enlace con repetidora.	46
Figura 17. Sistema de pararrayos.	48
Figura 18. Sistema de pozo a tierra.	49
Figura 19. Regiones y zonas del mundo.	50
Figura 20. Consumo de ancho de banda por cámara de video vigilancia IP con calidad media.	57
Figura 21. Consumo de ancho de banda por cámara de video vigilancia IP con calidad alta.	57
Figura 22. Topología de red.	64
Figura 23. Radio PTP500, marca Cambium Networks.	66
Figura 24. Enlace de radio PTP500, marca Cambium Networks.	66
Figura 25. Análisis de espectro del PTP500.	67
Figura 26. Análisis de espectro del PTP500.	68
Figura 27. EDT del proyecto.	69
Figura 28. Cálculo del ancho de banda requerido por cámara IP.	73
Figura 29. Cálculo del ancho de banda VoIP por llamada y cantidad de llamadas concurrentes.	74
Figura 30. Ubicación de las sedes del Reniec en Google Earth.	77

Figura 31. Enlace con LOS	78
Figura 32. Enlace con nLOS	78
Figura 33. Enlace con NLOS	78
Figura 34. Perfil del enlace Callao, sede administrativa	79
Figura 35. Perfil del enlace Comas I - Callao	79
Figura 36. Perfil del enlace Comas I - Puente Piedra.....	79
Figura 37. Perfil del enlace Comas II - Callao.....	80
Figura 38. Perfil del enlace Comas III - Callao.....	80
Figura 39. Perfil del enlace Ventanilla - Callao	80
Figura 40. Perfil del enlace Independencia - San Martín de Porres	81
Figura 41. Perfil del enlace San Martín de Porres - sede administrativa	81
Figura 42. Perfil del enlace Quilca - sede administrativa	81
Figura 43. Perfil del enlace Jesús María - sede administrativa	82
Figura 44. Perfil del enlace Grias, Jesús María - sede administrativa	82
Figura 45. Perfil del enlace Miroquesada - sede operativa	82
Figura 46. Perfil del enlace EREP, San Isidro - sede San Borja	83
Figura 47. Perfil del enlace Miraflores - sede San Borja	83
Figura 48. Perfil del enlace Surco, Higuera - sede San Borja.....	83
Figura 49. Perfil de San Juan de Miraflores - sede San Borja	84
Figura 50. Perfil de Villa El Salvador - Miraflores.....	84
Figura 51. Topología de las microondas, sede administrativa	85
Figura 52. Topología de las microondas, sede operativa	85
Figura 53. Topología de las microondas, sede San Borja	86
Figura 54. Análisis de tráfico por enlace, sede San Borja.....	86
Figura 55. Análisis de tráfico por enlace, sede operativa.....	87
Figura 56. Análisis de tráfico por enlace, sede administrativa.....	87
Figura 57. Frecuencias no licenciadas.....	89
Figura 58. Consideración de alturas entre las estaciones transmisora y receptora	89
Figura 59. Torre ventada	93
Figura 60. Equipos microondas conectorizado y no conectorizado	93
Figura 61. Parámetros de configuración de la solución propuesta de radio (PTP670) con LINKPlanner	97
Figura 62. Resultados en un enlace de radio con LINKPlanner	97

Figura 63. Parámetros de evaluación de cumplimiento de throughput, margen y disponibilidad con LINKPlanner	98
Figura 64. Perfil del enlace Callao - sede administrativa.....	98
Figura 65. Análisis de los resultados del enlace Callao - sede administrativa.....	99
Figura 66. Perfil del enlace Comas I - Callao	99
Figura 67. Análisis de los resultados del enlace Comas I - Callao	100
Figura 68. Perfil del enlace Comas I - Puente Piedra.....	100
Figura 69. Análisis de los resultados del enlace Comas I - Puente Piedra.....	101
Figura 70. Perfil del enlace Comas II - Independencia	101
Figura 71. Análisis de los resultados del enlace Comas II - Independencia	102
Figura 72. Perfil del enlace Comas III - Independencia.....	102
Figura 73. Análisis de los resultados del enlace Comas III - Independencia.....	103
Figura 74. Perfil del enlace Ventanilla - Callao	103
Figura 75. Análisis de los resultados del enlace Ventanilla - Callao	104
Figura 76. Perfil del enlace Independencia - San Martín de Porres	104
Figura 77. Análisis de los resultados del enlace Independencia - San Martín de Porres	105
Figura 78. Perfil del enlace San Martín de Porres - sede administrativa	105
Figura 79. Análisis de los resultados del enlace San Martín de Porres - sede administrativa	106
Figura 80. Perfil del enlace Quilca - sede administrativa	106
Figura 81. Análisis de los resultados del enlace Quilca - sede administrativa.....	107
Figura 82. Perfil del enlace Jesús María - sede administrativa	107
Figura 83. Análisis de los resultados del enlace Jesús María - sede administrativa	108
Figura 84. Perfil del enlace Grias, Jesús María - sede administrativa	108
Figura 85. Análisis de los resultados del enlace Grias, Jesús María - sede administrativa....	109
Figura 86. Perfil del enlace Miroquesada - sede operativa	109
Figura 87. Análisis de los resultados del enlace Miroquesada - sede operativa	110
Figura 88. Perfil del enlace EREP, San Isidro - sede San Borja	110
Figura 89. Análisis de los resultados del enlace EREP, San Isidro – sede San Borja	111
Figura 90. Perfil del enlace Miraflores - sede San Borja	111
Figura 91. Análisis de los resultados del enlace Miraflores - sede San Borja	112
Figura 92. Perfil del enlace Surco, Higuera - sede San Borja	112
Figura 93. Análisis de los resultados del enlace Surco, Higuera - sede San Borja	113
Figura 94. Perfil del enlace San Juan de Miraflores - sede San Borja	113

Figura 95. Análisis de los resultados del enlace San Juan de Miraflores - sede San Borja ...	114
Figura 96. Perfil del enlace Villa El Salvador - Miraflores	114
Figura 97. Análisis de los resultados del enlace Villa El Salvador - Miraflores.....	115

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen diferentes tecnologías para interconectar sedes remotas, muchas de ellas pueden utilizar medios de transmisión guiados como fibra óptica y no guiados como enlaces microondas o satelitales.

Los radioenlaces pueden funcionar en una amplia gama de frecuencias, las cuales son licenciadas o no licenciadas según la reglamentación del ente rector de cada país. En Perú, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) designa para las frecuencias no licenciadas las bandas de 2,4 GHz y 5,8 GHz. Estas frecuencias se pueden usar sin autorización previa y solo considerando los niveles máximos de potencia irradiada por cada estación. Asimismo, existen frecuencias en banda licenciada otorgadas por el PNAF (Plan Nacional de Atribución de Frecuencias).

Existen algunos estándares empleados para el diseño de radioenlaces, tales como el WIMAX (interoperabilidad mundial para acceso por microondas) IEEE.802.16. Este forma parte de la familia IEEE 802, específica para sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha.

Un estándar de seguridad usado siempre para los sistemas inalámbricos es el FIPS 197 (Estándares Federales de Procesamiento de la Información); por ejemplo, el AES (Estándar de Encriptación Avanzada), para encriptar y descifrar la información por bloques, existen AES de 128, 192 y 256 bits.

Un equipo de radio se elige considerando el ancho de banda requerido en un radioenlace. Según los estándares, estos equipos varían en frecuencia, ancho de canal, modulación y velocidad de transmisión. De esta manera, cumplen el requerimiento de transmisión.

Para el diseño y la implementación de un radioenlace, es necesario conocer el espectro electromagnético (espectro RF). Así, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) se encarga de velar por la planificación y la utilización del espectro.

Los radioenlaces en banda ancha se caracterizan por transportar grandes cantidades de datos (transferencia de información), debido a las altas frecuencias en las que los equipos de radioenlace pueden operar. Además, la implementación del sistema de radioenlace presenta un capex bajo frente a una solución de fibra óptica, puesto que no requiere tantas obras civiles como un tendido de fibra óptica, sin mencionar los permisos para romper pistas y veredas.

El diseño de una red de banda ancha basada en radioenlaces requiere un estudio de gabinete para determinar la línea de vista entre los sitios a enlazar o evaluar el requerimiento de un repetidor, cuyo resultado final es una topología, frecuencias y equipamiento. Los cálculos de propagación determinarán si los niveles de señal, capacidad y disponibilidad son los adecuados para cada enlace dentro de la topología. En este tipo de diseños, se utilizan programas con funcionalidades de evaluación de línea de vista a partir de mapas digitales.

Una consideración importante en una solución de banda ancha es definir si se operará con bandas licenciadas o no licenciadas.

1 ASPECTOS INTRODUCTORIOS

Organización objetivo

El Registro Nacional de Identificación y Estado Civil se encarga de la inscripción de nacimientos, matrimonios, divorcios, defunciones y otros actos que modifican el estado civil. Emite las constancias correspondientes y prepara y mantiene actualizado el padrón electoral. Proporciona al Jurado Nacional de Elecciones (JNE) y a la Oficina Nacional de Procesos Electorales (ONPE) la información necesaria para el cumplimiento de sus funciones. Mantiene el registro de identificación de los ciudadanos y emite los documentos que acreditan su identidad. Ejerce las demás funciones que la ley señala.

Los trámites que realiza cada persona con el Reniec se efectúan a través de las oficinas registrales (OR). A nivel nacional, existen 53 oficinas registrales, de las cuales 16 se encuentran en Lima.

A continuación, se detallan la misión, la visión y los objetivos generales del Reniec (2015):

Misión

“Registrar la identidad, los hechos vitales y los cambios de estado civil de las personas; participar en el Sistema Electoral; y promover el uso de la identificación y la certificación digital, así como la inclusión social con enfoque intercultural” (p. 16).

Visión

“Fortalecer la ciudadanía y el desarrollo equitativo del país como la entidad de registro del Estado peruano que garantiza a las personas su condición de sujetos de derecho; genera confianza y seguridad jurídica; y promueve el gobierno electrónico a través de la tecnología de información y comunicaciones” (p. 16).

Objetivos generales

- Mejora del servicio
- Atención a sectores vulnerables
- Innovación y uso intensivo de tecnología

Campo de acción en la organización objetivo

Actualmente, el Reniec cuenta con agencias a nivel nacional. En Lima Metropolitana, sus sucursales se conectan con el centro de datos de Lima arrendando a un ISP (proveedor de servicio de internet), cuyo proveedor a nivel nacional es TDP (Telefónica del Perú). Este proveedor brinda el servicio de transmisión de datos, voz y video mediante fibra óptica, cobre y satelital, teniendo en cuenta la zona en donde se ubica la sede.

Actualmente, existen oficinas registrales en Lima Metropolitana con conexiones en línea dedicada, y las sedes principales (sede administrativa, sede operativa, sede San Borja) se enlazan con fibra oscura. En la tabla 1 se detallan las sedes.

Tabla 1

Locales del Reniec

Sedes	Nombre de local	Dirección	Conexión
Sedes principales	Sede administrativa	Av. Bolivia 109, Cercado de Lima	Fibra oscura
	Sede operativa	Jirón Cusco 653, Cercado de Lima	Fibra oscura
	Sede San Borja	Av. Javier Prado Este 2392, San Borja	Fibra oscura
Oficinas registrales	San Juan de Miraflores	Av. Guillermo Billinghurst 767, San Juan de Miraflores	Línea dedicada
	Jesús María	Av. Talara 130, Jesús María	Línea dedicada
	Callao	Av. 2 de Mayo 440, Callao	Línea dedicada
	Comas I	Av. Túpac Amaru, Comas	Línea dedicada
	Surco, Higuera	Av. Tomás Marsano 2807, Santiago de Surco	Línea dedicada
	Comas II	Av. Túpac Amaru 3853, Comas	Línea dedicada

Villa El Salvador	Arriba Perú, Villa EL Salvador	Línea dedicada
Comas III	Av. San Felipe 830, Comas	Línea dedicada
Lurín	Jr. Bolívar 267, Lurín	Línea dedicada
San Martín de Porres	Av. Eduardo de Habich 592, San Martín de Porres	Línea dedicada
Puente Piedra	Jirón Palma 241, Puente Piedra	Línea dedicada
Miroquesada	Jirón Sta. Rosa 398, Cercado de Lima	Línea dedicada
Ventanilla	MAC, Ventanilla	Línea dedicada
Grias, Jesús María	Jirón Deustares	Línea dedicada
EREP, San Isidro	Av. Javier Prado Este 990, San Isidro	Línea dedicada
Miraflores	Av. Ernesto Diez Canseco 230, Miraflores	Línea dedicada
Quilca	Jirón Quilca, Cercado de Lima	Línea dedicada
Independencia	Calle Los Andes n.º 486, urb. Industrial Panamericana Norte, Los Andes 486, Independencia	Línea dedicada

El proyecto se realizará entre las oficinas registrales (OR) en Lima Metropolitana. Serán 15 locales del Reniec que se encuentran en los diferentes distritos (Comas, Ate, Jesús María, Callao, San Martín de Porres, Independencia, San Borja, Santa Anita, Cercado de Lima, Puente Piedra, Lurín y Ventanilla) y, adicionalmente, tres sedes (administrativa, operativa y de San Borja).

Entre los interesados e involucrados del Reniec, se pueden mencionar a la GOR (Gerencia de Operaciones Registrales), la GTI (Gerencia de Tecnología de la Información) y la GI (Gerencia de Imagen).

Situación problemática y problemas en el campo de acción

1.3.1 Situación problemática

Actualmente, el Reniec cuenta con oficinas registrales en Lima Metropolitana que se conectan con su red con conexión de línea dedicada con un ancho de banda (4 Mbps). Se enlazan a las sedes principales por medio de MPLS que el proveedor de ISP brinda como servicio de transmisión de datos.

Actualmente, los ciudadanos presentan inconvenientes en cuanto a la velocidad en que realizan sus operaciones en las horas de alta concurrencia. Esto debido a que el personal del Reniec escanea imágenes y huellas de las fichas registrales, que es un trámite efectuado por cada persona para obtener su DNI.

Algunas de las sedes del Reniec cuentan con telefonía análoga. Así, la institución decidió migrar a telefonía IP en todas las oficinas registrales. Por ello, se deberá contar con un ancho de banda que soporte el tráfico de voz, de video y de datos en los enlaces de radio de las oficinas registrales hacia las sedes principales.

1.3.2 Problemas por resolver

- El ancho de banda con el que actualmente cuentan las oficinas registrales del Reniec en Lima Metropolitana es muy limitado para los servicios actuales y futuros del Reniec.
- La conexión de las líneas dedicadas que genera cada oficina registral es muy costosa.

Objetivos general y específicos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar una red de banda ancha inalámbrica para las oficinas registrales del Reniec en Lima Metropolitana que permita reducir los costos de interconexión según la regulación nacional del MTC, las normas UIT y las recomendaciones de los fabricantes. De esta manera, se

obtendrá un ancho de banda que cumpla los requerimientos de los servicios que brinda la institución.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar una red microondas de banda ancha que cumpla la regulación del MTC, según el Decreto Supremo n.º 006-2013-MTC, y las recomendaciones UIT-R P530-12, UIT-R P530-13, UIT-R P.526.9 y UIT-R P.525.
- Evaluar que el equipamiento de banda cumpla los requerimientos técnicos evaluados en el estudio de tráfico y radiopropagación.
- Cumplir un sistema que soporte el tráfico requerido, considerando los diferentes servicios de la institución y un crecimiento del 15 % en cinco años.
- Proponer un diseño que permita reducir los costos generados por la interconexión con las diferentes sedes del Reniec, realizando la evaluación de capex y opex.

Indicadores o mecanismos del logro de los objetivos

Tabla 2

Indicadores o mecanismos del logro de los objetivos

Objetivo específico	Indicador de logro	Métrica
<ul style="list-style-type: none"> Diseñar una red microondas de banda ancha que cumpla la regulación del MTC, según el Decreto Supremo n.º 006-2013-MTC, y las recomendaciones UIT-R P530-12, UIT-R P530-13, UIT-R P.526.9 y UIT-R P.525. 	<ul style="list-style-type: none"> Se realizará una simulación en un <i>software</i> de diseño de redes de banda ancha para validar los resultados. Margen de desvanecimiento: 20 dB Disponibilidad: 99,99 % Nivel de recepción: -50 a -70 dBm <i>Throughput</i>: De acuerdo con análisis de capacidad Frecuencia en banda no licenciada según la regulación del MTC Fresnel al 100 % 	<ul style="list-style-type: none"> dB % dBm Mbps MHz Fresnel (LOS)
<ul style="list-style-type: none"> Evaluar que el equipamiento de banda cumpla los requerimientos técnicos evaluados en el estudio de tráfico y radiopropagación. 	<ul style="list-style-type: none"> Se elaborará un cuadro comparativo de las diferentes soluciones según criterios técnicos y económicos. Latencia <i>Throughput</i> Encriptación Frecuencias 	<ul style="list-style-type: none"> ms Mbps Bits MHz
<ul style="list-style-type: none"> Cumplir un sistema que soporte el tráfico requerido, considerando los diferentes servicios de la institución y un crecimiento del 15 % en cinco años. 	<ul style="list-style-type: none"> Se realizará un estudio de tráfico según la cantidad de usuarios y de servicios en cada oficina registral. Para ello, se considerará el tráfico actual y con un crecimiento del 15 %. 	<ul style="list-style-type: none"> Tráfico actual (Mbps) Tráfico con un crecimiento del 15 % (Mbps)

<ul style="list-style-type: none"> • Proponer un diseño que permita reducir los costos generados por la interconexión con las diferentes sedes del Reniec, realizando la evaluación de capex y opex. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizará la comparación entre capex y opex de la interconexión actual versus la interconexión con radioenlaces. 	<ul style="list-style-type: none"> • capex (S/) • opex (S/)
---	---	---

Justificación del proyecto

Con el diseño de radioenlace como una red de transporte se cumple la misión del Reniec de llevar un servicio de calidad a todos los ciudadanos contando con un ancho de banda necesario para garantizar el correcto funcionamiento de la red y, a su vez, mantener la operatividad de los aplicativos en las oficinas registrales.

La atención en las oficinas registrales será más ágil debido a que se contará con un mayor ancho de banda. De esta manera, se mejorará la velocidad en los aplicativos que utilizan los registradores cuando atienden al ciudadano.

Se instalarán teléfonos IP. De esta forma, se centralizarán todas las llamadas desde las dos sedes principales para un mejor control y ahorro en las llamadas, así como las cámaras de video vigilancia IP monitoreada en tiempo real. Además, se implementará una plataforma de telepresencia.

Por otro lado, también se podrán implementar nuevos aplicativos diseñados en el área de SGIS (Subgerencia de Ingeniería de *Software*), tales como captura en vivo y DNIE (DNI electrónico).

En el ámbito económico, le permitirá un gran ahorro a la empresa, ya que se contará con una infraestructura inalámbrica de banda ancha propia. Este proyecto beneficiará a la GPP (Gerencia de Planificación y Presupuesto) por el costo beneficio que generará para la entidad.

Estado del arte

1.7.1 Radioenlaces

1.7.1.1 Evolución

Hace más de 80 años, tuvo lugar la primera aplicación práctica de microondas en un sistema de comunicación. En la década de 1930, se utilizó un sistema experimental de transmisión de microondas para conectar el Reino Unido con Francia; así, se unió el canal inglés sin cables. En la década de 1950, AT&T construyó un sistema de transmisión por radio de microondas de 10 canales en los Estados Unidos. Este era capaz de transportar 5400 llamadas de larga distancia por canal y admitir un total de 54 000 llamadas simultáneas. La aparición de la televisión brindó otra oportunidad, ya que la transmisión en red se transmitió a las filiales

locales en todo el país. En la década de 1980, los sistemas de RF analógicos cedieron paso a sistemas digitales más eficientes y de mayor capacidad para adaptarse a la creciente demanda de tráfico. Incluso, entonces, las redes de microondas, generalmente, proporcionaban comunicaciones de larga distancia. Sin embargo, ese sistema cambió con el desarrollo de otra tecnología de RF de consumo ubicuo: el teléfono celular.

Figura 1. Aplicación de los sistemas microondas. Tomado de CommScope.

1.7.1.2 Actualidad y tendencias de redes microondas

En la actualidad, gracias al desarrollo de la tecnología, los radioenlaces presentan mayor capacidad debido a la mejora en modulación y nuevas técnicas, tales como MIMO, anchos de canal variable, modulación adaptativa, así como técnicas de corrección de errores. Se espera que a futuro se desarrolle mejor la emisión de señales para que no existan interferencias¹.

¹ Historia de los radioenlaces: <https://es.slideshare.net/MichPaJef/estado-del-arte-radiocomunicaciones>

Figura 2. Capacidad alcanzada en sistemas microondas. Tomado de Ericsson.

Los radioenlaces de banda ancha siguen siendo una de las tecnologías más ampliamente usada en las redes IP actuales que brindan soporte y conectividad a las redes 4G, en línea con la que ha sido su trayectoria hasta ahora en las redes 2G y 3G. Al respecto, cabe mencionar que, a nivel global, los radioenlaces suponen aproximadamente el 60 % de las conexiones de las redes móviles y el 40 % para redes de transporte².

² Radioenlaces: <http://micm.es/noticias/radioenlaces-microondas-alta-capacidad/>

Figura 3. Enlace punto a punto. Tomado de <http://www.deltaser.es/radioenlaces/>

En la figura 3, se muestra un enlace punto a punto entre una sede remota y una principal. Es lo que se usa actualmente a nivel de zonas urbanas para transportar información de una sede a otra.

Por otro lado, para la implementación de radioenlaces punto a punto, existen diferentes fabricantes de equipos de radio de alta o mediana gama. Para ello, se plantean tres escenarios: ISP, redes corporativas y *backbone* para operadores.

Para las redes corporativas, tanto para enlaces punto a punto como multipunto, se deben considerar fabricantes de alta gama, tales como Cambium PTP, Radwin 2000, Alvarion BreezeULTRA, Redline. Estos fabricantes ofrecen características especiales para los escenarios de topología punto a punto que garantizan capacidad, seguridad y disponibilidad de los enlaces.

Para los ISP, tanto para enlaces punto a punto y punto a multipunto, se deben conocer varios parámetros. Aunque todos comparten un factor común, el costo de los CPE debe ser suficientemente ajustado para que el ROI sea adecuado. Por tal motivo, se deben considerar equipos de alta gama, tales como Cambium PMP 430 y Ubiquiti airMAX.

Por otro lado, para los *backbones*, teniendo el escenario de interconectar diferentes nodos de distribución que transmiten las señales BTS de los operadores, es recomendable usar equipos como Radwin 200 y Cambium PTP 670. Estos ofrecen interfaces TDM y una capacidad más

que suficiente para los requerimientos habituales, y la posibilidad de ser sincronizadas mediante GPS³.

1.7.1.3 Tendencia a futuro

Los radioenlaces se usan de forma generalizada en las redes de transporte como lo fueron también en el 2G y 3G, y ahora en 4G. Para ello, evolucionaron en tres grandes líneas⁴:

- Eficiencia espectral: Uso común de modulaciones de muy alto nivel como 256-QAM, 1024-QAM, 2048-QAM y 4096-QAM.
- Control de potencia automático (ATPC, *Automatic Transmit Power Control*)
- Modulación adaptativa (ACM, *Adaptive Coding and Modulation*)

Para las redes de radioenlaces a futuro, se espera que la modulación adaptativa -ACM, que usa un algoritmo de adaptación que ajusta la modulación y la codificación (MCS) de acuerdo con la calidad del canal radio, siga manteniendo un *bitrate* adaptativo. Este proceso es totalmente automático y modifica los parámetros del radioenlace a medida que cambian sus condicionantes. La figura 4 muestra este concepto para el caso de un radioenlace 128-QAM, aunque ya se está trabajando con sistemas 4096-QAM, a los que el esquema es totalmente extrapolable.

³ Fabricantes: <http://www.telequismo.com/2012/09/wimax-comparativa-ii.html/>

⁴ Radioenlaces: <http://micm.es/noticias/radioenlaces-microondas-alta-capacidad/>

Figura 4. Modulación y velocidad de transmisión. Tomado de <http://micm.es/noticias/radioenlaces-microondas-alta-capacidad/>

Por otro lado, la operatividad del radioenlace puede operar al máximo *throughput* en condiciones de cielo claro, e ir disminuyendo en condiciones atmosféricas como lluvias o vientos fuertes. Así, pasan de una modulación de 128-QAM a QPSK sin perder la conexión, es decir, un *bitrate* inferior. Sin embargo, esto resulta casi un mal menor frente a la peor opción, que sería perder la conectividad punto a punto por completo.

En resumen, la tendencia tecnológica para los radioenlaces a futuro, lejos de ser una herencia del pasado, permanece como una parte fundamental en las redes de transporte de banda ancha, así como para las 4G.

Las características importantes para mejorar a futuro son los tres parámetros: la eficiencia espectral, el control de potencia automático y la modulación adaptativa. Con ello, se obtendrá mayor velocidad de transmisión de información.

Un punto muy importante que se debe considerar en la evolución de los sistemas microondas con respecto a la tendencia en tecnologías es que todo vaya sobre IP.

Figura 5. Evolución de las tecnologías de redes microondas

1.7.1.4 Fabricantes

Para los equipos de radioenlace distribuidos en Perú y de prestigio global, se cuenta con marcas conocidas como Ubiquiti, Radwin y Cambium (antes Motorola). Estos equipos presentan diferentes características para permitir diseñar soluciones de RF a la medida del requerimiento de los usuarios finales.

Figura 6. Fabricantes de soluciones PTP según bandas licenciada y no licenciada

1.7.1.5 Banda ancha

Desde un punto de vista técnico, se puede considerar como un conjunto de tecnologías de red avanzadas o como el motor de una radical y gran transformación que revitaliza la entrega de los servicios existentes y suscita la aparición de nuevos e innovadores servicios. En el mundo moderno, la banda ancha se ha convertido en una infraestructura fundamental que determina

la competitividad nacional de los países en la economía digital mundial. Asimismo, es una herramienta para alcanzar una meta común: las sociedades del conocimiento, donde el acceso a la información y a la creatividad humana es vital.

En términos técnicos, la banda ancha puede definirse por lo siguiente (Foro Mundial de Política de las Telecomunicaciones, 2013):

- Velocidad de transmisión mínima (aunque existen diversas definiciones)
- Tipo de tecnología (por ejemplo, IMT-avanzadas móviles o las llamadas *tecnologías 4G*).
- Una serie de conceptos funcionales, entre los que se cuentan:
 - **Conexión permanente.** Donde el servicio de internet está sujeto a actualizaciones instantáneas en tiempo real.
 - **Alta capacidad.** Conexiones de baja latencia y alta capacidad que puedan transportar grandes cantidades de bits (información) por segundo (en lugar de la velocidad a la que viajan esos bits).

Independientemente del punto de vista y de la definición, la banda ancha es capaz de entregar de manera fiable servicios convergentes y de ofrecer simultánea y conjuntamente voz, datos y video, posiblemente a través de redes diferentes.

1.7.1.6 Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)

Es un órgano que se encarga de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), así como de atribuir el espectro radioeléctrico y órbitas de satélite a escala mundial. Además, establece las normas técnicas para garantizar la continuidad de las redes y de las tecnologías a nivel mundial.

La UIT está conformada por tres sectores importantes para el desarrollo: Radiocomunicaciones, Normalización y Desarrollo. Para el diseño de la solución de la presente investigación, se consideró el sector de Normalización, donde se muestran las recomendaciones para el radioenlace digital y las velocidades.

En el mundo de las telecomunicaciones, el espectro radioeléctrico (espectro RF) es un recurso que los operadores de telecomunicaciones, militares, empresas petroleras y mineras, etcétera, emplean para transportar su información. Así, se necesita un orden para su uso y se debe planificar para otorgar las bandas de frecuencia a distintas empresas, tanto para el rubro privado como para el estatal.

En Perú, existen muchos servicios que utilizan gran parte del espacio electromagnético, tales como las empresas móviles, la televisión, la radio, los servicios satelitales, etcétera. Ante la demanda, estos servicios necesitan crecer, lo cual involucra emplear más frecuencias del espectro y esto debe ocurrir sin perjudicar otros servicios.

Conociendo estos factores, la UIT dividió el mundo en tres regiones, en donde las frecuencias son las mismas y lo que varía son los servicios que se utilizan.

Figura 7. Regiones y zonas del mundo. Tomado de www.mtc.gob.pe

En la figura 7, se observa que Perú está ubicado en la región 2 y, para este país, el MTC cuenta con el PNAF, que es quien asigna el rango de frecuencias establecidos por la UIT.

Recomendaciones de la UIT

Para asegurar la correcta operatividad del radioenlace, es necesario seleccionar el canal y la frecuencia adecuada, y que la señales no excedan el ancho de banda máximo permitido. Para ello, existe una normativa al respecto que se debe conocer:

- UIT-R P.525 (Cálculo de Atenuación en el Espacio Libre)
- UIT-R P.526 (Propagación por Difracción)

- UIT-R P.530 (Datos de Propagación y Métodos de Predicción Necesarios para el Diseño de Sistemas Terrenales con Visibilidad Directa)
- UIT-R P.676 (Atenuación debida a los Gases Atmosféricos)

1.7.1.7 Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF)

El PNAF se encarga de asignar el rango de frecuencias en banda licenciada para un operador de servicio de internet o una empresa que requiera la conexión por medios no guiados, siempre con la supervisión del MTC.

Teniendo en cuenta que Perú se ubica en la región 2, el PNAF atribuye bandas de frecuencias a los diversos servicios de radiocomunicaciones y radioenlaces fijos.

Las siguientes bandas están destinadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM):

- 13 553 – 13 567 kHz (frecuencia central 13 560 kHz)
- 26 957 – 27 283 kHz (frecuencia central 27 120 kHz)
- 40,66 – 40,70 MHz (frecuencia central 40,68 MHz)
- 902 – 928 MHz (frecuencia central 915 MHz)
- 2400 – 2500 MHz (frecuencia central 2450 MHz)
- 5725 – 5875 MHz (frecuencia central 5800 MHz)
- 24 - 24,25 GHz (frecuencia central 24,125 GHz)

Los servicios de radiocomunicaciones que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones y en ningún caso podrán causar interferencias a aplicaciones ICM.

Las bandas 902 – 928 MHz, 2400 – 2483,5 MHz y 5725 – 5850 MHz están atribuidas a título secundario para los servicios fijo y/o móvil, público y/o privado. Aquellos que usen las frecuencias antes indicadas deberán sujetarse a la normativa establecida o que establezca el ministerio⁵.

⁵ PNAF:

https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/autorizaciones/servicios_privados/documentos/pnaf_act_feb08.pdf

Los radioenlaces fijos operan en la banda no licenciada de 5725 – 5850 MHz, dispuesto por el PNAF, con la finalidad de no interferir con otras bandas atribuidas a otros servicios de radiocomunicación.

1.7.1.8 Casos de éxito

ONPE

Tiene implementado un sistema de radioenlaces de banda ancha como red de transporte para interconectar sus sedes principales y remotas en zonas urbanas aprovechando su infraestructura de edificios altos. Esta entidad del Estado dispone de esta infraestructura propia sin pagar por el alquiler de una línea dedicada a un ISP; de esta manera, logra un retorno de inversión.

Ministerio de Educación (Minedu)

Cuenta con una infraestructura de radioenlaces de banda ancha para interconectar sus sedes principales y remotas.

Municipalidad de Jesús María

En su plan de seguridad ciudadana, el distrito de Jesús María cuenta con un sistema de video vigilancia de cámaras IP interconectadas mediante un sistema de radioenlaces de banda ancha. Posee equipos de gama media.

Por medio de este sistema de radioenlaces, el equipo de monitoreo de cámaras accede en tiempo real a los videos de seguridad del distrito.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Radioenlaces

Un radioenlace es un sistema de comunicación entre dos o más terminales que usan ondas electromagnéticas para transportar información. También se puede definir como el empleo de terminales o antenas para transmitir señales a grandes distancias. Para ello, utilizan el espacio como medio para la propagación de la señal.

Por otro lado, los radioenlaces utilizan el tipo de comunicación dúplex, donde se transfieren dos portadoras moduladas: una para transmitir y otra para recibir. A las frecuencias que son asignadas para la transmisión y la recepción de las señales también se les conoce como *canal*, esto en el dominio de la frecuencia.

Los enlaces se vinculan básicamente entre puntos visibles (LOS), es decir, puntos altos de la topografía. Cualquiera que sea la magnitud del sistema de microondas, para un correcto funcionamiento, es necesario que los recorridos entre enlaces alcancen una altura libre adecuada para la propagación en toda época del año. Se deben tomar en cuenta las variaciones de las condiciones atmosféricas de la región.

Para calcular las alturas libres, se debe conocer la topografía del terreno, así como la altura y la ubicación de los obstáculos que puedan existir en el trayecto.

2.1.1 Onda electromagnética

Es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio. Las ondas son producidas por el movimiento de una carga eléctrica, disturbios ondulatorios que se repiten en una distancia determinada llamada *longitud de onda*. A diferencia de las ondas mecánicas, las electromagnéticas no necesitan un medio físico para difundirse, lo hacen libremente por el aire y alcanzan velocidades de 300 000 km/s (Clanar, 2007).

Según Clanar (2007), una onda electromagnética es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio, y sus aspectos teóricos están relacionados con la solución en forma de onda que admiten las ecuaciones de Maxwell.

Las ondas electromagnéticas transmiten energía, son producidas por la vibración de partículas cargadas y tienen propiedades magnéticas y eléctricas. Estas ondas viajan en el vacío a la

velocidad de la luz y presentan crestas y depresiones como las olas del mar. Las distancias entre las crestas son las longitudes de onda; mientras que algunas de estas son muy largas y se miden en metros (m), otras son pequeñas y se miden en nanómetros (nm).

Las ondas electromagnéticas para transportar señales viajan a la velocidad de la luz en el espacio y cuentan con longitud de onda (λ) y con la frecuencia (f).

Se tiene la siguiente ecuación:

$$c = \lambda * f$$

Ecuación 1

Donde: $c = 3 * 10^8 \text{ m/s}$

Figura 8. Onda electromagnética. Tomado de www.corinto.pucp.edu.pe

- **Amplitud.** Es el valor de medida entre la base de la onda (eje X) y la cresta de la onda (eje Y). En ondas electromagnéticas, la amplitud se mide en metros y esta puede ser constante o variar en el tiempo dependido de si es una señal constante o compuesta.
- **Periodo.** Es la duración del ciclo completo de la onda.
- **Frecuencia.** Es la cantidad de ciclos que se producen en un periodo a lo largo de la onda. Su unidad de medida es hercios.

La frecuencia y el periodo están relacionados de la siguiente manera:

$$f = \frac{1}{t}$$

Ecuación 2

2.1.2 Espectro electromagnético

Los campos electromagnéticos se encuentran en todas partes y están agrupados en el espectro. Este se podría dividir en dos partes: en el espectro visible (región que el ojo humano es capaz de percibir) y en el espectro radioeléctrico (donde están los servicios de telecomunicaciones).

Cada parte en que se divide el espectro se llama *banda*. El espectro radioeléctrico es el rango de frecuencias existentes que comprenden desde las frecuencias bajas que usan, por ejemplo, las radios AM (longitud de onda larga) hasta las frecuencias altas como los rayos gamma (longitud de onda corta). Estas cubren longitudes de onda entre miles de kilómetros y fracciones pequeñas a lo largo de la propagación de la onda.

Figura 9. Espectro electromagnético. Tomado de www.grupo2radiobiologiayradioproteccion2.wordpress.com

2.1.3 Antenas

Son dispositivos que sirven para transmitir información por medio de ondas, capaces de radiar y recibir las ondas electromagnéticas. Las antenas presentan diferentes tipos de características, se pueden elegir de acuerdo con su patrón de radiación y ganancia.

Según el *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE), una antena se define como “aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñado específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas” (IEE Std. 145-1983, 1983, p. 4).

2.1.4 Margen de desvanecimiento

Cuando se presenta una indisponibilidad o corte del radioenlace, es necesario entender por qué ocurre, siempre y cuando no se encuentren fallas en los equipos del radioenlace. Cuando la señal recibida no llega al nivel mínimo permitido, se produce un incremento en la tasa de error; es decir, no se recibirá bien la información, ya que el demodulador no podrá recuperar la señal transmitida.

En esencia, el margen de desvanecimiento es un “factor espurio” que se incluye en la ecuación de ganancia del sistema para considerar las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio, como por ejemplo la propagación por múltiples (pérdida por trayectorias múltiples) y la sensibilidad del terreno. Estas características causan condiciones atmosféricas temporales y anormales que alteran la pérdida por trayectoria en el espacio libre, y suelen ser perjudiciales para la eficiencia general del sistema. El margen de desvanecimiento también tiene en cuenta los objetivos de confiabilidad del sistema (Tomasi, 2003, p. 367).

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

X Y Z w

Ecuación 3

Donde:

X: efecto de trayectoria múltiple

Y: sensibilidad del terreno

Z: objetivo de confiabilidad

W: constante

F_m: margen de desvanecimiento (decibelios)

D: distancia (kilómetros)

f: frecuencia (gigahertz)

r: confiabilidad en decimales (es decir, 99,99 % = 0,9999 de confiabilidad)

1 – R: objetivo de confiabilidad para una ruta de 400 km en un sentido

A: factor de aspereza

4 sobre agua o un terreno muy liso

1 sobre terreno promedio

0,25 sobre un terreno muy áspero y montañoso

B: factor para convertir la probabilidad del peor de los meses en probabilidad anual

1 para convertir una disponibilidad anual a la base del peor de los meses

0,5 para áreas cálidas o húmedas

0,25 para áreas continentales promedio

0,125 para áreas muy secas o montañosas

2.1.5 Zonas Fresnel

Se presentan en forma de elipsoides concéntricos alrededor de la línea directa del radioenlace y toman referencia a partir de las ubicaciones del transmisor y del receptor. La zona Fresnel se puede calcular y se debe tener en cuenta cuando se diseña un enlace inalámbrico.

Las zonas de Fresnel representan regiones sucesivas donde las ondas secundarias tienen un camino con una longitud desde el transmisor hasta el receptor que es de $n\lambda/2$ más largo que el camino de línea de vista. La siguiente figura muestra un plano transparente puesto entre el transmisor y el receptor. Los círculos concéntricos en el plano representan el punto de origen de las ondas secundarias que se propagan hacia el receptor y así la longitud del camino total se incrementa por $\lambda/2$ para círculos sucesivos (Freeman, 2007).

$$R_n = \sqrt{n\lambda \left(\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} \right)}$$

Ecuación 4

Donde:

R_n : radio de la primera zona de Fresnel

d_1 : distancia del transmisor al obstáculo

d_2 : distancia del receptor al obstáculo

λ : longitud de onda

n : número entero que caracteriza la elipse correspondiente

Con $n = 1$, R_1 sería el radio de la primera zona de Fresnel. Lo ideal es que la primera zona no esté obstruida, pero normalmente es posible despejar el 60 % del radio de la primera zona para conseguir un enlace satisfactorio. Luego, posibles reflexiones cerca del borde de la primera zona de Fresnel pueden causar atenuación, ya que la onda reflejada llegaría a la antena receptora en oposición de fase.

De este modo, la primera zona de Fresnel ($n = 1$) se caracteriza por el volumen interior al elipsoide con diferencia de distancia igual a una semilongitud de onda o diferencia de fases de 180° . Luego posibles reflexiones cerca del borde de la primera zona de Fresnel pueden causar atenuación, ya que la onda reflejada llegaría a la antena receptora en oposición de fase. Por lo tanto, durante la fase de planificación del radioenlace debe asegurarse que la primera zona de Fresnel se encuentre libre de obstáculos, bien aumentando la altura de los mástiles de las antenas o bien situándolos en otra posición del

edificio. Evidentemente, una obstrucción completa de la zona de Fresnel produciría pérdidas todavía mayores (Radioenlaces, 2011, párr. 3).

Figura 10. Zona de Fresnel. Tomado de www.geocities.ws

2.1.6 Ganancia de antenas

Se puede definir como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la que radia una antena isotrópica, con igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena. Se expresa en decibeles.

Esta ganancia se refiere a la dirección máxima de la antena, es decir, cuán directiva es la señal. Mientras más directiva es, existirá más ganancia. Se puede entender observando un lóbulo como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Lóbulo de la antena. Tomado de www.geocities.ws

Ganancia por el transmisor (potencia):

$$P_{tx} = 10 \times \log(P_{mw})$$

Ecuación 5

Donde:

P_{mw} : potencia del transmisor expresada en mW

Se deben hallar las ganancias para los puntos A y B dependiendo de la antena elegida. La suma de las ganancias halladas es la suma total. Esta ganancia expresada en decibels será necesaria para el cálculo del radioenlace y para hallar el PIRE (potencia isotrópica irradiada equivalente).

2.2 Topología e infraestructura básica de redes inalámbricas

2.2.1 Topologías básicas de red

Para diseñar una red, en primer lugar, se debe definir qué topología usar de acuerdo con la necesidad. Hay dos formas de realizarla: una lógica y otra física. La segunda comprende los equipos de comunicación, las antenas, el cableado y los dispositivos de red. Por otro lado, la primera incluye la configuración de los equipos de comunicación.

Figura 12. Topologías. Tomado de www.cisco.com

2.2.2 Tipos de enlaces inalámbricos

Punto a punto

Se compone de dos equipos de radiofrecuencia, cada uno ubicado en un extremo. Uno de los enlaces está conectado a internet o a la red principal de una empresa, mientras que el otro utiliza el enlace para conectarse a la red. En la actualidad, existen enlaces punto a punto de más de 40 km aproximadamente de modo seguro y con alta tasa de transferencia de datos. Para llegar a esta alta tasa de transferencia, se necesita seleccionar una determinada modulación y altas frecuencias.

Figura 13. Enlace punto a punto. Tomado de www.beraters.com

Punto a multipunto

Es la conexión de varios dispositivos a un solo nodo o equipo de radiofrecuencia, es decir, varios dispositivos se conectan a un punto de acceso central. El ejemplo más común es el de los celulares que se conectan a una estación con antenas sectoriales.

Figura 14. Enlace punto a multipunto. Tomado de www.beraters.com

Multipunto a multipunto

Es un tipo de enlace conocido como *ad hoc* o en malla mesh. En este sistema, no existe un nodo central, los nodos se comunican entre sí y transportan el tráfico de lo que sea necesario.

Una ventaja de este tipo de enlace es que las estaciones transmiten a una mínima potencia y, por lo tanto, pueden transportar datos a altas velocidades de transmisión. Además, se facilita distribuir el acceso a internet en varios puntos.

Figura 15. Enlace multipunto a multipunto.
Tomado de www.beraters.com

2.3 Diseño de radioenlace punto a punto

Para el diseño de radioenlace, se deben considerar varios factores que se presentan a continuación.

2.3.1 Línea de vista

Para establecer una línea de vista, se requiere revisar los puntos A y B. Si no se identifica ningún obstáculo entre ambos, se fija una línea visual y, con ella, la conexión.

Para tener una línea visual óptima, se verifica utilizando el concepto de las zonas de Fresnel, en donde se realizan cálculos para definir a qué altura de la superficie debe ubicarse la torre o el mástil para colocar la antena.

Así, para establecer una buena línea de vista, se deberá contar con el perfil topográfico para calcular la zona de Fresnel.

2.3.2 Diseño

Para el diseño, es importante saber que a más distancia entre los puntos A y B, menor será la calidad de la señal, es decir, la velocidad de transmisión de datos se reducirá. Asimismo, en el aspecto económico, las instalaciones de torres y la infraestructura física podrían resultar los elementos más costosos del sistema de radioenlace. Sin embargo, este problema se soluciona aumentando la potencia del transmisor o la ganancia de las antenas.

También, se deben conocer las regulaciones con las que se cuenta y que son validadas por el MTC, así como todas las recomendaciones de UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

Para el diseño de un radioenlace LOS, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Una buena ubicación para la instalación
- Perfil topográfico y cálculo de la altura para la instalación del mástil o de la torre
- Cálculo completo del radioenlace en la simulación utilizando un *software*
- Una vez instalado el sistema de radioenlace, se debe probar el servicio con el tráfico real de datos.

Para la estructura de un radioenlace:

Para cada diseño, no se encuentra en las mismas condiciones. Por ello, existen antenas repetidoras para transportar la señal hacia el otro punto. En la figura 16, se muestra cómo trabaja una antena repetidora.

Figura 16. Enlace con repetidora. Tomado de www.beraters.com

En cuanto a los repetidores, se los puede clasificar en activos o pasivos.

- **Activos.** Son los que reciben la señal en la frecuencia de portadora y esta se minimiza a una frecuencia intermedia (FI) para amplificarla y retransmitirla en la frecuencia de salida.
- **Pasivos.** Se comportan como espejos que reflejan la señal y se los puede dividir en pasivos convencionales, que son una pantalla reflectora, y los pasivos *back-back*, que están constituidos por dos antenas espalda a espalda. Se utiliza en ciertos casos para solucionar obstáculos aislados y de corta distancia.

Los enlaces son estructuralmente sistemas en serie, de tal manera que si uno falla se corta todo el enlace, de ahí que se le exija una alta disponibilidad y confiabilidad. Para ello, se utiliza la redundancia de equipos frente a las averías y técnicas de diversidad ante los desvanecimientos. Esto también implica que se requieren sistemas de supervisión y control que apliquen automáticamente estas técnicas.

2.3.3 Energía eléctrica

Como paso fundamental para la instalación del radioenlace, se precisa contar con una alimentación de energía de alta disponibilidad, es decir, con un UPS o algún grupo electrógeno para garantizar el enlace.

2.3.4 Seguridad externa

Perú es un país con muchos microclimas, es decir, la temperatura de cada departamento es diferente, sobre todo, en la sierra. En esta región, existen diferentes fenómenos naturales, el más importante es los rayos que producen descargas eléctricas. Este fenómeno puede matar personas, causar incendios y dañar aparatos electrónicos.

Para prevenir estas descargas eléctricas ocasionadas por el fenómeno natural, se debe contar con un sistema de protección contra descargas atmosféricas (SPDA) conocido como *pararrayos*.

2.3.5 Pararrayos

Un pararrayos es un instrumento cuyo objetivo es atraer un rayo y canalizar la descarga eléctrica hacia tierra, de tal modo que no cause daños a construcciones o a personas. Este artilugio fue inventado en 1753 por Benjamín Franklin mientras efectuaba una serie de experimentos sobre la propiedad que tienen las puntas agudas, puestas en contacto con la tierra, de descargar los cuerpos electrizados situados en su proximidad. Este primer pararrayos se conoce como *pararrayos Franklin* en homenaje a su inventor.

Figura 17. Sistema de pararrayos.
Tomado de www.perueduca.com.pe

2.3.6 Sistema de protección pozo a tierra

Se debe instalar un sistema de puesta a tierra porque ante una descarga atmosférica o un corto circuito, sin contacto a tierra, las personas estarían expuestas a una descarga eléctrica y los equipos se quemarían. Si las fallas de corriente no tienen un camino para disiparse por medio

de un sistema de conexión correctamente diseñado, entonces, estas encontrarán rutas imprevistas que podrían incluir a las personas.

Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de artefactos eléctricos y electrónicos a tierra para evitar que, en caso de una falla de corriente o descarga electrostática, las personas y los equipos sufran daños.

Figura 18. Sistema de pozo a tierra.
Tomado de www.perueduca.com.pe

Normatividad

2.4.1 Para radioenlaces en Perú y la UIT

En el mundo de las telecomunicaciones, el espectro radioeléctrico (espectro RF) es un recurso que los operadores de telecomunicaciones, militares, empresas petroleras y mineras, etcétera, utilizan para transportar su información. Así, se necesita un orden para el uso y se debe

planificar para otorgar las bandas de frecuencia a distintas empresas de los rubros privado y estatal.

En Perú, existen muchos servicios que emplean gran parte del espacio electromagnético, tales como las empresas móviles, los servicios de televisión, de radio, satelitales, etcétera. Ante la demanda, estos servicios requieren crecer, lo cual involucra utilizar más frecuencias del espectro y esto debe ocurrir sin perjudicar a otros servicios.

Conociendo estos factores, la UIT dividió el mundo en tres regiones, en donde las frecuencias son las mismas y lo que varía son los servicios que se utilizan.

Figura 19. Regiones y zonas del mundo

En la figura 19, se observa que Perú está ubicado en la región 2 y, para este país, el MTC cuenta con el PNAF, que es quien asigna el rango de frecuencias establecidos por la UIT.

Para el pararrayos

El objetivo de las normas actuales de protección del sistema de pararrayos es salvaguardar la vida de las personas y las instalaciones. Se remarca que, en mayor o menor grado, se debe aclarar que no existe una protección absoluta contra el rayo, sino únicamente una protección adecuada.

3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Presentación del problema

La infraestructura actual de los enlaces de banda ancha inalámbrica entre las sedes principales del Reniec y las oficinas registrales ubicadas en la ciudad de Lima no cuentan con el ancho de banda necesario para los servicios de voz, video y datos que se desean implementar. En el caso de las oficinas registrales sin enlace inalámbrico de banda ancha, se enlazan con las sedes principales mediante líneas dedicadas y no presentan ningún tipo de redundancia. La arquitectura actual no garantiza la disponibilidad del servicio a los ciudadanos.

Impacto en la organización

El impacto del problema engloba tres niveles en la empresa:

- **Nivel organizacional.** Los ciudadanos califican al Reniec como una entidad pública lenta en los diferentes servicios que brinda.
- **Nivel técnico.** Los procesos de registro de ciudadanos son muy lentos debido a la baja velocidad de los enlaces de radio. Estos problemas son ocasionados por la indisponibilidad de los servicios que brinda el Reniec.
- **Nivel económico.** Los gastos ocasionados por las líneas dedicadas en cada oficina registral.

3.1.1 Nivel organizacional

Para definir el alcance organizacional del problema, se deben conocer las funciones del Reniec. Según la Resolución Jefatural n.º 073-2016/JNAC/RENIEC, de fecha 31 de mayo de 2016, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Registro Nacional de Identificación y Estado Civil, las funciones del Reniec son las siguientes:

- Planear, organizar, dirigir, normar y racionalizar las inscripciones de su competencia.
- Registrar los nacimientos, los matrimonios, los divorcios, las defunciones y los demás actos que modifiquen el estado civil de las personas, así como las resoluciones judiciales o administrativas que a ellos se refieran susceptibles de inscripción y los demás actos que señale la ley.

- Emitir las constancias de inscripción correspondientes.
- Preparar y mantener actualizado el padrón electoral en coordinación con la ONPE.
- Proporcionar al JNE y a la ONPE la información necesaria para el cumplimiento de sus funciones.
- Mantener el registro de identificación de las personas.
- Emitir el documento único que acredita la identidad de las personas, así como sus duplicados.
- Promover la formación de personal calificado que requiera la institución, así como de los registradores civiles y demás personal que integra el Sistema Registral.
- Colaborar con el ejercicio de las funciones de las autoridades policiales y judiciales pertinentes para la identificación de las personas, dejando a salvo lo establecido en el inciso siguiente y en los incisos 1, 5 y 6 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú.
- Velar por el irrestricto respeto del derecho a la intimidad e identidad de la persona y los demás derechos inherentes a ella derivados de su inscripción en el registro.
- Garantizar la privacidad de los datos relativos a las personas que son materia de inscripción.
- Implementar, organizar, mantener y supervisar el funcionamiento de los registros dactiloscópico y pelmatoscópico de las personas.
- Durante los procesos electorales, brindar la máxima cooperación a la ONPE. Facilitar, de ser necesario, el uso de su infraestructura, material y recursos humanos.
- Realizar la verificación de la autenticidad de las firmas de adherentes para procesos señalados por la ley, así como para el ejercicio de los derechos políticos previstos en la constitución y en las leyes.
- Emitir los certificados raíz para las entidades de certificación del Estado peruano que lo soliciten.
- Mantener la confidencialidad de la información relativa a los solicitantes y los titulares de certificados digitales, y cumplir las demás funciones que se le encomiende por ley.

Con formato: Fuente: 3 pto

3.1.2 Nivel técnico

Las sedes registrales se congestionan debido a que muchos ciudadanos deben esperar que su trámite se procese. Esto se encuentra limitado por las bajas velocidades de transmisión con las que cuentan algunos enlaces de banda ancha inalámbrica. Asimismo, es crítico que en las oficinas registrales con línea dedicada no se tenga un enlace redundante ante fallos. Toda la

información que se genera en cada oficina registral se almacena en las sedes principales. Los sistemas que actualmente se utilizan son los siguientes:

Acceso a internet

Los usuarios en las oficinas registrales cuentan con un acceso a internet de 2 Mbps. Considerando la cantidad de usuarios con acceso a internet por cada sede y el *throughput* requerido, se puede obtener el tráfico total, el cual se presenta en la tabla 3.

Tabla 3

Tráfico de acceso a internet por sede

Nombre del local	Usuarios con acceso a internet	TH requerido (Mbps)	Tráfico (Mbps)
Sede administrativa	200	2	400
Sede operativa	150	2	300
Sede San Borja	100	2	200
San Juan de Miraflores	20	2	40
Jesús María	15	2	30
Callao	24	2	48
Comas I	10	2	20
Surco, Higuiereta	15	2	30
Comas II	20	2	40
Villa El Salvador	10	2	20
Comas III	10	2	20
Lurín	4	2	8
San Martín de Porres	18	2	36
Puente Piedra	10	2	20
Miroquesada	30	2	60
Ventanilla	20	2	40
Grias, Jesús María	36	2	72
EREP, San Isidro	24	2	48
Miraflores	16	2	32
Quilca	5	2	10
Independencia	10	2	20

Automated Fingerprint Identification System (AFIS)

El proceso de registro de identidad única biométrica se realiza mediante el uso de impresiones dactilares, el cual permite garantizar que los registros y la identidad existentes que tiene a cargo el Reniec solo corresponden a una persona y, de esta manera, permita la identificación

de situaciones irregulares referidas a individuos con dos o más registros de identidad. En la tabla 4, se presenta la cantidad de usuarios con el sistema AFIS por sede. Se puede observar que el *throughput* requerido de este aplicativo es de 1 Mbps.

Tabla 4

Tráfico generado por el aplicativo AFIS por sede

Nombre del local	AFIS	TH requerido (Mbps)	Tráfico (Mbps)
Sede administrativa	100	1	100
Sede operativa	50	1	50
Sede San Borja	20	1	20
San Juan de Miraflores	5	1	5
Jesús María	8	1	8
Callao	6	1	6
Comas I	8	1	8
Surco, Higuiereta	3	1	3
Comas II	6	1	6
Villa El Salvador	6	1	6
Comas III	6	1	6
Lurín	5	1	5
San Martín de Porres	4	1	4
Puente Piedra	3	1	3
Miroquesada	3	1	3
Ventanilla	6	1	6
Grias, Jesús María	3	1	3
EREP, San Isidro	6	1	6
Miraflores	4	1	4
Quilca	5	1	5
Independencia	5	1	5

Captura en vivo

Permite registrar de manera digital el rostro, la firma y las huellas de diez dedos del ciudadano. Se emplea para atender solicitudes de inscripción, duplicado, renovación y rectificación de DNI de mayores de edad.

Como la captura de la información es digital, lo registrado ingresa a la base de datos del Reniec en el mismo momento en que se efectúa el trámite, e inmediatamente se puede tener la certeza de que el ciudadano es quien dice ser y no hay otra persona registrada con iguales datos e imágenes. Así, se consigue simplificar el procedimiento de tramitación del DNI.

Simultáneamente, se incrementa la seguridad gracias a la adopción del sistema decadactilar, es decir, el que cuenta con las huellas de los diez dedos de las manos de un ciudadano para identificarlo. Antes, se registraban únicamente las huellas de los dedos índices y, en algunos casos, estas impresiones dactilares se encontraban deterioradas, lo que dificultaba la inscripción y la verificación de identidad.

El tipo de información que contiene la captura en vivo se presenta en la tabla 5.

Tabla 5
Tráfico generado por imágenes de captura en vivo

Tipo de imagen	Tamaño (Kbyte)
FOTO_ JPG	25,7
HUELLA_IZQ_ JPG	60,5
HUELLA_DER_ JPG	63,25
FIRMA	26,23
HUELLA_F1_ JPG	75,2
HUELLA_F2_ JPG	63,5
HUELLA_F3_ JPG	69,8
HUELLA_F4_ JPG	67,6
HUELLA_F5_ JPG	54,4
HUELLA_F6_ JPG	82,3
HUELLA_F7_ JPG	60,4
HUELLA_F8_ JPG	55,2
HUELLA_F9_ JPG	64,8
HUELLA_F10_ JPG	53,1
HUELLA_IZQ_ WSQ	29,87
HUELLA_DER_ WSQ	28,19
HUELLA_F1_ WSQ	29,8
HUELLA_F2_ WSQ	28,19
HUELLA_F3_ WSQ	32,77
HUELLA_F4_ WSQ	30,1
HUELLA_F5_ WSQ	27,09
HUELLA_F6_ WSQ	40,61
HUELLA_F7_ WSQ	29,87
HUELLA_F8_ WSQ	25,07
HUELLA_F9_ WSQ	26,24
HUELLA_F10_ WSQ	23,77
Total (Kbyte)	1173,55
Total (Mbyte)	1,17355

Considerando la cantidad de dispositivos por sede y el tráfico requerido, en la tabla 6, se presenta el tráfico generado por cada sede con respecto a la captura en vivo que se realiza de manera simultánea.

Tabla 6

Tráfico generado por imágenes de captura en vivo en cada sede

Nombre del local	Captura en vivo simultánea	TH requerido (Mbps)	Consumo (Mbps)
Sede administrativa	0	1,1736	0
Sede operativa	0	1,1736	0
Sede San Borja	0	1,1736	0
San Juan de Miraflores	5	1,1736	5,868
Jesús María	6	1,1736	7,0416
Callao	5	1,1736	5,868
Comas I	6	1,1736	7,0416
Surco, Higuiereta	3	1,1736	3,5208
Comas II	6	1,1736	7,0416
Villa El Salvador	3	1,1736	3,5208
Comas III	3	1,1736	3,5208
Lurín	1	1,1736	1,1736
San Martín de Porres	3	1,1736	3,5208
Puente Piedra	6	1,1736	7,0416
Miroquesada	3	1,1736	3,5208
Ventanilla	1	1,1736	1,1736
Grias, Jesús María	3	1,1736	3,5208
EREP, San Isidro	6	1,1736	7,0416
Miraflores	5	1,1736	5,868
Quilca	2	1,1736	2,3472
Independencia	5	1,1736	5,868

Video vigilancia

Actualmente, en todas las sedes administrativas y registrales, se cuentan con dos cámaras de vigilancia para evitar robos o mostrar alguna situación que comprometa la integridad de la información que maneja el Reniec. Las cámaras operan con el protocolo H.264, resolución de 10 Mp, calidad de video intermedio, 12 FPS y el consumo es de 9,6 Mbps, tal como se presenta en la figura 20. Por su parte, en la tabla 7, se muestra el *throughput* generado por las cámaras instaladas en cada sede con un consumo de 9,6 Mbps. Considerando que en el caso

de los equipos de enlaces microondas actuales se tienen 105 Mbps según *datasheet*, pero debido a las interferencias en el canal solo se llega hasta 90 Mbps, habrá dificultad al migrar a un sistema de video vigilancia de alta calidad. Por cámara, se estaría consumiendo 17,3 Mbps, tal como se presenta en la tabla 9; mientras que en la tabla 10 se muestra el *throughput* generado por las cámaras instaladas en cada sede con un consumo de 17,3 Mbps.

Stream Type:	☐ MJPEG ☒ H.264	
Resolution:	☐ D1 (704x480) ☐ 720P HD ☐ 1080P HD	☐ 1.3 Megapixel ☐ 3 Megapixel ☐ 5 Megapixel ☒ 10 Megapixel
Video Quality:	☐ Low ☒ Medium ☐ High	
Average Frame Size:	<input type="text" value="100"/> KB	
Number of Cameras:	<input type="text" value="1"/>	
Frame Rate per Camera:	<input type="text" value="12"/> FPS	
Hours of Motion:	<input type="text" value="24"/> Hours a Day	
Storage in Days (per camera):	<input type="text" value="7"/>	
<hr/>		
Total Bandwidth:	<input type="text" value="9.6"/> Mbps	
Average Bandwidth per Camera:	<input type="text" value="9.6"/> Mbps	

Figura 20. Consumo de ancho de banda por cámara de video vigilancia IP con calidad media. Tomado de <http://stardot.com/bandwidth-and-storage-calculator>

Stream Type:	☐ MJPEG ☒ H.264	
Resolution:	☐ D1 (704x480) ☐ 720P HD ☐ 1080P HD	☐ 1.3 Megapixel ☐ 3 Megapixel ☐ 5 Megapixel ☒ 10 Megapixel
Video Quality:	☐ Low ☐ Medium ☒ High	
Average Frame Size:	<input type="text" value="180"/> KB	
Number of Cameras:	<input type="text" value="1"/>	
Frame Rate per Camera:	<input type="text" value="12"/> FPS	
Hours of Motion:	<input type="text" value="24"/> Hours a Day	
Storage in Days (per camera):	<input type="text" value="7"/>	
<hr/>		
Total Bandwidth:	<input type="text" value="17.3"/> Mbps	
Average Bandwidth per Camera:	<input type="text" value="17.3"/> Mbps	

Figura 21. Consumo de ancho de banda por cámara de video vigilancia IP con calidad alta. Tomado de <http://stardot.com/bandwidth-and-storage-calculator>

Tabla 7

Consumo de cámara IP por sede considerando calidad media

Sede	Local	Cámara por sede	Consumo por cámara (Mbps)	Consumo total (Mbps)
Sedes principales	Sede administrativa	2	9,6	19,2
	Sede operativa	2	9,6	19,2
	Sede San Borja	2	9,6	19,2
Oficinas registrales	San Juan de Miraflores	2	9,6	19,2
	Jesús María		9,6	19,2
	Callao	2	9,6	19,2
	Comas I	2	9,6	19,2
	Surco, Higuiereta	2	9,6	19,2
	Comas II	2	9,6	19,2
	Villa El Salvador	2	9,6	19,2
	Comas III	2	9,6	19,2
	Lurín	2	9,6	19,2
	San Martín de Porres	2	9,6	19,2
	Puente Piedra	2	9,6	19,2
	Miroquesada	2	9,6	19,2
	Ventanilla	2	9,6	19,2
	Grias, Jesús María	2	9,6	19,2
	EREP, San Isidro	2	9,6	19,2
	Miraflores	2	9,6	19,2
	Quilca	2	9,6	19,2
	Independencia	2	9,6	19,2

Tabla 8

Consumo de cámara IP por sede considerando calidad alta

Sede	Local	Cámara por sede	Consumo por cámara (Mbps)	Consumo total (Mbps)
Sedes principales	Sede administrativa	2	17,3	34,6
	Sede operativa	2	17,3	34,6
	Sede San Borja	2	17,3	34,6
Oficinas registrales	San Juan de Miraflores	2	17,3	34,6
	Jesús María	2	17,3	34,6
	Callao	2	17,3	34,6
	Comas I	2	17,3	34,6
	Surco, Higuiereta	2	17,3	34,6
	Comas II	2	17,3	34,6
	Villa El Salvador	2	17,3	34,6
	Comas III	2	17,3	34,6
	Lurín	2	17,3	34,6
	San Martín de Porres	2	17,3	34,6
	Puente Piedra	2	17,3	34,6
	Miroquesada	2	17,3	34,6
	Ventanilla	2	17,3	34,6
	Grias, Jesús María	2	17,3	34,6
	EREP, San Isidro	2	17,3	34,6
	Miraflores	2	17,3	34,6
	Quilca	2	17,3	34,6
	Independencia	2	17,3	34,6

Sistema de telefonía

Actualmente, el Reniec cuenta con anexos analógicos y tiene planeado migrar a telefonía IP. En la tabla 9, se presentan los anexos analógicos actuales por sede, así como los teléfonos IP requeridos. Considerando que el Reniec desea implementar el servicio de telefonía IP, será necesario sumar el ancho de banda según la cantidad de teléfonos requeridos.

Tabla 9

Anexos analógicos actuales y anexos IP requeridos

Sede	Anexos analógicos	Anexo IP requerido
San Juan de Miraflores	2	5
Jesús María	3	7
Callao	4	4
Comas I	2	4
Surco, Higuera	2	4
Comas II	2	6
Villa El Salvador	2	2
Comas III	2	4
Lurín	2	2
San Martín de Porres	2	5
Puente Piedra	2	3
Miraflores	10	30
Ventanilla	2	2
Grietas, Jesús María	6	30
EREP, San Isidro	5	10
Miraflores	5	6
Quilca	2	4
Independencia	3	10

3.2.3 Nivel económico

En la tabla 10, se presentan los gastos ocasionados por cada sede, considerando su ancho de banda y tipo de acceso. Como se puede observar, las sedes que cuentan con acceso microondas no generan gastos mensuales. Por este motivo, la presente investigación busca reducir los costos generados por acceso con fibra óptica en las oficinas registrales.

Tabla 10

Gastos ocasionados por tipo de línea

Nombre local	Ancho de banda	Medio de acceso	Precio del 1.º mes (incluido IGV)
Sede administrativa	1 Gbps	Fibra óptica	
Sede operativa	1 Gbps	Fibra óptica	S/28 000
Sede San Borja	1 Gbps	Fibra óptica	
San Juan de Miraflores	No	Microondas	S/0
Jesús María	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Callao	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Comas I	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Surco, Higuiereta	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Comas II	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Villa El Salvador	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Comas III	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Lurín	4 Mbps	Microondas	S/3142,92
San Martín de Porres	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Puente Piedra	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Miroquesada	No	Microondas	S/
Ventanilla	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Grias, Jesús María	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
EREP, San Isidro	No	Microondas	S/0
Miraflores	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Quilca	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Independencia	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97

3.3 Detalle infraestructura de red

En los siguientes puntos, se describe a nivel técnico el diagnóstico de la red actual. Como se puede observar en la tabla 11, se cuentan con tres sedes principales y 18 oficinas registrales, de las cuales solo tres establecen comunicación por radioenlace, y las otras oficinas registrales, con líneas dedicadas de 4 Mbps. En el caso de las sedes principales, cuentan con una conexión de fibra óptica oscura de 1 Gbps.

Tabla 11

Sedes principales y oficinas registrales del Reniec Lima

Sedes	Nombre del local	Dirección	Conexión	Radio-enlace	Usuarios
Sedes principales	Sede administrativa	Av. Bolivia 109, Cercado de Lima	Fibra oscura (1 Gbps)	no	500
	Sede operativa	Jirón Cusco 653, Cercado de Lima	Fibra oscura (1 Gbps)	no	424
	Sede San Borja	Av. Javier Prado Este 2392, San Borja	Fibra oscura (1 Gbps)	no	324
Oficinas registrales	San Juan de Miraflores	Av. Guillermo Billinghurst 767, San Juan de Miraflores	No	(Motorola PTP 500)	96
	Jesús María	Av. Talara 130, Jesús María	Línea dedicada (4 Mbps)	no	50
	Callao	Av. 2 de Mayo 440, Callao	Línea dedicada (4 Mbps)	no	45
	Comas I	Av. Túpac Amaru, Comas	Línea dedicada (4 Mbps)	no	35
	Surco, Higuiereta	Av. Tomás Marsano 2807, Santiago de Surco	Línea dedicada (4 Mbps)	no	30
	Comas II	Av. Túpac Amaru 3853, Comas	Línea dedicada (4 Mbps)	no	43
	Villa El Salvador	Arriba Perú, Villa EL Salvador	Línea dedicada (4 Mbps)	no	35
	Comas III	Av. San Felipe 830, Comas	Línea dedicada (4 Mbps)	no	25
	Lurín	Jr. Bolívar 267, Lurín	Línea dedicada (4 Mbps)	no	10
	San Martín de Porres	Av. Eduardo de Habich 592, San Martín de Porres	Línea dedicada (4 Mbps)	no	40
	Puente Piedra	Jirón Palma 241, Puente Piedra	Línea dedicada (4 Mbps)	no	35
	Miroquesada	Jirón Sta. Rosa 398, Cercado de Lima	No	(Motorola PTP 500)	30

Sedes	Nombre del local	Dirección	Conexión	Radio-enlace	Usuarios
	Ventanilla	MAC, Ventanilla	Línea dedicada (4Mbps)	no	30
	Grias, Jesús María	Jr. Deustares	Línea dedicada (4 Mbps)	no	80
	EREP, San Isidro	Av. Javier Prado Este 990, San Isidro	No	(Motorola PTP 500)	40
	Miraflores	Av. Ernesto Diez Canseco 230, Miraflores	Línea dedicada (4 Mbps)	no	45
	Quilca	Jr. Quilca, Cercado de Lima	Línea dedicada (4 Mbps)	no	1
	Independencia	Calle Los Andes n.º 486, Urb. Industrial Panamericana Norte, Los Andes 486, Independencia	Línea dedicada (4 Mbps)	no	25

En la figura 22, se puede observar la topología actual del Reniec: 15 oficinas registrales cuentan con el acceso de 4 Mbps de línea dedicada, el cual ocasiona gastos mensuales a este organismo. A fin de evitar este gasto, se propone enlazar todas las oficinas registrales utilizando enlaces microondas de banda ancha en frecuencias no licenciadas. Para ello, será necesario evaluar la existencia de línea de vista y proponer una topología.

Figura 22. Topología de red

En la tabla 12, se observa el tráfico total requerido por cada sede considerando los diferentes tipos de tráfico. Es importante destacar que en este análisis no se ha considerado aun el tráfico con cámaras de video vigilancia de alta calidad ni los anexos telefónicos IP.

Tabla 12

Sedes principales y oficinas registrales del Reniec Lima

Nombre del local	Tráfico de internet (Mbps)	Tráfico AFIS (Mbps)	Tráfico CV (Mbps)	Tráfico W (Mbps)	Tráfico total (Mbps)
Sede administrativa	400	100	0	19,2	519,2
Sede operativa	300	50	0	19,2	369,2
Sede San Borja	200	20	0	19,2	239,2
San Juan de Miraflores	40	5	5,868	19,2	70,068
Jesús María	30	8	7,0416	19,2	64,2416
Callao	48	6	5,868	19,2	79,068
Comas I	20	8	7,0416	19,2	54,2416
Surco, Higuiereta	30	3	3,5208	19,2	55,7208
Comas II	40	6	7,0416	19,2	72,2416
Villa El Salvador	20	6	3,5208	19,2	48,7208
Comas III	20	6	3,5208	19,2	48,7208
Lurín	8	5	1,1736	19,2	33,3736
San Martín de Porres	36	4	3,5208	19,2	62,7208
Puente Piedra	20	3	7,0416	19,2	49,2416
Miroquesada	60	3	3,5208	19,2	85,7208
Ventanilla	40	6	1,1736	19,2	66,3736
Grias, Jesús María	72	3	3,5208	19,2	97,7208
EREP, San Isidro	48	6	7,0416	19,2	80,2416
Miraflores	32	4	5,868	19,2	61,068
Quilca	10	5	2,3472	19,2	36,5472
Independencia	20	5	5,868	19,2	50,068

PTP500 conectorizado

El PTP500 es el equipo que actualmente está operando en los enlaces microondas. Perteneció a la marca Cambium Networks, se utiliza para enlaces punto a punto y se considera una solución de banda ancha inalámbrica. Opera a diferentes velocidades de transmisión: 25 Mbps, 52 Mbps y 105 Mbps. Este equipo tiene la licencia de operación a 105 Mbps, pero debido a que existe mucha interferencia en la banda de 5,8 GHz por ser no licenciada está operando a 80 Mbps. Actualmente, esta solución se encuentra descontinuada por el fabricante.

Figura 23. Radio PTP500, marca Cambium Networks

Figura 24. Enlace de radio PTP500, marca Cambium Networks

En la figura 25, se puede observar el análisis de espectro del PTP500, el cual considera una revisión de la interferencia versus las frecuencias.

Figura 25. Análisis de espectro del PTP500

3.4 Matriz de interesados

En la matriz de interesados presentada en la figura 26, se muestra el nivel de interés y poder de todos los involucrados en el proyecto. El principal interesado es el gerente de operaciones registrales.

Figura 26. Análisis de espectro del PTP500

3.5 Estructura de descomposición del trabajo

Figura 27. EDT del proyecto

3.6 Requerimiento del proyecto

- Diseñar una red inalámbrica de banda ancha entre las sedes principales y las oficinas registrales. Para ello, se debe considerar que la frecuencia de operación puede ser licenciada o no licenciada y debe cumplir la regulación del MTC al respecto, según el artículo 28, definido en el Decreto Supremo n.º 006-2013-MTC, y las recomendaciones UIT-R P530-12, UIT-R P530-13, UIT-R P.526.9 y UIT-R P.525.
- Calcular la radiopropagación de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes con respecto a los niveles de recepción (RSSI), a la relación señal a ruido (SNR), al margen de desvanecimiento y a la disponibilidad según *Wireless Link Budget Analysis* de Tranzeo.
- En el caso de utilizar una banda no licenciada, se deberá considerar una disponibilidad del enlace de 99,99 % según *Wireless Link Budget Analysis* de Tranzeo.
- Proponer una solución de banda ancha inalámbrica que soporte el tráfico de voz, video y datos de cada oficina registral.
- Calcular el ancho de banda por cámara de video vigilancia considerando la resolución, el códec de video y los cuadros por segundo (FPS).
- Realizar un análisis económico para determinar el porcentaje de reducción de costos de acceso de las oficinas registrales considerando el costo de líneas dedicadas versus el capex y opex de la solución de radioenlace.
- Realizar un análisis de tráfico de los diferentes enlaces de radio que se considerarán en la topología de red, teniendo en cuenta el número de usuarios, la cantidad de dispositivos y los *throughputs* requeridos por servicio. En el caso del tráfico de datos, se considerará el tráfico actual de la red.
- Realizar un cuadro comparativo entre las dos soluciones de banda ancha inalámbrica existentes en el mercado.
- Evaluar diferentes tecnologías de banda ancha inalámbrica que cumplan los requerimientos de *throughput*, protección del equipo, análisis de espectro, eficiencia espectral y frecuencia de operación.

Tabla 13

Tabla resumen de objetivos específicos y requerimientos

Tabla resumen de objetivos específicos y requerimientos	
Objetivo específico	Requerimiento
OE 1: Diseñar una red microondas de banda ancha que cumpla la regulación del MTC, según el Decreto Supremo n.º 006-2013-MTC, y las recomendaciones UIT-R P530-12, UIT-R P530-13, UIT-R P.526.9 y UIT-R P.525.	Diseñar una red inalámbrica de banda ancha entre las sedes principales y las oficinas registrales. Para ello, se debe considerar que la frecuencia de operación puede ser licenciada o no licenciada.
	En el caso de utilizar una banda licenciada, se deberá considerar una disponibilidad del enlace de 99,99 %.
	Verificar el Fresnel al 100 % con el <i>software</i> de diseño.
	Verificar el nivel de recepción con el <i>software</i> de diseño.
	Verificar el <i>throughput</i> y el margen de desvanecimiento con el <i>software</i> de diseño.
OE 2: Evaluar que el equipamiento de banda cumpla los requerimientos técnicos evaluados en el estudio de tráfico y radiopropagación.	Calcular el ancho de banda por cámara de video vigilancia considerando aplicar una alta calidad de video.
	Realizar un análisis de tráfico de los diferentes enlaces de radio que se considerarán en la topología de red, teniendo en cuenta el número de usuarios, la cantidad de dispositivos y los <i>throughputs</i> requeridos por servicio. En el caso del tráfico de datos se considerará el tráfico actual de la red.

	Realizar un cuadro comparativo entre las dos soluciones de banda ancha inalámbrica existentes en el mercado.
OE 3: Cumplir un sistema que soporte el tráfico requerido, considerando los diferentes servicios de la institución y un crecimiento del 15 % en cinco años.	Proponer una solución de banda ancha inalámbrica que soporte el tráfico de voz, video y datos de cada oficina registral. Evaluar el tráfico generado por los anexos de telefonía IP de cada sede.
OE 4: Proponer un diseño que permita reducir los costos generados por la interconexión con las diferentes sedes del Reniec, realizando la evaluación de capex y opex.	Se realizará un análisis económico para determinar el porcentaje de reducción de costos de acceso de las oficinas registrales, considerando el costo de líneas de dedicadas versus el capex y el opex de la solución de radioenlace.

4 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

En el presente capítulo, se presenta el análisis de tráfico requerido por cada servicio y sede, teniendo la ubicación de las diferentes sedes y oficinas administrativas del Reniec. Asimismo, se indican los criterios de diseño a considerar aplicando las recomendaciones de la UIT, así como las buenas prácticas de los fabricantes.

4.1 Evaluación del ancho de banda requerido en la red de banda ancha inalámbrica por cada sede considerando los servicios de voz, video y datos

4.1.1 Análisis del ancho de banda requerido por el sistema de video vigilancia, con alta calidad de video, considerando la cantidad de cámaras, códec, resolución, tamaño del *frame* y la velocidad del *frame* por cámara (FPS)

Stream Type:	☐ MJPEG ☒ H.264	
Resolution:	☐ D1 (704x480) ☐ 720P HD ☐ 1080P HD	☐ 1.3 Megapixel ☐ 3 Megapixel ☐ 5 Megapixel ☒ 10 Megapixel
Video Quality:	☐ Low ☒ Medium ☐ High	
Average Frame Size:	180 KB	
Number of Cameras:	1	
Frame Rate per Camera:	25 FPS	
Total Bandwidth: 21.6 Mbps		
Average Bandwidth per Camera: 21.6 Mbps		
Estimated Storage: 816.5 GB		

Figura 28. Cálculo del ancho de banda requerido por cámara IP⁶. Tomado de <http://www.stardot.com/bandwidth-and-storage-calculator>

⁶ Recomendación:

<https://www.quora.com/What-is-the-best-frame-rate-FPS-for-online-video>

4.1.2 Análisis del ancho de banda requerido por el sistema de telefonía IP entre las diferentes sedes, considerando la cantidad de anexos telefónicos, así como el códec.

Teniendo en cuenta que se utilizará un códec G711 con diez llamadas concurrentes, se realizó el cálculo de ancho de banda por llamada y por el total de llamadas concurrentes.

Figura 29. Cálculo del ancho de banda VoIP por llamada y cantidad de llamadas concurrentes. Tomado de <https://www.clearfly.net/kb/109/>

4.1.3 Análisis del ancho de banda total requerido por cada oficina registral

Según las tablas 1, 2 y 3 del capítulo 3, se elaboró la tabla 14.

Tabla 14

Cálculo del tráfico total por oficina registral

Nombre del local	Internet (Mbps)	AFIS* (Mbps)	CV* (Mbps)	VideoW (Mbps)	Telefonía IP (Mbps)	Tráfico total (Mbps)
Sede administrativa	400	100	0	19,2	0	519,2
Sede operativa	300	50	0	19,2	0	369,2
Sede San Borja	200	20	0	19,2	0	239,2
San Juan de Miraflores	40	5	5,868	19,2	4,5	74,568
Jesús María	30	8	7,0416	19,2	6,3	70,5416
Callao	48	6	5,868	19,2	3,6	82,668
Comas I	20	8	7,0416	19,2	3,6	57,8416
Surco, Higuiereta	30	3	3,5208	19,2	3,6	59,3208
Comas II	40	6	7,0416	19,2	5,4	77,6416
Villa El Salvador	20	6	3,5208	19,2	1,8	50,5208
Comas III	20	6	3,5208	19,2	3,6	52,3208
Lurín	8	5	1,1736	19,2	1,8	35,1736
San Martín de Porres	36	4	3,5208	19,2	4,5	67,2208
Puente Piedra	20	3	7,0416	19,2	2,7	51,9416
Miroquesada	60	3	3,5208	19,2	27	112,7208
Ventanilla	40	6	1,1736	19,2	1,8	68,1736
Grias, Jesús María	72	3	3,5208	19,2	27	124,7208
EREP, San Isidro	48	6	7,0416	19,2	9	80,2416
Miraflores	32	4	5,868	19,2	5,4	66,468
Quilca	10	5	2,3472	19,2	3,6	40,1472
Independencia	20	5	5,868	19,2	9	59,068

* AFIS: (Automated Fingerprint Identification System)

** CV: captura en vivo

4.2 Diseño de la red de banda ancha entre las sedes principales y oficinas registrales

4.2.1 Ubicación de las sedes principales y de las oficinas registrales en *Google Earth*, considerando sus coordenadas geográficas

A continuación, se presentan las coordenadas geográficas del Reniec, considerando la zona de referencia WGS84. Es muy importante tener en cuenta que nuestro país se encuentra en la latitud sur y longitud oeste.

Tabla 15

Coordenadas geográficas de las sedes del Reniec

Ítem	Local	Latitud	Longitud
1	Sede administrativa	-12,0561056	-77,0370293
2	Sede operativa	-12,052195	-77,027284
3	Sede San Borja	-12,087968	-77,000865
4	San Juan de Miraflores	-12,156601	-76,973372
5	Jesús María	-12,068551	-77,04767
6	Callao	-12,061705	-77,146872
7	Comas I	-11,947793	-77,049884
8	Surco, Higuiereta	-12,127965	-77,001465
9	Comas II	-11,9705598	-77,0577158
10	Villa El Salvador	-12,204472	-76,939156
11	Comas III	-11,900243	-77,040939
12	Lurín	-12,272332	-76,868729
13	San Martín de Porres	-12,028385	-77,057046
14	Puente Piedra	-11,864249	-77,077521
15	Miroquesada	-12,049855	-77,02973
16	Ventanilla	-11,832172	-77,152995
17	Grias, Jesús María	-12,065567	-77,043237
18	EREP, San Isidro	-12,090644	-77,019506
19	Miraflores	-12,122447	-77,02841
20	Quilca	-12,050758	-77,042054
21	Independencia	-11,991247	-77,061896

La ubicación de las sedes del Reniec permitirá evaluar la ubicación y las obstrucciones que puedan existir al realizar el análisis de línea de vista.

Figura 30. Ubicación de las sedes del Reniec en Google Earth

4.2.2 Evaluación de la línea de vista entre los diferentes locales del Reniec considerando el perfil del terreno y las obstrucciones con LINKPlanner y Google Earth

Enlace con LOS. Se considera cuando el enlace no presenta ningún obstáculo en la zona de Fresnel.

Figura 31. Enlace con LOS

Enlace con nLOS. Se considera cuando el enlace presenta un leve obstáculo en la zona de Fresnel.

Figura 32. Enlace con nLOS

Enlace con NLOS. Se considera cuando el enlace presenta un obstáculo en la zona de Fresnel.

Figura 33. Enlace con NLOS

Evaluando la obstrucción y la altura de torres

Utilizando el *software* de LINKPlanner se puede obtener el perfil de cada enlace, para lo cual utiliza una cartografía digital propietaria con un margen de error de 10 m.

Figura 34. Perfil del enlace Callao - sede administrativa

Figura 35. Perfil del enlace Comas I - Callao

Figura 36. Perfil del enlace Comas I - Puente Piedra

Figura 37. Perfil del enlace Comas II - Callao

Figura 38. Perfil del enlace Comas III - Callao

Figura 39. Perfil del enlace Ventanilla - Callao

Figura 40. Perfil del enlace Independencia - San Martín de Porres

Figura 41. Perfil del enlace San Martín de Porres - sede administrativa

Figura 42. Perfil del enlace Quilca - sede administrativa

Figura 43. Perfil del enlace Jesús María - sede administrativa

Figura 44. Perfil del enlace Grias, Jesús María - sede administrativa

Figura 45. Perfil del enlace Miroquesada - sede operativa

Figura 46. Perfil del enlace EREP, San Isidro - sede San Borja

Figura 47. Perfil del enlace Miraflores - sede San Borja

Figura 48. Perfil del enlace Surco, Higuera - sede San Borja

Figura 49. Perfil de San Juan de Miraflores - sede San Borja

Figura 50. Perfil de Villa El Salvador – Miraflores

Topología de la red de banda ancha inalámbrica del Reniec

Como resultado del análisis de línea de vista de los radioenlaces, se obtuvo la siguiente topología por sede:

Figura 51. Topología de las microondas, sede administrativa

Figura 52. Topología de las microondas, sede operativa

Figura 53. Topología de las microondas, sede San Borja

Tráfico por enlace considerando la topología

Considerando el tráfico necesario por cada sede presentado en el subcapítulo 4.1.3, se obtiene el *throughput* total requerido por cada enlace en las oficinas registrales.

Figura 54. Análisis de tráfico por enlace, sede San Borja

Figura 55. Análisis de tráfico por enlace, sede operativa

Figura 56. Análisis de tráfico por enlace, sede administrativa

4.2.3 Evaluación técnica de los equipos de radiocomunicaciones, considerando el ancho de banda total requerido por cada oficina registral

Tabla 16

Comparación entre el Radwin 2000 D+ vs. Cambium PTP670

Especificación	Radwin 2000 D+	Puntuación	Cambium PTP670	Puntuación
Frecuencia (MHz)	4900-6000	1	4900-6050	1
Ancho de canal (MHz)	10/20/40/80	0	5/10/15/20/30/40/45	1
Capacidad (Mbps)	750	1	450	0
Potencia (dBm)	25	0	27	1
Eficiencia espectral (bps/Hz)	9,375	0	10	1
Rango (km)	120	0	250	1
Latencia (ms)	3	1	3	1
Temperatura	(-35° a +60° C)	0	(-40° a +60° C)	1
Potencia de consumo (W)	25	1	30	0
Protección	IP67	0	IP66/IP67	1
Encriptación	AES 128; FIPS 197	0	AES128/256; FIPS-197	1
	Total	4	Total	9

El PTP670 presenta la tabla 17, donde se muestra el *throughput* por cada ancho de canal.

Tabla 17

Throughput por cada ancho de canal

Modulation Mode	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	45 MHz
BPSK 0.63 Single	2,3	4,8	7,2	9,6	14,5	19,9	21,8
QPSK 0.63 Single	4,7	9,6	14,5	19,3	29,1	39,7	43,5
QPSK 0.87 Single	6,5	13,4	20,2	26,8	40,5	55,2	60,5
16QAM 0.63 Single	6,5	13,4	20,2	26,8	40,5	55,3	60,6
16QAM 0.87 Single	9,3	19,3	29	38,5	58,2	79,5	87,1
64QAM 0.75 Single	12,1	25,1	37,7	50	75,6	103,2	113,1
64QAM 0.92 Single	16,7	34,5	51,9	68,9	104,1	142,1	155,7
256QAM 0.81 Single	24,2	50,1	75,4	100,1	151,1	206,3	226,1
16QAM 0.63 Dual	13	26,8	40,4	53,6	80,9	110,5	121,1
16QAM 0.87 Dual	18,6	38,6	58	77	116,4	158,9	174,1
64QAM 0.75 Dual	24,2	50,1	75,4	100	151,1	206,3	226,1
64QAM 0.92 Dual	33,3	69,0	103,8	137,8	208,1	284,1	311,3
256QAM 0.81 Dual	48,4	100,2	150,7	200,1	302,2	412,6	452,2

Nota: Hoja técnica del PTP670

4.2.4 Cálculos de radiopropagación entre las sedes principales y las oficinas registrales, considerando la regulación del MTC y las recomendaciones de los fabricantes

A. Criterios de diseños según regulación del MTC y recomendaciones de fabricantes

i. Definición de frecuencias no licenciadas según el Decreto Supremo n.º 006-2013-MTC

Banda de frecuencias (MHz)
916 - 928 2400 - 2483,5 5725 - 5850
5 250 – 5 350 5 470 – 5 725

Figura 57. Frecuencias no licenciadas

- ii. La teoría de la difracción indica que el trayecto directo entre el transmisor y el receptor debe estar libre de obstáculos, a partir de una altura por encima del suelo igual, como mínimo, al 60 % del radio de la primera zona de Fresnel para que se cumplan las condiciones de propagación en el espacio libre según la UIT-R P530-13.
- iii. Se definirá la altura de las torres considerando las alturas de las antenas transmisoras y receptoras superiores a las zonas de reflexión sobre el perfil del trayecto según la UIT-R P530-13.

Figura 58. Consideración de alturas entre las estaciones transmisora y receptora

- iv. La disponibilidad requerida en el enlace será de 99,99 % (UIT-R P530-12)

Tabla 18

Disponibilidad del enlace

<i>Availability (1-p)</i>	<i>Unavailability (p)</i>	<i>Outage per year</i>
99 %	1 %	3,65 <i>days</i>
99,9 %	0,1%	8,76 <i>hours</i>
99,99 %	0,01 %	52,56 <i>minutes</i>
99,999 %	0,001 %	315,36 <i>seconds</i>

- v. El margen de desvanecimiento requerido depende de la disponibilidad del enlace. Una buena regla general es mantener en todo momento 20 dB a 30 dB de margen de desvanecimiento. La tabla 19 muestra el modelo de desvanecimiento de Rayleigh, que destaca la relación entre el margen de desvanecimiento y la disponibilidad de un enlace.

Tabla 19

Disponibilidad del enlace

<i>Time availability (1-p)</i>	<i>Fade margin (dB)</i>
90	8
99	18
99,9	28
99,99	38
99,999	48

Nota: Tomado de

http://www.tranzeo.com/allowed/Tranzeo_Link_Budget_Whitepaper.pdf

B. Cálculo de las pérdidas en espacio libre (L_f) por cada enlace

$$L_f = 32.4 + 20 \log (d) + 20 \log (f)$$

Ecuación 6

C. Cálculo de la potencia radiada (PIRE) por cada enlace

$$PIRE = P_{tx} - P_c + G_a$$

Ecuación 7

D. Cálculo del nivel de recepción (N_{rx}) por cada enlace

$$N_{rx} = P_{tx} - P_c + G_a - L_f + G_r - P_r$$

Ecuación 8

E. Cálculo del margen de desvanecimiento (M_d) por cada enlace

$$\text{Margen} = N_{rx} - S_{rx}$$

Ecuación 9

F. Cálculo de relación señal a ruido (SNR) por cada enlace

$$SNR = N_{rx} - \text{Piso de ruido}$$

Ecuación 10

4.2.5 Plan de frecuencia de los enlaces de radio entre las sedes principales y las oficinas registrales

Se debe utilizar la frecuencia no licenciada en banda de 5,8 GHz, la cual ocupa el rango de frecuencia 5725-5850 MHz. Según la capacidad requerida en los enlaces de radio, se deben emplear los anchos de canal de 20/30/40 MHz. Asimismo, se requiere tener en cuenta una banda de guarda de 5 MHz. Para los anchos de canales considerados y con el rango de frecuencia, se deben considerar los siguientes canales:

Tabla 20
Plan de frecuencia considerando un ancho de canal de 20 MHz

ID	Canal	Frecuencia
1	Canal 1	5735
2	Canal 2	5760
3	Canal 3	5785
4	Canal 4	5810
5	Canal 5	5835

Tabla 21
Plan de frecuencia considerando un ancho de canal de 40 MHz

ID	Canal	Frecuencia
1	Canal 1	5745
2	Canal 2	5790

4.2.6 Definición de la infraestructura de comunicaciones

i. Torre

Figura 59. Torre ventada

4.2.7 Arquitectura física de radiocomunicación de las sedes principales y de las oficinas registrales

Figura 60. Equipos microondas conectorizado y no conectorizado

4.3 Análisis económico en capex y opex de la solución propuesta

Considerando la topología, así como los requerimientos técnicos por cada enlace, en la tabla 22, se presentan las listas de antenas y equipos de radio requeridos para la red propuesta.

Tabla 22

Equipamiento requerido de la red de microondas

Enlace	Radio	Cant.	Antena	Cant.
Callao to sede administrativa	PTP670	2	Cambium Networks 4ft Dual-Polar Parabolic RDH4505	2
Comas I to Callao	PTP670	2	Cambium Networks 3ft Dual-Polar Parabolic RDH4504	2
Comas I to Puente Piedra	PTP670	2	Cambium Networks 2ft Dual-Polar Parabolic RDH4503	2
Comas II to Independencia	PTP670	2	Cambium Networks High Gain Integrated	2
EREP, San Isidro to sede San Borja	PTP670	2	Cambium Networks High Gain Integrated	2
Grias, Jesús María to sede administrativa	PTP670	2	Cambium Networks High Gain Integrated	2
Independencia to San Martín de Porres	PTP670	2	Cambium Networks 3ft Dual-Polar Parabolic RDH4504	2
Jesús María to sede administrativa	PTP670	2	Cambium Networks High Gain Integrated	2
Miraflores to sede San Borja	PTP670	2	Cambium Networks 3ft Dual-Polar Parabolic RDH4504	2
Miroquesada to sede operativa	PTP670	2	Cambium Networks High Gain Integrated	2
Quilca to sede administrativa	PTP670	2	Cambium Networks High Gain Integrated	2
San Juan de Miraflores to sede San Borja	PTP670	2	Cambium Networks 2ft Dual-Polar Parabolic RDH4503	2
San Martín de Porres to sede administrativa	PTP670	2	Cambium Networks 3ft Dual-Polar Parabolic RDH4504	2
Surco – Higuera to sede San Borja	PTP670	2	Cambium Networks 3ft Dual-Polar Parabolic RDH4504	2
Ventanilla to Callao	PTP670	2	Cambium Networks 4ft Dual-Polar Parabolic RDH4505	2
Villa El Salvador to Miraflores	PTP670	2	Cambium Networks 3ft Dual-Polar Parabolic RDH4504	2
Total		34	Total	34

Teniendo en cuenta el cuadro anterior, en la tabla 23, se presentan las cantidades y los costos de los radios y de las antenas requeridas en el proyecto.

Tabla 23
Capex y opex de la red de microondas

	Ítem	Descripción	Cant.	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Capex	1	Cambium Networks PTP670 Integrado	12	2795	33 540
	2	Cambium Networks PTP670 Conectorizado	22	2795	61 490
	3	Cambium Networks 2ft Dual-Polar Parabolic RDH4503	6	1025	6150
	4	Cambium Networks 3ft Dual-Polar Parabolic RDH4504	12	1755	21 060
	5	Cambium Networks 4ft Dual-Polar Parabolic RDH4505	4	2175	8700
Opex	6	Mantenimiento de torre por sede	34	500	17 000
Total					147 940

5 PRUEBAS, RESULTADOS Y VALIDACIÓN

En este capítulo, se presentan las validaciones de los resultados obtenidos en el diseño de la red PTP, considerando el cumplimiento de los objetivos específicos. Las pruebas y la validación de los resultados en el caso de la red PTP se realizó utilizando el *software* LINKPlanner, el cual permite comprobar el cumplimiento de los criterios de diseño. Asimismo, se presentan los resultados de la evaluación del equipamiento de banda ancha capex/opex de la red de microondas propuesta y su requerimiento tomando en cuenta un crecimiento del 15 %.

5.1 Evaluación de los resultados en los enlaces de radio considerando el cumplimiento de la regulación del MTC, de las normas de la UIT y de las buenas prácticas de los fabricantes

Tabla 24

Objetivo específico 1

Objetivo específico	Indicador de logro	Métrica
Cumplir la regulación del MTC, las normas del UIT y las recomendaciones de los fabricantes.	Se realizó una simulación en un <i>software</i> de diseño de redes de banda ancha para validar los resultados. <ul style="list-style-type: none">• Margen de desvanecimiento: 20 dB• Disponibilidad: 99,99 %• Nivel de recepción: -50 a 70 dBm• <i>Throughput</i>: de acuerdo con el análisis de capacidad	<ul style="list-style-type: none">• dB• %• dBm• Mbps

Utilizando el *software* de LINKPlanner se puede comprobar que el diseño de los enlaces cumple los criterios, los cuales fueron los siguientes:

Margen de desvanecimiento: 20 dB

Línea de vista: 100 %

Disponibilidad: 99,99 %, considerando que los enlaces están operando en banda no licenciada.

Fresnel: Mayor o igual que el 60 %

Throughput: Teniendo en cuenta que cada enlace requiere una capacidad, se obtiene la figura 61.

Se validó cada uno de los 17 enlaces en función de su perfil de enlace y el análisis de resultados con el *software* de LINKPlanner. Los resultados aparecen en color amarillo en las figuras de cada enlace. Al finalizar, se muestran todos los resultados en tablas resumen.

Considerando la regulación del MTC con respecto a las bandas no licenciadas, en la simulación, se puede verificar que la solución propuesta opera en la banda de 5,8 GHz.

Figura 61. Parámetros de configuración de la solución propuesta de radio (PTP670) con LINKPlanner

En la figura 62, se puede observar cómo comprobar la línea de vista y la zona de Fresnel con LINKPlanner.

Figura 62. Resultados en un enlace de radio con LINKPlanner

En la figura 63, se puede observar cómo comprobar el *throughput* agregado, la modulación, el margen de desvanecimiento y la disponibilidad con LINKPlanner:

Figura 63. Parámetros de evaluación de cumplimiento de *throughput*, margen y disponibilidad con LINKPlanner

Enlace Callao - sede administrativa

En la figura 64, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 64. Perfil del enlace Callao - sede administrativa

En el detalle de los resultados del enlace Callao - sede administrativa, según lo calculado en el análisis de tráfico, se requiere 260,5 Mbps, y lo obtenido con LINKPlanner fue lo siguiente:

Performance Details													
Common details													
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	405.75	341.85	279.35	217.33	156.23	202.87	170.92	139.68	108.66	78.11	54.33	39.05	19.52
Performance to Callao													
Max IP Throughput (Mbps):	356.46	300.33	245.43	190.93	137.26	178.23	150.16	122.71	95.46	68.63	47.73	34.31	17.15
Fade Margin (dB):	11.73	16.47	20.59	24.72	28.34	15.39	19.76	23.72	27.78	32.29	35.62	39.64	42.75
Mode Availability (%):	99.9992	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9992	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Sede Administrativa													
Max IP Throughput (Mbps):	356.46	300.33	245.43	190.93	137.26	178.23	150.16	122.71	95.46	68.63	47.73	34.31	17.15
Fade Margin (dB):	11.73	16.47	20.59	24.72	28.34	15.39	19.76	23.72	27.78	32.29	35.62	39.64	42.75
Mode Availability (%):	99.9992	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9992	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 65. Análisis de los resultados del enlace Callao - sede administrativa

Enlace Comas I - Callao

En la figura 66, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 66. Perfil del enlace Comas I – Callao

Performance Details													
Charts		Details											
Common details													
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	295.91	249.31	203.73	158.50	113.94	147.95	124.65	101.87	79.25	56.97	39.62	28.48	14.24
Performance to Comas I													
Max IP Throughput (Mbps):	252.53	212.76	173.87	135.26	97.24	126.26	106.38	86.93	67.83	48.82	33.81	24.31	12.15
Fade Margin (dB):	3.58	8.31	12.44	16.56	20.18	7.23	11.61	15.56	19.83	24.13	27.46	31.48	35.59
Mode Availability (%):	99.4584	99.9901	99.9984	99.9993	99.9996	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.4584	0.5317	0.0083	0.0009	0.0002	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 67. Análisis de los resultados del enlace Comas I - Callao

Enlace Comas I - Puente Piedra

En la figura 68, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 68. Perfil del enlace Comas I - Puente Piedra

Performance Details												
Common details												
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.63	0.81	0.92	0.75	0.87	0.63	0.87	0.63
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	197.90	168.74	136.25	106.00	76.20	96.95	83.36	68.12	53.00	38.10	26.50	19.05
Performance to Comas I												
Max IP Throughput (Mbps):	155.46	130.98	107.03	83.27	59.86	77.73	65.49	53.52	41.63	29.93	20.81	14.98
Fade Margin (dB):	3.97	8.70	12.83	16.95	20.58	7.62	12.00	15.95	20.02	24.52	27.85	31.87
Mode Availability (%):	99.8029	99.9982	99.9994	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.8029	0.1953	0.0012	0.0001	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Puente Piedra												
Max IP Throughput (Mbps):	155.46	130.98	107.03	83.27	59.86	77.73	65.49	53.52	41.63	29.93	20.81	14.98
Fade Margin (dB):	3.97	8.70	12.83	16.95	20.58	7.62	12.00	15.95	20.02	24.52	27.85	31.87
Mode Availability (%):	99.8029	99.9982	99.9994	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.8029	0.1953	0.0012	0.0001	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 69. Análisis de los resultados del enlace Comas I - Puente Piedra

Enlace Comas II - Independencia

En la figura 70, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 70. Perfil del enlace Comas II - Independencia

Performance Details													
Charts Details													
Common details													
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	200.15	108.83	137.80	107.20	77.07	100.07	84.31	68.90	53.80	38.53	28.80	19.28	9.83
Performance to Comas II													
Max IP Throughput (Mbps):	158.25	133.33	108.96	84.78	60.93	79.12	66.66	54.48	42.38	30.47	21.19	15.23	7.61
Fade Margin (dB):	7.45	12.18	16.31	20.43	24.05	11.10	15.47	19.43	23.49	28.00	31.33	35.35	39.46
Mode Availability (%):	99.9998	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9998	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Independencia													
Max IP Throughput (Mbps):	158.25	133.33	108.96	84.78	60.93	79.12	66.66	54.48	42.38	30.47	21.19	15.23	7.61
Fade Margin (dB):	7.45	12.18	16.31	20.43	24.05	11.10	15.47	19.43	23.49	28.00	31.33	35.35	39.46
Mode Availability (%):	99.9998	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9998	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 71. Análisis de los resultados del enlace Comas II - Independencia

Enlace Comas III - Independencia

En la figura 72, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 72. Perfil del enlace Comas III - Independencia

Performance Details													
Charts	Details												
Common details													
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.63	0.81	0.92	0.75	0.87	0.63	0.87	0.63	0.63
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	197.90	166.74	136.25	106.00	76.20	96.95	83.36	66.12	53.00	38.10	26.50	19.05	9.52
Performance to Comas III													
Max IP Throughput (Mbps):	155.46	130.98	107.03	83.27	59.66	77.73	65.49	53.52	41.83	29.93	20.81	14.96	7.48
Fade Margin (dB):	3.44	8.17	12.30	16.42	20.04	7.09	11.46	15.42	19.48	23.99	27.32	31.34	35.45
Mode Availability (%):	99.3343	99.9975	99.9994	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.3343	0.6832	0.0019	0.0001	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Independencia													
Max IP Throughput (Mbps):	155.46	130.98	107.03	83.27	59.66	77.73	65.49	53.52	41.83	29.93	20.81	14.96	7.48
Fade Margin (dB):	3.44	8.17	12.30	16.42	20.04	7.09	11.46	15.42	19.48	23.99	27.32	31.34	35.45
Mode Availability (%):	99.3343	99.9975	99.9994	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.3343	0.6832	0.0019	0.0001	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 73. Análisis de los resultados del enlace Comas III - Independencia

Enlace Ventanilla - Callao

En la figura 74, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 74. Perfil del enlace Ventanilla - Callao

Performance Details													
Charts Details													
Common details													
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	193.55	163.07	133.28	103.67	74.53	96.77	81.53	66.63	51.83	37.28	25.91	18.63	9.31
Performance to Ventanilla													
Max IP Throughput (Mbps):	150.16	126.52	103.39	80.43	57.82	75.08	63.26	51.69	40.21	28.91	20.11	14.45	7.22
Fade Margin (dB):	8.06	12.79	16.92	21.04	24.67	11.71	16.09	20.04	24.11	28.61	31.94	35.96	40.07
Mode Availability (%):	99.9767	99.9970	99.9989	99.9993	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9767	0.0203	0.0019	0.0004	0.0001	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Callao													
Max IP Throughput (Mbps):	150.16	126.52	103.39	80.43	57.82	75.08	63.26	51.69	40.21	28.91	20.11	14.45	7.22
Fade Margin (dB):	8.06	12.79	16.92	21.04	24.67	11.71	16.09	20.04	24.11	28.61	31.94	35.96	40.07
Mode Availability (%):	99.9767	99.9970	99.9989	99.9993	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9767	0.0203	0.0019	0.0004	0.0001	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 75. Análisis de los resultados del enlace Ventanilla - Callao

Enlace Independencia - San Martín de Porres

En la figura 76, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 76. Perfil del enlace Independencia - San Martín de Porres

Performance Details												
Charts	Details											
Common details												
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.63	0.87	0.63
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	300.72	253.36	207.04	161.07	115.79	150.36	126.68	103.52	80.53	57.89	40.26	14.47
Performance to Independencia												
Max IP Throughput (Mbps):	259.62	218.73	178.75	139.06	99.97	129.81	109.36	89.37	69.53	49.98	34.76	12.49
Fade Margin (dB):	15.70	20.43	24.56	27.68	31.31	19.35	23.73	27.68	30.75	35.26	37.58	44.71
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to San Martín de Porres												
Max IP Throughput (Mbps):	259.62	218.73	178.75	139.06	99.97	129.81	109.36	89.37	69.53	49.98	34.76	12.49
Fade Margin (dB):	15.70	20.43	24.56	27.68	31.31	19.35	23.73	27.68	30.75	35.26	37.58	44.71
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 77. Análisis de los resultados del enlace Independencia - San Martín de Porres

Enlace San Martín de Porres - sede administrativa

En la figura 78, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 78. Perfil del enlace San Martín de Porres - sede administrativa

Performance Details													
Charts Details													
Common details													
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	410.35	345.73	282.53	219.79	158.01	205.17	172.86	141.26	109.89	79.00	54.94	39.50	19.74
Performance to San Martín de Porres													
Max IP Throughput (Mbps):	363.82	306.36	250.36	194.77	140.01	181.81	153.18	125.18	97.38	70.00	48.69	35.00	17.50
Fade Margin (dB):	15.29	19.02	23.15	26.27	29.90	18.95	22.32	26.27	29.34	33.85	36.17	40.19	43.30
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Sede Administrativa													
Max IP Throughput (Mbps):	363.82	306.36	250.36	194.77	140.01	181.81	153.18	125.18	97.38	70.00	48.69	35.00	17.50
Fade Margin (dB):	15.29	19.02	23.15	26.27	29.90	18.95	22.32	26.27	29.34	33.85	36.17	40.19	43.30
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 79. Análisis de los resultados del enlace San Martín de Porres – sede administrativa

Enlace Quilca - sede administrativa

En la figura 80, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 80. Perfil del enlace Quilca - sede administrativa

Performance Details													
Charts Details													
Common details													
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	200.72	169.11	138.19	107.51	77.28	100.36	84.55	69.09	53.75	38.84	26.87	19.32	9.66
Performance to Quilca													
Max IP Throughput (Mbps):	158.96	133.93	109.45	85.15	61.21	79.48	66.96	54.72	42.57	30.60	21.28	15.30	7.65
Fade Margin (dB):	16.70	21.44	25.56	28.89	32.31	20.36	24.73	28.89	31.75	36.26	38.58	42.61	45.71
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Sede Administrativa													
Max IP Throughput (Mbps):	158.96	133.93	109.45	85.15	61.21	79.48	66.96	54.72	42.57	30.60	21.28	15.30	7.65
Fade Margin (dB):	16.70	21.44	25.56	28.89	32.31	20.36	24.73	28.89	31.75	36.26	38.58	42.61	45.71
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 81. Análisis de los resultados del enlace Quilca - sede administrativa

Enlace Jesús María - sede administrativa

En la figura 82, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 82. Perfil del enlace Jesús María - sede administrativa

Performance Details													
Charts		Details											
Common details													
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	200.15	168.63	137.80	107.25	77.07	100.07	84.31	68.90	53.60	38.53	26.80	19.26	9.63
Performance to Jesus Maria													
Max IP Throughput (Mbps):	158.25	133.33	108.96	84.76	60.93	79.12	66.66	54.48	42.38	30.47	21.19	15.23	7.61
Fade Margin (dB):	9.71	14.45	18.57	22.70	26.32	13.37	17.74	21.70	25.76	30.27	33.60	37.62	41.72
Mode Availability (%):	99.9994	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9994	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Sede Administrativa													
Max IP Throughput (Mbps):	158.25	133.33	108.96	84.76	60.93	79.12	66.66	54.48	42.38	30.47	21.19	15.23	7.61
Fade Margin (dB):	9.71	14.45	18.57	22.70	26.32	13.37	17.74	21.70	25.76	30.27	33.60	37.62	41.72
Mode Availability (%):	99.9994	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9994	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 83. Análisis de los resultados del enlace Jesús María - sede administrativa

Enlace Grias, Jesús María - sede administrativa

En la figura 84, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 84. Perfil del enlace Grias, Jesús María - sede administrativa

Performance Details													
Charts	Details												
Common details													
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.63	0.87	0.63	0.63
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	200.72	169.11	138.19	107.51	77.28	100.38	84.55	69.09	53.75	38.64	26.87	19.32	9.66
Performance to Grias - Jesus Maria													
Max IP Throughput (Mbps):	158.96	133.93	109.45	85.15	61.21	79.48	66.96	54.72	42.57	30.60	21.28	15.30	7.65
Fade Margin (dB):	12.91	17.64	21.77	25.89	29.52	16.57	20.94	24.89	28.96	33.47	36.79	40.81	44.92
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Sede Administrativa													
Max IP Throughput (Mbps):	158.96	133.93	109.45	85.15	61.21	79.48	66.96	54.72	42.57	30.60	21.28	15.30	7.65
Fade Margin (dB):	12.91	17.64	21.77	25.89	29.52	16.57	20.94	24.89	28.96	33.47	36.79	40.81	44.92
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 85. Análisis de los resultados del enlace Grias, Jesús María - sede administrativa

Enlace Miroquesada - sede operativa

En la figura 86, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 86. Perfil del enlace Miroquesada - sede operativa

Performance Details												
Charts Details												
Common details												
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	200.72	109.11	138.19	107.51	77.28	100.38	84.55	69.09	53.75	38.84	26.87	19.32
Performance to Miroquesada												
Max IP Throughput (Mbps):	158.98	133.93	109.45	85.15	61.21	79.48	66.98	54.72	42.57	30.80	21.28	15.30
Fade Margin (dB):	18.44	22.18	26.30	29.43	33.05	22.10	25.47	29.43	32.49	37.00	39.33	43.35
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Sede Operativa												
Max IP Throughput (Mbps):	158.98	133.93	109.45	85.15	61.21	79.48	66.98	54.72	42.57	30.80	21.28	15.30
Fade Margin (dB):	18.44	22.18	26.30	29.43	33.05	22.10	25.47	29.43	32.49	37.00	39.33	43.35
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 87. Análisis de los resultados del enlace Miroquesada - sede operativa

Enlace EREP, San Isidro - sede San Borja

En la figura 78, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 88. Perfil del enlace EREP, San Isidro - sede San Borja

Performance Details												
Charts Details												
Common details												
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	200.15	158.83	137.80	107.20	77.07	100.07	84.31	68.90	53.60	38.53	26.80	19.28
Performance to EREP - San Isidro												
Max IP Throughput (Mbps):	158.25	133.33	108.98	84.78	60.93	79.12	66.66	54.48	42.38	30.47	21.19	15.23
Fade Margin (dB):	8.57	13.31	17.43	21.56	25.18	12.23	16.60	20.56	24.62	29.13	32.45	36.48
Mode Availability (%):	99.9992	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9992	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Sede San Borja												
Max IP Throughput (Mbps):	158.25	133.33	108.98	84.78	60.93	79.12	66.66	54.48	42.38	30.47	21.19	15.23
Fade Margin (dB):	8.57	13.31	17.43	21.56	25.18	12.23	16.60	20.56	24.62	29.13	32.45	36.48
Mode Availability (%):	99.9992	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9992	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 89. Análisis de los resultados del enlace EREP, San Isidro – sede San Borja

Enlace Miraflores - sede San Borja

En la figura 80, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 100 %.

Figura 90. Perfil del enlace Miraflores - sede San Borja

Performance Details													
Charts	Details												
Common details													
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	199.58	108.15	137.41	106.90	76.85	99.79	84.07	68.70	53.45	38.42	26.72	19.21	9.60
Performance to Miraflores													
Max IP Throughput (Mbps):	157.54	132.73	108.47	84.38	60.66	78.77	66.37	54.23	42.19	30.33	21.09	15.16	7.58
Fade Margin (dB):	16.08	20.81	24.94	29.06	32.69	19.74	24.11	28.06	32.13	36.64	38.96	42.98	46.09
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Sede San Borja													
Max IP Throughput (Mbps):	157.54	132.73	108.47	84.38	60.66	78.77	66.37	54.23	42.19	30.33	21.09	15.16	7.58
Fade Margin (dB):	16.08	20.81	24.94	29.06	32.69	19.74	24.11	28.06	32.13	36.64	38.96	42.98	46.09
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 91. Análisis de los resultados del enlace Miraflores - sede San Borja

Enlace Surco, Higuiereta - sede San Borja

En la figura 82, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 92. Perfil del enlace Surco, Higuiereta - sede San Borja

Performance Details												
Charts		Details										
Common details												
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	199.58	158.15	137.41	108.90	78.85	99.79	84.07	68.70	53.45	38.42	28.72	19.21
Performance to Surco - Higuera												
Max IP Throughput (Mbps):	157.54	132.73	108.47	84.38	60.66	78.77	66.37	54.23	42.19	30.33	21.09	15.18
Fade Margin (dB):	16.88	21.62	25.75	28.87	32.49	20.54	24.91	28.87	31.93	36.44	38.77	42.79
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Sede San Borja												
Max IP Throughput (Mbps):	157.54	132.73	108.47	84.38	60.66	78.77	66.37	54.23	42.19	30.33	21.09	15.18
Fade Margin (dB):	16.88	21.62	25.75	28.87	32.49	20.54	24.91	28.87	31.93	36.44	38.77	42.79
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 93. Análisis de los resultados del enlace Surco, Higuera - sede San Borja

Enlace San Juan de Miraflores - sede San Borja

En la figura 84, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 94. Perfil del enlace San Juan de Miraflores - sede San Borja

Performance Details													
Charts	Details												
Common details													
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	198.46	167.20	136.64	106.30	76.41	99.23	83.60	68.32	53.15	38.20	26.57	19.10	9.55
Performance to San Juan de Miraflores													
Max IP Throughput (Mbps):	156.15	131.56	107.51	83.64	60.12	78.07	65.78	53.75	41.82	30.08	20.91	15.03	7.51
Fade Margin (dB):	5.50	10.24	14.38	18.49	22.11	9.16	13.53	17.49	21.55	26.08	29.39	33.41	37.51
Mode Availability (%)	99.9823	99.9991	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%)	99.9823	0.0168	0.0004	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Sede San Borja													
Max IP Throughput (Mbps):	156.15	131.56	107.51	83.64	60.12	78.07	65.78	53.75	41.82	30.08	20.91	15.03	7.51
Fade Margin (dB):	5.50	10.24	14.38	18.49	22.11	9.16	13.53	17.49	21.55	26.08	29.39	33.41	37.51
Mode Availability (%)	99.9823	99.9991	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%)	99.9823	0.0168	0.0004	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 95. Análisis de los resultados del enlace San Juan de Miraflores - sede San Borja

Enlace Villa El Salvador - Miraflores

En la figura 86, se observa que el perfil del enlace cumple la línea de vista y la zona de Fresnel libre en más del 60 %.

Figura 96. Perfil del enlace Villa El Salvador - Miraflores

Performance Details													
Charts	Details												
Common details													
Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.63	0.81	0.92	0.75	0.87	0.63	0.87	0.63	0.63
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	196.80	165.80	135.49	105.41	75.77	98.39	82.90	67.74	52.70	37.88	26.35	18.94	9.47
Performance to Villa El Salvador													
Max IP Throughput (Mbps):	154.10	129.83	106.10	82.54	59.34	77.05	64.92	53.05	41.27	29.67	20.63	14.83	7.41
Fade Margin (dB):	7.22	11.96	16.09	20.21	23.83	10.88	15.25	19.21	23.27	27.78	31.11	35.13	39.24
Mode Availability (%):	99.9892	99.9989	99.9994	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9892	0.0097	0.0005	0.0001	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Miraflores													
Max IP Throughput (Mbps):	154.10	129.83	106.10	82.54	59.34	77.05	64.92	53.05	41.27	29.67	20.63	14.83	7.41
Fade Margin (dB):	7.22	11.96	16.09	20.21	23.83	10.88	15.25	19.21	23.27	27.78	31.11	35.13	39.24
Mode Availability (%):	99.9892	99.9989	99.9994	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9892	0.0097	0.0005	0.0001	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 97. Análisis de los resultados del enlace Villa El Salvador - Miraflores

Resultados del margen de desvanecimiento por cada enlace

Según las recomendaciones del fabricante, el cual relaciona el margen de desvanecimiento y la disponibilidad, se consideró como criterio de diseño que cada enlace cuente con un margen de desvanecimiento mínimo de 20 dB. En la tabla 25, se presenta el margen de desvanecimiento obtenido por cada enlace.

Tabla 25

Resumen de resultados del margen de desvanecimiento

Enlace	Margen de desvanecimiento requerido (dB)	Margen de desvanecimiento obtenido (dB)
Callao - sede administrativa	20	20,59
Comas I - Callao	20	20,18
Comas I - Puente Piedra	20	20,58
Comas II - Independencia	20	20,43
Comas III - Independencia	20	20,04
EREP, San Isidro - sede San Borja	20	21,56
Grias, Jesús María - sede administrativa	20	21,77
Independencia - San Martín de Porres	20	24,56
Jesús María - sede administrativa	20	22,70
Miraflores - sede San Borja	20	20,81
Miroquesada - sede operativa	20	22,18
Quilca - sede administrativa	20	21,44
San Juan de Miraflores - sede San Borja	20	22,11
San Martín de Porres - sede administrativa	20	23,15
Surco, Higuera - sede San Borja	20	21,62
Ventanilla - Callao	20	21,04
Villa El Salvador - Miraflores	20	20,21

Resultados de la disponibilidad por enlace

De acuerdo con el modelo de desvanecimiento de Rayleigh, el cual relaciona el margen de desvanecimiento y la disponibilidad, se consideró como criterio de diseño que cada enlace cuente con una disponibilidad mínima de 99,99 %. En la tabla 26, se presenta la disponibilidad obtenida por cada enlace.

Tabla 26

Resumen de disponibilidad por enlace

Enlace	Disponibilidad requerida (%)	Disponibilidad obtenida (%)
Callao - sede administrativa	99,99	99,9995
Comas I - Callao	99,99	99,9995
Comas I - Puente Piedra	99,99	99,9995
Comas II - Independencia	99,99	99,9995
Comas III - Independencia	99,99	99,9995
EREP, San Isidro - sede San Borja	99,99	99,9995
Grias, Jesús María - sede administrativa	99,99	99,9995
Independencia - San Martín de Porres	99,99	99,9995
Jesús María - sede administrativa	99,99	99,9995
Miraflores - sede San Borja	99,99	99,9995
Miroquesada - sede operativa	99,99	99,9995
Quilca - sede administrativa	99,99	99,9995
San Juan de Miraflores - sede San Borja	99,99	99,9995
San Martín de Porres - sede administrativa	99,99	99,9995
Surco, Higuera - sede San Borja	99,99	99,9995
Ventanilla - Callao	99,99	99,9993
Villa El Salvador - Miraflores	99,99	99,9995

Resultados del nivel de recepción por enlace

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante sobre el nivel de recepción, en las que se considera un rango aceptable entre -50 dBm y -70 dBm, se presenta el nivel de recepción obtenido por cada enlace radio.

Tabla 27

Resumen de nivel de recepción por enlace microondas

Enlace	Nivel de recepción mínimo requerido (dBm)	Nivel de recepción obtenido (dBm)
Callao - sede administrativa	-70	-36
Comas I - Callao	-70	-44
Comas I - Puente Piedra	-70	-46
Comas II - Independencia	-70	-42
Comas III - Independencia	-70	-46
EREP, San Isidro - sede San Borja	-70	-41
Grias, Jesús María - sede administrativa	-70	-37
Independencia - San Martín de Porres	-70	-35
Jesús María - sede administrativa	-70	-40
Miraflores - sede San Borja	-70	-35
Miroquesada - sede operativa	-70	-35
Quilca - sede administrativa	-70	-36
San Juan de Miraflores - sede San Borja	-70	-44
San Martín de Porres - sede administrativa	-70	-35
Surco, Higuera - sede San Borja	-70	-36
Ventanilla - Callao	-70	-41
Villa El Salvador - Miraflores	-70	-42

Resultados de la capacidad (Mbps) por enlace

A partir de los cálculos obtenidos en el *software* LINKPlanner para la capacidad (Mbps) por cada enlace, se presentan los valores en la tabla 28.

Tabla 28

Resumen de capacidad (Mbps) por cada enlace

Enlace	Capacidad requerida (Mbps)	Capacidad obtenida (Mbps)
Callao - sede administrativa	260,5	279,3
Comas I - Callao	109,7	113,94
Comas I - Puente Piedra	51,9	76,20
Comas II - Independencia	77,6	107,20
Comas III - Independencia	52,3	76,20
EREP, San Isidro - sede San Borja	89,2	107,20
Grias, Jesús María - sede administrativa	124,7	138,19
Independencia - San Martín de Porres	188,9	207,04
Jesús María - sede administrativa	70,5	107,20
Miraflores - sede San Borja	116,9	168,15
Miroquesada - sede operativa	112,7	169,11
Quilca - sede administrativa	40,1	169,11
San Juan de Miraflores - sede San Borja	74,57	76,41
San Martín de Porres - sede administrativa	256,1	282,53
Surco, Higuiereta - sede San Borja	59,3	168,15
Ventanilla - Callao	68,2	103,67
Villa El Salvador - Miraflores	50,5	106,41

5.2 Evaluación de los resultados en los enlaces de radio considerando que el equipamiento de banda cumpla los requerimientos técnicos evaluados en el estudio de tráfico y radiopropagación

En la tabla 29, se presentan los resultados obtenidos en los enlaces microondas punto a punto, considerando los criterios de diseño requeridos:

Tabla 29

Objetivo específico 2

Objetivo específico	Indicador de logro	Métrica
Evaluar que el equipamiento de banda cumpla los requerimientos técnicos evaluados en el estudio de tráfico y radiopropagación.	Se elaboró un cuadro comparativo de las diferentes soluciones considerando criterios técnicos y económicos. <ul style="list-style-type: none"> • Latencia • <i>Throughput</i> • Encriptación • Frecuencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Ms • Mbps • bits • Mhz

Se mostrará la frecuencia de operación de la red de microondas según lo dispuesto por el MTC y lo obtenido en el capítulo 4.

Se mostrarán los requerimientos obtenidos en el capítulo 4, se contratará la ficha técnica de los fabricantes y se establecerá una puntuación: 0, para decir que tiene menos parámetros que el otro equipo, y 1, si tiene más parámetros.

Frecuencia de operación de la red de microondas

Considerando lo dispuesto por el MTC con respecto al uso de bandas no licenciadas, que indica que las frecuencias de 5,2 GHz, 5,4 GHz y 5,8 GHz son consideradas no licenciadas, se puede observar que la frecuencia de operación en los enlaces microondas opera en 5,8 GHz. Así, no es necesaria una concesión de servicio, tal como se presenta en la tabla 30.

Tabla 30

Frecuencias de operación de los enlaces microondas

Enlace	Frecuencia (MHz)
Callao - sede administrativa	5800
Comas I - Callao	5800
Comas I - Puente Piedra	5800
Comas II - Independencia	5800
Comas III - Independencia	5800
EREP, San Isidro - sede San Borja	5800
Grias, Jesús María - sede administrativa	5800
Independencia - San Martín de Porres	5800
Jesús María - sede administrativa	5800
Miraflores - sede San Borja	5800
Miroquesada - sede operativa	5800
Quilca - sede administrativa	5800
San Juan de Miraflores - sede San Borja	5800
San Martín de Porres - sede administrativa	5800
Surco, Higuera - sede San Borja	5800
Ventanilla - Callao	5800
Villa El Salvador - Miraflores	5800

Resultados de la evaluación del equipamiento de banda ancha

Para la evaluación del equipamiento de banda ancha inalámbrica, se consideró la capacidad del enlace, la eficiencia espectral, la protección para la operación del ambiente, así como el nivel de encriptación. Asimismo, tal como se observa en la tabla 31, se asignó una puntuación de cumplimiento, la cual indica que la solución PTP670 de Cambium Networks presenta mejores características técnicas.

Tabla 31

Comparación de las soluciones de banda ancha inalámbrica

Especificación	Radwin 2000 D+	Puntuación	Cambium PTP670	Puntuación
Frecuencia (MHz)	4900-6000	1	4900-6050	1
Ancho de canal (MHz)	10/20/40/80	0	5/10/15/20/30/40/45	1
Capacidad (Mbps)	750	1	450	0
Potencia dBm)	25	0	27	1
Eficiencia espectral (bps/Hz)	9,375	0	10	1
Rango (Km)	120	0	250	1
Latencia (ms)	3	1	3	1
Temperatura	(-35° a +60° C)	0	(-40° a +60° C)	1
Potencia de consumo (W)	25	1	30	0
Protección	IP67	0	IP66/IP67	1
Encriptación	AES128; FIPS 197	0	AES128/256; FIPS-197	1
	Total	4	Total	9

5.3 Evaluación de los resultados en los enlaces de radio considerando que el sistema soporte el tráfico requerido para la operatividad de los servicios de la institución, con un crecimiento del 15 % en cinco años

Tabla 32

Objetivo específico 3

Objetivo específico	Indicador de logro	Métrica
Cumplir un sistema que soporte el tráfico requerido considerando los diferentes servicios de la institución y un crecimiento del 15 % en cinco años.	Se calculó el tráfico considerando la cantidad de usuarios y de servicios en cada oficina registral. • <i>Throughput</i>	• Mbps

Resultados de capacidad por enlace

Para la evaluación de la capacidad de un enlace, se consideró la capacidad actual requerida por enlace de radio, la capacidad requerida más el 15 % de crecimiento y la capacidad obtenida por enlace de radio de acuerdo con las mejoras. Como se observa en la tabla 33, la capacidad de los enlaces microondas soporta el requerimiento de capacidad con un crecimiento del 15 %.

Tabla 33

Resumen de la capacidad por enlace con un crecimiento del 15 %

Enlace	Capacidad requerida (Mbps)	Capacidad requerida + 15 % de crecimiento (Mbps)	Capacidad obtenida con el radio (Mbps)
Callao - sede			
administrativa	260,5	299,575	341,85
Comas I - Callao	109,7	126,155	158,5
Comas I - Puente			
Piedra	51,9	59,685	76,2
Comas II -			
Independencia	77,6	89,24	107,2
Comas III -			
Independencia	52,3	60,145	76,2
EREP, San Isidro -			
sede San Borja	89,2	102,58	107,2
Grias, Jesús María			
- sede			
administrativa	124,7	143,405	169,11
Independencia -			
San Martín de			
Porres	188,9	217,235	253,36
Jesús María - sede			
administrativa	70,5	81,075	107,2
Miraflores - sede			
San Borja	116,9	134,435	168,15
Miroquesada - sede			
operativa	112,7	129,605	169,11
Quilca - sede			
administrativa	40,1	46,115	169,11
San Juan de			
Miraflores -			
sede San Borja	74,57	85,7555	136,64
San Martín de			
Porres - sede			
administrativa	256,1	294,515	345,73

Surco, Higuiereta - sede San Borja	59,3	68,195	168,15
Ventanilla - Callao	68,2	78,43	103,67
Villa El Salvador - Miraflores	50,5	58,075	105,41

Resultados de las consideraciones de un crecimiento del 15 % en capacidad

Considerando las capacidades de radio obtenidas en diseño con LINKPlanner y aquellas requeridas para alcanzar el 15 % de crecimiento, se contemplaron las mejoras en los enlaces resaltados en la tabla 34. A continuación, en los comentarios del cuadro, se presentan las mejoras realizadas por enlace.

Tabla 34

Mejoras en los enlaces microondas debido al crecimiento de capacidad

Capacidad requerida + 15 % de crecimiento (Mbps)	Capacidad obtenida (Mbps)	Capacidad obtenida con mejoras (Mbps)	Comentario
299,575	279,36	341,85	Se requiere migrar a una antena de 4FT High Performance.
126,155	113,94	158,5	Se requiere migrar a una antena de 4FT High Performance.
59,685	76,2	No se requiere.	El enlace soporta el crecimiento de tráfico del 15 %.
89,24	107,2	No se requiere.	El enlace soporta el crecimiento de tráfico del 15 %.
60,145	76,2	No se requiere.	El enlace soporta el crecimiento de tráfico del 15 %.
102,58	107,2	No se requiere.	El enlace soporta el crecimiento de tráfico del 15 %.
143,405	138,19	169,11	Se requiere migrar a una antena de 2FT High Performance.
217,235	253,36	No se requiere.	El enlace soporta el crecimiento de tráfico del 15 %.
81,075	107,2	No se requiere.	El enlace soporta el crecimiento de tráfico del 15 %.
134,435	168,15	No se requiere.	El enlace soporta el crecimiento de tráfico del 15 %.
129,605	169,11	No se requiere.	El enlace soporta el crecimiento de tráfico del 15 %.
46,115	169,11	No se requiere.	El enlace soporta el crecimiento de tráfico del 15 %.

85,7555	76,41	136,64	Se requiere migrar a una antena de 3FT High Performance.
294,515	282,53	345,73	Se requiere migrar a una antena de 4FT High Performance.
68,195	168,15	No se requiere.	El enlace soporta el crecimiento de tráfico del 15 %.
78,43	103,67	No se requiere.	El enlace soporta el crecimiento de tráfico del 15 %.
58,075	105,41	No se requiere.	El enlace soporta el crecimiento de tráfico del 15%.

5.4 Evaluación de los resultados en los enlaces de radio considerando los costos generados por la interconexión con las sedes diferentes de la institución

Tabla 35

Objetivo específico 4

Objetivo específico	Indicador de logro	Métrica
Reducir los costos generados por la interconexión con las diferentes sedes del Reniec.	Se realizó la comparación entre capex y opex de la interconexión actual versus la interconexión con radioenlaces.	<ul style="list-style-type: none"> • Soles • capex • opex

Resultados respecto al capex y opex, considerando la interconexión actual de las diferentes sedes del Reniec, mediante el uso de enlaces de fibra óptica versus la propuesta de enlaces microondas

Se realizó un análisis económico para determinar el porcentaje de reducción de costos de acceso de las oficinas registrales considerando el costo de líneas dedicadas versus el capex y el opex de la solución de radioenlace.

En la tabla 36, se presenta el opex generado por cada oficina registral del Reniec. No se agregó el capex, ya que el operador incluye en los costos mensuales iniciales el costo de los módems de conexión a la red del operador.

Tabla 36

Opex considerando líneas dedicadas por sede del Reniec

Nombre del local	Ancho de banda	Medio de acceso	Precio del 1. ^{er} mes (incluido IGV)
San Juan de Miraflores	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Jesús María	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Callao	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Comas I	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Surco, Higuiereta	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Comas II	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Villa El Salvador	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Comas III	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Lurín	4 Mbps	Radio/microondas	S/3142,92
San Martín de Porres	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Puente Piedra	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97

Miroquesada	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Ventanilla	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Grias, Jesús María	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
EREP, San Isidro	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Miraflores	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Quilca	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
Independencia	4 Mbps	Fibra óptica	S/3552,97
		Total (S/)	S/63 543,41
		Total (\$)	\$ 18 689,24

En la tabla 37, se presentan los resultados en soles del capex y opex para la red de enlaces microondas.

Tabla 37

Capex y opex de la red de microondas

	Ítem	Descripción	Cant.	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Capex	1	Cambium Networks PTP670 Integrado	12	2795	33 540
	2	Cambium Networks PTP670 Conectorizado	22	2795	61 490
	3	Cambium Networks 2ft Dual-Polar Parabolic RDH4503	6	1025	6150
	4	Cambium Networks 3ft Dual-Polar Parabolic RDH4504	12	1755	21 060
	5	Cambium Networks 4ft Dual-Polar Parabolic RDH4505	4	2175	8700
Opex	6	Mantenimiento de torre por sede por año	34	500	17 000
Total					147 940

5.5 Conclusiones

- Se diseñó una red microondas de banda ancha cumpliendo la regulación del MTC, ya que la frecuencia de operación es 5,8 GHz, la cual se considera una frecuencia no licenciada y no requiere ninguna concesión para la operación de la red microondas PTP del Reniec.
- Se cumplieron las normas de las UIT-R P530-12, UIT-R P530-13, UIT-R P.526.9 y UIT-R P.525. Para ello, se empleó el *software* LINKPlanner, el cual presenta la disponibilidad, el margen de desvanecimiento y las pérdidas en el espacio libre. Asimismo, se tomaron de referencia las recomendaciones del *paper* de *Link Budget* del fabricante Tranzeo.
- Se evaluaron diferentes equipamientos considerando sus parámetros técnicos, los cuales cumplen la necesidad del enlace.
- Se realizó la evaluación de tráfico actual por servicio, así como el crecimiento del 15 % por cada enlace de la oficina registral, para definir el ancho de canal del radio y el tipo de antena.
- Considerando una red microondas PTP en banda no licenciada frente a una solución de enlace dedicado, se ahorró un 100 % de los gastos de opex.

5.6 Recomendaciones

Se recomienda contar con un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para tener un servicio continuo. Asimismo, es necesario considerar un sistema de comunicación redundante 1 + 1.

Se recomienda que las soluciones cuenten con soporte IPv6 para una futura migración, ya que este presenta mayor seguridad, considerando que la información que maneja el Reniec es bastante sensible.

En caso de que el proyecto se implemente, la topología del diseño debe ser tal como la que se elaboró en el diseño.

En cuanto a las oficinas registrales en donde se deben instalar las antenas y las torres, es necesario identificar que cada sede cuente con energía eléctrica y conexión de pozo a tierra.

La zona de Fresnel y la línea de vista (LoS) cumplen un detalle importante para garantizar la calidad de la operatividad de los enlaces microondas. Por ello, son indispensables las alturas de los edificios para implementar el diseño.

Se recomienda revisar los parámetros de propagación (RSSI, SNR y *throughput*) para tomar alguna acción en caso de que los valores no se encuentren en un rango de operación permitido.

Proponer una solución de gestión basada en SNMP, el cual permita visualizar las alarmas generadas por los radios teniendo en cuenta las MIB.

6 REFERENCIAS

- Benítez, G. (2012). *Análisis y diseño de las redes Wimax y Mesh para aumentar la cobertura de internet en escuelas y colegios en zonas rurales de Quito* (Tesis de ingeniería). Quito: Universidad Tecnológica Israel.
- Berrosi, J. (2013-1). *Compilación de diapositivas de las redes inalámbricas*. Lima: Tecsup.
- Cajahuaringa, A. (2009). *Diseño de una red Wimax para una zona rural de Lima* (Tesis de Ingeniería). Lima: UNI.
- Grupo 2 Radiobiología y Radioprotección 2 (6 de febrero de 2012). *Espectro electromagnético y ondas electromagnéticas*. Recuperado de <https://grupo2radiobiologiayradioproteccion2.wordpress.com/2012/02/06/espectro-electromagnetico-y-ondas-electromagneticas/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) (2015). Recuperado de <http://www.mtc.gob.pe> [Consulta: 5 de noviembre].
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) (2015). Recuperado de http://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/autorizaciones/servicios_privados/tramites_orientacion.html [Consulta: 20 de febrero de 2015].
- Pijo, L. (2013). *Diseño de una red WIMAX para el valle de Churín-Lima* (Tesis de Ingeniería de Postgrado). Lima: PUCP.
- Química general (2011). *Ondas electromagnéticas*. Recuperado de <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/propiedades-de-las-ondas-electromagneticas-teoria-cuantica-de-planck-contribucion-de-bohr-.html>
- Radioenlaces (2015). Recuperado de <http://www.radioenlaces.es/> [Consulta: 25 de noviembre de 2015].
- Reniec (2014). *Servicios del registro de identificación y registros civiles*. Lima: Fondo Editorial de Reniec.
- Verlurtas, F. (2009). *Optimización de enlaces en redes IP y control de tráfico* (Tesis de Ingeniería). Argentina: Universidad Nacional de la Plata.
- WIMAX (2015). Recuperado de <http://www.wimaxforum.org> [Consulta: 20 noviembre de 2015].
- Zennaro, M. y Pietrosemoli, E. (2013). *Wireless networking in the developing world* (3.ª ed.). Recuperado de <http://wndw.net/pdf/wndw3-en/wndw3-ebook.pdf>

7 GLOSARIO

Throughput. Tasa promedio de paquetes entregados. Se mide en bits por segundo (bit/s o bps) y, a veces, en paquetes de datos por segundo o paquetes de datos por franja de tiempo.

8 SIGLARIO

Reniec: Registro Nacional de Identificación y Estado Civil

WIMAX: *Worldwide Interoperability for Microwave Access*

ORA: Oficina Registral Auxiliar

ISP: proveedor de servicio de internet

TDP: Telefónica del Perú

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line

Minsa: Ministerio de Salud

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

NLOS: *Non Line of Sight*

LOS: *Line of Sight*

PNAF: Plan de Atribución de Frecuencias

OFDM: *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*

SPDA: Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas

Indecopi: Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual

9 ANEXOS

Anexo A

492144 **NOHMAS LEGALES** 6 febrero 2013

Artículo 4°.- La presente Resolución Suprema no dará derecho a exoneración o liberación de impuestos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5°.- La presente Resolución Suprema será referendada por el Presidente del Consejo de Ministros y por la Ministra de Salud.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

OLLANTA HUMALA TASSO
Presidente Constitucional de la República

JUAN F. JIMÉNEZ MAYOR
Presidente del Consejo de Ministros

MIDORI DE HABICH ROSPIGLIOSI
Ministra de Salud

920101-26

Designan profesionales en la Dirección de Salud II Lima Sur

RESOLUCIÓN MINISTERIAL
N° 167-2013/MINSA

Lima, 3 de abril del 2013

Vistos los Expedientes N°s 13-021891-001 y 13-021896-001 que contienen los Oficios N°s 0440-2013 y 0441-2013-DG-DISA-II-LS/MINSA, remidos por el Director General de la Dirección de Salud II Lima Sur del Ministerio de Salud; y

CONSIDERANDO:

Que, a través de la Resolución Ministerial N° 443-2012/MINSA, de fecha 5 de junio de 2012, se aprobó la modificación del Cuadro para Asignación de Personal de la Dirección de Salud II Lima Sur y sus Órganos Desconcentrados, constituido por la Dirección de Red de Salud Villa El Salvador - Lurin - Pachacamac - Pucallpa, la Dirección de Red de Salud San Juan de Miraflores - Villa María del Triunfo y la Dirección de Red de Salud Rimac - Chorrillos - Surco, en el cual los cargos de Supervisores II de la Dirección de Promoción de Vida Sana y Participación Comunitaria en Salud de la Dirección Ejecutiva de Promoción de la Salud y de la Dirección de Atención Integral y Calidad en Salud de la Dirección Ejecutiva de Salud de las Personas de la Dirección de Salud II Lima Sur, se encuentran considerados como cargos de confianza;

Que, con los documentos de vistos, el Director General de la Dirección de Salud II Lima Sur, solicita designar a la Licenciada en Enfermería Mariol Olivera Vilchez y a la Médica Cirujana Katia Carmen Lapointe Montes, en los cargos de Supervisoras II de la Dirección de Promoción de Vida Sana y Participación Comunitaria en Salud de la Dirección Ejecutiva de Promoción de la Salud y de la Dirección de Atención Integral y Calidad en Salud de la Dirección Ejecutiva de Salud de las Personas de la Dirección de Salud II Lima Sur, respectivamente, de la Dirección de Salud a su cargo;

Que, mediante Informe N° 181-2013-EJE-GARH-INCGRH/MINSA, la Oficina General de Gestión de Recursos Humanos, emitió opinión favorable respecto del pedido formulado por el Director General de la Dirección de Salud II Lima Sur del Ministerio de Salud, señalando que procede la designación de las profesionales propuestas por tratarse de cargos calificados como de confianza, los mismos que se encuentran en la condición de vacantes;

Que, con la finalidad de garantizar el normal funcionamiento de la Dirección de Salud II Lima Sur del Ministerio de Salud, es necesario adoptar las acciones de personal que resulten pertinentes;

Con el visto del Director General de la Oficina General de Gestión de Recursos Humanos, de la Dirección General de la Oficina General de Asesoría Jurídica y del Viceministro de Salud; y

De conformidad con lo previsto en la Ley N° 27594, Ley que regula la participación del Poder Ejecutivo en el nombramiento y designación de funcionarios públicos; en la Ley de Bases de la Carrera Administrativa y de Remuneraciones del Sector Público, aprobada por

Decreto Legislativo N° 276, en el Reglamento de la Carrera Administrativa, aprobado por Decreto Supremo N° 005-90-PCM y en el literal I) del artículo 8° de la Ley N° 27857, Ley del Ministerio de Salud;

SE RESUELVE:

Artículo Único.- Designar en la Dirección de Salud II Lima Sur del Ministerio de Salud, a las profesionales que a continuación se indican:

PROFESIONES Y APELLIDOS	CARGO	NIVEL
Licenciada en Enfermería Mariol Olivera Vilchez	Supervisora II de la Dirección de Promoción de Vida Sana y Participación Comunitaria en Salud de la Dirección Ejecutiva de Promoción de la Salud	F-3
Médica Cirujana Katia Carmen Lapointe Montes	Supervisora de la Dirección de Atención Integral y Calidad en Salud de la Dirección Ejecutiva de Salud de las Personas	F-3

Regístrese, comuníquese y publíquese.

MIDORI DE HABICH ROSPIGLIOSI
Ministra de Salud

919965-1

TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

Modifican el TUO del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones, el Marco Normativo General para la promoción del desarrollo de los servicios públicos de telecomunicaciones de áreas rurales y lugares de preferente interés social, y establecen disposiciones complementarias

DECRETO SUPREMO
N° 006-2013-MTC

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 75 del Texto Único Ordenado de la Ley de Telecomunicaciones, aprobado por Decreto Supremo N° 013-83-TCO, en adelante la Ley, establece que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones fija la política de telecomunicaciones a seguir y controla sus resultados;

Que, los artículos 57 y 58 de la Ley establecen que el espectro radioeléctrico es un recurso natural de dimensiones limitadas que forma parte del patrimonio de la Nación, cuya administración, asignación y control corresponden al Ministerio de Transportes y Comunicaciones;

Que, el artículo 28 del Texto Único Ordenado del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones, aprobado por Decreto Supremo N° 020-2007-MTC, en adelante el Reglamento, define y establece las bandas de frecuencias no licenciadas;

Que, el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias - PNAF aprobado por Resolución Ministerial N° 167-2005-MTC/DC y sus modificatorias, documento técnico normativo que contiene los cuadros de atribución de frecuencias y la clasificación de usos del espectro radioeléctrico, establece en su Nota P57A, que la banda 915 - 928 MHz se encuentra en reserva;

Que, la Comisión Multisectorial Permanente encargada de emitir informes técnicos especializados y recomendaciones para la planificación y gestión

Anexo B

Wireless Link Budget Analysis How to Calculate Link Budget for Your Wireless Network

Whitepaper

Radio Systems

How far can it go and what will the throughput be? These are the two common questions that come up when designing a high speed wireless data link. There are several factors that may impact the performance of a radio system. Available and permitted output power, available bandwidth, receiver sensitivity, antenna gains, radio technology, and environmental conditions are some of the major factors that may impact system performance. For large scale network deployments, a detailed site survey and network design are highly recommended. This paper will attempt to provide the reader with an overview on how a link budget is calculated.

Line-of-Sight (LOS) Link Budget

To limit the scope of this paper, only line-of-sight links with sufficient Fresnel Zone clearance will be considered. The following equation shows the basic elements that need to be considered when calculating a link budget:

$$\text{Received Power (dBm)} = \text{Transmitted Power (dBm)} + \text{Gains (dB)} - \text{Losses (dB)}$$

If the estimated received power is sufficiently large (typically relative to the receiver sensitivity), the link budget is said to be sufficient for sending data under perfect conditions. The amount by which the received power exceeds receiver sensitivity is called the link margin.

Free-Space Path Loss

In a line-of-sight radio system, losses are mainly due to free-space path loss (FSPL). FSPL is proportional to the square of the distance between the transmitter and receiver as well as the square of the frequency of the radio signal. In other words, free-space path loss increases significantly over distance and frequency.

$$FSPL(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi fd}{c} \right)^2$$

Other losses in a radio system to consider are due to antenna cabling and connectors, which are already accounted for in Tranzeo's all-in-one units with integrated antennas. However, for units with external antenna, 0.25dB loss per connector and 0.25dB loss for every 3-ft of antenna cable should be included in the link budget calculations. For a radio system with a 3-ft LMR400 cable and 2 connectors, 0.75dB loss should be included.

The FSPL equation can be further simplified as follow:

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right)$$

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 147.55$$

Normally, distance is measured in km or miles and frequency in MHz, in this case the above equation becomes:

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.45$$

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 36.58$$

Table 1 shows some calculated FSPL values for 900MHz, 2.4GHz, and 5.8GHz links.

Distance	FSPL (dB)		
	900MHz	2.4GHz	5.8GHz
1km	91.53	100.05	107.72
2km	97.56	106.07	113.74
3km	101.08	109.60	117.26
4km	103.58	112.10	119.76
5km	105.51	114.03	121.70
10km	111.53	120.05	127.72
20km	117.56	126.07	133.74
30km	121.08	129.60	137.26
40km	123.58	132.10	139.76
50km	125.51	134.03	141.70

Table 1: Free-Space Path Loss (FSPL)

where:
f is signal frequency in Hz
d is distance in meters (m)
c is the speed of light in a vacuum (3×10^8 m/s)

where d is in km and f in MHz

where d is in miles and f in MHz

Tranzeo Wireless Technologies Inc.

19473 Fraser Way, Pitt Meadows, BC, Canada V3Y 2V4 • T: 604.460.6002 • F: 604.460.6005 • Toll Free: 1.866.872.6936 • www.tranzeo.com

© 2010 Tranzeo Wireless Technologies. All rights reserved. Tranzeo and the Tranzeo logo are registered trademarks of Tranzeo Wireless Technologies Inc. All other trademarks mentioned herein are the property of their respective owners.

TR2014-01

Anexo C

Cotización de radios PTP670 integrado y conectorizado

PTP670 Integrado

Cambium C050067H002A
PTP 670 Connectorized END AC+DC FCC

Qty: [Add to Order](#) [Request A Quote](#)

Manufacturer: [Cambium](#)
MFG Part #: C050067H002A
MSRP: \$2,795.00 ([Login](#) for Special Pricing)
Financing Options: Please [Click Here](#)
Streakwave SKU #: C050067H002A
Availability: 3
Category: [PTP 650/670 Series](#)
Spec Sheet: [C050067H002A](#)

Fuente: <https://www.streakwave.com/itemdesc.asp?ic=C050067H002A>

PTP670 Conectorizado

Cambium C050067H003A
PTP 670 Integrated 23dBi END AC FCC

Qty: [Add to Order](#) [Request A Quote](#)

Manufacturer: [Cambium](#)
MFG Part #: C050067H003A
MSRP: \$2,795.00 ([Login](#) for Special Pricing)
Financing Options: Please [Click Here](#)
Streakwave SKU #: C050067H003A
Dimensional Weight: 23.00LB
Availability: 2
Category: [PTP 650/670 Series](#)
Spec Sheet: [C050067H003A](#)

Fuentes: <https://www.streakwave.com/itemdesc.asp?ic=C050067H003A>

Cambium Networks

PTP 670

Service providers, government public safety agencies and critical infrastructure operators such as utilities and energy companies have experienced massive growth in bandwidth demands for reliable and secure broadband connectivity. The nature of these deployments for small-cell backhaul, disaster recovery, video surveillance and Wi-Fi backhaul drive variety of deployment topologies.

Now with the Point-to-Point (PTP) 670 Series solution, Cambium Networks combines best-in- class spectral efficiency and reliability with high-capacity multipoint (HCMP) deployment flexibility. With up to 450 Mbps aggregate throughput, PTP 670 systems let you flexibly, reliably and securely handle today’s needs.

PTP 670

PTP 670

FLEXIBLE, SPECTRALLY-EFFICIENT, SELF-OPTIMIZING SUB-6GHZ SOLUTION

Based on our widely deployed, field-proven non-line-of sight (NLOS) technology, PTP 670 wireless Ethernet bridges offer an array of features that gives more capacity, greater operational flexibility and the highest spectral efficiency in the industry. PTP 670 systems provide 4.9 to 6.05 GHz, multi- band flexibility in a single radio and operate in channel sizes from 5 to 45 MHz.

With Dynamic Spectrum Optimization (DSO), PTP 670 systems are constantly optimizing the channel of operation to maximize link reliability and performance. The systems can provide up to 99.999% availability in virtually any environment, including non-line-of-sight, long-

distance line-of-sight, high interference, over water ,desert and through extreme weather conditions. As a result, you can deliver more throughput with less spectrum and less investment in the most challenging environments.

HIGH-CAPACITY MULTIPOINT and POINT-TO-POINT IN SINGLE SOLUTION

With the PTP 670, operators now have the flexibility to deploy not only in Point to Point topologies but also in High-Capacity Multipoint (HCMP) Applications. HCMP allows up to eight remote nodes to connect to a single master radio. This opens up new deployment models that enable rapid deployment, simplify planning and by using the same hardware regardless of topology a rapid return on investment in equipment and training. Whether your organization is an enterprise, government agency or service provider, PTP 670 systems are ideal solutions for a wide array of applications such as T1/E1 and fiber replacements or extensions, video surveillance backhaul, LTE, macro-cell & small-cell backhaul, last-mile access, disaster recovery, network redundancy and building-to-building campus connectivity.

FIELD TESTED AND SECURITY FOR PERFORMANCE IN THE REAL-WORLD

PTP 670 radios meet industry standards with proven compliance to assure you of interoperability, security and ruggedization.

- FIPS-197 128/256-bit AES encryption
- IEEE 1588v2 and Synchronous Ethernet (SyncE)
- IPv6/IPv4 dual-stack management support
- Ingress Protection rated (IP66/67) protective aluminum radio enclosures

RADIO TECHNOLOGY	
MODEL	PTP 670
RF BANDS	Wide-band operation 4.9 to 6.05 GHz (Allowable frequencies and bands are dictated by individual country regulations)
CHANNEL SIZES	5, 10, 15, 20, 30, 40, and 45 MHz channels Channel sizes depend on individual country regulations
SPECTRAL EFFICIENCY	10 bps/Hz maximum
CHANNEL SELECTION	By Dynamic Spectrum Optimization or manual intervention Automatic selection on start-up and continual self-optimization to avoid interference
MAXIMUM TRANSMIT POWER	Up to 27 dBm
SYSTEM GAIN	Up to 164 dB with Integrated antenna
MODULATION / ERROR CORRECTION	Fast Preemptive Adaptive Modulation featuring 13 modulation / FEC coding levels ranging from BPSK to 256 QAM dual payload MIMO
DUPLEX SCHEME	Time Division Duplex (TDD) Adaptive or fixed transmit/receive duty cycles Split frequency operation allows separate transmit and receive frequencies where allowed by regulation. Optional TDD synchronization using PTP-SYNC Module
ANTENNA	Integrated Flat panel: 23 dBi Connectorized: operate with a selection of separately-purchased single and dual polarity antennas through 2 x N-type female connectors
RANGE	Up to 155 miles (250 km)
SECURITY	FIPS-197 compliant 128/256-bit AES Encryption (optional) HTTPS and SNMPv3 Identity-based user accounts Configurable password rules User authentication and RADIUS support Event logging and management; optional logging via syslog Disaster recovery and vulnerability management
ETHERNET BRIDGING	
PROTOCOL	IEEE 802.3
LATENCY	1-3 milliseconds one direction
QOS	Extensive QOS supporting up to 8 Queues
PACKET CLASSIFICATION	Layer 2 and Layer 3 IEEE 802.1p, MPLS, Ethernet priority
PACKET PERFORMANCE	Line rate (>850K packets per second)
TIMING TRANSPORT	Synchronous Ethernet; IEEE 1588v2
FRAME SUPPORT	PTP Mode: Jumbo frame up to 9600 bytes HCMP Mode: 2000 bytes per frame
FLEXIBLE I/O	2 x Gigabit Ethernet copper ports: - Gigabit Port 1: Data + PoE power input - Gigabit Port 2: 802.3at PoE output port 1 x SFP port: single-mode fiber, multi-mode fiber or copper Gigabit Ethernet options available
T1/E1 TDM SUPPORT	8 x T1/E1 TDM (Network Indoor Unit (NIDU)) G.823-compliant timing DC power input (compatible with AC+DC Power Injector output)
MANAGEMENT	
NETWORK MANAGEMENT	In-band and out-of-band management (OOBM)
SYSTEM MANAGEMENT	IPv6/IPv4 dual-stack management support Web access via browser using HTTP or HTTPS/TLS3 SNMP v1, v2c and v3, MIB-II & proprietary PTP MIB Online spectrum analyzer (no impact on payload traffic or network operation)
INSTALLATION	Built-in audio and graphical assistance for link optimization

HIGH CAPACITY MULTI POINT									
REMOTE MODULES MASTER	Up to 8 Nodes								
CHANNEL BANDWIDTH	20 MHz and 40 MHz								
DATA CAPACITY PER REMOTE MODULE IN 1:1 SYMMETRY		Number of Remote Module @ 40 MHz	2	3	4	5	6	7	8
		Mbps	162	106	80	66	56	46	42
SPECTRAL EFFICIENCY IN HCMP	8 bps/Hz Max								
LINE RATE PACKET PER SECOND	850K pps								
LATENCY IN HCMP MODE	2 to 4 ms one way(typically)								
PHYSICAL									
DIMENSIONS	Integrated Outdoor Unit (ODU): Width 305mm (12”), Height 305mm (13.5”), Depth 81mm (3.2”) Connectorized ODU: Width 204mm (8.0”), Height 318mm (12.5”), Depth 90mm (3.5”)								
WEIGHT	Integrated ODU: 4.1 kg (8.95 lbs) including bracket Connectorized ODU: 3.1 kg (6.8 lbs) including bracket								
OPERATING TEMPERATURE	-40° to +140° F (-40° to +60° C), including solar radiation								
DUST- WATER INTRUSION PROTECTION	IP66 and IP67								
WIND SPEED SURVIVAL	200 mph (322 kph)								
POWER SUPPLY	1. AC power injector: 32° to 104° F (0° to +40° C); 35 W; 90-240 VAC, 50/60Hz Dimensions: Width 5.2”(132mm), Height 1.4”(36mm), Depth 2”(51mm) 2. AC + DC power injector: -40° to 140° F (-40° to +60° C); 70 W; 90-240 VAC, 50/60 Hz Dimensions: Width 9.75” (250 mm), Height 1.5” (40 mm), Depth 3” (80 mm)								
POWER CONSUMPTION	30 W maximum (up to 70 W with 802.3at device on auxiliary port)								
ENVIRONMENTAL & REGULATORY									
PROTECTION AND SAFETY	UL60950-1; IEC60950-1; EN60950-1; CSA-C22.2 NO. 60950-1; CB approval for Global								
RADIO	4.9 GHz: FCC Part 90Y, RSS-111 5.x GHz: FCC Part 15, sub-parts 15C and 15E; RSS 210 Issue 8; EN 302 502; EN 301 893 Eire ComReg 02/71R1, UK Approval to IR2007								
EMC	Europe – EN 301 489-1 and -4								

RECEIVER SENSITVY AND TRANSMIT POWER dbm @ 5.8 GHz								Transmit Power (dBm)
	Channel Size							
Modulation Mode	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	45 MHz	
BPSK 0.63 Single	-96.8	-94.8	-93.0	-91.8	-90.0	-88.8	-88.3	27
QPSK 0.63 Single	-93.7	-91.7	-89.9	-88.7	-86.9	-85.7	-85.2	26
QPSK 0.87 Dual	-89.7	-87.7	-85.9	-84.7	-82.9	-81.7	-81.1	26
16QAM 0.63 Single	-87.4	-85.4	-83.6	-82.3	-80.6	-79.3	-78.8	25
16QAM 0.63 Dual	-83.4	-81.4	-79.6	-78.4	-76.6	-75.4	-74.9	25
16QAM 0.87 Single	-82.9	-80.8	-79.1	-77.8	-76.1	-74.8	-74.3	25
16QAM 0.87 Dual	-79.8	-77.8	-76.0	-74.8	-73.0	-71.8	-71.2	25
64QAM 0.75 Single	-79.8	-77.8	-76.0	-74.8	-73.0	-71.8	-71.2	24
64QAM 0.75 Dual	-76.7	-74.7	-72.9	-71.6	-69.9	-68.6	-68.1	24
64QAM 0.92 Single	-75.8	-73.8	-72.1	-70.8	-69.1	-67.8	-67.3	24
64QAM 0.92 Dual	-72.5	-70.5	-68.8	-67.5	-65.8	-64.5	-64.0	24
256QAM 0.81 Single	-72.5	-70.5	-68.7	-67.4	-65.7	-64.4	-63.9	23
256QAM 0.81 Dual	-68.8	-66.8	-65.0	-63.8	-62.0	-60.8	-60.3	23

THROUGHPUT (Mbps @ 5 km)							
	Channel Size						
Modulation Mode	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	45 MHz
BPSK 0.63 Single	2.3	4.8	7.2	9.6	14.5	19.9	21.8
QPSK 0.63 Single	4.7	9.6	14.5	19.3	29.1	39.7	43.5
QPSK 0.87 Single	6.5	13.4	20.2	26.8	40.5	55.2	60.5
16QAM 0.63 Single	6.5	13.4	20.2	26.8	40.5	55.3	60.6
16QAM 0.87 Single	9.3	19.3	29.0	38.5	58.2	79.5	87.1
64QAM 0.75 Single	12.1	25.1	37.7	50.0	75.6	103.2	113.1
64QAM 0.92 Single	16.7	34.5	51.9	68.9	104.1	142.1	155.7
256QAM 0.81 Single	24.2	50.1	75.4	100.1	151.1	206.3	226.1
16QAM 0.63 Dual	13.0	26.8	40.4	53.6	80.9	110.5	121.1
16QAM 0.87 Dual	18.6	38.6	58.0	77.0	116.4	158.9	174.1
64QAM 0.75 Dual	24.2	50.1	75.4	100.0	151.1	206.3	226.1
64QAM 0.92 Dual	33.3	69.0	103.8	137.8	208.1	284.1	311.3
256QAM 0.81 Dual	48.4	100.2	150.7	200.1	302.2	412.6	452.2

5.25 - 5.85 GHz Dual Polarized Standard Performance Parabolic Reflector Antenna

Benefits:

- Fully Preassembled at the factory – simplifies installation on site and guarantees “factory tested” quality
- Warranty – Industry leading 7 year warranty

Specifications

General

Part Number	RDH4503B	RDH4504B	RDH4505B	RDH4506B	RDH4507B
Antenna Type	Standard Performance Parabolic Reflector Antenna	Standard Performance Parabolic Reflector Antenna	Standard Performance Parabolic Reflector Antenna	Standard Performance Parabolic Reflector Antenna	Standard Performance Parabolic Reflector Antenna
Size, nominal	2 ft (0.6 m)	3 ft (0.9 m)	4 ft (1.2 m)	6 ft (1.8 m)	8 ft (2.4 m)
Polarization	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual
Standard RF Connector Type	N Female	N Female	N Female	N Female	N Female

Electrical

Part Number	RDH4503B	RDH4504B	RDH4505B	RDH4506B	RDH4507B
Operating Frequency Band	5.25 - 5.85 GHz	5.25 - 5.85 GHz	5.25 - 5.85 GHz	5.25 - 5.85 GHz	5.25 - 5.85 GHz
Half Power Beam width, Horizontal	6.2 degrees	4.2 degrees	3.1 degrees	2.1 degrees	1.6 degrees
Half Power Beam width, Vertical	6.2 degrees	4.2 degrees	3.1 degrees	2.1 degrees	1.6 degrees
Cross Polarization Discrimination	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB
Front to Back Ratio (F/B)	38 dB	40 dB	44 dB	46 dB	52 dB
Gain, Low Frequency	28.5 dBi	32 dBi	34.4 dBi	37.4 dBi	40.4 dBi
Gain, Mid Frequency	29 dBi	32.5 dBi	34.9 dBi	37.9 dBi	40.9 dBi
Gain, High Frequency	29.5 dBi	33 dBi	35.4 dBi	38.4 dBi	41.4 dBi
VSWR	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1
Return Loss	-14 dB	-14 dB	-14 dB	-14 dB	-14 dB

Mechanical

Part Number	RDH4503B	RDH4504B	RDH4505B	RDH4506B	RDH4507B
Fine Azimuth Adjustment	+ / 10 degrees	+ / 10 degrees	+ / 10 degrees	+ / 10 degrees	+ / 5 degrees
Fine Elevation Adjustment	+ / 30 degrees	+ / 25 degrees	+ / 25 degrees	+ / 25 degrees	+ / 5 degrees
Mounting Pipe Diameter, Min	2 inch (5.08 cm)	4.5 inch (11.4 cm)	4.5 inch (11.4 cm)	4.5 inch (11.4 cm)	4.5 inch (11.4 cm)
Mounting Pipe Diameter, Max	4.5 inch (11.4 cm)	4.5 inch (11.4 cm)	4.5 inch (11.4 cm)	4.5 inch (11.4 cm)	4.5 inch (11.4 cm)
Net Weight without radome	22 lbs (9.9 kg)	35 lbs (15.8 kg)	60 lbs (27 kg)	95 lbs (42.8 kg)	165 lbs (74.3 kg)
Net Weight with radome	26 lbs (11.7 kg)	43 lbs (19.4 kg)	80 lbs (36 kg)	125 lbs (56.3 kg)	250 lbs (113.4 kg)
Wind Velocity Operational	90 mph (145 km/h)	90 mph (145 km/h)	90 mph (145 km/h)	90 mph (145 km/h)	90 mph (145 km/h)
Wind Velocity Survival Rating	125 mph (201 km/h)	125 mph (201 km/h)	125 mph (201 km/h)	125 mph (201 km/h)	125 mph (201 km/h)
Axial Force (FA) without radome	222 lbs (988 N)	492 lbs (2189 N)	855 lbs (3803 N)	1768 lbs (7865 N)	3795 lbs (16940 N)
Axial Force (FA) with radome	122 lbs (543 N)	271 lbs (1206 N)	469 lbs (2087 N)	973 lbs (4329 N)	2773 lbs (12334 N)
Side Force (FS) without radome	14 lbs (62 N)	40 lbs (178 N)	45 lbs (200 N)	98 lbs (436 N)	1115 lbs (4980 N)
Side Force (FS) with radome	24 lbs (107 N)	64 lbs (285 N)	93 lbs (414 N)	162 lbs (721 N)	1422 lbs (6325 N)
Twisting Moment (MT) without radome	225 ftlbs (305 Nm)	545 ftlbs (739 Nm)	1120 ftlbs (1518 Nm)	2270 ftlbs (3077 Nm)	4800 ftlbs (6508 Nm)
Twisting Moment (MT) with radome	194 ft-lbs (263 Nm)	394 ft-lbs (534 Nm)	784 lbs (1063 Nm)	2100 lbs (2847 Nm)	4400 lbs (5966 Nm)
Operating Temperature Range	40 to +60 C	40 to +60 C	40 to +60 C	40 to +60 C	40 to +60 C
Max Pressure, PSIG, (if waveguide interface)	5	5	5	5	5

Shipping Information

Part Number	RDH4503B	RDH4504B	RDH4505B	RDH4506B	RDH4507B
Package Type	Cardboard	Wood Crate	Wood Crate	Wood Crate	Wood Crate
Gross Weight	25 lbs (11.3 kg)	78 lbs (35.3 kg)	126 lbs (57.15 kg)	222 lbs (100.7 kg)	878 lbs (398.2 kg)
Dimensions, L x W x H	28 x 8 x 28 in (71 x 20 x 71 cm)	40 x 17 x 44 in (101 x 43 x 140 cm)	59 x 19 x 60 in (150 x 48 x 152 cm)	77 x 20 x 80 in (195 x 501 x 203 cm)	102 x 60 x 91 in (259 x 152 x 231 cm)
Shipping Volume	3.63 cu ft (0.1 cu m)	17.31 cu ft (0.49 cu m)	38.92 cu ft (1.1 cu m)	71.3 cu ft (2.02 cu m)	322.29 cu ft (9.13 cu m)

Regulation

FCC	undeclared
Industry Canada Compliance	undeclared
ETSI	undeclared
RoHS Compliance	Yes

Note: All antennas can operate 4.9-6.0 GHz with slightly degraded specifications

Technical Drawings

P/N	Description
RDH4503B	5.25-5.85 GHZ, 2-FT (0.6M), DUAL-POL, H-POL & V-POL

P/N	Description
RDH4504B	5.25-5.85 GHZ, 3-FT (0.9M), DUAL-POL, H-POL & V-POL

P/N	Description
RDH4505B	5.25-5.85 GHZ, 4-FT (1.2M), DUAL-POL, H-POL & V-POL

P/N	Description
RDH4506B	5.25-5.85 GHZ, 6-FT (1.8M), DUAL-POL, H-POL & V-POL

P/N	Description
RDH4507B	5.25-5.85 GHZ, 8-FT (2.4M), DUAL-POL, H-POL & V-POL

Glossary	Explanation
Axial Force	Force applied to the face of the antenna due to wind at specified wind speed
Beam width	The total width of the main beam measured in degrees between the 3-dB (half-power) points on either side of the peak of the main beam
Cross Polarization Discrimination (XPD)	The dB difference between maximum received co-polarized signal at electrical boresight and maximum received cross-polarized signal
Front to Back Ratio (F/B)	The dB difference between maximum received signal at electrical boresight to maximum received signal behind the antenna (180 +/- 40 degrees)
Gain	A measure of how well the antenna focuses available energy into a single beam. Larger antennas typically have higher gains and smaller beam widths.
Gross Weight	Shipping weight, includes weight of antenna plus packaging materials
Net Weight	Weight of antenna only as mounted on tower.
Operating Frequency Band	The frequency limits between which the antenna meets declared specifications. Antennas may operate outside the frequency band with mild performance degradation.
Return Loss	A measure of how much rf energy incident upon the antenna is reflected back from whence it came, expressed as a negative dB value.
Side Force (FS)	Force applied to the side of the antenna due to wind at specified wind speed
Twisting Moment (MT)	The torsional (twisting) moment (force x distance) applied to the mounting pipe due to wind at the specified wind speed.
VSWR	A measure of how much rf energy incident upon the antenna is reflected back from whence it came, expressed as a ratio
Wind Velocity Operational	Wind speed where the antenna deflection is less than or equal to 0.1 degrees
Wind Velocity Survival Rating	Wind speed where the antenna will not suffer permanent damage, but may require re-pointing.