



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL
ANCHO DE BANDA E INCREMENTO DE LA CAPACIDAD EN
REDES DE COMUNICACIÓN DIGITAL**

**PRESENTADA POR
MARIO GENARO LUNA DELGADO**

**INFORME DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

LIMA – PERÚ

2016



CC BY-NC

Reconocimiento – No comercial

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, y aunque en las nuevas creaciones deban reconocerse la autoría y no puedan ser utilizadas de manera comercial, no tienen que estar bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



USMP | FACULTAD DE
UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SAN MARTÍN DE PORRES

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

APLICACIÓN DE TÉCNICAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL
ANCHO DE BANDA E INCREMENTO DE LA CAPACIDAD EN
REDES DE COMUNICACIÓN DIGITAL

INFORME DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR

LUNA DELGADO MARIO GENARO

LIMA – PERÚ

2016

Dedico el presente a Dios, por permitirme el milagro de la vida y guiarme por el camino al éxito.

A mis padres, por encargarse de que nunca me falte nada esencial y enseñarme el valor del trabajo duro.

A Alfredo, que sembró en mí la pasión por la ingeniería.

A Sandra, por estar siempre a mi lado y darme la fuerza para seguir adelante.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I: TRAYECTORIA PROFESIONAL	1
1.1 Cargos y funciones	1
1.2 Actividades y logros de la trayectoria profesional	5
1.3 Aprendizajes	10
1.3.1 Cursos y entrenamientos	10
1.3.2 Certificaciones	12
1.3.3 Idiomas	12
CAPÍTULO II: CONTEXTO EN QUE SE DESARROLLO LA EXPERIENCIA PROFESIONAL	13
2.1 Información general sobre la empresa	13
2.1.1 Visión de la organización	13
2.1.2 Misión de la organización	14
2.1.3 Estructura organizacional de la empresa	14
2.1.4 Actividad o giro de la empresa	16
2.2 Puesto y proyectos	17
2.2.1 Puesto desempeñado	17
2.2.2 Proyectos realizados	18

CAPÍTULO III: ACTIVIDADES DESARROLLADAS	21
3.1 Experiencia en el campo de la redes ópticas	21
3.1.1 Antecedentes	21
3.1.2 Situación problemática	26
3.1.3 Solución aplicada	29
3.1.4 Evaluación de la solución	49
3.2 Experiencia en el campo de las redes microondas	62
3.2.1 Diseño de enlaces microondas	63
3.2.2 Evolución de la capacidad en las redes microondas	93
CAPÍTULO IV: REFLEXIÓN CRÍTICA DE LA EXPERIENCIA	101
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	115
GLOSARIO	116
FUENTES DE INFORMACIÓN	122
ANEXOS	127

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Niveles de SDH/SONET	31
Tabla 2: Distribución inicial de transceptores SFP en la red Este	32
Tabla 3: Distribución final de transceptores SFP en la red Este	37
Tabla 4: Esquema de conexión de transceptores SFP bidireccionales	38
Tabla 5: Cronograma de migración de enlaces	42
Tabla 6: Valores de potencia de transmisión y recepción en la red de la región Este	48
Tabla 7: Comparativo de altura de enlace y obstáculos	72
Tabla 8: Asignación de canales para la banda de 7425 MHz – 7725 MHz según PNAF	76
Tabla 9: Resultados de las técnicas de incremento de eficiencia espectral	100
Tabla 10: Comparativo de rendimiento y costo entre radioenlace y fibra óptica	104
Tabla 11: Lista de equipos y materiales de cada solución considerada	105
Tabla 12: Déficit de estaciones base celular al 2021 por departamento	109

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Organigrama empresa BMP Consulting S.A.C.	15
Figura 2: Red de Internexa en Sudamérica	22
Figura 3: Red de Internexa en Perú	23
Figura 4: Conexión del nivel de acceso (PDH) con el nivel de transporte (SDH)	24
Figura 5: Diagrama de bloques del multiplexor SDH	24
Figura 6: Diagrama de multiplexación y transmisión del multiplexor O9500	25
Figura 7: Ampliación red eléctrica ISA Este	27
Figura 8: Crecimiento de la red eléctrica ISA Este	27
Figura 9: Red SDH de la región Este	28
Figura 10: Estructura de la trama básica STM-1	29
Figura 11: Modelo de transceptor SFP unidireccional	32
Figura 12: Conexiones WAN del multiplexor SDH en el nodo Paragsha	33
Figura 13: Sistema WDM	34
Figura 14: Modelo de transceptor SFP bidireccional	35
Figura 15: Bandas ópticas CWDM y perfil de atenuación sobre estándar G.652	36

Figura 16: Estructura de multiplexación SDH según recomendación ITU-T G.707	40
Figura 17: Indicación de LEDs de la tarjeta controladora	43
Figura 18: Configuración STM-4 en el multiplexor del nodo Paragsha	45
Figura 19: Granularidad de la trama STM-4 en el multiplexor del nodo Paragsha	46
Figura 20: Información de los SFPs instalados en el nodo Paragsha	47
Figura 21: Diseño de enlace óptico de alta disponibilidad en STM-16	50
Figura 22: Esquema de conexión en enlace con redundancia automática	51
Figura 23: Vista frontal del multiplexor O9400R en el nodo Maranga 1	52
Figura 24: Conexiones ópticas en el nodo Maranga 1	53
Figura 25: Vista frontal del multiplexor O9400R en el nodo Maranga 2	53
Figura 26: Conexiones ópticas en el nodo Maranga 2	54
Figura 27: Gráfica comparativa de calidad de modulaciones digitales	62
Figura 28: Zona de Fresnel	64
Figura 29: Ejemplo de perfil de elevación para radioenlace	66
Figura 30: Perfil preliminar de elevación de enlace Base Naval – AVINAV	70
Figura 31: Diagrama de constelación QPSK	75
Figura 32: Diagrama de ocupación de canales	76
Figura 33: Perfil preliminar de elevación de enlace S.E. Panu – C. Lomo Largo	77
Figura 34: Perfil preliminar de elevación de enlace C. Lomo Largo – C.H. Cahua	78
Figura 35: Campos electromagnéticos de una antena	82

Figura 36: Registro Nacional de Frecuencias S.E. Panu – C. Lomo Largo (Canal 4)	84
Figura 37: Registro Nacional de Frecuencias C. Lomo Largo – C.H. Cahua (Canal 1)	85
Figura 38: Resumen de configuración radio S.E. Panu	86
Figura 39: Resumen de configuración radio C. Lomo Largo	88
Figura 40: Resumen de configuración radio C. Lomo Largo	90
Figura 41: Resumen de configuración radio C.H. Cahua	92
Figura 42: Ilustración de la modulación adaptativa	95
Figura 43: Ejemplo de agregación de enlaces en un solo puerto de acceso	96
Figura 44: Esquema de polarización cruzada	98
Figura 45: Aplicación del transductor ortomodal en la polarización cruzada	98
Figura 46: Principio de MIMO 2x2	99
Figura 47: Enlace WiMAX con 3x3 MIMO para conexión de nodos NLOS	100
Figura 48: Total de líneas móviles que accedieron a Internet	108
Figura 49: Estimación del consumo promedio por usuario en los próximos 5 años	108

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1: Resumen de ventas y principales proyectos	129
Anexo 2: Tipos de redundancia óptica	145
Anexo 3: Modelo de TSS para enlaces microondas	155
Anexo 4: Plan Nacional de Atribución de Frecuencias	162
Anexo 5: Cálculo de enlace Base Naval – AVINAV	182
Anexo 6: Calculo de enlace S.E. Panu – C.H. Cahua	186
Anexo 7: Estudio de radiaciones no ionizantes nodo S.E. Panu	192

RESUMEN

El objetivo del presente informe es detallar la experiencia en el diseño de soluciones en el área de telecomunicaciones por medio del uso de material teórico, herramientas y conocimientos en ingeniería electrónica.

Dicha experiencia se llevó a cabo desde inicio del año 2012 hasta la actualidad en el grupo BMP, se centró en el diseño e implementación de sistemas de comunicación óptica en Jerarquía Digital Síncrona (*Synchronous Digital Hierarchy* o SDH) y enlaces microondas.

Las labores desarrolladas incluyen el estudio de los antecedentes, requerimientos y/o problemáticas del cliente, seguido del diseño de sistemas que optimicen el uso del canal correspondiente y satisfagan sus necesidades basados en la gama de productos representados y conocimientos teóricos de cada tecnología.

Se concluye que el diseño de cada uno de los sistemas es parte fundamental de un apropiado desarrollo del proyecto; dicho diseño debe ser modular y actualizable con el transcurso de los años, con la finalidad de ofrecer al cliente una solución mejorable en el tiempo sin la necesidad de realizar modificaciones de alto impacto a la plataforma instalada.

Palabras clave: telecomunicaciones, óptica, microondas, enlaces.

ABSTRACT

The objective of the following report is to detail the experience in solutions design within the telecommunications area, by the use of theoretical material, tools and electronic engineering knowledge.

Such experience was conducted since the beginning of 2012 to until now in the BMP company group, is about the design and implementation of optical communication systems in SDH (Synchronous Digital Hierarchy) and microwave links.

The developed labors include the study of client's records, requirements and/or problematic, followed by the system design that optimize the use of the corresponding channel and meet their needs based in the range of represented products and theoretical knowledge of each technology.

It was concluded that the design of each system is a fundamental part for an appropriate project development; this design must be modular and upgradeable over the years, in order to offer the client a solution that can be improved with the pass of the years without the need to conduct high impact modifications in the installed platform.

Keywords: telecommunications, optical, microwave, links.

INTRODUCCIÓN

El uso de técnicas y métodos que incrementen la velocidad de transmisión a través de la optimización del uso de su canal es sumamente importante durante el diseño de una nueva red que se encuentre por desplegar como en el servicio de mejora de las capacidades de un sistema ya operativo. Esto se debe a que la cantidad de suscriptores con necesidad de una conexión rápida a la red va en continuo aumento y es necesario satisfacer dichas exigencias optimizando la estructura que actualmente se posea.

En el presente informe de experiencia profesional se seleccionarán, analizarán y aplicarán esas técnicas y métodos en las redes de clientes con la finalidad de encontrar una solución que cumpla con sus requerimientos sin la necesidad de realizar cambios radicales a su estructura ni implementar nuevos sistemas que operen en paralelo.

Tal es el caso de Internexa que posee una red de transmisión SDH en el Módulo de Transporte Síncrono nivel 1 (*Synchronous Transport Module level 1* o STM-1) desde el 2011 y ha ido experimentando gradualmente el aumento de los suscriptores de su cliente Red de Energía del Perú (REP) lo cual le obliga a considerar el aumento de su velocidad de transmisión. Es así como se analiza la aplicación de equipamiento de Multiplexación por División Aproximada de Longitud de onda (*Coarse Wavelength Division Multiplexing* o CWDM) en los canales de fibra óptica para reducir la ocupación del canal en

un 50% y aun así obtener un aumento potencial de hasta 8 veces su valor inicial de tasa de bits.

En el campo de los radioenlaces digitales también se estudiará la problemática actual correspondiente a la aglomeración de bandas de los enlaces que operan como *backhaul* de estaciones base en las áreas urbanas con una alta demanda de servicios de acceso, también se revisará la limitante producida por el angosto ancho de banda de los canales disponibles y normados bajo el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Al igual que en el caso de la fibra óptica, se analizarán los múltiples métodos de optimización de ancho de banda los cuales llegan a entregar, dependiendo del ancho de banda y de la modulación, velocidades de transmisión hasta el rango de los *gigabits* por segundo (Gbps).

En el Capítulo I se listan los cargos, funciones y actividades desarrolladas durante la etapa de desempeño profesional así como los logros adquiridos. Se indican también los aprendizajes y las certificaciones obtenidas como resultado de dicha trayectoria.

El Capítulo II comprende la información acerca del contexto en el que se llevó a cabo la experiencia, tal como visión, misión, estructura organizacional y giro de la empresa. Se resumen también los aspectos técnicos de los principales proyectos que serán objeto del capítulo siguiente y el equipamiento utilizado durante el desarrollo de la experiencia profesional el cual es producto de los fabricantes y *partners* de BMP Consulting S.A.C. tales como:

- Loop Telecom en el área de la comunicación óptica por medio de sus equipos multiplexores de tramas SDH.
- Aviat Networks, Huawei, ZTE, Alcatel, SAF, Ceragon, Dragonwave, Radwin y Alvarion en el área de la comunicación inalámbrica a través de sus sistemas de radioenlace digital.
- KNS, Orbit, Skyware, iDirect, Rantec, Probecom, New Japan Radio, COBHAM y C-COMSAT en el área de la comunicación inalámbrica por medio de su equipamiento para comunicación satelital.

El detalle de las experiencias dentro del desarrollo profesional se incluye en el Capítulo III, el cual abarca la experiencia dentro del campo de las redes ópticas y las redes microondas. Dentro de la experiencia en redes ópticas se estudiará el caso de Internexa y su nueva red de alta capacidad, luego se comparará con la red de alta disponibilidad del cliente Edelnor y se observarán las características de ambas estructuras para determinar las razones por las cuales se opta por un esquema o el otro, también se analizará el uso y significado de un término ambiguo referente a la velocidad de transmisión. Dentro de la experiencia en redes microondas se detallarán los pasos a seguir para realizar el diseño de una red microondas, la importancia del cálculo de enlace y de cada valor que lo conforma, a partir de dicho detalle se revisarán dos casos: uno correspondiente a un enlace con alta frecuencia de transmisión y corto alcance y otro caso de un enlace con baja frecuencia de transmisión, múltiples saltos y largo alcance. Luego se cubrirá el análisis de las técnicas de optimización de ancho de banda y su utilidad en el saturado espectro de frecuencia presente en zonas urbanas con alto requerimiento de conexión a la red de acceso.

La reflexión de la experiencia aplicada en el Capítulo IV contiene un análisis profundo acerca de las ventajas y desventajas de la mejora de capacidad de las redes con las técnicas de optimización, así como el criterio utilizado para la decisión de una evolución tecnológica; finalmente se realiza una comparación de lo ejecutado durante la experiencia profesional con la coyuntura actual de las telecomunicaciones en el Perú.

CAPITULO I

TRAYECTORIA PROFESIONAL

1.1 Cargos y funciones

La trayectoria profesional se desarrolló en distintas áreas de la compañía BMP Ingenieros S.A. desde inicios de febrero del 2010 hasta noviembre 2015 y en la compañía BMP Consulting S.A.C. desde diciembre 2015 hasta la actualidad, los puestos y funciones ejercidas se detallan cronológicamente a continuación:

Compañía: BMP Consulting S.A.C.

Periodo: Desde diciembre 2015 a la actualidad

Área: Gerencia comercial

Puesto: Consultor en telecomunicaciones

Funciones:

- Búsqueda y análisis técnico/económico de oportunidades de negocio en el mercado.
- Revisión de los informes técnicos de visitas en campo.
- Uso de equipamiento y *software* adecuado para el diseño de la solución o sistema.

- Elaboración de expediente técnico para proceso de adquisición del cliente.
- Elaboración de propuesta comercial, análisis de costos, rentabilidad y márgenes de utilidad.
- Negociación final con el cliente, cierre del trato y firma de orden de compra o contrato.
- Seguimiento del proyecto y análisis de balance de costos hasta la emisión del acta de conformidad.

Compañía: BMP Ingenieros S.A.

Periodo: Desde febrero 2013 a noviembre 2015

Área: Gerencia comercial

Puesto: Consultor en telecomunicaciones

Funciones:

- Búsqueda y análisis técnico/económico de oportunidades de negocio en el mercado.
- Revisión de los informes técnicos de visitas en campo.
- Uso de equipamiento y *software* adecuado para el diseño de la solución o sistema.
- Elaboración de expediente técnico para proceso de adquisición del cliente.
- Elaboración de propuesta comercial, análisis de costos, rentabilidad y márgenes de utilidad.
- Negociación final con el cliente, cierre del trato y firma de orden de compra o contrato.
- Seguimiento del proyecto y análisis de balance de costos hasta la emisión del acta de conformidad.

Compañía: BMP Ingenieros S.A.

Periodo: Desde agosto 2012 a enero 2013

Área: Gerencia de operaciones

Puesto: Jefe de proyecto

Funciones:

- Definición del alcance del proyecto, refinamiento de los objetivos y desarrollo del plan de proyecto.
- Elaboración de cronogramas de implementación de las distintas fases del proyecto.
- Distribución de recursos del proyecto durante su desarrollo de acuerdo al cronograma elaborado.
- Elaboración de presupuesto operacional y de adquisiciones del proyecto.
- Desarrollo del plan de proyecto, coordinación de los procesos y aseguramiento de la calidad de servicio.
- Distribución de la información del proyecto y gestión de las expectativas en reuniones periódicas con los interesados.
- Seguimiento y control de los procesos del proyecto, gestión de control integrado de cambios.
- Cierre externo y administrativo del proyecto.

Compañía: BMP Ingenieros S.A.

Periodo: Desde febrero 2012 a julio 2012

Área: Gerencia de operaciones

Puesto: Jefe del departamento de redes y datos

Funciones:

- Gestión de personal y cronogramas para la atención de implementaciones nuevas y mantenimientos.
- Capacitación de personal nuevo en las tecnologías a implementar, con base en las soluciones y marcas representadas.
- Diseño e implementación de redes *ethernet*, por medio de enlaces alámbricos e inalámbricos.
- Elaboración de plan de configuración de equipos (*routers*, *switches*, centrales telefónicas IP, multiplexores) para el establecimiento de enlace entre terminales dentro de una red.
- Levantamiento de información y emisión de reportes técnicos.
- *Troubleshooting* y consultoría de redes.

Compañía: BMP Ingenieros S.A.
Periodo: Desde febrero 2011 a enero 2012
Área: Gerencia de operaciones
Puesto: Ingeniero de campo en departamento de transmisiones

Funciones:

- Recopilación de información en estudios técnicos en campo, por medio del uso de analizadores de espectro para la revisión de interferencias dentro de la banda de frecuencia a utilizar.
- Análisis de la posible ubicación de antenas, con base en el tipo y longitud de cableado, línea de vista, impacto de y sobre otros receptores/transmisores y método de acceso para mantenimientos.
- Revisión de la posibilidad de implementación de enlace por medio de los resultados de las visitas técnicas.
- Elaboración de cronograma de ejecución de la instalación.
- Implementación del sistema de acuerdo en el cronograma y métodos de instalación.
- Comisionamiento del sistema de transmisión inalámbrica.
- Integración del terminal a la red del cliente.
- Apoyo en el entrenamiento teórico y práctico del cliente.
- Mantenimientos preventivos y correctivos.

Compañía: BMP Ingenieros S.A.
Periodo: Desde enero 2010 a enero 2011
Área: Gerencia de operaciones
Puesto: Practicante del área técnica

Funciones:

- Apoyo en estudios técnicos en campo previos a la instalación de sistemas microondas, sistemas satelitales y sistemas de energía.
- Atención de mantenimientos preventivos y correctivos, según los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA o *Service Level Agreement*) definidos, en los Equipos del Local del Cliente (CPE o *Customer*

Premises Equipment) para los clientes Global Crossing (actualmente Level 3), Telefónica y Claro.

- Apoyo en instalaciones de sistemas de transmisiones inalámbricas (microondas, satelitales, radios *wireless*).
- Apoyo en instalaciones de sistemas basados en redes *ethernet* (cableado estructurado, configuración de *switches*, *routers*, centrales telefónicas IP y multiplexores).
- Uso de los gabinetes de pruebas para la revisión del correcto funcionamiento de equipamiento indoor de telecomunicaciones.

1.2 Actividades y logros de la trayectoria profesional

Así mismo, durante parte operativa de la trayectoria profesional se intervino en el desarrollo de varios proyectos; cuya implementación fue satisfactoria y de los cuales se pueden destacar los siguientes logros:

Proyecto: Habilitación de plataforma de red para 22 estaciones de trabajo e implementación de sistema redundante de energía.

Cliente: OSINERGMIN

Año: 2010

Tecnología: Redes y datos, energía

Actividades y aprendizajes:

- Cableado de red (UTP CAT 5) para 22 estaciones de trabajo, centralizado en un gabinete de 24 unidades de rack (RU o Rack Units) con un *patch panel* de 48 puertos conectado por medio de *patch cords* a un *switch* capa 2 administrable.
- Integración a red *ethernet* principal (*switch core*) por medio de transceptores de factor de forma pequeño conectables (SFP o *small form-factor pluggable*) 1000BASE-SX y fibra óptica multimodo (conectores LC).
- Instalación de 4 cámaras IP de vigilancia tipo *bullet* y una tipo PTZ, cableado de red (UTP CAT 5), configuración de direcciones IP de gestión e inscripción en el servidor de monitoreo y grabación de video.

- Instalación de grupo electrógeno de 30 KVA con tablero de transferencia automática, conexión a la red eléctrica comercial y cableado vertical de energía (NYY AWG 3/0) hasta el tablero eléctrico (trifásico) de la oficina.
- Instalación de pozo a tierra vertical con varilla *copperweld* (5/8 x 2.4 metros), medición del mismo (5 Ω) con telurómetro y método de la caída de potencia.

Proyecto: Implementación de sistema de comunicación de Voz sobre IP (VoIP o Voice Over IP) para 177 anexos.

Cliente: INGEMMET

Año: 2011

Tecnología: Redes y datos

Actividades y aprendizajes:

- Configuración de parámetros de red (dirección IP fija, máscara de red, *gateway*, servidor FTP) en central telefónica IP marca Mitel modelo Mxe III.
- Configuración de tarjetas digitales E1 (uso de 16 *timeslots*) para conexión de troncales digitales del proveedor de la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).
- Asignación de dirección IP fija, máscara, *gateway*, dirección IP de central telefónica IP y VLAN en 90 teléfonos IP marca Mitel; asignación adicional de servidor FTP en teléfonos IP marca Polycom y Cisco para integración a red VoIP por medio de Protocolo de Inicio de Sesión (SIP o *Session Initiation Protocol*)
- Configuración de plataforma de red, configuración de interfaces troncales, rutas, VLAN y Calidad de Servicio (QoS o *Quality of Service*) en *switches* y *routers*.

Proyecto: Implementación de *Hub* y terminales satelitales en banda Ku

Cliente: Marina de Guerra del Perú

Año: 2011

Tecnología: Transmisiones inalámbricas, redes y datos

Actividades y aprendizajes:

- Instalación de *Hub* satelital para red de comunicación privada con topología tipo estrella.
- Instalación de antena satelital de 6.3 metros en banda Ku con apuntamiento al satélite HISPASAT 1D (tipo GEO) y capacidad de 156 Mbps en *downstream* y 6,5 Mbps en *upstream*.
- Instalación de *chassis* serie 15000 de iDirect en el *Hub* satelital y *linecards* Evolution con capacidad de seguridad TRANSEC FIPS L2.
- Instalación de servidor de gestión con el Sistema de Monitoreo de Red (NMS o *Network Management System*) iVantage para el monitoreo, configuración y control de toda la red satelital.
- Instalación de terminales satelitales terrestres de tipo: fijo (antenas Agilis y Skyware de 2.4 y 1.2 metros), *fly aways* (antenas COBHAM de 1.2 metros), *manpacks* (antenas Agilis de 0.45 metros) y auto-estabilizadas (antenas Orbit y KNS de 1.2 metros y 0.75 metros).
- Instalación de unidades RF *outdoor* para transmisión (BUC) y recepción (LNB) en banda Ku en cada terminal satelital.
- Instalación y configuración de *router* satelital iDirect serie e8350 para cada terminal satelital.
- Apuntamiento e inscripción de cada terminal terrestre en el sistema de gestión por medio de la herramienta iBuilder.

Proyecto: Implementación de enlaces microondas en banda licenciada

Cliente: Edegel

Año: 2012

Tecnología: Transmisiones inalámbricas, redes y datos

Actividades y aprendizajes:

- Instalación de equipamiento microondas en torre auto-soportada, a una altura de 18 metros.
- Instalación de ODU 600 y acoplador de Aviat Networks en configuración redundante 1+1.
- Ensamblaje de antena microondas tipo *radome* de 3 metros.

- Izaje de antena por medio de *thirfor*, instalación y conexión a acoplador de ODUs.
- Apuntamiento de antena microondas y establecimiento de enlace por medio de la verificación de RSSI.
- Instalación de IDU, asignación de dirección IP de gestión y conexión lógica de *timeslots* para multiplexación de *longhaul* microondas.

Proyecto: Diseño de red óptica de transporte en SDH y configuración de multiplexores ópticos

Cliente: Internexa

Año: 2012

Tecnología: Redes y datos

Actividades y aprendizajes:

- Diseño de *backbone* para la transmisión de datos de acceso multiplexados en tramas STM-1 por medio de una plataforma óptica con cableado de fibra monomodo.
- Estimación de cantidades de multiplexores ópticos marca Loop Telecom tipo Extracción-Inserción (ADM o *Add Drop Multiplexer*) y Terminal (TM o *Terminal Multiplexer*); así como multiplexores de Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH o *Plesiochronous Digital Hierarchy*) de acceso para la multiplexación de *timeslots*.
- Dimensionamiento de módulos tipo *hot-plug* de cada multiplexor, con base en los requerimientos de conexiones de alta velocidad (EoS, B155/622) o de baja velocidad (FXS, FXO, QE1, etc).
- Dimensionamiento de transceptores ópticos tipo SFP unidireccionales para transmisión de tramas STM-1 (155 Mbps) dependiendo de la distancia entre nodos.
- Configuración de cada multiplexor óptico (SDH) y de acceso (PDH), asignación de nombre de elemento de red y de dirección IP fija de gestión, Conexiones Cruzadas (XCON o *Cross Connections*) en E1 (para módulos de alta velocidad) y en *timeslots* (para módulos de baja velocidad).

- Pruebas y comisionamiento de la comunicación por fibra óptica y multiplexación de datos de acceso para cada ADM, se hizo uso de atenuadores ópticos debido a que las pruebas se llevaban a cabo en laboratorios.

Adicionalmente, tal como indica la trayectoria profesional, se realizaron labores de consultoría, diseño y gestión en proyectos de telecomunicaciones dentro del departamento comercial. Durante dicha etapa se destacan las siguientes actividades y logros:

- a) Diseño, instalación y gestión de plataformas de monitoreo y análisis de interferencias con equipamiento Rohde & Schwarz para entidades gubernamentales.
- b) Diseño y suministro de equipamiento radial portátil y estaciones base en VHF/UHF para la Marina de Guerra del Perú.
- c) Diseño, suministro, instalación y puesta en servicio de terminales satelitales tipo *fly-away* y tipo marinas auto-estabilizadas para unidades fluviales de la Marina de Guerra del Perú.
- d) Servicio de instalación de estaciones base y enlaces microondas como red *backhaul* para el despliegue de la red inalámbrica de DirecTV.
- e) Diseño e implementación de radioenlace para la Marina de Guerra del Perú.
- f) Diseño e implementación de ampliación de capacidad en la red óptica de transporte en SDH (región Este) con equipamiento Loop Telecom para Internexa.
- g) Servicio de instalación de sistemas de seguridad de ZTE en nodos de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO).
- h) Diseño, implementación y puesta en servicio de nueva red microondas para las zonas norte y centro de la empresa de generación eléctrica Statkraft.
- i) Servicio de instalación y puesta en servicio de 1303 terminales satelitales iDirect para Instituciones Educativas de zonas rurales a nivel nacional.

Esta etapa de la trayectoria profesional se desarrolló luego de obtenido el grado de bachiller en ingeniería electrónica; por lo cual se consideró adecuado basar la sustentación de la experiencia en ingeniería electrónica especializada en telecomunicaciones a partir de algunos de los proyectos mencionados en la lista anterior., los cuales serán explicados a mayor detalle en los capítulos 2 y 3.

1.3 Aprendizajes

Durante la trayectoria profesional se asistió a capacitaciones, talleres y cursos de especialización, obteniendo como resultado los siguientes aprendizajes y certificaciones.

1.3.1 Cursos y entrenamientos

Nombre: *ITIL Foundations 2011 Edition for IT Services Management*

Tipo: Curso de Especialización presencial (Lima – Perú)

Duración: 8 días

Compañía: New Horizons

Nombre: Diplomado de Gerencia de Proyectos bajo el enfoque PMI

Tipo: Curso de Especialización presencial (Lima – Perú)

Duración: 21 días

Compañía: Universidad Nacional de Ingeniería

Nombre: *Cisco Small and Midsize Business (SMB) Specialization*

Tipo: Curso de Especialización presencial (Lima – Perú)

Duración: 3 días

Compañía: Nexus Technology en convenio con Cisco Systems

Nombre: Curso de especialización en análisis de señales y búsqueda de interferencias

Tipo: Curso de Especialización presencial (Múnich – Alemania)

Duración: 28 días

Compañía: Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

Nombre: Diseño y configuración de redes ópticas de transporte SDH con multiplexores ópticos

Tipo: Seminario taller presencial (Lima – Perú)

Duración: 12 días

Compañía: Loop Telecom International

Nombre: Instalación, operación y mantenimiento de soluciones satelitales con sistema auto-estabilizado

Tipo: Seminario presencial (Callao – Perú)

Duración: 4 días

Compañía: ST Electronics (Satcom & Sensor Systems) Pte Ltd

Nombre: *Operation and Maintenance of iDirect VSAT Products*

Tipo: Seminario presencial (Callao – Perú)

Duración: 3 días

Compañía: VT iDirect Technologies

Nombre: *Networking 4 VVoIP*

Tipo: Curso de Especialización online

Duración: 5 días

Compañía: Mitel Networks Co. / The SIP School

Nombre: *Test Receivers - The Fast Way to Efficient Application*

Tipo: Taller online

Duración: 1 día

Compañía: Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

Nombre: *Mitel Standard Linux rel 8.2 Installation & Maintenance*

Tipo: Curso de Especialización online

Duración: 1 día

Compañía: Mitel Networks Co.

Nombre: *3300 ICP Primer Self-Study*

Tipo: Curso de Especialización online

Duración: 1 día

Compañía: Mitel Networks Co.

1.3.2 Certificaciones

Nombre: *ITIL Foundations Certificate in IT Service Management*

Tipo: Certificación internacional

Institución: EXIN/AXELOS – EXN 5646344

Nombre: Especialista en Gerencia de Proyectos

Tipo: Diplomado – certificación nacional

Institución: Universidad Nacional de Ingeniería.

Nombre: *Cisco Small and Midsize Business Account Manager*

Tipo: Certificación Internacional

Institución: Cisco Systems – CSCO 12592920

Nombre: *Cisco Small and Midsize Business Engineer*

Tipo: Certificación Internacional

Institución: Cisco Systems – CSCO 12592920

Nombre: *Networking 4 VVOIP Specialist*

Tipo: Certificación Internacional

Institución: Mitel Networks – The SIP School

1.3.3 Idiomas

Inglés: Centro de Idiomas de la Universidad de San Martín de Porres. Dominio avanzado en lectura, escritura y conversación.

CAPÍTULO II

CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLÓ LA EXPERIENCIA

2.1 Información general sobre la empresa

BMP Ingenieros S.A. y BMP Consulting S.A.C. son empresas peruanas pertenecientes al grupo BMP, el cual se dedica a la promoción, venta de servicios e integración de tecnologías en los campos de las telecomunicaciones, informática, instrumentación electrónica de precisión y afines. En la actualidad, opera en el Perú como representante y distribuidor autorizado para corporaciones líderes en tecnologías de la información y telecomunicaciones, de gran experiencia y reconocimiento internacional.

2.1.1 Visión de la organización

Ser la empresa líder a nivel nacional en la integración de tecnologías de la información y telecomunicaciones, convirtiéndose en socio tecnológico de sus clientes.

Actualmente cubre todos los aspectos de comunicaciones necesarios en las empresas y edificaciones modernas, realizando proyectos de tecnología de información y comunicaciones de acuerdo a los

requerimientos específicos del cliente y dotándolas con equipos de tecnología de punta.

El grupo BMP cuenta con la representación y respaldo de las principales firmas de telecomunicaciones y tecnologías de Información a nivel mundial, lo que permite garantizar las mejores soluciones en las diversas áreas que desarrolla.

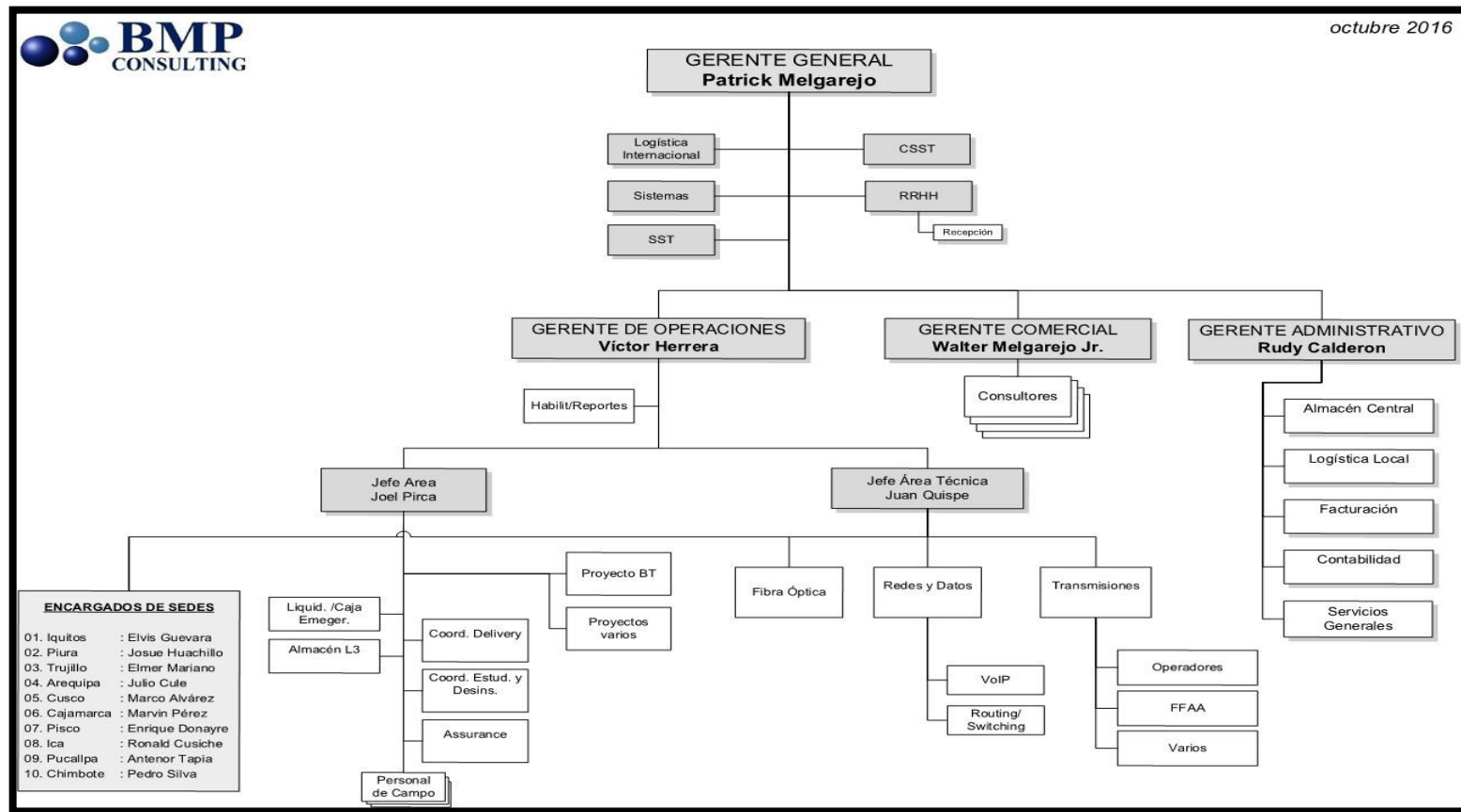
2.1.2 Misión de la organización

Es una empresa integradora de tecnologías de la información y telecomunicaciones, comprometida con el desarrollo de nuestro país, dedicada a asesorar, diseñar, proveer, implementar y dar servicio a soluciones de calidad de acuerdo a las necesidades de cada uno de sus clientes, fortaleciendo el desarrollo sostenido de su competitividad. Para lograr este propósito, el grupo BMP cuenta con alianzas estratégicas con empresas de prestigio mundial, así como con el profesionalismo y experiencia de su personal, quienes representan nuestra mayor fortaleza y a quienes se les debe la superación continúa de su calidad de vida.

2.1.3 Estructura organizacional de la empresa

A continuación se muestra el organigrama de la empresa BMP Consulting S.A.C. donde se pueden identificar, además de los órganos administrativos y de asesoría en materia de seguridad, las dos líneas operativas principales: operativa y de proyectos. La primera se encarga de los contratos de mantenimiento e instalaciones con servicios pre-establecidos para diversos operadores bajo un marco fijo tanto técnico como comercial; la segunda jefatura asume proyectos de duración y alcance variable en toda la gama de tecnologías que la empresa ofrece.

Figura 1: Organigrama de la empresa BMP Consulting S.A.C.



Fuente: Elaboración propia

2.1.4 Actividad o giro de la empresa

El grupo BMP cubre todos los aspectos necesarios de las comunicaciones en las empresas y edificaciones modernas, realizando proyectos, dotándolas con equipos de tecnología de punta y entregándolos funcionando de acuerdo a los requerimientos específicos del cliente.

Adicionalmente cuenta con la representación y respaldo de las principales firmas de telecomunicaciones y tecnologías de información a nivel mundial, lo que permite garantizar las mejores soluciones en las siguientes áreas:

- **Telefonía IP, *Contact/Call centers*:** Servidores multipropósito de comunicaciones, centrales telefónicas, contestadoras automáticas, sistemas de mensajería unificada, sistemas de respuesta de voz interactiva, integración de telefonía y computo, sistemas de grabación, etc.
- **Tecnología en informática:** Dispositivos de escritorio y portátiles (*desktop*, laptops, tablets), equipamiento *enterprise* para *datacenters* (servidores, plataformas físicas con servicio de soporte), *software*, equipamiento para redes LAN y WAN (*switches*, *routers*), entre otros que permiten procesar voz, datos y video.
- **Cableado Estructurado:** Para solucionar todos los aspectos relacionados a sistemas de cableado para transmisión de voz, datos y video.
- **Sistemas inalámbricos:** Equipamiento para sistemas de redes inalámbricas, sistemas de radioenlaces microondas, enlaces punto multipunto / punto a punto (*Point MultiPoint / Point to Point* o PmP/PtP), sistemas de compresión y optimización, *Hubs*, estaciones satelitales, componentes satelitales y sistemas de gestión.

- **Sistemas de energía:** Sistemas de energía requeridos para diferentes equipos y sistemas de comunicaciones e informática, consistiendo estos principalmente en Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI), bancos de baterías, cargadores, rectificadores, inversores.
- **Proyectos:** Incluyen los estudios, provisión del equipamiento requerido, desarrollo, integración, instalación y entrega “llave en mano” para cualquiera de las áreas anteriormente mencionadas.
- **Servicios profesionales y consultoría:** Incluyen una variedad de servicios, con la finalidad de ayudar a los clientes en el diseño, puesta en marcha y optimización. Se utiliza personal capacitado en la tecnología apoyado directamente y según el caso por personal del fabricante.
- **Outsourcing, mantenimiento y Soporte técnico:** Disponible las 24 horas del día durante todo el año en todas las áreas, brindado por el personal de ingeniería y técnicos expertos en sus áreas de responsabilidad, altamente capacitados y certificados.

2.2 Puesto y proyectos

2.2.1 Puesto desempeñado

Tal como se mencionó en el capítulo anterior, el desarrollo de los proyectos que sustentan la experiencia en ingeniería electrónica con especialización en telecomunicaciones se llevó a cabo dentro del departamento comercial del grupo BMP, ocupando el puesto actual de consultor en telecomunicaciones.

Dicho cargo supone funciones de pre-venta (diseño) y venta, para las cuentas (clientes) asignadas y exploradas, ofreciendo soluciones de telecomunicaciones que integren una o varias tecnologías.

Estas funciones de pre-venta y venta son: la búsqueda y análisis técnico/económico de oportunidades de negocio en el mercado, el estudio de los antecedentes y problemática del potencial cliente, el diseño de la solución, el análisis de costos y rentabilidad del proyecto, la elaboración de expediente técnico y oferta económica, la negociación y finalmente el cierre del trato con el cliente por medio de un contrato u orden de compra.

Además, durante la ejecución del proyecto y hasta la emisión del acta de conformidad final del cliente, se deben ejercer funciones de seguimiento y control tales como la verificación del adecuado uso de los recursos, el análisis de los balances de costos y la autorización de los procesos de adquisiciones externas.

El desempeño individual en este puesto ha generado, desde el 2013 hasta octubre del 2016, ingresos por más de 16 millones de soles (US\$ 3'910,662.00 y S/. 3'358,504.00) como producto del suministro de bienes y servicios a clientes como Internexa, Level 3, Edelnor, BT Latam, Statkraft, ZTE y las Fuerzas Armadas (véase Anexo 1).

2.2.2 Proyectos realizados

Durante el desarrollo de la carrera profesional dentro del departamento comercial se han desarrollado gran cantidad de proyectos en las distintas tecnologías que abarca, directa e indirectamente, la especialidad de Telecomunicaciones.

Para la sustentación de esta experiencia profesional se han considerado dos tecnologías en especial (redes ópticas y redes microondas) y cinco proyectos fundamentados en dichas tecnologías; esta consideración se basa en el alto nivel de conocimientos y procedimientos de ingeniería que han sido requeridos para su diseño e implementación:

Tecnología:	Redes microondas
Resumen:	Diseño, análisis de <i>link budget</i> , implementación y puesta en marcha de enlaces microondas.
Cliente:	Marina de Guerra del Perú
Año:	2014
Tecnología:	Redes ópticas
Resumen:	Diseño e implementación de solución técnica para el aumento de la capacidad de transmisión por fibra óptica por medio del aumento de jerarquía en protocolo SDH, multiplexación de tramas STM-1 y aplicaciones de CWDM.
Cliente:	Internexa
Año:	2015
Tecnología:	Redes ópticas
Resumen:	Diseño de solución técnica e implementación de un enlace óptico en protocolo SDH (estándar STM-16) con redundancia automática.
Cliente:	Edelnor
Año:	2015
Tecnología:	Redes microondas
Resumen:	Instalación y puesta en marcha del <i>backhaul</i> de la red de acceso para DirecTV. Aplicación de técnicas para el incremento de capacidad de canal por medio del uso combinado de Codificación y Modulación Adaptativa (<i>Adaptative Code and Modulation</i> o ACM) y polarización.
Cientes:	ZTE
Año:	2015 – 2016
Tecnología:	Redes microondas

Resumen: Diseño, análisis de *link budget*, estudio de Radiaciones No Ionizantes (RNI), instalación y puesta en marcha de red microondas para la conexión de centrales hidroeléctricas.

Clientes: Statkraft

Año: 2015 – 2016

CAPÍTULO III

ACTIVIDADES DESARROLLADAS

3.1 Experiencia en el campo de las redes ópticas

Tal como se mencionó en el subtítulo anterior, parte de la experiencia profesional se centró en el campo de las redes de transmisión de datos por fibra óptica utilizando el conjunto de protocolos SDH (versión ITU-T del SONET).

Dentro de este título se detallaran las actividades realizadas para resolver las problemáticas e implementar los requerimientos del cliente Internexa utilizando equipamiento de tipo Multiplexación por División de Tiempo (*Time Division Multiplexing* o TDM) del fabricante y *partner* Loop Telecom. Finalmente se evaluarán y compararan los resultados bajo una perspectiva general de la tecnología aplicada.

3.1.1 Antecedentes

Internexa es una compañía parte del grupo ISA encargada de generar proyectos de infraestructura que impulsan el desarrollo en el continente. Para lograrlo, ha formado la gran espina dorsal de IP y Transporte

de Sudamérica (Figura 2) con aproximadamente 29,000 km de fibras ópticas que interconectan Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Chile, Argentina y Brasil, dicha red está focalizada prioritariamente en los negocios de transporte de energía eléctrica.

Figura 2: Red de Internexa en Sudamérica

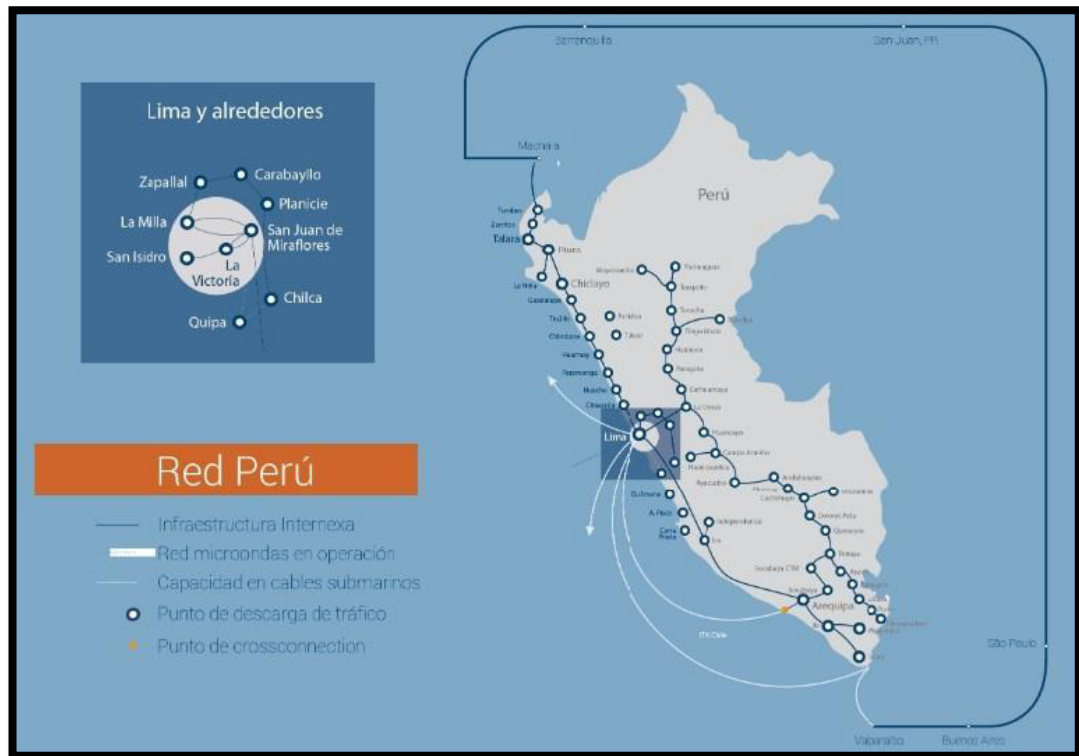


Fuente: (Internexa, 2016)

Inició sus operaciones en el Perú en el año 2006 como proveedora de servicios de comunicación para los proyectos de infraestructura eléctrica que fueron concesionados por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) al grupo ISA y sus subsidiarias: Red de Energía del Perú (REP) y Transmantaro.

Posteriormente en el año 2011, Internexa adjudica a BMP el proyecto de adquisición de una plataforma de transmisión óptica en SDH con la finalidad de extender el suministro de servicios a sus clientes y añadir su red de fibra en Perú (4,674 km de longitud) a la dorsal sudamericana (Figura 3).

Figura 3: Red de Internexa en Perú

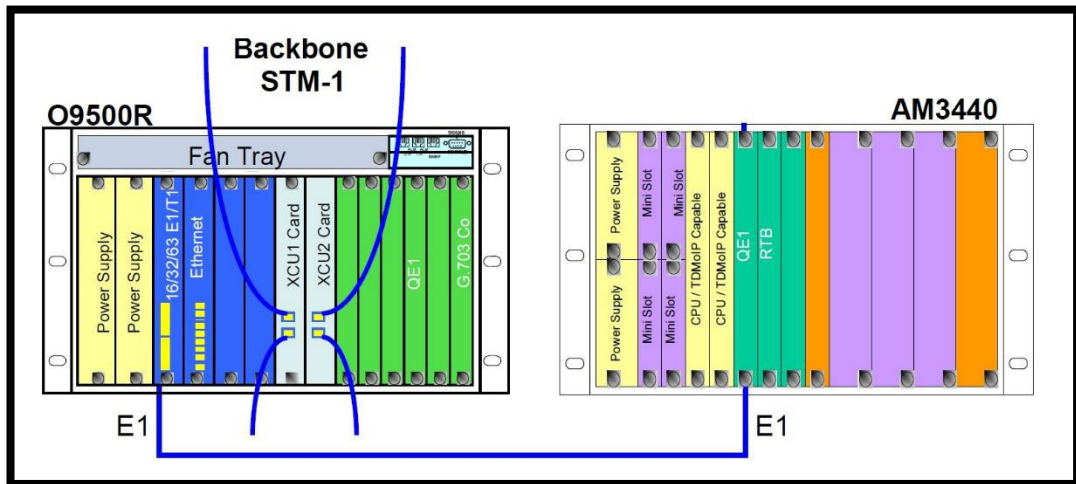


Fuente: (Internexa, 2016)

La red de multiplexores propuesta estaba constituida por dos niveles: un nivel de acceso con multiplexores PDH (modelo AM3440) y un nivel de transporte con multiplexores SDH (modelo O9500R).

En el nivel de acceso, el multiplexor PDH recibe la información de los clientes a través de sus tributarios de baja velocidad (FXS, FXO, QE1, etc.), luego los codifica (por ejemplo la señal de voz por un puerto FXS modulada en PCM a 64 kbps por el estándar ITU-T G.711), coloca los bits resultantes en *timeslots* y finalmente los multiplexa según la norma ITU-T G.732 en tramas E1 que serán enviadas hacia el nivel de transporte (Figura 4).

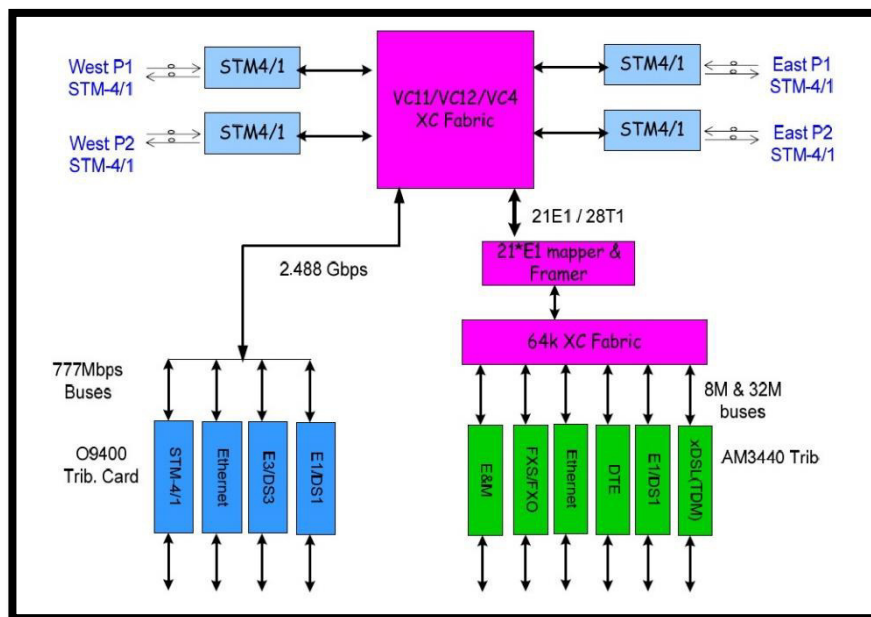
Figura 4: Conexión del nivel de acceso (PDH) con el nivel de transporte (SDH)



Fuente: Elaboración propia

En el nivel de transporte, el multiplexor SDH recibe estas tramas E1 desde el multiplexor PDH y desde sus tributarios de alta velocidad (EoS, 16E1, B155/622, etc.), las inserta en contenedores C-12 y las rellena de bits para evitar problemas con la variación de frecuencia entre PDH y SDH, a cada contenedor C-12 le añade una cabecera (*path overhead* o POH) para crear un contenedor virtual o VC-12 y finalmente multiplexa hasta 63 contenedores VC-12 para crear una trama básica STM-1 (Figura 5).

Figura 5: Diagrama de bloques del multiplexor SDH

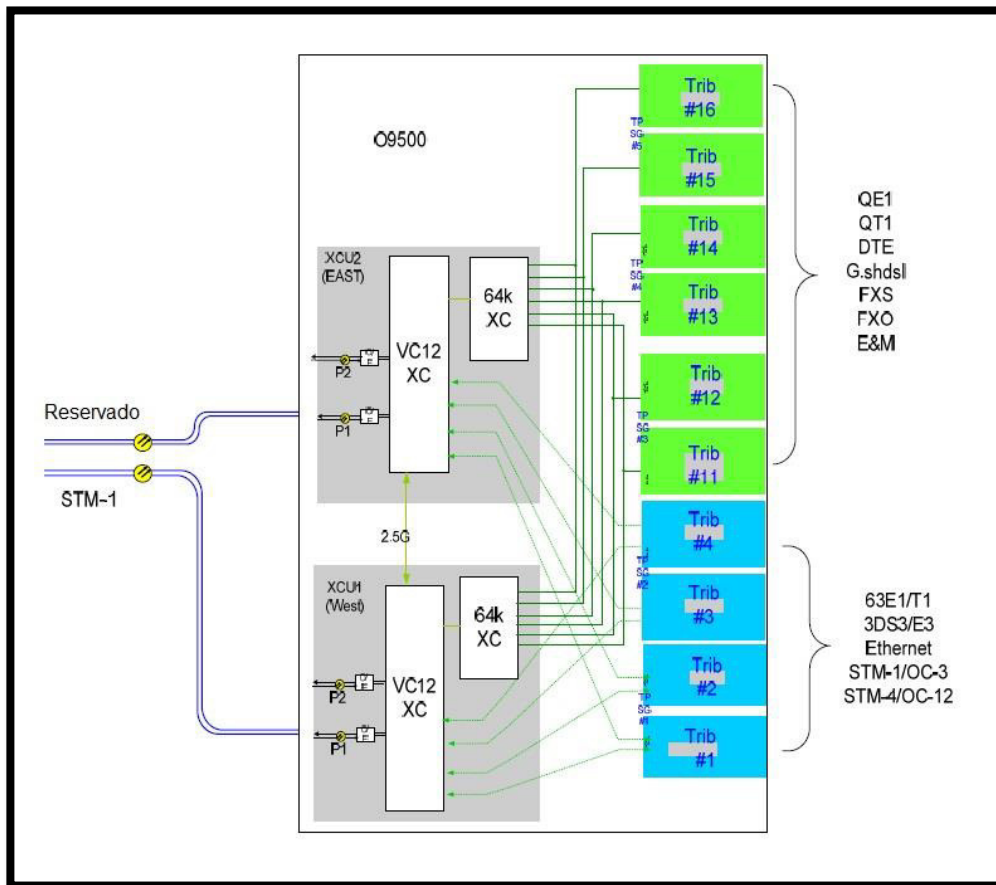


Fuente: (Loop Telecommunications International Inc., 2011, pág. 19)

A medida que las tramas STM-1 se vayan preparando, el multiplexor SDH las transmitirá por medio de sus tarjetas controladoras XCU1 y XCU2, cada una de estas tarjetas posee dos *slots* para transceptores SFP, P1 y P2.

Con la finalidad de asegurar que cada enlace tenga un respaldo se decidió organizar todos los puertos de las tarjetas controladoras en dos grupos: XCU1-P1 + XCU2-P1 y XCU1-P2 + XCU2-P2, de esa forma cada grupo utilizaría un slot para la transmisión primaria y el otro slot quedaría reservado en caso ocurran fallas con el primero (Figura 6)

Figura 6: Diagrama de multiplexación y transmisión del multiplexor O9500



Fuente: (Loop Telecommunications International Inc., 2011, pág. 20)

Por último, todas estas tramas STM-1 serán transportadas a través de un par de hilos de fibra óptica monomodo como medio físico entregado por Internexa entre nodo y nodo. En consecuencia, al conectar ambos hilos (Tx y

Rx) al puerto de transferencia primario se obtendría una velocidad de transmisión máxima de 155 Mbps en cada enlace entre nodos.

3.1.2 Situación problemática

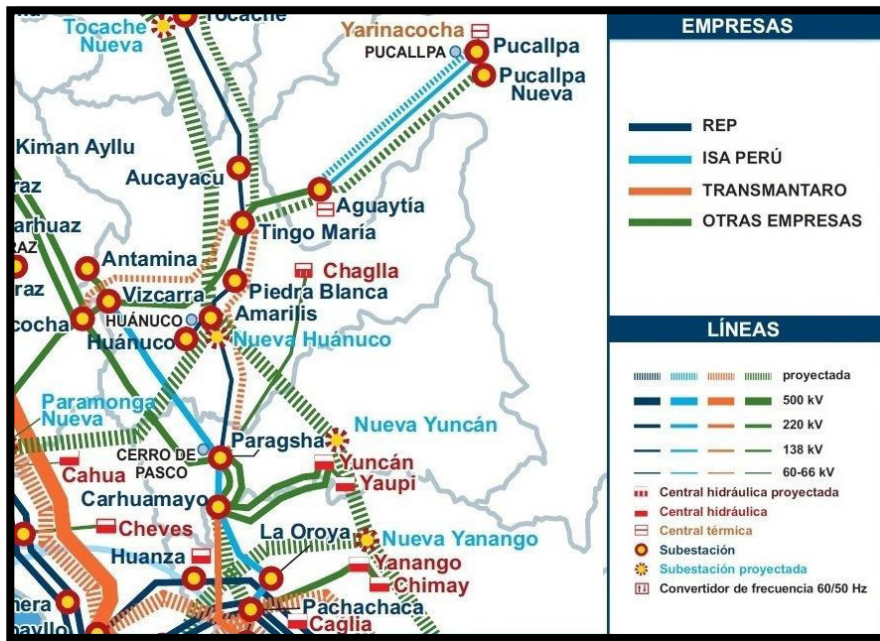
La inversión nacional en proyectos de infraestructura eléctrica se ha ido incrementando progresivamente, esta coyuntura está siendo aprovechada por el grupo ISA y sus subsidiarias (REP y Transmantaro) para ampliar su red de distribución eléctrica nacional.

En 2013 el Ministerio de Energía y Minas autorizó la modificación al Contrato de Concesión de ISA¹, para introducir términos y condiciones que hagan viable la ejecución de ampliaciones a su sistema de transmisión eléctrica tal como lo muestra el mapa de líneas en la Figura 7. En este sentido, ISA procedió a ejecutar las siguientes obras (ISA Perú, 2014):

- Proyecto de Ampliación 1 ISA Perú: Ampliación de la capacidad de transmisión de la línea L2224 Pachachaca – Oroya Nueva de 152 MVA a 250 MV.
- Proyecto de Ampliación 2 ISA Perú: Repotenciación de la línea L2254 Paragsha - Vizcarra de 152 MVA a 250 MV.
- Proyecto de Ampliación 3 ISA Perú:
 - Ampliación de la Capacidad de Transmisión de la Línea de Transmisión 138 kV Aguaytía – Pucallpa.
 - Ampliación de la Capacidad de Transformación de la Subestación Pucallpa.
 - Ampliación de la Capacidad de Transformación de la Subestación Aguaytía.

¹ Dicha modificación obra en la Resolución Ministerial N° 583-2012-MEM/DM publicada el 8 de enero del 2013 en el Diario El Peruano.

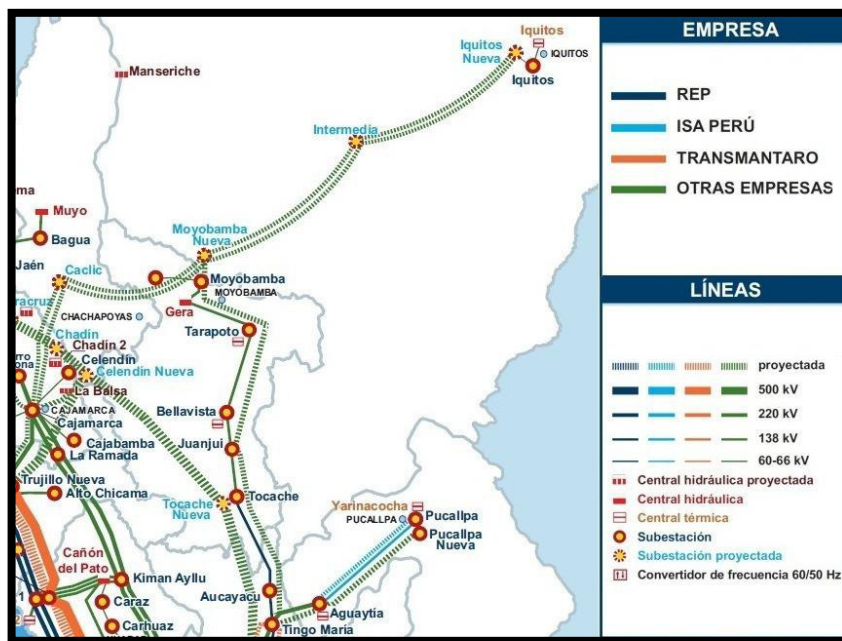
Figura 7: Ampliación red eléctrica ISA Este



Fuente: (Red de Energía del Perú, 2017)

Así mismo, el plan de crecimiento de ISA incluye la creación de nuevas subestaciones y líneas de transmisión en el departamento de Loreto (Subestaciones Moyobamba, Intermedia e Iquitos) como extensión de la red eléctrica Este (Figura 8).

Figura 8: Crecimiento de la red eléctrica ISA Este

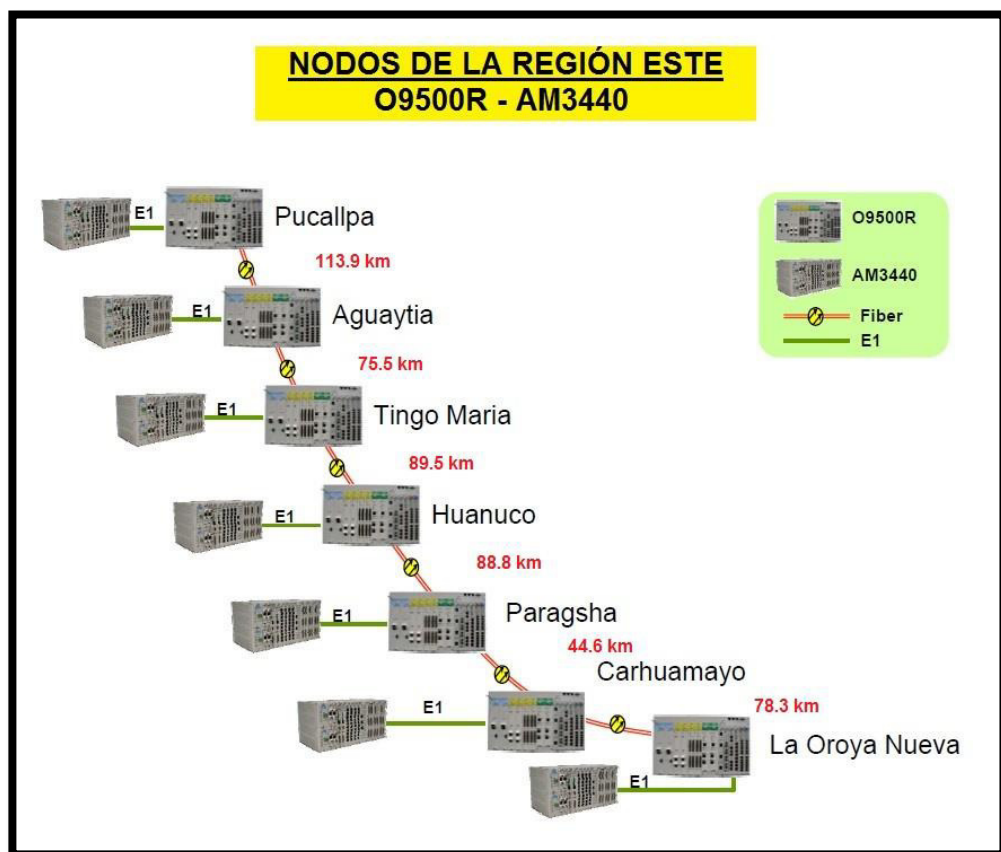


Fuente: (Red de Energía del Perú, 2017)

En consecuencia, el crecimiento continuo en la infraestructura eléctrica de ISA produce un incremento en el volumen de información que las estaciones requieren transportar, y eso genera la demanda de una tasa de transmisión más veloz que la actual (155 Mbps). Este factor exige a su principal proveedor de servicios, Internexa, considerar el aumento de capacidad de sus enlaces ópticos en STM-1.

Es así que, a finales del 2015, Internexa solicitó a BMP elaborar una solución integral para aumentar la capacidad de transmisión SDH en todos los nodos de la región Este (Figura 9).

Figura 9: Red SDH de la región Este



Fuente: Elaboración propia

El reto de la solución radica en plantear un resultado que no requiera la adquisición de nuevos multiplexores o el tendido de más hilos de fibra óptica. Así como considerar que las ventanas de trabajo sean lo más cortas

posible para que la continuidad del servicio no se vea afectada por la migración.

3.1.3 Solución aplicada

Objetivos y restricciones

- a) Incrementar la capacidad de transmisión en toda la red óptica SDH de la región Este.
- b) Utilizar la misma cantidad de multiplexores ópticos e hilos de fibra óptica.
- c) Realizar la migración en ventanas de trabajo de corta duración.

Planteamiento de la solución

Según la teoría del conjunto de protocolos SDH, el incremento de la velocidad de transmisión se da por medio del aumento de nivel dentro de la jerarquía. Este aumento es producto de la multiplexación varias estructuras STM-1 (Figura 10), la cual vendría a ser la trama básica del SDH.

Figura 10: Estructura de la trama básica STM-1



Fuente: (Wikipedia, 2009)

Como se observa en la Figura 10, la trama básica STM-1 está constituida por 2430 octetos ordenados en 270 columnas y 9 filas, de los cuales 81 octetos (9 columnas por 9 filas) son la cabecera de la trama y 2349

octetos (261 columnas por 9 filas) son la carga útil de la trama, es decir, la información a transportar; cada trama se transmite en 125 μ s.

Se sabe también que el siguiente nivel de la jerarquía digital síncrona es el STM-4, el cual multiplexa cuatro estructuras STM-1 otorgando una mayor velocidad de transmisión según la siguiente regla (Ec.1):

$$\text{Velocidad binaria STM} - N^{\circ} = N^{\circ} \times F \times (\text{Octetos} \times \text{Bits}) \quad (1)$$

, donde N° es la cantidad de señales STM-1 que componen el nivel; F es la frecuencia de tramas por segundo; Octetos es la cantidad de octetos por trama y Bits es la cantidad de bits por octeto.

Considerando entonces la estructura de la trama básica de SDH y la Ecuación 1 para calcular la velocidad de transmisión de los niveles SDH, se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad binaria STM} - 1 &= 1 \times 8000 \times (2430 \times 8) \\ \text{Velocidad binaria STM} - 1 &= 155.52 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Velocidad binaria STM} - 4 &= 4 \times 8000 \times (2430 \times 8) \\ \text{Velocidad binaria STM} - 4 &= 622.08 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Los siguientes niveles de la jerarquía utilizarán el mismo método de multiplexación de estructura básica, dando lugar al STM-16 y STM-64 con velocidades de 2.5 Gbps y 10 Gbps utilizadas comúnmente en la actualidad, como el caso de los estándares *ethernet* IEEE 802.3bz o NBASE y 802.3ae o 10GBASE respectivamente.

Las tasas de transferencia de bits calculadas se pueden corroborar con la Tabla 3.1, la cual enlista los niveles SDH y su tasa de bits estandarizados por la ITU-T.

Tabla 1: Niveles de SDH/SONET

Nivel SDH	Nivel SONET	Tasa de bits (Mbps)
STM-1	OC-3	155.52
STM-4	OC-12	622.08
STM-16	OC-48	2488.32
STM-64	OC-196	9953.28

Fuente: Elaboración propia

Por último, considerando que los multiplexores O9500R que conforman actualmente la red de transporte Este pueden transmitir también en STM-4, se planteará como solución principal la migración de toda la red a este estándar para aumentar la capacidad de 155 Mbps a 622 Mbps.

Se podría decir que con la solución formulada a momento ya se ha cumplido con el primer objetivo; sin embargo, se debe considerar que el crecimiento de las redes es continuo y que dentro de pocos años posiblemente se presente la misma situación. Por ello es necesario explorar la existencia de algún método adicional que incremente aún más la capacidad de esta red; la clave de este recurso complementario reside en la capa física.

Tal como se detalló en los antecedentes del proyecto, el medio de transporte físico de esta red está conformado un par de hilos de fibra monomodo y por transceptores SFP colocados en los puertos primarios de las tarjetas controladoras XCU1 y XCU2. Además, este enlace transmite los datos a través del medio óptico de manera unidireccional, modulándolos por Desplazamiento de Amplitud (*Amplitude-shift key* o ASK) para producir una señal con la misma longitud de onda sobre ambos hilos de fibra, un hilo para transmisión y otro para recepción. Por consiguiente, el multiplexor en cada extremo del enlace debe poseer transceptores duales (dos hilos en un solo SFP, Figura 11) idénticos que intercambien las señales bajo las mismas características; en la Tabla 2 se presenta una lista de los transceptores SFP utilizados inicialmente en la red Este y sus características.

Tabla 2: Distribución inicial de transceptores SFP en la red Este

Modelo SFP	Detalle	LA OROYA	CARHUAMAYO	PARGASHA	HUANUCO	TINGOMARIA	AGUAYTIA	PUCALLPA
PHB5D	Módulo óptico monomodo para doble fibra unidireccional, 155 Mbps, 1310 nm, 50 km, conector LC, con DDM		1	1				
PHC8D	Módulo óptico monomodo para doble fibra unidireccional, 155 Mbps, 1550 nm, 80 km, conector LC, con DDM	1	1			1	1	
PHCUD	Módulo óptico monomodo para doble fibra unidireccional, 155 Mbps, 1550 nm, 100 km., conector LC, con DDM			1	2	1		
PHCXD	Módulo óptico monomodo para doble fibra unidireccional, 155 Mbps, 1550 nm, 120 km, conector LC, con DDM						1	1

Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Modelo de transceptor SFP unidireccional

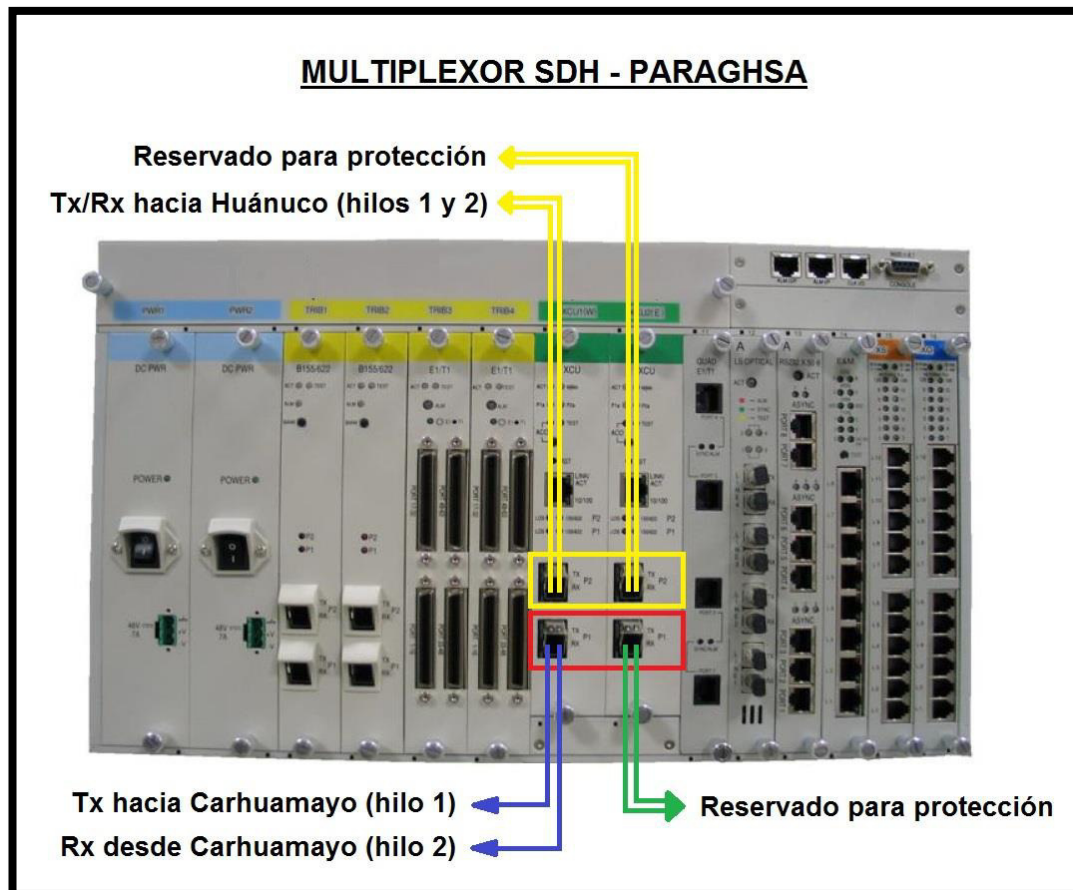


Fuente: (APAC OPTO, 2005)

Tomando como ejemplo el enlace entre Paragsha y Carhuamayo, se puede ver en la Tabla 2 que ambos nodos utilizan el mismo modelo de

transceptor SFP PHC5D y en la Figura 12 se representa el método de transmisión unidireccional. El puerto de transmisión (Tx) del SFP colocado en el puerto primario (P1) de la tarjeta XCU1 en el nodo Paragsha generará una señal con longitud de onda de 1550 nm a través del primer hilo de fibra óptica monomodo de 50 km de distancia hasta el nodo Carhuamayo, ahí la señal será recibida en el puerto de recepción (Rx) de un transceptor SFP idéntico bajo las mismas características con la que fue transmitida. La comunicación en sentido contrario partirá desde el puerto Tx del mismo SFP en Carhuamayo a través del segundo hilo de fibra óptica hasta el puerto Rx del SFP en Paragsha. El puerto 1 (P1) del XCU2 de Paragsha, que forma parte del grupo de enlace hacia Carhuamayo, se mantendrá como reserva en caso falle el puerto primario de comunicación.

Figura 12 – Conexiones WAN del multiplexor SDH en el nodo Paragsha

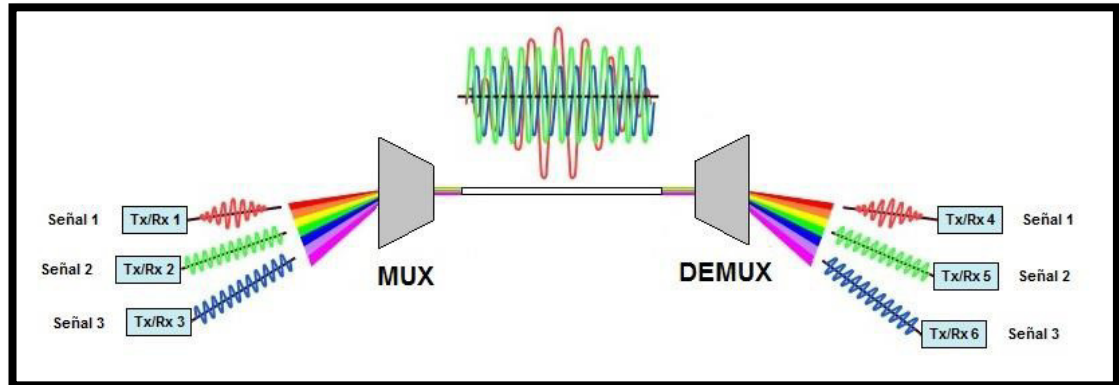


Fuente: Elaboración propia

El perfeccionamiento de este método de transmisión unidireccional será el que permita aumentar nuevamente las capacidades de transmisión. Dicho perfeccionamiento se llevará a cabo por medio del uso de la tecnología de Multiplexación por División de Longitud de Onda (*Wavelength Division Multiplexing* o WDM), la cual multiplexa varias señales sobre un solo hilo de fibra mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda; de la misma forma como la Multiplexación por División de Frecuencia (*Frequency Division Multiplexing* o FDM) opera en el espectro de frecuencias.

El sistema WDM generará un haz láser a diferentes longitudes de onda, estos pasarán por una etapa de multiplexación para combinar las fuentes y posteriormente serán transmitidos sobre un mismo hilo de fibra. Finalmente, la señal compuesta se recibe en el destino y un demultiplexor se encarga de separar los canales componentes para enviarlos hacia los receptores pertinentes.

Figura 13: Sistema WDM



Fuente: (ADVA Optical Networking, 2013)

En la Figura 13 se aprecia en cada extremo del enlace un sistema WDM conformado por varios transceptores y un multiplexor de longitudes de onda; si bien el uso de este sistema en específico permitiría utilizar un solo hilo de fibra en lugar de dos para transmisión y recepción, también llevaría a duplicar la cantidad de transceptores SFP (uno para Tx y otro para Rx) y utilizar tanto el puerto principal como el de protección (Figura 12) perdiendo así la contingencia del enlace en caso de fallas.

Es por ello que se debe optar por un dispositivo que combine ambas capacidades en un único puerto, de tal manera que se pueda mantener la misma arquitectura de transmisión pero con una optimización en el uso del canal; este dispositivo se conoce como transceptor SFP bidireccional (Figura 14) y utiliza la tecnología CWDM para transmitir y recibir dos señales con longitudes de ondas distintas sobre un mismo hilo de fibra.

La tecnología CWDM, estandarizada por la recomendación ITU-T G.694.2, forma parte de la familia WDM y se basa en los mismos principios para multiplexar, dentro del mismo medio, hasta 18 señales con longitudes de onda en el intervalo de 1270 nm a 1610 nm, separadas por 20 nm.

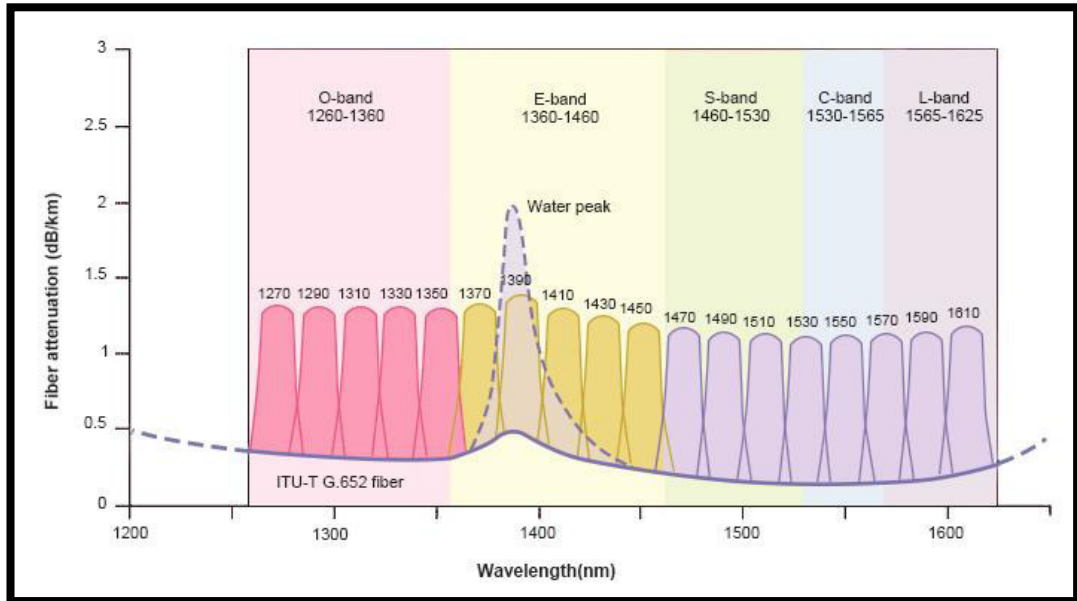
Las aplicaciones más comunes de CWDM en SFP bidireccionales utilizan la primera y segunda ventana óptica (Figura 15), las cuales corresponden a las bandas O (1310 nm) y C (1550 nm), de esa manera se aprovechan sus propiedades de mínima dispersión y atenuación a un bajo costo. Esta aplicación representa una excelente solución para los enlaces de la región Este, pero a medida que la distancia del canal aumente será necesario utilizar combinaciones con la banda superior (L) que nos ofrezcan una menor atenuación en dB/km.

Figura 14: Modelo de transceptor SFP bidireccional



Fuente: (APAC OPTO, 2010)

Figura 15: Bandas ópticas CWDM y perfil de atenuación sobre estándar G.652



Fuente: (Fiberstore Inc., 2016)

En consecuencia, se decide cambiar los transceptores de doble fibra unidireccional por transceptores bidireccionales en todo el tramo óptico de la región Este para así aplicar los principios de CWDM y utilizar de manera más eficiente el medio de transmisión asignado. En la Tabla 3 se detalla la nueva lista de SFP propuestos.

Al comparar la Tabla 3 con la Tabla 2 se puede observar que el cambio de SFP sólo afecta a la capacidad de transmisión (incremento de acuerdo con los objetivos de la solución) y al método de transmisión-recepción (de unidireccional a bidireccional para el uso eficiente del medio de comunicación), manteniendo los mismos parámetros para el modo de propagación (monomodo), distancia, tipo de conexión y capacidades adicionales (monitoreo diagnóstico digital de la temperatura, potencia de transmisión y recepción).

Tabla 3: Distribución final de transceptores SFP en la red Este

Modelo SFP	Detalle	LA OROYA	CARHUAMAYO	PARGASHA	HUANUCO	TINGOMARIA	AGUAYTIA	PUCALLPA
PJD6D	Módulo óptico monomodo para una fibra bidireccional, 622 Mbps, Tx 1310 nm / Rx 1550 nm, 60 km, conector LC, con DDM			1				
PJE6D	Módulo óptico monomodo para una fibra bidireccional, 622 Mbps, Tx 1550 nm / Rx 1310 nm, 60 km, conector LC, con DDM		1					
PCQ8D	Módulo óptico monomodo para una fibra bidireccional, 622 Mbps, Tx 1510 nm / Rx 1570 nm, 80 km, conector LC, con DDM		1				1	
PCR8D	Módulo óptico monomodo para una fibra bidireccional, 622 Mbps, Tx 1570 nm / Rx 1510 nm, 80 km, conector LC, con DDM	1				1		
PCQUD	Módulo óptico monomodo para una fibra bidireccional, 622 Mbps, Tx 1510 nm / Rx 1570 nm, 100 km, conector LC, con DDM				1	1		
PCRUD	Módulo óptico monomodo para una fibra bidireccional, 622 Mbps, Tx 1570 nm / Rx 1510 nm, 100 km, conector LC, con DDM			1	1			
PCQXD	Módulo óptico monomodo para una fibra bidireccional, 622 Mbps, Tx 1510 nm / Rx 1590 nm, 120 km, conector LC, con DDM							1
PCRXD	Módulo óptico monomodo para una fibra bidireccional, 622 Mbps, Tx 1590 nm / Rx 1510 nm, 120 km, conector LC, con DDM						1	

Fuente: Elaboración propia

Nótese también en la Tabla 3 que a partir de los 60 km se comienza a emplear las bandas S y L debido a que su baja atenuación a través de la fibra permite alcanzar mayores distancias; así mismo, no se utiliza la banda E debido al gran pico de atenuación o *water peak* (Figura 15) producido por la absorción asociada con iones de hidroxilo (OH) presentes en la estructura de la fibra.

En la Tabla 4 se detalla la distribución de los transceptores en los puertos ópticos o SFP *housings* de cada multiplexor, indicando el número de tarjeta controladora, el puerto de la tarjeta controladora, el modelo de SFP, la capacidad de transmisión y el destino de la comunicación

Tabla 4: Esquema de conexión de transceptores SFP bidireccionales

Nodo	Pucallpa			
Tarjeta	Puerto	SFP	Capacidad	Destino
XCU1	1	PCQXD	STM-4	Aguaytia
XCU1	2	-	-	-
XCU2	1	Reserva	STM-4	Aguaytia
XCU2	2	-	-	-
Nodo	Aguaytia			
Tarjeta	Puerto	SFP	Capacidad	Destino
XCU1	1	PCQ8D	STM-4	Tingo María
XCU1	2	PCRXD	STM-4	Pucallpa
XCU2	1	Reserva	STM-4	Tingo María
XCU2	2	Reserva	STM-4	Pucallpa
Nodo	Tingo María			
Tarjeta	Puerto	SFP	Capacidad	Destino
XCU1	1	PCQUUD	STM-4	Huánuco
XCU1	2	PCR8D	STM-4	Aguaytia
XCU2	1	Reserva	STM-4	Huánuco
XCU2	2	Reserva	STM-4	Aguaytia
Nodo	Huánuco			
Tarjeta	Puerto	SFP	Capacidad	Destino
XCU1	1	PCQUUD	STM-4	Paragsha
XCU1	2	PCRUD	STM-4	Tingo María
XCU2	1	Reserva	STM-4	Paragsha
XCU2	2	Reserva	STM-4	Tingo María
Nodo	Paragsha			
Tarjeta	Puerto	SFP	Capacidad	Destino
XCU1	1	PJD6D	STM-4	Carhuamayo
XCU1	2	PCRUD	STM-4	Huánuco
XCU2	1	Reserva	STM-4	Carhuamayo
XCU2	2	Reserva	STM-4	Huánuco
Nodo	Carhuamayo			
Tarjeta	Puerto	SFP	Capacidad	Destino
XCU1	1	PCQ8D	STM-4	La Oroya
XCU1	2	PJE6D	STM-4	Paragsha
XCU2	1	Reserva	STM-4	La Oroya
XCU2	2	Reserva	STM-4	Paragsha
Nodo	La Oroya			
Tarjeta	Puerto	SFP	Capacidad	Destino
XCU1	1	-	-	-
XCU1	2	PCR8D	STM-4	Carhuamayo
XCU2	1	-	-	-
XCU2	2	Reserva	STM-4	Carhuamayo

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, cabe mencionar tres notas complementarias acerca del uso de WDM en las redes ópticas:

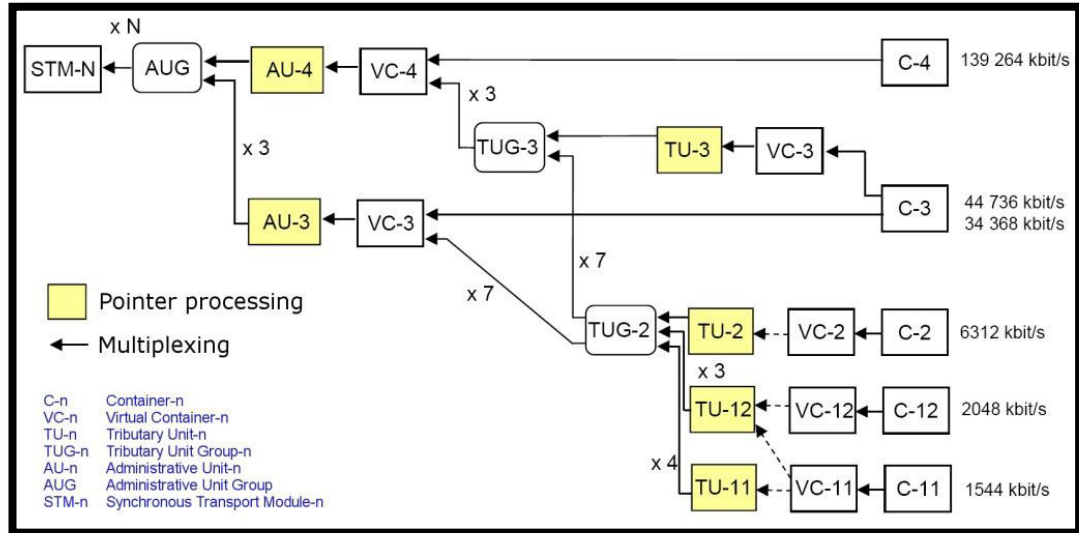
- El precio de los transceptores SFP crecerá a medida que se utilicen las bandas superiores del espectro óptico; esto debido a que la transmisión de longitudes de ondas más allá de la banda S requiere del uso de diodos láser en lugar de LEDs.
- Una tecnología con mayor capacidad que la CWDM es la Multiplexación por División Densa de Longitudes de Onda (*Dense Wavelength Division Multiplexing* o DWDM); esta puede multiplexar hasta 80 señales dentro de la banda C con canales espaciados a 50 GHz (~ 0.4 nm). Actualmente existen tecnologías capaces de espaciar las señales a 12.5 GHz (Ultra DWDM); además, el uso de amplificadores Raman ha permitido también emplear la banda L, duplicando así los números ya mencionados.
- Los nuevos modelos de fibra óptica normados bajo las actualizaciones del estándar ITU-T G.652, han logrado eliminar casi por completo la atenuación por absorción de la banda E permitiendo así la completa operación de las técnicas de transmisión entre 1360 nm y 1460 nm.

Hasta el momento ya se ha conseguido una solución eficaz que incrementa la capacidad de transmisión de la red Este con un uso eficiente del medio de comunicación; sin embargo, aún queda pendiente confirmar que la implementación de dicha solución no generará cortes prolongados al servicio en curso.

Para corroborar dicha condición, se debe analizar la estructura de multiplexación a STM-4. En la Figura 16 se observa como el tráfico PDH es procesado y multiplexado hasta generar un Grupo de Unidades Administrativas (*Administrative Unit Group* o AUG) conformado por una carga de 63 E1, a este se le añade la Cabecera de Sección (*Section OverHead* o SOH) para conformar la trama básica STM-1. Por lo tanto, siendo STM-4 una multiplexación de cuatro tramas básicas, significa que el aumento de jerarquía

SDH añadirá tres AUGs más al ya existente sin la necesidad reconfigurar el tráfico que ya se procesa en este.

Figura 16: Estructura de multiplexación SDH según recomendación ITU-T G.707



Fuente: (Networking Blog, 2009)

Si a esto se le añade la capacidad *hot-plug* de los multiplexores Loop Telecom, se tendrá como producto una ventana de trabajo mínima conformada por los pocos minutos que tome la instalación del nuevo transceptor, el aumento de la jerarquía por configuración en Interfaz de Línea de Comandos (*Command Line Interface* o CLI) y las pruebas respectivas.

Para concluir, el plan de implementación de la solución se constituirá a partir de los resultados obtenidos en el previo análisis, estos resultados se presentan a continuación clasificados conforme al objetivo que obtienen:

- a) Incrementar la capacidad de transmisión en toda la red óptica SDH de la región Este.

Resultado: Se aumentará la jerarquía SDH multiplexando cuatro tramas STM-1 para conseguir un STM-4 a una velocidad de 622 Mbps. La configuración se realizará a distancia, a través de la red de gestión, y se realizará en tramos (por enlace).

- b) Utilizar la misma cantidad de multiplexores ópticos e hilos de fibra óptica.

Resultado: El cambio de SFPs unidireccionales a bidireccionales no sólo mantendrá la misma cantidad de multiplexores ópticos, sino que disminuirá el uso de hilos de fibra por enlace por medio de la aplicación de CWDM. El cambio de SFPs se realizará en tramos (por enlace) y con personal técnico en sitio.

- c) Realizar la migración en ventanas de trabajo de corta duración

Resultado: El incremento de AUGs en la estructura de la trama STM-4 no afectará a la información que se encuentre dentro de trama STM-1, evitando así el tiempo de reconfiguración de conexiones lógicas (*cross* conexiones o XCON) durante la ventana de trabajo y reduciendo el tiempo de esta a un máximo de 10 minutos.

Ejecución

La ejecución del proyecto se realizará por pasos conforme al plan detallado anteriormente y mediante la programación de ventanas de trabajo, el proceso contemplará el reemplazo de los transceptores SFP, configuración de la migración SDH y pruebas de enlace. Para estas labores se utilizará personal de campo en los nodos extremos de cada enlace y personal de configuración en el Centro de Operaciones de Red (*Network Operations Center* o NOC) de Internexa en Lima.

El personal de campo se encargará del intercambio de los SFPs, de la conexión de *patch cords* de fibra óptica desde el ordenador de fibra óptica hasta el multiplexor y cualquier otra tarea que requiera acceso local al multiplexor durante la configuración; para cumplir sus funciones deberá llevar consigo una laptop, cable serial, *patch cord ethernet*, *patch cord* de fibra óptica, transceptor SFP, maleta de herramientas básicas, cámara fotográfica, Equipamiento de Protección Personal (EPP) y consumibles menores para cableado. Mientras, el personal de configuración se encargará de la migración a STM-4 y solamente requerirá de acceso a la red de gestión SDH Este.

Tal como se mencionó al inicio, se debe elaborar un cronograma de intervenciones en nodo antes de iniciar el proceso de ejecución; este cronograma estará dividido por tramos (enlaces ópticos) y tendrá como función principal la notificación de los cortes breves de servicio a los usuarios producto de las ventanas de trabajo. La elaboración de este cronograma (Tabla 5) se llevó a cabo en coordinación con el personal del Departamento de Proyectos de Internexa, Departamento de Operaciones de BMP sede Ucayali y Departamento de Control de servicios de REP.

Tabla 5: Cronograma de migración de enlaces

Nodo Origen	Nodo Destino	Código enlace	Periodo de migración
Pucallpa	Aguaytia	LT 1125	11-09-15, de 20:00 a 20:30 hrs.
Aguaytia	Tingo María	LT 2251	12-09-15, de 20:00 a 20:30 hrs.
Tingo María	Huánuco	LT 1121	13-09-15, de 20:00 a 20:30 hrs.
Huánuco	Paragsha	LT 1120	18-09-15, de 20:00 a 20:30 hrs.
Paragsha	Carhuamayo	LT 2258	19-09-15, de 20:00 a 20:30 hrs.
Carhuamayo	La Oroya	LT 2259	20-09-15, de 20:00 a 20:30 hrs.

Fuente: Elaboración propia

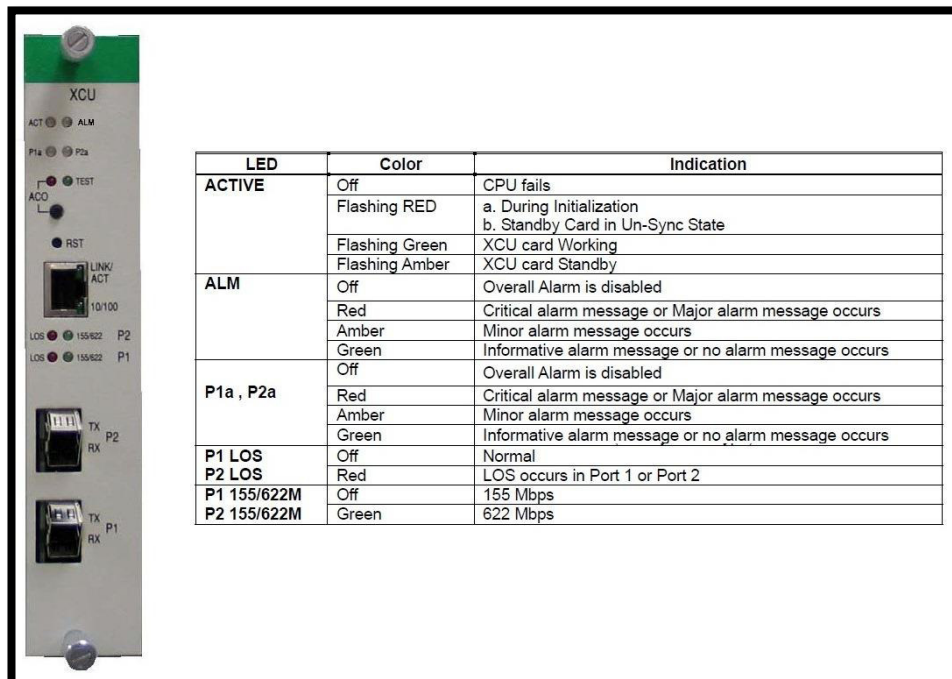
Así mismo, se exportará la configuración actual de cada multiplexor en forma de una copia de respaldo (*backup*); este *backup* se descargará a través de TFTP (puerto UDP 69) hacia un servidor instalado en la misma red local del multiplexor para utilizarse como punto de restauración en caso de fallas.

Una vez que las fechas de implementación hayan sido confirmadas y el personal se encuentre en sitio con el equipamiento correspondiente, se puede iniciar con el corte de servicio por mantenimiento y con el primer paso del proceso de ejecución que es el intercambio de SFPs; este paso comprende el retiro del SFP unidireccional y la instalación del SFP bidireccional (según Tabla 4) por el personal de campo, además se reemplazará el cableado local de fibra óptica, de LC dúplex a LC, desde el ordenador de fibra óptica hasta el transceptor SFP instalado.

Durante el intercambio de SFPs, el personal de campo deberá observar el comportamiento de los LEDs en las tarjetas controladoras (Figura 17) conforme realice las labores de desinstalación e instalación según el siguiente orden:

- Comportamiento previo a la desinstalación:
ACT (verde intermitente), ALM (verde), P1a/P2a (verde), P1_LOS/P2_LOS (off), P1_155-622/P2_155-622 (off)
- Comportamiento al retirar el SFP unidireccional:
ACT (ámbar intermitente), ALM (rojo), P1a/P2a (rojo), P1_LOS/P2_LOS (rojo), P1_155-622/P2_155-622 (off)
- Comportamiento al colocar el SFP bidireccional:
ACT (ámbar intermitente), ALM (rojo), P1a/P2a (rojo), P1_LOS/P2_LOS (off), P1_155-622/P2_155-622 (off)
- Comportamiento al configurar la trama STM-4:
ACT (verde intermitente), ALM (verde), P1a/P2a (verde), P1_LOS/P2_LOS (off), P1_155-622/P2_155-622 (verde)

Figura 17: Indicación de LEDs de la tarjeta controladora



Fuente: (Loop Telecommunications International Inc., 2011, pág. 28)

El siguiente paso es la migración del enlace a STM-4 cuya configuración se realizará de manera remota desde el NOC de Internexa, para ello se hará uso de la red de gestión de respaldo (conexión de fibra óptica Lima – Huánuco y troncal de microondas desde Huánuco hacia los nodos del este) con la finalidad de establecer conexión con la laptop del personal de campo y controlarla por medio de un escritorio remoto, esta laptop deberá estar conectada a través de un cable USB – serial a la interfaz RS232 (puerto de consola DB9) del multiplexor a configurar.

Luego se accede a la interfaz de configuración del multiplexor (CLI) y dentro de la misma se ingresa a la opción *Setup* → *SDH/SONET Setup* → *System Mode Setup* donde se modificará la jerarquía de trama SDH; tomando como ejemplo el multiplexor del nodo Paragsha, se puede ver en la Figura 18 el cambio de jerarquía de STM-1 a STM-4 en los puertos que conforman el Grupo 1 (XCU1-P1 y XCU2-P1) correspondientes al enlace hacia Carhuamayo.

Adicionalmente, se puede verificar dentro de la opción *Setup* → *SDH/SONET Setup* → *Path Granularity* (Figura 19) que el incremento de jerarquía habilita tres nuevos AUGs además del actual; confirmando de esa manera que esta configuración no altera los datos o las *cross* conexiones existentes sino que añade nuevos AUGs “en blanco” para ser multiplexados la nueva trama STM-4.

Del mismo modo, esta opción permite verificar la granularidad que se utilizará para el mapeo de *cross* conexiones; es decir en qué unidades se fraccionaran las tramas SDH. En la Figura 19 se visualiza que la granularidad del *High Order Path* está configurada en AU4-TUG3, esto significa que en el enlace entre multiplexores la trama STM-4 se fraccionará en Unidades Administrativas AU4 en lugar de AU3 (T3), y que a su vez esta AU4 estará conformada por Grupos de Unidades Tributarias TUG3 (E3, E2 o E1) en lugar de E4; de la misma manera, se observa que la granularidad del *Low Order Path* está configurada en TU12, lo cual significa que las *cross* conexiones de los tributarios se realizarán por medio de E1s hasta formar las tramas SDH.

Finalmente, estas dos opciones de granularidad permitirán fraccionar cada trama básica de SDH en de 63 E1s para realizar las *cross* conexiones con base en el mapeo estándar KLM (TUG3-#, TUG2-#, TU12-#).

Figura 18: Configuración STM-4 en el multiplexor del nodo Paragsha

```

09500R                === System Mode Display ===                20:22:20 09/19/2015

SDH/SONET Mode : SDH                MSP WTR Timer : 300 seconds
Group1 Member  : XCU1-P1 & XCU2-P1   SNCP/UPSR Mode : Intrusive
Group2 Member  : XCU1-P2 & XCU2-P2

===== Aggregate Line Protection Switch Group1 =====
Mode            : NP
XCU1-P1 Rate   : STM1                XCU2-P1 Rate   : STM1

[MSP1+1]
Protection: ----
Revertive  : ----
Direction  : ----

===== Aggregate Line Protection Switch Group2 =====
Mode            : NP
XCU1-P2 Rate   : STM4                XCU2-P2 Rate   : STM4

[MSP1+1]
Protection: ----
Revertive  : ----
Direction  : ----

<< ESC key to return to previous menu, SPACE bar to refresh >>

```

```

09500R                === System Mode Display ===                20:26:53 09/19/2015

SDH/SONET Mode : SDH                MSP WTR Timer : 300 seconds
Group1 Member  : XCU1-P1 & XCU2-P1   SNCP/UPSR Mode : Intrusive
Group2 Member  : XCU1-P2 & XCU2-P2

===== Aggregate Line Protection Switch Group1 =====
Mode            : NP
XCU1-P1 Rate   : STM4                XCU2-P1 Rate   : STM4

[MSP1+1]
Protection: ----
Revertive  : ----
Direction  : ----

===== Aggregate Line Protection Switch Group2 =====
Mode            : NP
XCU1-P2 Rate   : STM4                XCU2-P2 Rate   : STM4

[MSP1+1]
Protection: ----
Revertive  : ----
Direction  : ----

<< ESC key to return to previous menu, SPACE bar to refresh >>

```

Fuente: Elaboración propia

Figura 19: Granularidad de la trama STM-4 en el multiplexor del nodo Paragsha

```

09500R                === Path Granularity ===                20:23:37 09/19/2015
ARROW KEYS: CURSOR MOVE, TAB/` : ROLL UP/DOWN OPTIONS

Group#                :GROUP-1

===== XCU1(W) PORT-1 =====
AUG1#                 : 1
HO-Path Granularity  : AU4-TUG3
LO-Path#1 Granularity : TU12
LO-Path#2 Granularity : TU12
LO-path#3 Granularity : TU12

===== XCU2(E) PORT-1 =====
AUG1#                 : 1
HO-Path Granularity  : AU4-TUG3
LO-Path#1 Granularity : TU12
LO-Path#2 Granularity : TU12
LO-path#3 Granularity : TU12

<< ESC key to return to previous menu, SPACE bar to refresh >>

```

```

09500R                === Path Granularity ===                20:27:14 09/19/2015
ARROW KEYS: CURSOR MOVE, TAB/` : ROLL UP/DOWN OPTIONS

Group#                :GROUP-1

===== XCU1(W) PORT-1 =====
AUG1#                 : 1
HO-Path Granularity  : AU4-TUG3
LO-Path#1 Granularity : TU12
LO-Path#2 Granularity : TU12
LO-path#3 Granularity : TU12
                        2           3           4
                        AU4-TUG3   AU4-TUG3   AU4-TUG3
                        TU12        TU12        TU12
                        TU12        TU12        TU12
                        TU12        TU12        TU12

===== XCU2(E) PORT-1 =====
AUG1#                 : 1
HO-Path Granularity  : AU4-TUG3
LO-Path#1 Granularity : TU12
LO-Path#2 Granularity : TU12
LO-path#3 Granularity : TU12
                        2           3           4
                        AU4-TUG3   AU4-TUG3   AU4-TUG3
                        TU12        TU12        TU12
                        TU12        TU12        TU12
                        TU12        TU12        TU12

<< ESC key to return to previous menu, SPACE bar to refresh >>

```

Fuente: Elaboración propia

Tan pronto como se establezca la nueva jerarquía STM-4 en ambos nodos se irá recuperando la conexión a los multiplexores a través de la red de gestión principal (enlace de fibra). Y puesto que la red de gestión principal es en banda (*in-band*) y se transporta dentro de los Canales de Comunicación de Datos (*Data Communication Channels* o DCCs, D1-12) en la cabecera de las

tramas SDH, se podría decir entonces que esta reconexión remota es prueba que el cambio de SFPs y su respectiva configuración fueron satisfactorios y que el enlace entre nodos ha sido restablecido sin alterar el tráfico existente.

Además, dentro de la opción *Display* → *System Information* → XCU SFP Information (Figura 20) se podrá observar el estándar de velocidad de transmisión en el cual está operando el transceptor SFP instalado (OC12/STM-4) así como las potencias de transmisión y recepción hacia los nodos adyacentes.

Figura 20: Información de los SFPs instalados en el nodo Paragsha

```
09500R                === XCU SFP Information ===                20:36:18 09/19/2015

XCU1(W)
[----- PORT1 -----] [----- PORT2 -----]
Connector   : LC           Connector   : LC
Transceiver : OC 12, single mode long Transceiver : OC 12, single mode long
Link Length : Not available Link Length : Not available
Technology  : Not available Technology  : Not available
Encoding    : 8B10B       Encoding    : 8B10B
Length(9/125 mm fiber)   : 60 km   Length(9/125 mm fiber)   : 100 km
Length(50/125 mm fiber)  : ----   Length(50/125 mm fiber)  : ----
Length(62.5/125 mm fiber): ----   Length(62.5/125 mm fiber): ----
Length(copper)           : ----   Length(copper)           : ----
Temperature : 40.400 degrees C   Temperature : 36.230 degrees C
Vcc           : 3.223 mV          Vcc           : 3.281 mV
Tx Bias       : 13.650 mA         Tx Bias       : 9.000 mA
Tx Power      : 1.8 dBm           Tx Power      : 0.8 dBm
Rx Power      : -14.3 dBm        Rx Power      : -29.2 dBm

<< ESC key to return to previous menu, SPACE bar to refresh >>
```

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Como resultado del diseño e implementación del proyecto, se obtuvo una red con una velocidad de transmisión optimizada de 155 Mbps a 622 Mbps con una mínima inversión en infraestructura, cumpliendo así con el requisito principal del cliente. Adicionalmente, se logró optimizar el uso del canal de comunicación a la mitad; de tal forma que en un futuro se pueda alcanzar hasta un doble de la velocidad de transmisión actual en caso sea requerido.

Agregando a lo anterior, en la Tabla 6 se recopilan los valores de potencia de transmisión y recepción que revela la opción “XCU SFP Information” (Figura 20) con la finalidad de mostrar los resultados de la instalación de cada uno de los SFP bidireccionales. Por ejemplo, en el primer caso se tiene al enlace entre el multiplexor de óptico del nodo Pucallpa y el nodo Aguaytia (visto desde el nodo Pucallpa); donde el SFP instalado en el puerto número 1 de la tarjeta controladora XCU1 transmite la información hacia el multiplexor óptico Aguaytia por la ventana L (1590 nm) con una potencia de 0.6 dBm y al mismo tiempo recibe a través del mismo puerto la información del multiplexor óptico Aguaytia por la ventana S (1510 nm) con una potencia de -29 dBm. Los resultados del mismo enlace, vistos desde el nodo Aguaytia, se detallan en la sección del multiplexor óptico Aguaytia.

Tabla 6: Valores de potencia de transmisión y recepción en la red de la región Este

Nodo		Pucallpa			
Tarjeta	Puerto	Destino	Distancia	Tx	Rx
XCU1	1	Aguaytia	113.9 km	1590 / 0.6 dBm	1510 / -29 dBm
Nodo		Aguaytia			
Tarjeta	Puerto	Destino	Distancia	Tx	Rx
XCU1	1	Tingo María	75.5 km	1570 / 0.7 dBm	1510 / -23 dBm
XCU1	2	Pucallpa	113.9 km	1510 / 1.6 dBm	1590 / -26.9 dBm
Nodo		Tingo María			
Tarjeta	Puerto	Destino	Distancia	Tx	Rx
XCU1	1	Huánuco	89.5 km	1570 / 0.5 dBm	1510 / -27.2 dBm
XCU1	2	Aguaytia	75.5 km	1510 / 0.5 dBm	1570 / -22.4 dBm
Nodo		Huánuco			
Tarjeta	Puerto	Destino	Distancia	Tx	Rx
XCU1	1	Paragsha	88.8 km	1570 / 1.3 dBm	1510 / -30.9 dBm
XCU1	2	Tingo María	89.5 km	1510 / 1.7 dBm	1570 / -28.9 dBm
Nodo		Paragsha			
Tarjeta	Puerto	Destino	Distancia	Tx	Rx
XCU1	1	Carhuamayo	44.6 km	1550 / 1.8 dBm	1310 / -14.3 dBm
XCU1	2	Huánuco	88.8 km	1510 / 0.8 dBm	1570 / -29.2 dBm
Nodo		Carhuamayo			
Tarjeta	Puerto	Destino	Distancia	Tx	Rx
XCU1	1	La Oroya	78.3 km	1570 / 0.3 dBm	1510 / -14.2 dBm
XCU1	2	Paragsha	44.6 km	1310 / 1.2 dBm	1550 / -12.5 dBm
Nodo		La Oroya			
Tarjeta	Puerto	Destino	Distancia	Tx	Rx
XCU1	2	Carhuamayo	78.3 km	1510 / 0.6 dBm	1570 / -16.1 dBm

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, de la Tabla 6 se puede concluir que la potencia de recepción (valor indispensable en la evaluación de resultados de un enlace) dependerá de varios factores como:

- La potencia de transmisión; a mayor potencia de transmisión, mayor inmunidad ante las pérdidas del medio.
- La longitud de onda utilizada; el uso de un canal óptico superior ofrece menores pérdidas según el estándar de fibra a utilizar.
- Longitud del canal; mientras mayor sea la distancia del medio, mayor atenuación (dB/km) sufrirá la señal.

3.1.4 Evaluación de la Solución

El presente subtítulo examina la solución, su resultado y las experiencias obtenidas durante todo el proceso de implementación; se dividirá en dos secciones, en la primera sección se compararán las características de la red Este de Internexa con una estructura similar para evaluar la importancia de la capacidad y la disponibilidad, y en la segunda sección se analizará el uso y significado de un término ambiguo referente a la velocidad de transmisión.

3.1.4.1 Capacidad versus Disponibilidad

Tal como se indicó en el subtítulo 3.1.2, el requerimiento de Internexa estaba inclinado hacia el incremento de la velocidad de transmisión en un tramo de su red óptica correspondiente a la región Este. Si bien es cierto que sus enlaces poseen características redundantes del tipo manual mediante la reserva de puertos ópticos libres como contingencia, es claro que se priorizó el aumento en la tasa de transferencia (alta capacidad) sobre la redundancia.

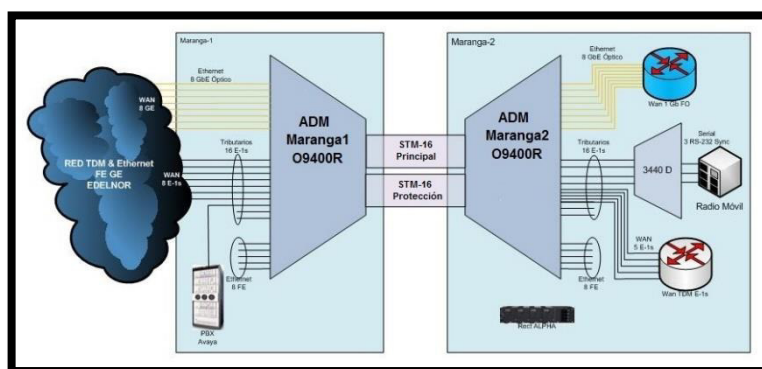
No obstante, esta preponderancia no se aplica a todos los requerimientos durante el diseño de redes; algunos clientes prefieren la alta disponibilidad de sus servicios antes que la capacidad de su red.

Con la finalidad de brindar mayor detalle a este segundo caso, se presentará a continuación el diseño de un enlace óptico en Edelnor para interconectar sus sedes Maranga1 y Maranga2 (Figura 21).

Para este diseño se consideró la necesidad del cliente de migrar todos sus servicios de voz y datos hacia su nueva sede, esto deriva en dos principales exigencias para la nueva red a implementarse: abundante volumen de información a transferirse y continuidad de los servicios, bajo dichos requerimientos se optó por una alta velocidad de transmisión (STM-16) con redundancia automática.

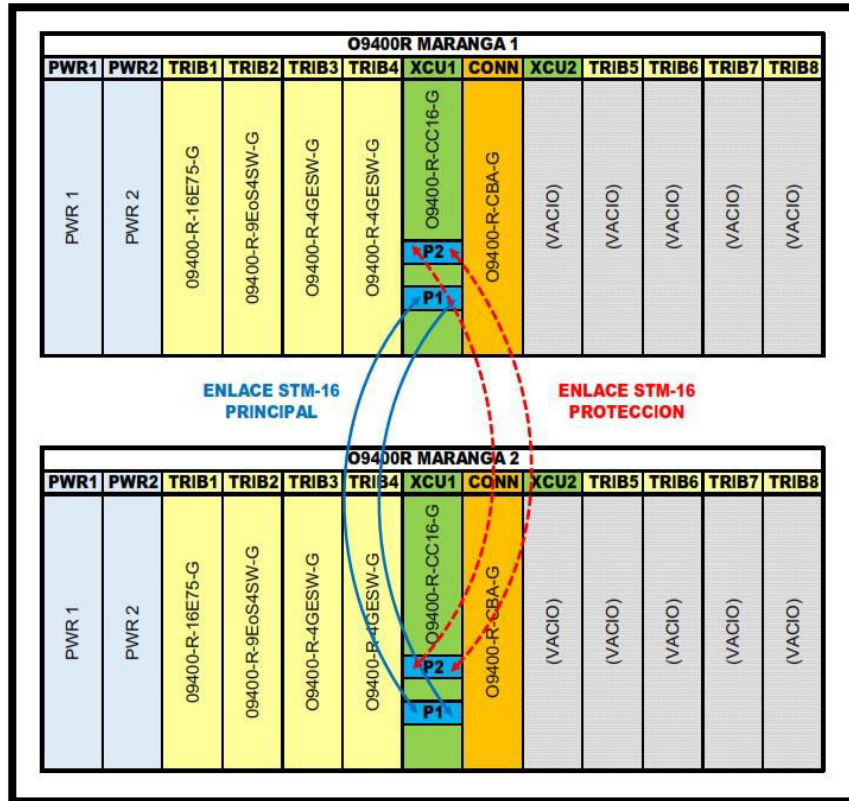
Dicha Conmutación de Protección Automática (*Automatic Protection Switching* o APS) es característica fundamental en una infraestructura de alta disponibilidad; en el diseño de las redes ópticas y según la recomendación ITU-T G.841 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 1998) existen varias técnicas para lograrlo, las más utilizadas se encuentran detalladas en el Anexo 2 (Loop Telecommunications International Inc., 2008). En el caso de Edelnor se utilizó la técnica MSP 1+1 (*Multiplexer Section Protection*, en español Protección de Sección de Multiplexación) la cual duplica toda la información a transmitir y la envía de manera simultánea a través de dos canales separados (principal y protección), al llegar al receptor se compara y evalúa automáticamente la integridad de la información de ambos canales con la finalidad de seleccionar y utilizar el más viable.

Figura 21: Diseño de enlace óptico de alta disponibilidad en STM-16



Fuente: Elaboración propia

Figura 22: Esquema de conexión en enlace con redundancia automática



Fuente: Elaboración propia

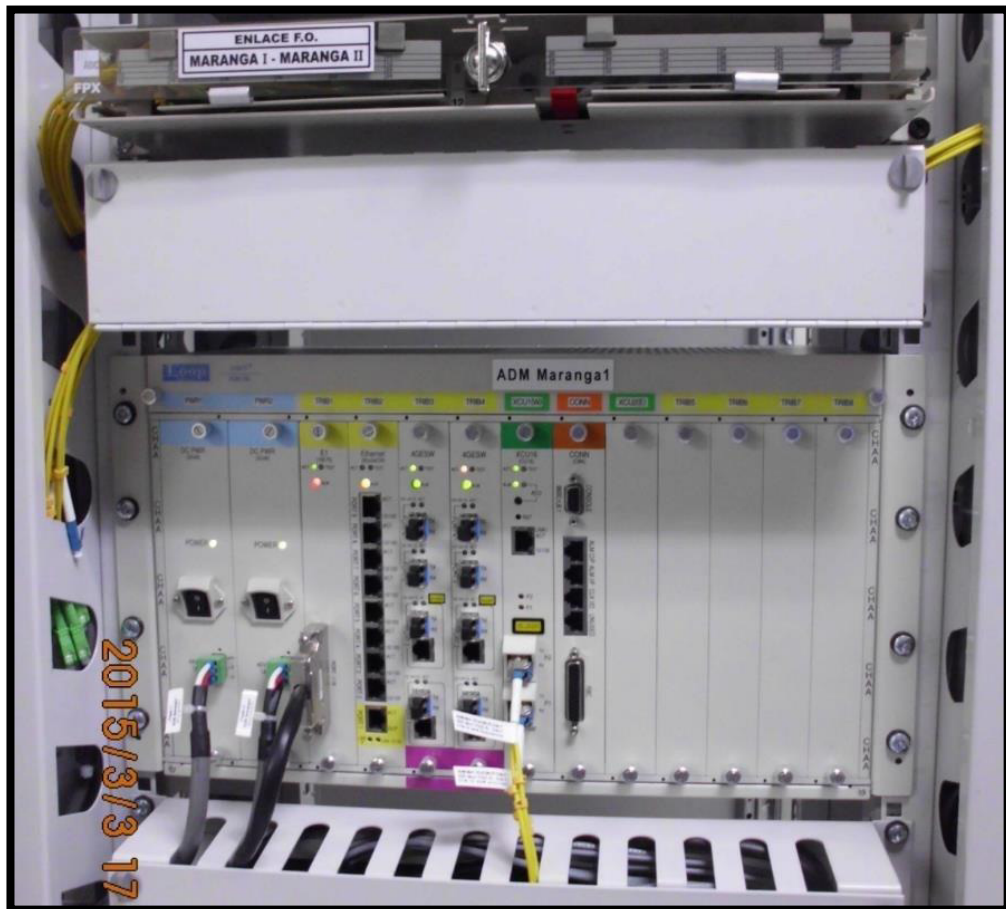
La Figura 22 corresponde al esquema de conexión de este enlace de alta disponibilidad e ilustra algunas de las características principales de este diseño:

- Se utilizaron multiplexores ópticos O9400R en cada nodo, estos poseen una mayor capacidad que los O9500R llegando a transmitir tramas a una velocidad de hasta 2.5 Gbps (STM-16).
- Se emplea sólo una tarjeta XCU en cada multiplexor.
- Se utilizaron transceptores modelo PLB2D de doble fibra unidireccional con una capacidad de 2.5 Gbps y operación en la banda C (1550 nm).

- El canal entre ambos medios está conformado por 4 hilos de fibra de los cuales 2 (Tx + Rx) se utilizaron para el enlace principal y 2 para el enlace de protección.

De esa manera, la técnica MSP 1+1 duplica la información a transferir desde uno de los nodos (por ejemplo Maranga 1) y la transmite simultáneamente por los puertos XCU1-P1 y XCU1-P2 a través del canal principal y de protección respectivamente. En el otro extremo (Maranga 2) se recibe la información por los puertos XCU1-P1 y XCU1-P2, se examinan los bytes de APS K1 y K2 en la cabecera de cada uno de los enlaces para determinar las alarmas (AIS) o defectos remotos (RDI) y se realiza la conmutación automática a la sección de protección en caso se detecte la caída del enlace principal (LOS), caso contrario se recibe la información de la sección que haya sido definida como principal.

Figura 23: Vista frontal del multiplexor O9400R en el nodo Maranga 1



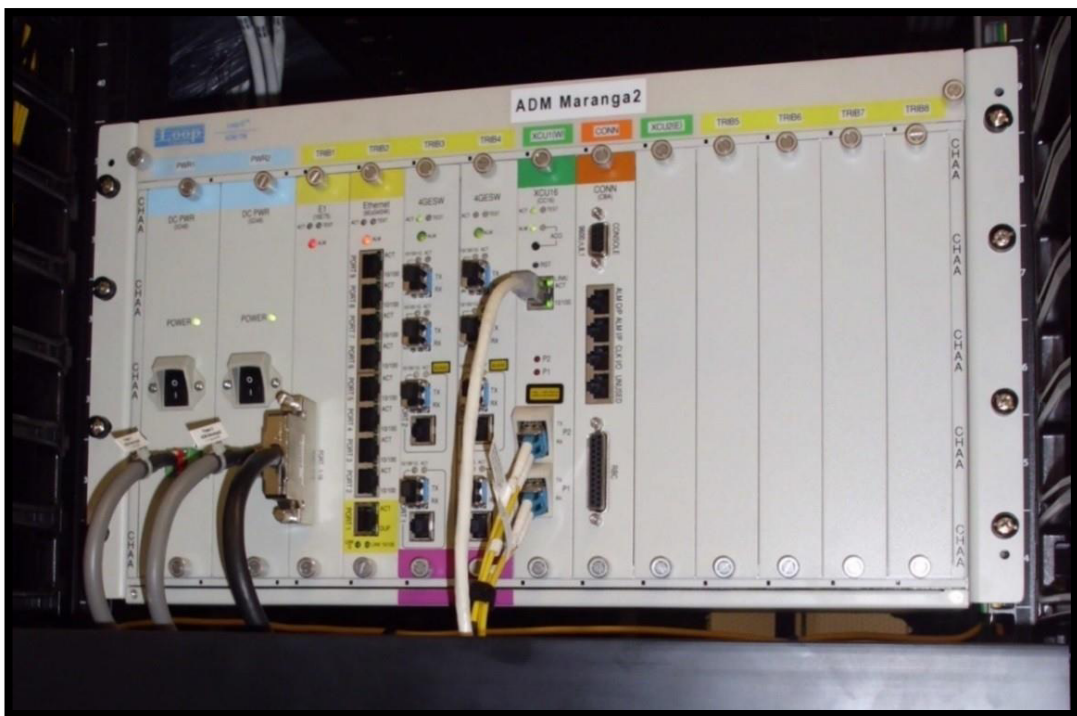
Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Conexiones ópticas en el nodo Maranga 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 25: Vista frontal del multiplexor O9400R en el nodo Maranga 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 26: Conexiones ópticas en el nodo Maranga 2



Fuente: Elaboración propia

Una vez explicada a detalle la estructura del enlace implementado en Edelnor y sus características, se puede realizar un comparativo con la red Este de Internexa, evidenciar la importancia que cada cliente le da al perfil de su infraestructura y las razones por las cuales toman esa decisión.

Las diferencias entre el diseño de la red de Internexa y de Edelnor serían:

- **Chasis del multiplexor:** Conforme a lo mencionado anteriormente, los nodos de Internexa utilizan multiplexores modelo O9500R mientras que en Edelnor se utiliza el modelo O9400R. La principal diferencia entre ambos modelos es que el segundo puede disponer de una mayor velocidad de transmisión que el primero (2.5 Gbps vs 622 Mbps); otra diferencia se puede encontrar en los tipos de módulos que cada multiplexor lleva, el modelo O9400R utiliza módulos de alta velocidad en todos sus slots, los cuales entregan servicios al lado cliente como *Fast Ethernet*, *Gigabit Ethernet*, STM1/4, etc., mientras que el modelo O9500R se comporta como un híbrido seccionando la totalidad de sus tributarios para alojar módulos de alta velocidad y de baja velocidad (FXS, FXO, QE1, etc.). Este último fue el

motivo por el cual Internexa optó por el modelo O9500R a pesar que no tuviera la mejor capacidad, en tanto que Edelnor, al no tener requerimiento de servicios de baja velocidad en el lado cliente, escogió el modelo que le brindara la mayor tasa de transferencia.

- **Tarjetas controladoras (XCU):** Se nota también una diferencia en la cantidad de tarjetas de control o XCU que utilizan los multiplexores en ambos casos; el modelo O9500R de Internexa utiliza dos XCUs, una como principal y otra como contingencia, y cada XCU gestiona los dos enlaces para los nodos adyacentes, por otro lado los multiplexores O9400R de Edelnor sólo llevan una XCU que utiliza uno de sus puertos para el enlace principal y el segundo como redundancia del primero. Esta última elección para la red de Edelnor se debe a que sus nodos de tipo terminal (TM) se comunican a través de un enlace punto a punto por lo que es necesario un único puerto en el XCU de cada extremo, dejando así un puerto libre para la redundancia automática; adicional a esto la elección de un modelo de multiplexor que brinde altas velocidades de transmisión hace innecesario el empleo de un segundo XCU. Por el contrario el esquema de la red de Internexa y sus nodos tipo ADM fuerzan a los multiplexores a utilizar las dos XCU tal como se explicó en el subtítulo 3.1.3.

- **Canal de comunicación:** La última diferencia se encuentra en la cantidad de hilos de fibra óptica utilizados como canal de comunicación entre los nodos de ambos casos. En el caso de Internexa se utilizaron inicialmente dos hilos por enlace pero esta cantidad se redujo a la mitad gracias al uso de transceptores CWDM; en Edelnor cada enlace principal utiliza dos hilos de fibra y otros dos para el enlace redundante. El motivo de esta amplia diferencia radica en el costo que cada canal representa: en la red de Internexa los nodos se encuentran separados por decenas de kilómetros por lo que la cada hilo utilizado en los enlaces tiene un costo bastante considerable; por otra parte, el enlace que une los nodos de Edelnor es de sólo dos kilómetros y el empleo de cuatro hilos no genera tanto impacto en los costos del proyecto.

En consecuencia, se puede determinar que la decisión de cada cliente en inclinar el perfil de su red hacia una con características de alta capacidad o alta disponibilidad es motivada principalmente por el objetivo que esa red debe cumplir y por el giro de la empresa invierte en ella. Internexa por ejemplo es una compañía dedicada a la venta de servicios de comunicación, por lo tanto su meta es la de optimizar el uso de su red para incrementar su capacidad y hacer más rentable la misma, a pesar de ello su estructura presenta un factor de contingencia pero manteniendo la mayor inversión en la capacidad. El caso de Edelnor es diferente dado que esta red óptica es solo un medio accesorio para la supervisión de su objetivo final que es la distribución eléctrica, dado que es una inversión de uso propio a baja escala decide alinearse a los estándares de alta disponibilidad y desarrollar más el nivel de contingencia sobre la capacidad que aún podía ser mejorada (reducción de número de hilos por enlace, incremento capacidad de enlace con una segunda XCU, etc.).

3.1.4.2 Capacidad: Velocidad de transmisión o ancho de banda

Durante el periodo de experiencia profesional se han encontrado múltiples casos en los cuales se utiliza erróneamente la expresión “ancho de banda” para referirse a la capacidad de un enlace. La costumbre de utilizar de manera equivocada dicha expresión ha generado que en la actualidad se creen y generalicen los términos “ancho de banda analógico” y “ancho de banda digital” como una solución que crea diferencias entre ambos aspectos técnicos sin la necesidad de variar la rutina. Sin embargo, esta solución produce una incertidumbre al no saber cuál término es el correcto y por qué; además, al ser una opción cómoda ante un error común, no incentiva la investigación de las bases teóricas para hallar los términos adecuados y la importancia de su relación en múltiples propósitos prácticos.

En primer lugar es necesario mencionar que los términos correctos para referirse a la capacidad son: velocidad de transmisión, tasa de transferencia, tasa de bits, etc., los cuales poseen como unidad básica de

medida los bit por segundo (bps) y representan de manera clara la suficiencia que posee un enlace para la transmisión de datos a través del canal. Por otra parte, el ancho de banda se refiere al conjunto de frecuencias que puede ocupar un canal en el espectro y se mide en Hertz (Hz). A pesar de tener conceptos y medidas diferentes, mantienen estrecha relación debido a que son utilizados simultáneamente en varios teoremas fundamentales de las telecomunicaciones y es ahí donde se genera la confusión de sus conceptos. (Stallings, 2004) (Tanenbaum & Wetherall, 2012)

El primer teorema que los relaciona (Ec. 4) parte de la observación de Harry Nyquist (Ec. 2) acerca de la tasa de muestreo necesaria para reconstruir una señal periódica continua con un ancho de banda limitado, a la cual Ralph Hartley le añade su cálculo (Ec. 3) correspondiente a la cuantificación de los niveles de pulso necesarios para transmitir y recibir información de manera fiable sobre un canal de comunicaciones considerando la amplitud de la señal y la precisión del receptor.

$$F_s > 2F_{max} \quad (2)$$

, donde F_s es la frecuencia de muestreo (Hertz) y F_{max} es la frecuencia máxima de la señal (Hertz); esta última también se puede considerar como ancho de banda debido a que al pasar la señal por un filtro pasa-bajas el valor de F_{max} se convertirá en el ancho de banda.

$$M_{max} = 1 + (A/\Delta V) \quad (3)$$

, donde A es el rango de amplitud de la señal transmitida (voltios); ΔV es la precisión del receptor (voltios) y M_{max} es la cantidad máxima de niveles de pulso.

$$C = 2B \log_2 M \quad (4)$$

, donde B es el ancho de banda de la señal (Hertz); M es la cantidad de niveles de pulso y C es la capacidad máxima del canal (bits por segundo o bps).

De la Ecuación número 4 se puede deducir que el incremento en la capacidad de un canal es directamente proporcional al incremento de su ancho de banda o al aumento de los bits que componen la señal. Sin embargo, los casos prácticos presentan factores adicionales no considerados en la anterior ecuación, tales como: la distorsión, el ruido y la atenuación; los cuales al ser añadidos a un enlace diseñado con la finalidad de conseguir una alta capacidad influirán negativamente a una mayor cantidad de bits y generarán errores en la recepción de los datos.

Según lo mencionado anteriormente, es necesario también relacionar la capacidad del canal con valores que se encuentren presentes en casos prácticos de telecomunicaciones tales como el ruido (Ec. 5), relación señal ruido o SNR (Ec. 6a – 6b) y la tasa de error de bits; de esa manera se origina el teorema Shannon – Hartley (Ec. 7) acerca de la máxima cantidad de datos que pueden ser transmitidos sin error sobre un enlace con un ancho de banda definido y que está sometido a la presencia del ruido.

$$N = kTB \quad (5)$$

, donde k es la constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K); T es la temperatura absoluta (Kelvin); B es el ancho de banda de la señal (Hertz) y N es la potencia del ruido presente en dicho ancho de banda o ruido térmico (vatios). En este caso se menciona sólo el ruido térmico debido a que está presente en todos los dispositivos electrónicos y medios de comunicación.

$$SNR = S/N \quad (6a)$$

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10}(S/N) \quad (6b)$$

, donde S es la potencia de la señal (vatios); N es la potencia del ruido (vatios) y SNR es la relación señal ruido calculada generalmente en el receptor (vatios y decibelios – vatio o dBW)

$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (7)$$

, donde C es la capacidad máxima del canal (bits por segundo); B es el ancho de banda de la señal (Hertz) y SNR es la relación señal ruido (vatios).

Sin embargo, el resultado teórico de la capacidad según el teorema de Shannon – Hartley puede ser menor en la práctica; esto es debido a que sólo se está utilizando el ruido térmico sin considerar otros agentes que también afectan el rendimiento del enlace como la distorsión o la atenuación.

Otro punto que debe ser considerado en este teorema es la relación de sus componentes; no sólo la capacidad (C) y el ancho de banda (B) poseen una relación directa, sino también el ancho de banda (B) y la relación señal ruido (SNR), debido a que al aumentar el ancho de banda (con la intención de incrementar la velocidad de transmisión) también se aumenta el nivel de ruido térmico distribuido de manera proporcional en ese ancho de banda y eso genera, en caso se mantenga constante la potencia de señal, una reducción en el SNR mermando la aportación del incremento de ancho de banda. Por lo tanto, es necesario considerar todos los componentes y la forma como un cambio en uno de ellos afectan al resto.

Otra ecuación que relaciona a la capacidad con el ancho de banda es la del cociente E_b/N_0 (Ec. 10), parámetro compuesto por el cociente de la energía de la señal por bit o E_b (Ec. 8) y la densidad de potencia del ruido por Hertz o N_0 (Ec. 9a – 9b). Este parámetro también guarda mucha relación con el SNR y permite evaluar la calidad de los sistemas de comunicación digital.

$$E_b = S/C \quad (8)$$

$$N_0 = kT \quad (9a)$$

, reemplazando la Ecuación 9a en la Ecuación 5, se tiene:

$$N_0 = N/B \quad (9b)$$

$$E_b/N_0 = (S/N)(B/C) = SNR(B/C) \quad (10)$$

donde S es la potencia de la señal (vatios); C es la capacidad máxima del canal (bits por segundo); k es la constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K); T es la temperatura absoluta (Kelvin); B es el ancho de banda de la señal (Hertz); N es la potencia del ruido (vatios); SNR es la relación señal ruido (vatios); E_b es el cociente de la energía de la señal por *bit* (vatio por *bit*) y N_0 es la densidad de potencia del ruido por Hertz (vatio por Hertz).

Finalmente, el cociente E_b/N_0 también se relaciona con otro parámetro utilizado en la evaluación de sistemas de comunicación digital que es la eficiencia espectral; este último parámetro mide el nivel de aprovechamiento de una banda de frecuencias al usarse para transmitir datos a través de ella, está representado por la división de la capacidad (C) entre el ancho de banda (B) y su unidad es el bps/Hz; esta relación entre el cociente E_b/N_0 y la eficiencia espectral (Ec. 11) se logra mediante la resolución del teorema Shannon – Hartley utilizando el SNR como punto de comparación.

, resolviendo la Ecuación 7:

$$\log_2(1 + SNR) = C/B \quad \rightarrow \quad SNR = 2^{C/B} - 1$$

, reemplazando en la Ecuación 10:

$$E_b/N_0 = (2^{C/B} - 1) (B/C) \quad (11)$$

, donde C es la capacidad máxima del canal (bits por segundo); B es el ancho de banda de la señal (Hertz); SNR es la relación señal ruido (vatios); E_b es el cociente de la energía de la señal por *bit* (vatio por *bit*); N_0 es la densidad de potencia del ruido por Hertz (vatio por Hertz) y C/B es la eficiencia espectral (bit por segundo sobre Hertz o bps/Hz).

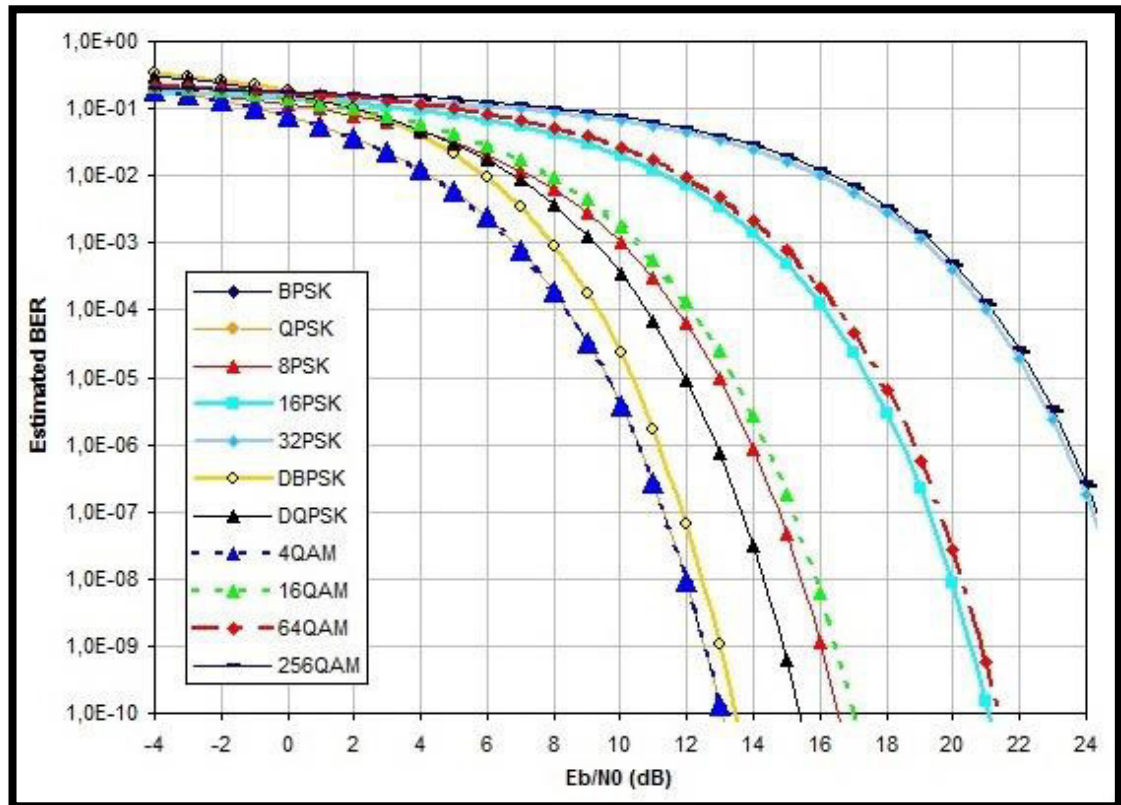
En conclusión, el error de asociar a un término con el significado de otro deriva de la correlación que comparten en múltiples teoremas y fórmulas; y es dentro de esa investigación donde se hallan parámetros muy útiles en el diseño y evaluación de redes de comunicaciones tales como la eficiencia espectral y el cociente E_b/N_0 .

Dichos términos, junto con otros valores como la Tasa de Error Binario (*Bit Error Rate* o BER), son muy útiles en el diseño y análisis de rendimiento en las comunicaciones digitales.

Por ejemplo, la gráfica de la Figura 27 utiliza como ejes los valores de tasa de error binario y cociente E_b/N_0 para evaluar el comportamiento de diversas modulaciones digitales; de ahí se puede observar que el incremento de modulación – el cual se traduce en un aumento de la capacidad del canal si se mantiene fijos los valores: potencia de transmisión, ruido del canal y ancho de banda – genera una mayor tasa de bits recibidos de forma incorrecta y, viceversa, una reducción en el orden de modulación puede brindar mayor confiabilidad al enlace.

Esta gráfica establece una pauta en el diseño de redes inalámbricas cuando se utilizan las técnicas de Codificación y Modulación Adaptativa (*Adaptive Coding and Modulation* o ACM) y Control Automático de la Potencia de Transmisión (*Automatic Transmit Power Control* o ATPC) en un canal con presencia de Ruido Blanco Gaussiano (*Additive White Gaussian Noise* o AWGN).

Figura 27: Gráfica comparativa de calidad de modulaciones digitales



Fuente: (LinuxTV, 2014)

El empleo de todos estos parámetros y su utilidad en la práctica del diseño, análisis y optimización de redes digitales, principalmente inalámbricas, se estudiará en el subtítulo 3.2.2.

3.2 Experiencia en el campo de las redes microondas

Las redes microondas también abarcan una amplia parte de la experiencia profesional ya que se encuentran presentes en la mayoría de sistemas de comunicaciones, ya sea como objeto principal del proyecto o como medio de conexión accesoria.

Es de esa misma manera como se estructurará el presente título:

- El primer subtítulo abarcará la parte del diseño de los enlaces microondas y el dimensionamiento de los equipos a utilizar; se examinarán los cálculos realizados para la implementación de radioenlaces en los clientes Marina de Guerra del Perú y Statkraft.

- En el segundo subtítulo se discutirá acerca del tema principal del presente informe, estudiando la evolución de la capacidad de los enlaces microondas utilizados como *backhaul* en las redes celulares y las técnicas de optimización en el uso del ancho de banda.

3.2.1 Diseño de enlaces microondas

Los casos revisados en este subtítulo tienen como objetivo principal el apropiado diseño de una infraestructura microondas para la conexión inalámbrica de sedes donde no existe la posibilidad de tender un cable de par trenzado o fibra óptica; para ello se hará uso de diversas fórmulas que garantizan una correcta comunicación inalámbrica digital utilizando los datos técnicos del equipamiento microondas en banda licenciada del fabricante y *partner* Aviat Networks.

El proceso inicia con una inspección técnica en sitio (véase Anexo 3) donde se recolectarán los datos necesarios para el diseño del enlace como: ubicación geográfica de ambas sedes (coordenadas), posible posición de antenas, recorrido y distancia del cableado, línea de vista (*Line of Sight* o LoS), tipo de suministro de energía y análisis de frecuencias, con esa información se procede a realizar el perfil de elevación y el cálculo de enlace, luego se ratifican las portadoras y los canales a utilizar y se solicita al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) la autorización para ocupar dicho espacio en el espectro de frecuencias, finalmente con ese permiso se dimensiona, solicita y sintoniza el equipamiento microondas.

Téngase en cuenta que la frecuencia de transmisión es uno de los valores más importantes para el diseño de una red microondas, y para su elección deberán considerarse otras variables como: el ancho de banda

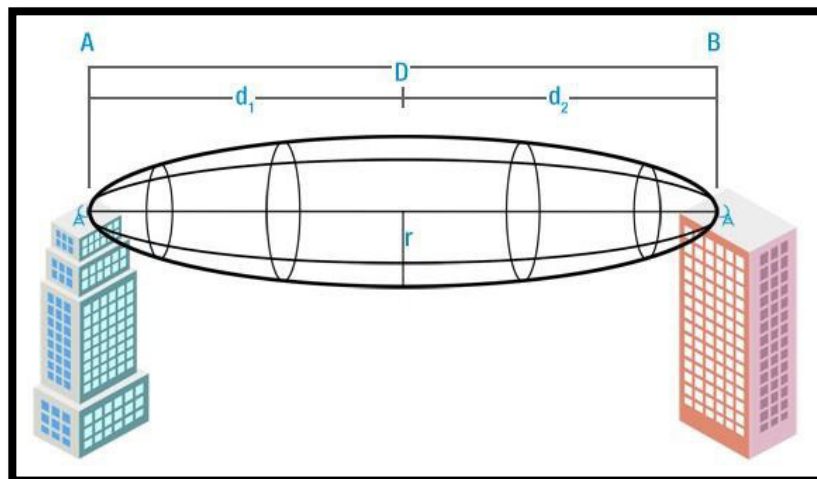
potencial de dicha portadora, la capacidad requerida en el enlace producto de la eficiencia espectral, la distancia del enlace inversamente proporcional al valor de la portadora y, finalmente, las normas y autorizaciones de la entidad reguladora del espectro radioeléctrico.

Continuando con el diseño, el objetivo del perfil de elevación es demostrar de manera gráfica que no existirán obstáculos entre los nodos que interfieran con la trayectoria del enlace o con la zona de Fresnel (Figura 28) que la rodea. Para calcular el radio de dicha zona de Fresnel (Ec. 12) es necesario conocer la distancia entre los nodos y la frecuencia en la que se transmitirá la señal. La distancia se consigue ingresando las coordenadas de los nodos a un aplicativo cartográfico, luego se dibuja un trazo directo entre ambos y se mide su longitud; la frecuencia a utilizar en el radioenlace se halla por medio del estudio mencionado en el párrafo anterior y se ratifica con el análisis de frecuencia realizado en cada una de las estaciones.

$$r_n = \sqrt{\frac{(n\lambda d_1 d_2)}{(d_1 + d_2)}} \quad (12)$$

, donde r_n es el radio de la zona “n” de Fresnel (metros); d_1 y d_2 es la distancia desde el transmisor hasta el centro de la zona de Fresnel (metros) y λ es la longitud de onda de la señal transmitida (metros).

Figura 28: Zona de Fresnel



Fuente: (4Gon Solutions, 2016)

Según la teoría de Fresnel, los obstáculos dentro de la primera zona crearán desfases de hasta 180° debido a que el recorrido de la onda será mayor por la reflexión, produciendo una cancelación de la misma y un desvanecimiento general de la señal transmitida. Es por ello que en los casos prácticos se considera mantener despejado como mínimo el 60% del radio de dicha zona (Ec. 13).

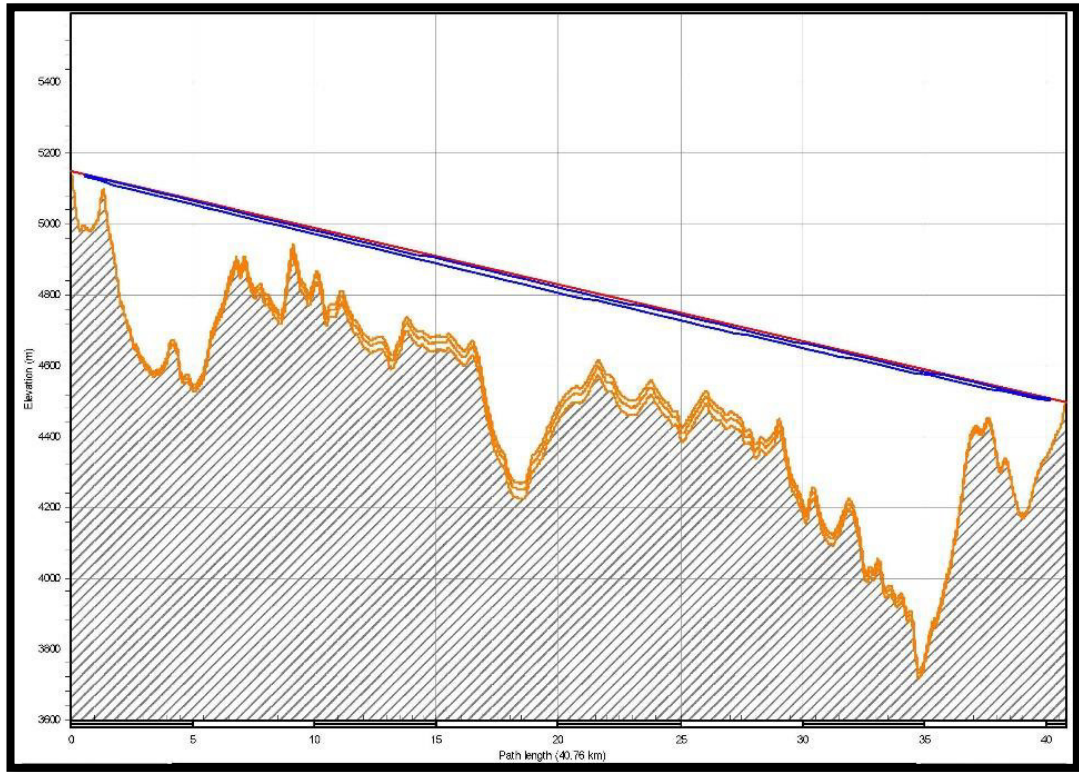
$$r_1 = 8.657 \sqrt{d/f_g} \quad (13)$$

, donde r_1 es el radio de la zona 1 de Fresnel (metros); d es la distancia que separa ambos nodos (kilómetros) y f_g es la frecuencia de transmisión de la señal (giga Hertz).

Cabe mencionar que en algunos casos la reflexión de las ondas durante la transmisión microondas puede ser aprovechada, ese es el caso de los sistemas Múltiples Entradas Múltiples Salidas (*Multiple Input Multiple Output* o MIMO) que se beneficia de los efectos de la multipropagación y la diversidad de espacio para lograr comunicar nodos sin línea de vista o para aumentar la capacidad del enlace donde existe línea de vista. Se presentarán más detalles de estos sistemas y sus utilidades en el subtítulo 3.2.2.

Finalmente se ajustan las alturas de las antenas en cada estación de tal forma que se eviten los obstáculos en la primera zona de Fresnel y se grafica el perfil de elevación (Figura 29).

Figura 29: Ejemplo de perfil de elevación para radioenlace



Fuente: Elaboración propia

Una vez conseguido el perfil de elevación y escogidas las portadoras y sus canales (en caso de FDD), se procede a realizar el cálculo de enlace que permitirá conocer los valores de potencia del mismo y dimensionar correctamente el equipamiento microondas. Para el desarrollo del cálculo de enlace es necesario contar con la información técnica que se encuentra en los datasheets del equipamiento microondas, como: la potencia de transmisión de la radio, la ganancia de las antenas, la pérdida en los cables, conectores y acoples, además de otros datos propios del medio ambiente como: la absorción atmosférica y el margen de desvanecimiento; estos datos permitirán calcular la pérdida en el espacio libre (Ec. 14), la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente o PIRE (Ec. 15) y la potencia de recepción del enlace (Ec. 16).

$$L_p = 10 \log_{10} \left\{ \frac{(4\pi f d)^2}{c^2} \right\} \quad (14)$$

, donde f es la frecuencia de transmisión de la señal (Hertz); d es la distancia que separa ambos nodos (kilómetros); c es la constante de la velocidad de la luz (3×10^8 m/s) y L_p es la pérdida en el espacio libre (decibelios).

$$PIRE = P_T - L_c + G_a \quad (15)$$

, donde P_T es la potencia de transmisión de la señal (decibelios mili vatio o dBm); L_c es la pérdida en el cable, conector o acople que une el transmisor y la antena (decibelios); G_a es la ganancia de la antena (dBi) y PIRE es la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente en ese nodo microondas (decibelios mili vatio o dBm).

$$P_R = P_T - L_{ct} + G_{at} - L_p + G_{ar} - L_{cr} \quad (16)$$

, donde P_T es la potencia de transmisión de la señal (decibelios mili vatio o dBm); L_{ct} es la pérdida por cable, conector o acople en el transmisor (decibelios); G_{at} es la ganancia de la antena transmisora (dBi); L_p es la pérdida en el espacio libre (decibelios); G_{ar} es la ganancia de la antena receptora (dBi); L_{cr} es la pérdida cable, conector o acople en el receptor (decibelios) y P_R es la Potencia de recepción (decibelios mili vatio o dBm).

El siguiente paso es el trámite de autorización para la ocupación de los canales de frecuencia de transmisión, estas asignaciones se brindan por un tiempo de hasta cinco años y para ello se debe presentar ante la Dirección General de Autorizaciones en Telecomunicaciones del MTC un pliego petitorio que incluye obligatoriamente el formato de perfil de proyecto técnico y el estudio teórico de RNI. El primero de estos documentos contiene la información geográfica de los nodos, el equipamiento a utilizar y los canales (ida y retorno) de frecuencias que se planea ocupar según los cuadros reservados para radioenlaces digitales en el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias o PNAF (véase Anexo 4); el segundo documento contiene el cálculo predictivo de los niveles de emisión electromagnéticas existentes en

la proximidad de la estación de microondas y tiene como finalidad evaluar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de radiaciones no ionizantes.

En algunos casos, debido a la ubicación de las estaciones, es necesario presentar también un estudio de teórico de interferencias con la finalidad de demostrar que las estaciones a ser evaluadas no originan interferencias con las estaciones del Sistema Nacional de Gestión de Control del Espectro Radioeléctrico del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (SNGRE – MTC).

Finalmente, la Dirección General de Autorizaciones en Telecomunicaciones estudia la viabilidad técnica del sistema de radiocomunicación y la disponibilidad de frecuencias para atender la solicitud; de resultar procedente, otorga la autorización por medio de una resolución directoral y solicita el pago del canon anual correspondiente.

En lo que respecta al equipamiento microondas, se procede a sintonizar los radios a los canales de frecuencias de transmisión y recepción autorizados, e importar todo el equipamiento para su instalación.

A continuación se presentarán los diseños realizados en la Marina de Guerra del Perú y en Statkraft utilizando las ecuaciones y procedimientos antes mencionados.

3.2.1.1 Enlace Base Naval – AVINAV para la Marina de Guerra

En este caso el cliente solicitó una solución que pudiera interconectar dos sedes (Base Naval – AVINAV) a una distancia mayor a 3 kilómetros y con una capacidad mínima de 100 Mbps; a realizar la inspección técnica en obtuvieron los siguientes datos:

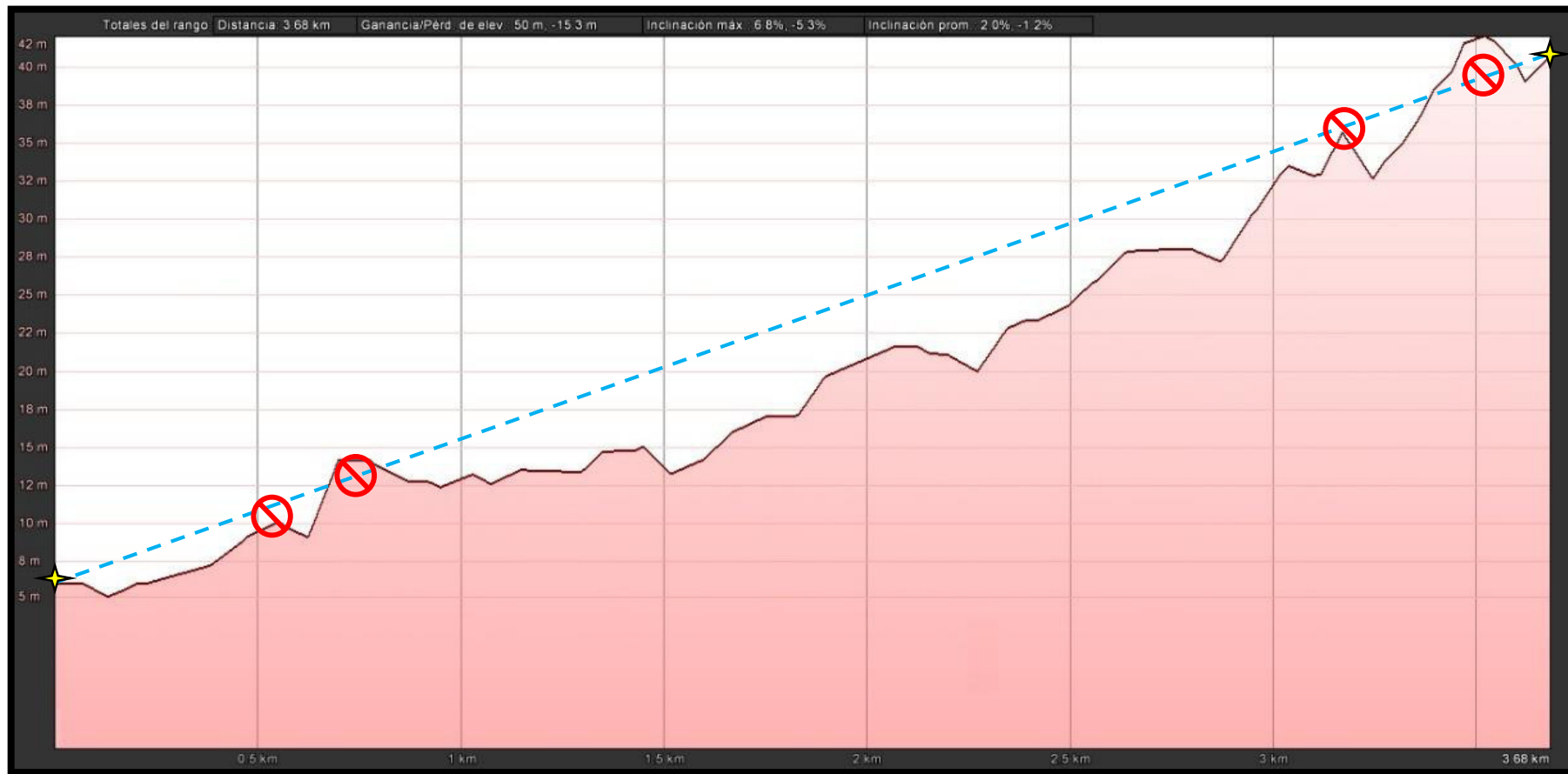
- Las coordenadas del punto Base Naval son: latitud 12° 02' 06.71" S longitud 77° 08' 11.75" W.

- Las coordenadas del punto AVINAV son: latitud 12° 01' 58.46" S longitud 77° 06' 10.30" W.
- No existen estructuras en las estaciones que alojen las antenas del nuevo radioenlace.
- No existe línea de vista entre las estaciones.

Con respecto a la frecuencia de transmisión, el requerimiento del cliente es utilizar frecuencias en la banda de 18 GHz asignada por el MTC a la Armada Peruana; el análisis de espectro realizado en ambas sedes muestra la banda de 18 GHz disponible por lo cual se decidió utilizar las frecuencias 18.33 GHz y 19.34 GHz, correspondientes al canal 23 de la banda 17.7 GHz – 19.7 GHz según el PNAF. Dicha elección se debe a que cada una de esas portadoras posee un ancho de banda de 28 MHz por el cual se transmitirá utilizando una modulación digital 32 QAM con una eficiencia espectral de 0.75 baudios por Hertz, lo cual produce una velocidad de transmisión de 105 Mbps que supera el requerimiento de capacidad del enlace.

Luego se ingresaron las coordenadas de los nodos en el aplicativo cartográfico obteniendo así la elevación de cada nodo (6 msnm para Base Naval y 40 msnm para AVINAV) y una distancia de 3.68 km entre ambos; además se exportó el perfil preliminar de elevación (Figura 30) para observar el motivo de la falta de línea de vista.

Figura 30: Perfil preliminar de elevación de enlace Base Naval – AVINAV (altura en metros vs distancia en kilómetros)



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 30 se observan 4 obstáculos en el trayecto del enlace:

- El primero a los 546 metros de distancia con una altura de 10 metros.
- El segundo a los 700 metros de distancia con una altura de 14 metros.
- El tercero a los 3170 metros de distancia con una altura de 36 metros.
- Y el cuarto a los 3520 metros de distancia con una altura de 43 metros.

Así mismo, con la distancia entre nodos y la frecuencia de transmisión seleccionada se procedió a calcular el radio de la primera zona de Fresnel utilizando la Ecuación 13:

$$r_1 = 8.657 \sqrt{\frac{d}{f_g}} = 8.657 \sqrt{\frac{3.68}{18.33}} = 3.88 \text{ metros}$$

Por lo tanto será necesario colocar las antenas a una altura suficiente para mantener el área de la zona de Fresnel de 3.88 metros de radio sobre el nivel de los obstáculos mencionados en la anterior lista. Para ello se calculó una función simple que represente la trayectoria del enlace (Ec. 17) en base a su pendiente y a la compensación de altura que evite las obstrucciones.

$$Niv = \left[\left(\frac{e_{\Delta}}{d_m} \right) \times d' \right] + e_{min} + h \quad (17)$$

, donde e_{Δ} es la diferencia de elevación entre ambos nodos (metros); d_m es la distancia que separa ambos nodos (metros); d' es el punto en la distancia a evaluar (metros); e_{min} es la elevación del nodo más bajo (metros); h es la altura a compensar en cada nodo (metros); y Niv es el nivel de la trayectoria del enlace en la distancia a evaluar (metros).

Tras utilizar distintos valores para la altura de compensación dentro de la Ecuación 17, se obtuvieron resultados positivos utilizando una altura de compensación (h) de 8 metros. Los resultados de la tabulación se encuentran en la Tabla 7.

Tabla 7: Comparativo de altura de enlace y obstáculos

Obstáculo	Distancia a evaluar	Altura del obstáculo	Nivel del enlace	Diferencia (> 3.88 mt)
1	546 mt	10 mt	19.04 mt	9.04 mt
2	700 mt	14 mt	20.47 mt	6.47 mt
3	3170 mt	36 mt	43.29 mt	7.29 mt
4	3520 mt	42 mt	46.52 mt	4.52 mt

Fuente: Elaboración propia

De la anterior tabla se puede concluir que al colocar las antenas a una altura mínima de 8 metros se obtiene una diferencia de nivel, entre el enlace y los obstáculos, mayor al radio de la primera zona de Fresnel confirmando así un trayecto despejado. En el presente caso el cliente decidió utilizar alturas mayores a las recomendadas: 18 metros para el nodo Base Naval y 24 metros para el nodo AVINAV.

El siguiente paso fue obtener los valores de la pérdida en el espacio libre, la PIRE y la potencia de recepción, los cuales conforman el cálculo de enlace. Para ello se reemplazaron los siguientes valores, detallados en los datasheets de la radio outdoor ODU600-SP18 de Aviat Networks y la antena de 1.2 metros VHLP4-180 de Andrew Solutions, dentro de las Ecuaciones 14, 15 y 16.

- Potencia de transmisión: 0.06 W
- Ganancia de la antena: 44.7 dBi
- Atenuación por cables y acoples: 1.8 dB

Cabe mencionar que en estos cálculos se utiliza una frecuencia de transmisión de 18 GHz en lugar de 18.33 GHz debido a que el

primer valor es el utilizado por la fábrica en su informe de cálculo de enlace y la finalidad de estas operaciones es comparar la similitud entre los valores obtenidos manualmente en este subtítulo y los brindados por la fábrica.

$$P_T = 10 \log_{10} \left(\frac{0.06}{0.001} \right) = 17.78 \text{ dBm}$$

$$L_p = 10 \log_{10} \left\{ \frac{(4\pi f d)^2}{c^2} \right\} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{(4\pi \times 18 \times 10^9 \times 3.68 \times 10^3)^2}{(299792458)^2} \right\}$$

$$L_p = 10 \log_{10}(7.71 \times 10^{12}) = 128.87 \text{ dB}$$

$$PIRE = P_T - L_c + G_a = 17.78 - 1.8 + 44.7 = 60.68 \text{ dBm}$$

$$P_R = P_T - L_{ct} + G_{at} - L_p + G_{ar} - L_{cr}$$

$$P_R = 17.78 - 1.8 + 44.7 - 128.87 + 44.7 - 1.8 = -25.29 \text{ dBm}$$

Según el *datasheet* de ODU600-SP18 el umbral de recepción de la radio o sensibilidad es -76.75 dBm, eso quiere decir que sólo recibirá señales cuya potencia sea mayor a 21.13 pW; considerando que la potencia de recepción es de -25.29 dBm (unos 2.96 μW) se puede concluir que la señal será recibida correctamente debido a que su valor de potencia se encuentra sobre el umbral de recepción.

Es recomendable mantener como mínimo una diferencia de 30 dB entre la potencia del umbral y la potencia de recepción, de esa manera se tendrá una contingencia en caso que las características del medio ambiente varíen e influyan negativamente en los valores de recepción del enlace.

Para terminar, se debe mencionar que actualmente existen herramientas (*software*) que realizan el cálculo de enlace de manera más ágil; existen los de código libre como el RadioWorks y los propietarios como el AirLink de Ubiquiti, el LBC de Radwin o el StarLink de Aviat los cuales realizan

los cálculos en base a las características técnicas de sus productos. Comparando los resultados obtenidos en los cálculos anteriores y los valores obtenidos con el software de Aviat (véase Anexo 5), se puede observar que los valores son muy cercanos, comprobando así que todos parten de las mismas bases técnicas.

3.2.1.2 Enlace S.E. Panu – C.H. Cahua para Statkraft

El presente enlace forma parte del proyecto de adquisición de nuevas redes de enlaces microondas y la optimización de los enlaces existentes, que interconectan las subestaciones eléctricas y centrales hidroeléctricas de Statkraft.

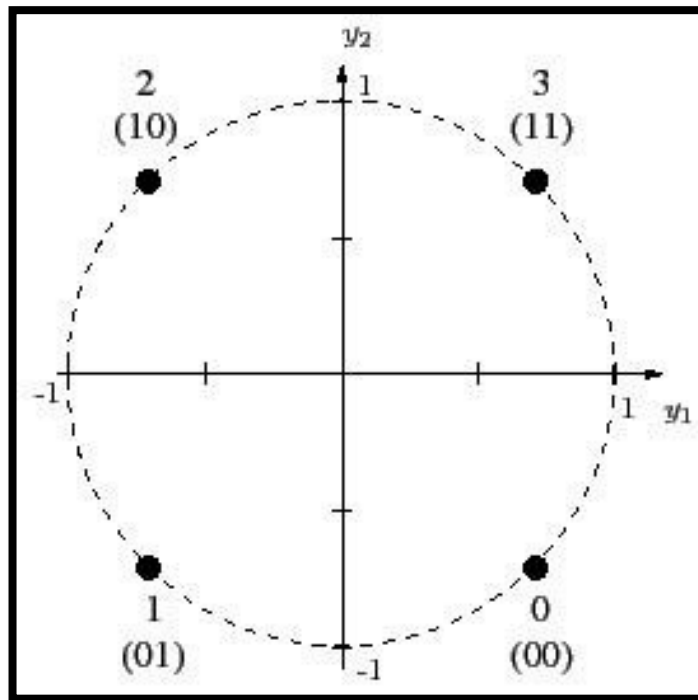
Las coordenadas de los nodos subestación Panu y central hidroeléctrica Cahua fueron brindados por el cliente y al analizar el perfil de la ruta directa se observó un obstáculo de más de 2400 metros en el trayecto; por lo tanto, con la finalidad de obtener una línea de vista despejada, se decidió utilizar la estación repetidora en el cerro Lomo Largo como punto medio del enlace.

Los requerimientos técnicos del cliente para su comunicación inalámbrica fueron: asegurar una capacidad mínima de 40 Mbps y utilizar frecuencias de transmisión dentro de la banda de 7 GHz.

Para la elección de la banda de frecuencia se tomó en consideración el requisito de 40 Mbps como *throughput* mínimo, por lo que se escogió trabajar dentro de la banda de 7425 MHz – 7725 MHz cuyos canales poseen un ancho de banda de 28 MHz por el cual se transmitirá utilizando una modulación digital QPSK con una eficiencia espectral de 0.75 baudios por Hertz, lo cual produce una velocidad de transmisión de 42 Mbps que supera el requerimiento de capacidad del enlace. Además, si se realiza un comparativo entre las distintas modulaciones digitales utilizando la gráfica de la Figura 27, la modulación QPSK ofrece una menor BER (mayor robustez) cuando se transmite a través de un canal con moderado nivel de ruido como

en el caso de enlaces inalámbricos a distancias largas; esto se debe a que su diagrama de constelación (Figura 31) ubica cada símbolo en un cuadrante, separándolos prudentemente y minimizando el impacto de una distorsión durante la transmisión de bits.

Figura 31: Diagrama de constelación QPSK



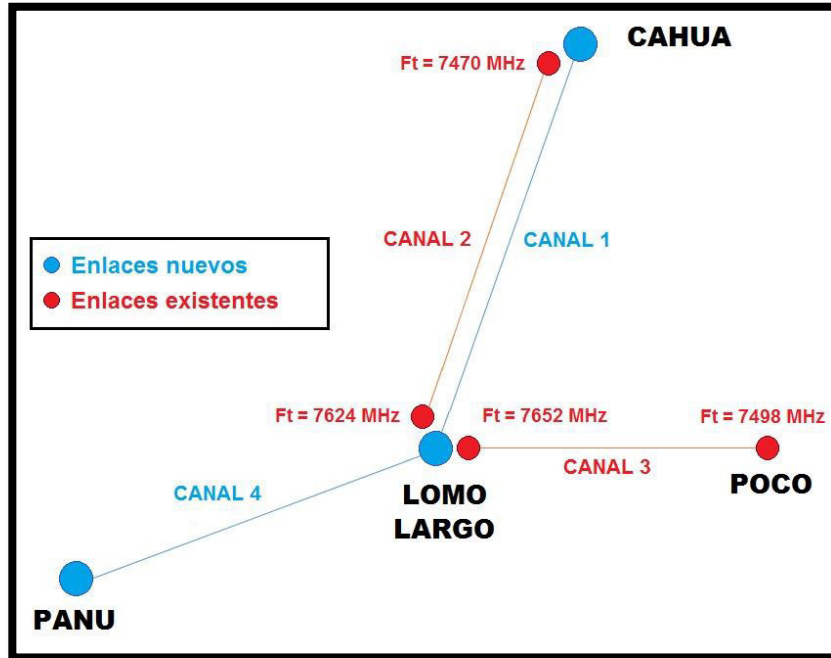
Fuente: (Scicos, 2011)

Para la elección del canal dentro de la banda de 7425 MHz – 7725 MHz se debió considerar que esta red estaría operando junto con otros enlaces existentes dentro de la misma área que también utilizan las banda de 7 GHz, por lo que fue necesario elaborar un diagrama que muestre el uso de canales dentro de la red y así para alternarlos para evitar el acoplamiento de señal entre canales adyacentes.

La Figura 32 representa ese diagrama y muestra que los enlaces existentes ya ocupan los canales 2 y 3 de la banda seleccionada, es por ello que se procede a utilizar los canales 1 y 4 para los enlaces C. Lomo Largo – E.H. Cahua y S.E. Panu – C. Lomo Largo respectivamente. Las

frecuencias correspondientes a dichos canales se pueden revisar en la Tabla 8 según el PNAF.

Figura 32: Diagrama de ocupación de canales



Fuente: Elaboración propia

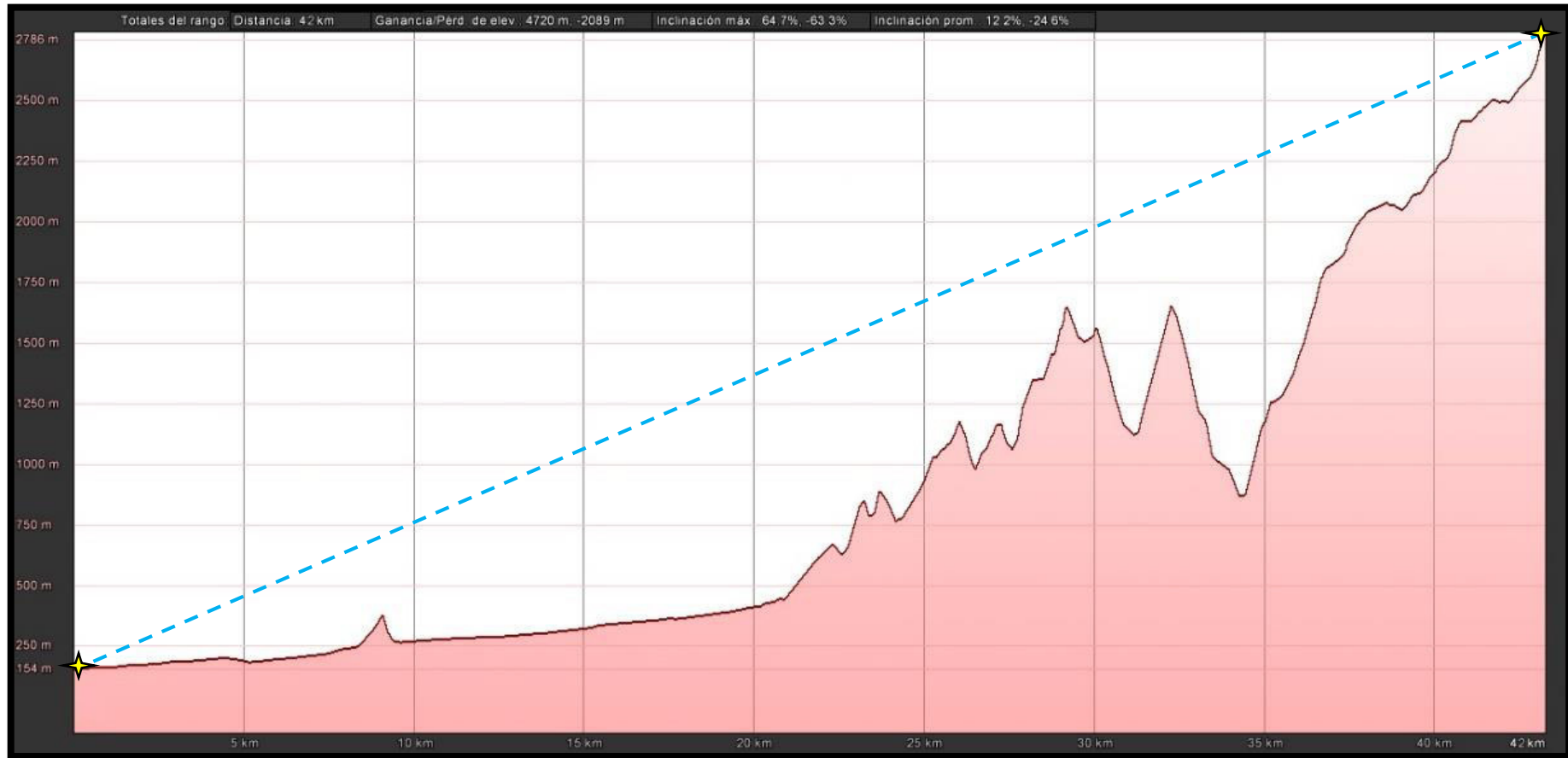
Tabla 8: Asignación de canales para la banda de 7428 MHz – 7722 MHz según PNAF

Canal	Frecuencia (MHz) Ancho de Banda: 28 MHz	
	Ida	Retorno
1	7442	7596
2	7470	7624
3	7498	7652
4	7526	7680
5	7554	7708

Fuente: Elaboración propia

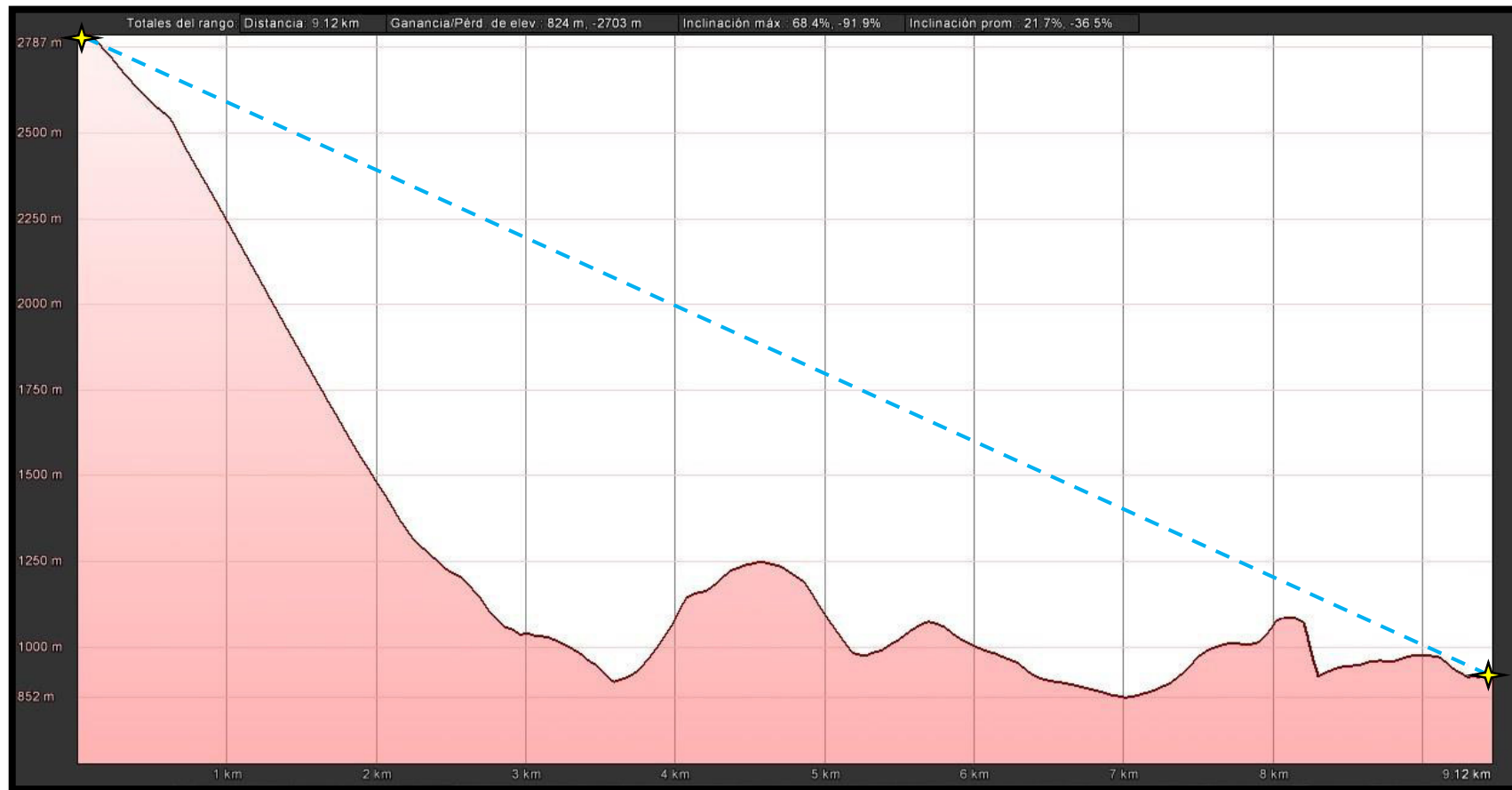
Una vez seleccionadas las frecuencias de operación, se ingresan las coordenadas de los nodos al aplicativo cartográfico para obtener las distancias de cada salto (42 km para S.E. Panu – C. Lomo Largo y 9.12 km para C. Lomo Largo – C.H. Cahua); para así calcular el radio de la zona de Fresnel y graficar los perfiles de elevación preliminares (Figuras 33 y 34).

Figura 33: Perfil preliminar de elevación de enlace S.E. Panu – C. Lomo Largo (altura en metros vs distancia en kilómetros)



Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Perfil preliminar de elevación de enlace C. Lomo Largo – C.H. Cahua (altura en metros vs distancia en kilómetros)



Fuente: Elaboración propia

S.E. Panu – C. Lomo Largo:

$$r_1 = 8.657 \sqrt{\frac{d}{f_g}} = 8.657 \sqrt{\frac{42}{7.526}} = 20.45 \text{ metros}$$

C. Lomo Largo – C.H. Cahua:

$$r_1 = 8.657 \sqrt{\frac{d}{f_g}} = 8.657 \sqrt{\frac{9.12}{7.442}} = 9.58 \text{ metros}$$

Considerando la elevación de cada nodo que los perfiles de elevación muestran (174 metros en S.E. Panu, 2782 metros en C. Lomo Largo y 910 metros en C.H. Cahua) se puede concluir que no es necesario compensar la elevación actual de cada nodo para mantener un trayecto de enlace despejado; sin embargo, debido al espacio disponible en torre y a los requerimientos del cliente, se decidió colocar las antenas en las siguientes alturas: 20 metros en S.E. Panu, 50 metros en C. Lomo Largo y 15 metros en C.H. Cahua.

El siguiente paso fue realizar el cálculo de enlace para cada uno de los dos saltos; con la finalidad de comparar la similitud entre los valores obtenidos manualmente en las siguientes operaciones y los brindados por la fábrica a través de su aplicativo se utilizará el valor de 7.5 GHz como frecuencia de transmisión para ambos saltos.

S.E. Panu – C. Lomo Largo:

- Se utiliza la radio outdoor ODU600-SP7e de Aviat Networks y la antena de 1.2 metros VHLP4-71W de Andrew Solutions
- Potencia de transmisión: 0.79 W
- Ganancia de la antena: 37.3 dBi

- Atenuación por cables y acoples: 1.8 dB

$$P_T = 10 \log_{10} \left(\frac{0.79}{0.001} \right) = 28.97 \text{ dBm}$$

$$L_p = 10 \log_{10} \left\{ \frac{(4\pi f d)^2}{c^2} \right\} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{(4\pi \times 7.5 \times 10^9 \times 42 \times 10^3)^2}{(299792458)^2} \right\}$$

$$L_p = 10 \log_{10}(1.74 \times 10^{14}) = 142.41 \text{ dB}$$

$$PIRE = P_T - L_c + G_a = 28.97 - 1.8 + 37.3 = 64.47 \text{ dBm}$$

$$P_R = P_T - L_{ct} + G_{at} - L_p + G_{ar} - L_{cr}$$

$$P_R = 28.97 - 1.8 + 37.3 - 142.41 + 37.3 - 1.8 = -42.44 \text{ dBm}$$

Según el *datasheet* de la radio ODU600-SP7e el umbral de recepción de o sensibilidad es -86.50 dBm, eso quiere decir que sólo recibirá señales cuya potencia sea mayor a 2.24 pW; considerando que la potencia de recepción es de -42.44 dBm (unos 57 nW) se puede concluir que la señal será recibida correctamente debido a que su valor de potencia se encuentra sobre el umbral de recepción.

C. Lomo Largo – C.H. Cahua

- Se utiliza la radio outdoor ODU600-SP7e de Aviat Networks y la antena de 0.6 metros VHLP2-71W de Andrew Solutions
- Potencia de transmisión: 0.79 W
- Ganancia de la antena: 30.9 dBi
- Atenuación por cables y acoples: 1.8 dB

$$P_T = 10 \log_{10} \left(\frac{0.79}{0.001} \right) = 28.97 \text{ dBm}$$

$$L_p = 10 \log_{10} \left\{ \frac{(4\pi f d)^2}{c^2} \right\} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{(4\pi \times 7.5 \times 10^9 \times 9.12 \times 10^3)^2}{(299792458)^2} \right\}$$

$$L_p = 10 \log_{10}(8.22 \times 10^{12}) = 129.15 \text{ dB}$$

$$PIRE = P_T - L_c + G_a = 28.97 - 1.8 + 30.9 = 58.07 \text{ dBm}$$

$$P_R = P_T - L_{ct} + G_{at} - L_p + G_{ar} - L_{cr}$$

$$P_R = 28.97 - 1.8 + 30.9 - 129.15 + 30.9 - 1.8 = -41.98 \text{ dBm}$$

Según el *datasheet* de la radio ODU600-SP7e el umbral de recepción de o sensibilidad es -86.50 dBm, eso quiere decir que sólo recibirá señales cuya potencia sea mayor a 2.24 pW; considerando que la potencia de recepción es de -41.98 dBm (unos 63 nW) se puede concluir que la señal será recibida correctamente debido a que su valor de potencia se encuentra sobre el umbral de recepción.

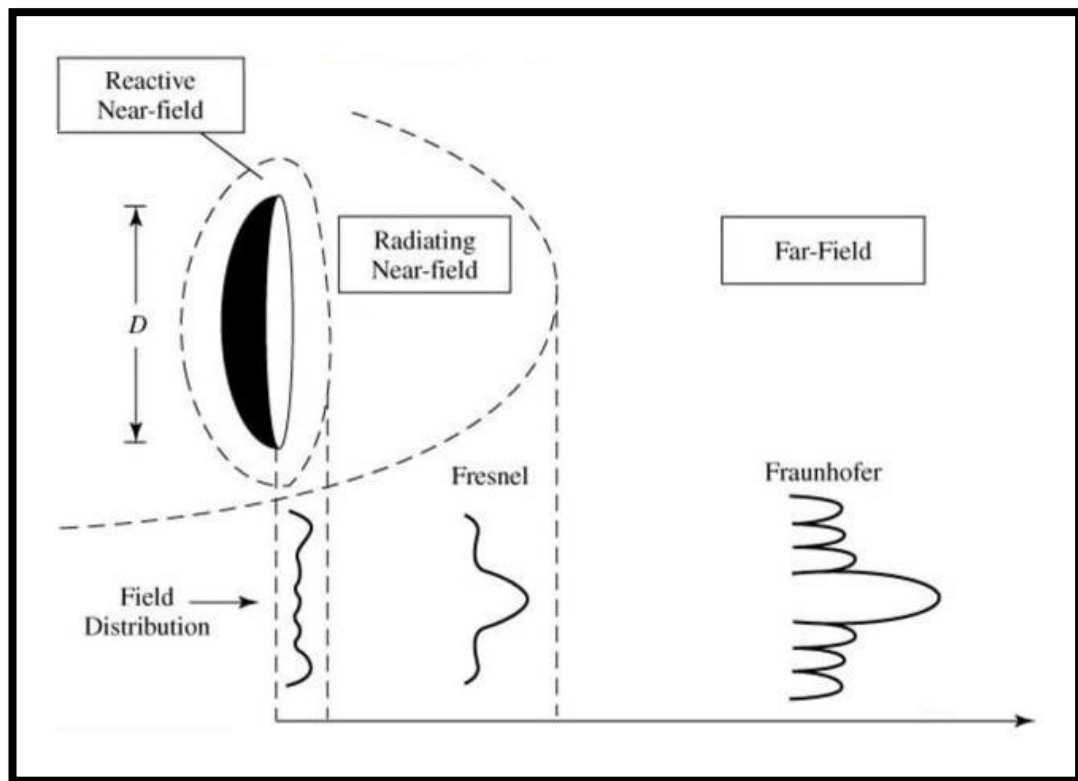
Al igual que en el caso del radioenlace para la Marina de Guerra del Perú, se puede comprobar la similitud de los resultados obtenidos en los cálculos anteriores y los valores obtenidos con el software de Aviat (véase Anexo 6).

Una vez que se realizara la factibilidad teórica de cada uno de los saltos del enlace y dimensionado el equipamiento microondas a utilizar, se procedió a realizar el estudio teórico de RNI y el formato de perfil del proyecto técnico con la finalidad de solicitar a la Dirección General de Autorizaciones en Telecomunicaciones del MTC la autorización para ocupar los canales 1 y 4 de la banda 7425 MHz – 7725 MHz en las ubicaciones correspondientes a cada nodo.

El estudio de Radiaciones No Ionizantes (RNI) calcula los niveles de emisión electromagnética existentes en la proximidad de la estación

de microondas con la finalidad de evaluar el cumplimiento de los límites máximos permisibles; para ello determina primero las regiones del campo electromagnético cercano reactivo y cercano radiante (Figura 35) utilizando las Ecuaciones 18 y 19.

Figura 35: Campos electromagnéticos de una antena



Fuente: (Rahmat-Samii, Williams, & Yoccarino, 1995)

$$S_{ccr} = (0.25 \times D^2) / \lambda \quad (18)$$

$$R_{ccr} = (0.6 \times D^2) / \lambda \quad (19)$$

, donde D es el diámetro de la antena (metros); λ es la longitud de onda (metros); S_{ccr} es el radio de la región del campo cercano reactivo (metros) y R_{ccr} es el radio de la región del campo cercano radiante (metros).

Luego se calcula la densidad de potencia en las regiones del campo electromagnético cercano reactivo y cercano radiante, así como

también en el campo electromagnético lejano (Ec. 20.1, 20.2, 21 y 22 respectivamente); estas mediciones se realizan en puntos de evaluación ubicados a una distancia de 2 metros, 10 metros, 20 metros, 50 metros y 100 metros del elemento radiante, y en cuatro direcciones separadas 90° tomando como partida (0°) el azimut principal.

$$P_{Sccr} = \frac{(16 \times \eta \times Pt)}{(\pi \times D^2)} \quad (20.1)$$

$$\eta = \left[\frac{(Gt \times \lambda^2)}{4\pi} \right] \div \left[\frac{(\pi \times D^2)}{4} \right] \quad (20.2)$$

, donde Pt es la potencia de transmisión (vatios); D es el diámetro de la antena (metros); Gt es la ganancia de la antena (numérico); λ es la longitud de onda (metros); η es la apertura efectiva y P_{Sccr} es la densidad de potencia en la región del campo cercano reactivo (vatio sobre metro cuadrado o W/m²).

$$P_{Rccr} = \frac{(P_{Sccr} \times Rccr)}{R} \quad (21)$$

, donde P_{Sccr} es la densidad de potencia en la región del campo cercano reactivo (W/m²); Rccr es el radio de la región del campo cercano radiante (metros); R es la distancia de la ubicación a evaluar (metros) y P_{Rccr} es la densidad de potencia en la región del campo cercano radiante (vatio sobre metro cuadrado o W/m²).

$$S = \frac{PIRE}{(4\pi \times R)} = \frac{(Pt \times Gt)}{(4\pi \times R)} \quad (22)$$

, donde PIRE es la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (vatios); Pt es la potencia de transmisión (vatios); Gt es la ganancia de la antena (numérico); R es la distancia de la ubicación a evaluar (metros) y S es la densidad de potencia en la región del campo lejano (vatio sobre metro cuadrado o W/m²).

Todos los valores obtenidos se agruparon en una tabla y se compararon con los límites máximos permisibles demostrando que se encuentran bajo el umbral y concluyendo que la densidad de potencia de la estación evaluada no sobrepasa los niveles máximos para la exposición ocupacional y poblacional.

Finalmente, se entregó el RNI junto con el formato de perfil del proyecto técnico y se aguardó por la autorización correspondiente. Los documentos correspondientes a los nodos S.E. Panu, C. Lomo Largo y C.H. Cahua se pueden observar en el Anexo 7 (Vega, 2015). Una vez emitida la autorización del MTC, se procedió a sintonizar las radios a los canales de frecuencias de transmisión y recepción adecuados, e importar todo el equipamiento para su instalación.

En las Figuras 36 y 37 se observa la publicación web de los servicios privados del Registro Nacional de Frecuencias del MTC que asigna:

Figura 36: Registro Nacional de Frecuencias S.E. Panu – C. Lomo Largo

REGISTRO NACIONAL DE FRECUENCIA

Este aplicativo, en el caso de servicios de radiodifusión, permite informar sobre la disponibilidad de frecuencias en una determinada Banda y Localidad. Para los servicios privados, informar sobre la relación de estaciones autorizadas vigentes.

RADIODIFUSIÓN PRIVADOS PÚBLICOS

SERVICIOS PRIVADOS

Fecha: 23/10/2016

Frec. Emisión	Frec. Recepción	Horario	Indicativo	Clase	Servicio	Razón Social	Departamento	Provincia	Distrito
7526	7680	HX	OCFK-68	FX	Enlace Fijo por Microondas (Digital)	STATKRAFT PERU S.A	LIMA	BARRANCA	PATIVILCA
7526	7680	HX	OCFK-73	FX	Enlace Fijo por Microondas (Digital)	STATKRAFT PERU S.A	PASCO	PASCO	YANACANCHA
7526	7680	HX	OCFK-74	FX	Enlace Fijo por Microondas (Digital)	STATKRAFT PERU S.A	PASCO	PASCO	SIMON BOLIVAR
7526	7680	HX	OCHQ-30	FX	Enlace Fijo por Microondas (Digital)	STATKRAFT PERU S.A	JUNIN	JUNIN	JUNIN
7526	7680		OCFK-67	FX	Enlace Fijo por Microondas (Digital)	STATKRAFT PERU S.A	LIMA	HUAURA	AMBAR
7533	7694	HX	OCCK-27	FX	Enlace Fijo por Microondas (Digital)	LUZ DEL SUR S.A.A.	LIMA	LIMA	ATE

http://comunicaciones.mtc.gob.pe/frecuencias/Privado.aspx

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Figura 37: Registro Nacional de Frecuencias C. Lomo Largo – C.H. Cahua

23/10/2016 ... Registro Nacional de Frecuencias ..

INICIO MTC Ministerio de Transportes y Comunicaciones INTRANET WEBMAIL MAPA DE SITIO

REGISTRO NACIONAL DE FRECUENCIA
Este aplicativo, en el caso de servicios de radiodifusión, permite informar sobre la disponibilidad de frecuencias en una determinada Banda y Localidad. Para los servicios privados, informar sobre la relación de estaciones autorizadas vigentes.

RADIODIFUSIÓN PRIVADOS PÚBLICOS

SERVICIOS PRIVADOS

Fecha: 23/10/2016

Frec. Emisión	Frec. Recepción	Horario	Indicativo	Clase	Servicio	Razón Social	Departamento	Provincia	Distrito
7442	7596	HX	OCFK-65	FX	Enlace Fijo por Microondas (Digital)	STATKRAFT PERU S.A	JUNIN	JUNIN	JUNIN
7442	7596	HX	OCFK-66	FX	Enlace Fijo por Microondas (Digital)	STATKRAFT PERU S.A	PASCO	PASCO	YANACANCHA
7442	7596	HX	OCFK-69	FX	Enlace Fijo por Microondas (Digital)	STATKRAFT PERU S.A	LIMA	HUAURA	AMBAR
7442	7596	HX	OCFK-70	FX	Enlace Fijo por Microondas (Digital)	STATKRAFT PERU S.A	LIMA	CAJATAMBO	MANAS
7442	7596	HX	OCU-80	FX	Enlace Fijo por Microondas (Digital)	ELECTROPERU S.A.	JUNIN	HUANCAYO	HUANCAYO

http://comunicaciones.mtc.gob.pe/frecuencias/Privado.aspx 1/13

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Al enlace S.E. Panu – C. Lomo Largo las frecuencias de ida (7526 MHz) y retorno (7680 MHz) correspondientes al canal 4, tal como diseño realizado (Figura 32).

Al enlace C. Lomo Largo – C.H. Cahua las frecuencias de ida (7442 MHz) y retorno (7596 MHz) correspondientes al canal 1, tal como al diseño realizado (Figura 32).

A continuación se presentan las imágenes del resumen de configuración de cada radio donde se puede visualizar el ancho de banda, modulación, rango de frecuencias, potencia de transmisión y potencia de recepción.

Figura 38: Resumen de configuración radio S.E. Panu

The screenshot displays the configuration interface for a radio link. At the top, the browser address bar shows '192.168.42.6 / Radio SEPANU / Sala Telecom Oroya CCC - Aviat Networks Portal'. The main content area is divided into several sections:

- Plug-ins For:** A table showing two ODU (ODU 1-ODU 600 and ODU 2-ODU 600) and two RAC (RAC 1-RAC 30v3 and RAC 2-RAC 30v3) components, with a total of 40 Mbps (20x).
- Link Settings:** Includes 'LINK 1' and 'Bandwidth / Modulation' set to '27.5 MHz / QPSK' and '40Mbps (20xE1)'.
- Protection Settings:** Shows 'Protection Type' as 'Hot Standby', 'Primary Coupler Loss (dB)' as '0.0', and 'Secondary Coupler Loss (dB)' as '0.0'.
- Path Settings:** Details for 'RAC 1 & RAC 2' including 'Tx Freq. Range (MHz): 7643.875 to 7708.125', 'Tx Frequency Band: Tx High', 'Tx Frequency (MHz): 7680.000', 'Rx Frequency (MHz): 7526.000', 'Tx/Rx Spacing (MHz): -154.000', 'Use High Power License: Used 0 of 0', 'Use ATPC: ', 'Tx Power (dBm): 29.0', 'Detected Tx Power (dBm): 27.40', and 'RSL (dBm): -46.60'.

The bottom status bar indicates '192.168.42.6 / Radio SEPANU / Sala Telecom Oroya CCC' and a green 'No Alarms' indicator.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 38 muestra la configuración necesaria en la radio Aviat del nodo S.E. Panu para establecer el enlace hacia el nodo C. Lomo Largo, en ella se observan los siguientes parámetros:

- *Bandwidth / Modulation*: 27.5 MHz / QPSK; según el diseño realizado considerando la codificación de 2 bits por símbolo y aplicando una eficiencia espectral de 0.75 baudios por Hertz, se obtiene una velocidad de transmisión de 42 Mbps.
- *Tx. Freq. Range* (MHz): Corresponde al rango de frecuencias en el cual ha sido sintonizada la radio para la transmisión.
- *Tx / Rx Frequency*: 7680 MHz / 7526 MHz; valores ingresados según el diseño y autorización del MTC.
- *Tx Power*: 29 dBm; valor ingresado según el diseño.
- *Detected Tx Power*: 27.4 dBm; valor real de la potencia de transmisión, varía del valor teórico debido a las atenuaciones de cable y acoples.
- *RSL*: -46.6 dBm; nivel de recepción de señal, varía del valor obtenido teóricamente (-42.44 dBm) debido a las pérdidas a causa condiciones climáticas en un escenario real.

Figura 39: Resumen de configuración radio C. Lomo Largo

192.168.42.14 / Radio LOMO LARGO / Cerro Lomo Largo - Aviat Networks Portal

File Edit Installation Configuration Diagnostics Help

Back Forward System Summary Send Refresh Help

Plug-ins For: LOMO LARGO to SEPANU - LINK 2 Hot Standby

ODU 2-ODU 600	RAC 2-RAC 30v3	40 Mbps (20x)
ODU 5-ODU 600	RAC 5-RAC 30v3	

-Link Settings

LINK 1

Bandwidth / Modulation: 27.5MHz / QPSK
40Mbps (20xE1)

-Protection Settings

Protection Type: Hot Standby

Primary Coupler Loss (dB): 0.0

Secondary Coupler Loss (dB): 0.0

-Path Settings

RAC 1 & RAC 4

Tx Freq. Range (MHz): 7508.875 to 7565.125

Tx Frequency Band: Tx Low

Tx Frequency (MHz): 7526.000

Rx Frequency (MHz): 7680.000

Tx/Rx Spacing (MHz): 154.000

Use High Power License: Used 0 of 0

Use ATPC:

Tx Power (dBm): 29.0

Detected Tx Power (dBm): 26.90

RSL (dBm): -45.70

192.168.42.14 / Radio LOMO LARGO / Cerro Lomo Largo

No Alarms

Fuente: Elaboración propia

La Figura 39 muestra la configuración necesaria en la radio Aviat del nodo C. Lomo Largo para establecer el enlace hacia el nodo S.E. Panu, en ella se observan los siguientes parámetros:

- *Bandwidth / Modulation*: 27.5 MHz / QPSK; según el diseño realizado considerando la codificación de 2 bits por símbolo y aplicando una eficiencia espectral de 0.75 baudios por Hertz, se obtiene una velocidad de transmisión de 42 Mbps.
- *Tx. Freq. Range* (MHz): Corresponde al rango de frecuencias en el cual ha sido sintonizada la radio para la transmisión.
- *Tx / Rx Frequency*: 7526 MHz / 7680 MHz; valores ingresados según el diseño y autorización del MTC.
- *Tx Power*: 29 dBm; valor ingresado según el diseño.
- *Detected Tx Power*: 26.9 dBm; valor real de la potencia de transmisión, varía del valor teórico debido a las atenuaciones de cable y acoples.
- *RSL*: -45.7 dBm; nivel de recepción de señal, varía del valor obtenido teóricamente (-42.44 dBm) debido a las pérdidas a causa condiciones climáticas en un escenario real.

Figura 40: Resumen de configuración radio C. Lomo Largo

192.168.42.14 / Radio LOMO LARGO / Cerro Lomo Largo - Aviat Networks Portal

File Edit Installation Configuration Diagnostics Help

Back Forward System Summary Send Refresh Help

Plug-ins For: **LOMO LARGO to CAHUA - LINK 1** Hot Standby

ODU 1-ODU 600 RAC 1-RAC 30v3 40 Mbps (20x)

ODU 4-ODU 600 RAC 4-RAC 30v3

Link Settings

LINK 1

Bandwidth / Modulation: 27.5MHz / QPSK 40Mbps (20xE1)

Protection Settings

Protection Type: Hot Standby

Primary Coupler Loss (dB): 0,0

Secondary Coupler Loss (dB): 0,0

Path Settings

RAC 1 & RAC 4

Tx Freq. Range (MHz): 7588.875 to 7645.125

Tx Frequency Band: Tx High

Tx Frequency (MHz): 7596.000

Rx Frequency (MHz): 7442.000

Tx/Rx Spacing (MHz): -154.000

Use High Power License: Used 0 of 0

Use ATPC:

Tx Power (dBm): 29,0

Detected Tx Power (dBm): 27,10

RSL (dBm): -45,90

192.168.42.14 / Radio LOMO LARGO / Cerro Lomo Largo No Alarms

Fuente: Elaboración propia

La Figura 40 muestra la configuración necesaria en la radio Aviat del nodo C. Lomo Largo para establecer el enlace hacia el nodo C.H. Cahua, en ella se observan los siguientes parámetros:

- *Bandwidth / Modulation*: 27.5 MHz / QPSK; según el diseño realizado considerando la codificación de 2 bits por símbolo y aplicando una eficiencia espectral de 0.75 baudios por Hertz, se obtiene una velocidad de transmisión de 42 Mbps.
- *Tx. Freq. Range* (MHz): Corresponde al rango de frecuencias en el cual ha sido sintonizada la radio para la transmisión.
- *Tx / Rx Frequency*: 7596 MHz / 7442 MHz; valores ingresados según el diseño y autorización del MTC.
- *Tx Power*: 29 dBm; valor ingresado según el diseño.
- *Detected Tx Power*: 27.1 dBm; valor real de la potencia de transmisión, varía del valor teórico debido a las atenuaciones de cable y acoples.
- *RSL*: -45.9 dBm; nivel de recepción de señal, varía del valor obtenido teóricamente (-41.98 dBm) debido a las pérdidas a causa condiciones climáticas en un escenario real.

Figura 41: Resumen de configuración radio C.H. Cahua

192.168.0.86 / Radio CAHUA / Site CH Cahua - Aviat Networks Portal

File Edit Installation Configuration Diagnostics Help

Back Forward System Summary Send Refresh Help

CAHUA to Lomo Largo - LINK 1 Hot Standby

Plug-ins For: ODU 1-ODU 600 RAC 1-RAC 30v3 40 Mbps (20x)
ODU 4-ODU 600 RAC 4-RAC 30v3

-Link Settings

LINK 1

Bandwidth / Modulation: 27.5MHz/QPSK
40Mbps (20xE1)

-Protection Settings

Protection Type: Hot Standby

Primary Coupler Loss (dB): 0.0

Secondary Coupler Loss (dB): 0.0

-Path Settings

RAC 1 & RAC 4

Tx Freq. Range (MHz): 7427.875 to 7484.125

Tx Frequency Band: Tx Low

Tx Frequency (MHz): 7442.000

Rx Frequency (MHz): 7596.000

Tx/Rx Spacing (MHz): 154.000

Use High Power License: Used 0 of 0

Use ATPC:

Tx Power (dBm): 29.0

Detected Tx Power (dBm): 26.90

RSL (dBm): -46.50

192.168.0.86 / Radio CAHUA / Site CH Cahua Warning

Fuente: Elaboración propia

La Figura 41 muestra la configuración necesaria en la radio Aviat del nodo C.H. Cahua para establecer el enlace hacia el nodo C. Lomo Largo, en ella se observan los siguientes parámetros:

- *Bandwidth / Modulation*: 27.5 MHz / QPSK; según el diseño realizado considerando la codificación de 2 bits por símbolo y aplicando una eficiencia espectral de 0.75 baudios por Hertz, se obtiene una velocidad de transmisión de 42 Mbps.
- *Tx. Freq. Range* (MHz): Corresponde al rango de frecuencias en el cual ha sido sintonizada la radio para la transmisión.
- *Tx / Rx Frequency*: 7442 MHz / 7596 MHz; valores ingresados según el diseño y autorización del MTC.
- *Tx Power*: 29 dBm; valor ingresado según el diseño.
- *Detected Tx Power*: 26.9 dBm; valor real de la potencia de transmisión, varía del valor teórico debido a las atenuaciones de cable y acoples.
- *RSL*: -46.5 dBm; nivel de recepción de señal, varía del valor obtenido teóricamente (-41.98 dBm) debido a las pérdidas a causa condiciones climáticas en un escenario real.

3.2.2 Evolución de la capacidad en las redes microondas

Dentro de la experiencia también se han implementado enlaces microondas cuya finalidad es servir como *backhaul* a las Redes de Acceso Móvil (*Radio Access Network* o RAN) de clientes como América Móvil, Telefónica, DirecTV y Entel; estos trabajos se realizaron a través de los

fabricantes de equipamiento microondas como Huawei, ZTE, Alcatel, SAF, Ceragon, Dragonwave y Alvarion.

Durante el desarrollo de la carrera profesional en la implementación de enlaces microondas se ha observado la evolución de las redes móviles en los operadores mencionados desde la tecnología UMTS (3G) hasta la LTE (4G) y las migraciones que estos realizan en cada una de sus estaciones base. Esta evolución de tecnología vino acompañada con una mayor demanda de capacidad por parte de las arquitecturas RAN a sus enlaces de *backhaul* lo cual permitió estudiar las técnicas que cada fabricante utiliza para optimizar el ancho de banda asignado y satisfacer los requerimientos de velocidad de transmisión.

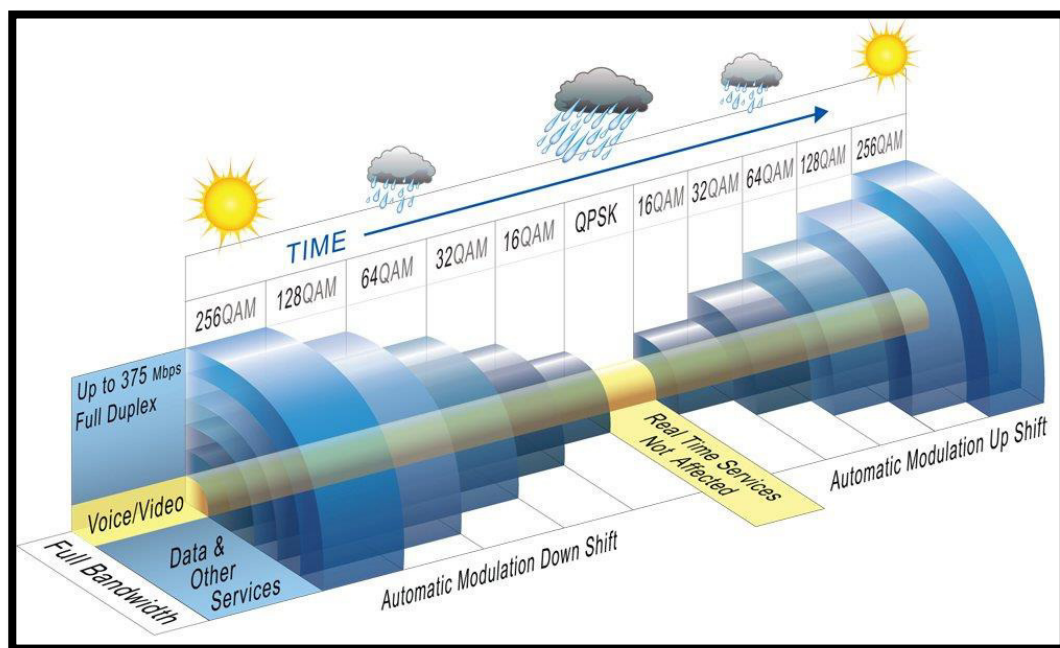
Considerando que la evolución de estas redes es continua y de incremento exponencial, los operadores han estimado que la capacidad de los enlaces microondas será un potencial cuello de botella para el futuro del *backhaul* requerido debido al poco espacio libre en el espectro de frecuencias dedicado y a los estrechos canales en los cuales operan, es por ello que estas técnicas de optimización deben lograr capacidades en el rango de los gigabit por segundo (Gbps) bajo las condiciones antes mencionadas evitando la necesidad de realizar cambios en el planteamiento de frecuencias; además, dado que las redes del *backhaul* móvil se componen de miles de saltos, es necesario que estas mejoras sean de rápido despliegue, flexibles y con un bajo costo total.

La primera opción para incrementar la capacidad de los radioenlaces, teniendo en cuenta que el ancho de banda limita la cantidad de símbolos que se transmitirán por segundo a través de un canal, es el aumento de la modulación a utilizar; sin embargo, este aumento de modulación debe considerar también los cambios en los requerimientos de linealidad y sensibilidad que ocasionará en las radios así como los aspectos ambientales del canal de transmisión y sus efectos en el tráfico. Es así como se origina el uso de la modulación adaptativa (Figura 42), la cual prioriza un servicio (por ejemplo voz) y mantiene la disponibilidad de su transmisión a través de

algoritmos de adaptación de esquemas de modulación que se basan en la evaluación de la calidad del canal y la robustez de la transmisión de *bits*, como el graficado en la Figura 27; de esa manera se evita la interrupción de la comunicación en ocasiones de mal clima u otras circunstancias que aumenten las pérdidas en el enlace.

Esta técnica de ACM es principalmente un requerimiento indispensable de las redes de alta disponibilidad; no obstante, el dinamismo de la adaptación del enlace a modulaciones de hasta 4096-QAM en ocasiones de clima óptimo le brinda también la característica de alta capacidad al sistema.

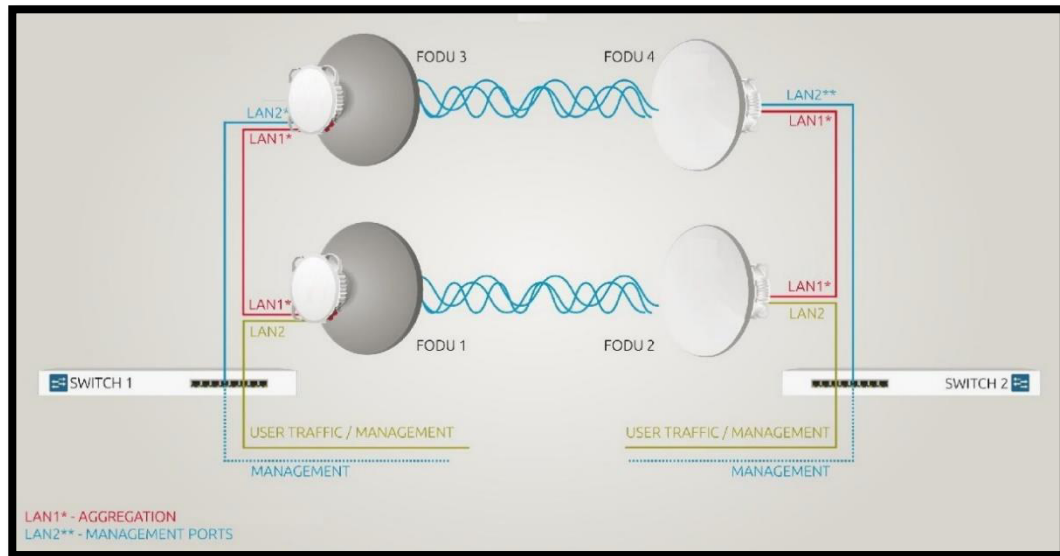
Figura 42: Ilustración de la modulación adaptativa



Fuente: (Wireless Excellence Limited, 2015)

Otro método utilizado para el incremento de capacidad es la agregación de enlaces, el cual es utilizado comúnmente en enlaces troncaleros (*long haul*) y ahora también se encuentra disponible para enlaces de acceso. Esta técnica se basa en el protocolo de capa 2 *Link Aggregation* (IEEE 802.3ad) mediante el cual combina múltiples enlaces en paralelo en un Grupo de Agregación (*Link Aggregation Group* o LAG) para incrementar el rendimiento más allá de lo que un solo enlace podría conseguir.

Figura 43: Ejemplo de agregación de enlaces en un solo puerto de acceso



Fuente: (SAF Tehnika, 2015, pág. 8)

Además, la estructura de un LAG también permite utilizar uno de los enlaces como redundancia del otro en un esquema de protección tipo 2+0, que a diferencia del 1+1 donde sólo uno de los enlaces se encuentra operativo mientras el segundo permanece en *stand-by*, mantendrá ambos enlaces operativos otorgando una alta capacidad y en caso de falla cambiará el esquema a una estructura de alta disponibilidad.

Otro método a utilizar es la migración del enlace a bandas de frecuencia más altas las cuales otorguen anchos de banda potencialmente más amplios. La canalización actual regulada por el MTC (Anexo 4) dispone las bandas 4400 – 8275 MHz, 10700 – 23600 MHz, 37 – 37.35 GHz y 38.3 – 38.6 GHz para los radioenlaces digitales con anchos de banda de hasta 28 MHz como máximo; sin embargo, según la recomendación UIT-R F.746-10 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012) sobre la disposición de radiocanales también es posible utilizar las bandas de 42 GHz, 52 GHz, 62 GHz, 70 GHz, 80 GHz y 94 GHz cuyos canales ocupan anchos de banda de hasta 250 MHz y su uso podría conseguir velocidades de transmisión en el rango de los gigabits por segundo mediante la aplicación de las otras técnicas antes mencionadas.

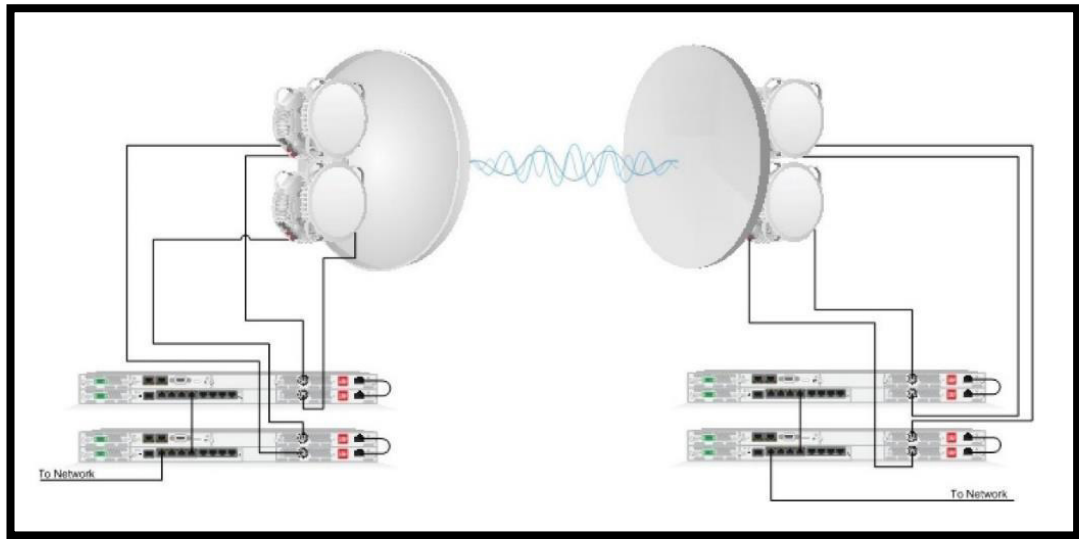
Lamentablemente, y tal como se analizó en el subtítulo anterior, las señales transmitidas a frecuencias altas son más susceptibles a la atenuación y su aplicación se ve limitada en distancia con la finalidad de no incrementar drásticamente las pérdidas en el enlace. La distancia promedio que permita una buena disponibilidad del enlace en la frecuencia de 42 GHz y 70 GHz son 4 km y 1 km correspondientemente de acuerdo a las evaluaciones realizadas por los fabricantes.

Finalmente, el último método corresponde al perfeccionamiento de la eficiencia espectral en escenarios donde múltiples enlaces microondas comparten el mismo canal a través de dos técnicas: multiplexación de polaridad y multiplexación de espacio.

La primera técnica es la polarización cruzada (Figura 44) y se encuentra disponible comercialmente desde hace más de una década; consiste en combinar la transmisión de dos radios en la misma frecuencia pero con polarizaciones ortogonales (una vertical y la otra horizontal), de esa manera al compartir ambas radios el mismo canal también podrán compartir la misma antena de doble polarización y acoplar las velocidades de transmisión de ambos enlaces duplicando su valor unitario.

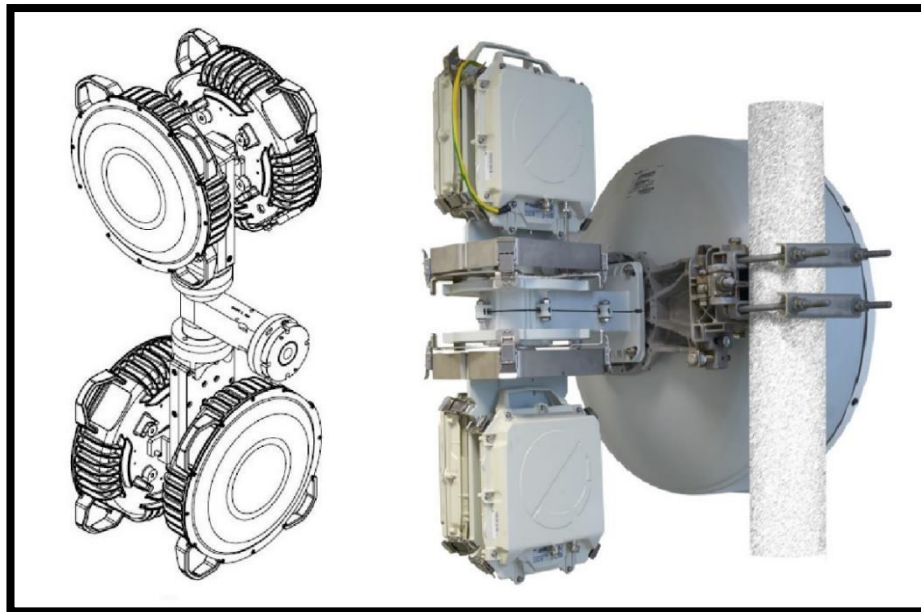
Idealmente ambas polarizaciones se deben aislar completamente por medio del Transductor Ortomodal (*Orthomode Transducer* u OMT) al cual se conectan las radios tal como se observa en la Figura 45; sin embargo, en la práctica aparecerán interferencias entre ellas causadas por una componente contrapolar producida posiblemente por: la polarización elíptica de la transmisión, mal clima, desalineamiento rotacional de la antena, la no linealidad del equipamiento microondas, etc.

Figura 44: Esquema de polarización cruzada



Fuente: (SAF Tehnika, 2015, pág. 11)

Figura 45: Aplicación del transductor ortomodal en la polarización cruzada



Fuente: (SAF Tehnika, 2015, pág. 5)

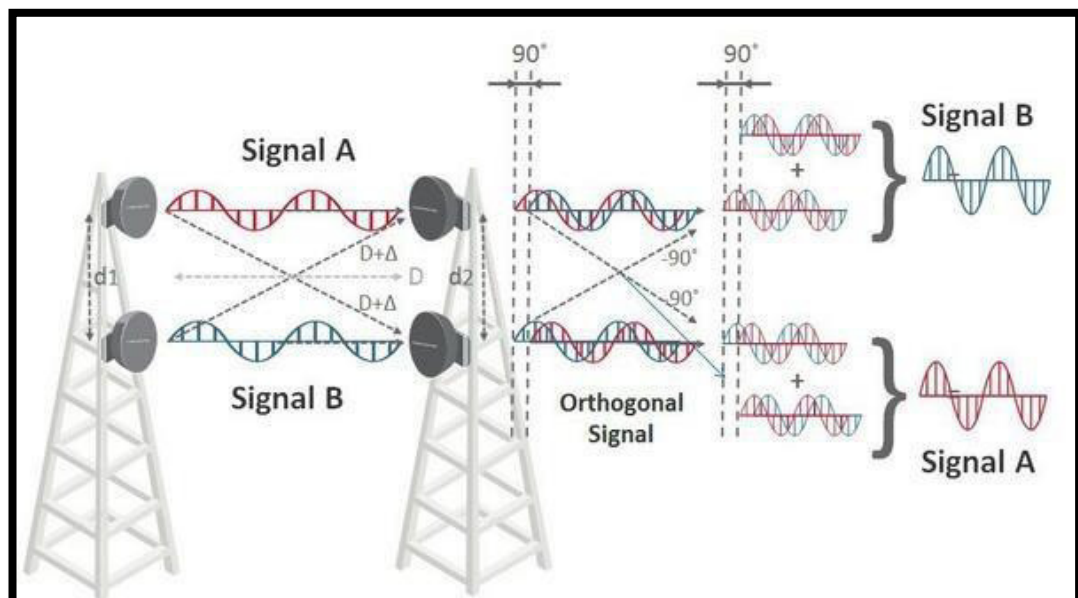
Con la finalidad de eliminar esta interferencia también conocida como interferencia por polarización cruzada se requiere añadir al nodo receptor un sistema basado en la técnica conocida como Cancelación de Interferencia de Polarización Cruzada (*Cross Polarization Interference Cancellation* o XPIC), el cual a través del uso de demoduladores calcula la componente contrapolar y la filtra, eliminándola de la señal principal;

finalmente la señal deseada pasa a ser procesada para extraer las componentes vertical y horizontal.

La segunda técnica es conocida como MIMO (*Multiple Input Multiple Output*, en español Múltiples Entradas Múltiples Salidas) y su tecnología ha aportado considerablemente en el crecimiento de la eficiencia espectral en redes WiFi y WiMAX. El sistema MIMO consiste en N transmisores y N receptores que transmiten N señales de manera simultánea. Por ejemplo, un MIMO 2x2 transmitirá dos señales individuales de manera simultánea duplicando así la capacidad de un enlace.

El principio básico de MIMO consiste en que la señal utilice trayectos diferentes entre los transmisores y receptores, en el mismo caso de MIMO 2x2 existen dos posibles trayectos entre un transmisor y dos receptores como se muestra en la Figura 46. Finalmente en el receptor se presentará cada señal con la interferencia ortogonal del otro trayecto y tras un procesamiento de cancelación se podrán extraer las señales deseadas.

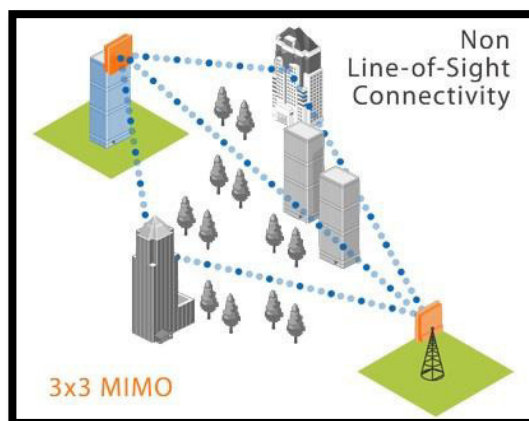
Figura 46: Principio de MIMO 2x2



Fuente: (Ceragon Networks Ltd., 2013, pág. 4)

Otra aplicación de la tecnología MIMO tienen como finalidad establecer una conexión inalámbrica en situaciones donde no existe línea de vista utilizando las componentes de multitrayectoria para reconstruir la señal principal (Figura 47).

Figura 47: Enlace WiMAX con 3x3 MIMO para conexión de nodos NLOS



Fuente: (Proxim Wireless Corporation, 2016)

Finalmente, al combinar ambas técnicas de multiplexación de enlaces microondas en un mismo canal se pueden conseguir velocidades de transmisión en el rango de los gigabit por segundo a partir de anchos de banda comunes y regulados actualmente por el MTC, como es el caso de 28MHz. En la Tabla 9 se pueden observar los resultados de eficiencia espectral obtenidos aplicando varias modulaciones y técnicas de multiplexación considerando una tasa fija de 9 baudios por Hertz.

Tabla 9: Resultados de las técnicas de incremento de eficiencia espectral

Ancho de banda = 28 MHz / 0.9 baudios por Hertz Capacidad = ancho de banda x tasa de baudios x nro. de símbolos			
Modulación / Técnica	Nro. de símbolos	Velocidad de transmisión	Eficiencia espectral
64 QAM	6	151.2 Mbps	5.4 bps/Hz
256 QAM	8	201.6 Mbps	7.2 bps/Hz
1024 QAM	10	252 Mbps	9 bps/Hz
1024 QAM + XPIC	10	504 Mbps	18 bps/Hz
1024 QAM + XPIC + 2x2 MIMO	10	1008 Mbps	36 bps/Hz

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

REFLEXIÓN CRÍTICA DE LA EXPERIENCIA

Queda claro que el diseño y aplicación de técnicas para el incremento de la capacidad de una red en base a la optimización del uso de su canal brinda al cliente una gran ventaja, tanto técnica como económica, elevando el rendimiento de una infraestructura existente y generando una mayor tasa de rentabilidad sobre la inversión realizada.

Así mismo, la búsqueda y análisis de nuevas metodologías para el diseño rentable de enlaces de comunicación ejecutado durante el desarrollo de la experiencia profesional ha reforzado los conocimientos de ingeniería obtenidos durante la etapa de formación universitaria y ha añadido nuevas experiencias a la instrucción profesional en el área práctica.

Además, las labores realizadas también representan un aporte al reforzamiento del vínculo institucional y comercial entre ambas partes (cliente y ejecutor del servicio), dado que el ejecutor demuestra tanto el conocimiento de los fundamentos teóricos en telecomunicaciones como la experiencia en el uso del equipamiento de comunicación digital.

Por consiguiente, la calidad del asesoramiento durante el diseño (consultoría) y la eficiencia de los servicios de optimización serán piezas clave

en la decisión de los clientes sobre los planes que guíen el curso de la evolución de sus redes de comunicación.

Por ejemplo, la ejecución de los servicios de implementación, modificación o actualización a los sistemas de comunicaciones a cargo de personal poco calificado en base a la metodología de ensayo – error o a través de plantillas de configuración (generalmente utilizadas en todo escenario sin verificar las variaciones del entorno o las diferencias en los requerimientos del cliente), derivará en: sobrecostos, excesos en el periodo de implementación, cortes de servicio y, finalmente, la disconformidad del cliente. Disconformidad que evolucionará a una desconfianza no sólo al proveedor de servicio, sino que también a la tecnología recomendada; produciendo así un estancamiento a la evolución de dicha red o, en el peor de los casos, la regresión a una tecnología que brindaba más certidumbre al cliente.

No obstante, la correcta ejecución de estos servicios de optimización también puede generar una lenta evolución de la red del cliente cuando se aplica una continua racionalización de la plataforma existente con la finalidad de distribuir servicios a una mayor cantidad de usuarios mientras se mantiene la calidad de cada suministro, de tal forma que se explota al máximo el sistema antes de considerar la transformación del mismo. Dicha situación se puede hallar en los casos de herencia de infraestructura por la adquisición o asociación con un operador móvil o proveedor de internet; como ejemplo se tiene el caso del grupo GTD de Chile el cual, a través de la adquisición en el 2015 de una participación mayoritaria de la propiedad de WIGO de Perú, formuló junto con el Grupo Romero un plan de crecimiento para el suministro de servicios de Internet empresarial mediante la optimización de una red de radioenlaces en banda licenciada que desde el 2013 había sido utilizada para proveer servicios de conectividad gestionada y Wi-Fi.

Existen también otros factores que producen ese clima de reposo en la transformación de las plataformas de comunicaciones, tales como:

- Estandarización en compañías multinacionales: En estos casos la decisión y el proceso de adquisición de la tecnología para las filiales es gestionado por la casa matriz por medio de un capital global en base a la experiencia y los convenios con diversos fabricantes, dejando únicamente la evaluación de la integración a cargo de la oficina local.

- La decisión de cada cliente en inclinar el perfil de su red hacia una con características de alta disponibilidad, dejando de lado la capacidad, motivada principalmente por el objetivo que esa red debe cumplir y por el giro de la empresa que invierte en ella. Tal como el caso señalado en el subtítulo 3.1.4.

- Inconvenientes con la normatividad: disposiciones municipales que contravienen la legislación correspondiente (Ley N° 29022, “Ley para el Fortalecimiento de la Expansión de Infraestructura en Telecomunicaciones”) imposibilitando la ampliación de la infraestructura y deteniendo la inversión de los operadores. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones ha brindado su apoyo mediante el reglamento de la Ley N° 30228 el cual simplifica los procesos de expansión al mismo tiempo que respeta los principios de urbanismo.

Por otra parte, también existen factores que irrumpen ese reposo y obligan a los propietarios a considerar la evolución tecnológica de su red, el principal motivo es el crecimiento en el consumo de datos que deriva del aumento en la densidad de *smartphones*, de la implementación de nuevos *datacenters* como sucursales de los proveedores de contenido (Facebook, Google, Netflix, etc.) y de las campañas que la competencia de los operadores móviles promueve, como por ejemplo los planes ilimitados para satisfacer la confluencia de los otros dos elementos. Este alto consumo de datos apremia la evolución de las redes móviles, el aumento del porcentaje de tráfico que cursa sobre redes 4G, la creación de nuevas estaciones base que atiendan esa demanda y por lo tanto la implementación de una infraestructura que posea altos niveles de velocidad de transmisión que inclusive los métodos mencionados en el subtítulo 3.2.2 no pueden conseguir. De esa manera se genera la necesidad de una transformación total a una red con las

características de velocidad y confiabilidad para soportar esa renovada banda ancha móvil.

Para este último caso se debe considerar también que todo operador móvil o proveedor de internet evaluará la renovación de su red principalmente en base a tres indicadores: el incremento del consumo de bit por segundo, la cobertura que puede alcanzar para la captación de más usuarios y el periodo retorno de la inversión que la renta de los dos factores anteriores producirá.

Tabla 10: Comparativo de rendimiento y costo entre radioenlace y fibra óptica

Características	Enlace microondas	Fibra óptica
Equipamiento	Radioenlace microondas en 8 GHz en configuración XPIC	Fibra óptica G.652D monomodo 9/125 um, ADSS, 24 hilos
Velocidad de transmisión	1430 Mbps máximo Ancho de banda: 28 MHz Modulación: 1024 QAM Configuración: XPIC	120,000 Mbps Canales: 12 (Tx + Rx) Transceptor: SFP+ SM 10Gbps unidireccional
Distancia	Máximo de 48 kilómetros, considerando 10 dB de margen entre la recepción y el umbral de sensibilidad Frecuencia: 8 GHz Potencia Tx: 21 dBm Ganancia de la antena: 36.9 dB Sensibilidad: -63 dBm Potencia de recepción: -52.96 dB ~ 99.99 %	48 kilómetros
Disponibilidad	Dependiendo del margen de desvanecimiento y el factor de aparición de desvanecimiento (según recomendación UIT-R P.530)	100 %
Costo de la plataforma	US\$ 37,304.00 Incluye el sistema microondas y torres ventadas de 30 metros (detalle en la Tabla 11)	US\$ 1'055,430.00 Incluye la fibra óptica y las obras civiles para canalizado subterráneo (detalle en la Tabla 11)
Costo de instalación	US\$ 3,042.00	US\$ 244,672.00
Tasa US\$/Mbps	US\$ 28.21	US\$ 10.83

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior (Tabla 10) se muestra un comparativo que evalúa esos tres componentes.

Tabla 11: Lista de equipos y materiales de cada solución considerada

Enlace microondas		
Detalle	UM	Cant.
PTP 820 RFU-C,8GHz,TR311C to J,ChAll,Hi,8023-8186.32MHz	und	2
PTP 820 RFU-C,8GHz,TR311C to J,ChAll,Lo,7711.68-7875MHz	und	2
PTP 820 4' ANT,SP,7_8GHz,RFU-C TYPE&Std UBR84 - Andrew	und	2
4-ft. (1.2m) Molded Radome, SOI, RD Series for 2-13 GHz Frequencies	und	2
PTP 820 RFU-C 7_8GHz Coupler KIT	kit	2
PTP 820 RFU-C 7_8GHz Twist Adaptor KIT	kit	2
50 Ohm Braided Coaxial Cable	mt	200
Hoisting Grip for CNT-400 cable	und	4
Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable	kit	4
Coaxial Cable Installation Assembly Kit (W/O LPU End Kit)	kit	4
LPU END KIT PTP800 (1 kit required per Coaxial cable)	kit	4
TNC Male Right Angle for CNT-400 braided cable	und	4
PTP 820G, Dual Modem, Eth + 16 E1/T1	und	2
PTP 820G Act.Key - 2nd Modem Activation	und	2
PTP 820G Act.Key - Capacity 100M with ACM Enabled, per Tx Chan	und	4
Torre ventada pesada de 30 mt, tramos rectangulares de 30 x 30 cm, juego de abrazaderas para tensores de cables, galvanizado en caliente y acabado con pintura tricapa	kit	2
Fibra óptica		
Detalle	UM	Cant.
Bandeja de distribución de fibra óptica (ODF)	und	2
Caja de distribución de fibra óptica (roseta óptica)	und	0
Bandeja de empalme de fibra óptica	und	4
Acoplador dúplex LC/LC	und	24
Panel para 3 acopladores dúplex	und	2
Pigtail SC	und	48
Patchcord de fibra óptica, SM, 2 mt	und	24
Cable de fibra óptica monomodo 9/125 um, 24 hilos	mt	48000
Canalización subterránea, 2 vías, PVC SAP 2"	mt	48000
Cierre de empalme	und	12
Misceláneos de canalización subterránea	kit	80
Caja para exteriores	und	80
Media converter SM 10 Gbps	und	24
SFP+ SM 10 Gbps 1550 nm	und	24
Patch cord cobre CAT 6, RJ45/RJ45, 2 mt	und	24

Fuente: Elaboración propia

Se contrastará en esta ocasión los aspectos técnicos y económicos de dos tecnologías: un enlace microondas en 8 GHz (para una mayor cobertura) con la mayor optimización posible y un tendido subterráneo estándar de 24 hilos de fibra óptica monomodo en un ambiente urbano.

La primera característica a evaluar es la velocidad de transmisión, en el caso microondas se puede alcanzar un máximo de 1430 Mbps por segundo en un ancho de banda de 28 MHz utilizando una configuración XPIC con capacidad de 715 Mbps por fase, datos extraídos de la hoja de especificaciones de la radio microondas CAMBIUM PTP820G (CAMBIUM

Networks, 2017, pág. 5). En el caso óptico se obtiene una velocidad de transmisión total de 120 Gbps a través de los 12 canales de transmisión y recepción (2 hilos) y el uso de transceptores SFP+ unidireccionales de 10 Gbps en cada canal. En este punto es muy clara la superioridad de la solución óptica sobre la inalámbrica, esta brecha sería más amplia aun al considerar también que cualquier cambio climático afectará la modulación y por lo tanto la capacidad del radioenlace mientras que el tendido óptico no se verá afectado de manera alguna. Además, la infraestructura óptica aún no ha sido explotada a su máximo con el uso de las técnicas detalladas en el subtítulo 3.1.3 como la aplicación de WDM y el uso de transceptores de mayor orden (por ejemplo QSFP 40 Gbps), a diferencia del radioenlace en cuestión el cual ya se encuentra en su límite de optimización.

La siguiente característica es la distancia, para el caso del radioenlace se utilizaron diversos valores de distancia en la Ecuación 14 con la finalidad de hallar la pérdida en espacio libre máxima que un enlace de 8 GHz pueda soportar para recibir la señal dentro de un margen de 10 dB sobre el umbral de recepción; de esa forma se obtuvo que al transmitir una señal con una potencia de 21 dBm por una distancia de 48 km esta se recibiría con una potencia de -52.96 dBm y precisamente 10 dB por sobre del nivel mínimo de recepción -63 dBm, datos extraídos de la hoja de especificaciones de la radio microondas CAMBIUM PTP820G (CAMBIUM Networks, 2017, págs. 2-3). En la solución óptica sólo fue necesario igualar el valor máximo del radioenlace. En esta sección la fibra óptica lleva nuevamente la ventaja debido a que puede ampliar su recorrido por varios kilómetros más antes de necesitar amplificadores, esto gracias a la baja atenuación de 0.275 dB/km (típico) que se obtiene, según la norma ITU-T G.652, al utilizar transceptores en la ventana C (1550 nm) tal como se muestra en la Tabla 11; además según la misma tabla también se considera durante el recorrido de la ruta varios cierres de empalme (también conocidos como Mufas) que permiten la ampliación de la red por medio de empalmes de derivación. Por el contrario, el enlace microondas se encuentra a su máxima distancia y con un margen mínimo que puede desvanecerse ante la presencia de una atenuación adicional causada por cambios en el medio de transporte.

Con respecto a la disponibilidad, ambas soluciones poseen óptimos valores; sin embargo nuevamente la atenuación es más severa en el caso inalámbrico debido a que estresa sus niveles de potencia al máximo afectando así la disposición del enlace.

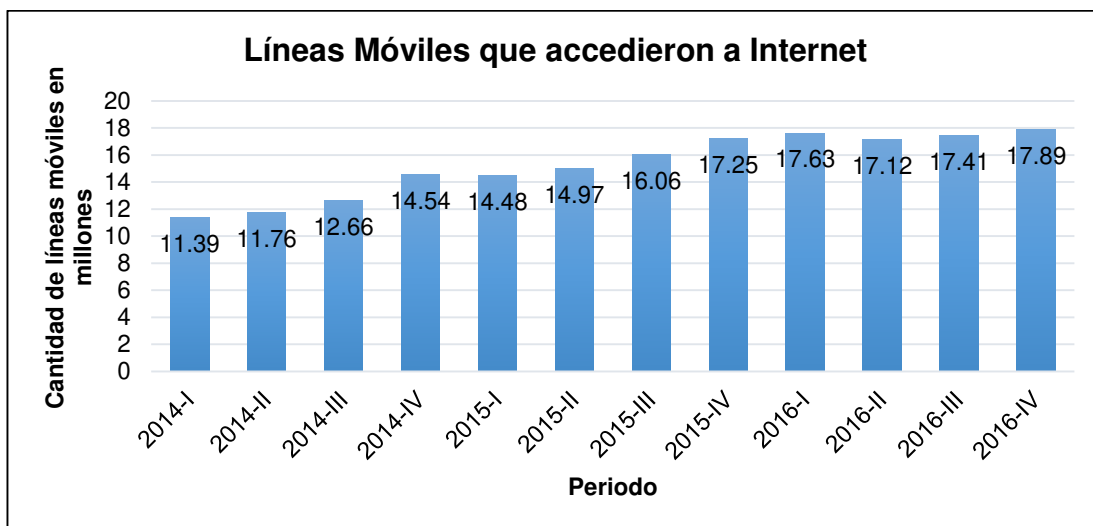
Finalmente, en el costo de ambas plataformas se observa que la inversión para la implementación de un radioenlace es significativamente menor a la de un tendido de fibra (1/36 parte); de la misma manera, el retorno en la plataforma inalámbrica se logra en un menor plazo debido a que la velocidad suministrada será cubierta en menor tiempo con una alta demanda. Sin embargo, la tasa US\$/Mbps es mucho menor en el caso de la fibra óptica y por lo tanto más atractiva para el alquiler de servicio a clientes corporativos o arrendamiento de canales a otros operadores móviles; además el canal físico es mucho más versátil permitiendo reducir aún más su precio al incrementar la velocidad de transmisión o llegando a más usuarios aumentando su cobertura con derivaciones sobre la infraestructura troncal ya financiada. Cabe mencionar que dentro del cálculo de costos no se ha considerado, para ambos casos, las licencias y/o permisos necesarios para la implementación de cada solución, esto debido a que el valor de dichos trámites varía dependiendo de las características del sistema y la ubicación donde se instalará.

En consecuencia, la inversión en redes de fibra óptica está siendo considerada como la mejor opción para la migración de servicios de los proveedores de internet y operadores móviles en circunstancias donde la optimización de sus redes existentes deja de ser una alternativa viable, por cuanto satisfacen la alta demanda de consumo de datos con su capacidad, el incremento de usuarios con su cobertura y les permite flexibilizar sus precios para ofrecer descuentos de acuerdo al consumo manteniéndolos vigentes dentro de un ambiente competitivo.

Con la finalidad de ejemplarizar el análisis del presente capítulo, se muestran a continuación datos reales publicados por el OSIPTEL acerca del

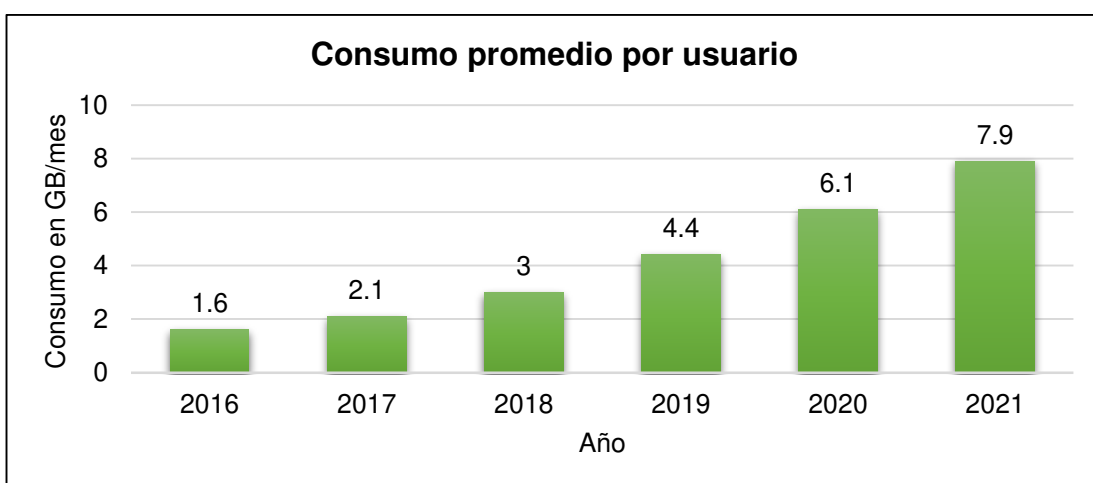
consumo de redes móviles durante el 2016 y su posible crecimiento en el futuro:

Figura 48: Total de líneas móviles que accedieron a Internet



Fuente: (OSIPTEL, 2017)

Figura 49: Estimación del consumo promedio por usuario en los próximos 5 años



Fuente: (OSIPTEL, 2017)

En la Figura 48 se observa el continuo crecimiento de líneas móviles que logran acceder a Internet, en ese conjunto se consideran tanto los equipos celulares así como los modem USB. Se calcula que el crecimiento general desde inicios del año 2014 hasta el final del año 2016 es de 57%. Además, ese impulso no sólo continuará en dirección de la cantidad de líneas sino también en la magnitud de uso de cada una de ellas; la Figura 49 refleja dicha estimación, mostrando que el consumo promedio mensual por línea

contabilizado en GB llegaría casi a quintuplicarse hasta el año 2021. Ambos componentes son clara evidencia de la necesidad de potenciación de la red móvil; el OSIPTEL calculó que para el año 2021 la población y la cantidad de líneas móviles aumentarían en un 5.27% (más de 1.5 millones) y 6.35% (más de 1.1 millones) respectivamente, por lo que se estima que el total de estaciones base celular necesarias para atender esa demanda debería ser de 36,513 acode a la Tabla 12.

Tabla 12: Déficit de estaciones base celular al 2021 por departamento

Departamento	Existente al 2016	Estimado 2021	Brecha 2021	Brecha 2021 (%)
Amazonas	287	555	268	93%
Ancash	727	1496	769	106%
Apurímac	319	588	269	84%
Arequipa	1034	1833	799	77%
Ayacucho	467	912	445	95%
Cajamarca	779	1648	869	112%
Callao	536	942	406	76%
Cusco	828	1453	625	75%
Huancavelica	309	628	319	103%
Huánuco	428	900	472	110%
Ica	533	887	354	66%
Junín	737	1539	802	109%
La Libertad	1053	2497	1444	137%
Lambayeque	586	1402	816	139%
Lima	6858	11796	4938	72%
Loreto	367	1021	654	178%
Madre de Dios	121	216	95	79%
Moquegua	175	280	105	60%
Pasco	160	307	147	92%
Piura	863	1850	987	114%
Puno	672	1538	866	129%
San Martín	484	914	430	89%
Tacna	280	484	204	73%
Tumbes	145	267	122	84%
Ucayali	180	560	380	211%
Total	18928	36513	17585	93%

Fuente: (OSIPTEL, 2017)

Como se explicó anteriormente, una banda ancha móvil con la infraestructura estimada por el OSIPTEL requerirá de enlaces de

comunicación troncal de alta capacidad, extensa cobertura y confiable; dichas características, según el comparativo de la Tabla 10, son más favorables en una solución de fibra óptica dejando como único obstáculo la elevada inversión que representa implementar dicha red. Sin embargo, las ejecuciones de los principales operadores móviles que se muestran a continuación señalan que el análisis técnico y económico brindó resultados positivos para su despliegue.

Telefónica del Perú

- Inversión de 3,000 millones de dólares entre el periodo 2016 – 2020 con el objetivo de expandir sus redes de fibra óptica y ofrecer mejoras en el servicio de la red móvil 4G. (RPP, 2017)
- Despliegue de redes de alta velocidad para el servicio de internet fijo. Extensión de sus redes HFC a 9 ciudades del país: Lima, Piura, Trujillo, Chiclayo, Ica, Arequipa, Cusco, Chimbote y Huancayo; y la nueva red de Fibra Óptica al Hogar a otras 13 ciudades

América Móvil Perú

- Inversión de 1,000 millones de dólares entre el periodo 2017 – 2020 para la actualización tecnológica de su red así como para la implementación de la infraestructura que alojará el servicio móvil con el nuevo espectro de 700 MHz. (El Comercio, 2016)

Entel Perú

- Inversión de 390 millones de dólares para el periodo 2017 – 2019 cuyo propósito es la expansión de su red para la atención al mercado residencial, fibra óptica y el desarrollo de tecnologías de la información para empresas y corporaciones. (La República, 2017)

Viettel Perú

- Despliegue de 25,000 kilómetros de fibra óptica cuya finalidad es la eficiente transmisión a alta velocidad de los servicios 4G LTE para el acceso a Internet móvil de sus clientes urbanos y rurales. El 7% del despliegue total corresponde al departamento de Cusco donde brinda cobertura a 1,186 centros poblados. (Gestión, 2017)

Optical Networks

- Inversión de 7.5 millones de dólares en el 2015 para la ampliación de su red privada de fibra óptica con la finalidad de potenciar sus servicios de Internet y telefonía IP. (Gestión, 2015)
- Se relanza como ON con una inversión de 100 millones de dólares para su plan de crecimiento expandiéndose a provincias aprovechando la red dorsal de fibra óptica. (Press Perú, 2017)

Grupo GTD Perú

- Adquirió a Netline Perú la cual tiene 10 años en el negocio de servicios y soluciones de telecomunicaciones al segmento corporativo basados en una red propia de fibra óptica. (Tele Semana, 2017)

De manera similar, el Estado Peruano a través del Ministerio de Transporte y Comunicaciones brinda su apoyo en el despliegue de redes de fibra óptica para la interconexión de alta velocidad en todo el país; es así que en junio 2014 se celebra el contrato de concesión de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO) por quince años con la compañía Azteca Comunicaciones Perú con un costo de inversión de 333 millones de dólares mediante la cual se tienden más de 13,500 kilómetros de fibra óptica inter urbana que interconectan a todas la capitales del Perú y que permite a todos los operadores de telecomunicaciones hacer uso de esta infraestructura para llevar servicios de Internet o telefonía móvil a los departamentos beneficiados a través del arrendamiento de capacidad; además cumple con ser la troncal para los 21 proyectos regionales que el mismo ministerio se encuentra convocando con la finalidad de distribuir servicios de internet a instituciones

beneficiarias (colegios, comisarías y centros de salud) en zonas rurales del país.

Del mismo modo, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones firmó en el 2016 los contratos de concesión de la nueva banda 700 MHz (698-806 MHz) con los tres principales operadores móviles: Telefónica del Perú, América Móvil Perú y Entel Perú, a quienes se les adjudicó la licencia de las bandas C, B y A respectivamente por un periodo renovable de 20 años. Dichas compañías se encargarán, además del pago por el bloque, de la inversión para la infraestructura así como el costo de la limpieza y migración de los servicios que actualmente se encuentran alojados en dichas bandas (emisoras de TV analógica).

De esa manera, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones apoya tanto en la sección de transporte (fibra óptica) y acceso (banda APT) con el desarrollo que las Telecomunicaciones en el país se ven obligadas a afrontar; permitiendo en el primero de los casos una red con alta capacidad y cobertura nacional bajo un precio de arrendamiento regulado por OSIPTEL, y en el segundo caso con una banda ideal para servicios 4G-LTE con una mejor penetración en zonas urbanas (cobertura *inbuilding*) y mayor extensión en zonas rurales (a menor frecuencia mayor cobertura) que reduce la cantidad de estaciones base necesarias.

CONCLUSIONES

1. La evolución de las tecnologías de comunicación nunca se detiene generando con cada paso nuevas y mejores técnicas para el incremento de la velocidad de transmisión, perfeccionamiento de los métodos de seguridad y fiabilidad de la información transmitida.

2. La inversión hecha por Internexa en la red Este representa una mínima parte del costo que hubiera realizado en el tendido de más hilos de fibra óptica, siendo el resultado final igual para ambos casos.

3. Existen ambigüedades en el uso práctico de términos técnicos como es el caso del ancho de banda y la velocidad de transmisión. Un rápido repaso a los fundamentos teóricos, además de absolver las dudas, también promueve la evaluación práctica de la calidad de las comunicaciones.

4. Los requerimientos de capacidad, seguridad y disponibilidad de cada cliente están estrechamente relacionados con el propósito de su institución y con la orientación de sus servicios o productos.

5. La frecuencia de transmisión es uno de los valores más importantes para el diseño de una red microondas, y para su elección deberán considerarse todas las variables tanto técnicas como normativas legalmente.

6. Existen múltiples técnicas para el incremento de la capacidad de un enlace a partir de la optimización del uso de su canal, las cuales pueden ser utilizadas de manera individual y conjunta dependiendo del escenario y características técnicas de cada sistema.

7. Es necesario mantener una preparación técnica permanente debido a la velocidad de evolución de las comunicaciones digitales, con la finalidad de aplicar los procedimientos modernos y adecuados que produzcan mejores resultados.

RECOMENDACIONES

1. Capacitar permanente del personal encargado de la ejecución de los servicios de optimización, tal manera que sus conocimientos técnicos siempre se encuentren al nivel de las nuevas tecnologías.

2. Revisar la compatibilidad de sistema siempre que se realice un cambio o una nueva instalación en una red operativa, de tal manera que se eviten errores de comunicación o corte de servicios.

3. Elaborar de un plan de ejecución único previo a cada servicio el cual debe ser producto de una implementación piloto realizada en laboratorio de pruebas.

4. Asignar el personal adecuado para cada servicio, el cual deberá contar con las capacidades adecuadas y con el equipamiento necesario para llevar a cabo el servicio satisfactoriamente.

GLOSARIO

- ACM:** Codificación y modulación adaptativa (Adaptive Coding and Modulation), denota la adecuación de la modulación, la codificación y otros parámetros del protocolo y de la señal a las condiciones en el enlace de radio.
- ADM:** Add-drop multiplexer, elemento importante de una red de fibra óptica que combina y/o añade varios flujos de datos con velocidades de transmisión inferiores en una única transmisión.
- AIS:** Señal de indicación de alarmas en la sección del multiplexor para la conmutación de protección automática.
- APS:** Conmutación automática de protección (Automatic Protection Switching), protocolo consistente en la coordinación de conmutación en elementos múltiples de la red SDH.
- ASK:** Modulación por desplazamiento de amplitud (Amplitude Shift Keying), es una forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora en función de los datos a enviar.
- ATPC:** Control automático de la potencia de transmisión, característica del equipamiento microondas que varía el nivel de la potencia de transmisión según las condiciones de desvanecimiento que presente el canal.

- Backbone:** Conexiones principales troncales de Internet, de gran capacidad que llevan los datos a través de países, continentes y océanos del mundo mediante cables de fibra óptica.
- Backhaul:** Es la porción de una red jerárquica que comprende los enlaces intermedios entre el núcleo y las subredes en sus bordes.
- BER:** Tasa de error binario (Bit Error Rate), número de bits recibidos de forma incorrecta respecto al total de bits enviados durante un intervalo especificado de tiempo
- CLI:** Interfaz de línea de comandos (Command Line Interface), método que permite a los usuarios dar instrucciones a algún programa informático por medio de una línea de texto simple.
- CPE:** Equipo local del cliente (Customer Premises Equipment), equipamiento situado en el extremo de la red de comunicación del usuario.
- CWDM:** Multiplexación por división en longitudes de onda ligeras (Coarse Wavelength Division Multiplexing), técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica que pertenece a la familia de multiplexación por división de longitud de onda con menos de ocho longitudes de onda activas por fibra.
- DCC:** Canales dedicados de comunicación de datos (Dedicated Data Communication Channels), canales de una trama SDH que se encuentran entre la sección y la cabecera y se encargan de la gestión del tráfico.
- DWDM:** Multiplexación por división en longitudes de onda densas (Dense Wavelength Division Multiplexing), técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica que pertenece a la familia de multiplexación por división de longitud de onda con más de ocho longitudes de onda activas por fibra.
- EOS:** Ethernet sobre SDH (Ethernet Over SDH), Conjunto de protocolos que permiten transmitir tráfico ethernet sobre redes de jerarquía digital síncrona.
- FDD:** Duplexación por división de frecuencia (Frequency-Division Duplexing), modo de operación donde el transmisor y el

receptor operan a diferentes frecuencias portadoras de tal forma que la estación pueda ser capaz de enviar y recibir al mismo tiempo.

- FDM:** Acceso múltiple por división de frecuencia (Frequency Division Multiple Access), técnica de multiplexación que divide el espectro disponible en canales, correspondientes a distintos rangos de frecuencia, y los asigna a distintos usuarios y comunicaciones de forma que no se interfieran entre sí.
- FTP:** Protocolo de transferencia de archivos (File Transfer Protocol).
- FXO:** Interface usada en la conexión hacia la PSTN (Foreign eXchange Office).
- FXS:** Interfaz usada para conectar un teléfono (Foreign eXchange Subscriber).
- IP-PBX:** Central IP privada (IP Private Branch eXchange), equipo de comunicaciones diseñado para ofrecer servicios de comunicación a través de las redes de datos.
- KLM:** Nomenclatura de la jerarquía digital síncrona utilizada para la asignación de canales a diferentes vías que permitan el enrutamiento correcto de la información.
- LAG:** Link Aggregation Group, protocolo que combina un número de puertos físicos para crear una única ruta de mayor capacidad y confiabilidad.
- Link Budget:** Cálculo de enlace, contabiliza todas las ganancias y pérdidas del transmisor, a través del medio (espacio libre, cable, guía de onda, fibra, etc.) al receptor en un sistema de telecomunicaciones.
- Longhaul:** Comunicaciones inalámbricas que abarcan grandes distancias, se caracterizan por poseer altos niveles de usuarios, requisitos más estrictos de rendimiento y mayor densidad de tráfico.
- LTE:** Long Term Evolution, estándar 4G para comunicaciones inalámbricas de transmisión de datos de alta velocidad para teléfonos móviles y terminales de datos.

- MIMO:** Multiple-input Multiple-output, tecnología de radio que aprovecha fenómenos físicos como la propagación multicamino para incrementar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error.
- MSP:** Técnica de conmutación automática de protección donde cada línea es protegida por otra, en caso de fallos se alterna el camino hacia el de protección (1+1).
- NMS:** Sistema administrador de red, ejecuta aplicaciones que supervisan y controlan a los dispositivos administrados.
- NOC:** Centro de control de red (Network Operations Center), es responsable de monitorizar las redes en función de alarmas o condiciones que requieran atención especial para evitar impacto en el rendimiento de las redes y el servicio a los clientes finales.
- ODF:** Bastidor de distribución de fibra (Optical Distribution Frame).
- ODU:** Out-Door Unit, referido al equipamiento de la sección externa de un sistema microondas externo (radio, antena, acopladores, etc.).
- OMT:** Transductor ortomodal (OrthoMode Transducer), componente de conducto de microondas que sirve tanto para combinar como para separar dos caminos de señales de microondas polarizadas ortogonalmente.
- PCM:** Modulación por impulsos codificados (Pulse Code Modulation), procedimiento de modulación utilizado para transformar una señal analógica en una secuencia de bits.
- PDH:** Jerarquía digital plesiócrona (Plesiochronous Digital Hierarchy), que permite enviar varios canales telefónicos sobre un mismo medio (ya sea cable coaxial, radio o microondas) usando técnicas de multiplexación por división de tiempo.
- PIRE:** Potencia isotrópica radiada equivalente, es la cantidad de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena.

PNAF:	Plan nacional de atribución de frecuencias del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
POH:	Path Overhead, cabecera de la trama STM que monitoriza la calidad e indica el tipo de contenedor virtual que se tiene.
QoS:	Calidad de servicio (Quality of Service), es el rendimiento promedio de una red de telefonía o de computadoras visto por los usuarios de la red.
QPSK:	Quadrature Phase-Shift Keying, esquema de modulación representado en el diagrama de constelación por cuatro puntos equidistantes del origen de coordenadas. Con cuatro fases, QPSK puede codificar dos bits por cada símbolo.
RAN:	Red de acceso (Radio Access Network), parte del sistema de telecomunicación celular que reside entre el núcleo de la red y el equipo terminal (teléfono celular, computadora, etc.).
RDI:	Señal de indicación de defectos remotos en la sección del multiplexor para la conmutación de protección automática.
ETRNI:	Estudio teórico de radiaciones no ionizantes que previenen y planifican el control de los niveles de radiaciones no ionizantes.
RSL:	Nivel de señal recibida.
RSSI:	Indicador de fuerza de la señal recibida (Received Signal Strength Indicator), es una escala de referencia que mide el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo en las redes inalámbricas.
SDH:	Jerarquía digital síncrona (Synchronous Digital Hierarchy), sistema de transporte digital para redes ópticas de alta capacidad.
SFP:	Small Form-factor Pluggable transceiver, transceptor compacto utilizado para las aplicaciones de telecomunicaciones diseñado para soportar SONET, fiber channel, Gigabit Ethernet y otros estándares de comunicaciones.
SIP:	Protocolo de inicio de sesión (Session Initiation Protocol), protocolo desarrollado con la intención de ser el estándar para

la iniciación, modificación y finalización de sesiones interactivas de usuario donde intervienen elementos multimedia.

- SLA:** Acuerdo de nivel de servicio (Service Level Agreement).
- STM:** Módulo de Transporte Síncrono (Synchronous Transport Module), estándar de transmisión de la red de fibra óptica SDH.
- TDM:** Multiplexación por división de tiempo (Time Division Multiplexing), tipo de multiplexación donde el ancho de banda total del medio de transmisión es asignado a cada canal durante una fracción del tiempo total.
- TFTP:** Protocolo de transferencia de archivos trivial (Trivial file transfer Protocol), protocolo de transferencia semejante a una versión básica de FTP, se utiliza para transferir pequeños archivos entre ordenadores en una red.
- UDP:** User Datagram Protocol, protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas.
- UMTS:** Sistema universal de telecomunicaciones móviles (Universal Mobile Telecommunications System), tecnología usada por los móviles de tercera generación.
- VLAN:** Red de área local virtual, método para crear redes lógicas independientes dentro de una misma red física
- VoIP:** Voz sobre protocolo de internet, conjunto de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando el protocolo IP.
- WDM:** Multiplexación por división de longitud de onda (Wavelength Division Multiplexing), tecnología que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda.
- XPIC:** Tecnología de cancelación de interferencia por polarización cruzada (Cross-Polarization Interference Cancelling), es un algoritmo que suprime la interferencia mutua entre dos flujos de señal en la recepción de un sistema de comunicaciones con multiplexación por división de polarización.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográficas

Stallings, W. (2004). *Comunicaciones y Redes de Computadoras*. Madrid: Pearson Educación S.A.

Tanenbaum, A., & Wetherall, D. (2012). *Redes de Computadoras*. México: Pearson Educación S.A.

Electrónicas

4Gon Solutions. (2016). *Fresnel Zone*. Obtenido de Fresnel Zone: https://www.4gon.co.uk/solutions/images/fresnel_zone.jpg

ADVA Optical Networking. (2013). *What is WDM? Glass prism Glass prism*. Obtenido de What is WDM? Glass prism Glass prism: <https://www.slideshare.net/ADVAOpticalNetworking/secure-high-performancetransportnetworksbasedonwdmtechnology>

APAC OPTO. (2005). *Transceiver óptico monomodo unidireccional modelo LS38-C3S-TC-N*. Obtenido de Transceiver óptico monomodo unidireccional modelo LS38-C3S-TC-N: <http://www.apacoe.com.tw/s/2/product-549469/Optical-Transceiver-Duplex-SFP.html>

- APAC OPTO. (2010). *Transceiver óptico monomodo bidireccional modelo LS38-C3S-TC-N-D3*. Obtenido de Transceiver óptico monomodo bidireccional modelo LS38-C3S-TC-N-D3: Recuperado de: <http://www.apacoe.com.tw/s/2/product-549468/Optical-Transceiver-BiDi-SFP.html>
- CAMBIUM Networks. (2017). *PTP 820G Licensed Microwave Radio Spec Sheet*. Obtenido de PTP 820G Licensed Microwave Radio Spec Sheet: <https://www.google.com.pe/search?q=cambium+networks&oq=cambiu&aqs=chrome.1.69i59j0j69i59j69i60j69i57j69i60.5759j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Ceragon Networks Ltd. (2013). *Boosting Microwave Capacity using line of sight MIMO*. Tel Aviv.
- El Comercio. (15 de agosto de 2016). *Claro alista inversión de mil millones de dólares en Perú*. Obtenido de Claro alista inversión de mil millones de dólares en Perú: <https://elcomercio.pe/economia/dia-1/claro-alista-inversion-mil-millones-dolares-peru-247592>
- Fiberstore Inc. (2016). *Bandas ópticas CWDM*. Obtenido de Bandas ópticas CWDM: https://img-en.fs.com/images/ckfinder/ftp_images/product/20160606115500_881.jpg
- Gestión. (7 de setiembre de 2015). *Optical Networks invertirá US\$ 7.5 millones para ampliar su red privada de fibra óptica*. Obtenido de Optical Networks invertirá US\$ 7.5 millones para ampliar su red privada de fibra óptica: <https://gestion.pe/economia/empresas/optical-networks-invertira-us-7-5-millones-ampliar-red-privada-fibra-optica-99054>
- Gestión. (3 de setiembre de 2017). *Bitel despliega 25,000 kilómetros de fibra óptica para 4G LTE en Perú*. Obtenido de Bitel despliega 25,000 kilómetros de fibra óptica para 4G LTE en Perú: <https://gestion.pe/economia/empresas/bitel-despliega-25-000-kilometros-fibra-optica-4g-lte-peru-142874>
- Internexa. (2016). *Ilustración de la red regional de Internexa en Perú*. Obtenido de Ilustración de la red regional de Internexa en Perú: <http://www.internexa.com>

- Internexa. (2016). *Ilustración de la red regional de Internexa en Sudamérica*. Obtenido de Ilustración de la red regional de Internexa en Sudamérica: <http://www.internexa.com>
- ISA Perú. (2014). *Nuestros Proyectos Perú: Red de Energía del Perú*. Obtenido de Nuestros Proyectos Perú: Red de Energía del Perú: <http://www.rep.com.pe/paginas/nuestros-proyectos.aspx>
- La República. (27 de abril de 2017). *Entel invertirá US\$ 1.800 millones en los próximos tres años*. Obtenido de Entel invertirá US\$ 1.800 millones en los próximos tres años: <http://larepublica.pe/economia/869834-entel-invertira-us-1800-millones-en-los-proximos-tres-anos>
- LinuxTV. (2014). *Estimated BER vs Eb/N0*. Obtenido de Estimated BER vs Eb/N0: https://www.linuxtv.org/wiki/images/f/fa/Est_BER_vs_EbN0.png
- Loop Telecommunications International Inc. (2008). *Loop-O9400R Topology and Protection Schemes*. Hsinchu, Taiwan.
- Loop Telecommunications International Inc. (2011). *Loop-O9500R SDH/SONET IMAP User's Manual*. Hsinchu, Taiwan.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Registro Nacional de Frecuencia*. Obtenido de Registro Nacional de Frecuencia: <http://comunicaciones.mtc.gob.pe/frecuencias/Privado.aspx>
- Networking Blog. (2009). *Estructura de multiplexación SDH*. Obtenido de Estructura de multiplexación SDH: <http://www.net-gyver.com/wp-content/uploads/2009/03/g707.jpg>
- OSIPTEL. (2017). *Estaciones Base Celular e Infraestructura de Fibra óptica*. Obtenido de Estaciones Base Celular e Infraestructura de Fibra óptica: <https://www.osiptel.gob.pe/repositorioaps/data/1/1/1/par/estacionesbasecelular-infracibraoptica/EstacionesBaseCelular-InfraFibraOptica.pdf>
- Press Perú. (27 de octubre de 2017). *Optical Networks Se Relanza Como "ON" Y Se Convierte En La Empresa Peruana Líder En Telecom*. Obtenido de Optical Networks Se Relanza Como "ON" Y Se Convierte En La Empresa Peruana Líder En Telecom: <https://pressperu.com/optical-networks-se-relanza-como-on-y-se-convierte-en-la-empresa-peruana-lider-en-telecom/>

- Proxim Wireless Corporation. (2016). *Non Line-of-Site Connectivity*. Obtenido de Non Line-of-Site Connectivity: <http://www.proxim.com/products/tsunami-feature-high-capacity>
- Rahmat-Samii, Y., Williams, L., & Yoccarino, R. (1995). The UCLA Bi-polar Planar-Near-Field Antenna Measurement and Diagnostics Range. *IEEE Antennas & Propagation Magazine*. Volumen 37, 16-35.
- Red de Energía del Perú. (2017). *Mapa de Líneas de Transmisión*. Obtenido de Mapa de Líneas de Transmisión: <http://www.rep.com.pe/SiteAssets/documentos/Proy/Mapa%20de%20Lineas%202017-2026.pdf>
- RPP. (2 de marzo de 2017). *Telefónica invertirá US\$ 3,000 millones en Perú hasta 2020*. Obtenido de Telefónica invertirá US\$ 3,000 millones en Perú hasta 2020: <http://rpp.pe/economia/economia/telefonica-invertira-us-3000-millones-en-peru-hasta-2020-noticia-1034482>
- SAF Tehnika. (2015). *Link aggregation/bonding and load balancing with SAF products*. Riga.
- Scicos. (2011). *QPSK Constellation Diagram*. Obtenido de QPSK Constellation Diagram: http://www.scicos.org/ScicosModNum/modnum_web/src/modnum_422/interf/scicos/help/eng/htm/MODPSK_f.htm
- Tele Semana. (4 de abril de 2017). *Grupo GTD compra Netline en Perú*. Obtenido de Grupo GTD compra Netline en Perú: <http://www.telesemana.com/blog/2017/04/04/grupo-gtd-compra-netline-en-peru/>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (1998). *Recomendación UIT-T G.841 Tipos y características de las arquitecturas de protección para redes de jerarquía digital síncrona*.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2012). *Recomendación UIT-R F.746.10 Disposición de radiocanales para sistemas del servicio fijo*.
- Vega, J. T. (2015). *Informe Técnico N° 0008-2015 / Registro 050-RNI - Estudio Teórico de Radiaciones No Ionizantes S.E. Panu*. Lima.

Wikipedia. (2009). *Estructura de trama STM-1*. Obtenido de Estructura de trama STM-1: https://es.wikipedia.org/wiki/Jerarqu%C3%ADa_digital_s%C3%ADncrona#/media/File:Stm1.PNG

Wireless Excellence Limited. (2015). *Microwave Hitless ACM illustration*. Obtenido de Microwave Hitless ACM illustration: <https://i2.wp.com/www.cablefree.net/wp-content/uploads/2015/02/CableFree-Microwave-Hitless-ACM-illustration.jpg>

INDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1: Resumen de ventas y principales proyectos	129
Anexo 2: Tipos de redundancia óptica	145
Anexo 3: Modelo de TSS para enlaces microondas	155
Anexo 4: Plan Nacional de Atribución de Frecuencias	162
Anexo 5: Cálculo de enlace Base Naval – AVINAV	182
Anexo 6: Calculo de enlace S.E. Panu – C.H. Cahua	186
Anexo 7: Estudio de radiaciones no ionizantes nodo S.E. Panu	192

ANEXO 1: RESUMEN DE VENTAS Y PRINCIPALES PROYECTOS

- Resumen de ventas (US\$) 2013
- Resumen de ventas (US\$ y S/.) 2014
- Resumen de ventas (US\$) 2015
- Resumen de ventas (US\$ y S/.) 2016
- Contrato N° 005-2014-MGP/JESUETEL
- Contrato N° 015-2014-MGP/JESUETEL
- Contrato N° 037-2014-MGP/JESUETEL
- Contrato N° 041-2014-MGP/JESUETEL
- Contrato N° 057-2014-MGP/JESUETEL
- Contrato de locación de servicios CH-115-2015
 - Anexo: Alcance del servicio
- Contrato proyecto DTV Perú
- Contrato de locación de servicios ID 6132912
 - Acta final de conformidad

Resumen de Ventas (US\$) - 2013

CLIENTE	COTIZACIÓN	FECHA	MONTO US\$	DESCRIPCIÓN	ORDEN	FECHA
BT Latam	BMPCOM-063-13 v2	28-feb-13	\$1,453.42	Soporte Técnico - Nodo Iquitos	244010000947	07-feb-13
BT Latam	BMPCOM-091-13 v2	22-mar-13	\$216.00	Instalación y Configuración de Router	244010001036	14-may-13
BT Latam	BMPCOM-0108-13 v2	03-abr-13	\$308.12	Servicio de Custodia de Llaves Nodo BT Arequipa (1 mes)	244010000997	22-abr-13
BT Latam	BMPCOM-0117-13	10-abr-13	\$654.00	Mantenimiento Preventivo Radioenlace Cliente Schenckler	244010000993	19-abr-13
BT Latam	BMPCOM-0132-13	24-abr-13	\$278.00	Servicio de Soporte Manos Remotas Cliente Nicoll Electric	244010001034	14-may-13
BT Latam	BMPCOM-0137-13	02-may-13	\$179.00	Verificación de desconexión de puertos en BT Cage Level3	244010001033	14-may-13
BT Latam	BMPCOM-0138-13	02-may-13	\$142.00	Servicio de conexión de cables coaxiales en cliente CEVA	244010001109	09-jul-13
R&S	BMPCOM-0151-13	21-may-13	\$812.00	Servicio de Traducción	4503081483	23-may-13
BT Latam	BMPCOM-0162-13	29-may-13	\$193.00	Soporte técnico BT Cage de Level3	244010001106	06-jul-13
BT Latam	BMPCOM-0163-13	29-may-13	\$317.00	Servicio de Instalación de Router	244010001105	06-jul-13
STE	BMPCOM-0173-13 v4	10-jun-13	\$1,858.00	Cabinet Supply and deliver	AQG0423NI	18-jun-13
R&S	BMPCOM-0174-13	10-jun-13	\$772.00	Translation Service - IRIDIUM documents	4503082083	12-jun-13
BT Latam	BMPCOM-0177-13	11-jun-13	\$296.00	Validación de servicios y conexiones de Cliente CEVA	244010001103	05-jul-13
STE	BMPCOM-0188-13	26-jun-13	\$2,207.00	Import and Custom Clearance Expenses - Navy BUC's	Correo	30-ago-13
R&S	BMPCOM-0207-13	07-ago-13	\$8,325.00	Support Service for Iridium Training	4503083817	14-ago-13
INTERNEXA	BMPCOM-0210-13 v2	07-ago-13	\$13,344.00	Suministro de Tarjetas O9500 y AM3440	3700001413	08-ago-13
R&S	BMPCOM-0222-13 v2	19-ago-13	\$926.00	Translation Service - TMSR documents	4503084615	16-sep-13
STE	BMPCOM-0229-13	03-sep-13	\$3,009.00	Power Backup System	AQG0699NI	13-sep-13
STE	BMPCOM-0254-13 v4	11-oct-13	\$1,486.00	Isolation Transformer Supply	AQG0914NI	17-dic-13
STE	BMPCOM-0180-13 v4	24-oct-13	\$12,000.00	Installation works for Fixed Antenna Site - Contract N° 0004-2012-MGP/JESUETEL	AQG0914NI	17-dic-13
STE	BMPCOM-0266-13 v2	30-oct-13	\$6,050.00	Technical Support Navy Projects	AQG0914NI	17-dic-13
BT Latam	BMPCOM-0268-13	05-nov-13	\$195.00	Visita Nodo BT Arequipa	244010001314	15-nov-13
BT Latam	BMPCOM-0277-13	19-nov-13	\$396.00	Mantenimiento Minera Bateas - Arequipa	244010001380	26-dic-13
STE	BMPCOM-0279-13 v2	26-nov-13	\$1,588.00	Technical Support Navy Projects	AQG0914NI	17-dic-13
			\$57,004.54			

Resumen de Ventas (US\$) - 2014

CLIENTE	COTIZACIÓN	FECHA	MONTO US\$	DESCRIPCIÓN	ORDEN	FECHA
INTERNEXA	BMPCOM-0286-13 v2	16-dic-13	\$22,500.00	Suministro de Multiplexores O9500R	3700001563	17-ene-14
INTERNEXA	BMPCOM-0002-14 v4	22-ene-14	\$27,553.00	Suministro de Multiplexores O9500R	3700001573	17-ene-14
R&S	BMPCOM-0042-14	11-feb-14	\$9,302.00	Support Service for Navy Training	4503091325	29-abr-14
ST Electronics	BMPCOM-0055-14	20-feb-14	\$2,481.00	Air Conditioner System Supply and Installation	ARG0114NI	26-feb-14
INTERNEXA	BMPCOM-0083-14	14-mar-14	\$22,727.00	Suministro de Multiplexores O9500R	3700001636	28-mar-14
BT Latam	BMPCOM-0085-14	17-mar-14	\$460.00	Soporte Administrativo Arequipa	244010001501	14-abr-14
ST Electronics	BMPCOM-0115-14 v3	15-abr-14	\$1,700.00	TSS Ancon HUB	ARG0317NI	30-may-14
INTERNEXA	BMPCOM-0128-14	30-abr-14	\$7,750.00	Suministro de Tarjetas Loop Telecom	3700001664	02-may-14
INTERNEXA	BMPCOM-0133-14	07-may-14	\$3,100.00	Servicio de Instalación/Desinstalación de Radioenlace	3700001708	12-may-14
					6500255905	19-may-14
INTERNEXA	BMPCOM-0202-14 v2	20-jun-14	\$11,830.00	Suministro de Multiplexores AM3440	3700001740	25-jun-14
INTERNEXA	BMPCOM-0258-14 v2	07-ago-14	\$28,140.00	Suministro de Multiplexores O9500R Proyecto FELAM	3700001794	15-ago-14
STE	BMPCOM-0267-13 v4	20-ago-14	\$54,000.00	Instalación HUB Satelital Marina	ARG0562NI	22-ago-14
INTERNEXA	BMPCOM-0343-14 v3	18-nov-14	\$5,200.00	Suministro de Tarjetas Loop Telecom Suministro de SFP's	3700001840	18-nov-14
					3700001868	18-nov-14
			\$196,743.00			

Resumen de Ventas (S/.) - 2014

CLIENTE	COTIZACIÓN	FECHA	MONTO S/.	DESCRIPCIÓN	ORDEN	FECHA
MGP		02-jul-14	S/. 412,620.77	Suministro e Instalación de equipamiento radial	015-2014	24-jul-14
MGP		18-may-14	S/. 312,711.87	Suministro de radioenlace para DICAPI	005-2014	13-jun-14
MGP		14-ago-14	S/. 333,050.85	Suministro de equipo satelital autiestabilizado	037-2014	08-sep-14
MGP		01-sep-14	S/. 1,354,237.29	Suministro de equipamiento satelital de bases VRAEM	041-2014	23-sep-14
MGP		27-sep-14	S/. 693,220.34	Suministro de equipamiento para B.A.P. TACNA	057-2014	05-dic-14
			S/. 3,105,841.12			

Resumen de Ventas (US\$) - 2015

CLIENTE	COTIZACIÓN	FECHA	MONTO US\$	DESCRIPCIÓN	ORDEN	FECHA
INTERNEXA	BMPCOM-0346-14	07-ene-15	\$30,107.00	Multiplexores SDH O9500R	3700001911	09-ene-15
INTERNEXA	BMPCOM-0346-14	07-ene-15	\$15,541.00	Multiplexores SDH O9500R	3700001912	09-ene-15
INTERNEXA	BMPCOM-0348-14	16-ene-15	\$5,846.00	Modulos ópticos para multiplexores Loop Telecom	3700001907	16-ene-15
INTERNEXA	BMPCOM-0145-15 v2	02-may-15	\$3,256.00	Tarjetas Loop Telecom	3800000162-1	10-jun-15
INTERNEXA	BMPCOM-0146-15	03-may-15	\$31,693.00	Multiplexores SDH O9500R, PDH AM3440	3900001064	10-jun-15
INTERNEXA	BMPCOM-0087-15	10-feb-15	\$842.00	Tarjetas Loop Telecom	3800000162-2	10-jun-15
INTERNEXA	BMPCOM-0163-15	17-abr-15	\$3,664.00	Tarjetas Loop Telecom	3700002080	16-jun-15
INTERNEXA	BMPCOM-0144-15	03-mar-15	\$11,647.00	Suministro y configuracion de SFPs Loop	3700002045	09-jul-15
INTERNEXA	BMPCOM-0098-15	22-feb-15	\$3,858.00	Tarjetas Loop Telecom	3600002391	20-ago-15
INTERNEXA	BMPCOM-0016-15	15-feb-15	\$7,619.00	Tarjetas Loop Telecom	3800000162-3	19-ago-15
INTERNEXA	BMPCOM-0126-15	29-sep-15	\$23,330.00	Licencias iNMS	3700002146	30-sep-15
INTERNEXA	BMPCOM-0274-15	25-oct-15	\$1,276.00	Tarjetas Loop Telecom	3900001124	12-nov-15
INTERNEXA	BMPCOM-0133-15	01-abr-15	\$2,552.00	Tarjetas Loop Telecom	3700002223	18-nov-15
STATKRAFT	BMPCOM-0108-15 v4	18-sep-15	\$542,240.00	Implementación de sistema microondas para la red integral de STATKRAFT	CH-115-2015	01-oct-15
WIGO	BMPCOM-0289-15	07-dic-15	\$470.00	Instalación de MW 30cm	4530915016	11-dic-15
MGP	BMPCOM-0076-15	14-oct-15	\$58,735.00	Suministro de eM1D1	0006-15	11-dic-15
			\$742,676.00			

Resumen de Ventas (US\$) - 2016

CLIENTE	COTIZACIÓN	FECHA	MONTO US\$	DESCRIPCIÓN	ORDEN	FECHA
ZTE	DIRECTV Price list		\$ 18,550.00	Instalación de Nodos B para DirecTV	S5PE2016010701WBF1-1	28-ene-16
			\$ 4,444.00	Estudio de linea de vista (LoS)	S5PE2016010701WBF1-2	27-ene-16
			\$ 17,125.00	Instalación de microondas para DirecTV	S5PE2016010701WBF1-3	05-feb-16
			\$ 18,550.00	Instalación de Nodos B para DirecTV	S5PE2016010701WBF1-4	21-feb-16
ZTE	AZTECA Price list	16-feb-16	\$ 18,923.00	Servicio de instalación de sistemas de seguridad en el sur para AZTECA	S5PE2016012102WBF2-1	16-mar-16
INTERNEXA	BMPC-032-15	21-dic-15	\$ 1,259.00	Licencias iNMS para AM3440	3700002237	12-ene-16
INTERNEXA	BMPC-001-16	04-ene-16	\$ 25,956.00	Suministro de multiplexores O9500 y licencias de gestion	3900001160	10-feb-16
INTERNEXA	BMPC-006-16	08-ene-16	\$ 3,882.00	Suministro de tarjetas Loop Telecom	3700002238	12-ene-16
BT	BMPC-023-16	14-feb-16	\$ 37.00	Suministro de patch cord de FO	244010002088	17-feb-16
LEVEL 3	BMPC-027-16 v5	03-mar-16	\$ 515,988.00	Pago adelantado por la instalación de estaciones satelitales (MINEDU)	644102359	15-abr-16
			\$ 396,000.00	Instalación de 300 estaciones satelitales (MINEDU)		
			\$ 396,000.00	Instalación de 300 estaciones satelitales (MINEDU)		
			\$ 411,972.00	Instalación de estaciones satelitales (MINEDU)		
			\$ 203,268.00	Pago adelantado por el transporte de estaciones satelitales (MINEDU)	644102367	15-abr-16
			\$ 156,000.00	Transporte de 300 estaciones satelitales (MINEDU)		
			\$ 156,000.00	Transporte de 300 estaciones satelitales (MINEDU)		
			\$ 162,292.00	Transporte de estaciones satelitales (MINEDU)		
ZTE	BMPC-037-16	14-mar-16	\$ 2,000.00	Adicionales AZTECA - Cotahuasi, Camaná, Alto Majes, Horacio Zeballos, Chivay	-	-
ZTE	BMPC-050-16	11-abr-16	\$ 235.00	Atención de incidente con enlace microondas	-	-
ZTE	BMPC-051-16	11-abr-16	\$ 235.00	Atención de incidente con enlace microondas	-	-
ZTE	BMPC-054-16	28-abr-16	\$ 832.00	Desmontaje e instalación de nodo MW	-	-
BT	BMPC-060-16	05-sep-16	\$ 940.00	Instalación y configuración de router Cisco 4321	244010002355	07-sep-16
LEVEL 3	BMPC-061-16 v2	09-may-16	\$ 340,022.00	Servicio de instalación de AP en IE a nivel nacional	644102486	19-may-16
ZTE	BMPC-062-16	10-may-16	\$ 1,607.00	Desmontaje de NodoB y enlace microondas	-	-
BT	BMPC-063-16	08-sep-16	\$ 252.00	Configuración de router Cisco	244010002357	08-sep-16
ZTE	BMPC-064-16	11-may-16	\$ 651.00	Mantenimiento de estaciones MW	-	-
BT	BMPC-066-16	17-may-16	\$ 620.00	Instalación y configuración de router Cisco 4321 (SR 16021)	244010002413	26-oct-16
LEVEL 3	BMPC-078-16 v2	28-jun-16	\$ 11,746.00	Atención de averías en estaciones MINEDU - Julio	644102870	23-ago-16
			\$ 17,094.00	Atención de averías en estaciones MINEDU - Agosto	-	-
			\$ 22,151.00	Atención de averías en estaciones MINEDU - Septiembre	-	-
ZTE	BMPC-080-16	15-jul-16	\$ 116.00	Mantenimiento de Nodo B	-	-
BT	BMPC-083-16	07-sep-16	\$ 313.00	Configuración de router Cisco 2911 (SR 16851)	244010002356	07-sep-16
INTERNEXA	BMPC-088-16	25-jul-16	\$ 2,552.00	Suministro de tarjetas para multiplexor O9500R	3700002492	01-ago-16
INTERNEXA	BMPC-095-16	01-sep-16	\$ 1,276.00	Suministro de tarjetas para multiplexor O9500R	3700002525	08-sep-16
INTERNEXA	BMPC-096-16	08-sep-16	\$ 1,276.00	Suministro de tarjetas para multiplexor O9500R	-	-
BT	BMPC-097-16	12-sep-16	\$ 373.50	Instalación y configuración de switch Cisco 3650 (SR-17562)	244010002404	18-oct-16
BT	BMPC-098-16	12-sep-16	\$ 373.50	Instalación y configuración de switch Cisco 3650 (SR-17505)	244010002403	18-oct-16
INTERNEXA	BMPC-100-16	23-sep-16	\$ 628.00	Suministro de transceivers Loop Telecom	3700002546	04-oct-16
LOGICALIS	BMPC-101-16	26-sep-16	\$ 1,668.00	Servicio de cálculo de enlaces - precio mensual (vence 28/10/16)	SNOP51842	27-sep-16
ZTE	BMPC-106-16	11-oct-16	\$ 1,032.00	Instalación de servidores OMMB / EMS	1610-20-01	20-oct-16
			\$ 2,914,239.00			

Resumen de Ventas (S/.) - 2016

CLIENTE	COTIZACIÓN	FECHA	MONTO S/.	DESCRIPCIÓN	ORDEN	FECHA
MGP	BMPC-013-16 v3	21/12/2015	S/. 225,640.68	Sistema satelital con antena autoestabilizada - Ucayali	003-2016-MGP-JESUETEL	05-abr-16
WIGO	BMPC-026-15	30/11/2015	S/. 4,940.00	Estudio técnico de factibilidad	4530915560	14-dic-15
			S/. 1,820.00	Estudio técnico de factibilidad		
ZTE	BMPC-029-15	14/12/2015	S/. 4,751.00	Servicio de instalación de equipos de telecomunicaciones para TELEFONICA	-	-
ZTE	BMPC-008-16 v2	22/01/2016	S/. 3,860.00	Instalación de gabinetes y equipos de telecomunicaciones	-	-
			S/. 3,372.00			
ZTE	BMPC-024-16	26/02/2016	S/. 658.00	Servicios adicionales de la Instalación de gabinetes en Telefónica	-	-
ZTE	BMPC-025-16 v2	26/02/2016	S/. 897.00	Suministro e instalación de barras de cobre y cable para puesta a tierra	-	-
Grupo ROMERO	BMPC-042-16	01/04/2016	S/. 6,025.00	Servicio de instalación de enlace microondas	4530993759	03-oct-16
ZTE	BMPC-085-16	15/07/2016	S/. 700.00	Cableado de red en sede Telefónica	-	-
			S/. 252,663.68			

**CONTRATO DE ADQUISICIÓN DE
RADIOENLACE PARA DICAPI, QUE
CELEBRAN EL MINISTERIO DE DEFENSA -
MARINA DE GUERRA DEL PERÚ - SUB
UNIDAD EJECUTORA 12: "TELEMÁTICA"
CON LA EMPRESA BMP CONSULTING
S.A.C.**



CONTRATO N° 005-2014-MGP/JESUETEL
ADQUISICIÓN DIRECTA PÚBLICA N° ADP-001-2014-MGP/JESUETEL

CONTRATO PARA LA ADQUISICIÓN DE EQUIPOS DE COMUNICACIONES MATERIAL Y ACCESORIOS, QUE CELEBRAN EL MINISTERIO DE DEFENSA – MARINA DE GUERRA DEL PERÚ – SUB UNIDAD EJECUTORA 12: "TELEMÁTICA" CON EL CONSORCIO BMP INGENIEROS S.A. – BMP CONSULTING S.A.C.

CONTRATO N° 015-2014-MGP/JESUETEL
LICITACIÓN PÚBLICA LP-0005-2014-MGP/JESUETEL



CONTRATO PARA LA ADQUISICIÓN DE SISTEMA SATELITAL CON ANTENA AUTOESTABILIZADA Y EQUIPOS RADIALES, QUE CELEBRAN EL MINISTERIO DE DEFENSA – MARINA DE GUERRA DEL PERÚ – SUB UNIDAD EJECUTORA 12: “TELEMÁTICA” CON EL CONSORCIO BMP INGENIEROS S.A. – BMP CONSULTING S.A.C.

CONTRATO N° 037-2014-MGP/JESUETEL
ADJUDICACIÓN DIRECTA PÚBLICA ADP-0004-2014-MGP/JESUETEL



CONTRATO PARA LA ADQUISICIÓN DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES ESPECIALES Y SATELITALES PARA LAS BASES DE CONTROL FLUVIAL, QUE CELEBRAN EL MINISTERIO DE DEFENSA – MARINA DE GUERRA DEL PERÚ – SUB UNIDAD EJECUTORA 12: "TELEMÁTICA" CON EL CONSORCIO BMP INGENIEROS S.A. – BMP CONSULTING S.A.C.

CONTRATO N° 041-2014-MGP/JESUETEL
LICITACIÓN PÚBLICA LP-0009-2014-MGP/JESUETEL



CONTRATO PARA LA ADQUISICIÓN DE EQUIPAMIENTO SATELITAL Y TELEMÁTICO PARA EL B.A.P. TACNA, QUE CELEBRAN EL MINISTERIO DE DEFENSA – MARINA DE GUERRA DEL PERÚ – SUB UNIDAD EJECUTORA 12: "TELEMÁTICA" CON EL CONSORCIO BMP INGENIEROS S.A. – BMP CONSULTING S.A.C.

CONTRATO N° 057-2014-MGP/JESUETEL

ADJUDICACIÓN DE MENOR CUANTÍA AMC-015-2014-MGP/JESUETEL DERIVADA DE LA LICITACIÓN PÚBLICA LP-0011-2014-MGP/JESUETEL

CONTRATO DE LOCACIÓN DE SERVICIOS
CH-115-2015

Conste por el presente documento el Contrato de Locación de Servicios (el "Contrato") que celebran de una parte:

EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CHEVES S.A., con RUC N° 20269180731, con domicilio en Av. Pardo y Aliaga N° 652, Of. 202, San Isidro, Lima, debidamente representada por los señores Juan Antonio Rozas Mory, identificado con DNI N° 07867123 y Álvaro Antonio Porturas Ingunza, identificado con DNI N° 09340737, ambos facultados según poderes inscritos en la Partida Electrónica N° 00179957 del Registro de Personas Jurídicas de Lima, a quien en adelante se le denominará "CHEVES"; y, de la otra parte; **CHEVES**

BMP INGENIEROS S.A., con RUC N° 20100447747, con domicilio en Nro. 645 Urb. Corpac, San Borja, Lima, debidamente representada por el señor Marcial Walter Melgarejo Palacios, identificado con DNI N° 10322468, según poderes inscritos en la Partida Electrónica N° 01214349 del Registro de Personas Jurídicas de Lima, a quien en adelante se le denominará el "**LOCADOR**".

CHEVES y el **LOCADOR** podrán ser denominados de manera conjunta como las "Partes" e individualmente como la "Parte".

Las Partes suscriben el presente Contrato en los términos y condiciones siguientes:

PRIMERA: **ANTECEDENTES**

- 1.1 **CHEVES** es una empresa dedicada a la generación y comercialización de energía eléctrica, que requiere el suministro, instalación y puesta en servicio de nuevos enlaces de microondas para las Zonas Norte y Centro, de sus Operaciones, así como la mejora del enlace de microondas existentes La Oroya – Lima, integrados a la Red de Telecomunicaciones de **CHEVES**.
- 1.2 El **LOCADOR** es una empresa contratista independiente dedicada, entre otras cosas, a la prestación de servicios como los requeridos por **CHEVES**, para lo cual cuenta con la experiencia, personal propio, autonomía técnica, económica y operativa que lo hacen apto para prestar los servicios materia del Contrato.

SEGUNDA: **OBJETO**

- 2.1 Por el presente documento, el **LOCADOR** se obliga frente a **CHEVES** a prestarle servicios de Instalación y puesta en servicio así como la adquisición del equipamiento involucrado en el alcance descrito en cláusula 1.1 (los "Servicios"). Los Servicios se describen con mayor detalle y amplitud en el Anexo N° 1 de este Contrato, que debidamente suscrito por ambas Partes, forma parte integrante del presente Contrato.

- 2.2 El **LOCADOR** declara expresamente que cuenta con la capacidad técnica, financiera y legal, así como con las autorizaciones, licencias y permisos requeridos para prestar los Servicios de manera autónoma, eficiente y oportuna, siendo esta declaración esencial a efectos de que **CHEVES** haya decidido celebrar este Contrato.

A tal efecto, el **LOCADOR** declara haber estudiado cuidadosamente y conocer todo lo concerniente a la naturaleza del Contrato y a los lugares en donde se ejecutarán los



Anexo 1

El proyecto comprende el suministro y la instalación de los enlaces de microondas digitales conformados por diferentes saltos que se indican a continuación:

- Enlace de Microondas CH Cahua - C° Lomo Largo.
- Enlace de Microondas C° Lomo Largo - SEPANU.
- Enlace de Microondas C° Junín - C° Jaital.
- Enlace de Microondas C° Jaital - Paragsha I.
- Enlace de Microondas C° Jaital - Excelsior.

Asimismo, este documento establece los requerimientos adicionales para la adecuación, ampliación y mejoras de la capacidad y funcionalidad de los siguientes enlaces existentes:

- Enlace de Microondas La Oroya – C° Oroya – C° Santa Fe – C° Suche – Of. Lima.
- Enlace de Microondas La Oroya - C° Oroya – C° Junín.

Las estaciones de C° Jaital, Paragsha I, Excelsior, C° Lomo Largo y SEPANU son infraestructuras nuevas a implementar, por lo que se deberá tener presente esta consideración en los cálculos, instalaciones y puesta en servicio.

El sistema será adquirido en la modalidad de “Llave en Mano” y deberá entregarse operando correctamente y con todos los canales, las dimensiones y los servicios requeridos.

El presente proyecto está constituido por los siguientes sistemas:

- Microondas.
- Energía.
- Obras Civiles.



FRAMEWORK SUBCONTRACT AGREEMENT

FOR

Peru DTV Project

BETWEEN

[REDACTED]

AND

BMP CONSULTING S.A.C.

Agreement No.: [REDACTED]



CONTRATO DE LOCACION DE SERVICIOS

Conste por el presente documento el Contrato de Locación de Servicios (en adelante, el "Contrato") que celebran de una parte **LEVEL 3 PERU S.A.**, identificada con Registro Único de Contribuyente No. 20252575457, con domicilio en Av. Manuel Olgúin No. 395, Distrito de Santiago de Surco, provincia y departamento de Lima, Perú, debidamente representada en este acto por los Señores Gianni Hanawa Makabe, identificado con Documento Nacional de Identidad No. 10286085, y el señor Juan José Calderón Medina, identificado con Documento Nacional de Identidad No. 09852630, según poderes inscritos en la Partida Electrónica No. 00268305 del Registro de Personas Jurídicas de la Oficina Registral de Lima, apoderados que firman al pie de la presente, en adelante, "**LA CONTRATANTE**", y por la otra parte **BMP Consulting S.A.C.**, con RUC N° 20512573160, con domicilio en Urb. La Capilla, Calle Alameda Del Corregidor Nro. 2030 Oficina 101, La Molina, representada por su Gerente General, señor Patrick Bertrand Melgarejo Vásquez, identificado con DNI 40013080, según poderes inscritos en la Partida N° 11838945 del Registro de Personas Jurídicas de la Oficina Registral de Lima, a quien en adelante se le denominará "**EL LOCADOR**", en los términos y condiciones siguientes:

PRIMERA: ANTECEDENTES

LA CONTRATANTE es una empresa constituida con arreglo a las leyes peruanas, cuyo objeto social consiste en desarrollar actividades vinculadas a la industria de las telecomunicaciones.

LA CONTRATANTE está interesada en contratar a una empresa que le preste los servicios de:

- Servicio de Instalación 1,303 estaciones VSAT en las ubicaciones detalladas en el Anexo C
- Servicio de Outsourcing del soporte centralizado
- Servicio de empaque, transporte y almacenamiento, en adelante el "SERVICIO".

El LOCADOR es una empresa constituida conforma a las leyes del Perú, cuyo objeto social consiste en prestar los servicios especializados de Integración de Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones.

SEGUNDA: OBJETO

En virtud del presente instrumento, LA CONTRATANTE contrata al LOCADOR, bajo la modalidad de locación de servicios, según lo disponen los artículos 1764° y siguientes del Código Civil, para que éste preste el SERVICIO, cuyas características se detallan en los documentos referidos más adelante.

Por su parte, el LOCADOR acepta prestar el SERVICIO única y exclusivamente bajo la modalidad señalada y de acuerdo a las condiciones pactadas en este documento, de tal forma que el mismo tiene naturaleza meramente civil y no implica en los hechos ni en derecho relación de subordinación ni dependencia alguna. El SERVICIO se prestará de acuerdo a las características establecidas en el presente Contrato y los documentos que se detallan a continuación, los cuales son parte integrante del mismo:

- Anexo A: Condiciones Generales y Descripción de los Servicios
- Anexo B. Procedimiento de Instalación
- Anexo C. Lista de Instituciones Educativas
- Anexo D: Peru - Proced Ingreso para Clientes Residentes y Contratistas.docx
- Anexo E. Propuesta Económica. BMPC-027-16 LVL3 v5
- Anexo F. Propuesta Técnica. BMPC

DokuOrder ID: 6132912



ACTA FINAL DE CONFORMIDAD

Lima, 01 de agosto de 2016

Por medio de la presente comunicamos que la empresa BMP CONSULTING S.A.C. con dirección legal en la Calle Alameda del Corregidor Nro. 2030 Oficina 101, La Molina, Lima, Perú, ha ejecutado a conformidad y sin penalidades, el Contrato de Locación de Servicios por la instalación de 1,303 estaciones VSAT a nivel nacional de acuerdo a la siguiente descripción:

Contrato de Locación de Servicios: Instalación de 1,303 estaciones VSAT en instituciones educativas a nivel nacional.

Fecha de firma de contrato: 10 de marzo de 2016

ORDEN DE COMPRA	DESCRIPCIÓN	MONTO US\$ (SIN I.G.V.)
644102359	Servicio de Instalación de 1,303 estaciones VSAT Servicio de Outsourcing del soporte centralizado.	US\$ 1'719,960.00
644102367	Servicio de empaque, transporte y almacenamiento de 1,303 estaciones VSAT a nivel nacional.	US\$ 677,560.00

Se remite el presente certificado a solicitud de BMP CONSULTING S.A.C., para los fines que estime pertinentes.

Atentamente,



Nombre : Paul Cosme
Cargo : Gerente de Instalaciones
Teléfono : 705-5748

ANEXO 2 – Tipos de redundancia óptica

Loop-O9400R Topology and Protection Schemes

By Dr. John W. Pan

Overview of Protection Schemes

A protection scheme tells the system beforehand how to recover during a circuit failure. This recovery is controlled by the network elements themselves – this method results in recovery times on the order of milliseconds compared to a few minutes if done manually by a human. There are several protection methods using back-up circuits for SDH that are defined by ITU-T recommendations. It is worth highlighting some of these SDH path protection methods: multiplex section protection (line), multiplex section dedicated protection (ring), and multiplex section shared protection (ring).

This paper describes two kinds of topology protection schemes available in the **Loop-O9400R**.

1. **MSP (Multiplexer Section Protection) 1+1**

In this protection scheme an entire span (including all timeslots traveling on that span) is protected. For SDH that span is defined as a *multiplexer section*. For SONET it is defined as a *line*.

2. **SNCP (Sub-Network Connection Protection)**

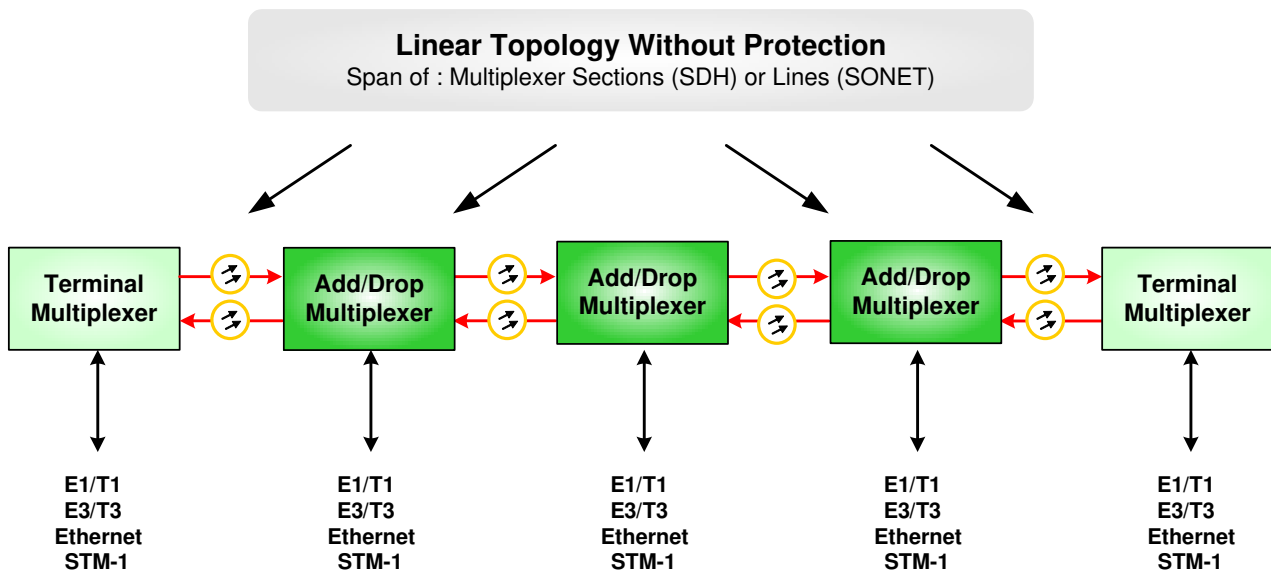
This is usually called UPSR (Unidirectional Path-protection Self-healing Ring). Basically, in SNCP/UPSR protection an individual tributary (dual-fed into different paths on the Tx side) can be protected by path selectors at the path termination points on the Rx side.

In the sections below, this paper describes signal transmission and protection schemes in different topologies for the Loop-O9400R. It also describes the relative merits of transmitting signals without protection, with MSP 1+1 protection, with SNCP/UPSR protection and with a combination of SNCP/UPSR and MSP protection.

Eight configurations are shown in the following pages. Configurations 1 and 2 are linear topologies. Configurations 3, 4, 5 and 6 are ring topologies. Configurations 7 and 8 are ring protection

Configuration 1: Linear Topology without Protection

This configuration is very practical when there is a linear geographic limit to the client's NE (Network Element) layout and fiber availability is limited.



Add/Drop Capacity

TM = 252 E1 (Limiting factor is STM-4 capacity)

ADM = 378 E1 (Limiting factor is the add/drop capacity of the 63 x 6 E1 cards.)

Advantages

A simple, two (2) fiber layout

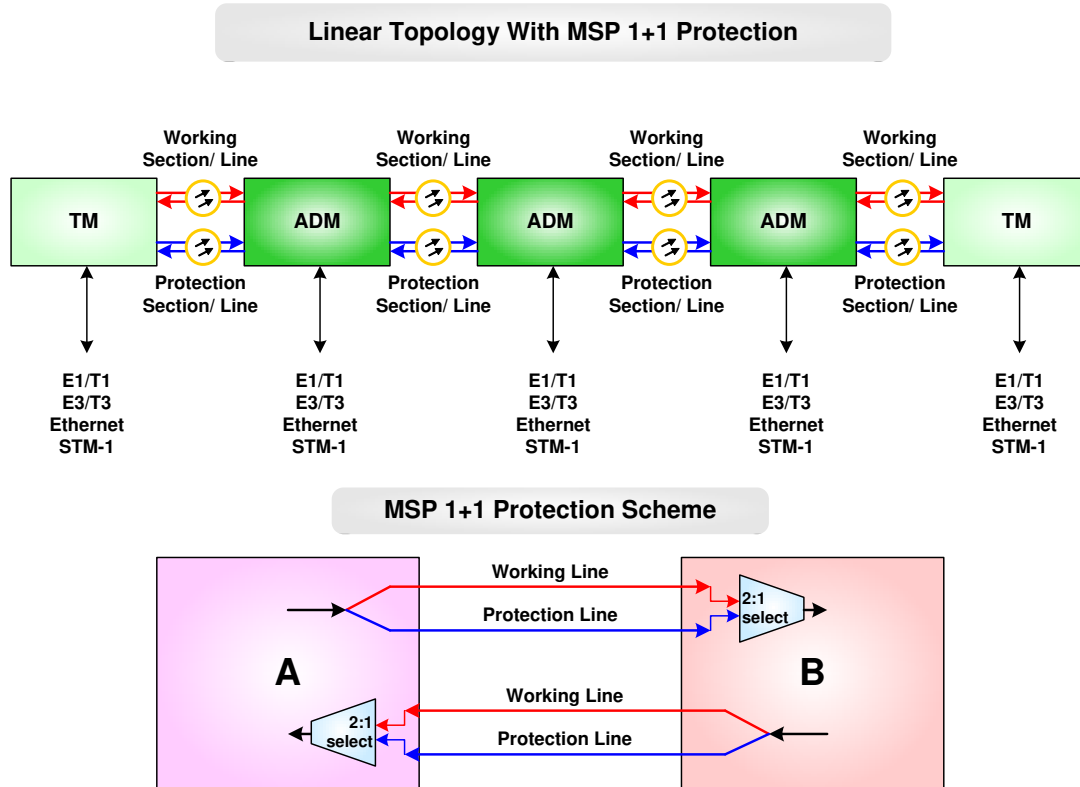
Downsides

No protection against a fiber cut and/or optical circuit pack failure

Configuration 2: Linear Topology With MSP (1+1) Protection

This configuration is ideal in a linear topology with spare fiber available. The client can benefit from both protection against a fiber cut and protection against optical circuit pack failure.

In the A→B direction, the whole outgoing payload is dual-fed into both the working section/line and the protection section/line at node A. The payloads from both sections are received at node B. Based on the integrity and algorithm provided by the Multiplex Section embedded inside the transport frame, only one of the payloads will be selected and used at node B. This is how MSP 1+1 works. Note that the paths or sub-channels within the Multiplexing Section are treated as a whole pipe, in terms of the MSP 1+1 protection. The payload of the selected pipe is either from the working section/line or from the protection section/line.



Add/Drop Capacity

TM = 252 E1's with MSP protection (Limiting factor is STM-4 capacity)

ADM = 378 E1's with MSP protection (Limiting factor is the add/drop capacity of the 63 x 6 E1 cards.)

Advantages

All tributary traffic is protected against a fiber cut and/or optical circuit pack failure

Downsides

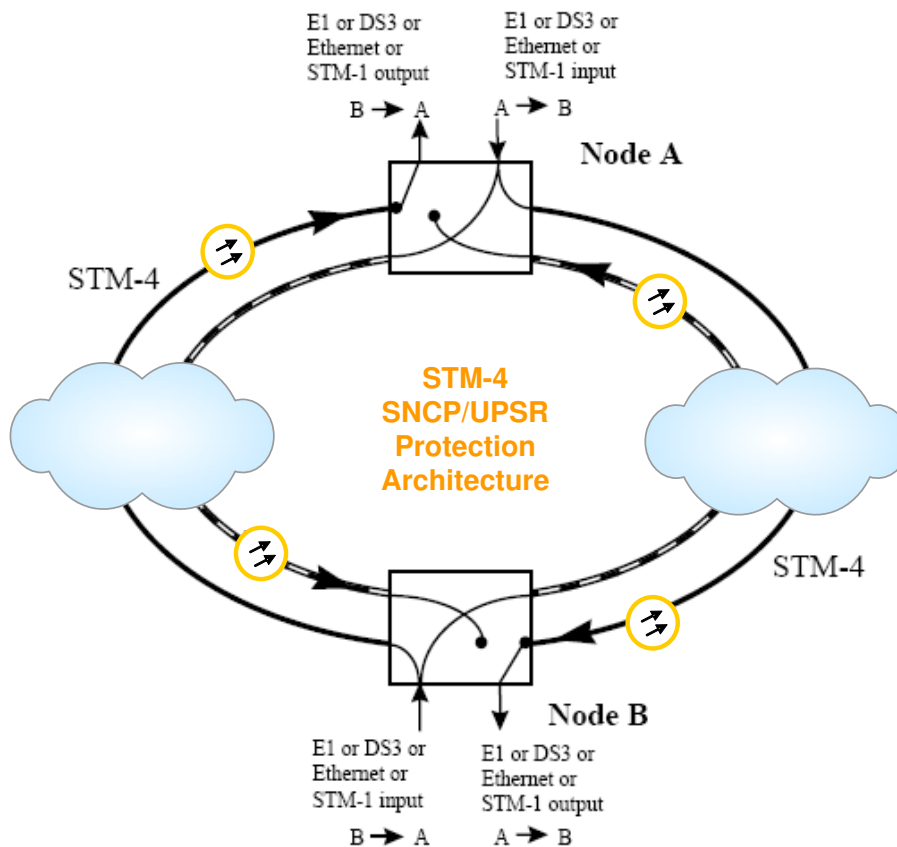
Four (4) fibers are required. Maximum 252 E1's capacity at head ends (TMs)

NOTE To achieve the best protection possible, working fibers should take different routes in different fiber bundles

Configuration 3: Ring Topology with SNCP/UPSR Protection

This configuration is useful to clients wanting full path protection in a ring topology.

In the B→A direction, at Node B the tributary traffic is fed into both the working path and the protected path. Both of these paths are received at Node A. Only one of them will be selected and fed to the output of the tributary. If one of the traffic paths fails to make it to Node A because of a fiber cut or other problems, the path selector inside of Node A will switch to the active path. Each tributary in the node has a path selector associated with it. The path selectors are independent of each other. Assume if all the tributaries are E1 and all are provisioned with path protection, the maximum add/drop capacity of the whole STM-4 ring is 252 E1's.



Add/Drop Capacity

252 E1's with SNCP/UPSR protection (Limiting factor is the bandwidth of the STM-4 aggregate line.)

Advantages

Two (2) fibers only, well protected against a fiber cut and optical circuit pack failure.

Downsides

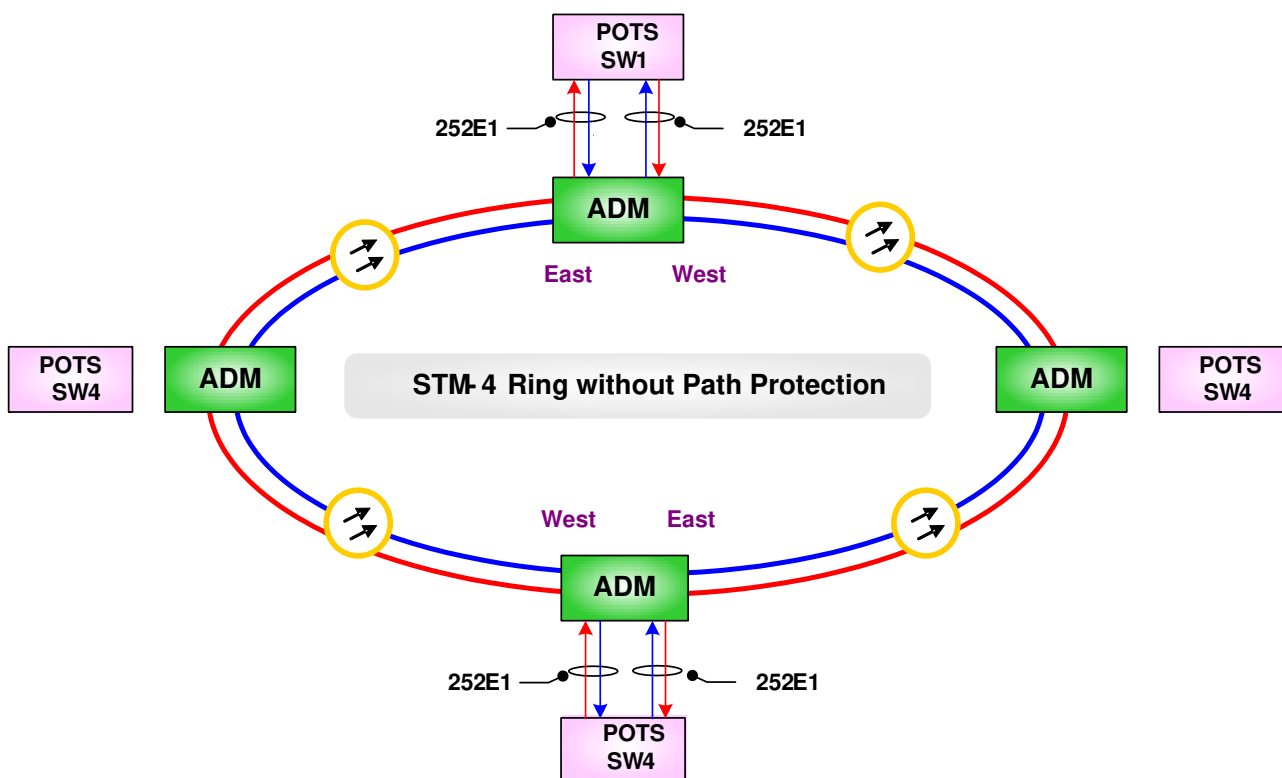
Ring topology is a must

NOTE To achieve the best protection schemes possible, working fibers should take different routes in different fiber bundles

Configuration 4: Ring Topology Without Protection

This configuration is useful to clients who require a maximum add/drop capacity of 378 E1's at a node in a ring topology.

This application assumes a case where there is a traffic flow of more than 252 E1's between POTS SW1 and POTS SW4. The E1 tributary adding to or dropping from the **O9400R** can be set up in a way that no SNCP/UPSR protection is configured. Theoretically, the maximum capacity between POTS SW1 and POTS SW4 is 504 E1's without SNCP/UPSR dual-feed protection in a ring topology like this. 252 E1's travel through the EAST side, while the other 252 E1's travel through the WEST side. When there is a fiber cut anywhere in the ring, half of the traffic between SW1 and SW4 will be gone, but the other half will be unaffected.



Add/Drop Capacity

378 E1's without protection (Limiting factor is the number of E1 cards on O9400R)

Advantages

Two (2) fibers only; maximum number of E1's is 252

Downsides

Ring topology is a must. Half of the traffic will be affected when fiber cut.

Configuration 5: Ring Topology With and Without Protection

This configuration is useful for clients who need more than 252 E1 throughput. While still staying with the STM-4 ring, this scheme has mixed traffic types – some with explicit SNCP/UPSR protection and some without.

It is possible to set up an **O9400R** network that combines Configuration 3 and Configuration 4 in a ring topology where the client can determine what to protect and what not to protect. The advantage of this system is that vital traffic flow can be protected (at a cost of otherwise available E1s) while leaving other paths or lines unprotected and thus fully utilized to carry non-vital traffic. This way, the client protects what needs to be protected, and gains back some capacity in the unprotected areas. It is a flexible network well suited to the needs of some clients.

Add/Drop Capacity

63 to 378 E1's (Limiting factor is the number of E1 cards on O9400R)

Advantages

Two fibers only; adding/dropping more than 252 E1's per node

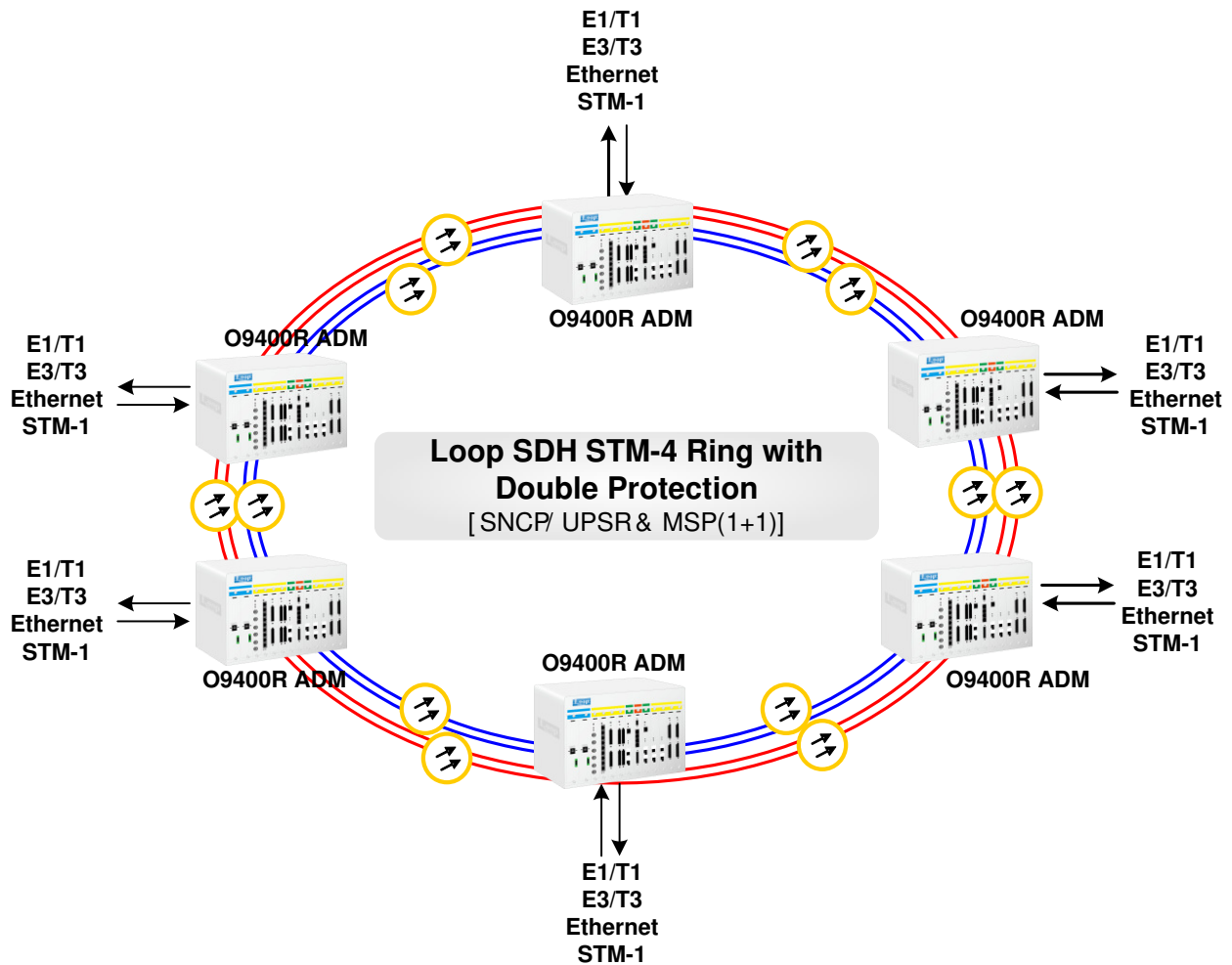
Downsides

Ring topology is a must. Half of the traffic without protection will be affected when a fiber is cut.

NOTE To achieve the best protection schemes possible, working fibers should take different routes in different fiber bundles

Configuration 6: Ring Topology with Both MSP (1+1) and SNCP/UPSR Protection

This configuration is useful for clients who need thorough protection against double fiber cuts and optical circuit pack failure.



Add/Drop Capacity

252 E1's with double protection (Limiting factor is the bandwidth of the STM-4 aggregate line.)

Advantages

Double protection is provided by SNCP/UPSR and MSP

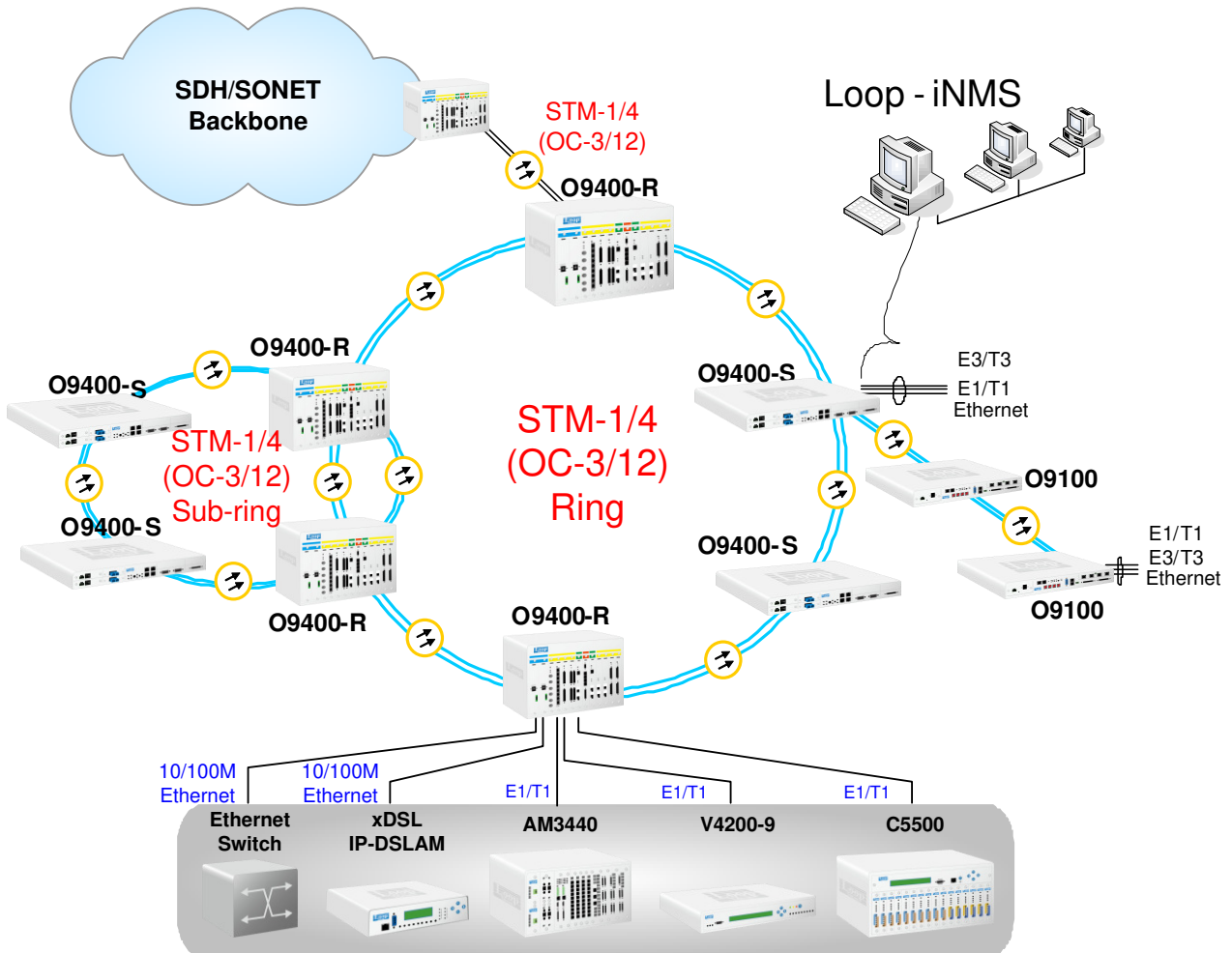
Downsides

Ring topology is a must; four (4) fibers are necessary

NOTE To achieve the best protection schemes possible, working fibers should take different routes in different fiber bundles

Configuration 7: Ring and Sub-Ring Protection

This configuration provides protection against fiber cuts and optical circuit pack failure for both the ring and sub-ring.



Add/Drop Capacity

252 E1's with SNCP/UPSR protection (Limiting factor is the bandwidth of the STM-4 aggregate line.)

Advantages

All tributary traffic is protected against a fiber cut and optical circuit pack failure.

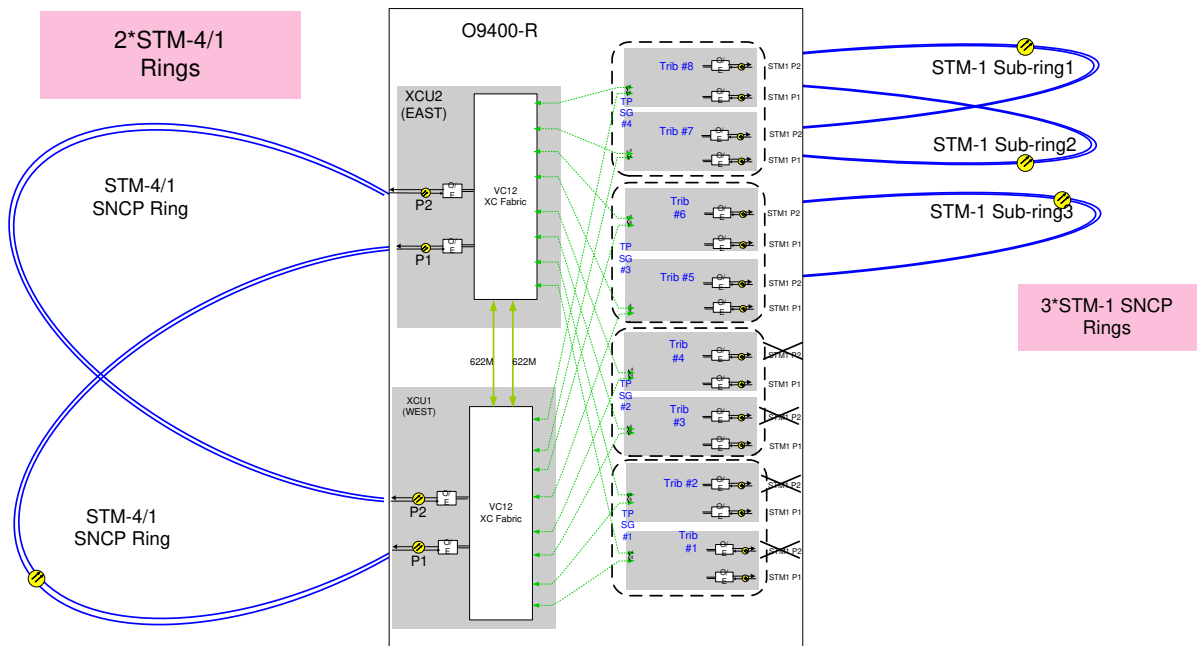
Downsides

Two (2) fibers are required for each ring

NOTE To achieve the best possible protection, working fibers should take different routes in different fiber bundles

Configuration 8: Five Ring Protection

This configuration uses two STM-4 rings and three STM-1 rings to provide protection against fiber cuts and optical circuit pack failure.



Add/Drop Capacity

252 E1's with SNCP/UPSR protection (Limiting factor is the bandwidth of the STM-4 aggregate line.)

Advantages

All tributary traffic is protected against a fiber cut and optical circuit pack failure.

Downsides

Ten (10) fibers are required

NOTE To achieve the best possible protection, working fibers should take different routes in different fiber bundles

ANEXO 3 – Modelo de TSS para enlaces microondas

INFORME DE RELEVAMIENTO

Tecnología	MICROONDAS
-------------------	-------------------

Lenar las celdas en verde.

INFORMACIÓN GENERAL:			
EAIM:	BMP Consulting S.A.C.	Fecha de Ejecución:	jue/29/09/2016
Respons. Implem (Level 3):	TOMAS ROMAN	Fecha de Informe:	jue/29/09/2016
OS (Orden de Servicio)	6300073	Técnico EAIM:	EDDY GONZALES
Revisado por (EAIM):	JOHN CARRERA		

INFORMACIÓN BÁSICA DEL SITIO REMOTO (CLIENTE):			
Razón Social:	COMPAÑIA PERUANA DE RADIO DIFUSIÓN (AMERICA TV)	Propiedad:	Propio
Sede del cliente:	PIURA	Latitud:	5° 11' 42.89" S
Dirección:	Av. Miguel Grau 580	Longitud:	80° 37' 49.70" O
Distrito	PIURA	Altitud:	34 m.s.n.m.
Departamento:	PIURA	Número de pisos del local:	2 m.s.n.m.
Referencia:	AMERICA TV	Altura total del Local:	6 m.s.n.m.
Contacto:	FREDDY MIÑAN	Tipo de Inmueble:	Greenfield
Cargo:	Soporte de TI		
Celular:	976- 926-599 /073 326871 Anexo 6505	Coordenadas en Grados	-5.195247°
e-mail	fminan@americatv.com.pe		-80.630472°

ESCENARIOS LOS:

Hacia Nodo:	Internexa Piura
Latitud:	05° 10' 05,94" S
Longitud:	80° 41' 53,58" O
Altitud:	34 m.s.n.m.

Requerido en el lado cliente:	
Tipo de Inmueble:	Greenfield
Distancia hacia el Nodo:	8.08 Km.
Número de pisos del local:	2.0 m.
Altura total del Local:	6.0 m.
Estruct. recomendada	Torre
Altura de estruct. Recomen.:	60.0 m.
Altura a ubicar la Antena:	34.0 m.

Hacia Nodo:	
Latitud:	#N/A
Longitud:	#N/A
Altitud:	#N/A

Requerido en el lado cliente:	
Tipo de Inmueble:	
Distancia hacia el Nodo:	
Número de pisos del local:	
Altura total del Local:	
Estruct. recomendada	
Altura de estruct. Recomen.:	
Altura a ubicar la Antena:	

Hacia Nodo:	
Latitud:	#N/A
Longitud:	#N/A
Altitud:	#N/A

Requerido en el lado cliente:	
Tipo de Inmueble:	
Distancia hacia el Nodo:	
Número de pisos del local:	
Altura total del Local:	
Estruct. recomendada	
Altura de estruct. Recomen.:	
Altura a ubicar la Antena:	

1



SISTEMA RADIANTE Y ANCLAJE:

Tecnología	MICROONDAS
Estruct. Recomendada:	Torre
Diametro de la Antena:	60.0 cm.
Tipo de Cable:	RG8
Logintud del Cable IF:	60.0 m.

Datos de la Azotea			
Altura:	6.0 m.	Estado de Superficie:	OPTIMO
N° de Pisos:	2		
Estructura:	CONCRETO		
Superficie:	PISO LISO		

Estecificación de la Torre	
Cliente cuenta con Torre?	SI
Se encuentra en buen estado?	SI
Tipo de Torre?	AUTOSOPORTADA
Alt. total de la Torre:	60.0 m.
Alt. total de Torre Recomen.:	60.0 m.

Emisiones Interferentes	
Emisiones interferentes:	NO
Otras antenas presentes:	NO
Frecuencia de trabajo:	-

SALA DE COMUNICACIONES:

En Sala		Piso:	
Espacio en la Sala:	SI		1
Espacio en el Rack:	SI	Capacidad Libre:	
UPS 220VAC:	SI	Capacidad Libre:	
Rectificador 48Vdc.	NO	Capacidad Libre:	
Punto a tierra en el rack:	SI	Distancia:	3.0 m.
Aire Acondicionado	SI	Temperatura:	

Equipos de Comunicaciones de VOZ del cliente	
Marca y modelo de la PBX:	NO
Tipo de PBX:	NO
Empresa de Soporte de PBX:	NO
Tipo de Interface:	NO
Nº de líneas disponibles:	NO
Dist. equipos y la PBX:	NO

Equipos de Comunicaciones de DATOS del cliente	
Clase de equipo:	-
Interface LAN:	-
Interface serial síncrona:	-
Interface serial asíncrono:	-
Distancia hacia los equipos:	-

SISTEMA DE ENERGIA Y ESTABILIDAD ELÉCTRICA:

Sistema de Puesta a Tierra		Se pudo medir SPAT?	
Existe SPAT?	SI		SI
Cantidad de SPAT:	1	Medición del SPAT:	2.01 Ohm.
Hay conexión hacia un tablero?	SI	Se encuentran sintonizados?	NO
Hay conexión hacia el rack?	SI	Calibre:	12.0 AWG.
Hay conexión hacia la PBX?	NO	Calibre:	-
Dist. PBX aterrado más cercano:	NO	Calibre:	-

MEDICIONES DE VOLTAJE:

UPS		Toma Comercial	
Línea - Neutro	-	Línea - Neutro	220.3 VAC.
Neutro - Tierra	-	Neutro - Tierra	102.5 VAC.
Línea - Tierra	-	Línea - Tierra	129.7 VAC.

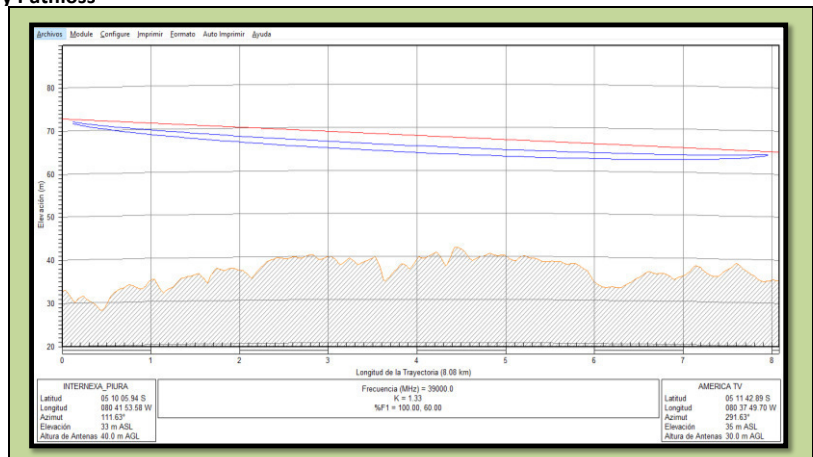
PARÁMETROS Y CÁLCULOS DE INGENIERÍA:

Cálculo basados con base de datos de Google earth y Pathloss

Hacia Nodo:	Internexa Piura
Latitud:	05° 10' 05,94" S
Longitud:	80° 41' 53,58" O
Altitud:	34 m.s.n.m.
Dist. Cliente - Nodo:	8,08 km.

Cliente:		
Latitud:	5° 11'	42.89" S
Longitud:	80° 37'	49.70" O
Altitud:	34 m.s.n.m.	
Se aprueba la ubicación?	SI	
Se requiere de loza especial?	NO	
Hay obstáculos en el enlace ?	NO	

Observaciones:



CALCULO DEL ENLACE:

Hacia Nodo: Internexa Piura

Path calculation 1-6		Date:	29/09/2016	
Project: ENLACE MICROONDAS				
Site A: INTERNEXA PIURA		Site B: AMERICA TV		
exact longitude/latitude of each site				
Radio Capacity:	4 Mbps			
Annual temperature:	20 °C			
Rain zone*:	E	22 mm/h		
	Degrees'	Minutes'	Seconds''	
Latitude A:	5	10	5,94	S
Longitude A:	80	41	53,58	W
Latitude B:	5	11	42,89	S
Longitude B:	80	37	49,7	W
Calculated Distance:	8,087 km			
Transmitter power:	27 dBm			
Frequency:	10,5 GHz			
Antenna A height over sea level:	73 m			
Antenna B height over sea level:	65 m			
Domhat antennas (automated antenna gain input)				
Antenna A:	0,6 m	34,6 dBi		
Antenna B:	0,6 m	34,6 dBi		
Losses:	2 dB			
Received signal level:	-37,01 dBm			
Fade margin:	* at 10-3	49,9912 dB		
	* at 10-6	47,9912 dB		
Automated Rx Threshold Input				
Rx Threshold:	* at 10-3	-87 dBm		
	* at 10-6	-85 dBm		
Multipath Availability (%):	Vert	Hor		
* at 10-3	100	100		
* at 10-6	100	100		

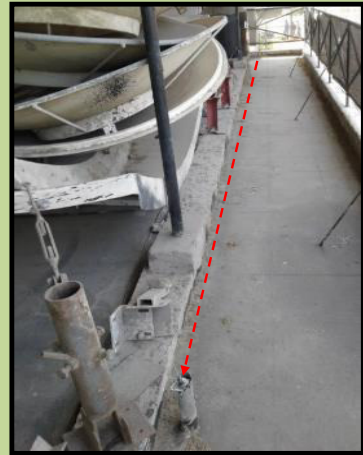


UBICACIÓN DE EQUIPO EXTERNO Y
RECORRIDO VERTICAL Y HORIZONTAL EXTERNO PROPUESTO:

1



2



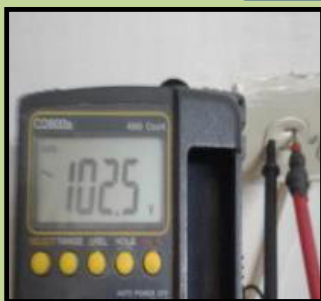
3 MEDICIÓN DE SPAT Y ELECTRICAS



LINEA - NEUTRO



LINEA - TIERRA



NEUTRO - TIERRA

UBICACIÓN DE EQUIPO INTERNO PROPUESTO:

Ubicación de ambiente: 1 Data Center 1er piso

1



UPS 2000 VA

RESPONSABILIDADES DE LA INSTALACIÓN:

1. Rack de comunicaciones	CLIENTE
2. PAT en el rack	CLIENTE
3. Toma rack con PAT	CLIENTE
4. Sistema de aire acond.	CLIENTE
5. UPS con energía estabilizada	CLIENTE
6. Rectificador de 48Vdc.	LEVEL3
7. Soporte de antena	LEVEL3

8. Bandeja de 19"	LEVEL3
9. Regleta múltiple de energía	LEVEL3
10. Platina de tierra para rack	LEVEL3
11. Cableado a la red del cliente	CLIENTE
12. Canaliz. externas del cableado	LEVEL3
13. Canaliz. internas del cableado	LEVEL3
14. Canaliz. del SPAT	CLIENTE

OBSERVACIONES FINALES:

Longitud del Cable IF a emplear: **60 m.**

Se requiere escalera telescópica	SI
Se requiere andamios?	NO
Cliente indica ubicación del SPAT?	SI
Se Requiere Prevencionista	NO
Se Requiere Soporte de Torre	SI

N° de cuerpos de andamios: **0**

AX01047

Cliente cuenta con:

A/A en el ambiente donde irían los equipos?	SI
Toma 220VAC con punto a tierra cercano a la ubicación del Equipo Interno?	SI
UPS de 1.5 KV o 2 KV disponible para los equipos a instalar?	SI
Toma 220VAC estabilizada cercano a la ubicación del Equipo Interno?	NO
Sistema Puesta a Tierra menor a 5 Ohm y Pararrayos	SI
Aterramiento al Rack de Comunicaciones	SI
Gabinete de Equipos	SI
Espacio en el Gabinete	SI

OBSERVACIONES ADICIONALES:

- 1.- Como se observa se tiene linea de vista al Nodo Internexa a una altura de aproximadamente 30 metros, el cliente cuenta con torre autoportada desde la cual se hizo la toma de fotos para la linea de vista, se recomienda instalar a una altura de 34 mts de la Torre del cliente, cliente deberá validar desde la sede de Lima la utilización de su Torre para los equipos externos de Level 3. Se recomienda instalar la antena lado Nodo a una altura de 40 mts de la Torre.
- 2.- Se requiere aproximadamente 60 metros de cable RG y de cable a tierra, con una canalizacion de 18 metros (6 tubos de pvc de 2" de 3 metros de longitud c/u y 9 codos de pvc). Y una canaleta para interior. Recorrido del cableado externo y interno fue validado por el Sr. Freddy Miñan.
- 3.- Cliente queda comprometido a realizar un agujero en su ventana para el ingreso del cableado a la sala de equipos, cliente cuenta con gabinete de equipos, cuenta con espacio en su gabinete para la instalación de los equipos internos de Level 3, cuenta con UPS, se realiza la medición del PAT estando dentro del estándar de level 3, se realiza la medición de voltaje desde la toma comercial el cual se encuentra fuera de estándar, se recomienda realizar mantenimiento a su sistema eléctrico y la instalación de un transformador de aislamiento por parte de Level 3, para realizar los trabajos en sede es necesario contar con los EPP'S completos, copia del seguro SCTR, las coordinaciones del presente estudio fuerón realizadas con el Sr. Freddy Miñan de America TV.

CONCLUSIÓN DEL RELEVAMIENTO:

El enlace es Factible? **SI**

Si es factible, a continuación se indican los nodos a enlazar por orden de prioridad:

El enlace es Factible con el Nodo (prioridad 1):	Internexa Piura
El enlace es Factible con el Nodo (prioridad 2):	Ninguno
El enlace es Factible con el Nodo (prioridad 3):	Ninguno

UBICACIÓN DEL CLIENTE

Dirección :

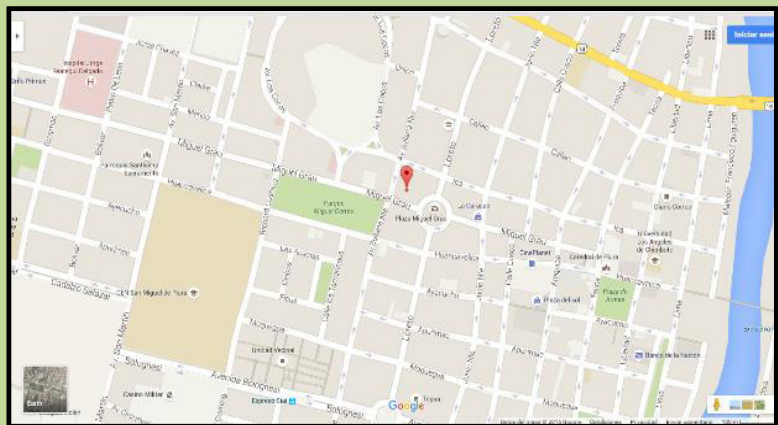
Prolongación Avenida Grau A s/n

Referencias :

Alt. De la Refinería.

Coordenadas:

5°	11'	42.89"	S
80°	37'	49.70"	O



ANEXO 4 – Plan Nacional de Atribución de Frecuencias

DISPOSICIONES DE RADIOCANALES

(CANALIZACIONES)

PARA LOS SERVICIOS DE

TELECOMUNICACIONES

(1ª Parte)

INDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	4
Banda 535- 1 605 kHz (Servicio de radiodifusión sonora en onda media).....	5
Banda 88 -108 MHz (Servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada).....	6
Banda 54 – 746 MHz (Servicio de Radiodifusión por televisión).....	7
Bandas 380-385 MHz y 390-395 MHz (Servicio móvil).....	8
Bandas 412-420 MHz y 422 – 430 MHz (Servicio móvil de canales múltiples de selección automática - troncalizado).....	12
Bandas 452,5 – 457,5 MHz y 462,5 – 467,5 MHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico).....	15
Bandas 462,55 – 462,725 MHz y 467,55 – 467,725 MHz (Servicio colectivo familiar).....	15
Bandas 806-821 MHz y 851 – 866 MHz (Servicio móvil de canales múltiples de selección automática - troncalizado).....	16
Bandas 821-824 MHz y 866 – 869 MHz (Servicio móvil de canales múltiples de selección automática - troncalizado).....	20
Bandas 824 - 849 MHz y 869 –894 MHz (Servicio telefónico móvil).....	22
Banda 1 427 – 1 524 MHz (Servicio fijo).....	22
Bandas 1 850 – 1 910 MHz y 1 930 – 1 990 MHz (Servicios públicos móviles y/o fijos).....	23
Banda 1 910 - 1 930 MHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico).....	23
Banda 2 200 – 2 400 MHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico).....	23
Banda 3 400 – 3 600 MHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico).....	24
Banda 4 400 - 5 000 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales).....	24
Banda 5 925 - 6 425 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales).....	25
Banda 6 430 - 7 110 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales).....	25
Banda 7 125 - 7 425 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales).....	25
Banda 7 425 - 7 725 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales).....	26
Banda 7 725 - 8 275 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales).....	26
Banda 10 150 – 10 300 MHz y 10 500- 10 650 MHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico).....	27
Banda 10 630 - 10 700 MHz (Enlaces auxiliares a la radiodifusión por televisión).....	28

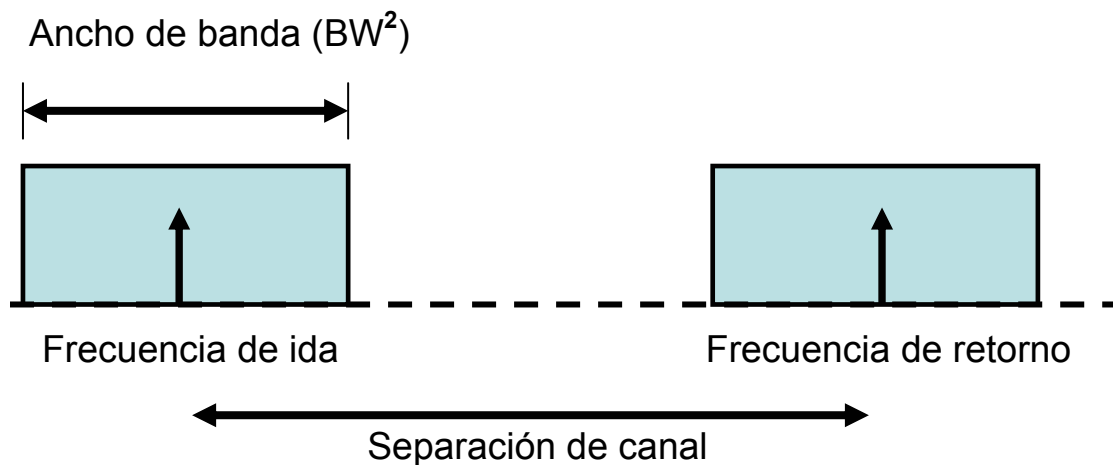
Banda 10 700 - 11 700 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales).....	28
Banda 12 700 - 13 250 MHz (Enlaces auxiliares a la radiodifusión por televisión)	28
Banda 12 750 - 13 250 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales).....	29
Banda 14 400 - 15 350 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales).....	30
Banda 14 500 - 15 350 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales).....	31
Banda 17 700 - 19 700 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)	32
Banda 21 200 - 23 600 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales).....	33
Banda 25,25 - 26,50 GHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico)	35
Banda 27,5–28,35 GHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico)	36
Bandas 29,10 – 29,25 y 31,00 – 31,30 GHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico)	36
Bandas 37,35 – 37,55 GHz y 38,05 – 38,25 GHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico)	36
Bandas 37 – 37,35 GHz y 38,3 – 38,6 GHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales).....	37
Banda 38,6 - 40 GHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico)	38

INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene una primera parte de la disposición de radiocanales¹ para las diferentes bandas de frecuencias atribuidas a los servicios de telecomunicaciones de acuerdo al nuevo Plan Nacional de Atribución de Frecuencias del Perú, aprobado mediante Resolución Ministerial N° 187-2005-MTC/03 y publicado en el Diario Oficial “El Peruano” el 3 de abril de 2005.

Para un mejor entendimiento en la lectura del presente documento, es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Los espacios entre cifras indican la separación de miles. Ejemplo: **2 200 MHz** equivale a **dos mil doscientos Mega Hertz**.
2. La coma entre cifras indica la separación de decimales. Ejemplo: **10,5 GHz** equivale a **10 500 MHz (diez mil quinientos Mega Hertz)**.
3. El siguiente gráfico muestra los términos utilizados en las tablas donde se utilizan frecuencias de ida y de retorno:



¹ La expresión “disposición de radiocanales” es también conocida como canalización.

² BW: Corresponde al término en inglés *bandwidth*

Banda 3 400 – 3 600 MHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Banda	Rango de frecuencias (MHz) BW: 25 MHz
A	3 400 - 3 425
B	3 425 - 3 450
C	3 450 - 3 475
D1	3 475 - 3 480
D2	3 480 - 3 485
D3	3 485 - 3 490
D4	3 490 - 3 495
D5	3 495 - 3 500
E	3 500 - 3 525
F	3 525 - 3 550
G	3 550 - 3 575
H1	3 575 - 3 580
H2	3 580 - 3 585
H3	3 585 - 3 590
H4	3 590 - 3 595
H5	3 595 - 3 600

Banda 4 400 - 5 000 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal Nº	Frecuencia (MHz) BW: 40 MHz	
	Ida	Retorno
1	4 430	4 730
2	4 470	4 770
3	4 510	4 810
4	4 550	4 850
5	4 590	4 890
6	4 630	4 930
7	4 670	4 970

Canal Nº	Frecuencia (MHz) BW: 60 MHz	
	Ida	Retorno
1	4 440	4 780
2	4 500	4 840
3	4 560	4 900
4	4 620	4 960

Banda 5 925 - 6 425 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 29,65 MHz	
	Ida	Retorno
1	5 945,20	6 197,24
2	5 974,85	6 226,89
3	6 004,50	6 256,54
4	6 034,15	6 286,19
5	6 063,80	6 315,84
6	6 093,45	6 345,49
7	6 123,10	6 375,14
8	6 152,75	6 404,79

Banda 6 430 - 7 110 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 20 MHz	
	Ida	Retorno
1	6 440	6 780
2	6 460	6 800
3	6 480	6 820
4	6 500	6 840
5	6 520	6 860
6	6 540	6 880
7	6 560	6 900
8	6 580	6 920

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 20 MHz	
	Ida	Retorno
9	6 600	6 940
10	6 620	6 960
11	6 640	6 980
12	6 660	7 000
13	6 680	7 020
14	6 700	7 040
15	6 720	7 060
16	6 740	7 080

Banda 7 125 - 7 425 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno
1	7 128	7 289
2	7 135	7 296
3	7 142	7 303
4	7 149	7 310
5	7 156	7 317
6	7 163	7 324
7	7 170	7 331
8	7 177	7 338
9	7 184	7 345
10	7 191	7 352

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno
11	7 198	7 359
12	7 205	7 366
13	7 212	7 373
14	7 219	7 380
15	7 226	7 387
16	7 233	7 394
17	7 240	7 401
18	7 247	7 408
19	7 254	7 415
20	7 261	7 422

Banda 7 425 - 7 725 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno
1	7 428	7 589
2	7 435	7 596
3	7 442	7 603
4	7 449	7 610
5	7 456	7 617
6	7 463	7 624
7	7 470	7 631
8	7 477	7 638
9	7 484	7 645
10	7 491	7 652

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno
11	7 498	7 659
12	7 505	7 666
13	7 512	7 673
14	7 519	7 680
15	7 526	7 687
16	7 533	7 694
17	7 540	7 701
18	7 547	7 708
19	7 554	7 715
20	7 561	7 722

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 28 MHz	
	Ida	Retorno
1	7 442	7 596
2	7 470	7 624
3	7 498	7 652
4	7 526	7 680
5	7 554	7 708

Banda 7 725 - 8 275 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 29,65 MHz	
	Ida	Retorno
1	7 747,70	8 059,02
2	7 777,35	8 088,67
3	7 807,00	8 118,32
4	7 836,65	8 147,97
5	7 866,30	8 177,62
6	7 895,95	8 207,27
7	7 925,60	8 236,92
8	7 955,25	8 266,57

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 40,74 MHz	
	Ida	Retorno
1	7 745,37	8 050,93
2	7 786,11	8 091,67
3	7 826,85	8 132,41
4	7 867,59	8 173,15
5	7 908,33	8 213,89
6	7 949,07	8 254,63

Banda 10 150 – 10 300 MHz y 10 500- 10 650 MHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 3,5 MHz	
	Ida	Retorno
1	10 152,25	10 502,25
2	10 155,75	10 505,75
3	10 159,25	10 509,25
4	10 162,75	10 512,75
5	10 166,25	10 516,25
6	10 169,75	10 519,75
7	10 173,25	10 523,25
8	10 176,75	10 526,75
9	10 180,25	10 530,25
10	10 183,75	10 533,75
11	10 187,25	10 537,25
12	10 190,75	10 540,75
13	10 194,25	10 544,25
14	10 197,75	10 547,75
15	10 201,25	10 551,25
16	10 204,75	10 554,75
17	10 208,25	10 558,25
18	10 211,75	10 561,75
19	10 215,25	10 565,25
20	10 218,75	10 568,75
21	10 222,25	10 572,25

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 3,5 MHz	
	Ida	Retorno
22	10 225,75	10 575,75
23	10 229,25	10 579,25
24	10 232,75	10 582,75
25	10 236,25	10 586,25
26	10 239,75	10 589,75
27	10 243,25	10 593,25
28	10 246,75	10 596,75
29	10 250,25	10 600,25
30	10 253,75	10 603,75
31	10 257,25	10 607,25
32	10 260,75	10 610,75
33	10 264,25	10 614,25
34	10 267,75	10 617,75
35	10 271,25	10 621,25
36	10 274,75	10 624,75
37	10 278,25	10 628,25
38	10 281,75	10 631,75
39	10 285,25	10 635,25
40	10 288,75	10 638,75
41	10 292,25	10 642,25
42	10 295,75	10 645,75

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno
1	10 157,5	10 507,5
2	10 164,5	10 514,5
3	10 171,5	10 521,5
4	10 178,5	10 528,5
5	10 185,5	10 535,5
6	10 192,5	10 542,5
7	10 199,5	10 549,5
8	10 206,5	10 556,5
9	10 213,5	10 563,5
10	10 220,5	10 570,5

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno
11	10 227,5	10 577,5
12	10 234,5	10 584,5
13	10 241,5	10 591,5
14	10 248,5	10 598,5
15	10 255,5	10 605,5
16	10 262,5	10 612,5
17	10 269,5	10 619,5
18	10 276,5	10 626,5
19	10 283,5	10 633,5
20	10 290,5	10 640,5

Banda 10 630 - 10 700 MHz (Enlaces auxiliares a la radiodifusión por televisión)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 10 MHz	Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 10 MHz
1	10 635	5	10 675
2	10 645	6	10 685
3	10 655	7	10 695
4	10 665		

Banda 10 700 - 11 700 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 40 MHz	
	Ida	Retorno
1	10 715	11 245
2	10 755	11 285
3	10 795	11 325
4	10 835	11 365
5	10 875	11 405
6	10 915	11 445
7	10 955	11 485
8	10 995	11 525
9	11 035	11 565
10	11 075	11 605
11	11 115	11 645
12	11 155	11 685

Banda 12 700 - 13 250 MHz (Enlaces auxiliares a la radiodifusión por televisión)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 12,5 MHz	Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 12,5 MHz
1	12 712,5	21	12 962,5
2	12 725,0	22	12 975,0
3	12 737,5	23	12 987,5
4	12 750,0	24	13 000,0
5	12 762,5	25	13 012,5
6	12 775,0	26	13 025,0
7	12 787,5	27	13 037,5
8	12 800,0	28	13 050,0
9	12 812,5	29	13 062,5
10	12 825,0	30	13 075,0
11	12 837,5	31	13 087,5
12	12 850,0	32	13 100,0
13	12 862,5	33	13 112,5
14	12 875,0	34	13 125,0
15	12 887,5	35	13 137,5
16	12 900,0	36	13 150,0
17	12 912,5	37	13 162,5
18	12 925,0	38	13 175,0
19	12 937,5	39	13 187,5
20	12 950,0	40	13 200,0

Banda 12 750 - 13 250 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno
1	12 754,5	13 020,5
2	12 761,5	13 027,5
3	12 768,5	13 034,5
4	12 775,5	13 041,5
5	12 782,5	13 048,5
6	12 789,5	13 055,5
7	12 796,5	13 062,5
8	12 803,5	13 069,5
9	12 810,5	13 076,5
10	12 817,5	13 083,5
11	12 824,5	13 090,5
12	12 831,5	13 097,5
13	12 838,5	13 104,5
14	12 845,5	13 111,5
15	12 852,5	13 118,5
16	12 859,5	13 125,5

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno
17	12 866,5	13 132,5
18	12 873,5	13 139,5
19	12 880,5	13 146,5
20	12 887,5	13 153,5
21	12 894,5	13 160,5
22	12 901,5	13 167,5
23	12 908,5	13 174,5
24	12 915,5	13 181,5
25	12 922,5	13 188,5
26	12 929,5	13 195,5
27	12 936,5	13 202,5
28	12 943,5	13 209,5
29	12 950,5	13 216,5
30	12 957,5	13 223,5
31	12 964,5	13 230,5
32	12 971,5	13 237,5

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 28 MHz	
	Ida	Retorno
1	12 765	13 031
2	12 793	13 059
3	12 821	13 087
4	12 849	13 115
5	12 877	13 143
6	12 905	13 171
7	12 933	13 199
8	12 961	13 227

Banda 14 400 - 15 350 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno		Ida	Retorno		Ida	Retorno
1	14 410	14 900	23	14 564	15 054	45	14 718	15 208
2	14 417	14 907	24	14 571	15 061	46	14 725	15 215
3	14 424	14 914	25	14 578	15 068	47	14 732	15 222
4	14 431	14 921	26	14 585	15 075	48	14 739	15 229
5	14 438	14 928	27	14 592	15 082	49	14 746	15 236
6	14 445	14 935	28	14 599	15 089	50	14 753	15 243
7	14 452	14 942	29	14 606	15 096	51	14 760	15 250
8	14 459	14 949	30	14 613	15 103	52	14 767	15 257
9	14 466	14 956	31	14 620	15 110	53	14 774	15 264
10	14 473	14 963	32	14 627	15 117	54	14 781	15 271
11	14 480	14 970	33	14 634	15 124	55	14 788	15 278
12	14 487	14 977	34	14 641	15 131	56	14 795	15 285
13	14 494	14 984	35	14 648	15 138	57	14 802	15 292
14	14 501	14 991	36	14 655	15 145	58	14 809	15 299
15	14 508	14 998	37	14 662	15 152	59	14 816	15 306
16	14 515	15 005	38	14 669	15 159	60	14 823	15 313
17	14 522	15 012	39	14 676	15 166	61	14 830	15 320
18	14 529	15 019	40	14 683	15 173	62	14 837	15 327
19	14 536	15 026	41	14 690	15 180	63	14 844	15 334
20	14 543	15 033	42	14 697	15 187	64	14 851	15 341
21	14 550	15 040	43	14 704	15 194			
22	14 557	15 047	44	14 711	15 201			

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 14 MHz	
	Ida	Retorno
1	14 417	14 907
2	14 431	14 921
3	14 445	14 935
4	14 459	14 949
5	14 473	14 963
6	14 487	14 977
7	14 501	14 991
8	14 515	15 005
9	14 529	15 019
10	14 543	15 033
11	14 557	15 047
12	14 571	15 061
13	14 585	15 075
14	14 599	15 089
15	14 613	15 103
16	14 627	15 117

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 14 MHz	
	Ida	Retorno
17	14 641	15 131
18	14 655	15 145
19	14 669	15 159
20	14 683	15 173
21	14 697	15 187
22	14 711	15 201
23	14 725	15 215
24	14 739	15 229
25	14 753	15 243
26	14 767	15 257
27	14 781	15 271
28	14 795	15 285
29	14 809	15 299
30	14 823	15 313
31	14 837	15 327
32	14 851	15 341

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 28 MHz	
	Ida	Retorno
1	14 417	14 907
2	14 445	14 935
3	14 473	14 963
4	14 501	14 991
5	14 529	15 019
6	14 557	15 047
7	14 585	15 075
8	14 613	15 103

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 28 MHz	
	Ida	Retorno
9	14 641	15 131
10	14 669	15 159
11	14 697	15 187
12	14 725	15 215
13	14 753	15 243
14	14 781	15 271
15	14 809	15 299
16	14 837	15 327

Banda 14 500 - 15 350 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno		Ida	Retorno		Ida	Retorno
1	14 504,5	14 924,5	21	14 644,5	15 064,5	41	14 784,5	15 204,5
2	14 511,5	14 931,5	22	14 651,5	15 071,5	42	14 791,5	15 211,5
3	14 518,5	14 938,5	23	14 658,5	15 078,5	43	14 798,5	15 218,5
4	14 525,5	14 945,5	24	14 665,5	15 085,5	44	14 805,5	15 225,5
5	14 532,5	14 952,5	25	14 672,5	15 092,5	45	14 812,5	15 232,5
6	14 539,5	14 959,5	26	14 679,5	15 099,5	46	14 819,5	15 239,5
7	14 546,5	14 966,5	27	14 686,5	15 106,5	47	14 826,5	15 246,5
8	14 553,5	14 973,5	28	14 693,5	15 113,5	48	14 833,5	15 253,5
9	14 560,5	14 980,5	29	14 700,5	15 120,5	49	14 840,5	15 260,5
10	14 567,5	14 987,5	30	14 707,5	15 127,5	50	14 847,5	15 267,5
11	14 574,5	14 994,5	31	14 714,5	15 134,5	51	14 854,5	15 274,5
12	14 581,5	15 001,5	32	14 721,5	15 141,5	52	14 861,5	15 281,5
13	14 588,5	15 008,5	33	14 728,5	15 148,5	53	14 868,5	15 288,5
14	14 595,5	15 015,5	34	14 735,5	15 155,5	54	14 875,5	15 295,5
15	14 602,5	15 022,5	35	14 742,5	15 162,5	55	14 882,5	15 302,5
16	14 609,5	15 029,5	36	14 749,5	15 169,5	56	14 889,5	15 309,5
17	14 616,5	15 036,5	37	14 756,5	15 176,5	57	14 896,5	15 316,5
18	14 623,5	15 043,5	38	14 763,5	15 183,5	58	14 903,5	15 323,5
19	14 630,5	15 050,5	39	14 770,5	15 190,5	59	14 910,5	15 330,5
20	14 637,5	15 057,5	40	14 777,5	15 197,5	60	14 917,5	15 337,5

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 14 MHz	
	Ida	Retorno
1	14 515	14 935
2	14 529	14 949
3	14 543	14 963
4	14 557	14 977
5	14 571	14 991
6	14 585	15 005
7	14 599	15 019
8	14 613	15 033
9	14 627	15 047
10	14 641	15 061
11	14 655	15 075
12	14 669	15 089
13	14 683	15 103
14	14 697	15 117
15	14 711	15 131

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 14 MHz	
	Ida	Retorno
16	14 725	15 145
17	14 739	15 159
18	14 753	15 173
19	14 767	15 187
20	14 781	15 201
21	14 795	15 215
22	14 809	15 229
23	14 823	15 243
24	14 837	15 257
25	14 851	15 271
26	14 865	15 285
27	14 879	15 299
28	14 893	15 313
29	14 907	15 327
30	14 921	15 341

Banda 17 700 - 19 700 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 27,5 MHz	
	Ida	Retorno
1	17 727,5	18 737,5
2	17 755,0	18 765,0
3	17 782,5	18 792,5
4	17 810,0	18 820,0
5	17 837,5	18 847,5
6	17 865,0	18 875,0
7	17 892,5	18 902,5
8	17 920,0	18 930,0
9	17 947,5	18 957,5
10	17 975,0	18 985,0
11	18 002,5	19 012,5
12	18 030,0	19 040,0
13	18 057,5	19 067,5
14	18 085,0	19 095,0
15	18 112,5	19 122,5
16	18 140,0	19 150,0
17	18 167,5	19 177,5
18	18 195,0	19 205,0

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 27,5 MHz	
	Ida	Retorno
19	18 222,5	19 232,5
20	18 250,0	19 260,0
21	18 277,5	19 287,5
22	18 305,0	19 315,0
23	18 332,5	19 342,5
24	18 360,0	19 370,0
25	18 387,5	19 397,5
26	18 415,0	19 425,0
27	18 442,5	19 452,5
28	18 470,0	19 480,0
29	18 497,5	19 507,5
30	18 525,0	19 535,0
31	18 552,5	19 562,5
32	18 580,0	19 590,0
33	18 607,5	19 617,5
34	18 635,0	19 645,0
35	18 662,5	19 672,5

Banda 21 200 - 23 600 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno		Ida	Retorno		Ida	Retorno		Ida	Retorno
1	21 227,5	22 459,5	41	21 507,5	22 739,5	81	21 787,5	23 019,5	121	22 067,5	23 299,5
2	21 234,5	22 466,5	42	21 514,5	22 746,5	82	21 794,5	23 026,5	122	22 074,5	23 306,5
3	21 241,5	22 473,5	43	21 521,5	22 753,5	83	21 801,5	23 033,5	123	22 081,5	23 313,5
4	21 248,5	22 480,5	44	21 528,5	22 760,5	84	21 808,5	23 040,5	124	22 088,5	23 320,5
5	21 255,5	22 487,5	45	21 535,5	22 767,5	85	21 815,5	23 047,5	125	22 095,5	23 327,5
6	21 262,5	22 494,5	46	21 542,5	22 774,5	86	21 822,5	23 054,5	126	22 102,5	23 334,5
7	21 269,5	22 501,5	47	21 549,5	22 781,5	87	21 829,5	23 061,5	127	22 109,5	23 341,5
8	21 276,5	22 508,5	48	21 556,5	22 788,5	88	21 836,5	23 068,5	128	22 116,5	23 348,5
9	21 283,5	22 515,5	49	21 563,5	22 795,5	89	21 843,5	23 075,5	129	22 123,5	23 355,5
10	21 290,5	22 522,5	50	21 570,5	22 802,5	90	21 850,5	23 082,5	130	22 130,5	23 362,5
11	21 297,5	22 529,5	51	21 577,5	22 809,5	91	21 857,5	23 089,5	131	22 137,5	23 369,5
12	21 304,5	22 536,5	52	21 584,5	22 816,5	92	21 864,5	23 096,5	132	22 144,5	23 376,5
13	21 311,5	22 543,5	53	21 591,5	22 823,5	93	21 871,5	23 103,5	133	22 151,5	23 383,5
14	21 318,5	22 550,5	54	21 598,5	22 830,5	94	21 878,5	23 110,5	134	22 158,5	23 390,5
15	21 325,5	22 557,5	55	21 605,5	22 837,5	95	21 885,5	23 117,5	135	22 165,5	23 397,5
16	21 332,5	22 564,5	56	21 612,5	22 844,5	96	21 892,5	23 124,5	136	22 172,5	23 404,5
17	21 339,5	22 571,5	57	21 619,5	22 851,5	97	21 899,5	23 131,5	137	22 179,5	23 411,5
18	21 346,5	22 578,5	58	21 626,5	22 858,5	98	21 906,5	23 138,5	138	22 186,5	23 418,5
19	21 353,5	22 585,5	59	21 633,5	22 865,5	99	21 913,5	23 145,5	139	22 193,5	23 425,5
20	21 360,5	22 592,5	60	21 640,5	22 872,5	100	21 920,5	23 152,5	140	22 200,5	23 432,5
21	21 367,5	22 599,5	61	21 647,5	22 879,5	101	21 927,5	23 159,5	141	22 207,5	23 439,5
22	21 374,5	22 606,5	62	21 654,5	22 886,5	102	21 934,5	23 166,5	142	22 214,5	23 446,5
23	21 381,5	22 613,5	63	21 661,5	22 893,5	103	21 941,5	23 173,5	143	22 221,5	23 453,5
24	21 388,5	22 620,5	64	21 668,5	22 900,5	104	21 948,5	23 180,5	144	22 228,5	23 460,5
25	21 395,5	22 627,5	65	21 675,5	22 907,5	105	21 955,5	23 187,5	145	22 235,5	23 467,5
26	21 402,5	22 634,5	66	21 682,5	22 914,5	106	21 962,5	23 194,5	146	22 242,5	23 474,5
27	21 409,5	22 641,5	67	21 689,5	22 921,5	107	21 969,5	23 201,5	147	22 249,5	23 481,5
28	21 416,5	22 648,5	68	21 696,5	22 928,5	108	21 976,5	23 208,5	148	22 256,5	23 488,5
29	21 423,5	22 655,5	69	21 703,5	22 935,5	109	21 983,5	23 215,5	149	22 263,5	23 495,5
30	21 430,5	22 662,5	70	21 710,5	22 942,5	110	21 990,5	23 222,5	150	22 270,5	23 502,5
31	21 437,5	22 669,5	71	21 717,5	22 949,5	111	21 997,5	23 229,5	151	22 277,5	23 509,5
32	21 444,5	22 676,5	72	21 724,5	22 956,5	112	22 004,5	23 236,5	152	22 284,5	23 516,5
33	21 451,5	22 683,5	73	21 731,5	22 963,5	113	22 011,5	23 243,5	153	22 291,5	23 523,5
34	21 458,5	22 690,5	74	21 738,5	22 970,5	114	22 018,5	23 250,5	154	22 298,5	23 530,5
35	21 465,5	22 697,5	75	21 745,5	22 977,5	115	22 025,5	23 257,5	155	22 305,5	23 537,5
36	21 472,5	22 704,5	76	21 752,5	22 984,5	116	22 032,5	23 264,5	156	22 312,5	23 544,5
37	21 479,5	22 711,5	77	21 759,5	22 991,5	117	22 039,5	23 271,5	157	22 319,5	23 551,5
38	21 486,5	22 718,5	78	21 766,5	22 998,5	118	22 046,5	23 278,5	158	22 326,5	23 558,5
39	21 493,5	22 725,5	79	21 773,5	23 005,5	119	22 053,5	23 285,5	159	22 333,5	23 565,5
40	21 500,5	22 732,5	80	21 780,5	23 012,5	120	22 060,5	23 292,5	160	22 340,5	23 572,5

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 12,5 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 12,5 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 12,5 MHz	
	Ida	Retorno		Ida	Retorno		Ida	Retorno
1	21 225,0	22 425,0	34	21 637,5	22 837,5	67	22 050,0	23 250,0
2	21 237,5	22 437,5	35	21 650,0	22 850,0	68	22 062,5	23 262,5
3	21 250,0	22 450,0	36	21 662,5	22 862,5	69	22 075,0	23 275,0
4	21 262,5	22 462,5	37	21 675,0	22 875,0	70	22 087,5	23 287,5
5	21 275,0	22 475,0	38	21 687,5	22 887,5	71	22 100,0	23 300,0
6	21 287,5	22 487,5	39	21 700,0	22 900,0	72	22 112,5	23 312,5
7	21 300,0	22 500,0	40	21 712,5	22 912,5	73	22 125,0	23 325,0
8	21 312,5	22 512,5	41	21 725,0	22 925,0	74	22 137,5	23 337,5
9	21 325,0	22 525,0	42	21 737,5	22 937,5	75	22 150,0	23 350,0
10	21 337,5	22 537,5	43	21 750,0	22 950,0	76	22 162,5	23 362,5
11	21 350,0	22 550,0	44	21 762,5	22 962,5	77	22 175,0	23 375,0
12	21 362,5	22 562,5	45	21 775,0	22 975,0	78	22 187,5	23 387,5
13	21 375,0	22 575,0	46	21 787,5	22 987,5	79	22 200,0	23 400,0
14	21 387,5	22 587,5	47	21 800,0	23 000,0	80	22 212,5	23 412,5
15	21 400,0	22 600,0	48	21 812,5	23 012,5	81	22 225,0	23 425,0
16	21 412,5	22 612,5	49	21 825,0	23 025,0	82	22 237,5	23 437,5
17	21 425,0	22 625,0	50	21 837,5	23 037,5	83	22 250,0	23 450,0
18	21 437,5	22 637,5	51	21 850,0	23 050,0	84	22 262,5	23 462,5
19	21 450,0	22 650,0	52	21 862,5	23 062,5	85	22 275,0	23 475,0
20	21 462,5	22 662,5	53	21 875,0	23 075,0	86	22 287,5	23 487,5
21	21 475,0	22 675,0	54	21 887,5	23 087,5	87	22 300,0	23 500,0
22	21 487,5	22 687,5	55	21 900,0	23 100,0	88	22 312,5	23 512,5
23	21 500,0	22 700,0	56	21 912,5	23 112,5	89	22 325,0	23 525,0
24	21 512,5	22 712,5	57	21 925,0	23 125,0	90	22 337,5	23 537,5
25	21 525,0	22 725,0	58	21 937,5	23 137,5	91	22 350,0	23 550,0
26	21 537,5	22 737,5	59	21 950,0	23 150,0	92	22 362,5	23 562,5
27	21 550,0	22 750,0	60	21 962,5	23 162,5	93	22 375,0	23 575,0
28	21 562,5	22 762,5	61	21 975,0	23 175,0	94	22 050,0	23 250,0
29	21 575,0	22 775,0	62	21 987,5	23 187,5	98	22 062,5	23 262,5
30	21 587,5	22 787,5	63	22 000,0	23 200,0	96	22 075,0	23 275,0
31	21 600,0	22 800,0	64	22 012,5	23 212,5	97	22 087,5	23 287,5
32	21 612,5	22 812,5	65	22 025,0	23 225,0	98	22 100,0	23 300,0
33	21 625,0	22 825,0	66	22 037,5	23 237,5	99	22 112,5	23 312,5

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 14 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 14 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 14 MHz	
	Ida	Retorno		Ida	Retorno		Ida	Retorno
1	21 231	22 463	28	21 609	22 841	55	21 987	23 219
2	21 245	22 477	29	21 623	22 855	56	22 001	23 233
3	21 259	22 491	30	21 637	22 869	57	22 015	23 247
4	21 273	22 505	31	21 651	22 883	58	22 029	23 261
5	21 287	22 519	32	21 665	22 897	59	22 043	23 275
6	21 301	22 533	33	21 679	22 911	60	22 057	23 289
7	21 315	22 547	34	21 693	22 925	61	22 071	23 303
8	21 329	22 561	35	21 707	22 939	62	22 085	23 317
9	21 343	22 575	36	21 721	22 953	63	22 099	23 331
10	21 357	22 589	37	21 735	22 967	64	22 113	23 345
11	21 371	22 603	38	21 749	22 981	65	22 127	23 359
12	21 385	22 617	39	21 763	22 995	66	22 141	23 373
13	21 399	22 631	40	21 777	23 009	67	22 155	23 387
14	21 413	22 645	41	21 791	23 023	68	22 169	23 401
15	21 427	22 659	42	21 805	23 037	69	22 183	23 415
16	21 441	22 673	43	21 819	23 051	70	22 197	23 429
17	21 455	22 687	44	21 833	23 065	71	22 211	23 443
18	21 469	22 701	45	21 847	23 079	72	22 225	23 457
19	21 483	22 715	46	21 861	23 093	73	22 239	23 471
20	21 497	22 729	47	21 875	23 107	74	22 253	23 485
21	21 511	22 743	48	21 889	23 121	75	22 267	23 499
22	21 525	22 757	49	21 903	23 135	76	22 281	23 513
23	21 539	22 771	50	21 917	23 149	77	22 295	23 527
24	21 553	22 785	51	21 931	23 163	78	22 309	23 541
25	21 567	22 799	52	21 945	23 177	79	22 323	23 555
26	21 581	22 813	53	21 959	23 191	80	22 337	23 569
27	21 595	22 827	54	21 973	23 205			

Banda 25,25 - 26,50 GHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno
1	25 252,5	26 260,5
2	25 259,5	26 267,5
3	25 266,5	26 274,5
4	25 273,5	26 281,5
5	25 280,5	26 288,5
6	25 287,5	26 295,5
7	25 294,5	26 302,5
8	25 301,5	26 309,5
9	25 308,5	26 316,5
10	25 315,5	26 323,5
11	25 322,5	26 330,5
12	25 329,5	26 337,5
13	25 336,5	26 344,5
14	25 343,5	26 351,5

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno
15	25 350,5	26 358,5
16	25 357,5	26 365,5
17	25 364,5	26 372,5
18	25 371,5	26 379,5
19	25 378,5	26 386,5
20	25 385,5	26 393,5
21	25 392,5	26 400,5
22	25 399,5	26 407,5
23	25 406,5	26 414,5
24	25 413,5	26 421,5
25	25 420,5	26 428,5
26	25 427,5	26 435,5
27	25 434,5	26 442,5
28	25 441,5	26 449,5

Banda 27,5–28,35 GHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Canal N°	Rango de frecuencias (MHz) BW: 70 MHz	
	Ida	Retorno
1	27 575 - 27 645	28 000 - 28 070
2	27 645 - 27 715	28 070 - 28 140
3	27 715 - 27 785	28 140 - 28 210
4	27 785 - 27 855	28 210 - 28 280
5	27 855 - 27 925	28 280 - 28 350

Canal N°	Rango de frecuencias (MHz) BW: 75 MHz	
	Ida	Retorno
6	27 500 – 27 575	27 925 – 28 000

Bandas 29,10 – 29,25 y 31,00 – 31,30 GHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Canal N°	Rango de frecuencias (MHz) BW: 75 MHz	
	Ida	Retorno
1	29 100 - 29 175	31 075 - 31 150
2	29 175 - 29 250	31 150 - 31 225
3	31 000 - 31 075	31 225 - 31 300

Bandas 37,35 – 37,55 GHz y 38,05 – 38,25 GHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Canal N°	Rango de frecuencias (MHz) BW: 50 MHz	
	Ida	Retorno
1	37 350 - 37 400	38 050 - 38 100
2	37 400 - 37 450	38 100 - 38 150
3	37 450 - 37 500	38 150 - 38 200
4	37 500 - 37 550	38 200 - 38 250

Bandas 37 – 37,35 GHz y 38,3 – 38,6 GHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
	Ida	Retorno		Ida	Retorno		Ida	Retorno
1	37 061,5	38 321,5	14	37 152,5	38 412,5	27	37 243,5	38 503,5
2	37 068,5	38 328,5	15	37 159,5	38 419,5	28	37 250,5	38 510,5
3	37 075,5	38 335,5	16	37 166,5	38 426,5	29	37 257,5	38 517,5
4	37 082,5	38 342,5	17	37 173,5	38 433,5	30	37 264,5	38 524,5
5	37 089,5	38 349,5	18	37 180,5	38 440,5	31	37 271,5	38 531,5
6	37 096,5	38 356,5	19	37 187,5	38 447,5	32	37 278,5	38 538,5
7	37 103,5	38 363,5	20	37 194,5	38 454,5	33	37 285,5	38 545,5
8	37 110,5	38 370,5	21	37 201,5	38 461,5	34	37 292,5	38 552,5
9	37 117,5	38 377,5	22	37 208,5	38 468,5	35	37 299,5	38 559,5
10	37 124,5	38 384,5	23	37 215,5	38 475,5	36	37 306,5	38 566,5
11	37 131,5	38 391,5	24	37 222,5	38 482,5	37	37 313,5	38 573,5
12	37 138,5	38 398,5	25	37 229,5	38 489,5	38	37 320,5	38 580,5
13	37 145,5	38 405,5	26	37 236,5	38 496,5	39	37 327,5	38 587,5
						40	37 334,5	38 594,5

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 14 MHz	
	Ida	Retorno
1	37 065	38 325
2	37 079	38 339
3	37 093	38 353
4	37 107	38 367
5	37 121	38 381
6	37 135	38 395
7	37 149	38 409
8	37 163	38 423
9	37 177	38 437
10	37 191	38 451

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 14 MHz	
	Ida	Retorno
11	37 205	38 465
12	37 219	38 479
13	37 233	38 493
14	37 247	38 507
15	37 261	38 521
16	37 275	38 535
17	37 289	38 549
18	37 303	38 563
19	37 317	38 577
20	37 331	38 591

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 28 MHz	
	Ida	Retorno
1	37 072	38 332
2	37 100	38 360
3	37 128	38 388
4	37 156	38 416
5	37 184	38 444
6	37 212	38 472
7	37 240	38 500
8	37 268	38 528
9	37 296	38 556
10	37 324	38 584

Banda 38,6 - 40 GHz (Servicios públicos utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico)

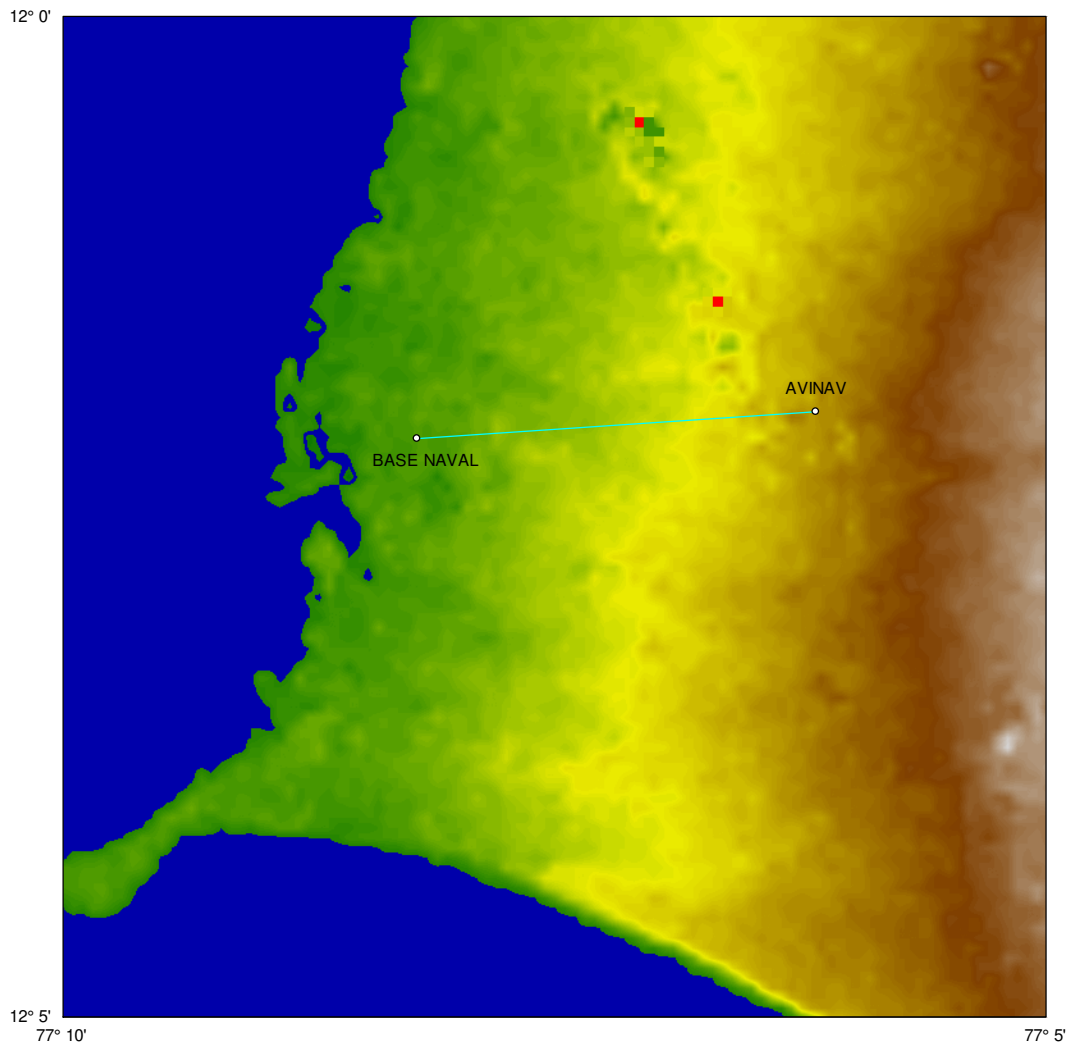
Canal N°	Rango de frecuencias (MHz) BW: 50 MHz	
	Ida	Retorno
1	38 600 - 38 650	39 300 - 39 350
2	38 650 - 38 700	39 350 - 39 400
3	38 700 - 38 750	39 400 - 39 450
4	38 750 - 38 800	39 450 - 39 500
5	38 800 - 38 850	39 500 - 39 550
6	38 850 - 38 900	39 550 - 39 600
7	38 900 - 38 950	39 600 - 39 650
8	38 950 - 39 000	39 650 - 39 700
9	39 000 - 39 050	39 700 - 39 750
10	39 050 - 39 100	39 750 - 39 800
11	39 100 - 39 150	39 800 - 39 850
12	39 150 - 39 200	39 850 - 39 900
13	39 200 - 39 250	39 900 - 39 950
14	39 250 - 39 300	39 950 - 40 000

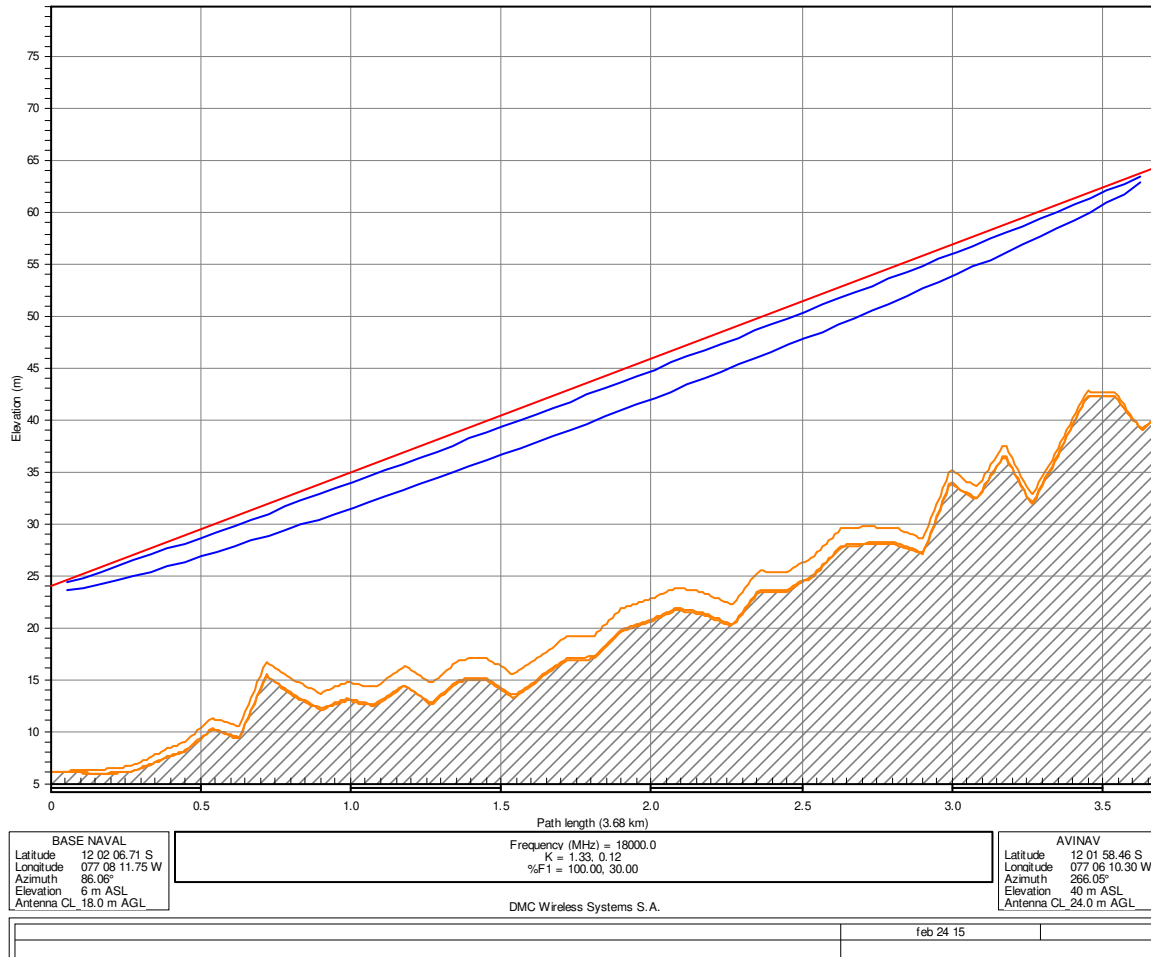
ANEXO 5 – Cálculo de enlace Base Naval - AVINAV

Cliente: BMP

Proyecto: Marina de Guerra RE Base Naval - Avinav

Revisión: 1





Observaciones:

- Las alturas calculadas de las antenas son factibles para los trayectos libres de obstáculos y requieren verificación con el estudio de la línea de vista / path survey.

	BASE NAVAL	AVINAV
Elevation (m)	6.00	40.41
Latitude	12 02 06.71 S	12 01 58.46 S
Longitude	077 08 11.75 W	077 06 10.30 W
True azimuth (°)	86.06	266.05
Vertical angle (°)	0.62	-0.64
Antenna model	VHLP4-180	VHLP4-180
Antenna height (m)	18.00	24.00
Antenna gain (dBi)	44.70	44.70
Circ. branching loss (dB)	1.80	1.80
Frequency (MHz)	18000.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	3.68	
Free space loss (dB)	128.89	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.20	
Net path loss (dB)	43.29	43.29
Radio model	E600sp18_28M 32Q 105Mb	E600sp18_28M 32Q 105Mb
TX power (watts)	0.06	0.06
TX power (dBm)	17.50	17.50
EIRP (dBm)	60.40	60.40
Emission designator	27M5D7W	27M5D7W
RX threshold criteria	BER 10-6	BER 10-6
RX threshold level (dBm)	-76.75	-76.75
RX signal (dBm)	-25.79	-25.79
Thermal fade margin (dB)	50.96	50.96
Dispersive fade margin (dB)	55.00	55.00
Dispersive fade occurrence factor	3.00	
Effective fade margin (dB)	47.57	47.57
Geoclimatic factor	2.65E-05	
Path inclination (mr)	10.97	
Fade occurrence factor (Po)	5.55E-06	
Average annual temperature (°C)	20.00	
Worst month - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	2.56e-04	2.56e-04
Annual - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	1.04e-03	1.04e-03
(% - sec)	100.00000 - 0.00	
Rain region	ITU Region N	
0.01% rain rate (mm/hr)	95.00	
Flat fade margin - rain (dB)	50.96	
Rain rate (mm/hr)	208.28	
Rain attenuation (dB)	50.96	
Annual rain (%-sec)	99.99954 - 145.05	
Annual multipath + rain (%-sec)	99.99954 - 145.05	

mar, feb 24 2015
 BASE NAVAL-AVINAV.pl4
 Reliability Method - ITU-R P.530-12
 Rain - ITU-R P530-7

ANEXO 6 – Cálculo de enlace S.E. Panu – C.H. Cahua



Informe de Cálculo de Enlace

FO-ING-12

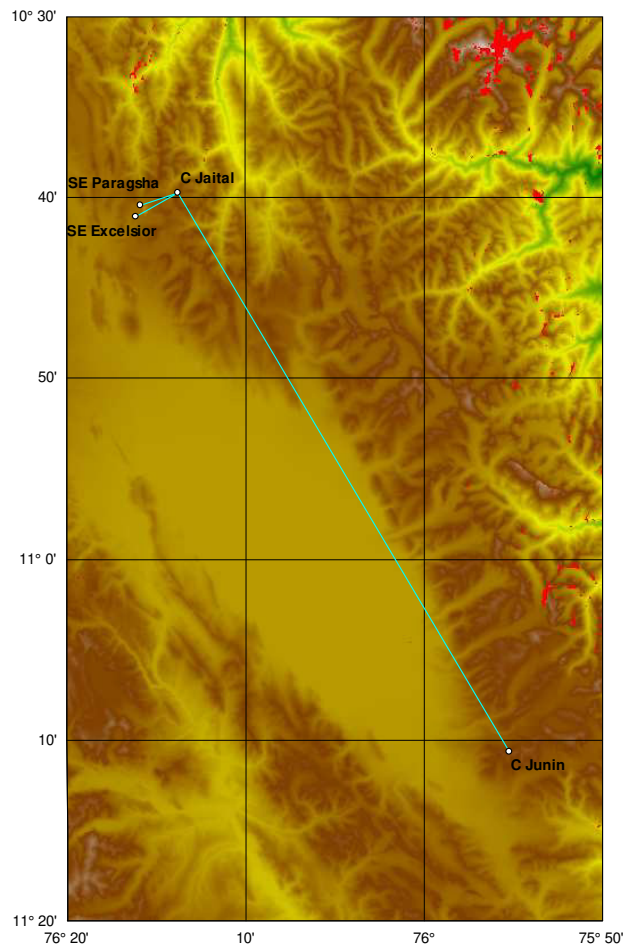
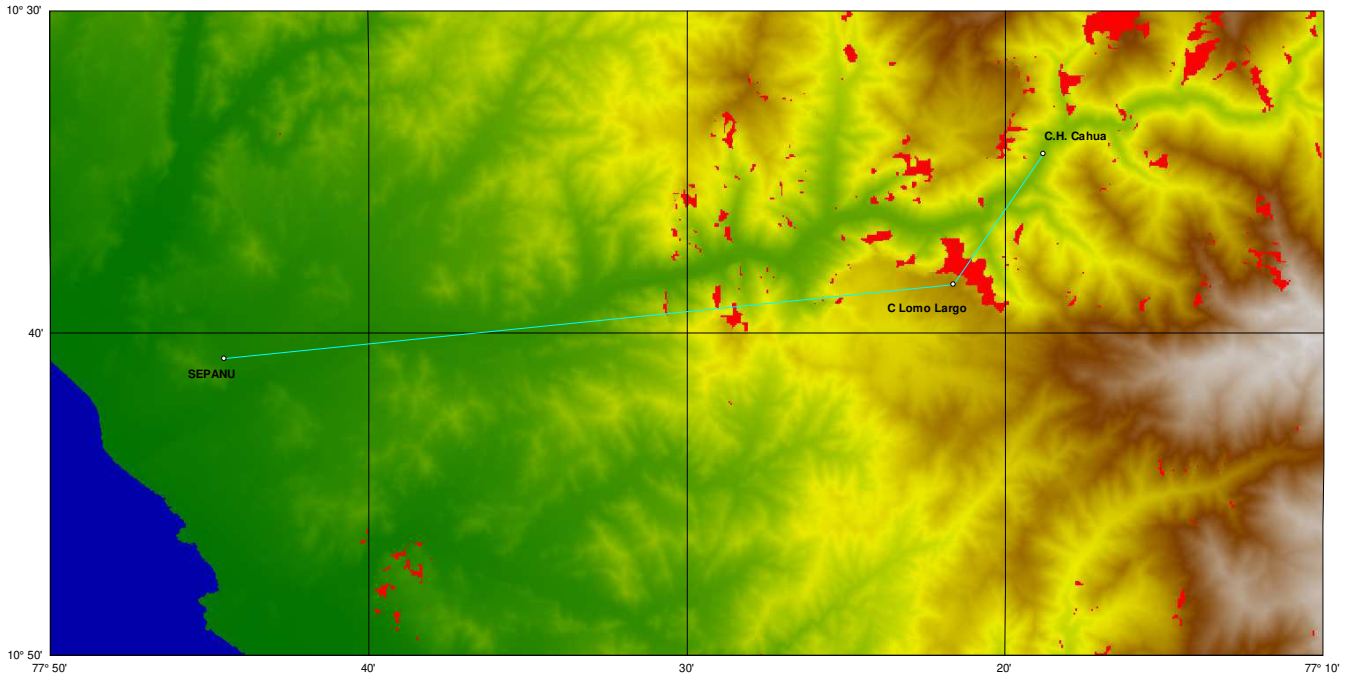
Fecha: 02/07/2015

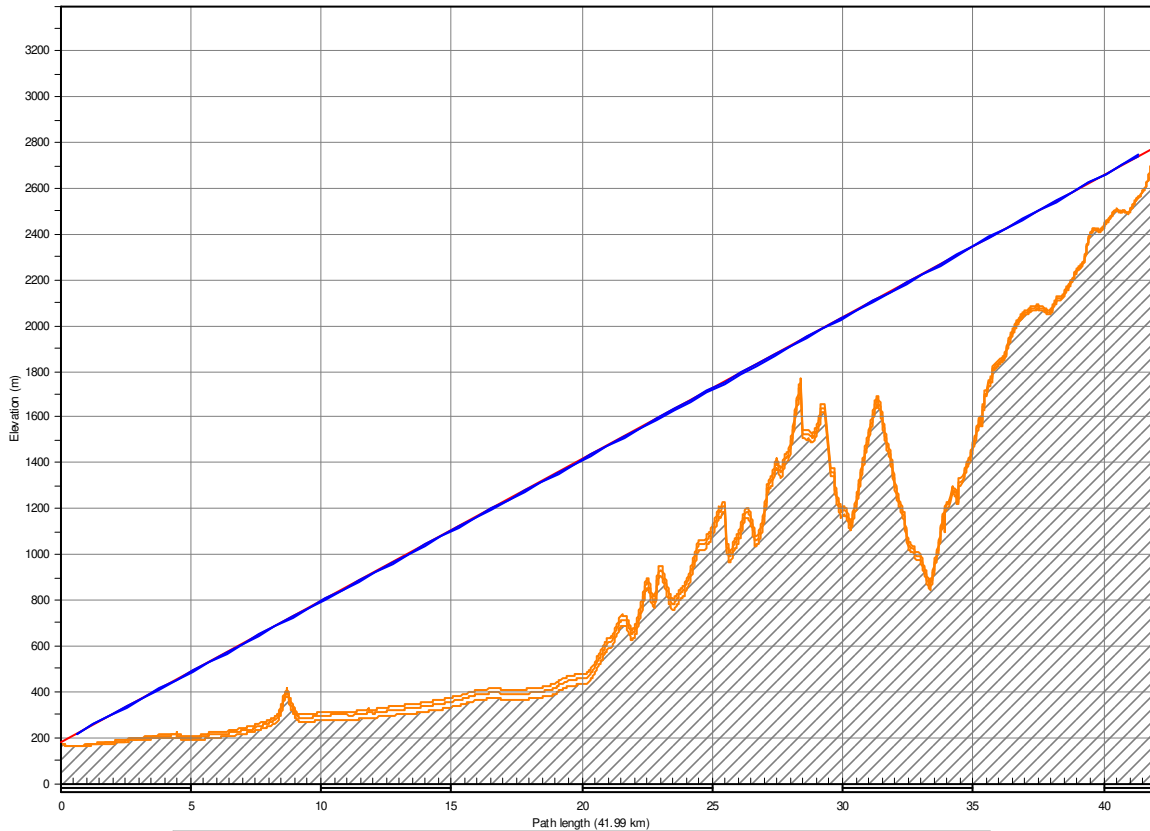
Pag: 1

Cliente: BMP

Proyecto: 5 RE STATKRAFT

Revisión: 1





SEPANU
 Latitude 10 40 48.00 S
 Longitude 077 44 32.76 W
 Azimuth 94.26°
 Elevation 174 m ASL
 Antenna CL 5.0 m AGL

Frequency (MHz) = 7500.0
 K = 1.33, 0.76
 %F1 = 60.00, 30.00

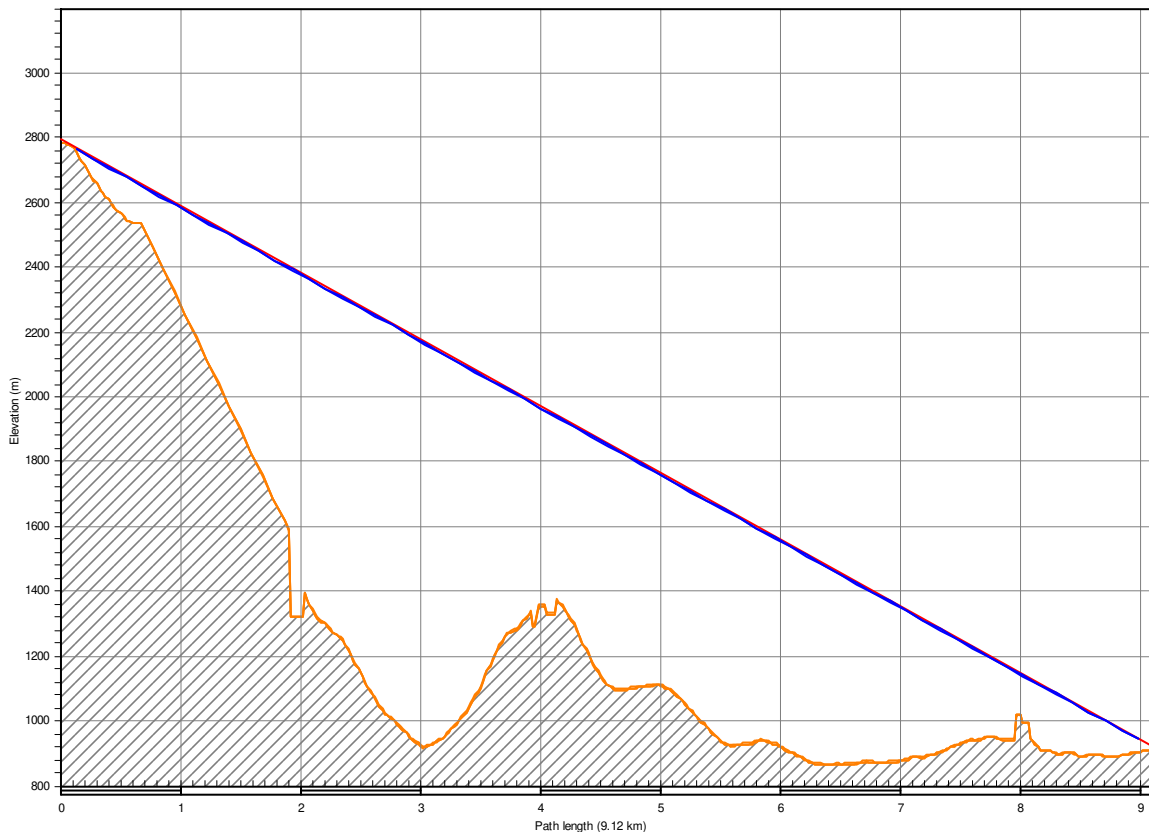
C Lomo Largo
 Latitude 10 38 30.39 S
 Longitude 077 21 38.12 W
 Azimuth 264.19°
 Elevation 2782 m ASL
 Antenna CL 5.0 m AGL

DMC Wireless Systems S.A.

jul 02 15

	SEPANU	C Lomo Largo
Elevation (m)	173.84	2781.81
Latitude	10 40 48.00 S	10 38 30.39 S
Longitude	077 44 32.76 W	077 21 38.12 W
True azimuth (°)	84.26	264.19
Vertical angle (°)	3.41	-3.70
Antenna model	VHLP4-71W	VHLP4-71W
Antenna height (m)	5.00	5.00
Antenna gain (dBi)	37.30	37.30
Circ. branching loss (dB)	1.80	1.80
Frequency (MHz)	7500.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	41.99	
Free space loss (dB)	142.43	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.42	
Net path loss (dB)	73.45	73.45
Radio model	E600sp7e_28M QPSK 44Mb	E600sp7e_28M QPSK 44Mb
TX power (watts)	0.79	0.79
TX power (dBm)	29.00	29.00
EIRP (dBm)	64.50	64.50
Emission designator	27M5G7W	27M5G7W
RX threshold criteria	BER 10-6	BER 10-6
RX threshold level (dBm)	-86.50	-86.50
RX signal (dBm)	-42.85	-42.85
Thermal fade margin (dB)	42.05	42.05
Dispersive fade margin (dB)	68.20	68.20
Dispersive fade occurrence factor	3.00	
Effective fade margin (dB)	42.02	42.02
Geoclimatic factor	2.46E-05	
Path inclination (mr)	62.03	
Fade occurrence factor (Po)	8.46E-04	
Average annual temperature (°C)	20.00	
Worst month - multipath (%)	99.99999	99.99999
(sec)	0.14	0.14
Annual - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	0.57	0.57
(% - sec)	100.00000 - 1.14	
Rain region	ITU Region N	
0.01% rain rate (mm/hr)	95.00	
Flat fade margin - rain (dB)	42.05	
Rain rate (mm/hr)	309.45	
Rain attenuation (dB)	42.05	
Annual rain (%-sec)	99.99997 - 9.01	
Annual multipath + rain (%-sec)	99.99997 - 10.15	

jue, jul 02 2015
 SEPANU-C Lomo Largo.pl4
 Reliability Method - ITU-R P.530-12
 Rain - ITU-R P530-7



<p>C Lomo Largo Latitude 10 38 30.39 S Longitude 077 21 38.12 W Azimuth 34.51° Elevation 2782 m ASL Antenna CL 12.0 m AGL</p>	<p>Path length (9.12 km) Frequency (MHz) = 7500.0 K = 1.33, 0.36 %F1 = 60.00, 30.00</p>	<p>C.H. Cahua Latitude 10 34 25.76 S Longitude 077 18 48.16 W Azimuth 214.50° Elevation 910 m ASL Antenna CL 5.0 m AGL</p>
<p>DMC Wireless Systems S. A.</p>		

jul 02 15

	C Lomo Largo	C.H. Cahua
Elevation (m)	2781.81	909.89
Latitude	10 38 30.39 S	10 34 25.76 S
Longitude	077 21 38.12 W	077 18 48.16 W
True azimuth (°)	34.51	214.50
Vertical angle (°)	-11.67	11.61
Antenna model	VHLP2-71W	VHLP2-71W
Antenna height (m)	12.00	5.00
Antenna gain (dBi)	30.90	30.90
Circ. branching loss (dB)	1.80	1.80
Frequency (MHz)	7500.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	9.12	
Free space loss (dB)	129.17	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.09	
Net path loss (dB)	71.06	71.06
Radio model	E600sp7e_28M QPSK 44Mb	E600sp7e_28M QPSK 44Mb
TX power (watts)	0.79	0.79
TX power (dBm)	29.00	29.00
EIRP (dBm)	58.10	58.10
Emission designator	27M5G7W	27M5G7W
RX threshold criteria	BER 10-6	BER 10-6
RX threshold level (dBm)	-86.50	-86.50
RX signal (dBm)	-42.06	-42.06
Thermal fade margin (dB)	44.44	44.44
Dispersive fade margin (dB)	68.20	68.20
Dispersive fade occurrence factor	3.00	
Effective fade margin (dB)	44.39	44.39
Geoclimatic factor	2.35E-05	
Path inclination (mr)	203.16	
Fade occurrence factor (Po)	4.63E-07	
Average annual temperature (°C)	20.00	
Worst month - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	4.43e-05	4.43e-05
Annual - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	1.81e-04	1.81e-04
(% - sec)	100.00000 - 0.00	
Rain region	ITU Region N	
0.01% rain rate (mm/hr)	95.00	
Flat fade margin - rain (dB)	44.44	
Rain rate (mm/hr)	1273.16	
Rain attenuation (dB)	44.44	
Annual rain (%-sec)	100.00000 - 0.00	
Annual multipath + rain (%-sec)	100.00000 - 0.00	

jue, jul 02 2015
 C Lomo Largo-CH Cahua.pl4
 Reliability Method - ITU-R P.530-12
 Rain - ITU-R P530-7

ANEXO 7 – Estudio de radiaciones no ionizantes nodo S.E. Panu

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

Informe Técnico N° 0008-2015

ESTACIÓN DE MICRO ONDAS UBICADA EN S.E. PANU

RADIO ENLACE S.E. PANU – CERRO LOMO LARGO

STATKRAFT PERÚ S.A.

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION -----	3
2. OBJETIVO -----	3
3. CONCEPTOS -----	3
3.1 Límite Máximo permisible	
3.2 Personas autorizadas para la realización de ETRNI	
3.3 Radiación No Ionizante	
3.4 Exposición ocupacional	
3.5 Exposición Poblacional	
3.6 Región de Campo Cercano	
3.7 Región de Campo Lejano	
3.8 Tasa de Absorción específica	
3.9 Métodos predictivos	
4. LIMITES DE EXPOSICIÓN -----	5
5. DATOS DE LA ESTACION EVALUADA -----	6
6. UBICACION GEOREFERENCIADA -----	7
7. ESTACIONES CONTRIBUYENTES -----	8
8. DESARROLLO DE LOS CALCULOS -----	8
8.1 Determinación de la longitud eléctrica de la Antena	
8.2 Determinación de las regiones de campo electromagnético	
8.3 Estimación de los valores de densidad de potencia	
9. CONCLUSIONES -----	18
10. EJECUCION Y APROBACION -----	19
11. BIBLIOGRAFIA -----	20
12. ANEXO: Torre Soporte de Antena, Patrones de Radiación -----	21

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

1. INTRODUCCIÓN

Mediante D.S. N° 038-2003-MTC, del 6 de julio de 2003 y sus modificatorias, se establecen los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes.

Mediante Resolución Ministerial N° 612-2004 MTC/03, del 18 de agosto de 2004, se aprueba la Norma Técnica sobre los “Lineamientos para el Desarrollo del Estudio teórico de Radiaciones No Ionizantes”.

El presente estudio se ha desarrollado con información otorgada por el contratante, y realiza mediante el empleo de algoritmos pre establecidos el cálculo de los valores de la Intensidad de Campo Eléctrico, Campo Magnético y/o Densidad de potencia originados por el funcionamiento de una estación de microondas, denominada S.E. PANU y de las estaciones contribuyentes dentro de un radio de 100 metros, a partir del punto central de la base de la torre de antena que soporta al radiante de la estación en estudio y que se encuentra ubicada en el distrito de Pativilca, provincia de Barranca y departamento de Lima, con el fin de evaluar el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes, en el marco de lo establecido en las normas y disposiciones que regulan el empleo del espectro radioeléctrico en nuestro País.

2. OBJETIVO

Realizar los cálculos predictivos de los niveles de emisión electromagnéticas existentes en la proximidad de la estación de microondas denominada **S.E. PANU** de la empresa **STATKRAFT PERÚ S.A.**, ubicada en el distrito de Pativilca, Provincia de Barranca y Departamento de Lima, en atención a lo establecido por el D.S. N° 038-2003-MTC y la RM N° 612-2004 MTC/03, para la elaboración de los Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes.

3. CONCEPTOS

3.1. Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes

Valores aprobados como Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes, en el Decreto Supremo N° 038-2003-MTC, con relación a los valores establecidos como niveles de referencia por la Comisión Internacional de Protección en Radiaciones No Ionizantes-ICNIRP y ante un límite de exposición establecido en base a medias temporales y espaciales

3.2. Personas autorizadas para la realización de estudios teóricos o mediciones

Personas naturales o jurídicas registradas ante el Ministerio para la realización de estudios teóricos o mediciones de radiaciones no ionizantes

3.3. Radiación No Ionizante:

Es la que no produce ionización de la materia. Cuando atraviesa los tejidos vivos no tiene la suficiente energía para dañar el ADN en forma directa.

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

3.4. Exposición Ocupacional:

Está determinada por la exposición de personas a emisiones electromagnéticas, por razones de trabajo; las que son conscientes del peligro y los riesgos contra la seguridad y la salud de su actividad laboral y que pueden ejercer el control sobre los mismos. Este concepto, también es aplicado para el caso de una exposición poblacional, cuando existe conciencia del potencial de exposición y se puede ejercer el control mediante el alejamiento del área o por algún otro medio considerado como conveniente.

3.5. Exposición Poblacional:

Se aplica para la población en general (que obviamente es mucho más numerosa que la población expuesta a las radiaciones por razones laborales) que puede correr riesgos y por lo general no los pueden controlar individualmente o no están conscientes del potencial de dicha exposición.

3.6. Región de Campo Cercano:

Región definida en la proximidad de una antena u otra estructura radiante, en la cual los campos eléctricos y magnéticos no tienen un carácter substancialmente de onda plana; campos que varían considerablemente de punto a punto.

La región de campo cercano se subdivide a su vez en región de campo cercano reactivo (región que está más cerca de una antena u otra estructura de radiación y contiene la mayoría o casi toda la energía almacenada), y región de campo cercano radiante (región donde el campo de radiación predomina sobre el campo reactivo, pero adolece de carácter de onda plana y es de estructura complicada).

3.7. Región de Campo Lejano:

Región del campo de una antena donde la distribución de campo electromagnético angular, es esencialmente independiente de la distancia a la antena. En esta región el campo tiene un carácter predominante de onda plana.

3.8. Tasa de absorción específica (SAR-specific absorption rate):

Es una medida de la energía de radiofrecuencia absorbida por unidad de masa en los tejidos corporales de los seres vivos y se mide en vatios por kilogramo (w/Kg).

3.9 Métodos Predictivos:

Permiten la evaluación teórica de la intensidad de campo o la densidad de potencia, según sea requerido. Para el efecto, se pueden emplear cálculos teóricos con modelos de propagación adecuados para la región de campo lejano.

4. LÍMITES DE EXPOSICIÓN

Los Límites Máximos Permisibles están establecidos por la Recomendación K-72 y el D.S. N° 038-2003-MTC del 06 de julio de 2003 y están establecidos de la siguiente manera:

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

Límites Máximos Permisibles para Exposición Ocupacional

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)
9 – 65 KHz.	610	24.4	-
0.065 - 1 MHz	610	1.6 / f	-
1 – 10 MHz	610 / f	1.6 / f	-
10 – 400 MHz	61	0.16	10
400 – 2000 MHz	$2 f^{0.5}$	$0.008 f^{0.5}$	f / 40
2 – 300 GHz	137	0.36	50

Límites Máximos Permisibles para Exposición Poblacional

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)
9 – 65 KHz.	87	5	-
0.065 - 1 MHz	87	0.73 / f	-
1 – 10 MHz	$87 / f^{0.5}$	0.73 / f	-
10 – 400 MHz	28	0.073	2
400 – 2000 MHz	$1.375 f^{0.5}$	$0.0037 f^{0.5}$	f / 200
2 – 300 GHz	61	0.16	10

Para efecto de los cálculos predictivos, se considera que la estación MO, transmite en una frecuencia aproximada de 7680 MHz; lo que permite establecer los Límites Máximos Permisibles, de acuerdo al siguiente detalle:

Límites Máximos Permisibles						
Rango de Frecuencias	Exposición Ocupacional			Exposición Poblacional		
	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)
2 – 300 GHz	137	0.36	50	61	0.16	10

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

5. DATOS DE LA ESTACIÓN EVALUADA

DATOS DE LA EMPRESA		
Nombre o Razón Social: STATKRAFT PERÚ S.A.		
Domicilio Legal: Av. Felipe Pardo y Aliaga N° 658, Piso 2, San Isidro, Lima		
Representante: Juan Antonio Rozas Mory		DNI: 07867123
Teléfono: 7008100	E-mail: juan.rozas@statkraft.com	Código Postal: Lima 27

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA ESTACION RADIOELECTRICA					
1. DATOS: S.E. PANU					
Av./Jr./Calle/Pasaje:-----					
Urb./AAHH/Otros: -----					
Distrito: Pativilca					
Provincia: Barranca					
Departamento: Lima					
Coordenadas Geográficas	WGS 84	Longitud Oeste			Latitud Sur
		77° 44' 32.76"			10° 40' 48.00"
	UTM	Zona	Banda	Ref. Este (m)	Ref. Norte (m)
		18	L	199980	8818071
Altitud (m): 175 metros					
Tipo de Servicio: Transmisión Digital Microondas					
¿Se trata de un emplazamiento compartido? (Si/No): Si					
Distancia a un área de uso público (m): -----					

2. EQUIPAMIENTO	
Equipo o Aparato de transmisión:	
Marca: Aviat Network	
Modelo: ODU 600	
Potencia de Salida (Watts/dBm): 0.79 Watts / 29 dBm	
Frecuencia(s) de Transmisión: 7680 MHz	
Tipo de emisión: 27M5G7W	
Tipo de Modulación: QPSK	

3. SISTEMA RADIANTE	
Tipo de Antena: VHLP ValuLine® High Performance Low Profile Antenna	
Marca: Andrew	
Modelo: : VHLP4-7W	
Ganancia : 37.3 dBi (5370.32)	
Polarización: Vertical	
Patrón de Radiación Horizontal: se adjunta diagrama	
Patrón de Radiación Vertical: se adjunta diagrama	
Acimut de máxima radiación (grados): 84.26°	
Apertura Horizontal del haz (grados): 4.7°	
Apertura Vertical del haz (grados): 4.7°	
Inclinación de haz (grados): 3.41°	

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

Relleno de nulos: ---					
Configuración del arreglo: 1 + 1					
Dimensiones de la antena o del arreglo: 1.2 mts					
Altura de la Torre: 20 mts					
Altura de la edificación / altura sobre el suelo (m): 7 mts					
Altura del centro de radiación sobre la altura promedio del terreno (m): 22 mts					
Altura del centro de radiación sobre el nivel del mar (m): 197 mts					
Coordenadas Geográficas de la Torre	WGS 84	Longitud Oeste			Latitud Sur
		77° 44' 32.76"			10° 40' 48.00"
	UTM	Zona	Banda	Ref. Este (m)	Ref. Norte (m)
		18	L	199980	8818071
Altitud	175 mts				

4. CABLE ALIMENTADOR
Tipo: RG8
Marca: Andrew
Modelo: CNT-400
Atenuación: 37 dB/1000 metros
Longitud: 35 m

6. UBICACIÓN GEO-REFERENCIADA



JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

7. ESTACIONES CONTRIBUYENTES

Como se puede apreciar en el Anexo: Torre soporte de la Antena; se cuenta con un irradiante instalado en la misma antena. No se observa la presencia de estaciones contribuyentes dentro de un radio de 100 m, medidos a partir del punto medio de la base de la torre.

8. DESARROLLO DE LOS CÁLCULOS

8.1. Determinación de la longitud eléctrica de la antena

Para determinar el valor de λ tenemos la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{c}{f} \dots\dots\dots(a)$$

Dónde:

λ = Longitud de Onda.

C = Velocidad de la luz = 3×10^8 m/s

f = Frecuencia de operación = 7680 MHz

Reemplazando en (a) tenemos:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{7680 \times 10^6 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = 0.04 \text{ m}$$

8.2. Determinación de las regiones de Campo Electromagnético

Para determinar las regiones de campo electromagnético, se tendrá en cuenta el tamaño físico de la antena (D) y su relación con la longitud de onda (λ); y en nuestro caso $D > \lambda$ ($1.2 \text{ m} > 0.04 \text{ m}$). En tal efecto, nos encontramos en una situación de Antena Grande, por lo cual el cálculo de la distancia hasta donde se extiende el campo cercano, se obtiene mediante el empleo de las siguientes fórmulas:

8.2.1. Región de Campo Cercano Reactivo

$$S_{ccr} = \frac{0.25 D^2}{\lambda}$$

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

$$S_{CCR} = \frac{0.25 \times 1.2^2}{0.04}$$

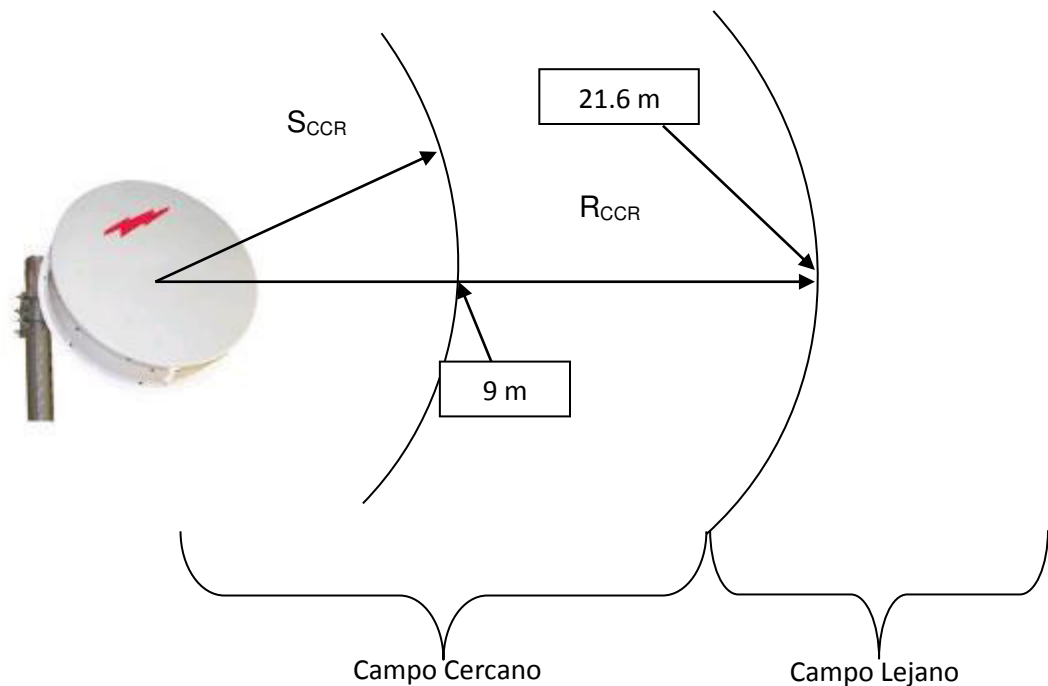
$$S_{CCR} = 9 \text{ m}$$

8.2.2. Región de Campo Cercano Radiante

$$R_{CCR} = \frac{0.6 D^2}{\lambda}$$

$$R_{CCR} = \frac{0.6 \times 1.2^2}{0.04}$$

$$R_{CCR} = 21.6 \text{ m}$$



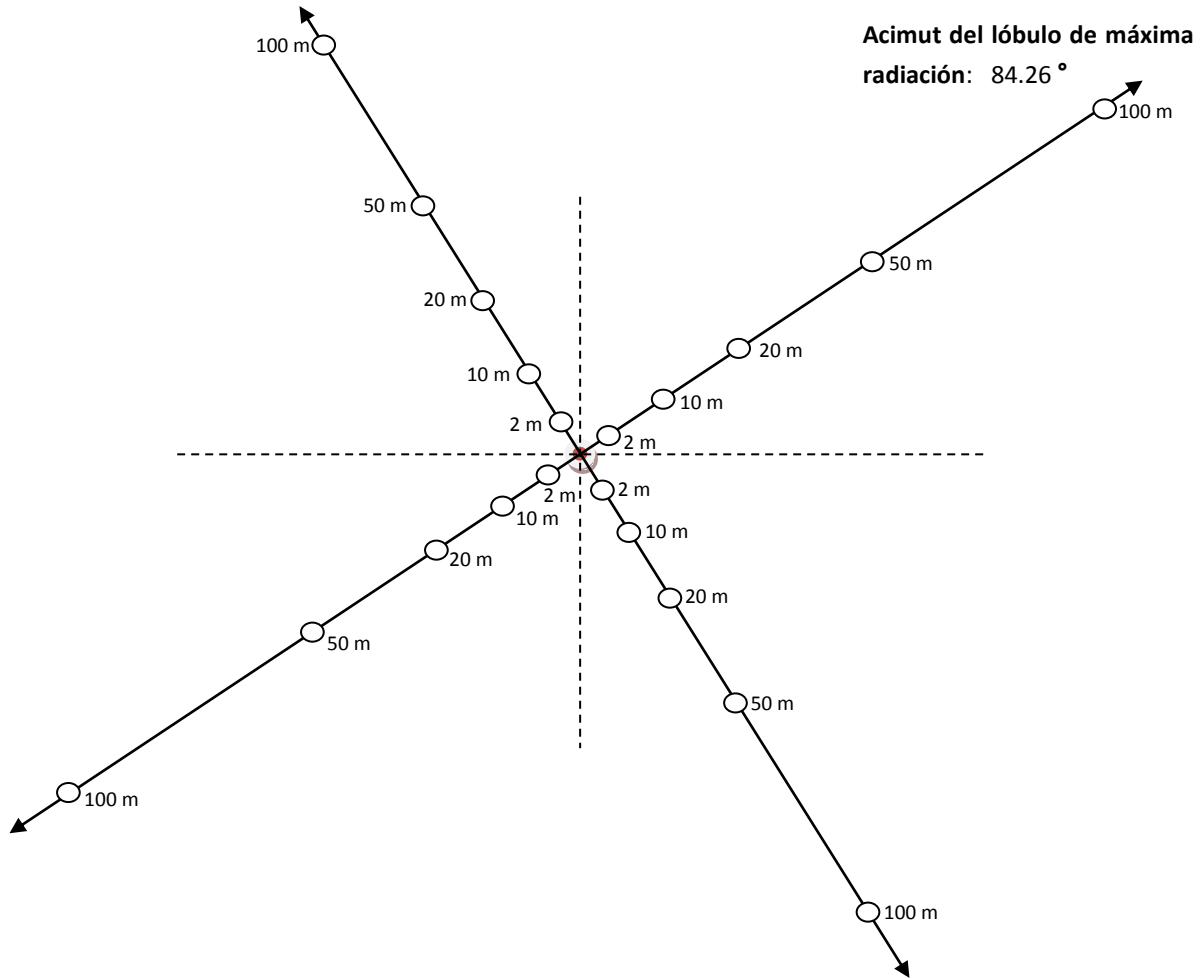
8.3. Estimación de los valores de Densidad de Potencia

8.3.1. Puntos de Evaluación y consideraciones de cálculo

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

Teniendo en consideración lo indicado en el Anexo I de los Lineamientos para el desarrollo de estudios teóricos de radiaciones no ionizantes, se debe de obtener la estimación en puntos de evaluación respecto al soporte de la antena, a las distancias de 2 m, 10 m, 20 m, 50 m y 100 m en 4 direcciones, separadas 90° con el acimut principal, conforme se aprecia en el siguiente gráfico:



Así también, se tiene conocimiento de que las antenas de enlaces de microondas son de elevada ganancia y altamente directivas debido a sus pequeñas aperturas angulares horizontal y vertical del haz, siendo en nuestro caso de 4.7°, y que apuntan hacia el lugar de enlace; en tal efecto, se determina que la potencia en cualquier otra dirección al acimut de máxima radiación (acimut principal que apunta hacia el otro punto geográfico a enlazar), es casi nula, por lo que se estima que no es necesario efectuar el cálculo de la densidad de potencia en las cuatro direcciones ortogonales, sino solamente a la que corresponde al acimut principal (acimut de máxima radiación), de acuerdo a lo planteado en el gráfico precedente.

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

8.3.2. Densidad de Potencia en el campo cercano reactivo

$$S_{CCR} = \frac{16 \eta P_t}{\pi D^2}$$

Dónde:

S_{CCR} = Máxima densidad de potencia en la región de campo cercano reactivo (W/m²).

η = Eficiencia de la apertura, típicamente 0,5 – 0,75 (adimensional).

P_t = Potencia de transmisión (W).

D = Máxima dimensión lineal de la antena (m).

Asimismo, se sabe que, la eficiencia de una antena con apertura circular puede estimarse mediante la fórmula siguiente:

$$\eta = \frac{\left(\frac{gt\lambda^2}{4\pi}\right)}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}$$

Dónde:

gt = Ganancia máxima de la antena (numérica).

λ = Longitud de Onda (m).

D = Diámetro de la apertura circular (m).

η = Eficiencia para apertura circular (adimensional).

Por lo tanto:

$$\eta = \frac{\left(\frac{5370.32 \times 0.04^2}{4\pi}\right)}{\left(\frac{\pi \times 1.2^2}{4}\right)}$$

$$\eta = 0.60$$

Entonces:

$$S_{CCR} = \frac{16 \times 0.60 \times 0.79}{3.1416 \times 1.2^2}$$

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

$$S_{ccr} = 1.6764 \frac{W}{m^2}$$

Esta densidad de potencia es la misma en todo el campo cercano reactivo, hasta aproximadamente los 9 m, en tal efecto, cubre el primer punto de evaluación (2 m).

8.3.3. Densidad de Potencia en el campo cercano radiante

$$St = \frac{S_{ccr} R_{ccr}}{R}$$

Dónde:

St = Densidad de potencia dentro de la región de campo cercano radiante (W/m²)

R = Distancia al punto de interés (m).

La determinación de la región del campo cercano radiante establece su predicción hasta los 21.6 m, entonces para el cálculo de la densidad de potencia en el campo cercano radiante, se utilizará el punto de evaluación ubicado a los 10 m y 20 m.

R = 10 m

$$St = \frac{1.6764 \times 9}{10}$$

$$St = 1.5087 \frac{W}{m^2}$$

R = 20 m

$$St = \frac{1.6764 \times 9}{20}$$

$$St = 0.7544 \frac{W}{m^2}$$

8.3.4. Densidad de Potencia en el campo lejano

Para la predicción de la densidad de potencia en el campo lejano, se utilizaran los puntos de evaluación ubicados a 50m y 100 m, de la parte central de la base de la torre que soporta al radiante, mediante el empleo de la siguiente relación:

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

$$S = \frac{pire}{4\pi r^2}$$

Dónde:

Pire = Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (W) y $pire = P_t \times G_t$

P_t = Potencia de transmisión (W).

G_t = Ganancia máxima de la antena (numérica).

r = Distancia al centro de radiación de la antena al punto de interés (m).

Entonces:

$$Pire = 0.79 \times 5370.32$$

$$Pire = 4242.55$$

Entonces, para los siguientes puntos de evaluación, se tiene:

R = 50 m

$$S = \frac{4242.5528}{4\pi \times 50^2}$$

$$S = 0.1350 \text{ W/m}^2$$

R = 100 m

$$S = \frac{4242.5528}{4\pi \times 100^2}$$

$$S = 0.0337 \text{ W/m}^2$$

8.3.5. Densidad de Potencia fuera del haz principal

$$S(r, \theta, \phi) = K^2 \frac{pire}{4\pi r^2} F(\theta, \phi), \text{ donde:}$$

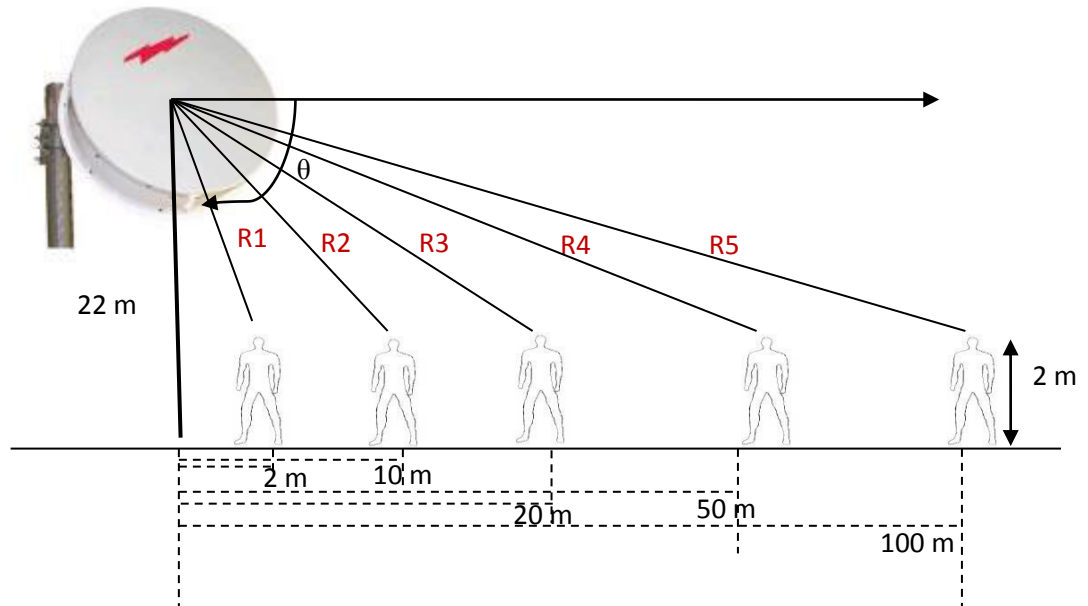
$F(\theta, \phi)$ = Factor de corrección por la directividad vertical y la directividad horizontal de la antena.

K = Es el factor de aumento de la intensidad de campo eléctrico debido a reflexiones en el suelo (adimensional).

En nuestro caso se asume el valor de $K^2 = 2.56$, en relación que las ondas reflejadas llegan al punto de interés en 60 %.

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad



Según el gráfico, para calcular los valores de los R's, se aplica el Teorema de Pitágoras, obteniéndose los siguientes valores:

R1 = 20.09 m	→	$\theta_1 = 84.57^\circ$
R2 = 22.36 m	→	$\theta_2 = 63.44^\circ$
R3 = 28.28 m	→	$\theta_3 = 45.00^\circ$
R4 = 53.85 m	→	$\theta_4 = 21.80^\circ$
R5 = 101.98 m	→	$\theta_5 = 11.31^\circ$

Se establece que en el campo lejano, el campo electromagnético angular, es esencialmente independiente de la distancia a la antena; situación que permite determinar la presencia de un campo con carácter predominante de onda plana y la conveniencia de aplicar factores de corrección a los valores estimados de densidad de potencia.

La naturaleza de las regiones de campo cercano radiante (el campo de radiación predomina sobre el campo reactivo, pero adolece de carácter de onda plana y es de estructura complicada) y campo cercano reactivo (región que está más cerca a la antena y contiene la mayoría o casi toda la energía almacenada), establece la improcedencia de aplicar factores de corrección para la predicción de los valores de densidad de potencia en el campo cercano

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

Así también, se tiene conocimiento que, para antenas de micro ondas como es el caso en estudio; se puede estimar la densidad de potencia en el campo cercano reactivo y radiante fuera del eje de radiación, para los puntos de interés que se encuentren ubicados en por lo menos a una distancia equivalente a un diámetro de la antena a partir del centro del lóbulo principal, un nivel de densidad de potencia hasta 100 veces menor que el valor calculado para la distancia equivalente en el lóbulo principal (según OET Bulletin 65, referencia 4).

Esta relación, afecta directamente a los niveles de densidad de potencia estimados en los puntos de evaluación, definidos con relación al punto medio del soporte de la antena, a las distancias de 10 m, 20 m, 50 m y 100 m en 4 direcciones, separadas 90° con el acimut de referencia; de acuerdo a lo establecido en el Anexo I de los Lineamientos para el desarrollo de estudios teóricos de radiaciones no ionizantes y que se reflejan en el Cuadro de Densidad de potencia de la Estación radioeléctrica en evaluación

Contexto que permite utilizar en cumplimiento al numeral 5.3.1.2.2., de los lineamientos para el desarrollo del estudio teórico de radiaciones no ionizantes, factores de corrección al **patrón de radiación ideal** que se adjunta, con valores de 0.013, 0.024, 0.049 y 0.081, para la predicción de la densidad de potencia en los correspondientes puntos de evaluación del campo lejano, ubicados a 20 m, 50 m y 100 m. En este efecto, tendremos:

R = 10 m

$$S = 2.56 \times 1.5087 \times 0.013$$
$$S = 0.0502 \text{ W/m}^2$$

R = 20 m

$$S = 2.56 \times 0.7544 \times 0.024$$
$$S = 0.0463 \text{ W/m}^2$$

R = 50 m

$$S = 2.56 \times 0.1350 \times 0.049$$
$$S = 0.0169 \text{ W/m}^2$$

R = 100 m

$$S = 2.56 \times 0.0337 \times 0.081$$
$$S = 0.006 \text{ W/m}^2$$

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

8.3.6. Resumen de las Densidades de Potencia

De acuerdo a lo señalado anteriormente, se tiene el siguiente resumen de valores de densidad de potencia:

Localización del punto de evaluación respecto al soporte de antena			Nivel de emisión calculado		Límite máximo permisible a nivel poblacional		% del nivel de emisión calculado respecto al LMP Poblacional	Límite máximo permisible a nivel ocupacional		% del nivel de emisión calculado respecto al LMP Ocupacional
Angulo de acimut	Distancia (m)	Punto de cálculo	Valor	Unidad	Valor	Unidad		Valor	Unidad	
Acimut del lóbulo de máxima radiación	2	1	0.016764	w/m ²	10	w/m ²	0.16764	50	w/m ²	0.033528
	10	2	0.015087	w/m ²	10	w/m ²	0.15087	50	w/m ²	0.030174
	20	3	0.007544	w/m ²	10	w/m ²	0.07544	50	w/m ²	0.015088
	50	4	0.001351	w/m ²	10	w/m ²	0.01351	50	w/m ²	0.002702
	100	5	0.000337	w/m ²	10	w/m ²	0.00337	50	w/m ²	0.000674
Acimut lóbulo de referencia + 90°	2	1	0.000167	w/m ²	10	w/m ²	0.00167	50	w/m ²	0.000334
	10	2	0.0005	w/m ²	10	w/m ²	0.005	50	w/m ²	0.001
	20	3	0.0004	w/m ²	10	w/m ²	0.004	50	w/m ²	0.0008
	50	4	0.0001	w/m ²	10	w/m ²	0.001	50	w/m ²	0.0002
	100	5	0.00006	w/m ²	10	w/m ²	0.0006	50	w/m ²	0.00012
Acimut lóbulo de referencia + 180°	2	1	0.000167	w/m ²	10	w/m ²	0.00167	50	w/m ²	0.000334
	10	2	0.0005	w/m ²	10	w/m ²	0.005	50	w/m ²	0.001
	20	3	0.0004	w/m ²	10	w/m ²	0.004	50	w/m ²	0.0008
	50	4	0.0001	w/m ²	10	w/m ²	0.001	50	w/m ²	0.0002
	100	5	0.00006	w/m ²	10	w/m ²	0.0006	50	w/m ²	0.00012
Acimut lóbulo de referencia + 270°	2	1	0.000167	w/m ²	10	w/m ²	0.00167	50	w/m ²	0.000334
	10	2	0.0005	w/m ²	10	w/m ²	0.005	50	w/m ²	0.001
	20	3	0.0004	w/m ²	10	w/m ²	0.004	50	w/m ²	0.0008
	50	4	0.0001	w/m ²	10	w/m ²	0.001	50	w/m ²	0.0002
	100	5	0.00006	w/m ²	10	w/m ²	0.0006	50	w/m ²	0.00012

Acimut de lóbulo de referencia: 84.26°

8.3.7 Densidad de Potencia de las estaciones contribuyentes

8.3.7.1 Se tiene conocimiento de la existencia de estaciones contribuyentes ubicadas en la misma torre. Radiantes que corresponden a otros enlaces radioeléctricos.

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

- 8.3.7.2 Para definir los efectos que origina la operación concurrente de las estaciones radioeléctricas consideradas como contribuyentes, se realizará el cálculo predictivo de su contribución al nivel de densidad de potencia de la estación en estudio, mediante la asunción de valores aproximados de la energía que posiblemente irradian durante su funcionamiento, en un marco del peor de los casos.
- 8.3.7.3 En este sentido, y al no disponerse de información técnica en detalle, de las estaciones radioeléctricas consideradas como contribuyentes, se optará por multiplicar por un factor de 30 al valor de Densidad de Potencia, calculado para una Estación radioeléctrica de micro ondas, asumiéndose como el peor de los casos el que todos los irradianes apunten hacia la misma dirección y cuenten con características técnicas similares.
- 8.3.7.4 Así también, para efectos de extremar los cálculos predictivos del valor total de la densidad de potencia a ser definida en la estación radioeléctrica en estudio, se estima su contribución en un solo plano, sin reconocer que a mayor altura de la instalación, del radiante de las estaciones contribuyentes, su contribución al nivel de densidad de potencia de la estación en estudio, es menor en razón a que su valor es inversamente proporcional a la altura.
- 8.3.8 Resultado de Densidad de Potencia de la Estación en estudio y las Estaciones contribuyentes**

Se considera como el peor de los casos, el que las estaciones contribuyentes sean estaciones radioeléctricas de MO, en razón a la frecuencia de operación, potencia y a la magnitud de la apertura vertical y horizontal del haz, que la caracteriza como altamente directiva.

En este efecto, se asume que la estación radioeléctrica en estudio, recibe la contribución de densidad de potencia de la energía electromagnética emitida por 30 estaciones de MO; para lo cual se estima, la emisión típica de una estación de MO que opera con 0.79 Watts / 29 dBm de potencia de salida y con un sistema radiante de 37.3 dBi (5370.32) de ganancia.

En el siguiente cuadro se pueden apreciar los resultados de los cálculos de predicción de los niveles de densidad de potencia en w/m^2 , de las radiaciones electromagnéticas que teóricamente serán generados durante la operación de la estación radioeléctrica en estudio y de las estaciones radioeléctricas que contribuyen con sus emisiones al incremento de la energía electromagnética en un radio de 100 metros, medidos a partir del punto central de la base de la torre metálica que sirve de soporte al irradiante de la estación de MO.

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

Irradiantes que idealmente ajustan sus respectivos patrones de irradiación vertical y horizontal al de una antena altamente directiva; así también, se realiza su comparación con los Límites Máximos permisibles de Radiaciones No Ionizantes (Poblacional y Ocupacional), establecidos en la Recomendación K-72 y el D.S. N° 038-2003-MTC del 06 de Julio de 2003.

Localización del punto de evaluación respecto al soporte de antena			Emisión de la Estación Radio eléctrica de MO	Contribución total, con 30 estaciones adicionales		Límite máximo permisible a nivel poblacional		% del nivel de emisión calculado respecto al LMP Poblacional	Límite máximo permisible a nivel ocupacional		% del nivel de emisión calculado respecto al LMP Ocupacional
Angulo de acimut	Distancia (m)	Punto de cálculo		Valor total	Unidad	Valor	Unidad		Valor	Unidad	
Acimut del máximo lóbulo de radiación	2	1	0.016764	0.184	w/m ²	10	w/m ²	1.84	50	w/m ²	0.369
	10	2	0.015087	0.166	w/m ²	10	w/m ²	1.66	50	w/m ²	0.332
	20	3	0.007544	0.083	w/m ²	10	w/m ²	0.83	50	w/m ²	0.166
	50	4	0.001351	0.015	w/m ²	10	w/m ²	0.15	50	w/m ²	0.030
	100	5	0.000337	0.004	w/m ²	10	w/m ²	0.04	50	w/m ²	0.007
Acimut del máximo lóbulo de radiación + 90°	2	1	0.000167	0.002	w/m ²	10	w/m ²	0.02	50	w/m ²	0.004
	10	2	0.0005	0.006	w/m ²	10	w/m ²	0.06	50	w/m ²	0.011
	20	3	0.0004	0.004	w/m ²	10	w/m ²	0.04	50	w/m ²	0.009
	50	4	0.0001	0.001	w/m ²	10	w/m ²	0.01	50	w/m ²	0.002
	100	5	0.00006	0.001	w/m ²	10	w/m ²	0.01	50	w/m ²	0.001
Acimut del máximo lóbulo de radiación + 180°	2	1	0.000167	0.002	w/m ²	10	w/m ²	0.02	50	w/m ²	0.004
	10	2	0.0005	0.006	w/m ²	10	w/m ²	0.06	50	w/m ²	0.011
	20	3	0.0004	0.004	w/m ²	10	w/m ²	0.04	50	w/m ²	0.009
	50	4	0.0001	0.001	w/m ²	10	w/m ²	0.01	50	w/m ²	0.002
	100	5	0.00006	0.001	w/m ²	10	w/m ²	0.01	50	w/m ²	0.001
Acimut del máximo lóbulo de radiación + 270°	2	1	0.000167	0.002	w/m ²	10	w/m ²	0.02	50	w/m ²	0.004
	10	2	0.0005	0.006	w/m ²	10	w/m ²	0.06	50	w/m ²	0.011
	20	3	0.0004	0.004	w/m ²	10	w/m ²	0.04	50	w/m ²	0.009
	50	4	0.0001	0.001	w/m ²	10	w/m ²	0.01	50	w/m ²	0.002
	100	5	0.00006	0.001	w/m ²	10	w/m ²	0.01	50	w/m ²	0.001

Acimut del máximo lóbulo de radiación: 84.26°

Lo que proporciona evidencia, de que los niveles de densidad de potencia obtenidos mediante la aplicación de los lineamientos para la formulación de estudios teóricos de radiaciones no ionizantes, son menores a los límites máximos permisibles tanto a nivel poblacional como a nivel ocupacional.

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

9. CONCLUSIONES

- La evaluación de los resultados obtenidos en el cálculo teórico predictivo de la densidad de potencia a ser radiada durante la operación de una estación de Micro Ondas **S.E. PANU**, de la empresa **STATKRAFT PERÚ S.A.**, ubicada en el distrito de Pativilca, provincia de Barranca y departamento de Lima; permite concluir que la **estación de Micro Ondas S.E. PANU de la empresa STATKRAFT PERÚ S.A., no sobrepasa los límites máximos de densidad de potencia para la exposición ocupacional y poblacional.**
- El cálculo de los valores de Densidad de Potencia, se ha realizado en relación a la ubicación en el terreno de la Torre de acero en la que está instalada la antena; infraestructura cuya base ha sido utilizada como referencia para el estimado de los parámetros utilizados en la aplicación del algoritmo. La torre de acero, está instalada en una zona distante a zonas utilizadas para la prestación de servicios públicos.
- En el marco de la promoción de una cultura de seguridad y salud en el trabajo, establecido por la Ley N° 29783 Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo y su reglamento el DS N° 005-2012-TR, es conveniente, que **STATKRAFT PERÚ S.A.**, asegure la implementación de medidas de control operativo para minimizar los riesgos de accidentes y enfermedades profesionales originadas por irradiaciones no ionizantes; en particular durante la ejecución por el personal de trabajadores de su empresa, de actividades de instalación y mantenimiento del sistema.
- Se recomienda que las áreas de trabajo estén debidamente acordonadas y cuenten con señalización de seguridad, a fin de advertir la naturaleza del riesgo de exposición y controlar el acceso del personal.

10. EJECUCIÓN Y APROBACIÓN

Refrendador por:	
Ingeniero: José Eduardo Torres Vega	
Reg. CIP: 79059	Registrado en la Dirección General de Concesiones con N° 050 - RNI
Dirección: Calle Las Secoyas N° 143 Urb. Los Sirius, La Molina – Lima	
Teléfono/fax: 3653346 / 999664525	E-mail: jotove1854@hotmail.com
<p>.....</p> <p>Firma del Ing. Responsable</p>	

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Tems de Seguridad

11. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Decreto Supremo N° 038-2003-MTC, Establecen Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones.
- Resolución Ministerial N° 612-2004-MTC/03, Norma Técnica Lineamientos para el desarrollo de los estudios teóricos de radiaciones no ionizantes.
- Decreto Supremo N° 038-2006-MTC, Modifican Decreto Supremo N° 038-2006-MTC mediante el cual se aprobaron Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones.
- OET Bulletin 65.
- EPA 520/1-85-014 (The Radiofrequency Radiation Environment).

JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temes de Seguridad

ANEXO

TORRE SOPORTE DE ANTENA



JOSE EDUARDO TORRES VEGA

Coronel EP (R), Diplomado en Ciencia y Tecnología, Ingeniero Electrónico CIP, Maestro en Administración, Experto en Logística, Docente Universitario a nivel de Pre Grado y Post Grado, Diplomado en Seguridad y Salud Ocupacional, Autorizado para formular Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes, Consultor en el Diseño e implantación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemática, Consultor en Temas de Seguridad

PATRONES DE RADIACION IDEAL

