

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO DE LA RED PARA EL PROYECTO DE BANDA ANCHA RURAL
JULIACA - SAN GABÁN**

Tesis para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones que presenta el bachiller:

EDUARDO ENRIQUE RANGEL ESPINOZA

ASESOR: ING. LUIS MONTES BAZALAR

Lima, febrero de 2013

Resumen

La presente tesis propone el diseño de la red para el proyecto de banda ancha rural Juliaca – San Gabán, que atenderá las necesidades de las comunidades y negocios comprendidos en este tramo del territorio nacional, y los requerimientos de las empresas de electrificación rural del departamento de Puno, San Gabán S.A. y Red Eléctrica del Perú, las cuales entregaron el usufructo de su infraestructura de alta tensión en concesión a un operador de telecomunicaciones mediante concurso público de FITEC para el despliegue del Backbone de fibra óptica que permitirá la convergencia de servicios de telecomunicaciones en la región.

Mediante el análisis de la situación actual de los servicios en la zona afectada y la proyección de la demanda de los mismos, se aplicaron los conocimientos de planificación de redes de telecomunicaciones y comunicaciones ópticas para desarrollar la ingeniería del proyecto, seleccionando la tecnología DWDM para la red de transporte y SDH en la capa de acceso.

Finalmente se realizó el análisis de rentabilidad a precios privados y sociales que permitió determinar la factibilidad y sostenibilidad del proyecto en el tiempo con el apoyo de una estructura de financiamiento público – privada.

Dedicatoria

“A mis padres por su inmenso amor y esfuerzo constante, a mi hermano y a mi hermana por su apoyo y compañía durante toda mi vida”
Eduardo Enrique Rangel Espinoza



Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar a mi familia por haberme guiado a lo largo de estos años por el camino del bien.

Asimismo, me gustaría agradecer al ingeniero Luis Montes Bazalar quien con su experiencia supo guiarme y sacar lo mejor de mí durante el desarrollo de la tesis.

Finalmente a todas aquellas personas, amigos de la vida y del trabajo, que han fomentado en mí el deseo de superación y anhelo de triunfo en la vida.



INDICE

Lista de tablas.....	07
Lista de figuras.....	09
Introducción.....	11
Capítulo 1: Fundamento teórico de redes de banda ancha.....	12
1.1 Redes de Banda Ancha.....	12
1.1.1 Estructura de una red de banda ancha.....	12
1.1.2 Redes de transporte de Fibra óptica en el Perú.....	13
1.1.3 Demanda del ancho de banda en Internet.....	14
1.2 Tipos de Multiplexación.....	14
1.2.1 TDM.....	14
1.2.2 WDM.....	14
1.3 SONET/SDH.....	15
1.3.1 Modelo de capas SDH.....	15
1.3.2 Componentes de una red SDH.....	16
1.3.3 Estructura básica de una trama SDH.....	16
1.3.4 Mapeo y Multiplexación de canales tributarios.....	17
1.4 DWDM.....	18
1.4.1 Variedades de WDM.....	18
1.4.2 Componentes y operación de DWDM.....	18
1.4.3 Interfaces hacia DWDM.....	26
1.4.4 Topologías y esquemas de protección en DWDM.....	27
1.4.5 Tecnología ASON.....	28
Capítulo 2: Definición del proyecto.....	29
2.1 Aspectos generales.....	29
2.1.1 Situación geográfica.....	29
2.1.2 Entidades involucradas.....	31
2.2 Diagnóstico de la situación actual.....	31
2.2.1 Antecedentes de la situación que motiva el proyecto.....	31
2.2.2 Características de la zona afectada y estimación de su población.....	31
2.2.3 Características de los grupos sociales afectados.....	34
2.2.4 Acceso a las tecnologías de información y comunicación.....	34
2.2.5 Servicios prioritarios de telecomunicaciones.....	37
2.3 Identificación de objetivos centrales del proyecto.....	38
2.4 Requerimientos técnicos planteados por FITEL.....	38
2.4.1 Acceso a Internet.....	38

2.4.2	Telefonía.....	39
2.5	Requerimientos técnicos de San Gabán.....	39
Capítulo 3:	Ingeniería del proyecto.....	40
3.1	Dimensionamiento.....	40
3.1.1	Determinación del ancho de banda requerido.....	40
3.1.2	Determinación de nodos principales.....	56
3.2	Equipamiento.....	56
3.2.1	Selección de la tecnología.....	56
3.2.2	Selección del proveedor.....	58
3.2.3	Equipos de transporte OSN6800.....	59
3.2.4	Equipos de acceso OSN 7500.....	63
3.2.5	Interconexión entre equipos.....	66
3.3	Tendido de fibra óptica.....	67
3.3.1	Selección del proveedor.....	67
3.3.2	Descripción de instalación sobre línea de alta tensión.....	69
3.3.3	Cálculo del enlace de fibra óptica.....	71
Capítulo 4:	Análisis de rentabilidad y evaluación del proyecto.....	74
4.1	Costos de inversión (CAPEX).....	74
4.2	Gastos de operación y mantenimiento (OPEX).....	75
4.3	Flujo de caja a precios privados.....	76
4.4	Flujo de caja a precios sociales.....	78
4.5	Estructura de financiamiento.....	79
	Conclusiones.....	81
	Recomendaciones.....	82
	Bibliografía.....	83

Lista de tablas

Tabla 1-1:	Longitud de las redes de fibra óptica desplegadas por empresa en el Perú...	13
Tabla 1-2:	Niveles de Jerarquía SONET/SDH.	18
Tabla 1-3:	Algunas frecuencias centrales de multiplexación para espaciamentos de 100 y 50 GHz	23
Tabla 2-1:	Comparación de la población proyectada al año 2011.....	32
Tabla 2-2:	Proyección de la población de referencia al 2011.....	33
Tabla 2-3:	Proyección de la población afectada por género y área de residencia al 2011.....	33
Tabla 2-4:	Departamento de Puno: Hogares en viviendas particulares, por servicio de información y comunicación que dispone el hogar, según área de residencia.....	35
Tabla 2-5:	Departamento de Puno: Hogares en viviendas particulares con ocupantes presentes, por servicio de información y comunicación que posee el hogar, según provincia, 2007.....	36
Tabla 2-6:	Departamento de Puno: líneas Multi DSL y líneas POTS por centro de alambre, 2011.....	36
Tabla 2-7:	Resultados Encuesta Nacional de Hogares sobre Telecomunicaciones para el Departamento de Puno 2011.....	37
Tabla 3-1:	Densidad de TUP y tasa de crecimiento anual (1998-2008).....	41
Tabla 3-2:	Tráfico total y mensual por línea a través de TUP (minutos).	42
Tabla 3-3:	Simulación y valores óptimos de densidad de terminales TUP: escenario ciudades.....	42
Tabla 3-4:	Evolución de líneas en servicio de telefonía fija y servicio móvil a nivel nacional.....	44
Tabla 3-5:	Proyección de la demanda del servicio de Telefonía de abonados del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán"	46
Tabla 3-6:	Proyección de la demanda del servicio de Telefonía móvil del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán"	48
Tabla 3-7:	Velocidades de internet móvil ofrecidas por América Móvil al 2012.....	49
Tabla 3-8:	Velocidades de internet móvil ofrecidas por Telefónica móviles al 2012....	49
Tabla 3-9:	Proyección de la demanda del servicio de Banda ancha móvil del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán"	50
Tabla 3-10:	Comparación de ancho de banda de acceso a Internet según tecnología de acceso 2011-2012.....	51

Tabla 3-11:	Evolución de la velocidad de acceso promedio a Internet a nivel nacional.....	52
Tabla 3-12:	Proyección de la demanda del servicio de Internet del proyecto " <i>Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán</i> ".....	53
Tabla 3-13:	Algunas velocidades de acceso y tarifas RPV Multiservicios.....	55
Tabla 3-14:	Proyección de la demanda total de ancho de banda del proyecto " <i>Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán</i> ".....	55
Tabla 3-15:	CWDM vs DWDM (aplicaciones actuales).....	57
Tabla 3-16:	Comparación de prestaciones de equipamiento DWDM de distintos proveedores.....	58
Tabla 3-17:	Unidades funcionales del subrack Optix OSN 6800.	60
Tabla 3-18:	Relación entre slots y tipos de tarjeta del subrack Optix OSN 7500.....	65
Tabla 3-19:	Prestaciones fibra óptica Corning vs Furukawa.	68
Tabla 3-20:	Características de las líneas de transmisión eléctrica del proyecto " <i>Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán</i> ".	70
Tabla 3-21:	Características de las subestaciones eléctricas de la empresa REP.....	70
Tabla 3-22:	Características de las subestaciones eléctricas de la empresa San Gabán....	71
Tabla 3-23:	Valores de Margen de enlace para cada tramo del tendido.....	73
Tabla 4-1:	Precios de equipos del proyecto.....	75
Tabla 4-2:	Costos de mano de obra del proyecto.....	75
Tabla 4-3:	Costo total de inversión del proyecto.....	75
Tabla 4-4:	Flujo de caja a precios privados sin ingresos.....	76
Tabla 4-5:	Flujo de caja a precios privados en punto de equilibrio.	77
Tabla 4-6:	Tarifas de navegación de operadores al año 2012.....	78
Tabla 4-7:	Flujo de caja a precios sociales.....	79

Lista de figuras

Figura 1-1:	Relación entre modelo de capas y topología de la red SDH.....	16
Figura 1-2:	Estructura de la trama STM-1.	17
Figura 1-3:	Mapeo de canales tributarios en SDH.....	17
Figura 1-4:	Elementos de un sistema DWDM.....	19
Figura 1-5:	Ley de Snell.....	19
Figura 1-6:	Curva de atenuación y dispersión de la fibra óptica estándar. Se muestran ventanas y bandas de operación.	21
Figura 1-7:	Multiplexación por AWG.....	25
Figura 1-8:	Esquema de un OADM.....	26
Figura 1-9:	Arquitectura actual IP sobre DWDM.	27
Figura 1-10:	Interconexión de topologías DWDM.....	28
Figura 2-1:	Backbone de fibra óptica a instalar en el proyecto <i>"Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán"</i>	30
Figura 2-2:	División provincial del departamento de Puno.....	32
Figura 3-1:	Cálculo de cantidad de circuitos para el servicio de TUP del proyecto <i>"Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán"</i>	43
Figura 3-2:	Cálculo de cantidad de circuitos para el servicio telefonía de abonados del proyecto <i>"Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán"</i>	45
Figura 3-3:	Cálculo de cantidad de circuitos para el servicio de telefonía móvil del proyecto <i>"Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán"</i>	47
Figura 3-4:	VPN sobre MPLS.....	54
Figura 3-5:	2012 Líderes en compartición de mercado de Hardware óptico.	59
Figura 3-6:	Slots del subrack Optix OSN 6800.....	60
Figura 3-7:	Diagrama esquemático del OSN 6800 en configuración OTM.....	61
Figura 3-8:	Diagrama esquemático del OSN 6800 en configuración ROADM Este- Oeste.....	62
Figura 3-9:	Diagrama esquemático del OSN 6800 en configuración ROADM Este – Oeste / Sur – Norte.....	63
Figura 3-10:	Estructura del subrack Optix OSN 7500.....	64
Figura 3-11:	Disposición de slots del subrack Optix OSN 7500.....	65
Figura 3-12:	Arquitectura del sistema Optix OSN 7500.....	66

Figura 3-13: Topología en cadena.....66

Figura 3-14: Topología lógica del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán"67

Figura 3-15: Criterios de operadores en la selección de proveedores de fibra óptica.....67

Figura 3-16: Soluciones de Corning para necesidades específicas.....68

Figura 3-17: Especificaciones cable Condumex ADSS líneas de transmisión.....69



Introducción

El despliegue de las telecomunicaciones juega un papel fundamental en el desarrollo del país. Hoy en día, por ejemplo, es imposible concebir una gran compañía sin una moderna red que le permita conectarse a sus proveedores o clientes a cientos de kilómetros de distancia; es por ello que la inversión privada es fundamental en la infraestructura de redes de transporte. Pero el estado debe tomar también parte de este desafío, de la misma forma que lo hace con las carreteras, redes de electrificación o de abastecimiento de agua potable (proyectos de alta rentabilidad social, pero cuyo financiamiento no admite un esquema completamente privado), ya que el acceso a las tecnologías de la información provee de oportunidades a los innovadores que desean crear nuevos productos e industrias, nuevas formas de participación ciudadana y competencia profesional de nivel internacional.

Se da una situación particular en la que es posible utilizar infraestructura de alta tensión para realizar el despliegue de redes de transporte de fibra óptica. Este es el caso del proyecto de banda ancha rural Juliaca – San Gabán propuesto por el Fondo de inversión en Telecomunicaciones – FITEL y que se soportará sobre las líneas de transmisión de las empresas de electrificación rural San Gabán y Red Eléctrica del Perú, permitiendo así acabar con la brecha de información en 281 localidades de la región Puno.

La presente tesis se divide en cuatro capítulos. En el primero se presentan los conceptos tecnológicos fundamentales de las redes de banda ancha. En el segundo capítulo se realiza un análisis a nivel de perfil del SNIP y se presentan los requerimientos técnicos que debe cumplir el proyecto de FITEL. En el tercer capítulo se aborda la solución de ingeniería. Finalmente, en el cuarto capítulo se realiza el análisis de rentabilidad y evaluación del proyecto.

Al final de este trabajo de tesis se podrá contar con una guía para el operador y las entidades del estado que integra las consideraciones desde los puntos de vista tecnológico, económico y social que se debe tomar en cuenta en el desarrollo de un proyecto de banda ancha de inversión pública soportado sobre infraestructura de alta tensión.

Capítulo 1

Fundamento teórico de redes de banda ancha

En este capítulo se presentan los conceptos fundamentales de redes de banda ancha y las tecnologías necesarias para su despliegue y que serán utilizadas más adelante en el diseño de ingeniería.

1.1 Redes de banda ancha

La Banda Ancha puede ser entendida como una conexión a Internet en forma permanente, permitiendo al usuario estar siempre "en línea", a velocidades que le permiten obtener y proporcionar información multimedia interactivamente y acceder a diversas aplicaciones y servicios, típicamente a velocidades de bajada iguales o mayores a 256 Kbps. [PBA2011]

1.1.1 Estructura de una red de banda ancha

La estructura actual de las redes de telecomunicaciones de Banda Ancha para el acceso a Internet comprende:

- Enlaces de Salida a Internet: enlaces de alta velocidad que permiten interconectar la red del ISP con Internet.

- Red de Telecomunicaciones del ISP conformada por:
 - Núcleo de la Red: está compuesto principalmente por redes y equipos de conmutación de paquetes de alta capacidad y velocidad, que permiten concentrar el tráfico de todos los usuarios de la red y encaminar los datos desde y hacia Internet, a través de los enlaces internacionales.
 - Red de Transporte: consiste en la infraestructura, medios de transmisión y equipos necesarios para transportar las señales de telecomunicaciones. Esta red está constituida por enlaces que unen distintas zonas de una misma ciudad, así como las diversas regiones y provincias del país, y utiliza principalmente tres clases de medios de transporte: fibra óptica, enlaces microondas y enlaces satelitales.
 - Red de Acceso: consiste en la infraestructura, equipos de telecomunicaciones y medios de acceso necesarios para conectar los terminales de los usuarios con la red. Esta red tiene un alcance corto de pocos kilómetros (generalmente dentro de un distrito), y utiliza principalmente alguna de las siguientes tecnologías: ADSL, DOCSIS, WiMax, UMTS, HSPA, VSAT y/o líneas dedicadas. **[PBA2011]**

1.1.2 Redes de transporte de Fibra óptica en el Perú

Los sistemas de telecomunicaciones requieren de una red de transporte (Backbone) que permita transportar la información de los servicios a altas velocidades entre ciudades. Es por ello que, estas redes se diseñan en base al tendido de fibra óptica, al ser un medio de alta capacidad y velocidad. En el Perú existen redes dorsales implementadas principalmente en la costa. Estas redes son de propiedad de empresas operadoras de telecomunicaciones tales como Telefónica del Perú S.A.A., Telmex Perú S.A., América Móvil Perú S.A.C., Internexa S.A., Global Crossing Perú S.A. y Optical IP Servicios Multimedia S.A. **(Ver Anexo 1) [PBA2011]**

Tabla 1-1: Longitud de las redes de fibra óptica desplegadas por empresa en el Perú.

Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. "Plan nacional para el desarrollo de la Banda Ancha en el Perú".

Nº	Empresa	Longitud (km)
1	Telefónica del Perú	4008
2	Telmex Perú / América Móvil	3225
3	Internexa	1293
4	Global Crossing	252
5	Americatel Perú	92
6	Optical IP Servicios Multimedia	63
Total		8933

A su vez, en esta red dorsal, cada empresa tiene instalados nodos, puntos en los cuales puede insertarse y extraerse información para que sea transportada hacia su destino final; el número de éstos alcanzan en total los 109. [PBA2011]

1.1.3 Demanda del ancho de banda en Internet

La explosión de demanda por ancho de banda se debe al crecimiento del tráfico de datos, específicamente del protocolo IP. Los ISP reportan que la capacidad de su Backbone se duplica entre cada seis a nueve meses, mientras el tráfico de voz crece de forma constante al 13% anual. De esta forma, los proveedores de servicio encuentran el uso de su fibra al límite, viendo como única solución efectiva en costo el incremento de la capacidad de los hilos existentes. Algo importante que recalcar es el incremento de datos sensibles al retardo tales como voz sobre IP o streaming de video, que cada día consume mayor ancho de banda. [CSC2001]

1.2 Tipos de Multiplexación

La Multiplexación es el envío de múltiples señales o flujos de información a través de un circuito en forma de una única señal compleja de tal forma que sea posible separar las señales en el extremo de recepción. Los tipos básicos de Multiplexación incluyen TDM (Multiplexación por división de tiempo) y FDM (Multiplexación por división de frecuencia), siendo WDM (Multiplexación por división de longitud de onda) un caso particular en el dominio óptico. [FUJ2002]

1.2.1 TDM

La Multiplexación por división de tiempo divide el tiempo en pequeños intervalos, los cuales son asignados a cada señal, de forma que todas comparten el mismo enlace físico según una secuencia definida. [FUJ2002]

1.2.2 WDM

La modulación de las ondas de luz permite la transmisión de señales analógicas y digitales en el orden de los GHz o Gbps en una portadora de alta frecuencia, típicamente entre 186 y 196 THz. Con WDM, es posible acoplar fuentes emisoras de luz de diferentes longitudes de onda ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots \lambda_n$) sobre el mismo hilo de fibra y separarlas en el otro extremo para su detección con pérdidas mínimas como única solución efectiva en costo al incremento de la capacidad de los hilos existentes. [CSC2001]

1.3 SONET/SDH

Tradicionalmente, las jerarquías de transmisión digitales han estado basadas en Multiplexación plesiócrona de señales. La unidad básica de llamadas telefónicas es de 64 Kbps, siendo 24 (en Norteamérica) ó 32 (en el resto del Mundo) de estas unidades multiplexadas usando TDM, agregándose a una velocidad de 1.544 Mbps o 2.048 Mbps para una transmisión sobre líneas T1 o E1, respectivamente. Para recuperar un canal de voz de 64 Kbps de un canal PDH de 140 Mbps es necesario demultiplexar hasta el nivel de 2.048 Mbps antes de la ubicación del canal de voz para luego volver a multiplexar todo el grupo restante para que continúe su camino; esto debido a la inserción de bits de relleno para compensar la variación de tasas de bits de las señales de entrada. [TEK2012]

La industria de las Telecomunicaciones adoptó a SONET/SDH (Synchronous Optical Network/Synchronous como estándar para el transporte óptico de información. SONET usado en Norteamérica y SDH en el resto del mundo, especifican interfaces, anchos de banda, formatos de tramas, métodos de Multiplexación y gestión de TDM síncrona sobre fibra óptica. [CSC2001]

1.3.1 Modelo de capas SDH

Las redes SDH se dividen en varias capas relacionadas directamente con la topología de la red. La capa de nivel más bajo (física) puede ser un enlace de fibra, radio o satelital. La sección de regeneración es el tramo entre regeneradores. Parte de la tara (RSOH, Regeneration Section Overhead) está disponible para la señalización requerida dentro de esta capa. El resto de la tara (MSOH, Multiplex Section Overhead) se usa para las necesidades de la sección de Multiplexación, que cubre parte del enlace comprendido entre multiplexores. Los contenedores (VC, Virtual Containers) están disponibles como carga útil a ambos extremos de la sección de Multiplexación. La capa de nivel más alto es la aplicación de la red de transporte SDH (IP, ATM, PSTN/ISDN).

Las dos capas de VC representan el proceso de mapeo. El mapeo es el procedimiento por el cual las señales tributarias, tales como PDH o ATM son empacadas dentro de módulos de transporte SDH. VC-4 es usado para señales de 140 Mbps o ATM y VC-12 es usado para señales de 2 Mbps. [ACT2012]

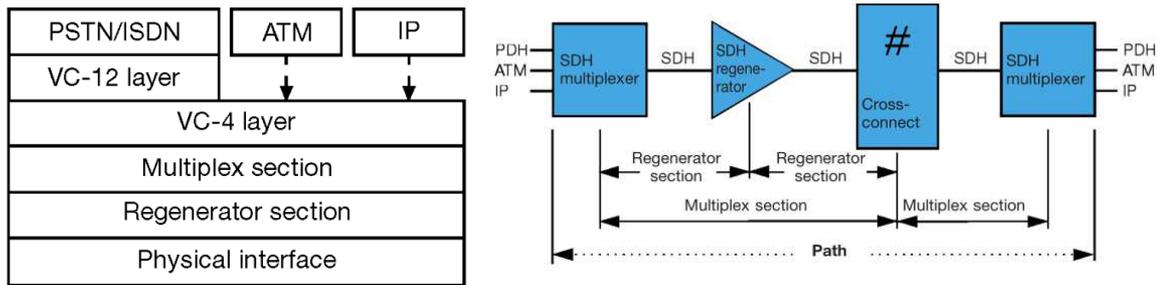


Figura 1-1: Relación entre modelo de capas y Topología de la red SDH.

Fuente: Acterna. “Guía de Bolsillo SDH”.

1.3.2 Componentes de una red SDH

- Regeneradores: tienen el trabajo de regenerar las relaciones de temporalidad y amplitud de los flujos entrantes atenuados y retardados por la dispersión.
- Multiplexores terminales: son usados para combinar señales plesiócronas y síncronas en flujos de mayor velocidad.
- Add/Drop Multiplexer (ADM): las señales plesiócronas y síncronas de baja velocidad pueden ser extraídas e insertadas desde o en flujos SDH de mayor capacidad. Este componente hace posible las topologías en anillo, cuya ventaja es la conmutación a un camino de respaldo en escenarios de falla.
- Digital Cross-Connect (DXC): permite el mapeo de señales tributarias PDH en contenedores virtuales así como la conmutación de varios contenedores hasta e incluido el VC-4. [ACT2012]

1.3.3 Estructura básica de una trama SDH

La recomendación ITU-T G.707 define una trama de 155.52 Mbps llamada STM-1 (Synchronous Transfer Module – 1) y corresponde al primer nivel de la jerarquía SDH. Está formada por una matriz de bytes de 9 filas y 270 columnas, transmitiéndose fila por fila, desde el extremo superior izquierdo hasta el extremo inferior derecho. La tasa de repetición de la trama es 125 milisegundos. Cada byte de carga útil representa un canal de 64 Kbps. El STM-1 es capaz de transportar cualquier señal tributaria PDH (Ej. E4, 140 Mbps). La tara de la trama se divide en:

- Tara de sección (SOH): los primeros 9 bytes en cada una de las 9 filas se llaman tara de sección. G.707 hace una distinción entre sección de regeneración (RSOH) y sección de Multiplexación (MSOH), con la finalidad de suplir las funciones de algunas taras para la arquitectura de la red.
- Tara de camino (POH): esta tara sumada a un contenedor forman un contenedor virtual (VC). Su misión es monitorear la calidad e indicar el tipo de contenedor. [ACT2012]

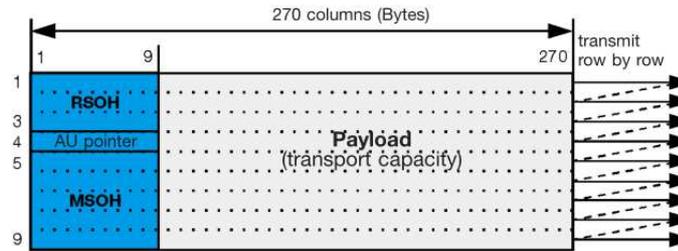


Figura 1-2: Estructura de la trama STM-1.

Fuente: Acterna. "Guía de Bolsillo SDH".

1.3.4 Mapeo y Multiplexación de canales tributarios

El contenedor es la unidad básica para canales tributarios. Un contenedor especial (C-n) se provee para cada señal PDH. Estos contenedores siempre son más largos que la carga útil a ser transportada. La capacidad excedente se usa en parte para justificar inexactitud temporal de las señales PDH. Cuando se mapean tributarios síncronos se insertan bytes de relleno en vez de bytes de justificación. Un contenedor virtual (VC-n) se forma así de la unión de un contenedor y una cabecera de camino (Path Overhead, POH) cuya función es monitorear la calidad de la señal e indicar el tipo de contenedor. El siguiente paso hacia la formación de un STM-n es la adición de un puntero indicando el inicio del POH. La unidad formada por un puntero y un contenedor virtual se llama unidad administrativa (AU-n), pero también puede ser una unidad tributaria (TU-n) de mayor capacidad. Varios TU juntos forman un grupo de unidades tributarias (TUG-n), los cuales pueden formar un VC de mayor capacidad. Uno o más AU forman una unidad de grupo administrativa (AUG). Finalmente, el AUG más la cabecera de sección forman el STM-n. [ACT2012]

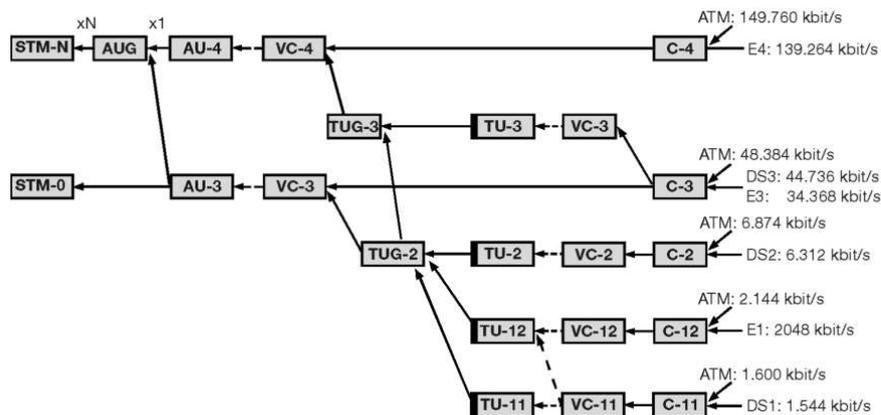


Figura 1-3: Mapeo de canales tributarios en SDH.

Fuente: Acterna. "Guía de Bolsillo SDH".

Tabla 1-2: Niveles de Jerarquía SONET/SDH.

Elaboración propia. Fuente: Acterna. "Guía de Bolsillo SDH".

Señales SONET	Bit rates	Señal SDH equivalente
STS-1 / OC-1	51.84 Mbps	STM-0
STS-3 / OC-3	155.52 Mbps	STM-1
STS-9 / OC-9	466.56 Mbps	-
STS-12 / OC-12	622.08 Mbps	STM-4
STS-18 / OC-18	933.12 Mbps	-
STS-36 / OC-36	1244.16 Mbps	-
STS-48 / OC-48	2488.32 Mbps	STM-16
STS-192 / OC-192	9953.28 Mbps	STM-64

1.4 DWDM

DWDM empezó a finales de los años 80 usando dos longitudes de onda de las regiones ampliamente espaciadas de 1310 y 1550 nm y se llamo WDM de banda amplia. Una segunda generación llamada WDM de banda estrecha surgió a inicios de los 90 con un uso de hasta 8 canales espaciados a un intervalo de 400 GHz en la ventana de 1550 nm. A mediados de los 90 los sistemas DWDM emergieron con entre 16 y 40 canales espaciados entre 100 y 200 GHz. A finales de esa misma década, DWDM era capaz de transportar desde 64 a 160 canales en paralelo, separados entre 50 e incluso 25 GHz. [WMF2002]

1.4.1 Variedades de WDM

Existen 3 variaciones usadas comúnmente: Broad WDM, Coarse WDM y Dense WDM.

- Broad WDM: utiliza 2 longitudes de onda: una a 1310 nm y la segunda a 1550 nm. Utiliza multiplexores y demultiplexores de bajo costo con baja pérdida de inserción.
- Coarse WDM: la Recomendación ITU-T G.694.2, "*Spectral Grids for WDM Applications: CWDM wavelength grid*", especifica 18 canales espaciados 20 nm en el rango de 1271 a 1611 nm. [MOT2012]
- Dense WDM: utiliza longitudes de onda en la banda C en el rango de 1530 a 1565 nm con espaciamientos de 200, 100, 50, o 25 GHz (menos de 0,8 nm) con más de 128 canales. [FUJ2002]

1.4.2 Componentes y operación de DWDM

Los componentes básicos de DWDM pueden ser clasificados según su posición en la red:

-En el lado de transmisión, láseres de longitud de onda estable para la generación de pulsos ópticos, y multiplexores ópticos para la combinación de canales.

-En el enlace, fibra óptica de baja pérdida y optimizada en la banda específica de operación, además de amplificadores para tramos largos de transmisión.

-En el lado de recepción, fotodetectores y demultiplexores ópticos para la separación de los canales.

-Como parte de la arquitectura de la red, Optical Add/Drop Multiplexer (OADM) y Optical Cross-Connect (OXC). [CSC2001], [JDS2011]

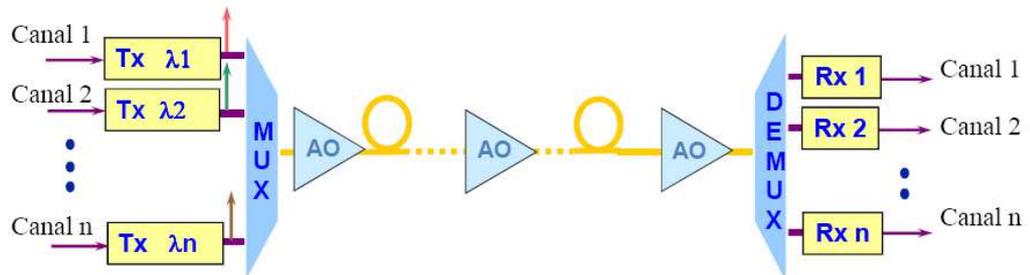


Figura 1-4: Elementos de un sistema DWDM.

Fuente: Pontificia Universidad Católica Del Perú. “Comunicaciones Ópticas, clase 9: Multiplexación óptica”. Salomé, Omar.

i) Fibra óptica

El principal trabajo de la fibra es guiar la luz con atenuación mínima. La fibra óptica está compuesta de 2 finos hilos de Silicio concéntricos en capas, llamadas núcleo y recubrimiento que pueden transmitir la señal a 2/3 de la velocidad de la luz.

- Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de la fibra óptica es la reflexión total interna que puede ser explicada a partir de la ley de Snell:

$$\sin \phi_1 \cdot \eta_1 = \sin \phi_2 \cdot \eta_2,$$

Bajo la condición $\eta_1 > \eta_2$, el haz de luz se reflejará completamente para un ángulo crítico:

$$\phi_1 > \sin^{-1} \frac{\eta_2}{\eta_1}$$

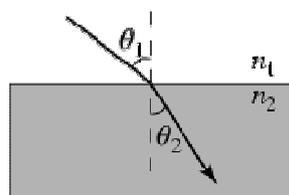


Figura 1-5: Ley de Snell.

Fuente: “Comunicaciones por Fibra Óptica”. Keiser, Gerd. US: McGraw-Hill.

Donde η_1 y η_2 son los índices de refracción del núcleo y recubrimiento, respectivamente; y representan la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y el medio de propagación.

- Fibra Multimodo y Monomodo

La fibra puede ser Multimodo (diámetro de núcleo de entre 50 y 62.5 μm) o Monomodo (diámetros de núcleo de entre 7 y 10 μm), ambas con un diámetro de recubrimiento de 125 μm . A diferencia de la fibra Multimodo, la Monomodo permite la propagación de un único modo a una longitud de operación mayor a la longitud de onda de corte. El parámetro frecuencia normalizada (V), función del diámetro del núcleo de la fibra y de la diferencia relativa de índices de refracción; es calculado a partir de la condición de resonancia transversal para una guía de onda dieléctrica y permite discriminar si una fibra opera en régimen Monomodo ($V < 2.405$) o Multimodo ($V > 2.405$). [KSR1991]

- Ventanas y bandas de operación

Existen 3 regiones de baja atenuación aptas para el transporte de señales, conocidas como primera (alrededor de 850 nm con atenuación entre 2 y 5 dB/Km), segunda (alrededor de 1310 nm con constante de atenuación de 0.5 dB/Km) y tercera (alrededor de 1550 nm con constante de atenuación de 0,2 dB/Km) ventanas de operación. [JDS2011]

Los sistemas WDM funcionan en 3 bandas discretas correspondientes a la segunda y tercera ventana de operación: La banda convencional C comprende entre 1525 y 1565 nm, posee pérdidas bajas de 0.2 dB/Km y puede acomodar 50 canales con espaciamiento de 100 GHz (o 0.8 nm), o 100 canales espaciados 50 GHz. El espaciamiento se encuentran estandarizado y actualmente para DWDM es de 0.8 o 0.4 nm. La banda larga L comprende entre 1570 y 1620 nm y posee una pérdida ligeramente mayor a la banda C. La banda corta S se encuentra alrededor de 1300 nm, cerca al punto de dispersión cero. Presenta una pérdida de 0.5 dB/Km por lo que no es recomendada para largas distancias.

- Tipos de Fibra Monomodo

-Non-dispersion-shifted fiber NDSF G.652: es el tipo de fibra Monomodo estándar más ampliamente utilizado. Presenta dispersión cromática alta a 1550 nm (18ps/nm-km), mínima dispersión a 1310 nm, pero alta atenuación debido a pérdidas por pico de agua en esta ventana de operación.

-Dispersion-shifted fiber DSF G.653: en este tipo de fibra, la longitud de onda de dispersión cero se ha desplazado de 1310 a 1550 nm, donde se presenta atenuación mínima. Se encuentra optimizada para su operación entre 1500 y 1600 nm; sin embargo cuando se opera con niveles de potencia altos, esta fibra presenta el inconveniente de favorecer ciertos fenómenos no lineales (ej. mezcla de cuatro ondas o Four Wave

Mixing, o la modulación de fase cruzada XPM). Dichos fenómenos no lineales tienen como consecuencia el traspaso de potencia a longitudes de onda distintas de la original y, por esta razón, son particularmente perjudiciales cuando a través de la fibra se transmiten varios canales multiplexados en longitud de onda, como es el caso de DWDM.

-Non-zero dispersion-shifted fiber NZ-DSF G.655: presentan dispersión cromática ligeramente mayor a cero (entre 1 y 6 ps/km-nm) alrededor de la banda C. Esta dispersión no nula reduce los efectos de no linealidad, destructivos en el estándar G.653; lo que optimiza el funcionamiento de DWDM. [COC2005], [CSC2001], [CSC2002]

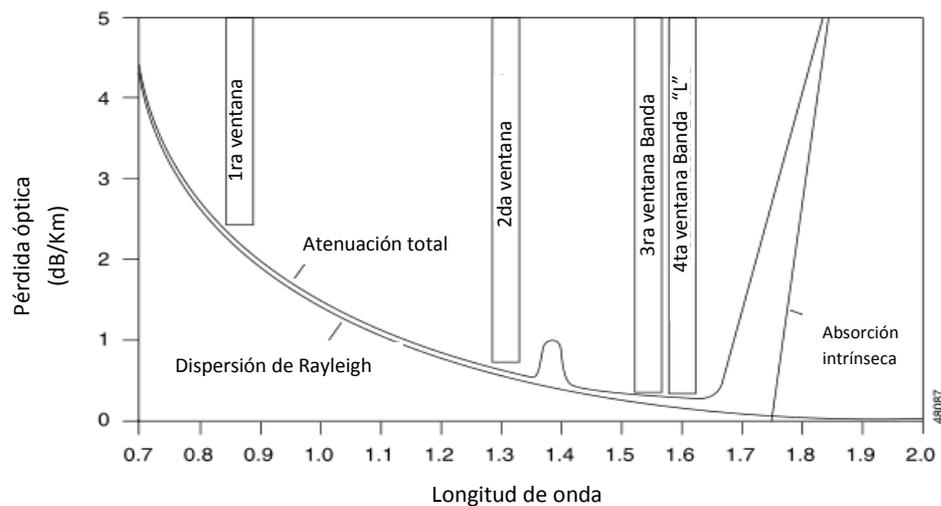


Figura 1-6: Curva de atenuación y dispersión de la fibra óptica estándar.

Fuente: "Comunicaciones por Fibra Óptica". Keiser, Gerd. US: McGraw-Hill

- Desafíos de transmisión

-Dispersión de Raleigh: la luz se dispersa debido a fluctuaciones en la densidad del núcleo. Este fenómeno resulta de la colisión de cuantos de luz con moléculas de silicio. La cantidad de dispersión es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda de operación por lo que afecta en mayor medida a menores longitudes de onda. [CSC2002]

-Absorción: el factor dominante es la presencia de iones OH (oxidrilo) como resultado del uso de llamas de gas oxhídrico para la reacción de hidrólisis de SiCl_4 , GeCl_4 y POCl_3 en el proceso de fabricación. Se han hecho progresos en el desarrollo de fibras con menos de 1 ppb de OH resultando en fibras de bajo índice de pico de agua. Estos tipos de fibra como *All Wave* de Lucent Technologies y *SMF-28e* de Corning corresponden al estándar G.652-D y son ampliamente usadas en CWDM. [KSR1991] [CSC2002]

-Dispersión cromática: se presenta por el retardo de propagación entre las distintas longitudes de onda. Se incrementa con el cuadrado de la velocidad de transmisión y se debe a la dispersión de material y de guía de onda. El coeficiente de DC con unidades de $\text{ps}/\text{nm} - \text{Km}$ no es una limitación a velocidades por debajo de OC-48 (2.5 Gbps). Los módulos compensadores de dispersión (DCM) eliminan los efectos de la dispersión cromática usando un elemento que genera un comportamiento inverso de la velocidad por cada longitud de onda (fibra compensadora de dispersión o DCF, y rejillas de Bragg).

-Dispersión por modo de polarización (PMD): la luz está compuesta por dos modos de polarización, vertical y horizontal. La forma de la fibra no es circular sino ovalada debido a factores como el estrés y temperatura, lo que generan cambios estadísticos del índice de refracción y lo convierten en un material birrefringente que genera retardos de propagación entre ambos modos de polarización. El coeficiente de PMD ($\text{ps} \cdot \sqrt{\text{Km}}$) es una limitación a velocidades por encima de OC-192 (10 Gbps).

-Efectos no lineales: los efectos no lineales son acumulativos y representan la principal limitación a la cantidad de datos a transmitir. Los más importantes son la dispersión estimulada de Brillouin, de Raman, modulación de autofase, y mezcla de cuatro ondas (Four Wave Mixing, FWM). En DWDM, FWM es la más crítica. [CSC2001], [CSC2002]

ii) Emisores de luz: LED y LASER

En transmisión óptica se usan dos tipos de emisores de luz: diodos emisores de luz (LED) y diodos láser (o láser semiconductor). Los LED son dispositivos relativamente lentos para velocidades inferiores de 1 Gbps en fibras Multimodo, Los Láser tienen mejores características para aplicaciones en fibras Monomodo.

Dos tipos de laser semiconductor se usan ampliamente, los láseres FP (Fabry-Perot) y los DFB (Distributed Feedback). El segundo tipo es el adecuado para DWDM por su casi monocromático haz de emisión entre 1520 y 1565 nm (rango compatible con EDFA). [CSC2001]

iii) Detectores de luz: PIN y APD

En el lado de recepción se usan dos tipos de fotodetectores para convertir la señal óptica en impulsos eléctricos: fotodiodos APD (efecto Avalancha) o diodos PIN. Cuando la luz es absorbida por un fotodiodo PIN, un único par electrón-hueco se genera por fotón. Se puede incrementar la sensibilidad del detector si se generan más electrones, lo que significa que se necesita menos potencia para la detección y que la señal puede viajar mayores distancias. Al

aplicarse un campo eléctrico a los electrones generados, suficiente energía excita más electrones de la banda de valencia a la banda de conducción. Esto genera más pares electrón-hueco desatando una reacción en cadena (Efecto Avalancha).

iv) Transponder

Dentro de un sistema DWDM, un transponder convierte la señal óptica del cliente de vuelta al dominio eléctrico, la cual es luego usada para manejar el laser emisor y enviar una señal con un espectro de salida estrecho, estable y en una determinada longitud de onda de acuerdo a las recomendaciones de la ITU-T G.692. Las longitudes de onda de todos los transponders en el sistema son multiplexadas ópticamente. En la dirección de recepción, el proceso inverso toma lugar, manejándose una interfaz estándar para el cliente.

Existen diferentes versiones de transponder dependiendo del requerimiento de regeneración de la señal. El más simple es el 2R (reshape and reamplify) en que se da una detección y conversión de la señal independiente del protocolo. El más complejo es el 3R (reshape, retime and reamplify), dependiente del protocolo y necesario para señales de alta velocidad. Por ejemplo, una tarjeta transponder OC-192 no trabajará para una tarjeta Gigabit Ethernet por la incompatibilidad del protocolo aunque las velocidades de línea son casi idénticas. [CSC2001], [CSC2002]

Tabla 1-3: Algunas frecuencias centrales de multiplexación para espaciamentos de 100 y 50 GHz.

Elaboración propia. Fuente: ITU-T G.694. Grillas espectrales para aplicaciones WDM: grilla de frecuencias DWDM.

f centrales (THz) para espaciamentos de 50 GHz	f centrales nominales (THz) para espaciamentos de 100 GHz o más	λ nominales (nm)
192.80	192.80	1554.94
192.75	–	1555.34
192.70	192.70	1555.75
192.65	–	1556.15
192.60	192.60	1556.55
192.55	–	1556.96
192.50	192.50	1557.36
192.45	–	1557.77
192.40	192.40	1558.17
192.35	–	1558.58
192.30	192.30	1558.98
192.25	–	1559.39
192.20	192.20	1559.79
192.15	–	1560.20
192.10	192.10	1560.61

v) Amplificadores ópticos

Los amplificadores impulsan las señales para lograr mayor alcance de transmisión. Los amplificadores de fibra óptica (Optical Fiber Amplifier, OFA) realizan una regeneración 1R de la señal. Existen 3 tipos de OFA ampliamente usados en sistemas DWDM: Semiconductor Optical Amplifier (SOA), Raman Fiber Amplifier (RFA) y Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA); siendo el último de estos el más usado.

La diferencia entre los niveles estable y Meta-estable del Erbio (Er) corresponden alrededor de 1480 nm (región de mínima atenuación). La fibra dopada con Er+3 es bombeada con una fuente de 980 y/o 1480 nm lo que produce una inversión de población de los portadores y una posterior emisión estimulada a 1550 nm. [CSC2001], [CSC2002]

vi) Multiplexores y Demultiplexores

Dado que los sistemas DWDM envían señales de diversas fuentes sobre un mismo hilo de fibra, es necesaria una manera de combinarlas. En el lado de la recepción, el sistema debe ser capaz de separar las componentes discretas de la luz. Estas tareas son realizadas por el multiplexor y demultiplexor, respectivamente. La demultiplexación debe ser realizada antes de la detección de la luz pues los Fotodetectores son dispositivos de banda ancha no selectivos de la frecuencia.

En un sistema unidireccional, un multiplexor envía la señal y un Demultiplexor la recibe. Dos sistemas serían necesarios para implementar una bidireccionalidad; de esta forma se ubicaría un multiplexor / demultiplexor en cada extremo y se usaría un par de fibras.

Los multiplexores / demultiplexores pueden ser pasivos o activos. El primer tipo está basado en prismas, rejillas de difracción, o filtros, mientras los diseños activos combinan dispositivos pasivos con filtros sintonizables. El principal desafío de estos dispositivos es minimizar el cross-talk para verificar una correcta separación de canales.

Una forma simple de multiplexar o demultiplexar la luz se puede lograr usando un prisma. Un haz paralelo de luz policromática incide sobre un prisma y la luz se refracta en distintas direcciones (efecto arcoíris). Luego de esto, una lente enfoca cada longitud de onda a un punto donde la luz debe ingresar a la fibra. Los mismos componentes pueden ser usados en el sentido inverso para multiplexar la señal.

Otra tecnología se basa en el principio de difracción e interferencia. Cuando un haz de luz policromática incide en una rejilla de difracción, cada longitud de onda se difracta en un ángulo distinto y en consecuencia en puntos distintos del espacio. Usando una lente, estas longitudes de onda pueden enfocarse a distintos hilos de fibra.

Un AWG (Arrayed Waveguide Grating), a veces llamado enrutador de rejilla de guía de onda consiste en un arreglo de guías de onda de canal curvo con una diferencia fija en la longitud del camino entre canales adyacentes. Las guías de onda están conectadas a

cavidades de entrada y salida. Cuando la luz entra en la cavidad, se difracta y entra al arreglo de guías de onda. Ahí la diferencia de longitud óptica de cada guía de onda introduce un desfase en la cavidad de salida, donde se acopla un arreglo de fibras. El proceso resulta en diferentes longitudes de onda con máxima interferencia en diferentes ubicaciones, lo que corresponde a los puertos de salida. [CSC2001]

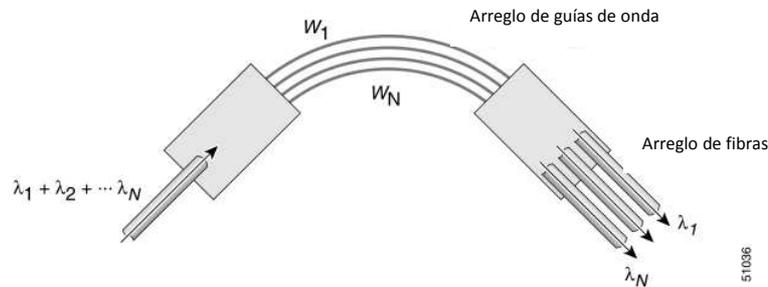


Figura 1-7: Multiplexación por AWG.

Fuente: Cisco Systems, Inc. "Introducción a la tecnología DWDM"

vii) OXC

El rol principal de una OXC (Optical Cross-Connect) es reconfigurar la red a nivel de longitud de onda para cambios ante la demanda de tráfico. El OXC es usado para interconectar anillos o nodos en una red mallada. Un OXC puede conmutar una longitud de onda de uno a otro puerto siempre que no haya bloqueo y exista continuidad de longitud de onda. [WMF2002]

viii) OADM

El OADM (Optical Add / Drop Multiplexer), realiza la función de insertar o remover longitudes de onda del enlace. Enés de combinar y/o separar todas las longitudes de onda, el OADM puede seleccionar una en particular y dejar el paso libre del resto, sin conversión eléctrica de la señal. Existen dos tipos de OADM. La primera generación es un dispositivo fijo configurado físicamente para añadir y seleccionar longitudes de onda específicas (Fixed OADM o FOADM). El segundo tipo es reconfigurable y dinámicamente capaz de seleccionar las longitudes de onda deseadas. (Reconfigurable OADM o ROADM). [WMF2002]

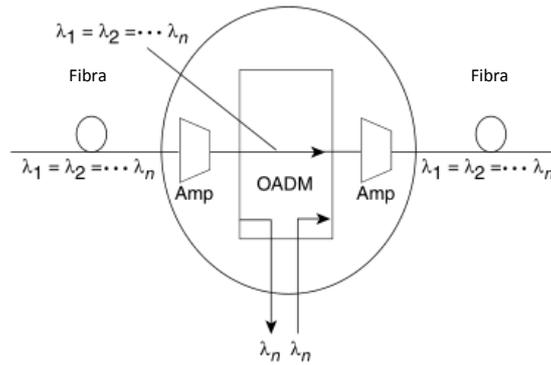


Figura 1-8: Esquema de un OADM.

Fuente: Artech House. "Fundamentos, componentes y aplicaciones DWDM"

1.4.3 Interfaces hacia DWDM

Las operadoras deben enfrentar el desafío de integrar múltiples tecnologías para la transmisión de servicios en una única capa de infraestructura física. Transmisión de voz, e-mail, video y multimedia son algunos ejemplos de servicios que pueden ser simultáneamente transmitidos en sistemas DWDM, independientemente de sus formatos de transmisión que incluyen SONET/SDH, ATM, IP, PoS, o Gigabit Ethernet. [CSC2001]

i) SONET/SDH

Ha sido la capa de transporte para redes de conmutación de circuitos TDM. La ineficiencia inherente para adaptar servicios de datos a la jerarquía optimizada para voz y una jerarquía demultiplexación inflexible resultan problemáticas. Más decisivo aun, las limitaciones de capacidad (OC-768) y la falta de respuesta ante las ráfagas de tráfico IP hacen de SONET/SDH una tecnología pobre para el futuro. [CSC2001]

ii) ATM

ATM encapsula diferentes protocolos y tipos de tráfico en un formato común para la transmisión sobre SONET/SDH. ATM continúa sólido en el área metropolitana pues puede acomodar interfaces de alta velocidad y proveer servicios de circuito virtual ofreciendo capacidades de manejo de tráfico; de esta forma los dispositivos de borde ATM son usados comúnmente para terminar el tráfico VoIP, DSL o Frame Relay. [CSC2001]

iii) Ten Gigabit Ethernet

Fue implementada por la necesidad de interconectar redes LAN de 10, 100 o 1000 Mbps. Puede ser usado para agregar enlaces de acceso más lentos, en las redes Backbone y en enlaces WAN. Usando láseres de 1550nm se pueden lograr distancias de 40 a 80 Km.

Además, una interface OC-192 (Very Short Reach, VSR) se puede usar para conectar Ten Gigabit Ethernet a equipos DWDM.

Hoy en día, gran cantidad de tráfico IP es transportado por WDM, pero con otras tecnologías que las separan (SONET/SDH, Frame Relay, ATM) y proveen características como control de tráfico, monitoreo, e interfaces estándares. Lo que se debe determinar es si esos servicios pueden ser provistos por una arquitectura en la que IP se encapsula directamente sobre WDM. El modelo de red aceptado actualmente es el de routers IP (Label Switching Routers, LSR) conectados a OXC's multicapa. [CSC2001]

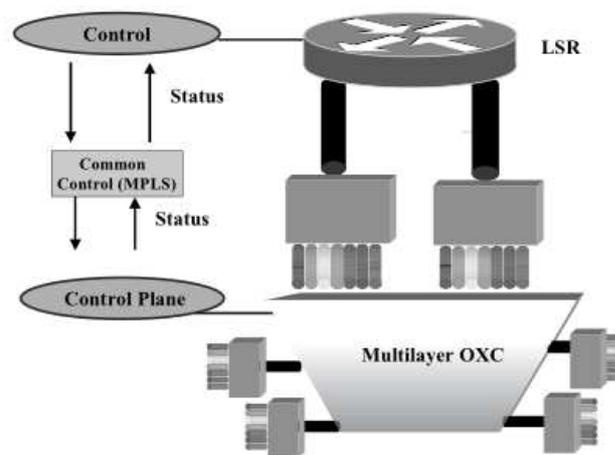


Figura 1-9: Arquitectura actual IP sobre DWDM.

Fuente: "IP over WDM: building the Next-Generation Optical Internet". Dixit, Sudhir.

1.4.4 Topologías y esquemas de protección en DWDM

- Topologías punto-punto: pueden ser implementadas con o sin OADM. Se caracterizan por velocidad muy altas de canal (10 a 40 Gbps). La protección de primer nivel corresponde al uso de enlaces paralelos de redundancia. La protección de segundo nivel se encuentra en la tarjeta; con transponders, multiplexores y CPU's redundantes.
- Topologías en anillo: se componen de nodos OADM en los que las longitudes de onda se insertan o seleccionan para tener acceso a los routers, switches o servidores. Manejan velocidades desde 622 Mbps a 10 Gbps. Usan esquemas de protección heredados de SONET/SDH como UPSR (Unidirectional Path Switched Ring) y BLSR (Bidirectional Line Switched Ring).
- Topologías en malla: consisten en nodos ópticos interconectados que requieren protección a nivel de longitud de onda, dado que al estar compuestas por unión de topologías en anillo y punto-punto, un canal de datos puede necesitar cambiar su

longitud de onda en su paso a otra red si necesita ser enrutada o conmutada en caso de fallo. [CSC2001]

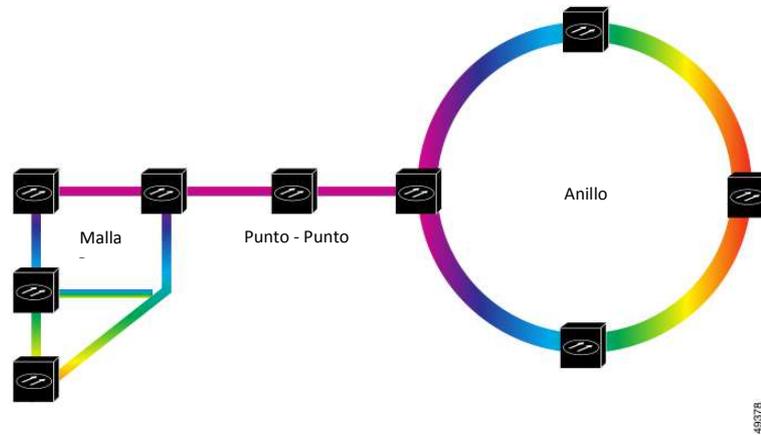


Figura 1-10: Interconexión de topologías DWDM.

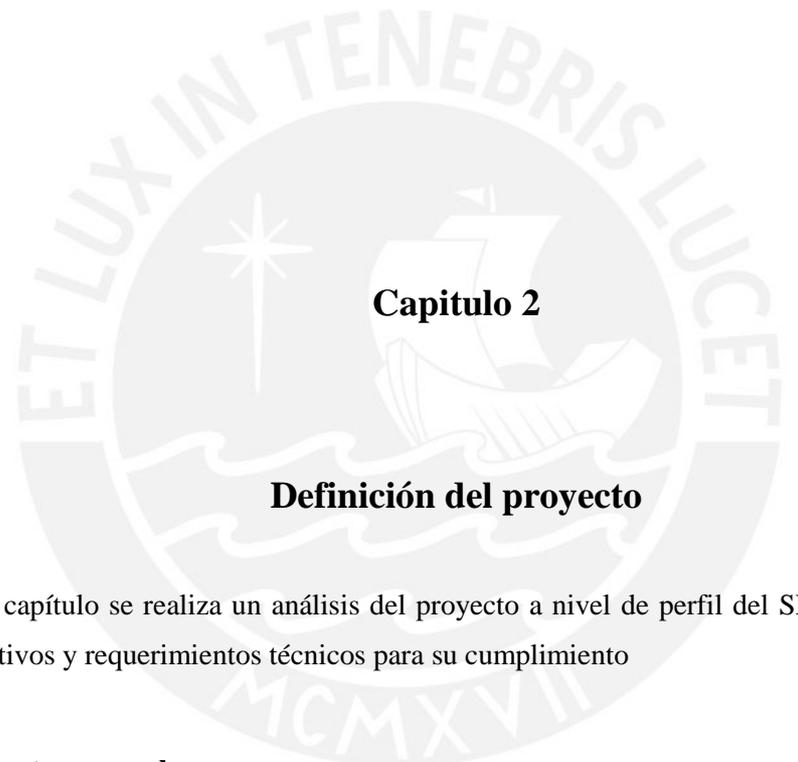
Fuente: Cisco Systems, Inc. "Introducción a la tecnología DWDM"

1.4.5 Tecnología ASON GMPLS

Una red WDM tradicional necesita ser configurada por ingenieros de mantenimiento usando un sistema de gestión NMS. Cuando existe una demanda por establecer o dar de baja un servicio, dicho personal debe crear o remover manualmente las conexiones en sitio, disminuyendo la eficiencia de sus funciones. Este problema se resuelve convirtiendo las redes WDM estáticas en redes dinámicas ASON (Automatically Switched Optical Networks).

Entre las funciones ASON se tiene:

- Auto descubrimiento de las topologías de la red, elementos y dispositivos (nodos y fibra).
- Creación automática de caminos punto-punto.
- Contratos de nivel de servicio o SLA's eléctricos y ópticos.
- Sistema de diseño, planeamiento y simulación simplificado de la red. [HUA2011]



Capítulo 2

Definición del proyecto

En este capítulo se realiza un análisis del proyecto a nivel de perfil del SNIP, se presentan los objetivos y requerimientos técnicos para su cumplimiento

2.1 Aspectos generales

2.1.1 Situación geográfica

El proyecto se desarrollará en la región de Puno, a lo largo del recorrido de las líneas de Alta Tensión de las empresas Red Eléctrica del Perú (REP) y Empresa de Generación Eléctrica San Gabán S.A. En dicho trayecto la infraestructura de la red eléctrica servirá de soporte al cable de fibra óptica que constituirá un Backbone, medio principal de transmisión de la red de comunicaciones del proyecto. El total del Backbone de fibra óptica es de 240 Km conformado por los tramos de fibra óptica siguientes:

-160 Km. de fibra óptica instalada sobre la línea de transmisión eléctrica de alta tensión de propiedad de la empresa de generación eléctrica San Gabán, en el tramo Azángaro – San Gabán.

-80 Km de fibra óptica nueva que será instalada sobre la línea de transmisión eléctrica de alta tensión de la empresa concesionaria Red de Energía del Perú (REP) en el tramo Juliaca – Azángaro.

El backbone de fibra óptica a instalar en el proyecto tendrá la posibilidad de interconectarse al nodo del backbone de fibra óptica nacional existente en la ciudad de Juliaca, departamento de Puno, donde podrá integrarse a los servicios de voz (portadores de LDN y LDI), así como al proveedor del servicio de Internet (ISP). [FIT2011]

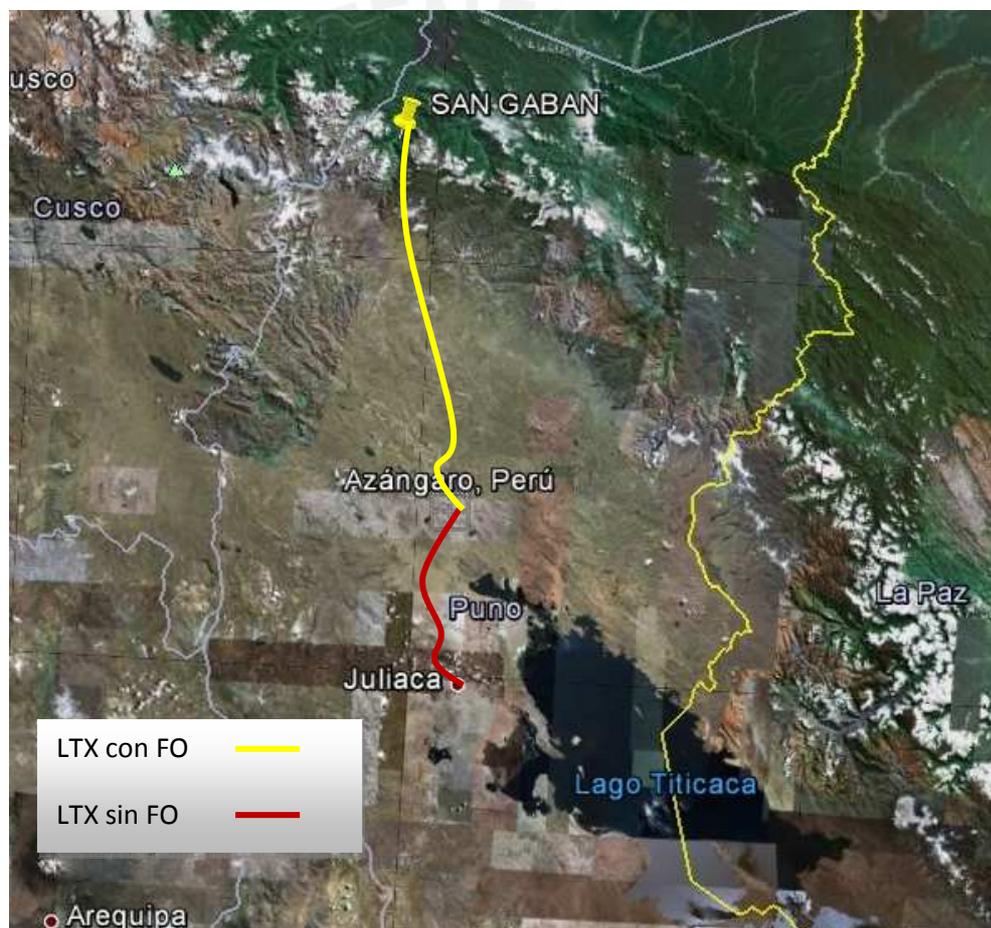


Figura 2-1: Backbone de fibra óptica a instalar en el proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán"

Elaboración propia. Fuente: Google Earth, FIDEL. Proyectos integrados: "Servicio de banda ancha rural Juliaca – San Gabán y "Servicio de banda ancha rural San Gabán – Puerto Maldonado".

2.1.2 Entidades involucradas

El 23 de febrero de 2009, se suscribió el “Convenio de Colaboración y Cooperación Interinstitucional suscrito entre el Fondo de Inversión en Telecomunicaciones – FITEL y la empresa de Generación Eléctrica San Gabán S.A.”, mediante el cual SAN GABAN S.A. autorizó a FITEL, el uso de parte de su infraestructura de telecomunicaciones implementada sobre la fibra óptica, que en la actualidad se encuentra instalada y en funcionamiento, poniendo a disposición 4 hilos de fibra comprendidos en la Subestación de San Gabán II y en la Subestación de Azángaro para la implementación y desarrollo del “Proyecto Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán”. [CSG2009]

El 31 de agosto de 2009 REP y el Fondo de Inversión en telecomunicaciones – FITEL, suscribieron un convenio para que Red eléctrica del Perú – REP autorice el uso de infraestructura eléctrica constituida por la línea de Transmisión en 138 kV Juliaca – Azángaro, con 78 Km de Longitud para la instalación de un cable de fibra óptica tipo ADSS. [CRE2009]

2.2 Diagnóstico de la situación actual

2.2.1 Antecedentes de la situación que motiva el proyecto

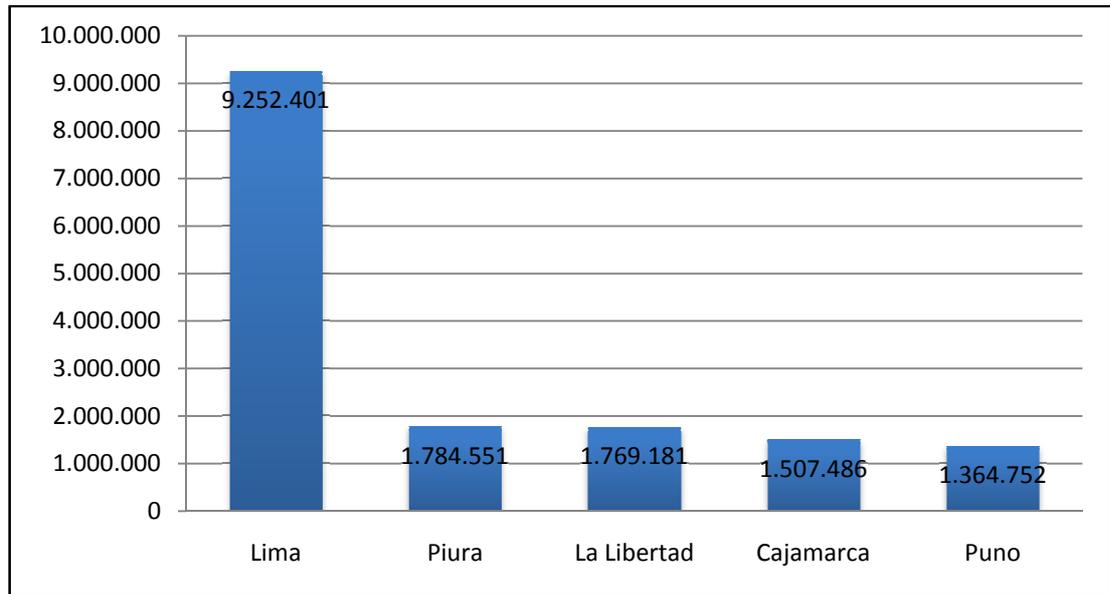
- El escaso ancho de banda en el tramo San Gabán – Juliaca que afecta a 281 localidades del departamento de Puno, con los siguientes servicios desatendidos:
 - Servicio de valor añadido: servicio de conmutación de datos por paquetes (acceso a Internet), correo electrónico, transmisión electrónica de documentos, transferencia electrónica de fondos y correo electrónico de voz.
 - Servicio telefónico: telefonía pública y abonados locales. [PJP2011]
- Los requerimientos internos de las empresas de electrificación rural que incluyen entregar como contraprestación a San Gabán, por el uso de su infraestructura, la provisión de una capacidad de transmisión de 8 Mbps en el tramo Azángaro – Juliaca para el servicio privado de telecomunicaciones de ésta; además de una capacidad de transmisión de 256 Kbps en el tramo Azángaro-Lima. [CSG2009]. Por otro lado la empresa Red Eléctrica del Perú – REP se adjudicará 2 pares de hilos de fibra del cable instalado sobre su infraestructura. [CRE2009]

2.2.2 Características de la zona afectada y estimación de su población.

La población del departamento proyectada al mes de Junio del año 2011 según el INEI es de 1.364.752 habitantes; lo que representa el 4,58% de la población total del país (29.797.694 habitantes), ubicándolo en el quinto lugar después de Lima, Piura, La Libertad y Cajamarca. [INE2011]

Tabla 2-1: Comparación de la población proyectada al año 2011.

Elaboración propia. Fuente: Instituto nacional de estadística e informática. "Estimaciones de población por sexo según departamento, provincia y distrito, 2000 – 2015.



i) Población de referencia

La zona de referencia corresponde a 9 de las 13 provincias del departamento de Puno: Azángaro, San Román, Puno, Huancané, Lampa, Carabaya, Melgar, Moho y el Collao. [PJP2011]



Figura 2-2: División provincial del departamento de Puno.

Fuente: INEI. Indicadores Demográficos, Sociales y Económicos 2007

La población proyectada de estas 9 provincias al mes de Junio del 2011 es:

Tabla 2-2: Proyección de la población de referencia al 2011.

Elaboración propia. Fuente: INEI. Estimaciones de población por sexo según departamento, provincia y distrito, 2000 – 2015.

Ubigeo	Provincia	Total	Hombre	Mujer
210100	Puno	243.441	120.128	123.313
210200	Azángaro	139.833	68.186	71.647
210300	Carabaya	85.406	44.576	40.830
210500	El Collao	84.782	43.075	41.707
210600	Huancané	68.709	33.606	35.103
210700	Lampa	50.869	25.590	25.279
210800	Melgar	77.466	37.847	39.619
210900	Moho	27.252	13.447	13.805
211100	San Román	270.737	132.526	138.211
Total		1.048.495	518.981	529.514

Con lo cual la población de referencia es de 1.048.495 habitantes (518.981 hombres y 529.514 mujeres); lo que representa el 76,83% de la población del departamento. [INE2011]

ii) Población afectada

La población afectada corresponde a 42 del total de 70 distritos de las 9 provincias que conforman la población afectada. Tomando como base la variable de población por tipo de área geográfica del censo nacional del 2007 para dichos distritos y las proyecciones de población al 2011 del INEI, se obtuvieron los datos para este año.

Tabla 2-3: Proyección de la población afectada por género y área de residencia al 2011.

Elaboración propia. Fuente: (1) INEI. Estimaciones de población por sexo según departamento, provincia y distrito, 2000 – 2015. (2) INEI. Indicadores Demográficos, Sociales y Económicos 2007

Provincia	Género			Área de Residencia		
	Hombre	Mujer	Total	Urbana	Rural	Total
Puno	115.667	119.007	234.674	144.679	89.995	234.674
Azángaro	49.592	51.831	101.423	27.680	73.743	101.423
Carabaya	8.607	8.151	16.758	10.583	6.175	16.758
El Collao	29.007	28.165	57.172	23.395	33.777	57.172
Huancané	24.537	25.948	50.485	9.805	40.680	50.485
Lampa	12.797	14.174	26.971	8.945	18.026	26.971
Melgar	11.000	12.043	23.043	19.195	3.848	23.043
Moho	8.270	8.457	16.727	4.633	12.094	16.727
San Román	132.526	138.211	270.737	248.062	22.675	270.737
Total	392.003	405.987	797.990	496.977	301.013	797.990

Con lo cual la población afectada por el proyecto es de 797.990 habitantes (392.003 hombres y 405.987 mujeres), representando esto el 76.11% de la población de referencia, el 58.47% de la población total del departamento y el 2,68% del total del país. Por otro lado podemos observar que el 37,64% de la población afectada es rural, siendo esta mayoritaria en 5 de las 9 provincias afectadas. [PJP2011], [INE2011], [INE2007]

iii) Población objetivo

El uso compartido de la infraestructura eléctrica de las empresas Red de Energía del Perú – REP y Empresa de Generación Eléctrica San Gabán con el proyecto del FITEL hace posible la provisión de servicios de banda ancha a 281 centros poblados (68 en Azángaro, 95 en Puno, 30 en San Román, 2 en Carabaya, 1 en el Collao, 61 en Huancané, 19 en Lampa, 1 en Melgar, 4 en Moho), beneficiado directamente a una población objetivo de más de 61 mil pobladores con algún servicio básico de telecomunicaciones (telefonía pública, telefonía fija y/o acceso a Internet). [FIT2011] (Ver Anexo 2)

2.2.3 Características de los grupos sociales afectados

- Lengua: del total de la población, 38% son quechua hablantes, 26% habla la lengua Aymara y 35% son hispanohablantes.
- Agua potable y desagüe: solo el 22,8% de la población tiene agua potable dentro de su vivienda. De esta cifra, sólo el 17,5% cuenta con un sistema de desagüe.
- Salud: sólo el 57.4% tiene acceso a algún tipo de servicio de salud pública o privada.
- Pobreza: la tasa de pobreza en la región ascendía en 2009 a 60,8%.
- PEA: casi el 50% de la población perteneciente a la PEA (población económicamente activa) pertenece al sector de la agricultura, pesca o ganadería. Puno produce sobre todo quinua, oca, papa y fibra de alpaca.
- Conflictos sociales: es la segunda región con más conflictos sociales actualmente (la primera es Áncash). De los 12 conflictos activos en Puno, sólo 5 de ellos están en proceso de diálogo para llegar a una solución. [IDE2011]
- Tasa de crecimiento promedio anual: la tasa de crecimiento promedio anual del departamento proyectada para los años 2010-2015 es de 1%. [INT2011]
- Composición del hogar: los hogares tienen un tamaño promedio de 4 integrantes (4.3 en zona urbana y 3.9 en zona rural). [INC2008]

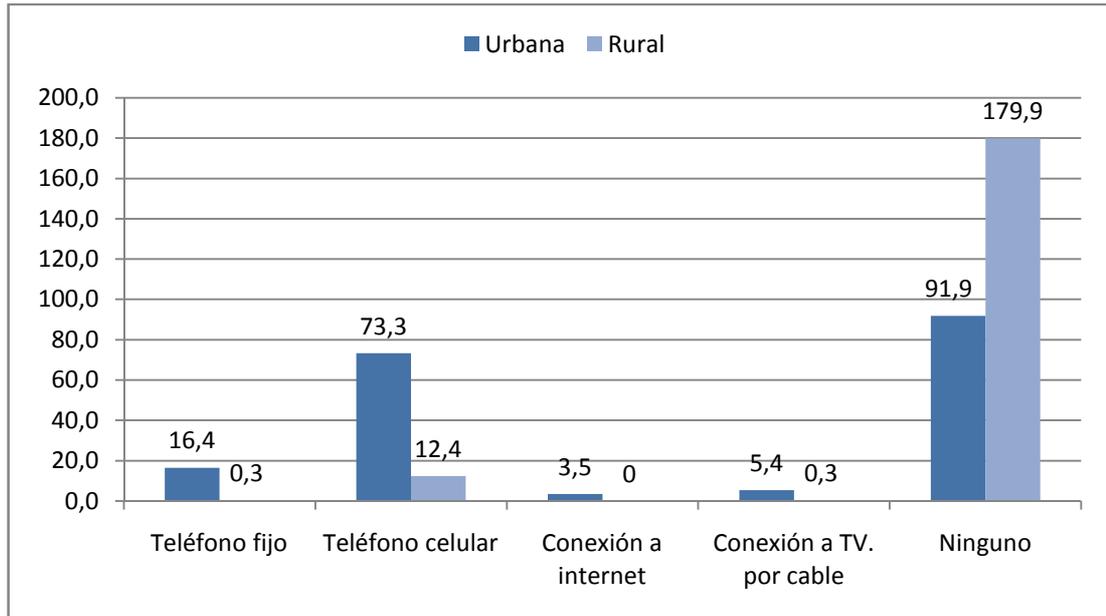
2.2.4 Acceso a las tecnologías de información y comunicación en los hogares

Según los Censos del 2007, más de 100 mil hogares en el departamento de Puno contaban con telefonía fija y/o móvil; 3 mil 548 hogares estaban conectados a Internet, y 5 mil 710

hogares tenían conexión a televisión por cable. Asimismo, más de 271 mil hogares en el departamento de Puno no contaban con ningún servicio de información y comunicación. Cabe destacar que de estos hogares completamente desatendidos el 33,8%(91.908) se ubicaron en el área urbana, mientras que el 66,2% (179.928) en el área rural.

Tabla 2-4: Departamento de Puno: Hogares en viviendas particulares, por servicio de información y comunicación que dispone el hogar, según área de residencia (miles).

Elaboración propia. Fuente: Instituto nacional de estadística e informática. “Perfil sociodemográfico del departamento de Puno”.



Por provincias, los hogares que contaban con servicio de telefonía fija, se encontraban presentes en mayor porcentaje en las provincias de San Román (10,8%), Puno (10,1%) y Melgar (3,5%), mientras que con telefonía móvil en San Román (53,0%), Puno (37,9%) y San Antonio de Putina (27,1%).

Los hogares que no poseían ningún servicio de información y comunicación, se ubicaron en mayores proporciones en las provincias de Sandia (98,9%), Moho (96,0%), Carabaya (95,2%) y Azángaro (89,3%) [INP2007].

Tabla 2-5: Departamento de Puno: Hogares en viviendas particulares con ocupantes presentes, por servicio de información y comunicación que posee el hogar, según provincia, 2007.

Elaboración propia. Fuente: Instituto nacional de estadística e informática. “Perfil sociodemográfico del departamento de Puno”.

Provincia	Total de hogares	Teléfono fijo	Teléfono celular	Conexión a internet	Conexión a TV. por cable	Ninguno
Puno	67.603	6.817	25.632	1.767	3.265	40.156
Azángaro	38.281	548	3.822	46	33	34.197
Carabaya	19.527	31	910	5	10	18.580
Chucuito	33.639	431	4.400	44	44	28.993
El Collao	26.378	386	3.146	53	82	23.021
Huancané	22.567	284	2.524	24	16	19.922
Lampa	13.352	101	1.674	7	10	11.638
Melgar	20.525	720	3.521	94	113	16.669
Moho	9.435	6	373	5	2	9.053
San Antonio de Putina	15.612	64	4.228	31	733	11.191
San Román	63.648	6.904	33.761	1.424	1.227	27.758
Sandia	19.282	44	23	21	134	19.071
Yunguyo	13.583	384	1.747	27	41	11.587
Total	363.432	16.720	85.761	3.548	5.710	271.836

Tabla 2-6: Departamento de Puno: líneas Multi DSL y líneas POTS por centro de alambre, 2011.

Fuente: Telefónica del Perú

Departamento	Zonal	Centro de alambre	Líneas multi DSL	Líneas POTS
Puno	Arequipa	Ayaviri	216	1024
Puno	Arequipa	Azángaro	120	640
Puno	Arequipa	Ilave	768	736
Puno	Arequipa	Juliaca	4400	9472
Puno	Arequipa	Puno	4096	8576
Puno	Arequipa	Huancané	120	448
Puno	Arequipa	Juliaca	192	384
Puno	Arequipa	Pomata	48	128
Puno	Arequipa	Yunguyo	144	608
Total			10104	22016

Al contrastar los datos al 2007 con los datos a Enero del 2011 observamos un incremento de 5296 líneas de telefonía fija, de las cuales 1759 pertenecen a la provincia de Puno y 2568 a San Román (Juliaca).

En conexión a Internet se percibe un incremento de 6556 líneas ADSL, de las cuales 2329 pertenecen a la provincia de Puno y 2976 a San Román (Juliaca).

Como se puede observar, las necesidades de las 281 localidades que constituyen la población objetivo del proyecto se encuentran desatendidas, dado que 156 de las mismas pertenecen a provincias que concentran su población en áreas de residencia rurales.

Al igual que ocurre en otros aspectos del proceso hacia la modernidad, la incorporación de TIC no se da en forma equitativa, es decir en el tránsito a la Sociedad de la Información se presentan inequidades dentro del país. Y si este aspecto se ve por el grado de urbanización, en el Resto Urbano y Área Rural (centros poblados con menos de 2000 habitantes) se presentan diferencias muy marcadas, las mismas que se dan probablemente por los costos de instalación de estos servicios en los hogares rurales y también por la falta de acceso de estas TIC en las áreas menos pobladas donde es escasa la infraestructura que facilite la implementación. [TIC2007]

Tabla 2-7: Resultados Encuesta Nacional de Hogares sobre Telecomunicaciones para el Departamento de Puno 2011.

Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. "Estadísticas de Servicios Públicos de Telecomunicaciones a nivel nacional".

Servicio		Zona Urbana			Zona Urbana		
		SI	NO	Total	SI	NO	Total
Telefonía Fija	(%)	28,39%	71,61%	100,00%	2,48%	97,52%	100,00%
		18.369	167.074	185.443	0	210.476	210.476
Celular	(%)	82,09%	17,91%	100,00%	35,32%	64,68%	100,00%
		152.238	33.205	185.443	74.342	136.134	210.476
Cable	(%)	10,48%	89,16%	100,00%	1,45%	98,55%	100,00%
		20.110	165.333	185.443	3.058	207.419	210.476
Internet	(%)	3,58%	96,42%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%
		6.634	178.809	185.443	0	48.870	48.870

2.2.5 Servicios prioritarios de telecomunicaciones

Tomando en cuenta datos del ministerio de educación, salud y del interior se identificó la cantidad de centros del estado que requieren conectividad a nivel privado, de banda ancha y de líneas telefónicas en la zona afectada por el proyecto.

i) Educación, para colegios y demás centros educativos

Dentro de las localidades del proyecto (población objetivo) se identifica un total de 126 centros educativos entre niveles de inicial, primaria y secundaria, todos ellos pertenecientes a la gestión pública, los cuales no cuentan con anexos ni conexión a internet. [MED2011]

ii) Centros de salud

Dentro de los distritos del proyecto (zona afectada) se identifica un total de 166 establecimientos de salud entre postas de comunidades y centros poblados sin conexiones de internet ni anexos. [MSA2011]

iii) Comisarías

Dentro de los 42 distritos del proyecto (zona afectada) se identifica sus respectivas comisarías sin conexiones de internet ni anexos. [MIN2011]

2.3 Identificación de objetivos centrales del proyecto

- Incremento de la infraestructura, la eficiencia y calidad de los servicios de telecomunicaciones en los centros poblados de la zona Juliaca - San Gabán del departamento de Puno
- Contribuir a la reducción de la brecha digital en 281 localidades del departamento de Puno a través de la provisión de servicios básicos de telecomunicaciones (telefonía fija, telefonía pública y/o acceso a Internet de banda ancha).

2.4 Requerimientos técnicos planteados por FITEL

El requerimiento técnico general del proyecto es la puesta en operación de un sistema, de modo que las localidades beneficiarias cuenten con un POP (Point Of Presence) desde el cual se distribuyan los servicios. [PJP2011]

2.4.1 Acceso a Internet

El acceso a Internet se realizará sobre una infraestructura de banda ancha basada en paquetes utilizando protocolo IP, de manera tal que permita gestionar y garantizar la velocidad de transmisión. Cada localidad contará con un PUNTO DE ACCESO con un mínimo de dos (2) PUERTOS de datos Ethernet 10/100 Base T (o 10/100/1000 Base T) con acceso a Internet. Uno de los PUERTOS se usará para la cabina de uso público de la comunidad y el otro para su alquiler a algún suscriptor. Cada PUERTO se gestionará vía remota desde el NMS (Network Management System).

El enlace de datos asociado a cada PUERTO del PUNTO DE ACCESO tendrá las siguientes características:

-Velocidad de transmisión descendente: será como mínimo de 600 Kbps, con una velocidad garantizada de bajada de 60 Kbps (overbooking 1:10).

-Velocidad de transmisión ascendente: será como mínimo de 128 Kbps con una velocidad garantizada de subida de 12.8 Kbps (overbooking 1:10). [PJP2011]

2.4.2 Telefonía

Se proveerá sobre una infraestructura de banda ancha basada en paquetes con protocolo IP, que permita priorizar el tráfico de voz sobre otro tipo de tráfico asegurando la calidad del servicio (QoS). El servicio final se brindará usando directamente teléfonos IP fijos inalámbricos o mediante teléfonos analógicos usando pasarelas de adaptación (IAD) bajo las modalidades de telefonía de uso público o telefonía de abonados. Las características y calidad del servicio cumplirán las siguientes recomendaciones para las comunicaciones telefónicas:

- G.114 de la UIT-T: referida al tiempo de transmisión telefónica en un sentido; la recomendación Y 1541.
- UIT-1: relativa a los objetivos de calidad y clases de servicio, incluyendo objetivos de retardo
- Y 1540 UIT-T. Respecto a los parámetros de la transferencia de paquetes del protocolo IP
- G.107: para el plan de transmisión.
- G. 1020: para retardo total
- G.165 y G.164.: respecto al eco
- BER: será menor a que 10^{-4} para voz y 10^{-6} para datos
- MOS: igual o mayor a 3.5
- Probabilidad de bloqueo menor a 1%
- Retardo o latencia de la comunicación: en un solo sentido de hasta 150 ms o 500 ms incluyendo saltos satelitales. [PJP2011]

2.5 Requerimientos técnicos de San Gabán

Los equipos instalados por la empresa adjudicataria deberán permitir el establecimiento de los siguientes servicios para la empresa de generación eléctrica San Gabán:

- 24 canales de voz analógicos configurables
- 16 canales para VoIP
- 12 canales de datos de baja velocidad configurables RS-232, RS-485, RS-422 (38400), síncrono, asíncrono
- 01 canal Giga Bit Ethernet que soporte velocidades de 10 y 100 Mbps
- 02 canales de datos G.703 de 256 Kbps configurables (co y contra direccional)
- 01 canal de video (para TV por cable)
- 01 canal de datos para enlace primario B-ISDN (30B+D)
- Capacidad de transmisión de 8 Mbps en el tramo Azángaro-Juliaca para el servicio privado de Telecomunicaciones
- Capacidad de transmisión de 256 Kbps en el tramo Azángaro-Lima con contraprestación por servicio. [CSG2009]



Capítulo 3

Ingeniería del proyecto

En base a los resultados del análisis de la situación de la población objetivo se determinará la demanda de los servicios y se realizará el diseño de ingeniería seleccionando la mejor tecnología en base a los conceptos desarrollados en el primer capítulo.

3.1 Dimensionamiento

3.1.1 Determinación del ancho de banda requerido

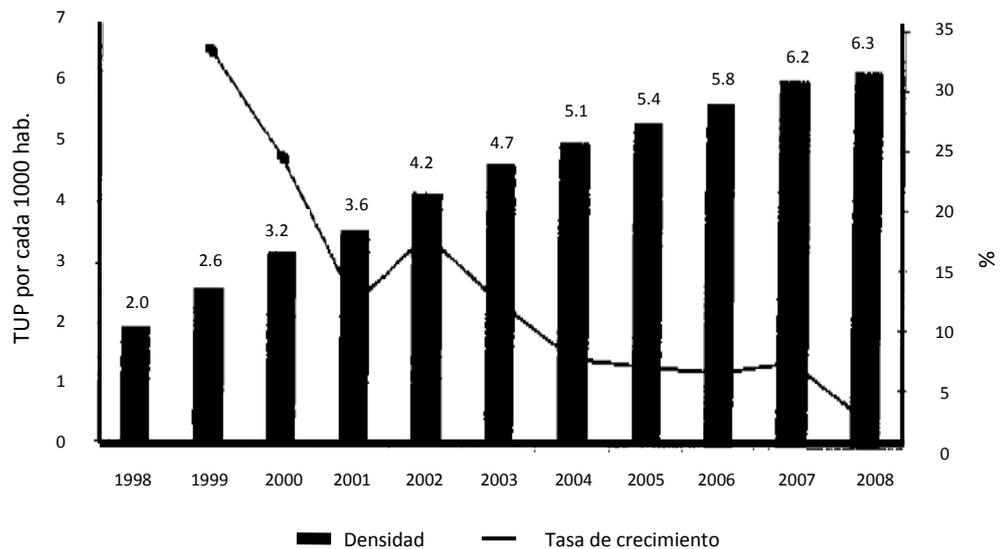
i) TUP (Telefonía de uso público)

En lo que respecta a la densidad de líneas en servicio a nivel nacional, ésta ha venido creciendo constantemente desde 2 líneas por cada 1000 habitantes en 1998 hasta llegar a triplicarse en una década, con 6.3 líneas por cada 1000 habitantes a marzo del 2008. No obstante, se debe tomar en cuenta que la tasa de crecimiento anual ha sido cada vez más

baja; es decir el crecimiento de las líneas en servicio poco a poco se ha retrasado con respecto al que presenta la población.

Tabla 3-1: Densidad de TUP y tasa de crecimiento anual (1998-2008).

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. "Estadísticas de Servicios Públicos de Telecomunicaciones a nivel nacional".



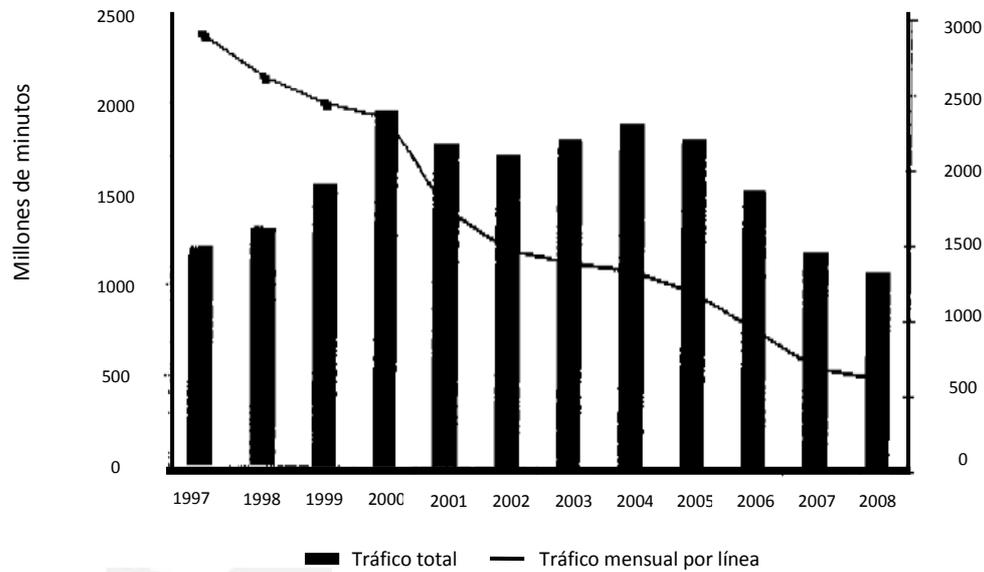
Sin embargo, a pesar de dichos incrementos en densidad y número de líneas en servicio, actualmente este servicio no ha logrado aún la cobertura necesaria en muchas regiones del país para poder cumplir con el objetivo de acceso universal y posteriormente, servicio universal.

Como se observa a continuación, la magnitud del decrecimiento de la telefonía de uso público se puede evidenciar mejor en la serie de tráfico mensual por línea, es decir, el tráfico promedio cursado en cada uno de los terminales TUP que presenta una fuerte caída en los últimos años, posiblemente derivada de la aparición de servicios sustitutos como el servicio móvil.

Como se observa a continuación, la magnitud del decrecimiento de la telefonía de uso público se puede evidenciar mejor en la serie de tráfico mensual por línea, es decir, el tráfico promedio cursado en cada uno de los terminales TUP que presenta una fuerte caída en los últimos años, posiblemente derivada de la aparición de servicios sustitutos como el servicio móvil.

Tabla 3-2: Tráfico total y mensual por línea a través de TUP (minutos).

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. “Estadísticas de Servicios Públicos de Telecomunicaciones a nivel nacional”.



Tomando como referencia un escenario de ciudad, el cual asume un menor número de personas por cuadra que un escenario metropolitano, a fin de reflejar la mayor dispersión entre viviendas de un área rural y utilizando criterios de bienestar de los usuarios de este servicio, los cuales se basan en el tiempo de espera y tiempo de acceso (distancia) al punto de servicio; específicamente probabilidad de que la llamada termine en un minuto de 0.4 y tiempo de arribo promedio al TUP de 0.13 minutos se tiene la siguiente tabla de terminales de uso público requeridos:

Tabla 3-3: Simulación y valores óptimos de densidad de terminales TUP: escenario ciudades.

Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. “Estadísticas de Servicios Públicos de Telecomunicaciones a nivel nacional”.

No de cuadras	Densidad de telefonía pública			Distancia al TUP			Tiempo de espera (minutos)	Tiempo hasta llegar al TUP (minutos)	Tiempo total
	Tamaño 1	Tamaño 2	Prom.	Tamaño 1	Tamaño 2	Prom.			
1	9,5	7,1	8,3	37,5	46,7	42,1	0,93	0,72	1,65
2	4,8	3,6	4,2	75	93,3	84,2	0,93	1,44	2,37
3	3,2	2,4	2,8	112,5	140	126,3	0,92	2,16	3,09
4	2,4	1,8	2,1	150	186,7	168,3	0,92	2,89	3,8
5	1,9	1,4	1,7	187,5	233,3	210,4	0,91	3,61	4,52
6	1,6	1,2	1,4	225	280	252,5	1,03	4,33	5,35
7	1,4	1	1,2	262,5	326,7	294,6	17,66	5,05	22,71

8	1,2	0,9	1	300	373,3	336,7	98,83	5,77	104,6
9	1,1	0,8	0,9	337,5	420	378,8	236,72	6,49	243,21
10	1	0,7	0,8	375	466,7	420,8	415,81	7,21	423,02

Con lo cual, para cada una de las 281 localidades, completamente desatendidas de este servicio, se asume una cantidad de 6 teléfonos de uso público en promedio por localidad.

[DOF2009]

Por otro lado, siguiendo el criterio de implementación de telefonía rural de Gilat Satellite Networks en países de difícil acceso en América Latina como Perú, se puede asumir un tráfico de entre 40 a 70 mErlang por línea (60 a 100 minutos diarios). En nuestro dimensionamiento tomaremos el promedio (55 mErlang).

De esta forma tenemos:

$$281 \times 6 \times 55 \text{ mErlang} = 92730 \text{ mErlang}$$

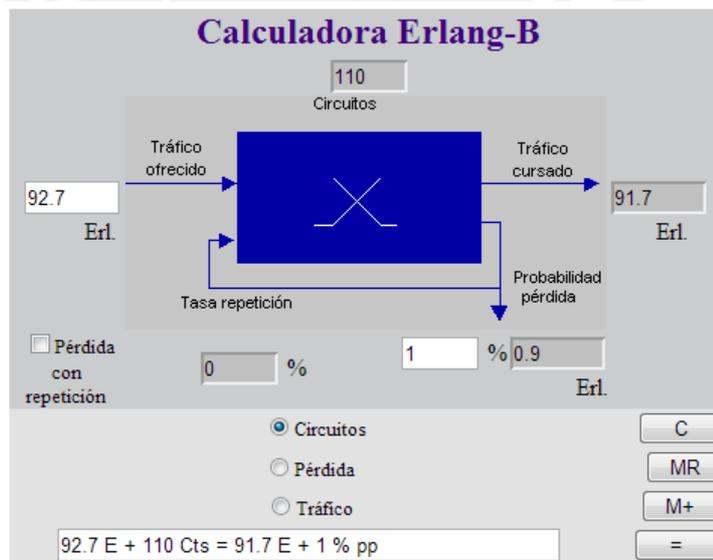


Figura 3-1: Cálculo de cantidad de circuitos para el servicio de TUP del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán".

Elaboración propia. Fuente: Calculadora Erlang B – Personal Telefónica Terra.

Tráfico para el cual se requiere 110 circuitos de voz para una probabilidad de bloqueo del 1%.

Asumiendo un códec G.711 (100 Kbps sobre IP), se calcula el ancho de banda requerido para este servicio:

$$110 \times 100\text{Kbps} = 11000 \text{ Kbps}$$

La demanda de este servicio se considera estática y no se ha proyectado debido a la magnitud de decrecimiento del mismo.

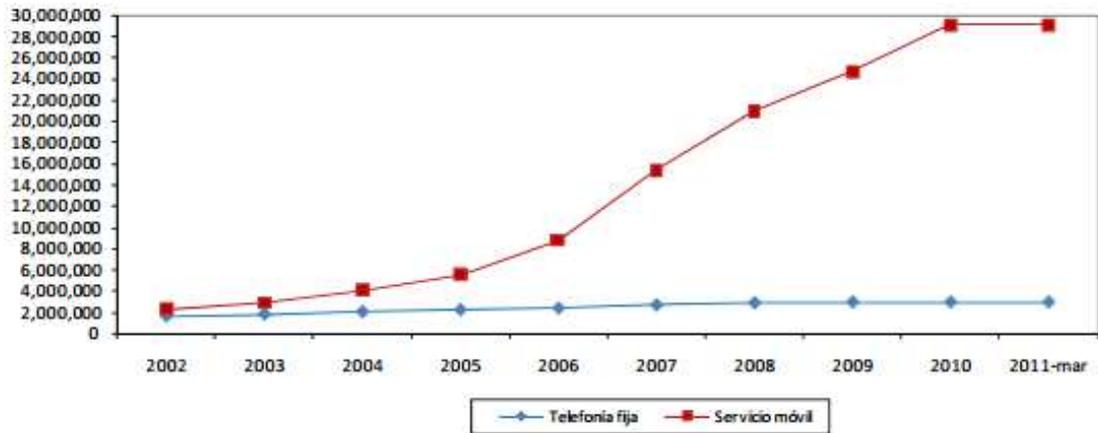
ii) Telefonía de abonados

A marzo de 2011, la densidad en telefonía fija llegó a 10 líneas en servicio por cada 100 habitantes. Asimismo, el número de líneas en servicio de telefonía fija aumentó a 2 970 062, superior en 1,32% al nivel registrado a marzo de 2010. Ahora bien, si se analiza la distribución territorial de la provisión del servicio, se observa que en términos del número de líneas en servicio, el departamento de Lima, incluida la Provincia Constitucional del Callao, concentra el 63,25% del total nacional, relegando al resto urbano y área rural, como es el caso de la población objetivo del proyecto. [MTC2011]

Para el trimestre abril-mayo-junio 2011, en los Centros Poblados con menos de 2000 habitantes, es decir, el Área Rural, la presencia del teléfono fijo es pequeña (3,1%), en cambio se registra un dato significativo de la penetración de la telefonía móvil en los hogares rurales (48,4%), la cual, supera ampliamente la tenencia de teléfono fijo de los hogares residentes en esta área, presentándose como un servicio sustituto. [TIC2007]

Tabla 3-4: Evolución de líneas en servicio de telefonía fija y servicio móvil a nivel nacional.

Elaboración propia. Fuente: INEI. “Las tecnologías de Información y Comunicación en los hogares. Trimestre: Abril – Mayo – Junio 2011”.



Asumiendo un tráfico promedio por abonado de 25 mErlang y la tenencia de un teléfono por familia de 4 integrantes para la población objetivo proyectada al año 2021 (67.388 pobladores), además de 2 anexos por sede de servicio prioritario identificado se tiene:

$$\left(\frac{67388}{4} + 334 \times 2\right) \times 25 \text{ mErlang} = 438225 \text{ mErlang}$$

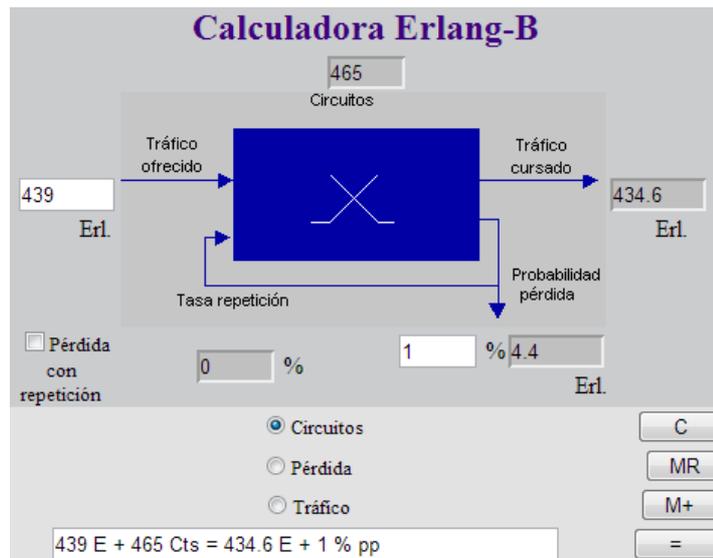


Figura 3-2: Cálculo de cantidad de circuitos para el servicio telefonía de abonados del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán".

Elaboración propia. Fuente: Calculadora Erlang B – Personal Telefónica Terra.

Tráfico para el cual se requiere 452 circuitos de voz para una probabilidad de bloqueo del 1%.

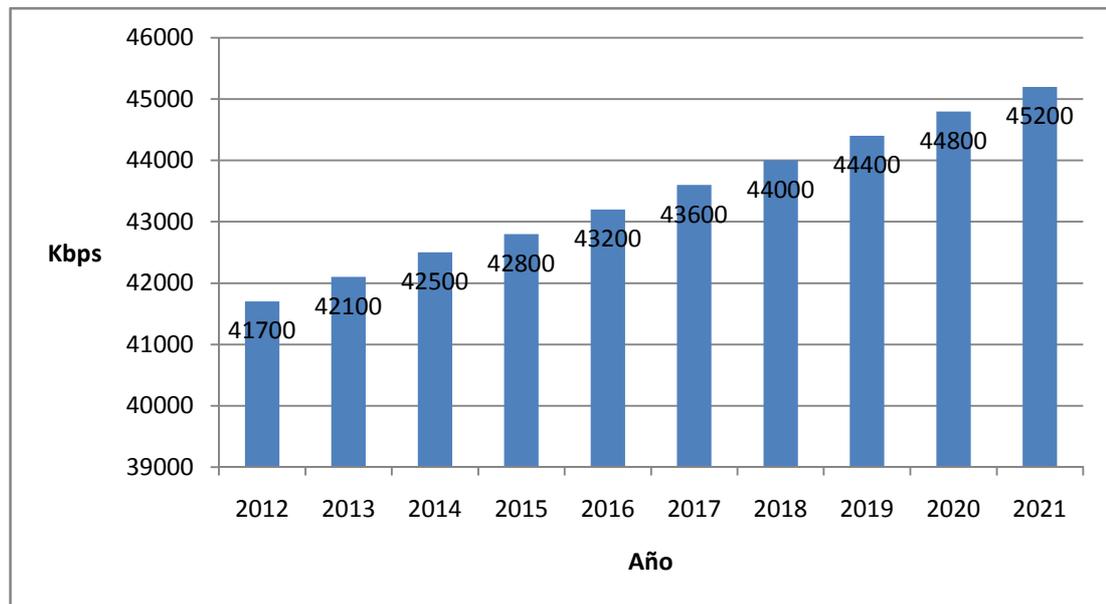
Asumiendo un códec G.711 (100 Kbps sobre IP), se calcula el ancho de banda requerido para este servicio:

$$465 \times 100Kbps = 46500 Kbps$$

A continuación se muestra la demanda incremental anual de este servicio en un horizonte temporal de 10 años a partir del año base del proyecto:

Tabla 3-5: Proyección de la demanda del servicio de Telefonía de abonados del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán".

Elaboración propia.



iii) Telefonía móvil:

La telefonía móvil (celular) es la TIC con mayor grado de penetración en los hogares. Este servicio ha tenido un crecimiento significativo en el país. De junio 2006 a marzo de 2011, el número de líneas móviles en servicio aumentó en un 330.70% (+22 349 443 líneas), alcanzando 29'107,697 líneas. Así, la penetración móvil pasó de 24.6 líneas por cada 100 habitantes en junio 2006 a 97.96 líneas por cada 100 habitantes en marzo de 2011.

[PBA2011]

A pesar de dicho incremento, se observa inequidades en la distribución de este servicio, con una mayor penetración en Lima Metropolitana que en el resto urbano y área rural.

[TIC2007]

Este es el caso del departamento de Puno, en el que el 64.69% de hogares de la zona rural que incluye a más del 60% de localidades del proyecto no cuentan con este servicio.

Con la finalidad de realizar el cálculo por capacidad se requiere determinar la cantidad de tráfico ofrecido a los usuarios a partir de la siguiente relación:

$$x \text{ Erlangs} = \left(\frac{MOU \cdot N}{\text{Días mes equivalente}} \right) \times (F_c) \times \left(\frac{1}{60} \right) \times (1 + \% \text{ onnet})$$

Donde:

-MOU: Minutos de uso mensual por usuario

-N: Cantidad de usuarios

-F_c: Factor de concentración de 0.3

-% *onnet*: porcentaje de llamadas terminadas dentro de la red

-*Días mes equivalente*: corresponde a 27 días

A partir de datos de Osiptel de finales del 2010 sobre líneas móviles en servicio por departamento, y tráfico entrante y saliente por operador, se calcula un MOU de 60 y un factor *onnet* de 0,14 para el departamento de Puno. [OSI2012]

De esta forma, para la población objetivo proyectada al año 2021 (67.388 pobladores) se tiene:

$$\left(\frac{60 \cdot 67388}{27}\right) \times (0,3) \times \left(\frac{1}{60}\right) \times (1 + 0,3) = 973,38 \text{ Erlangs}$$

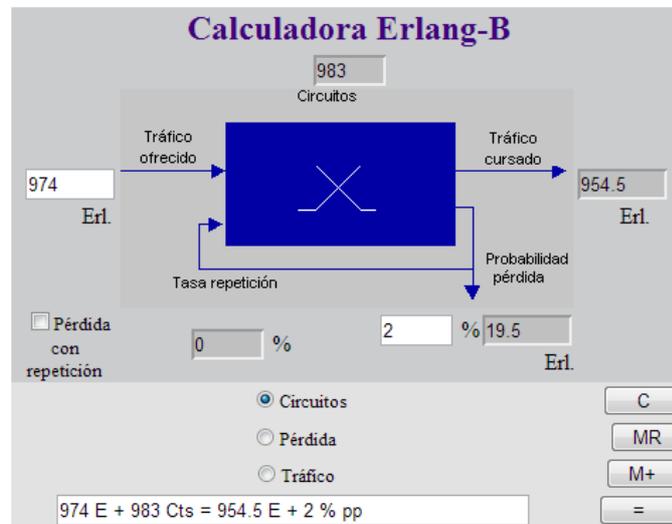


Figura 3-3: Cálculo de cantidad de circuitos para el servicio de telefonía móvil del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán".

Elaboración propia. Fuente: Calculadora Erlang B – Personal Telefónica Terra.

Tráfico para el cual se requiere 983 circuitos de voz con una probabilidad de bloqueo del 2%, típica para GSM.

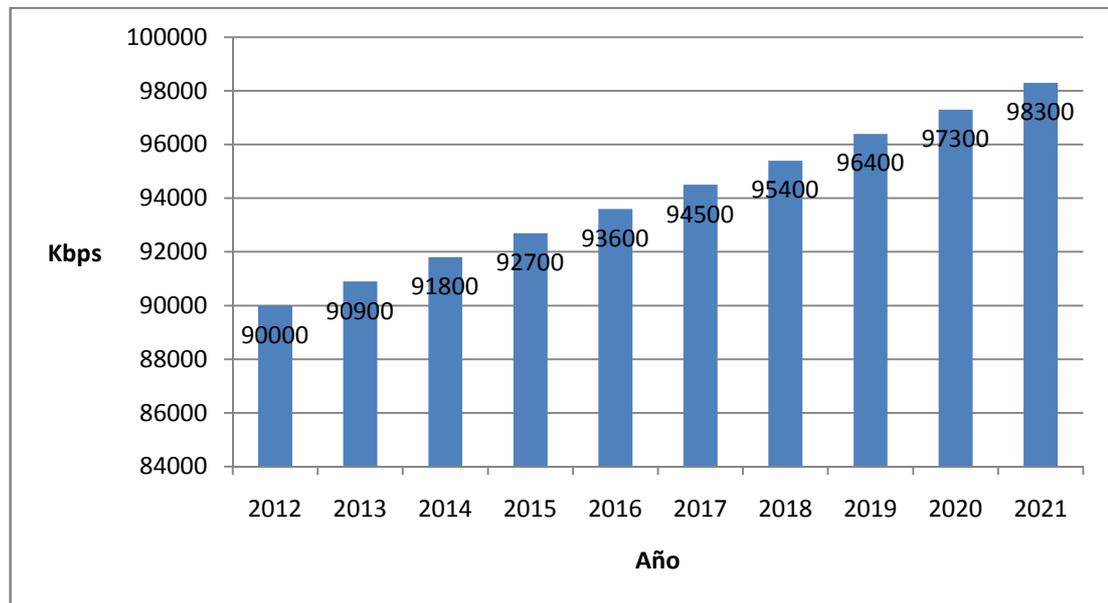
Asumiendo un códec G.711 (100 Kbps sobre IP), se calcula el ancho de banda requerido para este servicio:

$$983 \times 100\text{Kbps} = 98300 \text{ Kbps}$$

A continuación se muestra la demanda incremental anual de este servicio en un horizonte temporal de 10 años a partir del año base del proyecto:

Tabla 3-6: Proyección de la demanda del servicio de Telefonía móvil del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán".

Elaboración propia. Fuente: OSIPTEL. "Indicadores Estadísticos Osipitel 2012".



iv) Banda ancha móvil:

La banda ancha móvil es prestada principalmente a través de las tecnologías UMTS/HSPA (también conocidas como 3G y 3.5G), utilizando la infraestructura de las redes móviles convencionales 2G. Hasta junio del 2008, el total de suscripciones de este tipo era 4.400. A diciembre del 2008 las suscripciones llegaron a 16.100, lo que significa un incremento de 265% en tan solo un semestre. El 93% del total se ubica en Lima, y solo el 7%, en el resto del país. Finalmente, la tecnología LTE (Long Term Evolution) Advanced se perfila en el mundo como la tecnología de cuarta generación (4G) que permitirá ofrecer el servicio de Banda Ancha Móvil con capacidades y velocidades superiores a las ofrecidas actualmente por medio de las tecnologías de tercera generación (3G). De acuerdo con un reporte de 3G Américas, en el Perú las empresas Telefónica Móviles S.A. y América Móvil Perú S.A.C., tienen planeado desplegar una red LTE para el cuarto trimestre del 2013. [PBA2011]

Actualmente, las velocidades brindadas por los operadores en el país son las siguientes:

Tabla 3-7: Velocidades de internet móvil ofrecidas por América Móvil al 2012.

Fuente: Claro Perú. “Personas, empresas, corporaciones”.

	Claro Data	GPRS	EDGE	3.5G	4G
Velocidad	Hasta 56 Kbps	Hasta 80 Kbps	Hasta 256 Kbps	Hasta 3 Mbps	Hasta 5 Mbps

Tabla 3-8: Velocidades de internet móvil ofrecidas por Telefónica móviles al 2012.

Fuente: Movistar Perú. “Productos”.

Capacidad	Velocidad	Cargo Fijo	Módem
500 Mb	3 Mbps	S/.15	S/.19
1 Gb	3 Mbps	S/.20	S/.1
3 Gb	3 Mbps	S/.30	S/.1
5 Gb	3 Mbps	S/.50	S/.1

Como se observa la velocidad máxima es ofrecida por los operadores corresponde a la tecnología HSDPA (3GPP release 5) que en teoría permite velocidades de subida de 2 Mbps y de descarga de 14.4 Mbps. [3GP2003]

Con la finalidad de realizar el cálculo de capacidad se recurre a la siguiente relación:

$$BW_{mov}(Mbps) = N \times F_c \times V \times overbooking$$

Donde:

- N: Cantidad de usuarios
- F_c : Factor de concentración de 0.3
- V: Velocidad máxima ofrecida a cada suscriptor
- Overbooking: Sobresuscripción de 10%

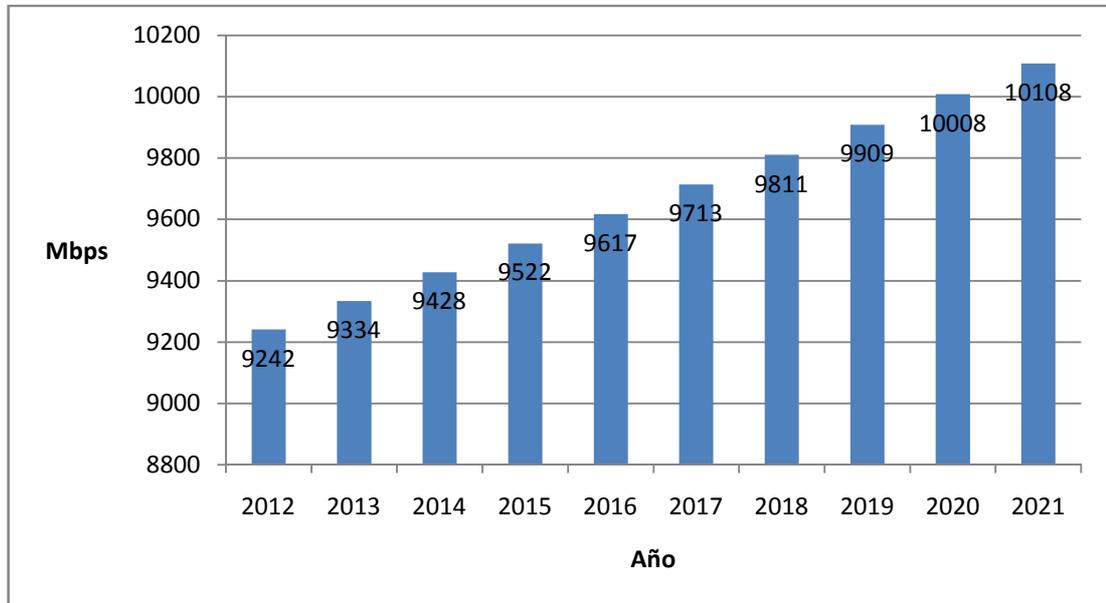
De esta forma, para la población objetivo proyectada al año 2021 (67.388 pobladores) y asumiendo una velocidad de acceso ofrecida correspondiente al máximo actual en la práctica de 5 Mbps para el mismo año, se tiene el ancho de banda requerido para este servicio:

$$67388 \times 0,3 \times 5Mbps \times 0,1 = 10108,2 Mbps$$

A continuación se muestra la demanda incremental anual de este servicio en un horizonte temporal de 10 años a partir del año base del proyecto:

Tabla 3-9: Proyección de la demanda del servicio de Banda ancha móvil del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán".

Elaboración propia. Fuente: OSIPTEL. "Indicadores Estadísticos Osiptel 2012".



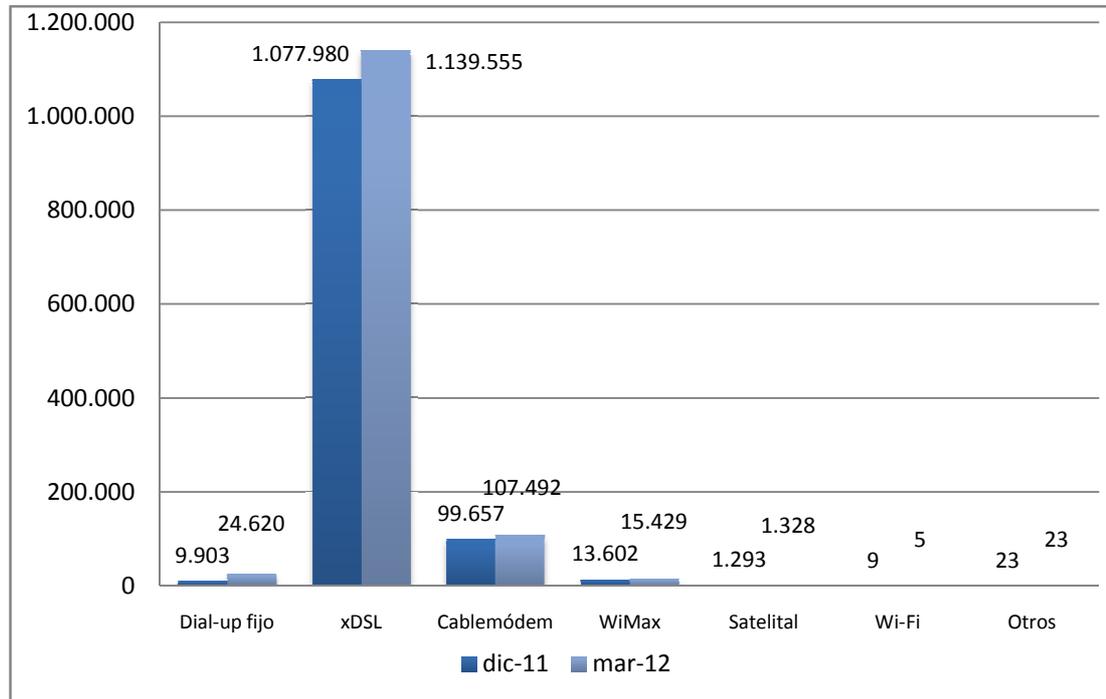
v) Internet

Según lo determinado en el capítulo 2, el acceso a Internet en los hogares de Puno es mínimo en la zona rural, en la cual se concentra la población objetivo del proyecto con hasta 99% de hogares desatendidos.

Según datos de Osiptel se tiene la siguiente demanda de banda ancha fija por tecnología de acceso a nivel nacional:

Tabla 3-10: Comparación de ancho de banda de acceso a Internet según tecnología de acceso 2011-2012.

Elaboración propia. Fuente: OSIPTEL. “Indicadores Estadísticos Osiptel 2012”.

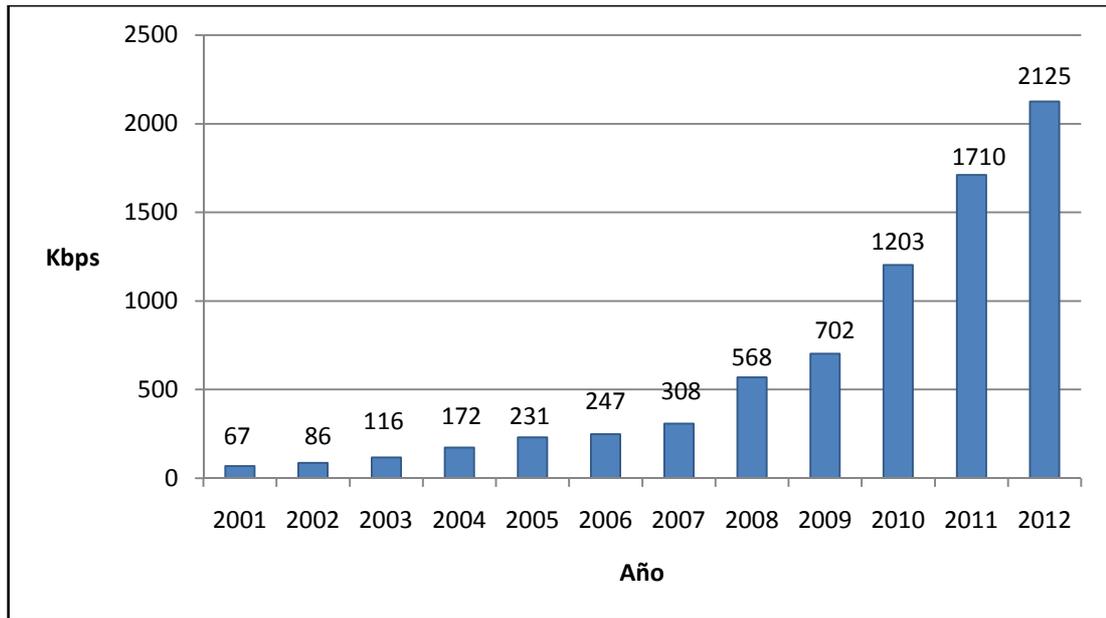


En la cual se observa que a finales del 2011 se tenía un total de 1.202.463 líneas instaladas de las cuales 1.077.980 correspondían a acceso XDSL, concentrando la demanda principalmente en un ancho de banda mayor a 512 Kbps. Por otro lado, para marzo del 2012 ya se había incrementado esta cifra a 1.288.452 (solo 4 meses) con 1.139.555 líneas XDSL; representando este tipo de acceso el 71.6% del crecimiento total debido a que este tipo de despliegue implica menores costos de infraestructura. [OSI2012]

A continuación se presenta la evolución de la velocidad de acceso a Internet promedio por cliente hasta enero del 2012:

Tabla 3-11: Evolución de la velocidad de acceso promedio a Internet a nivel nacional.

Elaboración propia. Fuente: OSIPTEL. "Indicadores Estadísticos Osiptel 2012".



Según el portal NetIndex, fuente líder en datos estadísticos de banda ancha, hacia finales del 2012 Perú cuenta con 2.86 Mbps, mientras la región de Juliaca presenta un ancho de banda promedio actual de 2.14 Mbps (relación de 0,748). [NID2012]

Realizando una proyección lineal se calcula que la demanda de ancho de banda promedio de Perú al 2021 será de 23.94 Mbps, con lo cual Juliaca presentará una demanda de 17.9 Mbps. [OSI2012]

Con la finalidad de realizar el cálculo de capacidad se recurre a la siguiente relación:

$$BW_{internet}(Mbps) = N \times F_c \times V \times Overbooking$$

Donde:

- N : Cantidad de hogares
- F_c : Factor de concentración de 0.3
- V : Velocidad máxima ofrecida por suscriptor
- Overbooking*: Sobresuscripción de 10%

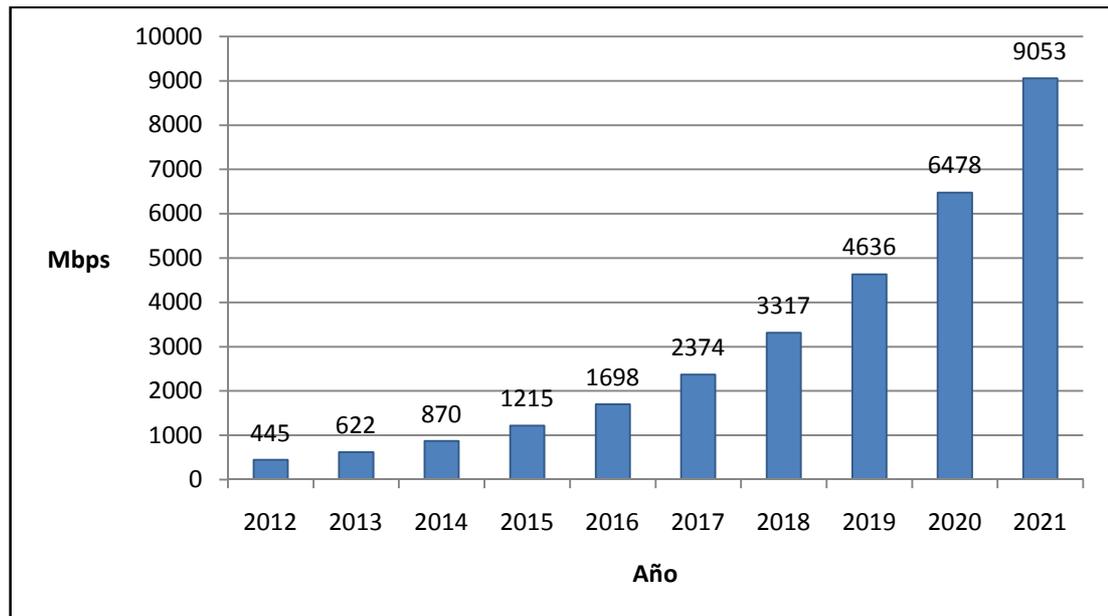
Asumiendo la tenencia de una línea de internet por familia de 4 integrantes para la población objetivo proyectada al año 2021 (67.388 pobladores) y una velocidad de acceso ofrecida por suscriptor correspondiente al máximo actual de 17.9 Mbps para el mismo año, se tiene el ancho de banda requerido para este servicio:

$$\frac{67388}{4} \times 0,3 \times 17,9 \text{ Mbps} \times 0,1 = 9046,839 \text{ Mbps}$$

A continuación se muestra la demanda incremental anual de este servicio en un horizonte temporal de 10 años a partir del año base del proyecto:

Tabla 3-12: Proyección de la demanda del servicio de Internet del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán".

Elaboración propia. Fuente: OSIPTEL. "Indicadores Estadísticos Osipitel 2012".



vi) Servicios corporativos

A través de los servicios corporativos, los operadores brindan soluciones dedicadas utilizando como infraestructura su propia red IP/MPLS.

La arquitectura de la red del operador sobre la que se brindan estos servicios se divide en:

-Backbone IP/MPLS: una serie de routers de núcleo (P) que distribuyen los paquetes basándose en etiquetas asociadas con un router de borde (PE) envés de la dirección destino de los paquetes, ahorrando así procesamiento al liberar el core de la necesidad de formar parte de un proceso global BGP.

-Red de Acceso: tradicionalmente Frame Relay, ATM y últimamente la red Metro Ethernet, desplegada mediante switches de acceso y agregación. [CSC2007]

Estos servicios pueden ser:

-Telefonía Fija: el servicio de Telefonía Fija El Pri es un servicio de telefonía fija por medio de líneas digitales que se da a través de fibra óptica ó conexión inalámbrica.

-Acceso dedicado a Internet: ofrece una conexión permanente, con ancho de banda comprometido y una velocidad máxima en cada sentido igual a la velocidad contratada. Este servicio es ofrecido sobre una red 100% de fibra óptica que permite una conexión directa con la red dorsal de Internet sobre la red IP/MPLS del operador.

-Red Privada Virtual Multiservicios: proporciona el transporte de cualquier tipo de información en una plataforma única y convergente, donde se puede transmitir voz, video, datos críticos, datos transaccionales y datos generales estableciendo niveles de Clases de Servicio (CoS), diferenciadas, asignándole la prioridad adecuada para aplicaciones de datos, voz y video. [CLA2012]

El servicio RPV permite que diferentes clientes manejen el mismo direccionamiento IP privado entre sus sedes remotas. Dicha privacidad se logra con el uso del concepto de VRFs (virtual routing/forwarding) y el hecho de que los paquetes son distribuidos mediante etiquetas y no basándose en la cabecera IP. [CSC2007]

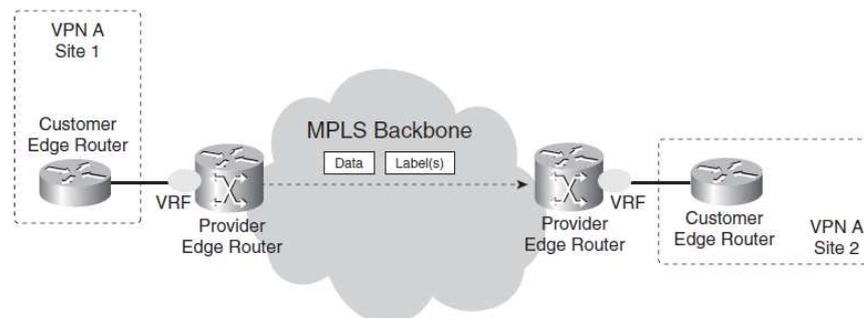


Figura 3-4: VPN sobre MPLS.

Fuente: Cisco Systems, Inc. "Fundamentos de MPLS".

Mediante la implementación de estos servicios es posible atender requerimientos de empresas de capital privado como bancos, desplegar puntos de venta móvil y fija, atención de cajeros, que ampliarán la productividad de negocios locales gracias a la bancarización.

Con respecto a los servicios prioritarios, los servicios corporativos implementados en los centros de salud permitirán la interconexión hacia los centros de diagnóstico de la ciudad de Lima para brindar servicios de tele-cardiología, tele-radiología, tele-dermatología, ahorrando así costos de viaje de los pobladores. La interconexión mediante redes privadas virtuales entre comisarías permitirá incrementar la seguridad y la velocidad de respuesta de la policía nacional y junto a los centros educativos el acceso a las bases de datos de sus respectivos ministerios con los beneficios de calidad de servicio que no ofrece internet.

Por otro lado esta tecnología permitirá atender los requerimientos internos de las empresas de electrificación San gabán y REP solicitados en los contratos con el Adjudicatario.

Entre algunas velocidades de acceso ofrecidas por el operador América Móvil tenemos:

Tabla 3-13: Algunas velocidades de acceso y tarifas RPV Multiservicios.

Fuente: OSIPTEL. Tarifas Establecidas Arrendamiento de Circuitos.

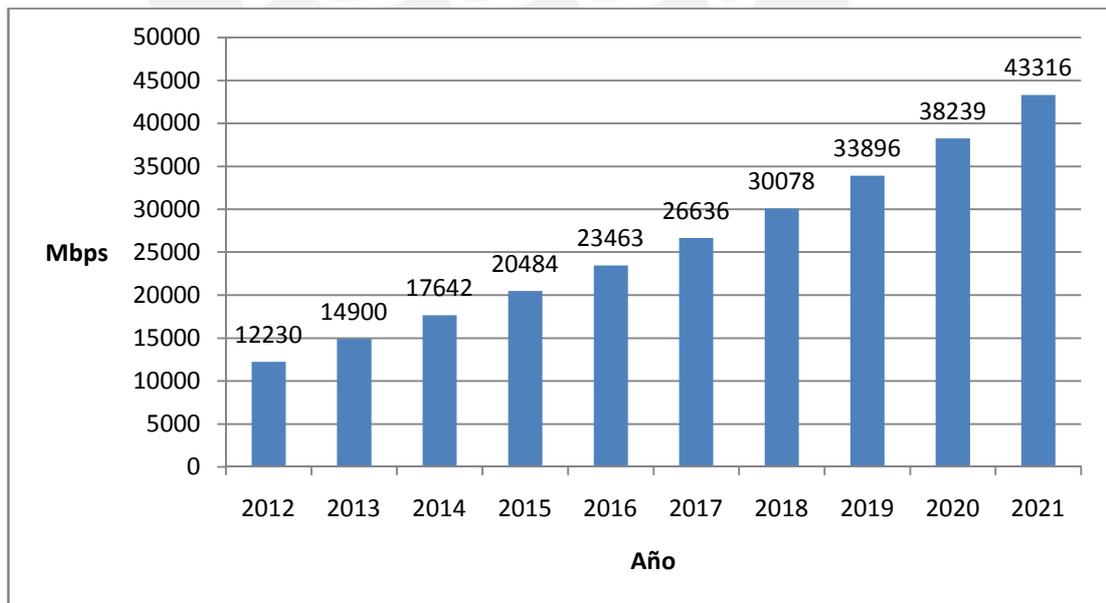
B/W	Acceso	Cos 1	Cos 2	Cos 3
32 Kbps	\$0,00	\$62,93	\$69,92	\$76,92
48 Kbps	\$0,00	\$67,43	\$74,92	\$82,41
3.584 Kbps	\$1.010,66	\$347,81	\$386,46	\$425,10
10 Mbps	\$1.528,24	\$525,93	\$584,37	\$642,81
20 Mbps	\$2.481,76	\$854,08	\$948,97	\$1.043,87
21.5 Mbps	\$2.575,10	\$869,45	\$965,50	\$1.105,96
40 Mbps	\$3.134,85	\$1.078,83	\$1.198,70	\$1.318,57
100 Mbps	\$5.028,82	\$1.730,63	\$1.922,92	\$2.115,21
1000 Mbps	\$10.289,74	\$3.541,13	\$3.934,59	\$4.328,05

Para efectos de la atención de este servicio se ha decidido brindar una capacidad de acceso de 4 Gbps por cada nodo principal, asumiendo la demanda incremental de forma proporcional al paso de los años en el horizonte temporal de evaluación.

Finalmente se tiene a continuación el crecimiento de la demanda total de capacidad del proyecto en Mbps:

Tabla 3-14: Proyección de la demanda total de ancho de banda del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán".

Elaboración propia.



3.1.2 Determinación de nodos primarios

Con la ayuda de la herramienta GIS del Ministerio de Energía y Minas, se identificó a detalle la ruta de las líneas de transmisión y se determinó los nodos de la red. (Ver Anexo 2)

A continuación la justificación de dicha elección:

- Nodo San Gabán: corresponde a la ubicación de la subestación San Gabán II donde inicia el tendido de 160 Km hasta la Subestación Azángaro. Permitirá la interconexión con el proyecto de banda ancha rural San Gabán – Puerto Maldonado, así como los requerimientos de la empresa de generación eléctrica San Gabán.
- Antauta: corresponde al nodo repetidor de la línea de transmisión eléctrica, ubicado en la mitad del recorrido de la misma (80 Km desde el nodo San Gabán) y que permitirá atender las localidades de la zona norte y centro del proyecto.
- Chichipani: ubicado a 40 Km de la subestación Azángaro, permitirá la atención de las localidades de la zona centro de cobertura del proyecto.
- Nodo Azángaro: ubicado en la subestación Azángaro de la empresa San Gabán, permitirá atender exclusivamente a las localidades ubicadas en la zona centro del proyecto además de brindar los servicios requeridos por las empresas de electrificación San Gabán y REP.
- Nodo Juliaca: nodo del backbone de fibra óptica nacional existente en la ciudad de Juliaca, donde el proyecto podrá interconectarse a los servicios de voz (portadores de LDN y LDI), así como al proveedor del servicio de Internet (ISP) y red IP/MPLS del operador. Se ubica a 78 kilómetros de la sub estación Azángaro.
- Puno: nodo de atención para las localidades ubicadas en la zona sur del proyecto para cuya interconexión se deberá realizar una ampliación de planta externa desde el nodo Juliaca. Se ubica a 72 Km de la Sub estación Juliaca.

3.2 Equipamiento

3.2.1 Selección de la tecnología

Las medidas a tomar ante el incremento de la demanda por capacidad son la instalación de nueva fibra o la ampliación del ancho de banda efectivo de aquella existente.

Tender nueva fibra es una solución costosa estimada en aproximadamente 30.000 dólares por kilómetro, la mayor parte del cual corresponde a permisos e infraestructura y no a la fibra misma, por lo cual solo toma sentido cuando se desea ampliar la cobertura geográfica.

[CSC2001]

Por otro lado, el incremento de la capacidad se puede lograr de dos formas:

- Incrementando el Bit Rate

TDM logra velocidades actuales de 2.5 Gbps (OC-48), 10 Gbps (OC-192) y 40 Gbps (OC-768); sin embargo, la circuitería electrónica que hace esto posible es compleja y costosa de comprar y mantener. Por otro lado, existen limitaciones técnicas como la dispersión cromática sobre fibra monomodo en OC-192, que resulta 16 veces más perjudicial que para OC-48, correspondiente al siguiente nivel inferior en la jerarquía. Además, la mayor potencia requerida resulta en efectos no lineales que afectan la calidad de las ondas. Estos factores, adicionales a otros como el PMD limitan la distancia efectiva que pueden viajar los pulsos sin degradarse. [CSC2001]

- Incrementando el número de longitudes de onda

Corresponde a la combinación de longitudes de onda o colores mediante tecnología WDM, que permite incrementar la capacidad del medio en un factor de 32 a mayores distancias que TDM sin los problemas de dispersión ni complejidad electrónica. [CSC2001]

Tabla 3-15: CWDM vs DWDM (aplicaciones actuales).

Fuente: Pontificia Universidad Católica Del Perú. Comunicaciones Ópticas, clase 9: Multiplexación óptica. Autor: Salomé, O.

Aplicación/parámetro	CWDM acceso/ MAN	DWDM MAN/WAN	DWDM largo alcance
Canales por fibra	4-16	32-80	80-160
Espectro utilizado	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
Espaciado entre canales	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
Capacidad por canal	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10-40 Gbit/s
Capacidad de la fibra	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	>1 Tbit/s
Distancia	hasta 80 km	cientos de km	miles de km
Costo	bajo	medio	Alto
Amplificación óptica	ninguna	EDFA	EDFA, Raman

La empresa de generación eléctrica San Gabán puso a disposición del proyecto 4 hilos de fibra para el despliegue del backbone. Dichos hilos se empalmarán a los del nuevo tendido a realizarse sobre la línea de transmisión de REP, motivo por el cual el medio es un recurso limitado y nos lleva a tomar como solución la tecnología DWDM para ampliar la capacidad

de la fibra existente, debido a las distancias que se encuentran en el límite para CWDM (80 Km) y a la posibilidad que ofrecen los canales de albergar tráfico de entre 2.5 y 10 Gbps lo cual nos ofrece escalabilidad ante nuevos servicios y mayores demandas de tráfico.

3.2.2 Selección del proveedor

Entre los vendedores que proveen equipamiento para el despliegue de una red de transporte DWDM tenemos a Ciena, ZTE, Alcatel-Lucent y Huawei. A continuación se presenta una tabla con las principales prestaciones del equipamiento que ofrecen como solución y que corresponden al mismo nivel de jerarquía dentro de una OTN, según especificación G.872.

Tabla 3-16: Comparación de prestaciones de equipamiento DWDM de distintos proveedores.

Elaboración propia. Fuente: (1) CIENA. The 4200 Family. (2) ZTE. ZXWM M900 DWDM Equipment. (3) ALU. Alcatel-Lucent 1625 LambdaXtreme. (4) Huawei Technologies. "Optix OSN 6800 & OSN 7500: Descripción del producto".

				
Producto	WDM 4200-RS	ZXWM M900	1625 LambdaXtreme	OSN 6800
Prestaciones	-Tecnología G.709 OTN -Agregación de servicios SONET/SDH, Eth, video (DVB, SD-SDI, and HD-SD). - CWDM y DWDM. -Funcionalidad ROADM. -Capacidad de 480G. -Interfaces de cliente: 96 x 2.7 G ó 64 x 10G. -Velocidades de línea de 10G, 40G, y 100G	-Tecnología G.709 OTN. -Agregación de servicios STM-x, Eth, FICON, ESCON, FC, ATM, PDH. -Funcionalidad ROADM. -Capacidad de 192 x 10G ó 96 x 40G (hasta 3.84 T con expansión modular de capacidad). - MUX/DEMUX de bajo consumo de	-Tecnología G.709 OTN. -Agregación de servicios SONET/SDH, Eth. -Capacidad de 128 x 10G (1.28T) a 4000km, 64 x 40G (2.56T) a 1000km. -Interfaces de cliente de 4x2.5G and 4x10G. -Funcionalidad ROADM. -Ultra forward error correction (UFEC). -Compensador integrado de dispersión	-Tecnología G.709 OTN. -Agregación de servicios SONET/SDH, Eth, video (HDTV, DVB-ASI, SDI, FDDI). -Funcionalidad ROADM. -Capacidad de 80 x 40G -Tecnología ASON/GMPLS para el control OTN. -Conmutación a nivel LAN. -Crosconexión multidimensional

	-Altitud: 4000 m.	energía (50% menor).	cromática. -APC reduce costos de atenuadores en interfaces de cliente.	de longitudes de onda, reduce los costos de conversión O-E-O.
--	-------------------	----------------------	---	---

Como parte del análisis de la experiencia de estos proveedores se ha tomado como referencia a Infonetics Research, firma consultora internacional que sirve a la industria de las telecomunicaciones desde 1990 con estudios de mercado e investigaciones para ayudar a los clientes a planificar estrategias y competir eficientemente.



Figura 3-5: Líderes en participación de mercado de Hardware óptico, 2012.

Fuente: Infonetics Research, Optical Network Hardware.

Por los motivos expuestos se selecciona al proveedor HUAWEI debido a la capacidad del backplane de su solución 3.2T (por encima de la media) y a la tecnología ASON que permite el enrutamiento a nivel óptico brindándole un footprint sobre las otras marcas, además de sus costos razonables y su alta cuota de participación en el mercado, que le dan respaldo en el despliegue de redes de transporte ópticas a nivel mundial.

3.2.3 Equipos de transporte OSN 6800

El OSN 6800 adopta la tecnología OTN, una nueva especificación de transporte óptico definido por las recomendaciones ITU-T G.872, G.798, y G.709, que provee la flexibilidad de la gestión y operación de SDH/SONET sumado a la alta capacidad de WDM.

i) Prestaciones técnicas

Soporta hasta 80 lambdas de 40 Gbps en DWDM y 18 lambdas de 5 Gbps en CWDM. Provee servicios de acceso Ethernet, SONET/SDH, SAN, OTN, Video Service, conmutación a nivel de capa 2, agregación integrada y distribuida de servicios GE, ODU1 realizada por

los XCS. Permite la agregación a nivel óptico mediante el despliegue del sistema en modo FOADM y ROADM.

ii) Estructura física

La unidad básica del equipo es el subrack, dividido en 21 slots que pueden albergar 14 tipos de unidades funcionales.

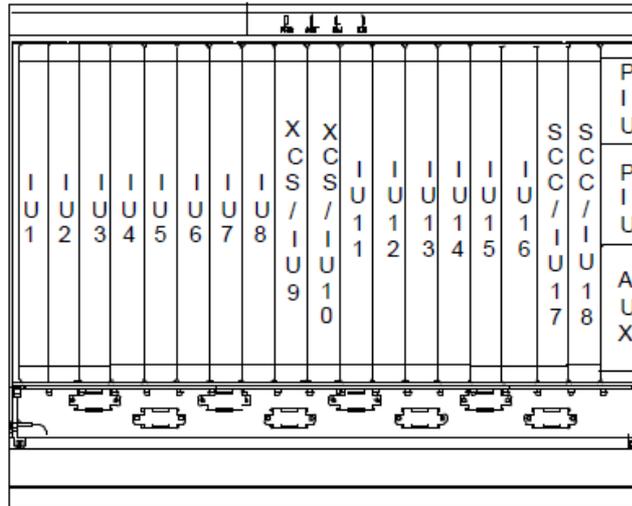


Figura 3-6: Slots del subrack Optix OSN 6800.

Fuente: Huawei Technologies. “Optix OSN 6800 & OSN 7500: Descripción del producto”.

Tabla 3-17: Unidades funcionales del subrack Optix OSN 6800.

Fuente: Huawei Technologies. “Optix OSN 6800 & OSN 7500: Descripción del producto”.

Functional Units	Boards
Optical transponder unit	L4G, LDGD, LDGS, LQMD, LQMS, LSX, LSXR, LWX2, LWXD, LWXS, LOG, LOM, LSXL, LSXLR, ECOM, TMX
Tributary unit	TQS, TQM, TDG, TBE, TDX, TSXL
Line unit	NS2
Cross-connect unit	XCS
Optical multiplexer/demultiplexer unit	FIU, D40, D40V, M40, M40V, ITL, M08, D08
Fixed optical add/drop multiplexer unit	CMR2, CMR4, DMR1, MR2, MR4, MR8, SBM2
Reconfigurable optical add and drop multiplexing unit	RMU9, ROAM, WSD9, WSM9, WSMD4
Optical amplifier unit	CRPC, OAU1, OBU1, OBU2, HBA
System control and communication unit	AUX, SCC
Optical supervisory channel (OSC) unit	SC1, SC2
Optical protection unit	DCP, OLP, SCS
Spectrum analyzer unit	MCA4, MCA8, WMU
Variable optical attenuator unit	VA1, VA4
Dispersion Compensation Board	DCU

Estos subracks se pueden apilar físicamente en un gabinete hasta en grupos de 4 unidades, y lógicamente hasta en grupos de 7 subracks para formar un único NE (Network Element); soportando la gestión master-slave. [HUA2011]

iii) Configuraciones de sistema DWDM en la solución

- OTM

Permite la amplificación de las señales cliente y su multiplexación para su posterior transmisión.

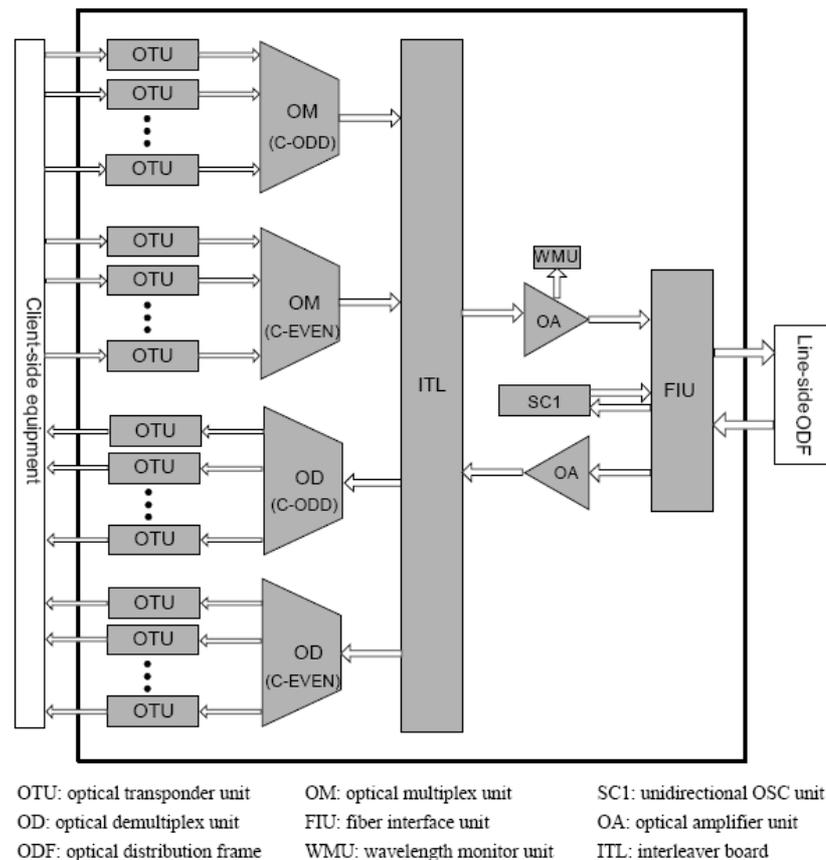


Figura 3-7: Diagrama esquemático del OSN 6800 en configuración OTM.

Fuente: Huawei Technologies. "Optix OSN 6800 & OSN 7500: Descripción del producto".

En la dirección de transmisión, a través del OTU, el OTM desplaza las señales del cliente a las longitudes de onda DWDM especificadas por la recomendación ITU-T G.694. Luego, las señales son multiplexadas por el OM. Los dos canales de señales multiplexadas (lambdas pares y lambdas impares) se envían al ITL para ser multiplexadas nuevamente. Como resultado, se forma un canal de 80 longitudes de onda espaciadas 50 GHz en banda C. Luego, este canal de servicio es amplificado por el OA y multiplexado una vez más por la FIU junto a la señal de supervisión para ser enviada en la línea de transmisión.

En la dirección de recepción, la señal óptica de supervisión y el canal formado por las señales de servicio se separan; enviándose la primera al canal de supervisión óptico (OSC) para su procesamiento. Luego de su amplificación, las señales ópticas del canal principal son demultiplexadas por el ITL en dos canales (lambdas pares y lambdas impares), estando las longitudes de onda al interior de estos dos canales separadas 100 GHz. Finalmente, estos dos canales son demultiplexados y enviados a los OTUs para su transformación y envío a los equipos de cliente. [HUA2011]

Es la configuración elegida para el nodo Puno.

- ROADM

Mediante la tecnología WSS, permite quitar y agregar longitudes de onda del camino principal de forma dinámica. Dependiendo de la posición del nodo se puede requerir el servicio de este a oeste y/o de sur a norte, teniendo de esta forma dos posibles implementaciones:

-ROADM Este – Oeste

La señal óptica es procesada en dos direcciones de transmisión. La tarjeta FIU separa la señal de servicio recibida del canal de supervisión. Esta señal de servicios es amplificada por el OA y enviada a la tarjeta WSD9 que selecciona las señales que requieren ser demultiplexadas y las envía por los puertos donde se encuentran conectados los OD que demultiplexan las señales finales y son enviadas a los OTU para ser desplazadas a banda base y enviadas al cliente. [HUA2011]

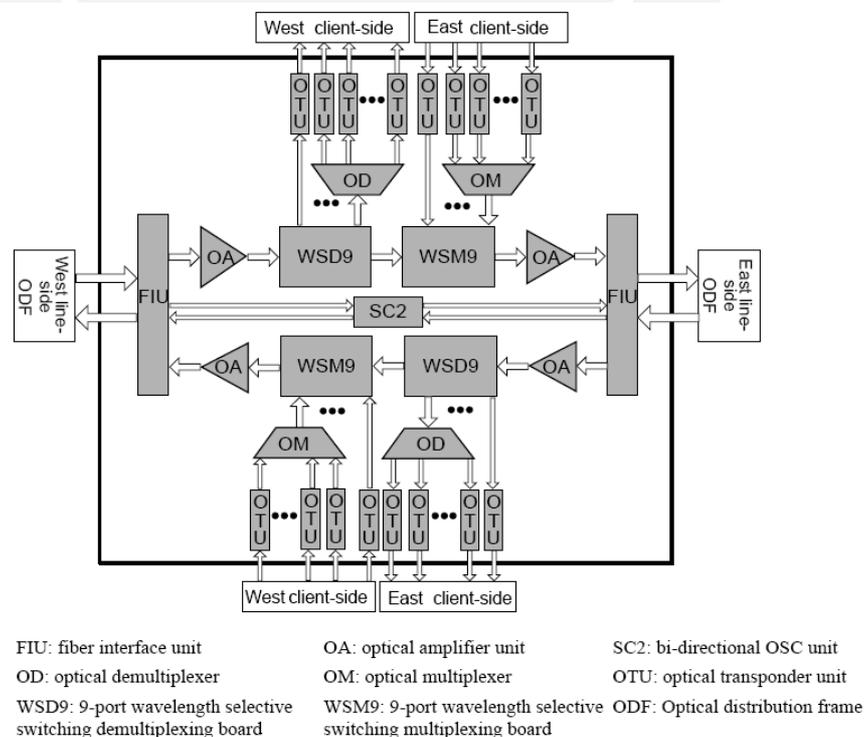


Figura 3-8: Diagrama esquemático del OSN 6800 en configuración ROADM Este-Oeste.

Fuente: Huawei Technologies. "Optix OSN 6800 & OSN 7500: Descripción del producto".

Esta configuración es requerida en los nodos de San Gabán, Antauta, Chichipani y Azángaro.

-ROADM Este – Oeste / Sur – Norte

La señal óptica es procesada en cuatro direcciones de transmisión. La señal de servicio proveniente del oeste se separa del canal de supervisión en la FIU y es enviada a la WSMD4 luego de ser amplificada en el OA. La tarjeta WSMD4 divide la señal en cuatro señales idénticas. El OD demultiplexa las señales en cada longitud de onda que requiere cada cliente. Si alguna señal del oeste es requerida por un cliente del este, la señal principal es enviada a la WSMD4 del este. [HUA2011]

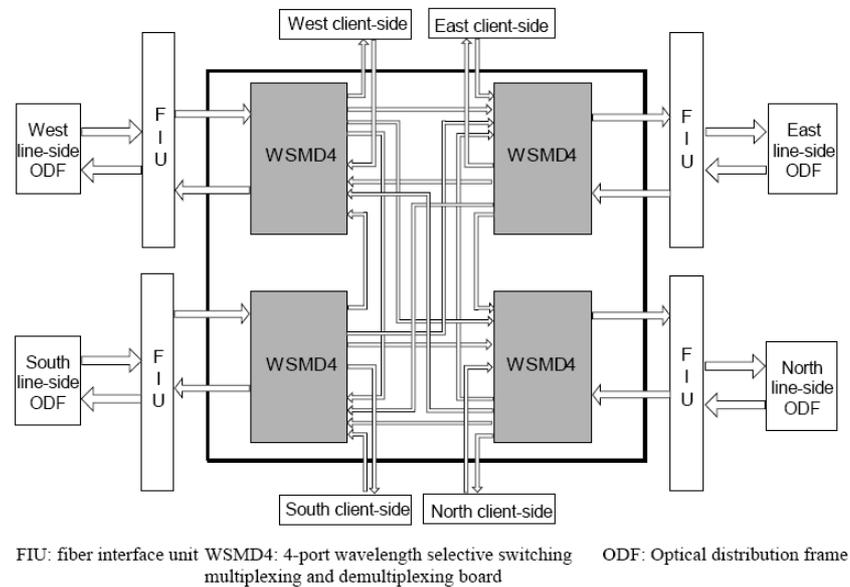


Figura 3-9: Diagrama esquemático del OSN 6800 en configuración ROADM Este – Oeste / Sur – Norte.

Fuente: Huawei Technologies. “Optix OSN 6800 & OSN 7500: Descripción del producto”.

Es la configuración elegida para el nodo Juliaca, que requiere el envío de señales al norte para la interconexión a la red del operador.

3.2.4 Equipos de acceso: OSN7500

El OSN 7500 es un equipo de conmutación de core de alta capacidad usado principalmente en la capa de backbone para la transmisión y agregación de varios servicios con diferentes niveles de granularidad.

i) Prestaciones técnicas

Provee una capacidad de crosconexión de bajo y alto orden de 80G y 360G, respectivamente, dependiendo la misma de las tarjetas utilizadas. Dicha crosconexión integra las tecnologías SDH, PDH, Ethernet, ATM, SAN (Storage Area Network), WDM, DDN (Digital Area Network), ASON y microondas. [HUA2011]

ii) Estructura física

La unidad básica del equipo es el subrack el cual se divide en dos capas (inferior y superior), las cuales contienen áreas que pueden albergar distintos tipos de tarjetas. Las funciones de dichas áreas son:

- Áreas de procesamiento superior e inferior: contienen las tarjetas procesadoras
 - Área de interfaces: contiene las tarjetas de interfaces
 - Área de ventilación: contiene 3 módulos de ventilación
 - Área de ordenamiento de fibra: contiene los jumpers de fibra para su ordenamiento.
- [HUA2011]

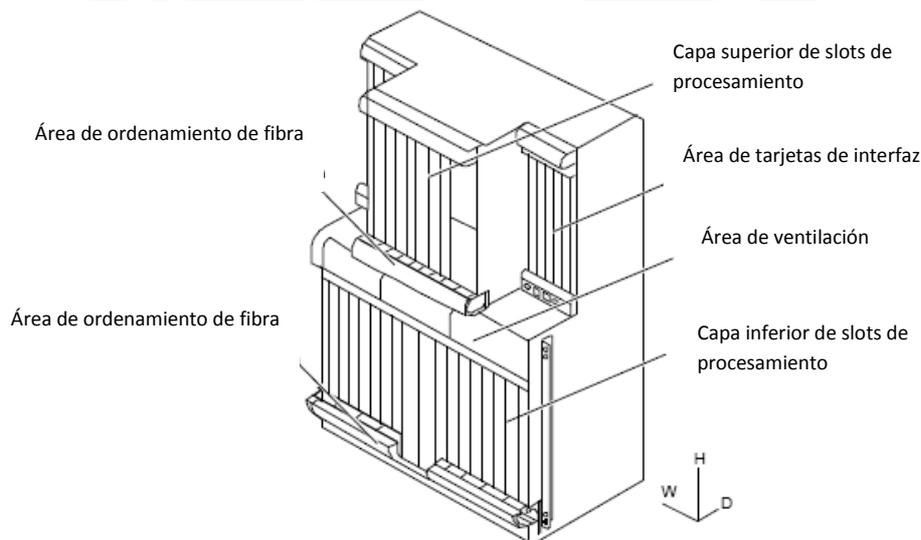


Figura 3-10: Estructura del subrack Optix OSN 7500.

Fuente: Huawei Technologies. "Optix OSN 6800 & OSN 7500: Descripción del producto".

La capa superior contiene 20 slots y la inferior 18 slots:

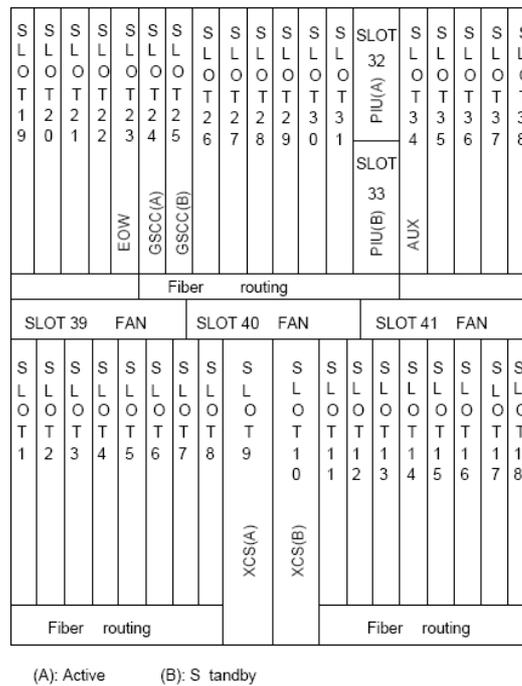


Figura 3-11: Disposición de slots del subrack Optix OSN 7500.

Fuente: Huawei Technologies. “Optix OSN 6800 & OSN 7500: Descripción del producto”.

Tabla 3-18: Relación entre slots y tipos de tarjeta del subrack Optix OSN 7500.

Elaboración propia. Fuente: Huawei Technologies. “Optix OSN 6800 & OSN 7500: Descripción del producto”.

Slots para tarjetas de procesamiento	Slots para tarjetas de Interfaz
Slot 2	Slots 19 - 20
Slot 3	Slots 21 - 22
Slot 17	Slots 35 -36
Slot 18	Slots 37 - 38

iii) Configuración del sistema en la solución

El OSN 7500 soporta la configuración individual e híbrida de los siguientes tipos de NE:

- Terminal Multiplexer (TM)
- Add/drop Multiplexer (ADM)
- Multiple Add / Drop Multiplexer (MADM)

El OSN 7500 utiliza varios tipos de tarjetas que forman el marco del sistema en el cual la matriz de croconexión es el núcleo. [HUA2011]

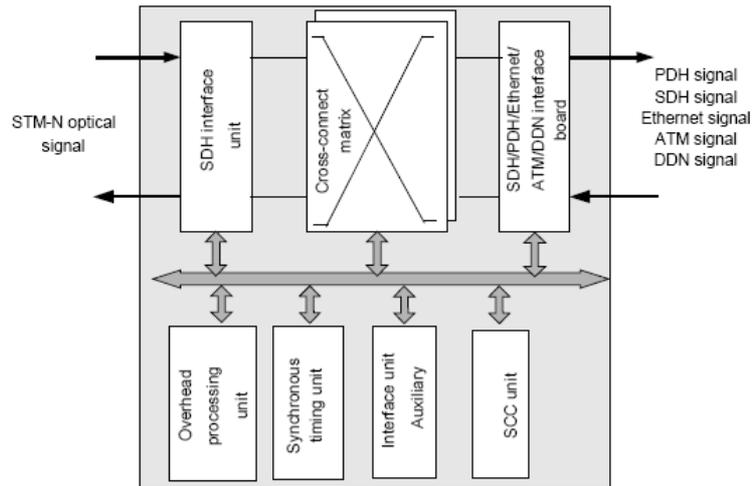


Figura 3-12: Arquitectura del sistema Optix OSN 7500

Fuente: Huawei Technologies. "Optix OSN 6800 & OSN 7500: Descripción del producto".

3.2.5 Interconexión entre equipos

Ambos equipos estarán co-ubicados en los nodos determinados en la sección 3.1.2 siguiendo el esquema de cadena para agregar o quitar longitudes de onda que portarán los servicios de cada localidad gracias a la funcionalidad FOADM/ROADM de los equipos de transporte OSN 6800 y a la agregación provista por los equipos de acceso OSN 7500. **(Ver Anexo 3)**

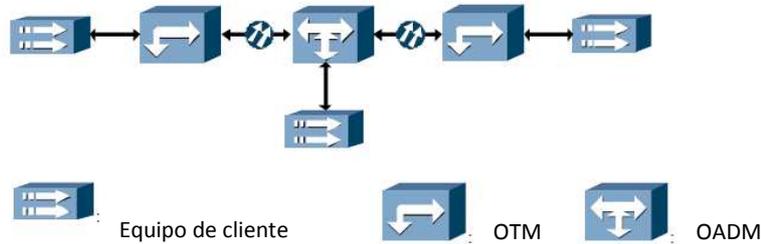


Figura 3-13: Topología en cadena.

Fuente: Huawei Technologies. "Optix OSN 6800 & OSN 7500: Descripción del producto".

De esta forma la topología de la red será la siguiente:

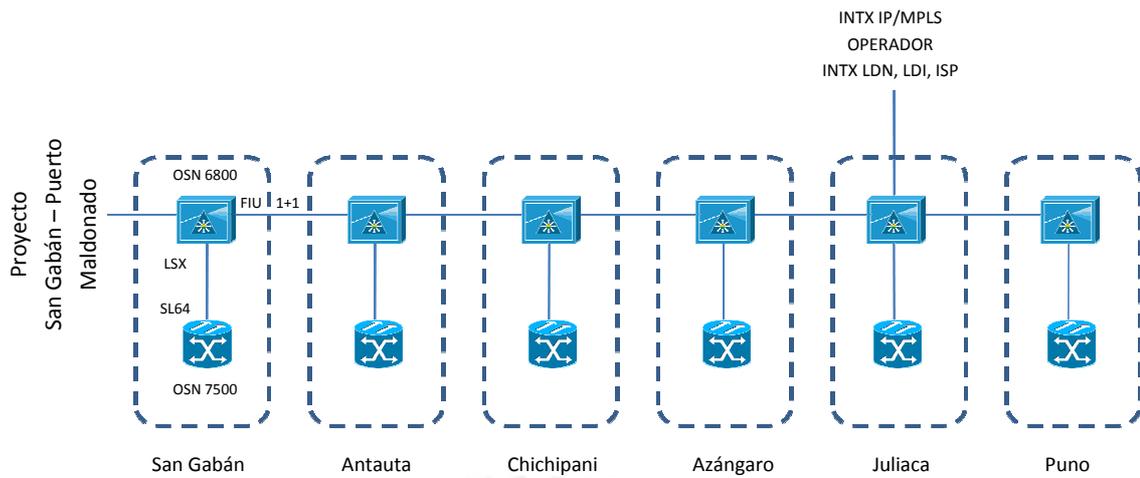


Figura 3-14: Topología lógica del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán".

Elaboración propia.

El acceso hacia las localidades beneficiarias se dará mediante última milla microondas Ethernet o SDH para lo cual se selecciona los equipos MPR 9500 Microwave Packet Radio de Alcatel-Lucent y el RTN 900 de Huawei. [MPR2009], [RTN2011]

Estos equipos se conectarán directamente a los OSN 7500, lo cual permitirá el despliegue de la red móvil 2G y 3G; además de la red Metro-Ethernet para brindar servicios corporativos y cumplir de esta forma el requerimiento de un puerto de acceso Ethernet 10/100/1000 de la sección 2.4.1.

3.3 Tendido de fibra óptica

3.3.1 Selección del proveedor

El cableado de fibra óptica es el componente de menor costo de la instalación de la red; sin embargo es el fundamento de la misma, por lo cual se debe asegurar una alta calidad para garantizar la disponibilidad de su operación. [COR2012]

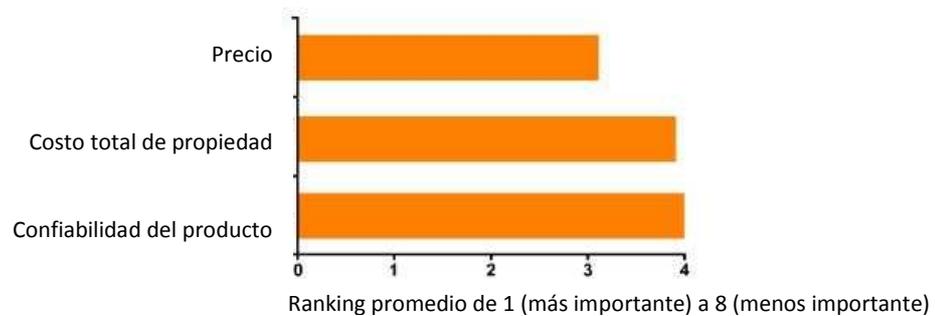


Figura 3-15: Criterios de operadores en la selección de proveedores de fibra óptica.

Fuente: Infonetics Research. "Optical Equipment Vendor Leadership"

A continuación se compara la atenuación máxima y área efectiva en fibra de transporte para 2 proveedores líderes:

Tabla 3-19: Prestaciones fibra óptica Corning vs Furukawa.

Elaboración propia. Fuente: (1) Corning. “Fibra Óptica”. (2) Furukawa. “TrueWave®REACH Fiber Low Water Peak”

Prestación	Corning	Furukawa
1310 nm (dB/Km)	≤ 0.4	≤ 0.4
1383 nm (dB/Km)	-	≤ 0.4
1410 nm (dB/Km)	≤ 0.32	-
1450 nm (dB/Km)	≤ 0.26	≤ 0.26
1550 nm (dB/Km)	≤ 0.20	≤ 0.22
1625 nm (dB/Km)	≤ 0.22	≤ 0.24
A_{eff} (um ²)	72 @ 1550 nm	55 @ 1550 nm

Los motivos de la elección de Corning como proveedor de fibra óptica aparte de su menor atenuación, es su situación como líder mundial con múltiples productos para necesidades específicas:



Figura 3-16: Soluciones de Corning para necesidades específicas.

Fuente: Corning. “Fibra Óptica”.

Como se ve, para aplicaciones de transporte se tiene los tipos de fibra LEAF y SMF-28 ULL, seleccionándose la primera por cumplir con las especificaciones ITU G.655 incluidas dentro de los requerimientos técnicos del proyecto. (Ver Anexo 4)

Para el aprovisionamiento de los cables se tiene a CONDUMEX, que trabaja con fibra Corning y ofrece el empaquetado para líneas de transmisión ADSS. Estos son cables ópticos auto-sustentados por rigurosas normas de seguridad mundial, con la aplicación de estos se eliminó la necesidad de un cable mensajero, reduciendo costos y manejabilidad a la hora de instalar redes largas. Estos cables ópticos no son afectados por la caída de rayos ni interferencias, debido a la carencia de elementos metálicos. [ETP2009]

APLICACIÓN Y PROPIEDADES:

- Instalación aérea sin mensajero adicional
- Autosoportado, no tiene elementos metálicos (ADSS)
- Sin problemas de inducción en campo eléctricos
- Resistencia a la intemperie
- Desde 6 hasta 36 fibras, (6 fibras por tubo)
- Sentido alterno en el cableado para permitir derivaciones.
- Cubierta externa con alta resistencia a corriente superficial (TRACKING).
- Identificación de fibras; EIA/TIA 598; NMX4-274 (código 2).
- Longitud estándar de 4000 m con fibra unimodo, 1000 m con fibra multimodo.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS									
Número de fibras	Diámetro externo	Peso	Radio mínimo de curvatura		Claro máximo	Tensión máxima permitida	Tensión máxima al instalar	Prueba de compresión	Temperatura de operación
			Bajo tensión	Sin tensión					
	mm	kg/km	mm	mm	m	N	N	N/cm	°C
6, 12, 18 24, 36	13.7	150	340	260	250*	5,700	1,800	220	-20 a +65

Figura 3-17: Especificaciones cable Condumex ADSS líneas de transmisión.

Fuente: Condumex. "Catálogo de productos 2012".

3.3.2 Descripción de instalación sobre línea de alta tensión

i) Características Climatológicas y Ambientales de la zona

El clima de la zona es frígido, siendo bien marcadas las variaciones de temperatura, por encima de los 15 °C durante el día e inferiores a 0 °C durante la noche (máxima de 25°C, media de 8°C y mínima de -25°C). Se caracteriza por la presencia de lluvias y tormentas eléctricas durante los meses de Noviembre a Marzo con máxima velocidad del viento de 104 Km/h. El ambiente es limpio y de baja contaminación industrial.

ii) Descripción de la ruta del tendido

La ruta de tendido del cable ADSS comprende el tramo de la línea de transmisión de 138 kV Azángaro – Juliaca, cuyos hilos de fibra se empalmarán a los existentes en el cable OPGW que se encuentra instalado en el tramo Azángaro – San Gabán. (Ver Anexo 5). A continuación se presentan las principales características de las líneas de transmisión citadas:

Tabla 3-20: Características de las líneas de transmisión eléctrica del proyecto "Servicio de Banda Ancha Rural Juliaca – San Gabán".

Elaboración propia. Fuente: (1) Anteproyecto: "Línea de transmisión en 220kV Puno – Juliaca – Azángaro y subestaciones".
(2) Propuesta de tarifas y Compensaciones Período 2009 – 2013. Sistema Secundario de Transmisión de la Empresa San Gabán.

Característica	Azángaro – Juliaca (L-1011)	Azángaro – San Gabán II (L-1009/1010)
Terna	Simple	Doble
Tensión	138 kV	138 Kv
Longitud	78 Km	159 Km
Vano promedio	500 m	385 m
Conductor	Aleación de aluminio (AAAC) 240 mm ²	Aleación de aluminio (AAAC) 300 mm ²
Protección contra descargas	(1) Cable de guarda de acero galvanizado grado EHS 50 mm ²	(1) Cable de guarda de acero galvanizado grado EHS 50 mm ²
Aisladores	Estándar 254 mm x 146 mm	Estándar 254 mm x 146 mm
Cadenas de suspensión	12 unidades	12 unidades
Cadenas de anclaje	13 unidades	13 unidades
Faja de servidumbre	25 m	25 m
Propiedad	REP	San Gabán

Con respecto a las subestaciones eléctricas de REP se tiene los siguientes datos:

Tabla 3-21: Características de las subestaciones eléctricas de la empresa REP.

Elaboración propia. Fuente: Anteproyecto: "Línea de transmisión en 220kV Puno – Juliaca – Azángaro y subestaciones".

Característica	Subestación Juliaca	Subestación Azángaro
Ubicación	Juliaca/San Román/Puno	Azángaro/Azángaro/Puno
Coordenadas	379811 m E y 8285152 m N	370336 m E y 8350738 m N
Altitud	3,821 msnm	3,786 msnm
Tensión	138/60/22.9 kV	138/60/22.9/10 kV

Con respecto a las subestaciones eléctricas de San Gabán se tiene los siguientes datos:

Tabla 3-22: Características de las subestaciones eléctricas de la empresa San Gabán.

Elaboración propia. Fuente: Propuesta de tarifas y Compensaciones Período 2009 – 2013, Sistema Secundario de Transmisión de la Empresa San Gabán.

Característica	Subestación San Gabán II	Subestación Azángaro
Ubicación	San Gabán/Carabaya/Puno	Azángaro/Azángaro/Puno
Coordenadas	343374 m E y 8484376 m N	354268 m E y 8436646 m N
Altitud	1,450 msnm	4500 msnm
Tensión	138 kV	138/60/22.9/10 kV

Se asume la existencia de canalización subterránea entre la subestación Azángaro de San Gabán y la subestación Azángaro de REP, así como la propiedad por parte del operador de la planta externa entre el nodo Juliaca y el nodo Puno.

iii) Descripción del tendido ADSS

El método elegido es el de enrollado retractable/fijo. El cable se coloca desde el carrete yendo hacia arriba por el alambre, tirado por un bloque que solamente viaja hacia adelante y es mantenido en alto por los soportes de cables. El cable se corta de inmediato y se forman los bucles de expansión, la atadura de cables se realiza después de tender el cable. Se debe cuidar no superar la tensión de tiro máxima permisible (1800 N) o el radio mínimo de curvatura especificada (340 mm). Esto con el fin de eliminar por completo la posibilidad que ocurran deformaciones durante la instalación del cable y reste vida útil al cable. Es necesario asegurarse que todos los cables de soporte de poste en las esquinas (riendas) y los extremos terminales se instalen y tensionen antes del tendido del cable, asegurarse de guardar las precauciones de seguridad (desconexión eléctrica, etc.), instalar el cable mensajero correctamente conexasión a tierra (solo para cables F.O. aéreos no autosoportados). Continuar el tendido identificando en cada poste con etiquetas de aviso de cable óptico y cuando sea preciso, las cajas de empalme se pueden montar en postes o en el cable mensajero. [ETP2009]

3.3.3 Cálculo del enlace de FO.

El cálculo de potencias se realiza entre nodos sucesivos tratándose como enlaces punto a punto a fin de determinar la viabilidad del enlace a partir del valor de margen obtenido según la siguiente relación:

$$P_T = P_S - S_R$$

Donde

- P_T : Pérdida total admitida
- P_S : Potencia de salida DWDM
- S_R : Sensibilidad de recepción DWDM

Tomando en cuenta que las interfaces de la tarjeta FIU acoplan una potencia óptica de 22.15 dBm (164 mW) y poseen una sensibilidad de recepción de -24 dBm, la pérdida total admitida en cada tramo es entonces:

$$48.15 \text{ dB} = (22.15 \text{ dBm}) - (-24 \text{ dBm})$$

Luego, es necesario considerar las pérdidas por conectores, empalmes ópticos, jumpers y la atenuación de la fibra LEAF.

En la sección 3.3.2 se determinó que el vano promedio entre torres es de 500 metros, dato que sirve para calcular el número de empalmes por tramo, para los cuales se debe considerar una atenuación de 0.1 dB. Por otro lado, las pérdidas por conectores y jumpers se asumen en 0.6 dB y 1.5 dB, respectivamente; y la atenuación de la fibra elegida es de 0.2 dB/Km.

Luego el margen se podrá calcular a partir de la siguiente relación:

$$\text{Margen}(dB) = P_T - P_C - P_E - P_J - \alpha \cdot L$$

Donde

P_T : Pérdida total admitida

P_C : Pérdida por conectores

P_E : Pérdida por empalmes

P_J : Pérdida en jumpers

α : Atenuación de la fibra (dB/Km)

L : Longitud del tramo

Con lo cual se obtienen los siguientes resultados para cada tramo del tendido:

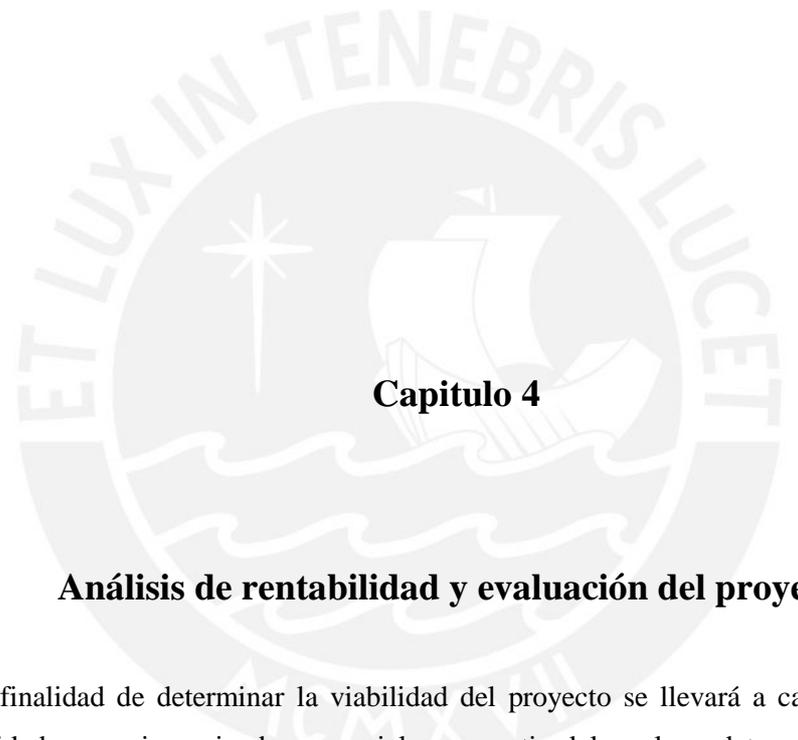
Tabla 3-23: Valores de Margen de enlace para cada tramo del tendido.

Elaboración propia.

Tramo	Distancia (Km)	Empalmes	Margen (dB)
San Gabán - Antauta	80	160	11,95
Antauta - Chichipani	40	80	27,95
Chichipani -Azángaro	40	80	27,95
Azángaro - Juliaca	78	156	12,75
Juliaca - Puno	72	144	15,15

Siguiendo la recomendación ITU (G.957) que sugiere un margen de entre 3 a 4.8 dB se confirma la viabilidad del enlace.





Capítulo 4

Análisis de rentabilidad y evaluación del proyecto

Con la finalidad de determinar la viabilidad del proyecto se llevará a cabo el análisis de rentabilidad a precios privados y sociales, a partir del cual se determinará el máximo subsidio que podrá ser otorgado por el estado, dado el bajo promedio de gasto en telecomunicaciones por los usuarios (ARPU) de alrededor de 8 soles por mes (US\$ 2.3). [FIT2010]

4.1 Costos de inversión (CAPEX)

Los costos de inversión son aquellas partidas destinadas a la adquisición de bienes de capital: activo fijo (infraestructura), intangibles y el capital de trabajo necesario para poner en ejecución el proyecto. [SNI2011]

Con respecto a los activos fijos se tiene la siguiente tabla donde se detalla el resumen de los equipos y materiales:

Tabla 4-1: Precios de equipos del proyecto.

Elaboración propia. Fuente: Cotización HUAWEI.

Detalle	Precio (\$)	Precio (S/.)	Cantidad	Total
Optix OSN 6800 (*)	652.511,2	1.637.803,0	6	9.826.817,9
Optix OSN 7500 (*)	260.911,2	654.887,0	6	3.929.321,9
ODF	1.226,9	3.153,1	15	47.295,8
Cable de fibra óptica 96F SM ADSS	2,4	6,1	78.000	473.085,6

(*) Incluye tarjetas y materiales

Con respecto al capital de trabajo, en la siguiente tabla se presenta el resumen de las etapas de instalación:

Tabla 4-2: Costos de mano de obra del proyecto.

Elaboración propia. Fuente: Cotización CICSA.

Detalle	Costo (\$)	Costo (S/.)	Cantidad	Total
Instalación y energizado de gabinete (*)	553,3	1.421,9	15	21.327,8
Instalación de equipos de más de 4 UR (*)	308,1	791,8	20	15.835,2
Tendido aéreo (*)	3,0	7,7	78.000	601.380,0
Empalme de FO SM por fusión (**)	16,5	42,5	50	2.124,2
Manipulación de bandejas en nodo o POP	18,7	48,1	120	5.776,6
Instalación de acometida en nodo o POP (*)	48,5	124,5	12	1.494,6
Medición de atenuación media	9,5	24,4	200	4.883,0
Ingeniería de proyecto	9.729,0	25.003,5	1	25.003,5
Elaboración de Expedientes y Gestión de Permisos	115,4	296,5	1	296,5

(*) Incluye costo de materiales

(**) Costo por hilo de fibra

De esta forma se tiene el costo total de inversión:

Tabla 4-3: Costo total de inversión del proyecto.

Elaboración propia.

Tipo de costo	Costo (S/.)
Equipamiento	14.276.521,3
Mano de obra	678.121,3
Costo total inversión	14.954.642,6

4.2 Gastos de operación y mantenimiento (OPEX)

Los costos operativos representan los egresos corrientes del proyecto como pago de planillas, mantenimientos, repuestos, entre otros.

Según datos de FITEL, se considera un 5% de la inversión como gastos de O&M, mientras que los gastos administrativos representan el 8% de la inversión. Con respecto a los tributos,

estos representan el 0.5%, 0.5% y 1% de los ingresos brutos, destinados a OSIPTEL, MTC y FITEL, respectivamente. [SNI2011]

4.3 Flujo de caja a precios privados

Con los costos de CAPEX y OPEX obtenidos se construye el flujo de caja a precios privados asumiendo una rentabilidad del 25% sobre los ingresos netos (dato de FITEL para rentabilidad de los operadores en proyectos de banda ancha) y una tasa de descuento privada de 15.84% anual calculada a partir de la metodología del costo de capital medio ponderado (WACC). [SNI2011]

Asumiendo en primer lugar los ingresos en cero se obtiene:

Tabla 4-4: Flujo de caja a precios privados sin ingresos.

Elaboración propia.

Parámetro	Valor nominal
O&M	5,0%
Gastos administrativos	8,0%
Tributos	2,0%
Rentabilidad	25,0%
Valor del dinero	15,8%
Ingresos	0
Updates	20,0%

Año	2011	2012	2013	2014	2015
INVERSION	14.954.643				2.990.929
O&M		747.732	747.732	747.732	747.732
GASTOS ADM.		1.196.371	1.196.371	1.196.371	1.196.371
TRIBUTOS		0	0	0	0
RENTABILIDAD		0	0	0	0
INGRESOS		0	0	0	0
FCF	-14.954.643	-1.944.104	-1.944.104	-1.944.104	-4.935.032

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021
INVERSION				2.990.929		
O&M	747.732	747.732	747.732	747.732	747.732	747.732
GASTOS ADM.	1.196.371	1.196.371	1.196.371	1.196.371	1.196.371	1.196.371
TRIBUTOS	0	0	0	0	0	0
RENTABILIDAD	0	0	0	0	0	0
INGRESOS	0	0	0	0	0	0
FCF	-1.944.104	-1.944.104	-1.944.104	-4.935.032	-1.944.104	-1.944.104

VAN	-26.990.629
------------	--------------------

El valor del VAN privado obtenido es el máximo subsidio que se podrá entregar al operador para el desarrollo del proyecto. [SNI2011]

Con la finalidad de justificar dicho subsidio, se realiza la comparación entre el costo promedio mensual de navegación por Mbps en el mercado y el costo promedio mensual por Mbps de la red de transporte del proyecto. Para ello se ajusta el valor de los ingresos de tal forma que se obtenga un VAN igual a cero (tasa de descuento igual a la TIR), situación equivalente a la entrega del subsidio calculado:

Tabla 4-5: Flujo de caja a precios privados en punto de equilibrio.

Elaboración propia.

Parámetro	Valor nominal
O&M	5,0%
Gastos administrativos	8,0%
Tributos	2,0%
Rentabilidad	25,0%
Valor del dinero	15,8%
Ingresos	7.604.332
Updates	20,0%

Año	2011	2012	2013	2014	2015
Mbps		12.230	14.900	17.642	20.484
INVERSION	14.954.643				2.990.929
O&M		747.732	747.732	747.732	747.732
GASTOS ADM.		1.196.371	1.196.371	1.196.371	1.196.371
TRIBUTOS		152.087	152.087	152.087	152.087
RENTABILIDAD		1.901.083	1.901.083	1.901.083	1.901.083
INGRESOS		7.604.332	7.604.332	7.604.332	7.604.332
FCF	-14.954.643	3.607.059	3.607.059	3.607.059	616.130
TARIFA MENSUAL PROMEDIO POR MBPS		51,82	42,53	35,92	30,94

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Mbps	23.463	26.636	30.078	33.896	38.239	43.316
INVERSION				2.990.929		
O&M	747.732	747.732	747.732	747.732	747.732	747.732
GASTOS ADM.	1.196.371	1.196.371	1.196.371	1.196.371	1.196.371	1.196.371
TRIBUTOS	152.087	152.087	152.087	152.087	152.087	152.087
RENTABILIDAD	1.901.083	1.901.083	1.901.083	1.901.083	1.901.083	1.901.083
INGRESOS	7.604.332	7.604.332	7.604.332	7.604.332	7.604.332	7.604.332
FCF	3.607.059	3.607.059	3.607.059	616.130	3.607.059	3.607.059

TARIFA MENSUAL PROMEDIO POR MBPS	27,01	23,79	21,07	18,70	16,57	14,63
----------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

VAN	0
-----	---

Tabla 4-6: Tarifas de navegación de operadores al año 2012.

Elaboración propia.

Fuente: (1) Claro Perú. "Personas, empresas, corporaciones". (2) Movistar Perú. "Productos".

Operador	Servicio	Velocidad*	Tarifa mensual
Movistar	Internet Fijo	2 Mbps	S/. 227.08
Movistar	Internet Fijo	4 Mbps	S/. 415.48
Movistar	Internet Móvil (Capacidad 3Gb)	3 Mbps	S/.30
Movistar	Internet Móvil (Capacidad 5Gb)	3 Mbps	S/.50
Claro	Internet Fijo	2 Mbps	S/. 115.00
Claro	Internet Fijo	10 Mbps	S/. 330.00

*Se considera overbooking 1:10

A lo largo del desarrollo del proyecto se observa un costo promedio por Mbps (sin overbooking) de S/. 28.30. Realizando la comparación con las tarifas de mercado de los operadores se observa que estas últimas son mayores en el caso de internet fijo y de la misma escala que las de internet móvil (capacidad limitada), con lo cual se justifica el subsidio calculado.

4.4 Flujo de caja a precios sociales

Para la evaluación económica a precios sociales se construye el flujo de beneficios y costos del proyecto. El flujo de beneficios incluye los ahorros en tiempo, transporte, excedente del consumidor y otros que pudieran cuantificarse y sustentarse.

Para el cálculo de los ahorros en tiempo se distingue entre adultos y menores de edad, se considera que el valor del tiempo para propósitos no laborales es de S/. 0,996 por hora para adultos y S/. 0,498 por hora para menores de acuerdo a las directivas de la DGPM del MEF. Asimismo se consideran los ahorros en tiempo de las autoridades de los poblados (servicios prioritarios) a S/. 3.32 por hora. Para efectos del cálculo de asume la media aritmética del valor del tiempo para adultos y menores de edad (S/. 0,747) y un ahorro diario por habitante de 1,5 horas.

Los costos del proyecto se componen de los costos y gastos operativos (OPEX) y las inversiones y reinversiones en activo fijo (CAPEX), a los cuales se debe aplicar los factores de corrección 0,79 y 0,75 respectivamente a fin de reflejar el carácter social de los mismos.

Tabla 4-7: Flujo de caja a precios sociales.

Elaboración propia.

Parámetro	Valor nominal
O&M	5,0%
Gastos administrativos	8,0%
Tributos	2,0%
Rentabilidad	11,0%
Valor del dinero	11,0%
Updates	20,0%
Factor corrección CAPEX	75,0%
Factor corrección OPEX	79,0%
Horas de ahorro diarias	1,50
Ahorro por hora (S/.)	0,747

Año	2011	2012	2013	2014	2015
INVERSION	11.215.982				1.682.397
O&M		443.031	443.031	443.031	443.031
GASTOS ADM.		897.279	897.279	897.279	897.279
TRIBUTOS		503.948	508.995	514.091	519.236
RENTABILIDAD		2.771.715	2.799.473	2.827.501	2.855.798
POBLACION		61.610	62.227	62.850	63.479
INGRESOS		25.197.412	25.449.754	25.704.550	25.961.800
FCF	-11.215.982	20.581.438	20.800.976	21.022.649	19.564.059

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021
INVERSION				1.682.397		
O&M	443.031	443.031	443.031	443.031	443.031	443.031
GASTOS ADM.	897.279	897.279	897.279	897.279	897.279	897.279
TRIBUTOS	524.430	529.681	534.982	540.339	545.746	551.210
RENTABILIDAD	2.884.365	2.913.248	2.942.400	2.971.867	3.001.604	3.031.656
POBLACION	64.114	64.756	65.404	66.059	66.720	67.388
INGRESOS	26.221.504	26.484.071	26.749.091	27.016.975	27.287.312	27.560.513
FCF	21.472.399	21.700.832	21.931.400	20.482.061	22.399.652	22.637.336

VAN	112.992.648
TIR	181,1%

4.5 Estructura de financiamiento

En el Perú las APPs (Asociaciones público privadas) son modalidades de inversión que permiten ejecutar proyectos de infraestructura con alta rentabilidad social, pero cuya evaluación financiera no permite un financiamiento totalmente privado. En estos casos el inversionista privado es el que se encarga de realizar la obra y de conseguir el financiamiento, teniendo en cuenta que existe el compromiso del Estado de pagos futuros,

los mismos que hasta la fecha se componen de pagos anuales por obras y pagos anuales por mantenimiento y operación. [SUN2012]

El financiamiento del proyecto se dará mediante este esquema, teniendo al Fondo de Inversión en Telecomunicaciones – FITEL, adscrito al sector Transportes y Comunicaciones, como concedente de un valor máximo de financiamiento de S/. 26.990.629.



Conclusiones

- Los requerimientos técnicos del proyecto presentados en el capítulo 2 para las empresas de electrificación San Gabán y REP, así como para las 281 localidades beneficiarias se cumplen sobre la cantidad limitada de cuatro (04) hilos de fibra óptica gracias a la tecnología DWDM implementada sobre infraestructura de alta tensión en las condiciones ambientales y geográficas de la región Puno.
- La capacidad de la red de transporte requerida para el año 2021 (fin del horizonte de evaluación) por la población objetivo del proyecto es de 43,316 Gbps, aproximadamente cuatro (04) veces la capacidad requerida en el año 2012 con 12,230 Gbps.
- Los criterios de selección de equipamiento y fibra óptica utilizados en las secciones 3.2.2 y 3.1.1 permiten un margen mínimo de 11,95 dB sobre el tramo de mayor distancia (7,15 dB sobre la norma), lo cual permite ahorros en CAPEX debido a que no se requiere la instalación de equipos en configuración OLA (Optical Line Amplifier).
- Se presenta una nueva metodología de cálculo del máximo subsidio para proyectos de inversión pública subyacente al cálculo del costo mensual por Mbps de la red de transporte.
- En el análisis económico a precios sociales se observa que la red es rentable con una VAN social positivo de S/. 112.992.648 y una TIR de 181,1%; lo cual a su vez justifica el máximo subsidio calculado de S/. 26.990.629 que debe pagar el estado.

Recomendaciones

- En el cálculo del beneficio social no se ha considerado el ahorro en tiempo de las autoridades de los poblados de S/. 3.32 por hora, debido a que no se conoce la cantidad de personal ni ciclos de trabajo. Tampoco se incluyen los cálculos en ahorro por tiempo de transporte. Se recomienda recabar dicha información mediante visitas de campo para afinar el cálculo del VAN social.
- En los cálculos económicos se han usado precios referenciales de proveedores y contratistas no incluidos en la tesis debido a la confidencialidad de los mismos, por lo cual se recomienda solicitar las cotizaciones en detalle y la aplicación de descuentos.
- Para efectos de simplificar los cálculos de proyección de población y ancho de banda se ha considerado un crecimiento lineal en el tiempo, el cual, si bien refleja la situación promedio y final de la demanda, no lo hace de forma diferencial, para lo cual se recomienda el uso de herramientas estadísticas más sofisticadas.

Bibliografía

- [PBA2011] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. “Plan nacional para el desarrollo de la Banda Ancha en el Perú”.
Consulta 28 de noviembre de 2011.
URL:http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto_banda_ancha/index.html
- [CSC2001] Cisco Systems, Inc. “Introducción a la tecnología DWDM”. San José, CA, US.
Consulta: 02 de diciembre de 2011.
URL:http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps2011/c2001/ccmigration_09186a00802342cf.pdf
- [FUJ2002] Fujitsu Network Communications. “Prerrequisitos de entrenamiento DWDM”
Consulta: 04 de diciembre de 2012
URL:<http://www.fujitsu.com/downloads/TEL/fnc/pdfservices/dwdm-prerequisite.pdf>
- [TEK2012] Tektronix. “Cartilla del estándar de telecomunicaciones SDH”.
Consulta: 2 de diciembre de 2011.
URL:http://www1.tek.com/Measurement/App_Notes/sdhprimer/
- [ACT2012] Acterna. “Guía de Bolsillo SDH”. Schultz, Stephan. Alemania.
Consulta: 05 de diciembre de 2011.
URL:http://infocom.uniroma1.it/alef/com_el/sdh.pdf
- [WMF2002] Artech House. “Fundamentos, componentes y aplicaciones DWDM”. Laude, Jean-Pierre. Londres.
Consulta: 07 de diciembre de 2011.
URL:<http://www.acad.bg/ebook/Networking/DWDM%20Fundamentals,%20Components,Applications.pdf>
- [MOT2012] Motorola, Inc. “WDM, CWDM, DWDM: Cartilla de segmentación – Maximizando la Capacidad de los ingresos”. Esse, Shawn M. Estados Unidos.
Consulta: 09 de diciembre de 2011.
URL:<http://www.motorola.com/staticfiles/Video-Solutions/ Documents/static%20files/WDM%20CWDM%20DWDM%20Segmentation%20Primer.pdf>

- [JDS2011] JDSU. “Guía de Bolsillo DWDM”. Brunn, Ines. Alemania.
Consulta: 12 de diciembre de 2011.
URL:http://www.tmgtestequipment.com.au/products/media/bkd0/guide/DWDM_Pocket_Guide.pdf
- [KSR1991] “Comunicaciones por Fibra Óptica”. Keiser, Gerd. US: McGraw-Hill International Editions.
- [COC2005] “Comunicaciones Ópticas: Conceptos esenciales y resolución de ejercicios”. España Boquera, María Carmen. España.
Consulta: 09 de diciembre de 2011.
URL:<http://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479786854.pdf>
- [CSC2002] Cisco Systems, Inc. “Diseño de redes DWDM y Soluciones de Ingeniería”. Ashwin Gumaste, Tony Antony. Cisco Press: US.
Consulta: 09 de diciembre de 2011.
URL:<http://akademik.del.ac.id/ebooks/Cisco1/Cisco.Press.DWDM.Network.Designs.and.Engineering.Solutions.e.pdf>
- [FIT2011] FITEL. Proyectos integrados: “Servicio de banda ancha rural Juliaca – San Gabán y “Servicio de banda ancha rural San Gabán – Puerto Maldonado”.
Consulta: 28 de noviembre de 2011.
URL:<http://www.fitel.gob.pe/pg/proyecto-fitel-9.php>
- [CSG2009] Pro inversión. “Proyecto de Contrato SAN GABAN – ADJUDICATARIO”.
Consulta: 3 de octubre de 2011.
URL:http://www.proinversion.gob.pe/RepositorioAPS/0/0/JER/SANGABAN_DOCS_CONTRATO/PY.%20CONTRATO%20SAN%20GABAN_ADJUDICATARIO.pdf
- [CRE2009] Pro inversión. “Proyecto de Contrato REP – ADJUDICATARIO”.
Consulta: 3 de noviembre de 2011.
URL:http://www.proinversion.gob.pe/RepositorioAPS/0/0/JER/SANGABAN_DOCS_CONTRATO/Contrato_ADJUDICATARIO_REPVersion_Final.pdf
- [PJP2011] Pro inversión. “Proyecto Juliaca – Puerto Maldonado. Especificaciones técnicas de las bases”.
Consulta: 28 de noviembre de 2011.
URL:http://www.proinversion.gob.pe/RepositorioAPS/0/0/JER/SANGABAN_DOCS_BASES2/PROY.%20JUL_PTO.%20MALD.%20%20ESPEC.%200TEC.%20DE%20LAS%20BASES.pdf

- [INE2011] Instituto nacional de estadística e informática. “Estimaciones de población por sexo según departamento, provincia y distrito, 2000 – 2015. Consulta: 30 de noviembre de 2011”.
URL:<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0842/index.htm>
- [INE2007] Instituto nacional de estadística e informática. “Indicadores Demográficos, Sociales y Económicos 2007”.
Consulta: 30 de octubre de 2011.
URL:<http://censos.inei.gob.pe/Censos2007/IndDem/?id=ResultadosCensales>
- [IDE2011] Pontificia Universidad Católica del Perú. “Derechos humanos en línea: Puno en cifras”.
Consulta: 31 de octubre de 2011.
URL:<http://idehpucp.pucp.edu.pe/boletin/?view=interna&cat=36&id=291>
- [INP2007] Instituto nacional de estadística e informática. “Perfil sociodemográfico del departamento de Puno”.
Consulta: 03 de noviembre de 2011.
URL:<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0838/libro27/index.htm>
- [TIC2007] Instituto nacional de estadística e informática. “Las tecnologías de Información y Comunicación en los hogares. Trimestre: Abril – Mayo – Junio 2011”.
Consulta: 13 de noviembre de 2011.
URL:http://economia.unmsm.edu.pe/Servicios/BEst/Datos/INEI_IT_26.9.11_TI.pdf
- [INT2011] Instituto nacional de estadística e informática. “Tasas de Crecimiento de la Población por Departamento”.
Consulta: 18 de setiembre de 2011
URL:<http://www1.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0005/CAP-52.htm>
- [INC2008] Instituto nacional de estadística e informática. “Características generales de la población y de las mujeres en edad fértil”.
Consulta: 19 de setiembre de 2011
URL: <http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/est/lib0236/cap02-01.HTM>

- [MTC2011] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. “Estadísticas de Servicios Públicos de Telecomunicaciones a nivel nacional”.
Consulta: 03 de octubre de 2011
URL:<http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/estadisticas/Servicios%20P%C3%BAblicos%20de%20Telecom%20%20I%20Trim.%202011.pdf>
- [MED2011] Ministerio de Educación. “Estadística de la Calidad Educativa”.
Consulta: 07 de noviembre de 2011
URL:<http://escale.minedu.gob.pe/web/inicio/padron-de-iiiee;jsessionid=dc0b6a19c47d335f3448c8e4900f>
- [MSA2011] Ministerio de Salud. “Sistema de información GeoReferenciada del MINSA”.
Consulta: 07 de noviembre de 2011
URL:<http://app3.minsa.gob.pe:8082/geominsa/?project=1>
- [MIN2011] Ministerio del Interior. “Comisarías PNP a nivel nacional”.
Consulta: 09 de noviembre de 2011
URL: <http://www.mininter.gob.pe/comisarias.php>
- [DOF2009] Osiptel. “Estadísticas: Investigaciones y Publicaciones. Informe N° 501-GPR/2009. Determinación de densidad óptima de facilidades: El caso de la telefonía de uso público (TUP)”.
URL:http://www.osiptel.gob.pe/WebSiteAjax/WebFormGeneral/Publicaciones/wfrm_Consulta_Informacion_publicaciones.aspx?CodInfo=0&CodiCat=3&CodiSubcat=547&TituloInformacion=Informes
- [OSI2012] OSIPTEL. “Indicadores Estadísticos Osiptel 2012”.
Consulta 18 de setiembre de 2012.
URL:http://www.osiptel.gob.pe/WebsiteAjax/WebFormgeneral/sector/wfrm_Consulta_Informacion_Estadisticas.aspx?CodInfo=13463&CodSubCat=864&TituloInformacion=Indicadores%20Estad%C3%ADsticos&DescripcionInformacion=
- [CLA2012] Claro Perú. “Personas, empresas, corporaciones”.
Consulta 14 de octubre de 2012
URL: <http://www.claro.com.pe/portal/pe/>
- [TDP2012] Movistar Perú. “Productos”.
Consulta: 14 de octubre de 2012.
URL:<http://www.movistar.com.pe/>

- [3GP2003] 3GPP. “Release 5: Resumen de prestaciones”.
Consulta: 18 de setiembre de 2012.
URL: http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_20/Docs/PDF/RP-030375.pdf
- [NID2012] NetIndex. “Índice de descarga en los hogares”.
Consulta 12 de octubre de 2012
URL: <http://www.netindex.com/download/>
- [MPR2009] Alcatel-Lucent. “9500 Microwave Packet Radio”.
Consulta: 10 de diciembre de 2012.
URL: <http://www.lightriver.com/uploadfiles/pdf/ALU/9500-MPR/9500-MPR.pdf>
- [RTN2011] Huawei Carrier Network. “RTN 900”.
Consulta: 10 de diciembre de 2012.
URL: <http://www.huawei.com/es/products/transportnetwork/microwave/rtn900/index.htm>
- [COR2012] Corning. “Fibra Óptica”.
Consulta: 08 de noviembre de 2012.
URL: <http://www.corning.com/opticalfiber/index.aspx>
- [ETP2009] “Normas de construcción e instalación de fibra óptica”. Empresa de telecomunicaciones de Pereira.
Consulta: 13 de noviembre de 2012.
URL: www.etp.com.co/joo/servicio/media/Normasfibra.pdf
- [HUA2011] Huawei Technologies. “Optix OSN 6800 & OSN 7500: Descripción del producto”.
Consulta: 10 de septiembre de 2012.
URL: <http://www.huawei.com/en/products/transport-network/wdm-otn/index.htm>
- [CSC2007] Cisco Systems, Inc. “Fundamentos de MPLS”. Luc De Ghein, CCIE. Cisco Press: US.
- [FIT2010] FITEL. “Resultados de Estudio sobre Telecomunicaciones Rurales en el Perú”.
Consulta: 07 de diciembre de 2012.
URL: <http://www.fitel.gob.pe/archivos/FI50a1589710b98.pdf>

[SNI2011] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Guía de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión en Telecomunicaciones Rurales a nivel de Perfil.

Consulta: 01 de diciembre de 2012.

URL: <http://www.fitel.gob.pe/archivos/FI507c68af60f5b.pdf>

[SUN2012] SUNAT. Inversión a través de asociaciones público privadas.

Consulta: 05 de diciembre de 2012

URL: http://inversionistaextranjero.sunat.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=10%3Ainversion-a-traves-de-asociaciones-publico-privadas&catid=3%3AAla-inversion-en-el-peru&Itemid=6&lang=es

