

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS  
Y FORMALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
ELECTRÓNICA**



**TRABAJO INFORME DE EXPERIENCIA LABORAL**  
**“IMPLEMENTACIÓN DE ENLACE DE FIBRA ÓPTICA**  
**AREQUIPA – CUSCO”**

**Presentado por el Bachiller:**  
**HELARD OSMAR FARFÁN TEJADA**

**Para optar el Título profesional de:**  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Asesor:** Ing. Diana Isabel Valdivieso Herrera

**AREQUIPA - PERÚ**  
**2017**

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se viene experimentando un acelerado avance tecnológico a nivel global en el campo de las telecomunicaciones, y en el Perú no se puede llegar a toda su población, debido a la falta de redes de transporte por lo cual Telefónica del Perú con el apoyo de Internexa (empresa líder en transporte de telecomunicaciones), realiza la expansión de la red de fibra óptica hacia el sur del país siendo Cusco la primera etapa de expansión, para posteriormente poder llegar a las otras ciudades de la sierra.

Este proyecto es fundamental, ya que permite a cientos de miles de familias de la sierra y la selva del Perú acceder a un servicio de Internet con las mismas características que Lima y otras capitales. Además de acceder al internet de alta velocidad, los usuarios experimentarán una mejora en el conjunto de los servicios, ya que el proyecto también contempla elevar la capacidad y la cobertura de los servicios de telefonía fija y servicios de telefonía móvil dentro de las ciudades beneficiadas.

El proyecto, beneficia a más de 2,4 millones de pobladores de la sierra del país, Telefónica del Perú expresa una determinación de masificar el acceso al internet de banda ancha en el Perú y reafirma su compromiso con la inclusión digital de cada vez más peruanos.

Este proyecto consiste en interconectar Arequipa y Cusco, para lo cual se realizó en dos tramos, el primer tramo fue Arequipa - Tintaya y el segundo tramos fue de Tintaya - Cusco.

El objetivo principal de este proyecto fue implementar una red de fibra óptica de alta capacidad, entre las ciudades de Arequipa y Cusco.

## RESUMEN

Este trabajo informe consiste en la implementación del enlace de fibra óptica Arequipa – Cusco, **Proyecto “Internet de Banda Ancha al Cusco” Arequipa - Tintaya – Cusco**, el cual conectará a 8 departamentos de la sierra y selva del Perú utilizando una red de fibra óptica.

El proyecto beneficia a más de 2,4 millones de pobladores de la sierra del país.

El primer capítulo, describe la deficiencia de las redes de transporte que presenta el Perú.

El segundo capítulo, describe la empresa.

El tercer capítulo, realiza el análisis de la demanda de ancho de banda en Latinoamérica y del Perú.

El cuarto capítulo, explica los conceptos y el uso de la tecnología DWDM.

El quinto capítulo, realizará el análisis del enlace implementado.

El sexto capítulo, describe la implementación del proyecto, la descripción de los equipos DWDM, configuración y las pruebas correspondientes de los equipos y tarjetas.

El séptimo capítulo, otros proyectos implementados.

Conclusiones.

Bibliografía.

**Palabras clave:** Fibra Óptica, Banda Ancha.

## ABSTRACT

In this paper, the report consists of the implementation of the Arequipa - Cusco optic fiber link, the "Broadband Internet to Cusco" Arequipa - Tintaya - Cusco project, which will connect 8 departments of the highlands and jungle of Peru using an optic fiber network.

The project benefits more than 2.4 million people in the country's highlands.

The first chapter describes the deficiency of Peru's transport networks.

The second chapter, the company's description.

The third chapter, we analyze the demand for bandwidth in Latin America and Peru.

The fourth chapter explains the concepts and use of DWDM technology.

The fifth chapter, the realization of the analysis of the implemented link.

The sixth chapter, describes the project implementation, description of DWDM equipment, configuration and corresponding tests of equipment and cards.

In the seventh chapter, other projects implemented.

Conclusions.

Bibliography.

**Key Words:** Fiber optical, Broadband.

## ÍNDICE GENERAL

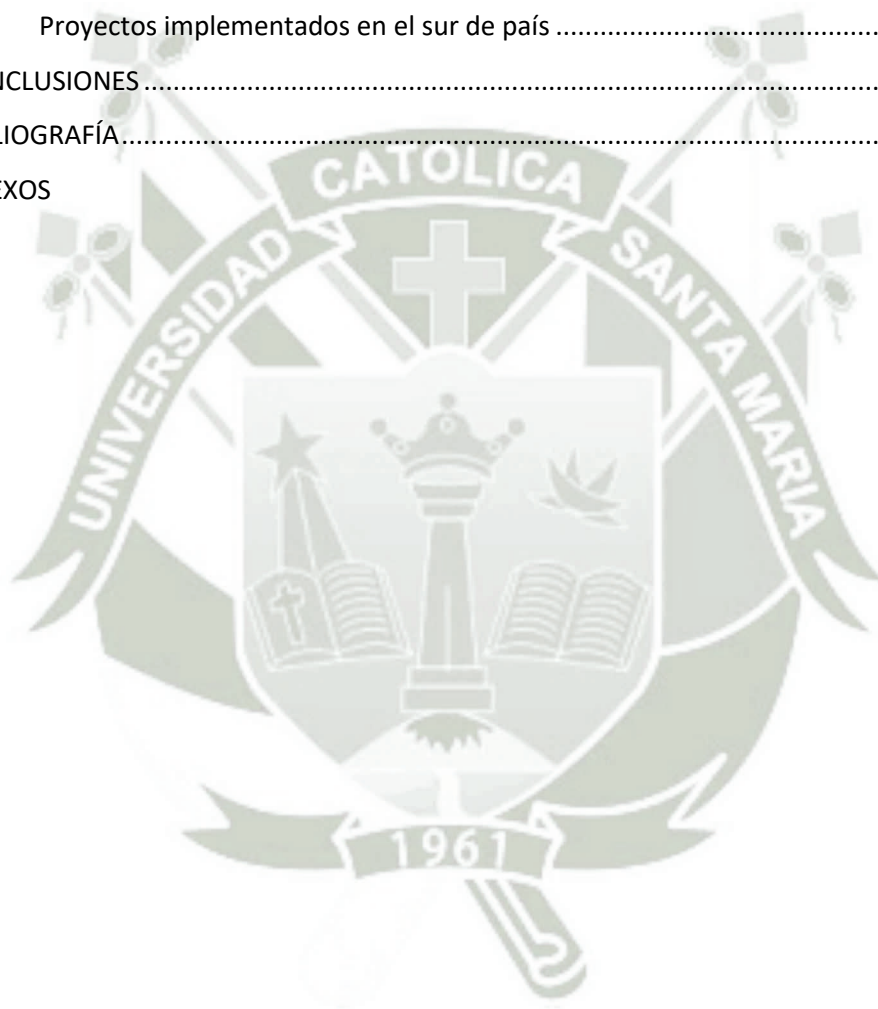
INTRODUCCIÓN.....	1
RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	14
CAPÍTULO 1 - PROBLEMÁTICA.....	15
1.1    Análisis del Problema.....	15
1.2    Planteamiento.....	19
1.2.1    Regiones cubiertas por el Proyecto.....	19
1.3    Objetivos.....	21
1.3.1    Objetivo Principal.....	21
1.3.2    Objetivos Secundarios.....	21
CAPÍTULO 2 - DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	22
2.1    Grupo Graña y Montero.....	22
2.2    Estilo Graña y Montero.....	22
2.3    CAM (Compañía Americana de Multiservicios).....	23
2.3.1    CAM (Compañía Americana de Multiservicios) - Estructura Organizacional.....	24
2.3.2    Descripción del puesto de trabajo.....	25
CAPÍTULO 3 - ANCHO DE BANDA.....	26
3.1    Demanda de Ancho de Banda.....	26
3.2    Situación actual de Latinoamérica.....	28
3.3    Situación del Perú, evaluación de la demanda de Ancho de Banda.....	31
3.3.1    Servicio de Telefonía Fija.....	32
3.3.2    Servicio de Telefonía Móvil.....	33
3.3.3    Servicio de Radiodifusión por cable (televisión de paga).....	34
3.3.4    Servicio de Internet Fijo.....	34
3.3.5    Servicio de Internet Móvil.....	35
3.3.6    Acceso de Banda Ancha Fija.....	36
3.3.7    Acceso a la Banda Ancha por departamentos del Perú.....	37

CAPÍTULO 4 – MARCO TEÓRICO.....	40
4.1 Multiplexación por división de longitud de Onda (WDM) .....	40
4.1.1 Multiplexación por división en longitud de onda ligera (CWDM).....	43
4.1.2 Multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM).....	44
4.1.2.1 Características de la tecnología DWDM.....	45
4.1.3 Estructura de un Sistema WDM.....	46
4.2 Componentes de una red WDM .....	47
4.2.1 Fibra Óptica .....	48
4.2.2 Fuentes Ópticas.....	48
4.2.3 Receptor Óptico .....	49
4.2.4 Amplificador Óptico .....	50
4.2.4.1 Amplificador de fibra dopada con Erblio (Erbium doped Fiber Amplifier- EDFA) .....	50
4.2.4.2 Amplificador de fibra Raman (Raman Fiber Amplifier - RFA) .....	51
4.2.5 Multiplexor (MUX) y Demultiplexor Óptico (DMUX) .....	53
4.2.6 Tecnologías de supervisión .....	54
4.2.6.1 Canal de supervisión óptico (Optical Supervisory Channel Technology - OSC) .....	54
4.2.6.2 Canal de supervisión eléctrico (Electrical Supervisory Channel Technology – ESC) .	55
4.3 Red de Transporte Óptico (Optical Transport Network - OTN) .....	55
4.3.1 Encapsulamiento OTN.....	56
4.3.2 Interfaz y velocidad (G.709) .....	58
4.4 Características de Transmisión de la Fibra Óptica .....	59
4.4.1 Atenuación .....	60
4.4.2 Dispersión.....	62
4.4.2.1 Dispersión Cromática .....	62
4.4.2.2 Dispersión por Modo de Polarización (Polarization Mode Dispersión - PMD) .....	63
CAPÍTULO 5 - INGENIERA DEL PROYECTO .....	65
5.1 Proveedor de equipos DWDM .....	65
5.2 Planteamiento.....	68
5.3 Características Técnicas de la Fibra.....	68
5.4 Diseño de la red DWDM.....	69

5.4.1	Atenuación del medio de transmisión .....	69
5.4.2	Cálculo de la Dispersión Cromática.....	71
5.4.3	Cálculo de Potencias del enlace.....	74
5.4.3.1	Cálculo de Potencias del enlace Arequipa – Tintaya.....	75
5.4.3.2	Cálculo de Potencias del enlace Tintaya – Cusco.....	77
5.4.4	Cálculos de Dispersión por Modo de Polarización (PMD).....	79
5.4.5	Cálculo del OSNR (Relación señal / ruido óptico) .....	82
CAPÍTULO 6 - IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO .....		85
6.1	Alcance.....	85
6.1.1	Descripción General.....	85
6.1.1.1	Site Survey Report (Reporte de inspección del lugar). .....	87
6.1.2	Hardware:.....	89
6.1.2.1	Subrack OSN6800:.....	91
6.1.2.1.1	Unidad de Interfaz de Energía (PIU).....	92
6.1.2.1.2	Interfaz de Comunicación de datos .....	93
6.1.2.1.2.1	Interfaces en el área de Interfaz (EFI):.....	94
6.1.2.1.2.2	Interfaces en la tarjeta auxiliar (AUX) .....	95
6.1.2.2	Módulos de Dispersión Cromática (DCM).....	96
6.1.2.3	CRPC (Amplificador de bomba Raman para banda C en forma de caja) .....	96
6.2	Elementos de una RED DWDM .....	97
6.2.1	Optical Terminal Multiplexer (OTM).....	97
6.2.2	Regenerator (REG) .....	97
6.2.3	Unidades a implementar (tarjetas).....	98
6.2.3.1	Optical Transponder Unit (OTU - Unidad De Transporte Óptico).....	98
6.2.3.2	Multiplexor y Demultiplexor Óptico .....	99
6.2.3.2.1	Multiplexor (M40V – Tarjeta de multiplexación de 40 canales con VOA).....	99
6.2.3.2.2	Demultiplexor (D40 – Tarjeta de demultiplexación de 40 canales).....	100
6.2.3.2.3	Interleaver Board (ITL – Tarjeta de entrelazado).....	101
6.2.3.2.4	Fiber Interface Unit (FIU - Unidad de interfaz de fibra) .....	101
6.2.3.3	Amplificadores Ópticos.....	102

6.2.3.3.1	Amplificadores tipo EDFA (Amplificador de fibra dopada con erbio).....	102
6.2.3.3.1.1	Amplificadores OAU (Unidad de amplificador óptico).....	102
6.2.3.3.1.2	Amplificadores OBU (Unidad óptica de refuerzo).....	103
6.2.3.3.1.3	Amplificadores HBA (Tarjeta amplificadora de alta potencia).....	104
6.2.3.3.2	Amplificador RAMAN (CRPC - Amplificador de bomba Raman para banda C en forma de caja) .....	104
6.2.3.4	Analizador de espectros (MCA).....	105
6.2.3.5	Módulos de Dispersión Cromática (DCM).....	106
6.3	Procedimiento de Instalación .....	107
6.3.1	Instalación de Hardware OSN6800 .....	107
6.3.2	Instalación de fibra óptica.....	108
6.3.2.1	Conexión de fibra óptica .....	109
6.3.2.1.1	Conexión en módulo CRPC (RAMAN).....	109
6.3.2.1.2	Conexión en ODF.....	112
6.4	Proceso de Ingeniería.....	114
6.4.1	Configuración inicial del equipo OSN6800.....	114
6.4.2	Configuración Base del equipo OSN6800.....	116
6.4.3	Gestión local del equipo OSN6800.....	117
6.4.4	Software Commissioning (Puesta en marcha del software) .....	119
6.4.4.1	Pruebas de tarjetas OTU (Unidad De Transporte Óptico).....	121
6.4.4.1.1	Potencia óptica de transmisión.....	121
6.4.4.1.2	Longitud de onda central de transmisión .....	122
6.4.4.1.3	Sensitividad mínima de recepción .....	122
6.4.4.2	Pruebas de Amplificadores .....	123
6.4.4.3	Pruebas de Multiplexor y Demultiplexor .....	124
6.4.4.3.1	Pruebas de Multiplexor M40V (Tarjeta de multiplexación de 40 canales con VOA) 124	
6.4.4.3.2	Pruebas de Demultiplexor D40 (Tarjeta de demultiplexación de 40 canales)....	127
6.4.4.3.3	Prueba de tarjeta FIU (Unidad de interfaz de fibra) .....	128
6.4.4.3.4	Prueba de tarjeta ITL (Tarjeta de entrelazado) .....	128
6.4.4.4	Pruebas de tarjeta MCA (Analizador de espectros) .....	129

6.4.4.5 Pruebas de módulos DCM (Módulos de Dispersión Cromática).....	130
6.4.5 Integración de enlace Arequipa – Cusco.....	131
CAPÍTULO 7 - OTROS PROYECTOS DE FIBRA ÓPTICA .....	136
7.1 Proyecto REDESUR .....	136
7.2 Proyecto de servicio de Banda Ancha Rural Juliaca - Puerto Maldonado .....	137
7.3 Proyecto “DUKE-AGU-PUCALLPARE” .....	137
7.4 Proyecto AQP Sur (Valle el Tambo).....	137
7.5 Proyectos implementados en el sur de país .....	139
CONCLUSIONES .....	140
BIBLIOGRAFÍA.....	141
ANEXOS	



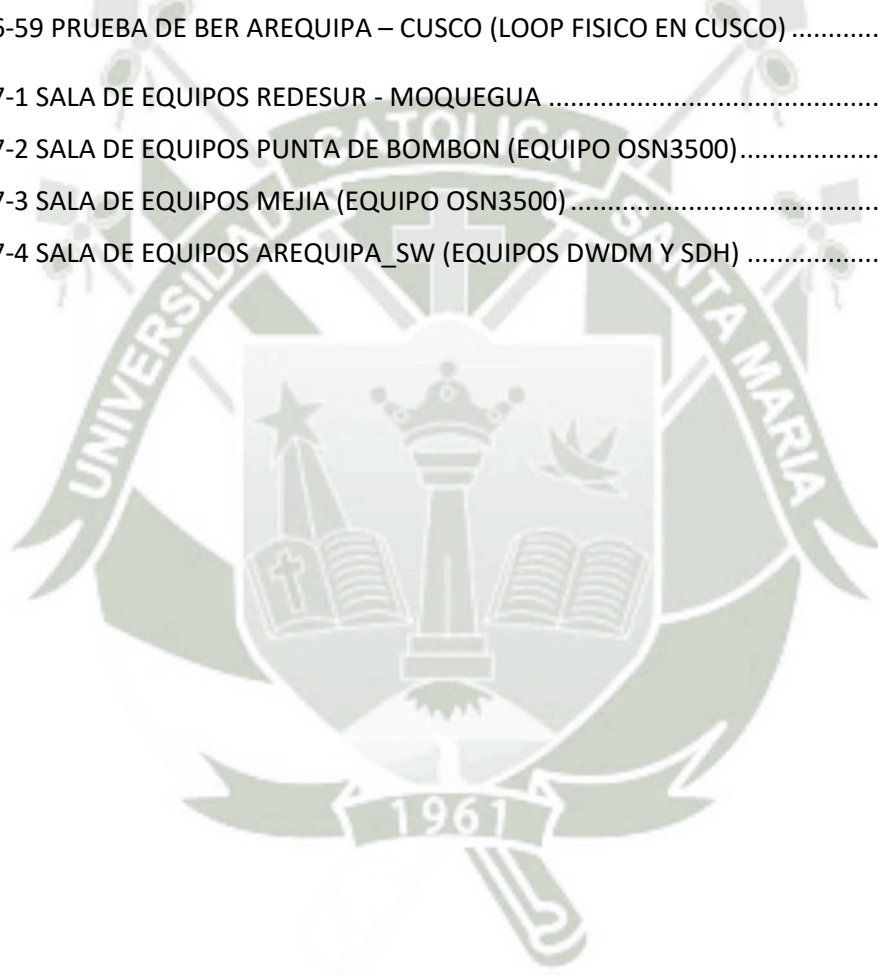
## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1 TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA A NIVEL NACIONAL.....	16
FIGURA 1-2 TRAZADO DE LA RED DORSAL DE FIBRA ÓPTICA A NIVEL NACIONAL .....	18
FIGURA 1-3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS CIUDADES BENEFICIADAS .....	20
FIGURA 2-1 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL - CAM .....	24
FIGURA 3-1 EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD EN TELEFONÍA CELULAR .....	26
FIGURA 3-2 CRECIMIENTO DEL TRÁFICO IP GLOBAL DE DATA CENTERS.....	27
FIGURA 3-3 CRECIMIENTO DE TRÁFICO IP EN LOS DATA CENTER: 2011-2016.....	27
FIGURA 3-4 PORCENTAJE DE CONEXIONES DE BANDA ANCHA AGRUPADAS POR RANGOS DE VELOCIDAD.....	29
FIGURA 3-5 PENETRACIÓN DE LA BANDA ANCHA FIJA Y MÓVIL EN 2011 (EN PORCENTAJES) .....	30
FIGURA 3-6 HOGARES CON ACCESO A INTERNET EN ÁREAS URBANA, RURAL Y A NIVEL NACIONAL (EN PORCENTAJES).....	31
FIGURA 3-7 DENSIDAD DE LÍNEAS EN SERVICIO DE TELEFONÍA FIJA 1994-2015 (TELEFONÍA FIJA DE ABONADO EN SERVICIO POR CADA 100 HABITANTES Y TELEFONÍA PÚBLICA POR CADA 1000 HABITANTES).....	32
FIGURA 3-8 DENSIDAD DE LÍNEAS EN SERVICIO DE TELEFONÍA MÓVIL 1994-2015 (TELEFONÍA MÓVIL EN SERVICIO POR CADA 100 HABITANTES).....	33
FIGURA 3-9 DENSIDAD DE SUSCRIPTORES EN EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR CABLE 1994-2015 (SUSCRIPTORES DE RADIODIFUSIÓN POR CABLE POR CADA 100 HABITANTES) .....	34
FIGURA 3-10 DENSIDAD DE SUSCRIPTORES EN EL SERVICIO DE INTERNET FIJO 2002-2015 (SUSCRIPTORES DE INTERNET FIJO POR CADA 100 HABITANTES).....	35
FIGURA 3-11 DENSIDAD DE SUSCRIPTORES EN EL SERVICIO DE INTERNET MÓVIL 2002-2015 (SUSCRIPTORES DE INTERNET FIJO POR CADA 100 HABITANTES).....	36
FIGURA 3-12 EVOLUCIÓN DEL ACCESO A INTERNET (CONEXIONES FIJAS).....	37
FIGURA 3-13 PENETRACIÓN DE BANDA ANCHA POR DEPARTAMENTO.....	38
FIGURA 3-14 PERÚ: PORCENTAJE DE POBLACIÓN RURAL SIN ACCESO A INTERNET .....	39
FIGURA 4-1 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA (WDM) .....	41
FIGURA 4-2 CWDM vs DWDM.....	42
FIGURA 4-3 ESTRUCTURA DE UN SISTEMA WDM.....	47
FIGURA 4-4 POTENCIA DE BOMBEO Y ZONA DE GANANCIA DE UN AMPLIFICADOR RAMAN (RFA) 52	
FIGURA 4-5 APLICACIÓN DE LOS AMPLIFICADORES ÓPTICOS (OA).....	53

FIGURA 4-6 MULTIPLEXOR ÓPTICO (MUX) Y DEMULTIPLEXOR ÓPTICO (DMUX) .....	53
FIGURA 4-7 OPTICAL SUPERVISORY CHANNEL TECHNOLOGY (OSC) .....	55
FIGURA 4-8 ELECTRICAL SUPERVISORY CHANNEL TECHNOLOGY (ESC) .....	55
FIGURA 4-9 RED DE TRANSPORTE ÓPTICO (OTN) .....	57
FIGURA 4-10 ENCAPSULAMIENTO OTN .....	58
FIGURA 4-11 BANDAS DE TRABAJO EN LA FIBRA ÓPTICA .....	61
FIGURA 4-12 DISPERSIÓN CROMÁTICA.....	63
FIGURA 4-13 DISPERSIÓN POR MODO DE POLARIZACIÓN (PMD) .....	64
FIGURA 5-1 LÍDERES EN EL MERCADO DEL HARDWARE ÓPTICO.....	66
FIGURA 5-2 SISTEMA DE DISPERSIÓN ENLACE AREQUIPA – CUSCO.....	73
FIGURA 5-3 ENLACE AREQUIPA – TINTAYA.....	76
FIGURA 5-4 ENLACE TINTAYA – CUSCO.....	78
FIGURA 5-5 COMPORTAMIENTO DEL OSNR .....	83
FIGURA 6-1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ENLACE AREQUIPA – CUSCO .....	86
FIGURA 6-2 LAYOUT (PLANO DE SALA DE EQUIPOS) .....	88
FIGURA 6-3 RACK – OptiX OSN6800.....	90
FIGURA 6-4 SUBRACK OSN6800.....	91
FIGURA 6-5 DISTRIBUCIÓN DE SLOTS DE SUBRACK OSN6800 .....	91
FIGURA 6-6 TARJETA PIU_SUBRACK OSN6800 .....	93
FIGURA 6-7 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN DE DATOS DE SUBRACK OSN6800 .....	93
FIGURA 6-8 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN EFI SUBRACK OSN6800 .....	94
FIGURA 6-9 INTERFACES DE TARJETA AUX SUBRACK OSN6800 .....	95
FIGURA 6-10 BANDEJA DE DCM.....	96
FIGURA 6-11 RAMAN (CRPC).....	96
FIGURA 6-12 OPTICAL TERMINAL MULTIPLEXER (OTM).....	97
FIGURA 6-13 REGENERATOR (REG).....	98
FIGURA 6-14 TARJETA LSX.....	99
FIGURA 6-15 TARJETA LOG .....	99
FIGURA 6-16 TARJETA M40V.....	100
FIGURA 6-17 TARJETA D40.....	100
FIGURA 6-18 TARJETA ITL.....	101

FIGURA 6-19 TARJETA FIU .....	101
FIGURA 6-20 TARJETA OAU101 .....	103
FIGURA 6-21 TARJETA OBU103 .....	103
FIGURA 6-22 TARJETA HBA .....	104
FIGURA 6-23 MÓDULO CRPC .....	105
FIGURA 6-24 TARJETA MCA .....	106
FIGURA 6-25 MÓDULO DCM A.....	107
FIGURA 6-26 INSTALACIÓN DE FIBRA OPTICA (MÓDULO CRPC) .....	108
FIGURA 6-27 CONECTORES LSH/APC (CONECTORES E2000) .....	109
FIGURA 6-28 MICROSCOPIO DE FIBRA ÓPTICA (EXFO) .....	110
FIGURA 6-29 EQUIPOS FTB-200 y FTB-1 (EXFO).....	110
FIGURA 6-30 SUPERFICIE DE UN CONECTOR LIMPIO.....	111
FIGURA 6-31 SUPERFICIE DE UN CONECTOR SUCIO .....	111
FIGURA 6-32 SUPERFICIE DE UNA FIBRA QUEMADA CIO .....	112
FIGURA 6-33 FIBRA FUSIONADA EN BANDEJA DE ODF.....	113
FIGURA 6-34 CONFIGURACIÓN DE ID DE SUBRACK OSN6800 (TARJETA AUX).....	114
FIGURA 6-35 SUBRACK OSN6800 MASTER ID:0 .....	115
FIGURA 6-36 PROGRAMA OPTIX NAVIGATOR V5.6 .....	117
FIGURA 6-37 PROGRAMA IMANAGER U2000 .....	118
FIGURA 6-38 FTB200 OSA (EXFO).....	119
FIGURA 6-39 FTB-1 (EXFO) .....	120
FIGURA 6-40 FVA-600 (EXFO).....	120
FIGURA 6-41 FPM-300 (EXFO).....	121
FIGURA 6-42 POTENCIA ÓPTICA PROMEDIO DE TRANSMISIÓN (ATP) .....	122
FIGURA 6-43 LONGITUD DE ONDA CENTRAL DE LA SEÑAL ÓPTICA DE TRANSMISIÓN (ATP) .....	122
FIGURA 6-44 SENSIBILIDAD MÍNIMA DEL RECEPTOR (ATP) .....	123
FIGURA 6-45 GANANCIA DEL AMPLIFICADOR (ATP) .....	124
FIGURA 6-46 ATENUACIÓN DE TARJETA M40V (ATP).....	125
FIGURA 6-47 PÉRDIDA DE INSERCIÓN M40V (ATP) .....	126
FIGURA 6-48 PÉRDIDA DE INSERCIÓN D40 (ATP).....	127
FIGURA 6-49 PÉRDIDA DE INSERCIÓN FIU (ATP).....	128
FIGURA 6-50 PÉRDIDA DE INSERCIÓN ITL (ATP).....	129

FIGURA 6-51 FUNCIONAMIENTO DE TARJETA MCA (ATP).....	130
FIGURA 6-52 PÉRDIDA DE INSERCIÓN DCM (PROTOCOLO DE ACEPTACION)).....	130
FIGURA 6-53 MEDICIÓN DE LAMBDA (OSA).....	131
FIGURA 6-54 MEDICIÓN DE LAMBDA (OSA).....	132
FIGURA 6-55 GESTOR DE TELEFÓNICA DEL PERÚ (PROGRAMA IMANAGER U2000).....	132
FIGURA 6-56 GESTOR DE TELEFÓNICA DEL PERÚ (PROGRAMA IMANAGER U2000).....	133
FIGURA 6-57 MEDICIÓN EN MCA (AREQUIPA TO TINTAYA) .....	134
FIGURA 6-58 MEDICION EN MCA (AREQUIPA FROM TINTAYA).....	134
FIGURA 6-59 PRUEBA DE BER AREQUIPA – CUSCO (LOOP FISICO EN CUSCO) .....	135
FIGURA 7-1 SALA DE EQUIPOS REDESUR - MOQUEGUA .....	136
FIGURA 7-2 SALA DE EQUIPOS PUNTA DE BOMBON (EQUIPO OSN3500).....	138
FIGURA 7-3 SALA DE EQUIPOS MEJIA (EQUIPO OSN3500) .....	138
FIGURA 7-4 SALA DE EQUIPOS AREQUIPA_SW (EQUIPOS DWDM Y SDH) .....	139



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1 POBLACIÓN DE PERÚ POR PROVINCIA 2015 .....	20
TABLA 4-1 COMPARACIÓN DE MODULADORES .....	49
TABLA 4-2 VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN G.709.....	59
TABLA 4-3 RANGOS DE LONGITUD DE ONDA EN WDM.....	62
TABLA 5-1 COMPARACIÓN DE PRESTACIONES DE EQUIPOS DWDM DE PRINCIPALES PROVEEDORES .....	65
TABLA 5-2 DISTANCIA Y ATENUACIÓN DEL LOS ENLACES.....	70
TABLA 5-3 TIPOS DE MÓDULOS DCM .....	72
TABLA 5-4 PÉRDIDA DE INSERCIÓN DE CADA COMPONENTE DWDM .....	74
TABLA 5-5 TIPOS DE MÓDULOS DCM .....	74
TABLA 5-6 CÁLCULO DE POTENCIAS AREQUIPA – TINTAYA .....	76
TABLA 5-7 CÁLCULO DE POTENCIAS TINTAYA – CUSCO .....	78
TABLA 5-8 VALORES DE DGD DE LA FIBRA POR ENLACE.....	80
TABLA 5-9 MÓDULOS DCM (VALORES DE DGD) .....	80
TABLA 5-10 VALORES DE DGD TOTAL ENLACE AREQUIPA – TINTAYA .....	81
TABLA 5-11 VALORES DE DGD ENLACE TINTAYA – CUSCO .....	81
TABLA 5-12 PENALIZACIÓN DEL OSNR POR DGD .....	82
TABLA 5-13 VALORES OSNR POR ENLACE.....	84

## CAPÍTULO 1 - PROBLEMÁTICA

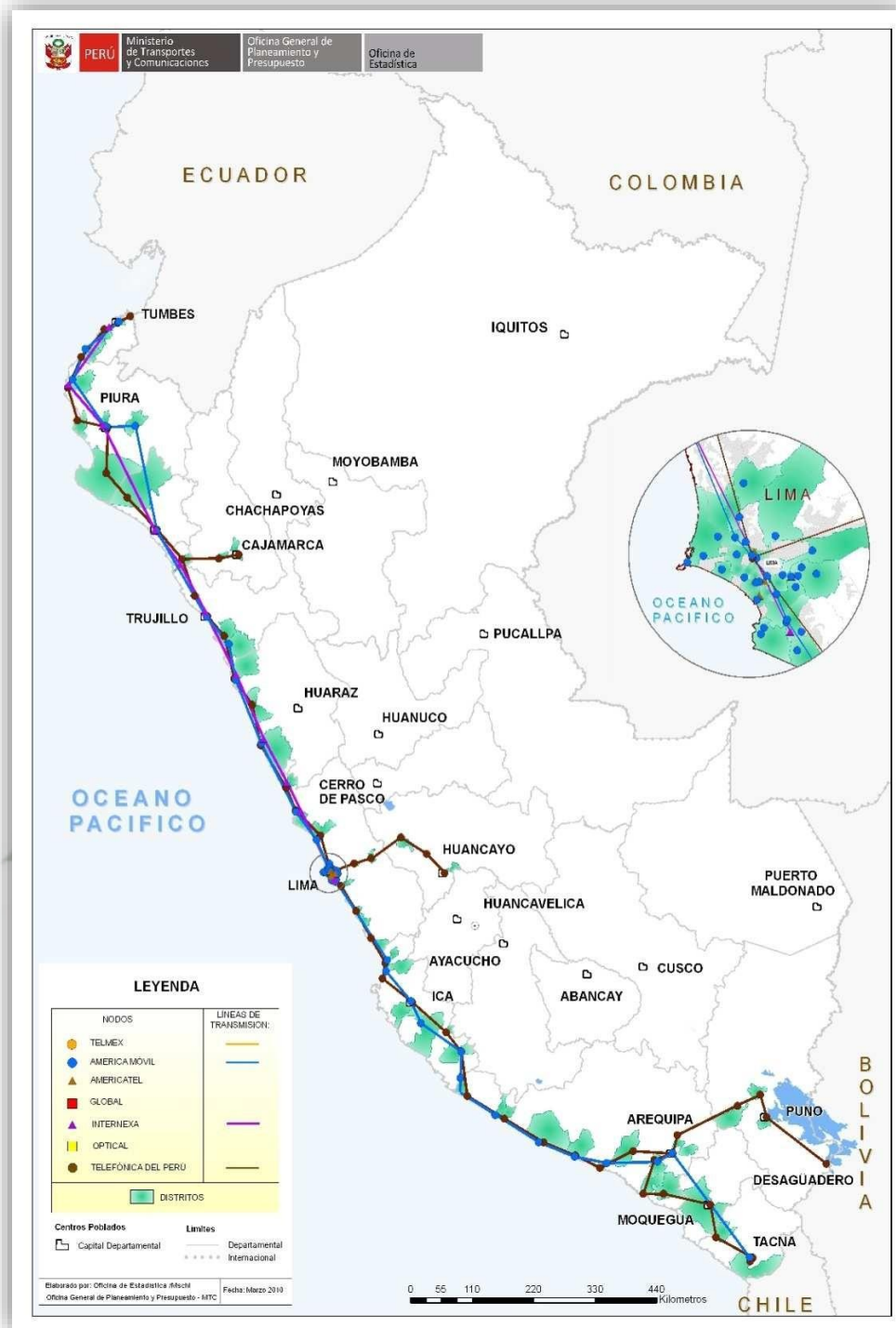
### 1.1 Análisis del Problema

El Perú presenta una deficiencia en su red de transporte (medio de transmisión), lo cual ocasiona que se tenga servicios de telecomunicaciones deficientes o que no exista dichos servicios, en el Perú no se puede llegar a toda su población y el principal problema es la carencia de redes de transporte.

Los sistemas de telecomunicaciones requieren no sólo de redes de acceso para la prestación de sus servicios, sino que necesitan de una red de transporte (backbone) que permita transportar la información a altas velocidades entre ciudades. Es por ello que, estas redes se diseñan generalmente en base al tendido de fibra óptica, al ser un medio de transmisión de alta capacidad y velocidad.

En el Perú existen redes dorsales de gran capacidad implementadas en base a fibra óptica principalmente en la costa.

Si bien la red dorsal de fibra óptica desplegada recorre de norte a sur la costa peruana, en la región de la sierra el despliegue de las redes de alta capacidad está limitado a tres (03) ciudades Cajamarca, Huancayo y Puno, y en la región de la selva no se ha obtenido ningún desarrollo en ese aspecto, como se observa en la figura 1-1.



**FIGURA 1-1 TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA A NIVEL NACIONAL**

*Fuente: Plan nacional para el desarrollo de la banda ancha en el Perú [MTC\_2011]*

Cabe indicar que la única empresa de telecomunicaciones con redes dorsales de fibra óptica que llegan hasta algunas zonas de la sierra es Telefónica del Perú S.A.A., específicamente a las ciudades de Cajamarca, Huancayo y Puno.

Lo que se espera en el Perú es poder llegar a todos los departamentos del país con fibra óptica como se muestra en la figura 1-2.





FIGURA 1-2 TRAZADO DE LA RED DORSAL DE FIBRA ÓPTICA A NIVEL NACIONAL

Fuente: Plan nacional para el desarrollo de la banda ancha en el Perú [MTC\_2011]

La red de transporte de fibra óptica, se puede complementar con redes de acceso de multiplicidad de tecnologías, entre ellas las inalámbricas y poder llegar a las zonas remotas de nuestro país. [MTC\_2011].

## 1.2 Planteamiento

La “Implementación del enlace de fibra óptica Arequipa – Cusco”, consiste en la implementación de un enlace de alta capacidad, por lo que Telefónica del Perú con Graña y Montero (Telecomunicaciones), implementan la red DWDM entre Arequipa y Cusco, como parte de la primera etapa del proyecto de Fibra Óptica de los Andes, para posteriormente conectar a 8 departamentos de la sierra y selva del Perú.

Internexa (empresa líder en transporte de telecomunicaciones) es la encargada del tendido de la fibra óptica, utilizando las torres de alta tensión propiedad de Red Eléctrica del Perú (REP).

### 1.2.1 Regiones cubiertas por el Proyecto

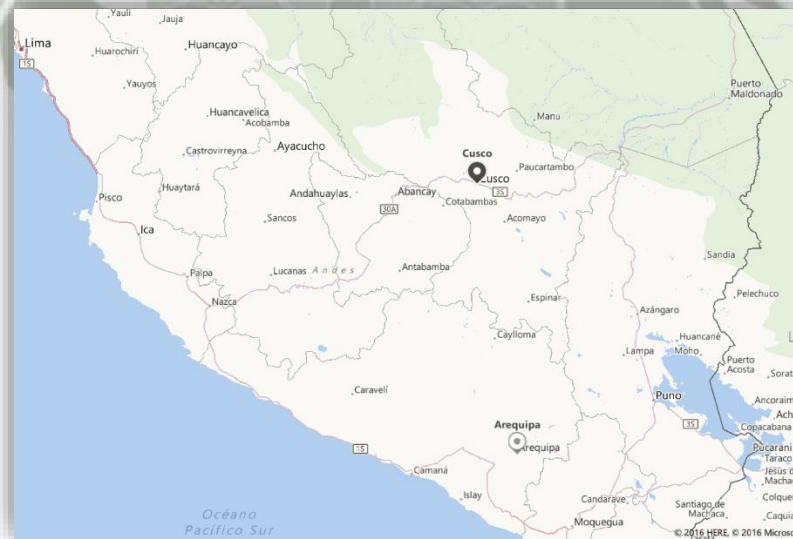
El proyecto beneficia al departamento de Cusco, para después poder beneficiar al departamento de Apurímac (Abancay y Andahuaylas), como se puede apreciar en la tabla 1-1, el departamento de Cusco es la séptima ciudad más poblada del país, y es la segunda ciudad del sur del país con mayor población según INEI. [INEI\_2015].

DEPARTAMENTO	POBLACION 2015
Lima	9834631
Puno	1415608
Cusco	1316729
Arequipa	1287205
Ayacucho	688657
Apurímac	458830
Tacna	341838
Moquegua	180477
Madre de Dios	137316

**TABLA 1-1 POBLACIÓN DE PERÚ POR PROVINCIA 2015**

*Fuente: "Población de Perú 2015" [INEI\_2015]*

La figura 1-3, se puede observar la ubicación de la ciudad del Cusco, ciudad beneficiada por el proyecto, así como la ciudad de Abancay y Andahuaylas.



**FIGURA 1-3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS CIUDADES BENEFICIADAS**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo Principal

- Llegar a Cusco por primera vez con fibra óptica, para después poder beneficiar al departamento de Apurímac (Abancay y Andahuaylas).
- Permitir a miles de familias de la sierra acceder a un servicio de internet con las mismas características de Lima, Arequipa y otras ciudades del país y mejorar los servicios de telefonía fija y telefonía móvil.

#### 1.3.2 Objetivos Secundarios

- Con la tecnología DWDM se podrá implementar un enlace de 40 longitud de ondas a diferentes capacidades solo utilizando dos (02) hilos de fibra óptica.
- Con la implementación de un enlace DWDM, se puede incorporar longitudes de ondas, las cuales podrán ser de 10Gbps, 40Gbps y de 100Gbps, según sean las necesidades de la demanda de los servicios de telecomunicaciones.

## CAPÍTULO 2 - DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

### 2.1 Grupo Graña y Montero

Graña y Montero es un grupo de 26 empresas de Servicios de Ingeniería e Infraestructura con presencia en 7 países de Latinoamérica, operaciones permanentes en Perú, Chile y Colombia y más de 29,000 colaboradores.

Su misión es resolver las necesidades de Servicios de Ingeniería e Infraestructura de sus clientes más allá de las obligaciones contractuales.

Su visión es ser reconocidos como el Grupo de servicios de Ingeniería e Infraestructura más confiable de Latinoamérica. [GRAÑA Y MONTERO\_2016].

### 2.2 Estilo Graña y Montero

El estilo de Graña y Montero son sus valores de Calidad, Cumplimiento, Seriedad y Eficiencia. El estilo Graña y Montero les permite acercarse cada vez a su visión de ser “el Grupo de servicios de ingeniería e infraestructura más confiable de Latinoamérica”.

El Estilo Graña y Montero da cuenta de cómo hacen las cosas, pero también de por qué hacemos las cosas. Su estilo de hacer las cosas es lo que la diferencia de las otras compañías y lo que ha sido la base para llegar a los 83 años de forma exitosa. [GRAÑA Y MONTERO\_2016].

### 2.3 CAM (Compañía Americana de Multiservicios)

El grupo Graña y Montero dio un nuevo salto en su expansión y compró a las chilenas Enersis y Chilectra la totalidad de sus acciones en la empresa Compañía Americana de Multiservicios (CAM), que ofrece productos y servicios en las diferentes fases del ciclo eléctrico, desde la provisión y logística de materiales, hasta la construcción y puesta en marcha de obras eléctricas.

“Esta empresa no solo está prestando servicios al sector eléctrico, lo está haciendo con otros sectores como el minero, el gasífero y el de telecomunicaciones. De hecho, está más de acuerdo con la línea de negocios de Graña y Montero”. [EL COMERCIO\_2010].

Por lo cual el departamento de telecomunicaciones de GyM fue trasladado a CAM Perú, conformando la Gerencia de Telecomunicaciones.

Operadores y Vendors, es el área encargada de brindar servicios a los principales operadores, como son Telefónica del Perú, América Móvil del Perú (Claro), Entel del Perú, Americatel, etc. Y a los proveedores de equipos de telecomunicaciones como HUAWEI del Perú.

### 2.3.1 CAM (Compañía Americana de Multiservicios) - Estructura Organizacional

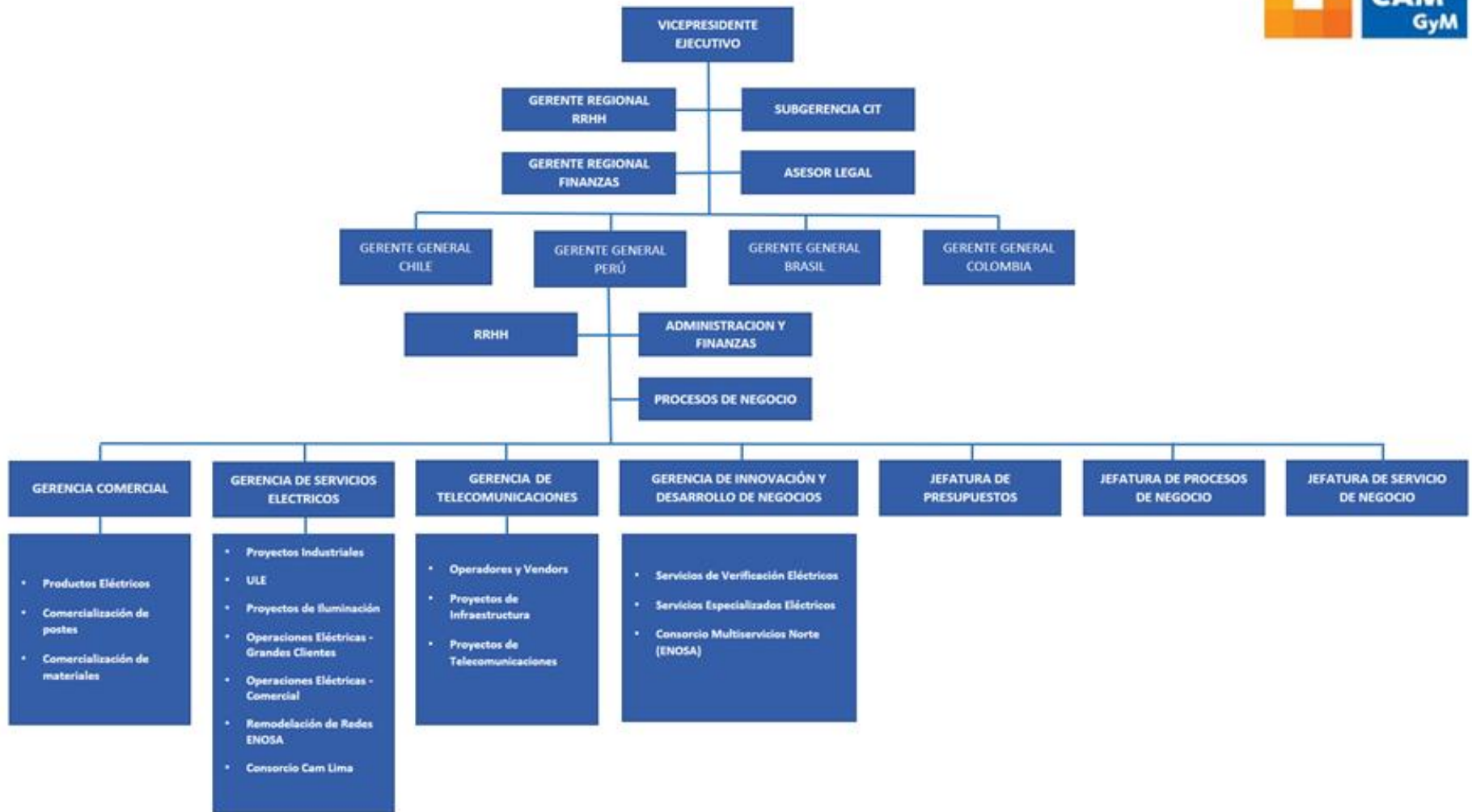


FIGURA 2-1 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL - CAM

Fuente: Elaboración Propia

### 2.3.2 Descripción del puesto de trabajo

En CAM Perú, la gerencia de telecomunicaciones cuenta con dos sedes, una en la zona sur (Arequipa) y otra en la zona norte (Trujillo) del país. Teniendo a cargo la zona sur del país:

- Cargo: Ingeniero de Campo, Zona Sur.
- Funciones:
  - Coordinar, supervisar los trabajos en la zona sur de los distintos operadores Telefónica del Perú S.A.A., América Móvil Perú S.A.C. y Entel Perú S.A.
  - Asignar diversas tareas al personal a cargo, 8 técnicos de campo.
  - Dar soporte al personal técnico en campo.
  - Coordinación y supervisión de la Instalación de equipos de Fibra Óptica, SDH y DWDM, (proveedor HUAWEI) con el personal a cargo.
  - Encargado de las pruebas de aceptación, inconvenientes y problemas que se puedan presentar en la instalación y pruebas de los equipos de Fibra Óptica.
  - Elaboración de informes de los trabajos realizados en campo de los distintos proyectos desarrollados.
  - Reportar el desarrollo de los trabajos que se realizan en la zona sur, al área correspondiente de la gerencia de telecomunicaciones, como al operador correspondiente.

## CAPÍTULO 3 - ANCHO DE BANDA

### 3.1 Demanda de Ancho de Banda

En los últimos años se ha podido observar que el consumo de ancho de banda se ha incrementado de manera exponencial, esto se debe a la implementación de nuevos servicios. Un ejemplo claro que se puede observar hoy en día es la evolución del servicio de telefonía celular, el crecimiento de los data center y el tráfico IP basado en la nube. En la figura 3-1 se puede observar la evolución de la telefonía celular y su incremento en la velocidad de transmisión, lo que implica que las redes de transmisión que integran la red de telefonía celular incrementen también su capacidad.

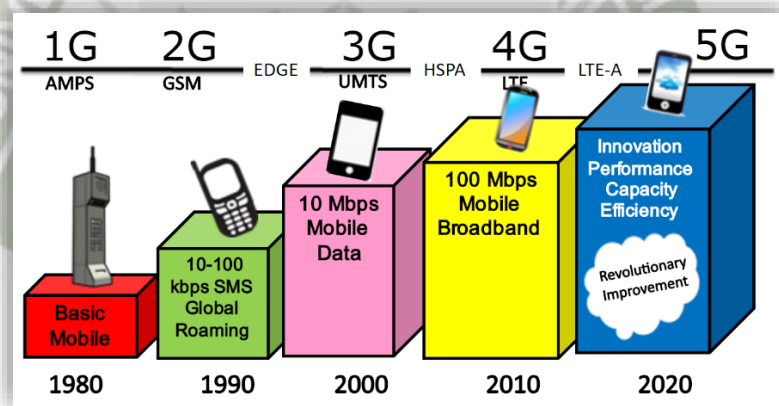
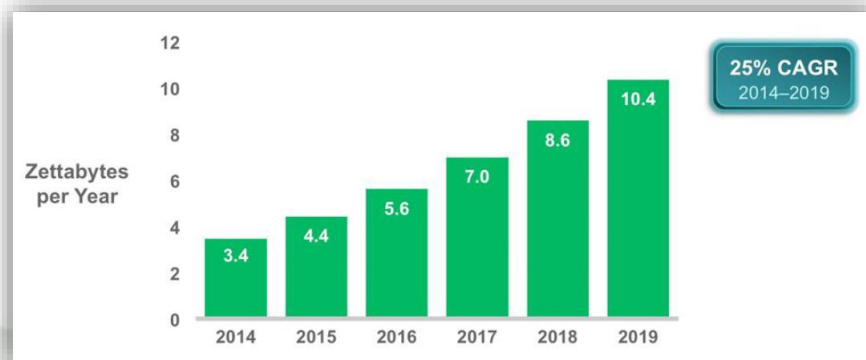


FIGURA 3-1 EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD EN TELEFONÍA CELULAR

*Fuente: Desarrollo de la Banda Ancha Móvil América Latina & Caribe 30 de julio de 2015 San Salvador, El Salvador Foro CMR-15 UIT [CMR-15 UIT]*

Referente a los data center, se prevee que el tráfico global de internet y redes IP WAN alcance los 2.0 ZB por año en 2019.

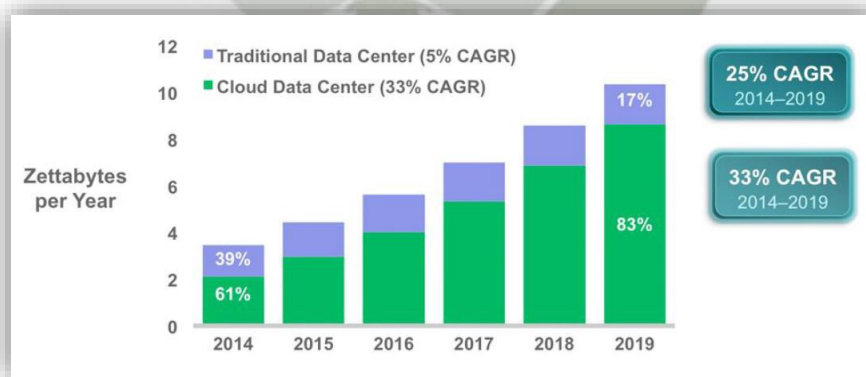
La cantidad de tráfico anual de los data center en el 2014 estimada es de 3.5 ZB por año y en el 2019 se triplicará a 10.4 ZB por año. Este incremento representa un 25% crecimiento anual [CISCO\_2015], como se ve en la figura 3-2:



**FIGURA 3-2 CRECIMIENTO DEL TRÁFICO IP GLOBAL DE DATA CENTERS**

Fuente: "Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2014–2019" [CISCO\_2015]

En la figura 3-3 se puede observar que los data center tradicionales tiene un crecimiento de 25% y los data center nube (cloud data center) tiene un crecimiento de 33%.



**FIGURA 3-3 CRECIMIENTO DE TRÁFICO IP EN LOS DATA CENTER: 2011-2016**

Fuente: "Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2014–2019" [CISCO\_2015]

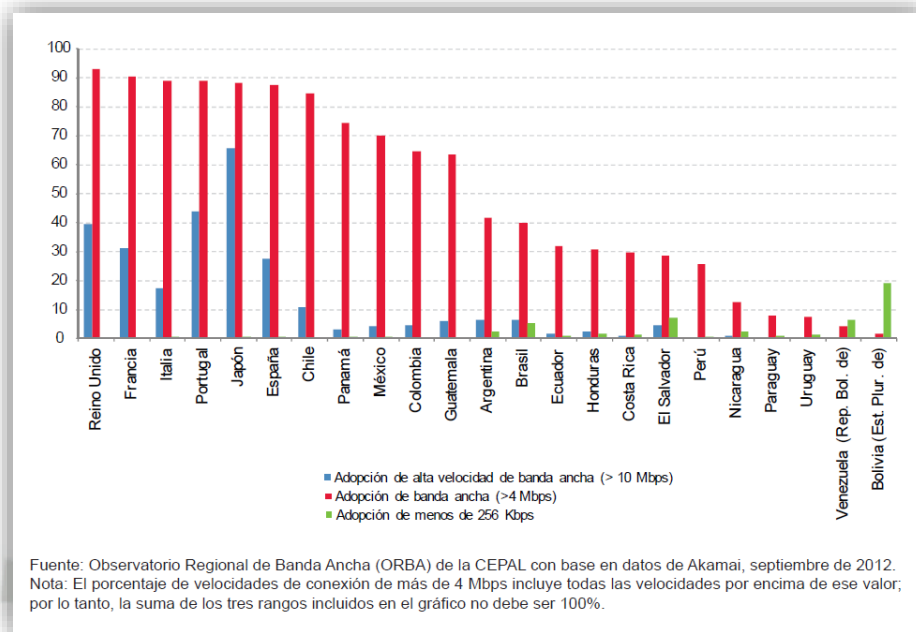
Este incremento en el tráfico de los data center obliga a que también exista un incremento de capacidad en las redes de transmisión.

### 3.2 Situación actual de Latinoamérica

En esta parte podremos observar la situación de los países latinoamericanos, datos obtenidos por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

En la figura 3-4 presenta las conexiones según velocidad referencial u ofrecida: más de 10 Mbps, entre 4 y 10 Mbps, y menores a 4 Mbps. En varios países de la región, más de la mitad de las conexiones supera 4 Mbps; con excepción de Guatemala, todos estos países son de ingresos medios. Sin embargo, no todos los países de ingreso medio pertenecen al grupo donde predominan las conexiones superiores a 4 Mbps: en Costa Rica y el Perú, solo 30% de las conexiones alcanza ese rango, cifra que sorprendentemente no supera 40% ni en Argentina ni en el Brasil. Más aun, en ningún país de la región las conexiones a más de 10 Mbps representan más de 15% del total.

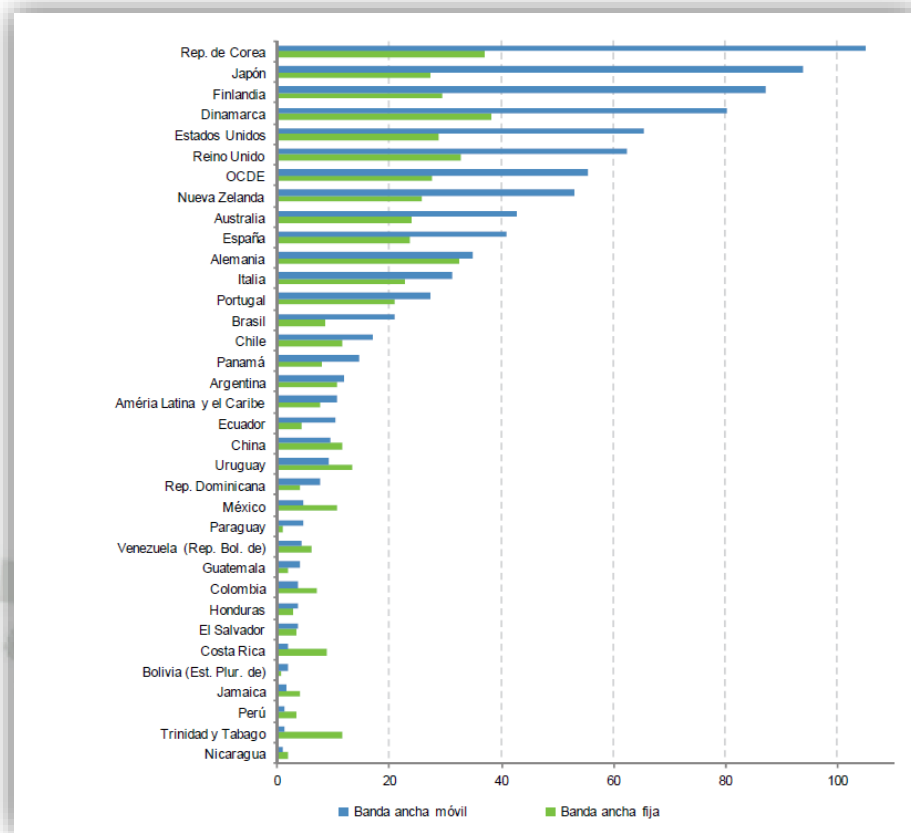
[CEPAL\_2013].



**FIGURA 3-4 PORCENTAJE DE CONEXIONES DE BANDA ANCHA AGRUPADAS POR RANGOS DE VELOCIDAD**

Fuente: "Banda ancha en América Latina y El Caribe: más allá de la conectividad" [CEPAL\_2013]

Se puede observar que existen velocidades de banda ancha superior a los 10Mbps en otros países, y en el Perú estas velocidades aún no pueden ser ofrecidas comercialmente. En la figura 3-5, se observa la importancia de las conexiones móviles con respecto a las fijas. Asimismo, se puede observar que en algunos países las conexiones móviles duplican a las conexiones fijas. Aunque en varios países aún hay un predominio de las conexiones fijas. Es posible que haya una relación inversa en el nivel de penetración de usuarios de Internet y la difusión de la banda ancha móvil. [CEPAL\_2013].



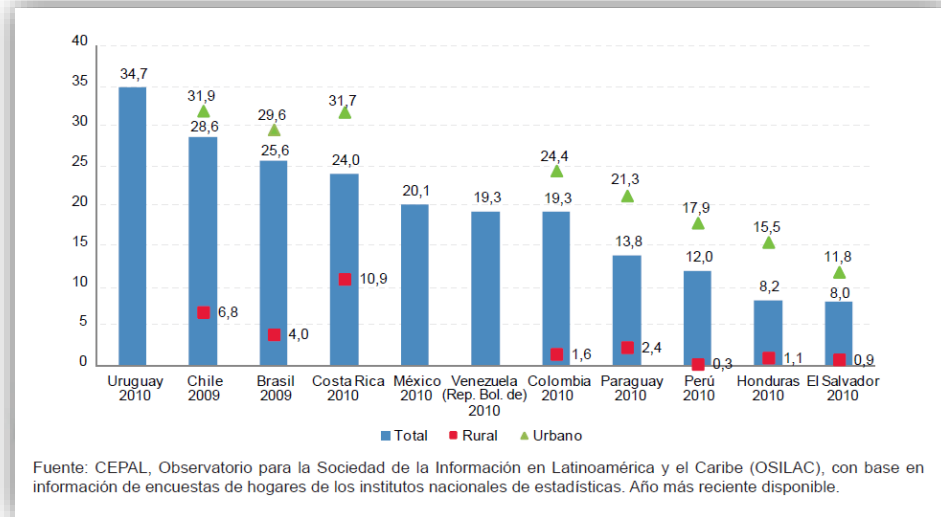
**FIGURA 3-5 PENETRACIÓN DE LA BANDA ANCHA FIJA Y MÓVIL EN 2011 (EN PORCENTAJES)**

Fuente: “Banda ancha en América Latina y El Caribe: más allá de la conectividad” [CEPAL\_2013]

De los siete países de la región con menor penetración, seis presentan mayor difusión de la banda ancha móvil que de la fija (Bolivia, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras y Paraguay).

En cuanto a la dimensión territorial, los hogares de las áreas rurales de los países de la región se encuentran claramente rezagados en el acceso a Internet. Destaca positivamente Costa Rica, donde más del 10% de los hogares rurales cuentan con

acceso, en comparación con un acceso urbano de 31%. En ningún otro país para el que se cuenta con datos, el acceso rural llega a 7% (figura 3-6). [CEPAL\_2013].



**FIGURA 3-6 HOGARES CON ACCESO A INTERNET EN ÁREAS URBANA, RURAL Y A NIVEL NACIONAL (EN PORCENTAJES)**

Fuente: "Banda ancha en América Latina y El Caribe: más allá de la conectividad" [CEPAL\_2013]

Podemos observar que el Perú en la parte rural tiene un bajo porcentaje al acceso a la banda ancha esto se debe a la poca infraestructura que se tiene.

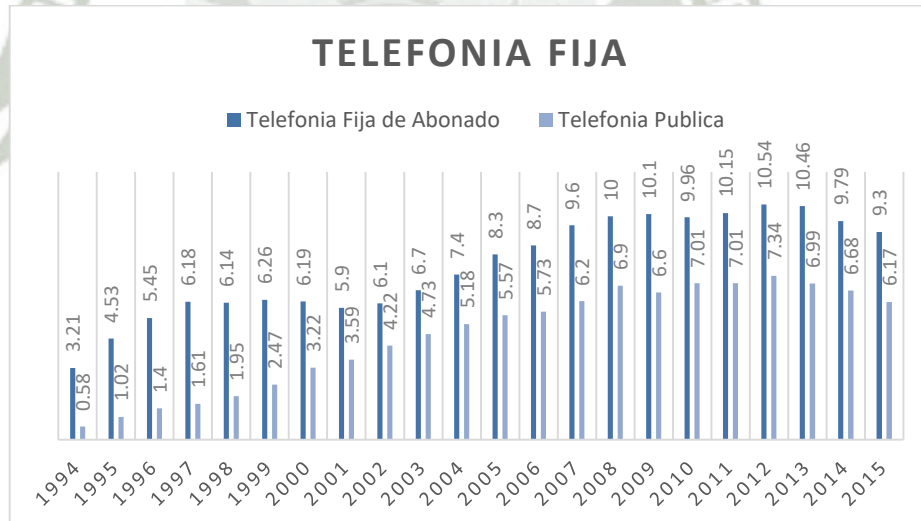
### 3.3 Situación del Perú, evaluación de la demanda de Ancho de Banda.

En este punto se evalúa la situación de la demanda del ancho de banda en el Perú en sus servicios de telecomunicaciones brindados por el MTC (estadísticas de servicios públicos de telecomunicaciones a nivel nacional), los servicios a evaluar son: servicio de

telefonía fija, servicio móvil, servicio de radiodifusión por cable (televisión de paga), servicio de internet fijo, y servicio de internet móvil.

### 3.3.1 Servicio de Telefonía Fija

La figura 3-7 muestra la densidad de líneas en servicio de telefonía fija de abonado (líneas en servicio por cada 100 habitantes) y la densidad de teléfonos públicos (líneas en servicio por cada 1000 habitantes). Se puede observar que este servicio tiene una tendencia a la baja [MTC-DGRAIC], suponemos que esto se debe al servicio de telefonía móvil. El detalle de la figura 3-7 se encuentra en el 01\_ANEXO.

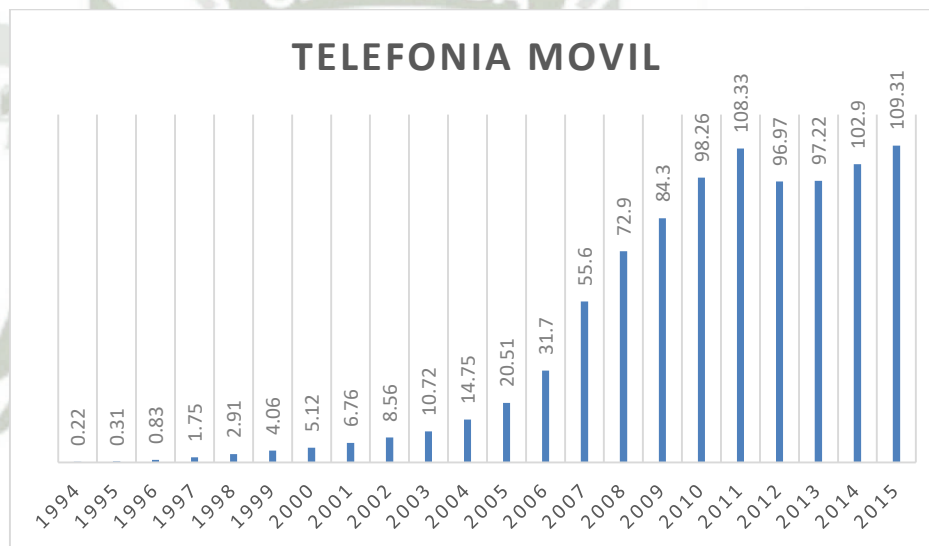


**FIGURA 3-7 DENSIDAD DE LÍNEAS EN SERVICIO DE TELEFONÍA FIJA 1994-2015 (TELEFONÍA FIJA DE ABONADO EN SERVICIO POR CADA 100 HABITANTES Y TELEFONÍA PÚBLICA POR CADA 1000 HABITANTES)**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.2 Servicio de Telefonía Móvil

La figura 3-8 muestra la densidad de líneas en servicio de telefonía móvil (líneas en servicio por cada 100 habitantes) Se puede observar que este servicio tiene un crecimiento constante [MTC-DGRAIC], por lo cual se observa una tendencia a la baja en el servicio de telefonía fija. El detalle de la figura 3-8 se encuentra en el 01\_ANEXO.

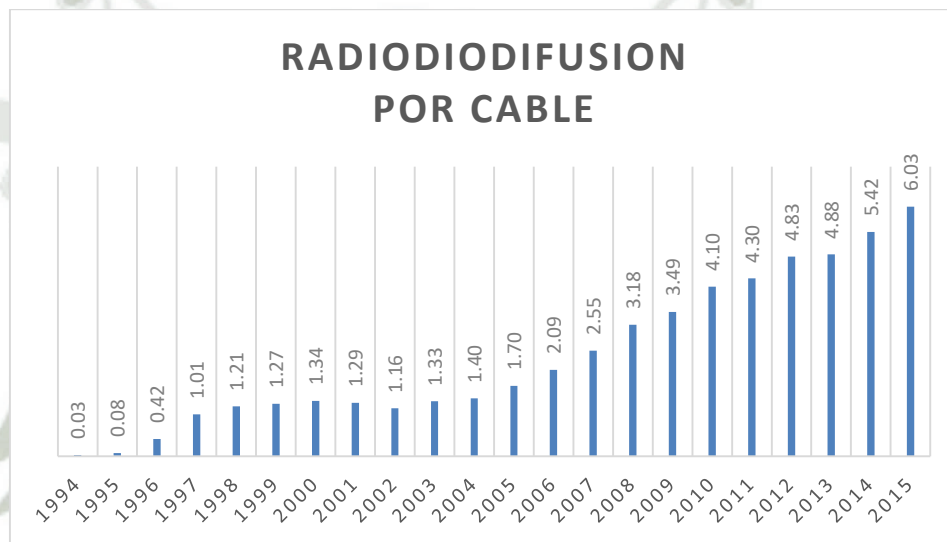


**FIGURA 3-8 DENSIDAD DE LÍNEAS EN SERVICIO DE TELEFONÍA MÓVIL 1994-2015 (TELEFONÍA MÓVIL EN SERVICIO POR CADA 100 HABITANTES)**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.3 Servicio de Radiodifusión por cable (televisión de paga)

La figura 3-9 muestra la densidad de suscriptores en el servicio de radiodifusión por cable (líneas en servicio por cada 100 habitantes) Se puede observar que este servicio tiene un crecimiento constante [MTC-DGRAIC]. El detalle de la figura 3-9 se encuentra en el 01\_ANEXO.



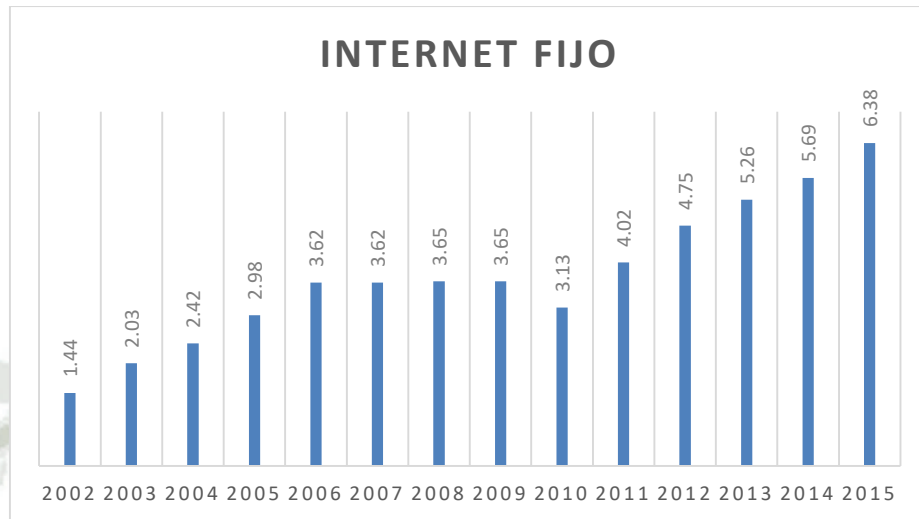
**FIGURA 3-9 DENSIDAD DE SUSCRIPTORES EN EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR CABLE 1994-2015 (SUSCRIPTORES DE RADIODIFUSIÓN POR CABLE POR CADA 100 HABITANTES)**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.4 Servicio de Internet Fijo

La figura 3-10 muestra la densidad de suscriptores en el servicio de internet fijo (líneas en servicio por cada 100 habitantes) Se puede observar que este servicio

tiene un crecimiento variable y a partir del 2010 se tiene un crecimiento constante [MTC-DGRAIC]. El detalle de la figura 3-10 se encuentra en el 01\_ANEXO.

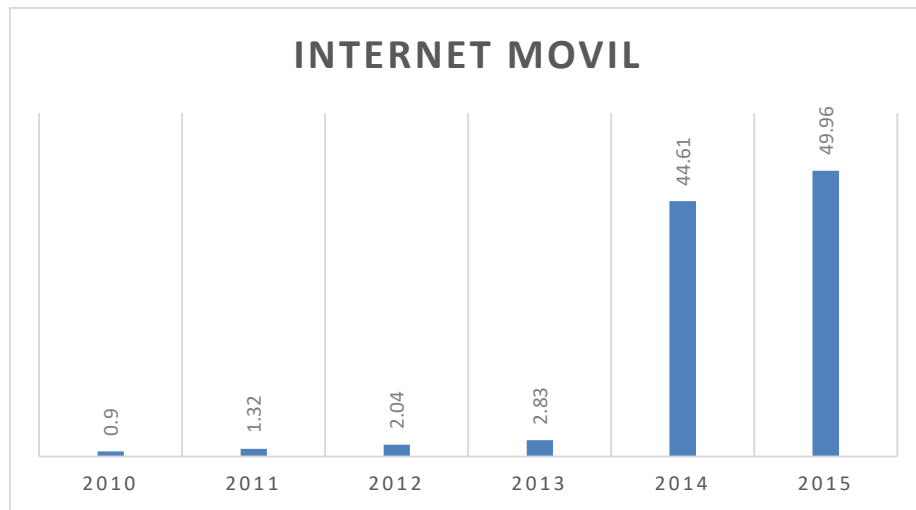


**FIGURA 3-10 DENSIDAD DE SUSCRIPTORES EN EL SERVICIO DE INTERNET FIJO 2002-2015  
(SUSCRIPTORES DE INTERNET FIJO POR CADA 100 HABITANTES)**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.5 Servicio de Internet Móvil

La figura 3-11 muestra la densidad de suscriptores en el servicio de internet móvil (líneas en servicio por cada 100 habitantes) Se puede observar que este servicio tiene un crecimiento notable [MTC-DGRAIC]. El detalle de la figura 3-11 se encuentra en el 01\_ANEXO.

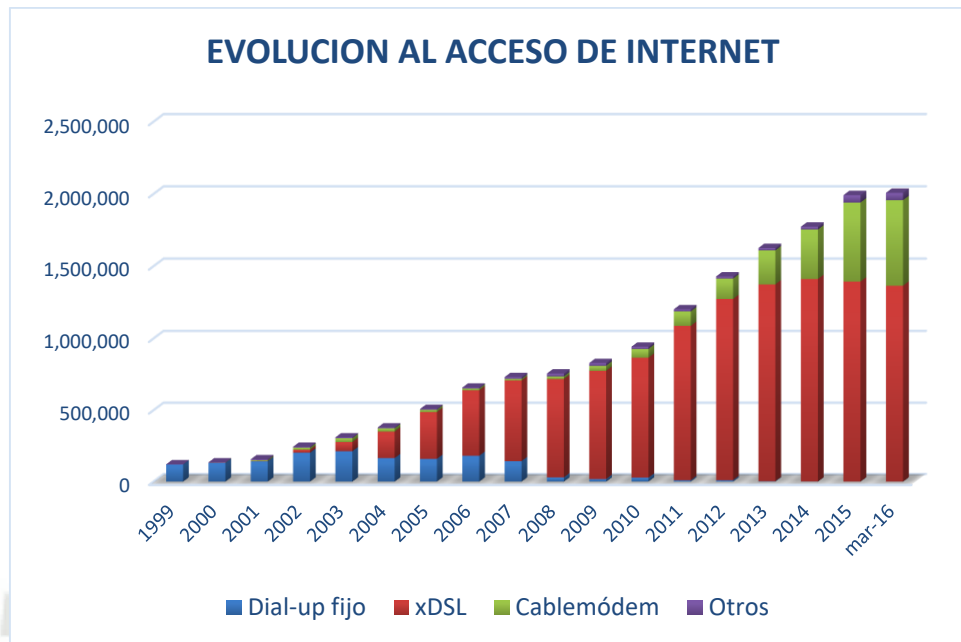


**FIGURA 3-11 DENSIDAD DE SUSCRIPTORES EN EL SERVICIO DE INTERNET MÓVIL 2002-2015  
(SUSCRIPTORES DE INTERNET FIJO POR CADA 100 HABITANTES)**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.6 Acceso de Banda Ancha Fija

Hoy en día la tecnología ADSL es la más usada para ofrecer la Banda Ancha fija, seguida del cable-módem. Otras tecnologías incluyen conexiones fijas inalámbricas como WiMAX y otras tecnologías de líneas dedicadas. [OSIPTEL 1999-2016]. El detalle de la figura 3-12 se encuentra en el 02\_ANEXO.

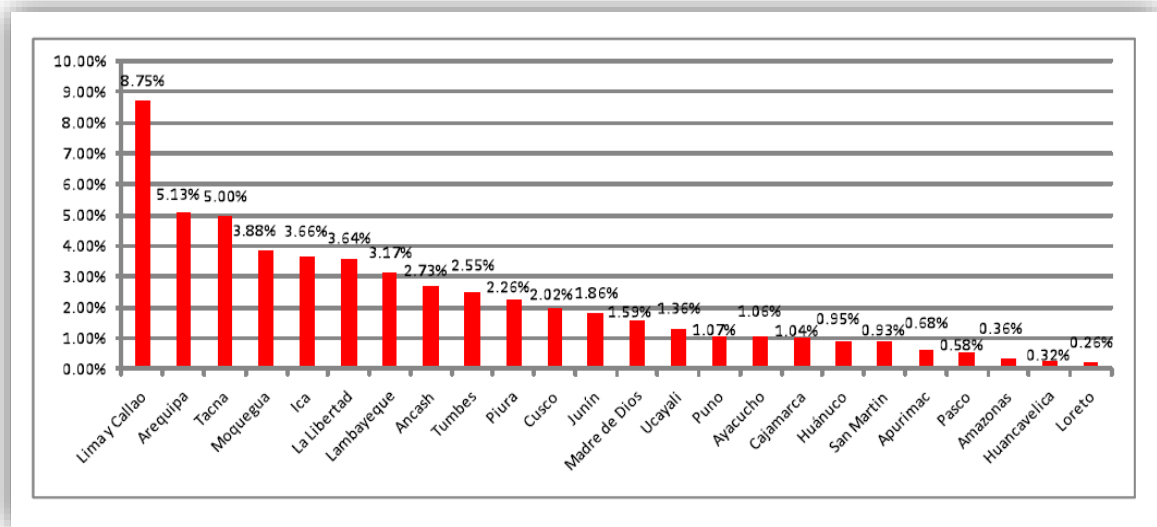


**FIGURA 3-12 EVOLUCIÓN DEL ACCESO A INTERNET (CONEXIONES FIJAS)**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.7 Acceso a la Banda Ancha por departamentos del Perú

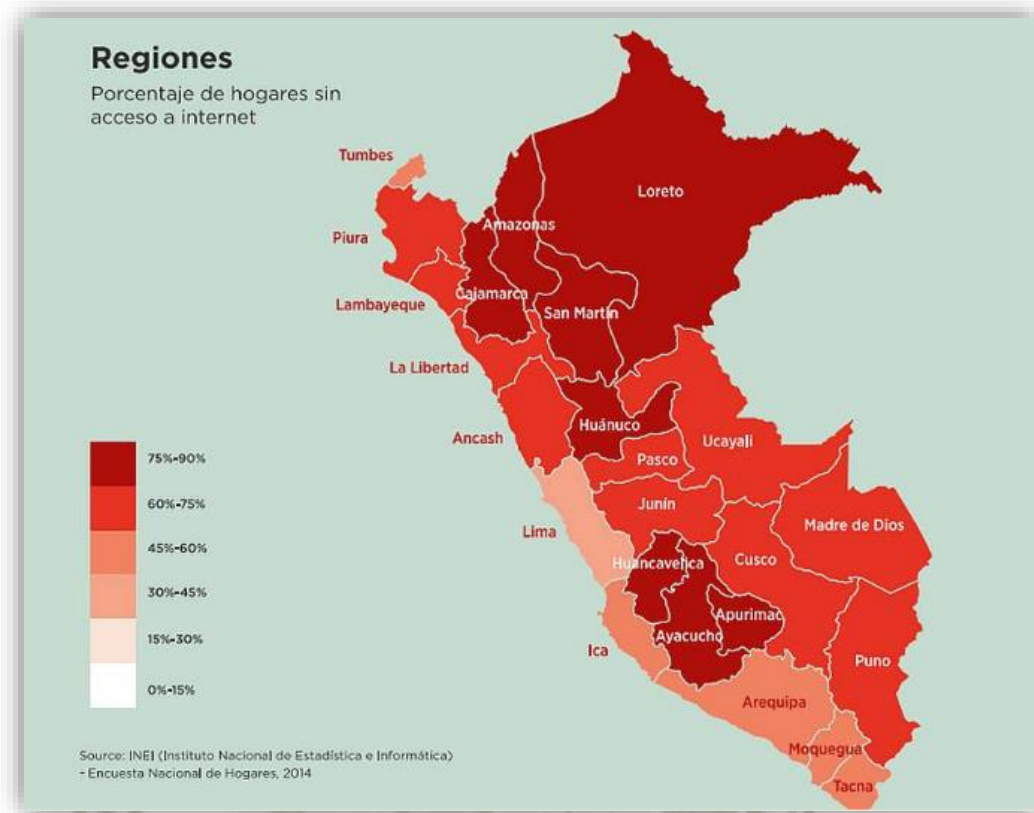
Se puede observar que se tiene una gran brecha al acceso a la banda ancha por departamentos como se observa en la figura 3-13, los departamentos pertenecientes a la región sierra y selva son los que presentan el menor acceso a la banda ancha. Esto se debe, a la ausencia de infraestructura para lo cual se necesita redes transporte de alta capacidad (fibra óptica) que llegue a tales zonas. En la actualidad los departamentos pertenecientes a la región de la sierra y selva tiene un acceso a internet limitado o no existe, esto se debe a que su medio de transmisión es por medio satelital. [MTC\_2012].



**FIGURA 3-13 PENETRACIÓN DE BANDA ANCHA POR DEPARTAMENTO**

*Fuente: Plan Nacional para el Desarrollo de la banda ancha en el Perú (2011-2016) [MTC\_2012]*

En la figura 3-14 se puede observar que el 73% de la población rural carece de acceso a internet. Este porcentaje es el segundo más alto después de Colombia, que lidera esta lista con el 74% de su población rural sin acceso a Internet, mientras que Brasil (64%), México (63%) y Chile (49%) tienen porcentajes más bajos. [EL COMERCIO\_2016].



**FIGURA 3-14 PERÚ: PORCENTAJE DE POBLACIÓN RURAL SIN ACCESO A INTERNET**

*Fuente: "73% de la población rural carece de conexión a internet" [ELCOMERCIO\_2016].*

Al examinar la brecha por regiones, en Perú entre el 75% y 90% de hogares de ocho departamentos no cuenta con acceso a internet: Amazonas, Cajamarca, Loreto, San Martín, Huánuco, Huancavelica, Ayacucho y Apurímac. [EL COMERCIO\_2016].

## CAPÍTULO 4 – MARCO TEÓRICO

### 4.1 Multiplexación por división de longitud de Onda (WDM)

WDM es una técnica óptica que permite acoplar muchas longitudes de onda distinta en la misma fibra, incrementando el ancho de banda equivalente por fibra como suma de las velocidades binarias de transmisión para cada longitud de onda (por ejemplo 40 longitudes de onda distintas a 10 Gbps transmitidas en una misma fibra proporciona un ancho de banda de 400 Gbps). Con e este método se pueden conseguir velocidades de terabits por segundo. [GARCÍA TOMÁS, J., RAYA CABRERA, J. L. Y RODRIGO RAYA, V., 2002]

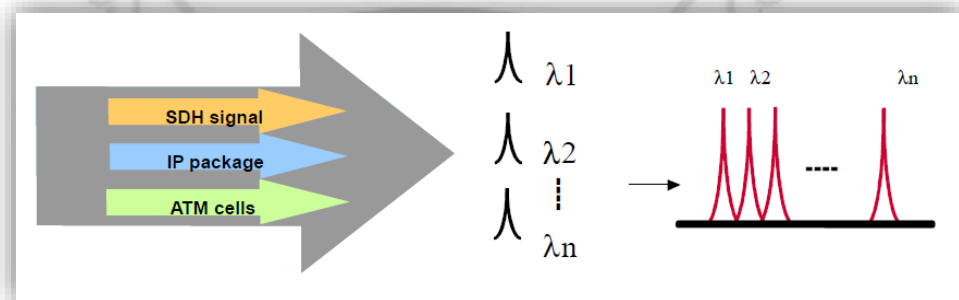
La multiplexación en medios ópticos consiste en una variante de la técnica FDM (multiplexación por división de frecuencia), en donde se realiza una combinación de varias señales portadoras procedentes de fuentes de luz LED o Láser, pero de diferente longitud de onda sobre un solo hilo de fibra óptica y simultáneamente.

Mientras en la técnica FDM se transmiten varias señales de diferente frecuencia simultáneamente por un mismo canal de banda ancha, en WDM se transmiten varias señales de longitud de onda diferente por un mismo canal. [J. Muñoz Arciniegas, 2016]

Los sistemas actuales de división de longitud de onda (WDM) emplean cada longitud de ondas trasmitida como un canal independiente. Cada canal puede transmitir tráfico homogéneo o heterogéneo. Por ejemplo, sobre una longitud de ondas puede

transmitirse tráfico SONET/SDH mientras que sobre otra puede encontrarse ATM, paquetes ethernet, etc. WDM hace posible la transparencia de tráfico a distintas velocidades. [GARCÍA TOMÁS, J., RAYA CABRERA, J. L. Y RODRIGO RAYA, V., 2002]

Los canales WDM se comportan como filtros que únicamente permiten el paso de las señales ópticas especificadas para cada longitud de onda, figura 4-1.



**FIGURA 4-1 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA (WDM)**

*Fuente: WDM Principle [HUAWEI\_2006]*

WDM (Multiplexación por división de longitud de Onda) es la tecnología que hasta el momento se utiliza para transmisiones de alta capacidad, y a medida que la tecnología avanza, es posible disponer de una mayor densidad de longitudes de ondas en la misma fibra, empleándose cada vez más el termino DWDM (multiplexación por división en longitudes de ondas densas). En los sistemas donde no existe esa alta densidad, continúa empleándose el termino WDM y en los sistemas de baja densidad se emplea CWDM (multiplexación por división en longitudes de onda ligeras).

La tecnología WDM densa (DWDM), introduce más longitudes de onda distintas en cada fibra. No existe una frontera claramente definida para el calificativo “densa”: puede considerarse a partir de las 10 longitudes de onda. Por otra parte, dado que cada vez es mayor número de longitudes de onda por fibra, la denominación DWDM es la que generalmente se emplea. [GARCÍA TOMÁS, J., RAYA CABRERA, J. L. Y RODRIGO RAYA, V., 2002]

En la figura 4-2, se puede observar las diferencias entre CWDM y DWDM

Aplicación/parámetro	CWDM acceso/MAN	DWDM MAN/WAN	DWDM largo alcance
<b>Canales por fibra</b>	4-16	32-80	80-160
<b>Espectro utilizado</b>	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
<b>Espaciado entre canales</b>	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
<b>Capacidad por canal</b>	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10-40 Gbit/s
<b>Capacidad de la fibra</b>	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	>1 Tbit/s
<b>Tipo de láser</b>	uncooled DFB (láser de realimentación distribuida)	cooled DFB	cooled DFB
<b>Tecnología de filtros</b>	TFF (tecn. película delgada)	TFF, AWG, FBG	TFF, AWG, FBG
<b>Distancia</b>	hasta 80 km	cientos de km	miles de km
<b>Coste</b>	bajo	medio	Alto

**FIGURA 4-2 CWDM vs DWDM**

*Fuente: WDM [J. Muñoz Arciniegas]*

Sin embargo, a medida que el número de longitudes de onda crece, hay que tener en cuenta varias consideraciones como el ancho y el espaciamiento del canal, la potencia óptica que se está transmitiendo por la fibra, efectos no lineales, cross-talk (diafonía), etc.

#### 4.1.1 Multiplexación por división en longitud de onda ligera (CWDM)

En CWDM, se utilizan hasta 18 longitudes de onda. La recomendación G.694.2 de ITU-T especifica que las longitudes de onda que se utilizan en la CWDM son de 1271nm a 1611nm, con un espaciamiento entre canales de 20nm.

Normalmente de las 16 longitudes de onda, se utilizan solo los 8 superiores, el espaciamiento es bastante amplio entre canales en CWDM, sin embargo, este amplio rango espectral no permite el uso de amplificadores de fibra dopada con erbio, que funcionan de forma óptima a unos 1550 nm y, por consiguiente, limita el rango máximo de los despliegues de CWDM a aproximadamente 60 u 80 km.

Además, las redes CWDM pueden escalarse a redes DWDM mediante el reemplazo de algunas tarjetas transceptoras (comúnmente de 1530 o 1550 nm) por tarjetas de DWDM, lo que mejora el ancho de banda de la fibra [EXFO\_2015].

#### 4.1.2 Multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM)

El campo de aplicación de DWDM se encuentra en redes de larga distancia de banda ultra-ancha, así como en redes metropolitanas o interurbanas de muy alta velocidad. A medida que crece la implementación de DWDM su costo va decreciendo progresivamente, debido básicamente a la gran cantidad de componentes ópticos que se fabrican. Consecuentemente, se espera que DWDM se convierta en una tecnología de bajo costo que permita su implantación en muchos tipos de redes.

En DWDM cada canal representa un flujo de datos montados sobre una portadora de distinta longitud de onda ( $\lambda$ ). Cada canal puede transportar información a distinta velocidad y proporcionar servicios diferentes (voz, datos, video, IP, ATM, etc.).

Actualmente, los sistemas comerciales DWDM presentan 16, 40 y 80 canales, y se puede alcanzar los 160 canales. Los sistemas con 40 canales presentan un espaciado entre canales de 100 GHz, los que tienen 80 canales tienen un espaciado de 50 GHz. Este espaciado en frecuencia indica la proximidad de los canales entre sí. Un canal no utiliza solamente una única longitud de onda, cada canal tiene un determinado ancho de banda alrededor de la longitud de onda central, cada banda se separa de la siguiente por una banda zona de guarda de varios GHz, de esta manera se busca evitar posibles solapes o interferencias entre canales adyacentes. Estos problemas se deben a derivas en los emisores láser por la temperatura o el tiempo, a que los

amplificadores ópticos no presentan una ganancia constante para todas las longitudes de onda y a los posibles efectos de dispersión, entre otros.

El número de canales depende también del tipo de fibra óptica empleada. Un único filamento de fibra monomodo puede transmitir datos a una distancia aproximada de 80 km sin necesidad de amplificación. Colocando 8 amplificadores ópticos en cascada, la distancia puede aumentar a 640 km.

Los sistemas DWDM pueden emplearse en numerosos tipos de redes, así como en los niveles de comunicación. Como ejemplo, los sistemas DWDM pueden emplearse en redes backbone (redes troncales que transportan una gran cantidad de datos con altísimas velocidades de transmisión) que cubren grandes áreas geológicas (continentes) o que conectan continentes entre sí (transoceánicos).

Por la creciente necesidad de ancho de banda por parte de aplicaciones que requieren grandes volúmenes de datos (smartphones, transmisión de vídeo, etc.), DWDM ahora ha encontrado su paso hacia las redes metropolitanas. [GARCÍA TOMÁS, J., RAYA CABRERA, J. L. Y RODRIGO RAYA, V., 2002]

#### **4.1.2.1 Características de la tecnología DWDM**

La tecnología DWDM ofrece mayor capacidad, ya que suministra espaciamientos de canales de 50 GHz (0,4 nm), 100 GHz (0,8 nm) o 200 GHz (1,6 nm), se pueden colocar

varios cientos de longitudes de onda en una sola fibra. La mayoría de los sistemas DWDM típicos utilizan 40 u 80 canales, aunque se pueden alcanzar los 160.

Las frecuencias establecidas en la norma ITU-T G.694.1 especifica las longitudes de onda utilizadas en DWDM, las cuales se encuentran en la banda C (1525-1565 nm) y la banda L (1565-1620 nm), que es un rango espectral muy atractivo para DWDM, por su baja atenuación. Esto permite la amplificación con amplificadores de fibra dopada con erbio (EDFA), con lo cual se puede cubrir distancias de hasta 640 km, con 8 amplificadores de línea (estaciones repetidoras).

DWDM es la tecnología más adecuada para la transmisión de larga distancia, por su habilidad para permitir la amplificación EDFA. Esta es la razón por la que se adopta el uso de estas redes desde hace algunas décadas [EXFO\_2015].

#### 4.1.3 Estructura de un Sistema WDM

Estructura general para un sistema WDM (Multiplexación por división de longitud de Onda) para N longitudes de onda [HUAWEI\_WDM Principio\_2006].

- **Unidad de Transporte Óptico (Optical Transport Unit - OTU):** Unidad encargada de adecuar las señales a transmitir (ópticas o eléctricas) en longitudes de ondas específicas para WDM.
- **Unidad de Multiplexación Óptica (Optical Multiplexer Unit - OMU):** Unidad encargada de juntar N longitudes de onda y transmitir las en un solo medio.

- **Unidad de Demultiplexación Óptica (Optical Demultiplexer Unit - ODU):**  
Unidad encargada de dividir las N longitudes de onda multiplexadas anteriormente en la etapa de recepción.
- **Amplificador Óptico (Optical Amplifier - OA):** Unidad encargada de amplificar la potencia de la señal multiplexada.
- **Canal de supervisión Óptico (Optical Supervisory Channel - OSC):** Esta unidad se encarga de transmitir y recibir la señal de supervisión para la gestión de los equipos.

La figura 4-3 muestra las conexiones entre las unidades descritas anteriormente:

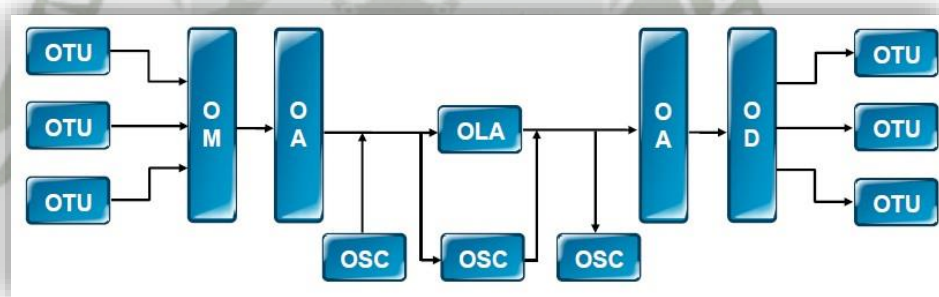


FIGURA 4-3 ESTRUCTURA DE UN SISTEMA WDM

Fuente: WDM Principle [HUAWEI\_2006]

## 4.2 Componentes de una red WDM

Como se sabe WDM (Multiplexación por división de longitud de Onda) sistema tecnologías clave. Para el desarrollo de una red WDM es necesario, fibra óptica, fuentes

ópticas, detector óptico, amplificadores ópticos, multiplexor y demultiplexor ópticos y tecnologías de supervisión [HUAWEI\_WDM Principle\_2006].

#### 4.2.1 Fibra Óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión de alta velocidad y gran ancho de banda en la actualidad, dado que presentan inmunidad a efectos electromagnéticos, esto ocurre porque el material del cual están fabricadas es un dieléctrico, vidrio o plástico transparente, por el cual viajan pulsos de luz procedentes de fuentes LED o Láser. El gran ancho de banda de la fibra óptica, excede ampliamente al de los cables de cobre. [Ricardo Alfonso Pinto y Andrés Felipe Cabezas, 2014]

#### 4.2.2 Fuentes Ópticas

El requerimiento de las fuentes ópticas es necesario que tengan mayor tolerancia a la dispersión y una longitud de onda estándar y estable. En las fuentes ópticas existen el modulador directo, el modulador externo Electro-Absorption (EA) y el modulador externo Mach-Zehnder (M-Z). En la siguiente tabla 4-1 se puede ver las diferencias que existen entre ellos [HUAWEI\_WDM Principle\_2006].

Tipos	Modulador Directo	Modulador Electro-Absortion (EA)	Modulador Mach-Zehnder (M-Z)
Max. Tolerancia a la Dispersión (ps/nm)	1200~4000	7200~12800	>12800
Costo	Moderado	Caro	Muy Caro
Longitud de Onda ( $\lambda$ )	Buena	Mejor	Superior

TABLA 4-1 COMPARACIÓN DE MODULADORES

Fuente: WDM Principle [HUAWEI\_2006]

#### 4.2.3 Receptor Óptico

En el caso del receptor óptico existen dos tipos, el tipo PIN (Fotodiodo Negativo Intrínseco Positivo) y el tipo APD (Fotodiodo de avalancha) [HUAWEI\_WDM Principle\_2006].

- **Receptor tipo PIN (Positive Intrinsic Negative Photodiode):** Tienen baja sensibilidad (alrededor de los -20 dBm) y una alta sobrecarga (alrededor de los 0 dBm), son aplicados en transmisión de corta distancia y son de bajo costo.
- **Receptor tipo APD (Avalanche Photodiode):** Tienen alta sensibilidad (alrededor de los -28 dBm) y una baja sobrecarga (alrededor de los -9 dBm), son aplicados en transmisión de larga distancia y tienen un costo más elevado que los del tipo PIN.

#### 4.2.4 Amplificador Óptico

El amplificador óptico se encarga de generar una réplica de la señal de entrada, pero con mayor nivel de potencia, operando completamente en el dominio óptico.

El amplificador óptico es necesario para la transmisión a largas distancias y tienen como objetivo amplificar la señal óptica sin necesidad de convertirla en una señal eléctrica.

El funcionamiento que tiene es independiente al tipo de modulación de la señal. La ganancia de un amplificador óptico no es uniforme, por lo que se tiene que equalizar la señal multiplexada en WDM. Existen dos tipos de amplificadores ópticos, los amplificadores de fibra dopada con erbio (EDFA) y los amplificadores Raman (RFA) [HUAWEL\_WDM Principle\_2006].

##### 4.2.4.1 Amplificador de fibra dopada con Erblio (Erbium doped Fiber Amplifier- EDFA)

El amplificador EDFA, en su interior tiene una fibra dopada con erbio, la cual es excitada por un haz de luz, este haz de luz se mezcla con señal de entrada, la señal de entrada y la luz de excitación debe estar en diferente longitud de onda. La mezcla de luz es guiada en una sección de fibra con iones de erbio incluidos en el núcleo. Este haz de luz de alta potencia excita los iones de erbio a su estado de mayor energía. Así la señal se amplifica a lo largo de su dirección de viaje.

#### **Ventajas del amplificador EDFA:**

- Consecuente con la mínima atenuación de la ventana de trabajo.
- Alta ganancia con bajo “cross-talk”.
- Buena estabilidad en la ganancia.

#### **Desventajas del amplificador EDFA:**

- La ganancia es fija para un determinado rango de longitud de onda.
- El ancho de banda de la ganancia no es plana para todas las longitudes de onda.

#### **4.2.4.2 Amplificador de fibra Raman (Raman Fiber Amplifier - RFA)**

El amplificador Raman está basado en las características físicas del efecto no lineal SRS (Stimulated Raman Scattering); el fenómeno de amplificación consiste en utilizar luz de bombeo para convertir a la fibra óptica en un medio de transmisión donde la fibra actúa como un amplificador óptico de gran longitud, proporcionando ganancia sobre las señales que se propagan por su interior. La luz de bombeo es de una longitud de onda baja (frecuencia 13THz). [CONECTRONICA\_2009]

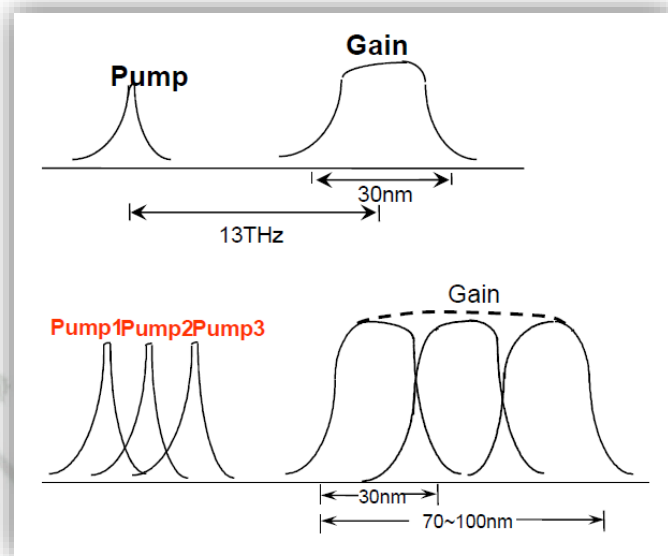


FIGURA 4-4 POTENCIA DE BOMBEO Y ZONA DE GANANCIA DE UN AMPLIFICADOR RAMAN (RFA)

*Fuente: WDM Principle [HUAWEI\_2006]*

#### Ventajas del amplificador Raman:

- Ganancia flexible en determinadas longitudes de onda.
- El efecto no lineal se puede reducir
- Menor factor de ruido a comparación de los amplificadores EDFA.
- La ganancia es la fibra de transmisión propiamente dicha.

#### Desventajas del amplificador Raman:

- Potencia alta de bombeo, baja eficiencia y costo alto.
- Los componentes y la fibra óptica soportan una potencia alta.

Aplicación de los amplificadores ópticos figura 4-5.

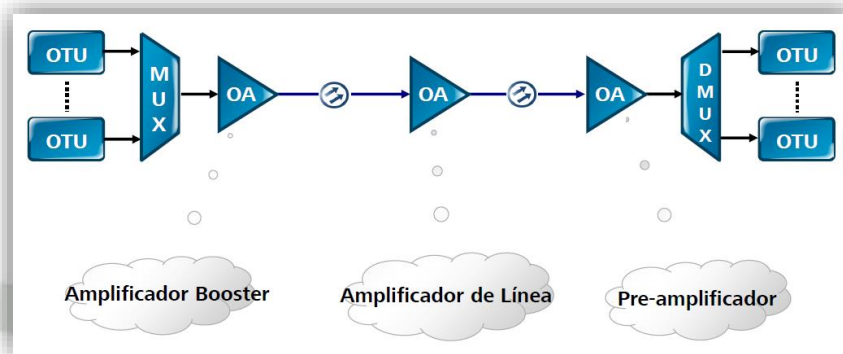


FIGURA 4-5 APLICACIÓN DE LOS AMPLIFICADORES ÓPTICOS (OA)

Fuente: WDM Principle [HUAWEI\_2006]

#### 4.2.5 Multiplexor (MUX) y Demultiplexor Óptico (DMUX)

Los multiplexores ópticos (MUX) son usados para combinar varias señales en una sola fibra óptica para su transmisión, en el caso de los demultiplexores ópticos (DMUX) son usados para separar la señal multiplexada en varias señales figura 4-6.

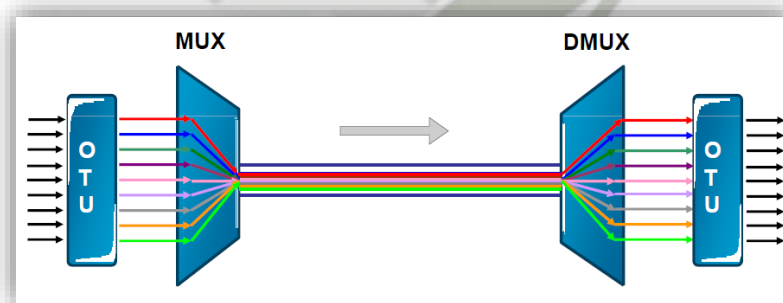


FIGURA 4-6 MULTIPLEXOR ÓPTICO (MUX) Y DEMULTIPLEXOR ÓPTICO (DMUX)

Fuente: WDM Principle [HUAWEI\_2006]

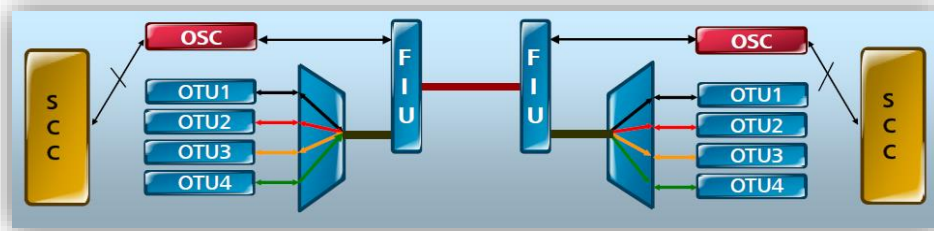
#### 4.2.6 Tecnologías de supervisión

La tecnología de supervisión lleva la información de las condiciones de los terminales, se utiliza para la actualización de software y gestión de la red. Mediante la SCC (sistema de unidad de control y comunicación) la cual trabaja con el sistema de gestión de red, para gestionar cada tarjeta y se encarga de la comunicación interna entre los equipos.

Se tiene dos tipos de tecnologías de supervisión, la tecnología de canal de supervisión óptico (Optical Supervisory Channel Technology - OSC) y la tecnología de canal de supervisión eléctrico (Electrical Supervisory Channel Technology - ESC) [HUAWEI\_WDM Principle\_2006].

##### 4.2.6.1 Canal de supervisión óptico (Optical Supervisory Channel Technology - OSC)

El canal de supervisión óptico trabaja a diferente longitud de onda que la de los amplificadores, la longitud de onda donde opera no debe trabajar en la ventana 1310nm. Este canal debe estar disponible cuando falle los amplificadores ópticos figura 4-7.

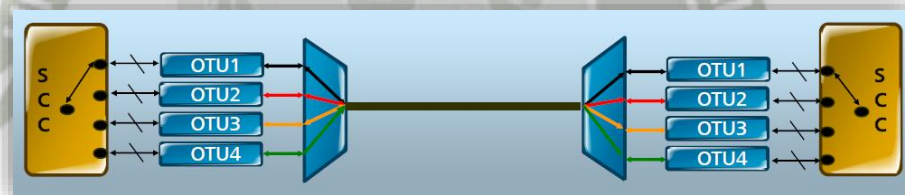


**FIGURA 4-7 OPTICAL SUPERVISORY CHANNEL TECHNOLOGY (OSC)**

*Fuente: WDM Principle [HUAWEI\_2006]*

#### 4.2.6.2 Canal de supervisión eléctrico (Electrical Supervisory Channel Technology – ESC)

El canal de supervisión eléctrico es una estructura simple y soporta redundancia figura 4-8.



**FIGURA 4-8 ELECTRICAL SUPERVISORY CHANNEL TECHNOLOGY (ESC)**

*Fuente: WDM Principle [HUAWEI\_2006]*

#### 4.3 Red de Transporte Óptico (Optical Transport Network - OTN)

Una red de transporte óptico (OTN) está compuesta por un grupo de elementos de red conectados por enlaces de fibra óptica y está en capacidad de proporcionar

funcionalidad de transporte, multiplexación, enrutamiento, administración, supervisión y autosostenimiento de las señales de los clientes de acuerdo a los requerimientos dados en la recomendación G.872 de la ITU.

#### 4.3.1 Encapsulamiento OTN

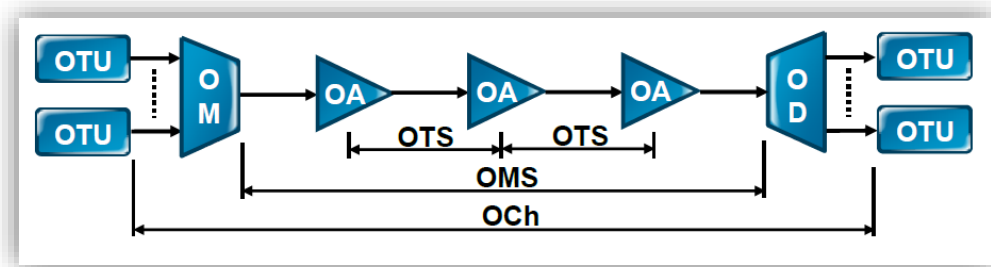
En la figura 4-9 se puede observar el encapsulamiento OTN, el cual consta de 3 etapas:

- Sección de transporte óptico OTS (Optical Transmission Section).
- Sección de multiplexación óptica OMS (Optical Multiplex Section).
- Canal óptico OCh (Optical Channel).

Donde:

- El canal óptico (OCh) es la conexión entre usuarios finales.
- La sección de multiplexación óptica (OMS) es el tramo entre el multiplexor y el demultiplexor.
- La sección de transmisión óptica (OTS) es la sección de transporte entre dos puntos.

[HUAWEI\_OptiX WDM Network Planning and Design\_2008].

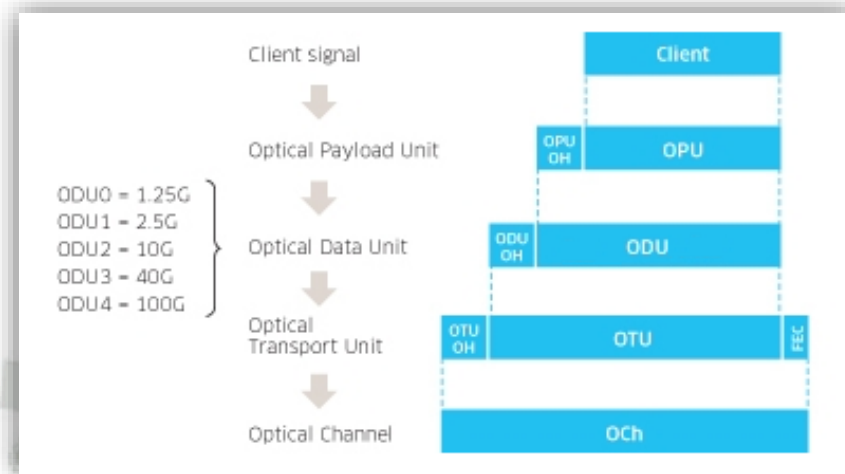


**FIGURA 4-9 RED DE TRANSPORTE ÓPTICO (OTN)**

*Fuente: OptiX WDM Network Planning and Design [HUAWEI\_2008]*

Para el transporte de una señal cliente dentro de una red de transporte óptico (OTN), esta debe someterse a un proceso de encapsulación de cabeceras (OH), con el fin de asegurar la supervisión de extremo a extremo.

Dicho encapsulamiento se puede visualizar en la figura 4-10, la señal cliente se encapsula para poder pasar a la capa de unidad de carga óptica (Optical Payload Unit – OPU) en donde se ajusta la tasa de la señal a la tasa de la trama OPU. Una vez que se tiene la señal OPU ésta es encapsulada en la capa de unidad de datos ópticos (Optical Data Unit – ODU) donde se agregan cabeceras para el monitoreo extremo a extremo y finalmente, la trama ODU se encapsula en la unidad terminal óptica (Optical Terminal Unit – OTU) donde se añade una cabecera que proporciona entramado y agrega mecanismo FEC para corrección de errores. [EXFO\_OTN (G.709) Reference Guide\_2013].



**FIGURA 4-10 ENCAPSULAMIENTO OTN**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 4.3.2 Interfaz y velocidad (G.709)

La UIT-T G.709 define los estándares de las interfaces y velocidades basadas en las velocidades existentes de SONET/SDH, junto con los servicios basados en paquetes incluyendo ethernet y canales de fibra.

Al tomar en cuenta la sobrecarga adicional y la información FEC (forward error correction), las interfaces resultan operar a velocidades más o menos 7% mayor que las velocidades de SONET/SDH.

La tabla 4-2 define la lista de interfaces y velocidades de G.709, correspondiente a SONET/SDH, junto con los servicios basado en paquetes que incluyen ethernet y canal de fibra. [EXFO\_OTN (G.709) Reference Guide\_2013].

Interfaz OTN	Velocidad	Servicio Correspondiente
<b>ODU0 (virtual)</b>	1.244 Gbit/s	Gig-E OC-3/STM-1 OC-12/STM-4
<b>OTU1</b>	2.666 Gbit/s	OC-48/STM-16
<b>OTU2</b>	10.709 Gbit/s	OC-192/STM-64 10 GigE LAN (using GFP-F)
<b>OTU1e</b>	11.0491 Gbit/s (without stuffing bits)	10 GigE LAN (direct mapping over OTN)
<b>OTU2e</b>	11.0957 Gbit/s (with stuffing bits)	10 GigE LAN (direct mapping over OTN)
<b>OTU1f</b>	11.27 Gbit/s (without stuffing bits)	10G Fibre Channel
<b>OTU2f</b>	11.3 Gbit/s (with stuffing bits)	10G Fibre Channel
<b>OTU3</b>	43.018 Gbit/s	OC-768/STM-256 40GE
<b>OTU3e1</b>	44.57 Gbit/s	4X ODU2e (uses 2.5G TS; total of 16)
<b>OTU3e2</b>	44.58 Gbit/s	4X ODU2e (uses 1.25G TS; total of 32)
<b>OTU4</b>	111.81 Gbit/s	100GE

**TABLA 4-2 VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN G.709**

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.4 Características de Transmisión de la Fibra Óptica

En la transmisión de fibra óptica existen algunas características las cuales determinan la capacidad de transmisión, y la longitud del enlace. Las principales características son la atenuación y el ancho de banda (dispersión).

#### 4.4.1 Atenuación

La atenuación es la potencia óptica que una señal pierde al propagarse por la fibra óptica (medio de transmisión) y se expresa como la diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida de la señal (en dB).

$$\text{Atenuación}(dB) = P_i (dB) - P_o(dB) \dots (1)$$

La atenuación también puede ser calculada con el coeficiente de atenuación de la fibra óptica y la longitud de la misma, según la siguiente fórmula.

$$\text{Atenuación}(dB) = \text{Longitud de la fibra (km)} \times \text{Coeficiente de Atenuación (dB/Km)} \dots (2)$$

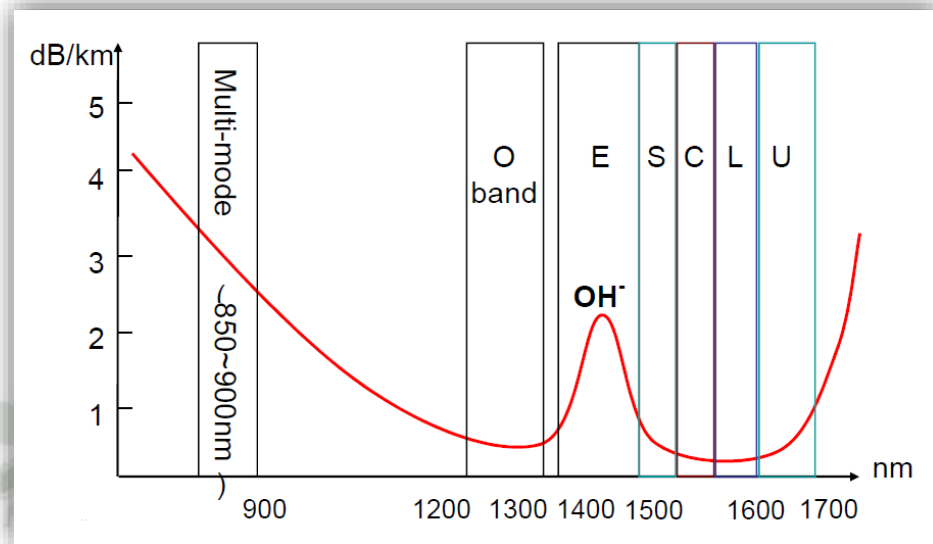
La atenuación de la fibra óptica se presenta por los siguientes factores:

**Factores Extrínsecos:** Pérdidas por curvatura, defectos de fabricación, instalación, pérdidas por conexión y empalmes.

**Factores Intrínsecos:** Pérdidas por la composición de la fibra óptica, pérdida por absorción y reflexión de Fresnel.

El factor de atenuación intrínseco limita el rango de longitudes de onda de trabajo, la atenuación alrededor de 1380 nm sube bruscamente debido a la absorción por

los iones hidroxilo. Esto es generalmente llamado "pico de agua", como se puede observar en la figura 4-11.



**FIGURA 4-11 BANDAS DE TRABAJO EN LA FIBRA ÓPTICA**

*Fuente: WDM Principle [HUAWEI\_2006]*

Como podemos ver, la atenuación en la banda C y banda L es la más baja, por lo cual son las bandas de trabajo para la fibra óptica en un sistema DWDM. Y en el caso de CWDM, se utilizan múltiples bandas, que van desde 1311nm hasta 1611nm, debido a que la atenuación no es un factor importante en la transmisión de corta distancia. [HUAWEI\_WDM Principle\_2006].

En la tabla 4-3 podemos observar los rangos de longitud de onda en WDM (multiplexación por división de longitud de onda).

Band	Description	Range (nm)	Bandwidth (nm)
<b>O band</b>	Original	1290-1360	100
<b>E band</b>	Extension	1360-1460	100
<b>S band</b>	Short	1460-1525	65
<b>C band</b>	Normal	1525-1565	40
<b>L band</b>	Long	1565-1625	60
<b>U band</b>	Ultra-long	1625-1675	50

**TABLA 4-3 RANGOS DE LONGITUD DE ONDA EN WDM**

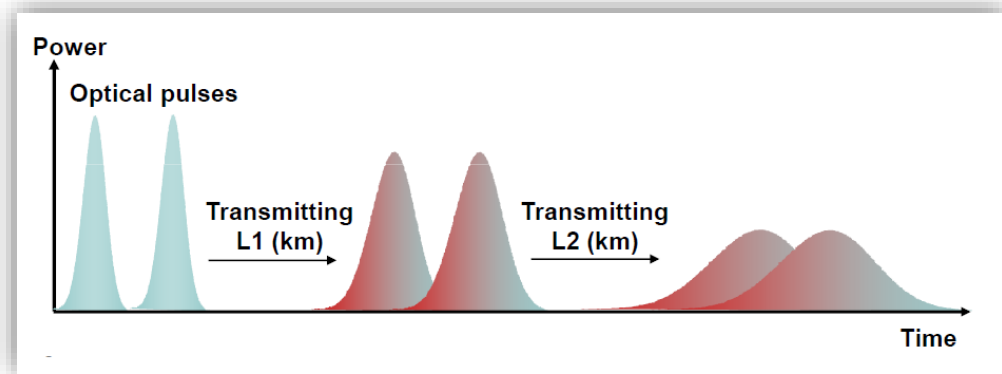
*Fuente: WDM Principle [HUAWEI\_2006]*

#### 4.4.2 Dispersión

La dispersión es un fenómeno físico de la distorsión de la señal causado que las longitudes de onda se propagan a diferente velocidad, originando un incremento en la anchura del pulso, generando la dispersión [HUAWEI\_WDM Principle\_2006].

##### 4.4.2.1 Dispersión Cromática

La dispersión cromática es la distorsión espectral de un pulso óptico conforme se propaga por la fibra óptica. Esto se puede apreciar en la figura 4-12.



**FIGURA 4-12 DISPERSIÓN CROMÁTICA**

*Fuente: WDM Principle [HUAWEI\_2006]*

Para expresar este parámetro se hace con la longitud de la fibra óptica y el coeficiente de dispersión cromática expresado en ps/nm x Km, según la siguiente fórmula [HUAWEI\_WDM Principle\_2006].

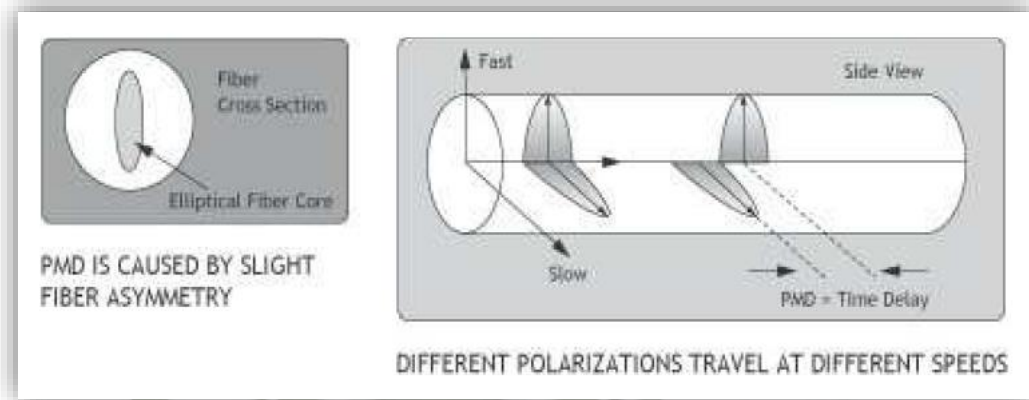
$$\text{Disp Cromática (ps/nm)} = \text{Longitud de la fibra (km)} \times \text{Coeficiente de Disp Cromática (ps/nm x Km)} \dots$$

(3)

#### 4.4.2.2 Dispersión por Modo de Polarización (Polarization Mode Dispersión - PMD)

La dispersión por modo de polarización (PMD) se produce cuando dos componentes ortogonales de la polarización viajan a diferentes velocidades en la fibra óptica, esto se debe a una leve deformación en la asimetría de la fibra óptica. El PMD es uno de

los parámetros más críticos relacionados con fibras ópticas, el cual se produce de manera aleatoriamente, por lo tanto, es una variable aleatoria. Figura 4-13.



**FIGURA 4-13 DISPERSIÓN POR MODO DE POLARIZACIÓN (PMD)**

*Fuente: WDM Principle [HUAWEI\_2006]*

La dispersión por modo de polarización (PMD) tiene el mismo impacto que tiene la dispersión cromática la cual resulta en ensanchamiento del pulso. El PMD puede ser hallado mediante la siguiente fórmula [HUAWEI\_WDM Principle\_2006].

$$\text{Disp PMD (ps/nm)} = \text{Coeficiente de Disp PMD (ps/nm x Km)} \times (\text{Longitud de la fibra (km)}) - 1 \dots(4)$$

## CAPÍTULO 5 - INGENIERA DEL PROYECTO

### 5.1 Proveedor de equipos DWDM

Para la selección del proveedor de equipos para una red de transporte DWDM, se tiene a Huawei, Alcatel-Lucent, ZTE y Ciena, los cuales son los líderes en el mercado de hardware óptico, en la tabla 5-1 se puede observar las principales prestaciones de los equipos DWDM según proveedor.

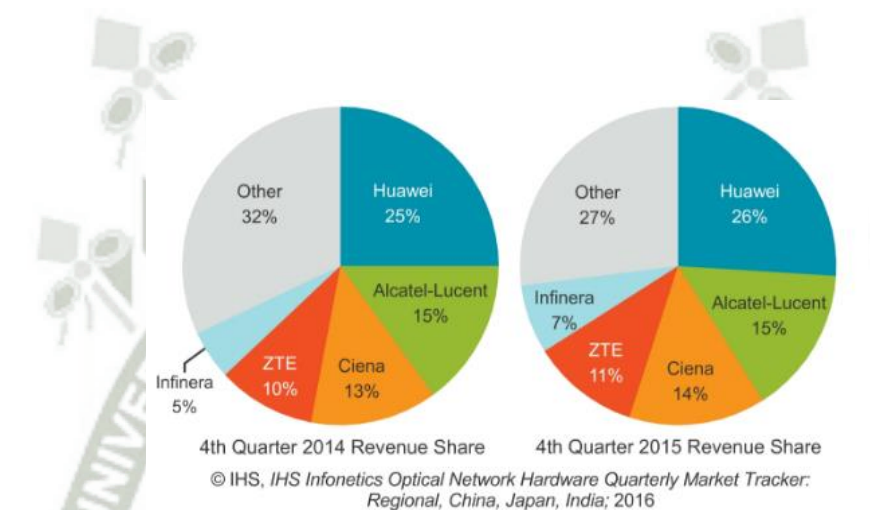
<b>HUAWEI</b>	<b>ALCATEL-LUCENT</b>	<b>ZTE</b>	<b>CIENA</b>
<b>OSN 6800</b>	<b>1626 Light Manager</b>	<b>ZXWM M900</b>	<b>WDM 4200-RS</b>
Tecnología G.709 OTN	Tecnología G.709 OTN	Tecnología G.709 OTN	Tecnología G.709 OTN
Agregación de Servicios SONET/SDH, ETH, video (HDTV, DVB-ASI, SDI, FDDI).	Agregación de servicios SONET/SDH,	Agregación de servicios STMx, ETH, FICON, ESCON, FC, ATM, PDH.	Agregación de servicios SONET/SDH, ETH, video (DVB, SD-SDI, and HD-SD).
Funcionalidad ROADM.	Funcionalidad ROADM.	Funcionalidad ROADM.	Funcionalidad ROADM.
Capacidad de 80 x 40G	Capacidad de 96 x 10G o 80 x 40 G	Capacidad de 192 x 10G ó 96 x 40G	Capacidad de 480G. Interfaces de cliente: 96 x 2.7 G ó 64 x 10G.
Crosconexión Multidimensional de longitudes de onda, reduce los costos de conversión O-E-O.	Tecnología ASON/GMPLS	Bajo consumo de energía el MUX/DMUX (20% y 50%) menor.	
Tecnología ASON/GMPLS			

**TABLA 5-1 COMPARACIÓN DE PRESTACIONES DE EQUIPOS DWDM DE PRINCIPALES**

#### PROVEEDORES

*Fuente: Elaboración propia*

Parte del análisis se considera la experiencia de los proveedores, para lo cual se toma como referencia a Infonetics Research, que forma parte de IHS (NYSE: IHS), es una firma internacional de investigación y consultoría de mercados que sirve a la industria de las comunicaciones desde 1990. Líder en la definición y seguimiento de tecnologías emergentes y establecidas en todas las regiones del mundo, figura 5-1.



**FIGURA 5-1 LÍDERES EN EL MERCADO DEL HARDWARE ÓPTICO**

*Fuente: IHS Infonetics, Optical Network Hardware*

Por lo anteriormente expuesto se escoge al proveedor Huawei, presenta la tecnología ASON que permite la conmutación automática a nivel óptico, y la crosconexión multidimensional de longitudes de onda, lo cual reduce los costos de conversión O-E-O, lo que no presentan las otras marcas, dejándolo un paso más adelante sobre los otros proveedores, además presenta los precios más bajos del mercado.

Como se puede observar en la figura 5-1, Huawei tiene una alta participación en el mercado lo que le da respaldo para la implementación de redes de transporte a nivel internacional, por tal motivo Telefónica del Perú emplea el equipo OSN6800 el enlace DWDM entre Arequipa – Cusco.

OptiX OSN6800 se ha convertido en la primera opción para los operadores. Al entregar alta capacidad, flexibilidad y seguridad. Es una plataforma WDM multiservicio inteligentes basada en OTN/ASON (red de transporte óptico/red óptica de conmutación automática), con capacidad para multiplexar, transportar y conmutar datos a gran velocidad. El equipo OSN6800 emplea el protocolo de envoltura digital G.709 que permite un acceso transparente con 16 Mbps a 40 Gbps (IP/Ethernet, ATM, SDH, fibra canal, ESCON, video digital, etc.) o velocidad binaria (16 Mb/s a 2,5 Gbps, 5 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps, etc.), que combina con la evolución de TDM a IP.

Este dispositivo, como muchos de la familia de HUAWEI, se compone de una unidad central, o chasis, y de varios módulos o tarjetas que se agregan según las necesidades del cliente. Así se garantiza que se pueda realizar una actualización rápida cuando sea necesaria. [HUAWEI\_OptiX\_OSN\_6800\_Product\_Overview]

## 5.2 Planteamiento

Para el diseño de un enlace DWDM se debe tener en consideración la distancia, para poder calcular los valores de la atenuación, dispersión y OSNR (Relación señal / ruido óptico) de la fibra óptica.

La distancia entre las ciudades de Arequipa y Cusco es aproximadamente de 400 kilómetros, dado que no existen amplificadores de línea óptica (estaciones repetidoras) donde se pueda amplificar la señal óptica, se implementa una estación regeneradora, con lo cual se realiza la conversión de O/E/O, para evitar el incremento del OSNR el cual se incrementa al amplificar la señal, y para reducir la atenuación de la fibra óptica debido a distancia del enlace, asimismo la estación de Tintaya es usada para poder bajar servicios, se tiene previsto implementar un enlace entre Tintaya – Juliaca, para poder crear anillos. La estación regeneradora (REG) se implementa en la mina Tintaya ubicada en la localidad de Espinar, la cual se encuentra aproximadamente a 220 kilómetros de la ciudad de Arequipa y 180 kilómetros de la ciudad de Cusco.

## 5.3 Características Técnicas de la Fibra

La fibra óptica utilizada es la G.652.D. esta fibra óptica es de tipo monomodo, la cual presenta baja atenuación y dispersión entre los 1260 - 1625 nm. 03\_ANEXO.

La fibra óptica monomodo G.652D ha suprimido la pérdida de pico de agua de la fibra óptica monomodo ordinaria cerca de 1383nm debido a la absorción de los iones de

hidroxilo, ha expandido la ventana de trabajo a la banda de onda E (1360~1460nm), de tal manera que aumente el ancho de banda espectral de aprox. 100nm.

La fibra óptica monomodo G.652D ha mejorado el rendimiento anti-macrocurvatura de la banda de onda L (1565~1625nm), favoreciendo la transmisión en DWDM.

Asimismo, la recomendación de la UIT-T G.652 concluye que la fibra óptica G.652.D es la más adecuada para las redes dorsales.

## 5.4 Diseño de la red DWDM

### 5.4.1 Atenuación del medio de transmisión

Con la atenuación del medio de transmisión podremos determinar cuántos dB es atenuada la potencia óptica, según lo longitud del enlace. Con esta información se determinará los amplificadores del enlace. [OptiX WDM Network Planning and Design\_2008]

Para calcular la atenuación del medio de transmisión se tiene la siguiente fórmula:

$$A = (\alpha \times D) + M \dots (5)$$

Donde:

*A: Atenuación de la Fibra*

*D: Distancia del enlace (Km)*

$\alpha$ : Coeficiente de Atenuación de la Fibra (dB/Km) (Tipo fibra G.652.D que tiene un coeficiente de atenuación de 0.35 dB/Km.)

M: Margen (dB) (Este parámetro considera la pérdida por empalmes, ODFs y otros factores atenuantes. Se considera un valor de 6 dB).

En la tabla 5-2 se observa los resultados de las atenuaciones obtenidas por enlace:

Enlace		Distancia (Km)	Atenuación (dB)
Arequipa	Tintaya	220	-54.4
Tintaya	Cusco	180	-45.6

**TABLA 5-2 DISTANCIA Y ATENUACIÓN DEL LOS ENLACES**

*Fuente: Elaboración propia*

Dada la distancia y la atenuación, se emplean aplicadores de fibra raman (RFA) y amplificadores con fibra dopada de erbio (EDFA).

El amplificador de fibra raman es usado por que reduce los efectos del ruido que genera los amplificadores EDFA mejorando la relación señal a ruido óptico (OSNR), normalmente es usado para distancias largas, a comparación de los amplificadores EDFA a mayor distancia del enlace se incrementa el ruido óptico, es por ese motivo que los amplificadores EDFA se usan en distancias más cortas (aproximadamente 80 km) donde cada cierto tramo se puede ir implementando una estación OLA

(Amplificador de línea óptica) para la implantación de un enlace en un ámbito urbano.

Por tal motivo ambos tipos de amplificadores se utilizan de forma complementaria en distancias largas.

#### 5.4.2 Cálculo de la Dispersión Cromática

Para poder compensar la distorsión de la señal multiplexada en los enlaces, se utilizan los módulos DCM los que compensan la dispersión cromática. Con la siguiente fórmula se determina la distancia máxima con la cual el enlace no presenta problemas. [OptiX WDM Network Planning and Design\_2008]

$$\text{Distancia Límite de Dispersión (km)} = \frac{\text{Tolerancia de dispersión } \left(\frac{\text{ps}}{\text{nm}}\right)}{\text{Coeficiente de dispersión } \left(\frac{\text{ps}}{\text{nm}} \times \text{km}\right)} \dots (6)$$

Donde:

*Máxima tolerancia a la dispersión en enlaces de 10 Gbps=800 ps/nm*

*Coeficiente de Dispersión Cromática para fibra G.652=17 ps/nm x Km*

Reemplazando los valores en la fórmula se obtiene una distancia de 47 km, dado que la distancia del enlace supera los 47 Km, se necesita utilizar módulos DCM para poder compensar la dispersión cromática.

El enlace implementado tiene como propósito ir incorporando más longitudes de ondas, por lo cual el enlace esta dimensionado para futuras velocidades de transmisión 40 Gbps y de 100 Gps, los cuales presentaran una tolerancia a la dispersión mucho más sensible que los sistemas de 10 Gbps. En la tabla 5-3 se puede observar los tipos de DCM.

Item Type	Distance (km)	Max. Insertion Loss(dB)
DCM(S) 5 km	5	2.3
DCM(T) 10 km	10	2.8
DCM(A) 20 km	20	3.3
DCM(B) 40 km	40	4.7
DCM(C) 60 km	60	6.4
DCM(D) 80 km	80	8
DCM(E) 100 km	100	9
DCM(F) 120 km	120	9.8

TABLA 5-3 TIPOS DE MÓDULOS DCM

Fuente: *OptiX WDM Network Planning and Design\_HUAWEI\_2008*

Como se sabe los módulos DCM incrementan la atenuación del enlace porque se debe evitar tener más de un DCM por estación. Para el enlace se necesita colocar un DCM(A) en la transmisión de cada estación con el fin de tener una pre-compensación (DCM de 20 Km).

Para el enlace se tiene la siguiente configuración de DCM's.

### Enlace Arequipa - Cusco (400 Km)

Este enlace tiene 400 kilómetros de distancia y tiene 1 estación REG intermedia. Para este caso se utiliza un DCM (A) para la pre-compensación en el lado de la transmisión en Arequipa, Tintaya y Cusco.

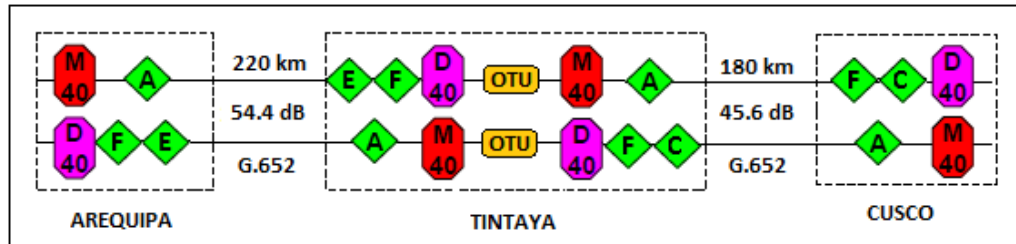


FIGURA 5-2 SISTEMA DE DISPERSIÓN ENLACE AREQUIPA – CUSCO

*Fuente: Elaboración propia*

En la estación OTM (terminal óptica de multiplexación) de Arequipa se usa dos DCM, uno de 120 km (F) y el otro de 100 km (E), para compensar los 220 km entre Tintaya y Arequipa.

En la estación REG (regenerador) de Tintaya se usa cuatro DCM, uno de 120 km (F) y el otro de 100 km (E), para compensar los 220 km entre Arequipa y Tintaya, otro de 120 km (F) y uno de 60 km (C), para compensar los 180 km entre Cusco y Tintaya.

En la estación OTM (terminal óptica de multiplexación) de Cusco se usa dos DCM, uno de 120 km (F) y el otro de 60 km (C), para compensar los 180 km entre Cusco y Tintaya.

Y en todas las estaciones se utiliza DCM tipo A para compensar la dispersión residual, la cual se genera por el arreglo de DCM dado que las distancias no son exactas.

### 5.4.3 Cálculo de Potencias del enlace

Para el cálculo de potencias en el enlace se considera las pérdidas de inserción que producen los componentes DWDM. [OptiX OSN 6800 Cálculo de Potencia Óptica\_HUAWEI\_2008] Tabla 5-4.

COMPONENTE DWDM	PÉRDIDA DE INSERCIÓN
MUX	$\leq 6.5$ dB
ITL	$\leq 4$ dB
FIU	$\leq 1$ dB
DMUX	$\leq 6.5$ dB

**TABLA 5-4 PÉRDIDA DE INSERCIÓN DE CADA COMPONENTE DWDM**

*Fuente: Elaboración propia*

También se debe considerar la pérdida de inserción de los módulos DCM. En la tabla 5-4 se muestran las pérdidas por inserción de los módulos empleados en el enlace.

Item Type	Distance (km)	Max. Insertion Loss(dB)
DCM(A) 20 km	20	3.3
DCM(C) 60 km	60	6.4
DCM(E) 100 km	100	9
DCM(F) 120 km	120	9.8

**TABLA 5-5 TIPOS DE MÓDULOS DCM**

*Fuente: OptiX WDM Network Planning and Design [HUAWEI\_2008]*

Para poder realizar el cálculo de potencias se debe tener en cuenta la señal multiplexada, es necesario entender el concepto “potencia por lambda y potencia total”. La potencia por lambda es el valor de una señal multiplexada cuando sólo tiene una lambda habilitada y la potencia total es el valor de la señal multiplexada cuando todas sus lambdas se encuentran habilitadas; ambos valores se relacionan mediante la siguiente fórmula [OptiX OSN 6800 Cálculo de Potencia Óptica\_HUAWEI\_2008].

$$P_{total}(dB_m) = P\lambda(dB_m) + 10 \log(N)(dB) \dots (7)$$

Donde:

*N*: representa el número de lambdas que en este caso es 40

*Pλ*: representa a la potencia por lambda promedio

#### 5.4.3.1 Cálculo de Potencias del enlace Arequipa – Tintaya

Se debe considerar las especificaciones técnicas de la tarjeta LSX, los rangos de potencia de transmisión y potencia de recepción (Puerto IN/OUT), Ptx [-3;2] Prx [-16;0]. Para el cálculo de potencias se utiliza la potencia más baja de transmisión Ptx: -3dBm.

Los amplificadores a utilizar son los HBA (ganancia fija de 29dBm) y los OAU101 (ganancia variable de 20dBm) los utilizamos en la recepción, un amplificador con la

ganancia fija a 20dBm y a continuación utilizamos otro amplificar OAU101 para poder variar la potencia de recepción, y el caso de los amplificadores RAMAN (ganancia de 29 dBm) se fija su ganancia a la mitad para poder subir o bajar la potencia para poder tener una óptima potencia de recepción. Tabla 5-6.

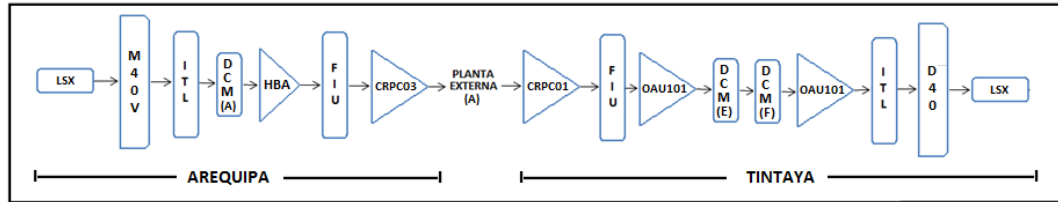


FIGURA 5-3 ENLACE AREQUIPA – TINTAYA

Fuente: Elaboración propia

Transmisión		Recepción Tintaya	
<b>P<sub>LSX</sub> (dBm)</b>	-3	<b>P<sub>TX</sub> (dBm)</b>	<b>24.2</b>
<b>P<sub>I<sub>M40V</sub></sub> (dBm)</b>	-6.5	<b>Planta externa (A) (dBm)</b>	-54.4
<b>P<sub>I<sub>ITL</sub></sub> (dBm)</b>	-1	<b>Gain<sub>CRPC01</sub> (dBm)</b>	10
<b>P<sub>I<sub>DCM(A)</sub></sub> (dBm)</b>	-3.3	<b>P<sub>I<sub>FIU</sub></sub> (dBm)</b>	-1
<b>Gain<sub>HBA</sub> (dBm)</b>	29	<b>Gain<sub>OAU101</sub> (dBm)</b>	20
<b>P<sub>I<sub>FIU</sub></sub> (dBm)</b>	-1	<b>P<sub>I<sub>DCM(E)</sub></sub> (dBm)</b>	-9
<b>Gain<sub>CRPC03</sub> (dBm)</b>	10	<b>P<sub>I<sub>DCM(F)</sub></sub> (dBm)</b>	-9.8
<b>P<sub>TX</sub> (dBm)</b>	<b>24.2</b>	<b>Gain<sub>OAU101</sub> (dBm)</b>	18
		<b>P<sub>I<sub>ITL</sub></sub> (dBm)</b>	-1
		<b>P<sub>I<sub>D40</sub></sub> (dBm)</b>	-6.5
		<b>P<sub>RX</sub> (dBm)</b>	<b>-9.5</b>

TABLA 5-6 CÁLCULO DE POTENCIAS AREQUIPA – TINTAYA

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar se tiene una potencia de recepción de  $-9.5$  dBm, la cual está dentro de los parámetros de recepción de la tarjeta LSX, Prx  $[-16;0]$ .

Dado que se tiene un enlace punto a punto, el sistema de amplificación para el enlace Tintaya – Arequipa, el cálculo de potencias será el mismo que el enlace Arequipa – Tintaya.

#### 5.4.3.2 Cálculo de Potencias del enlace Tintaya – Cusco

Se debe considerar las especificaciones técnicas de la tarjeta LSX, los rangos de potencia de transmisión y potencia de recepción (Puerto IN/OUT), Ptx  $[-3;2]$  Prx  $[-16;0]$ . Para el cálculo de potencias se utiliza la potencia más baja de transmisión Ptx:  $-3$ dBm.

Los amplificadores a utilizar son los HBA (ganancia fija de  $29$ dBm) y los OAU101 (ganancia variable de  $20$ dBm) los utilizamos en la recepción, un amplificador con la ganancia fija a  $20$ dBm y a continuación utilizamos otro amplificar OAU101 para poder variar la potencia de recepción, y el caso de los amplificadores RAMAN (ganancia de  $29$  dBm) se fija su ganancia a la mitad para poder subir o bajar la potencia para poder tener una óptima potencia de recepción. Tabla 5-7.

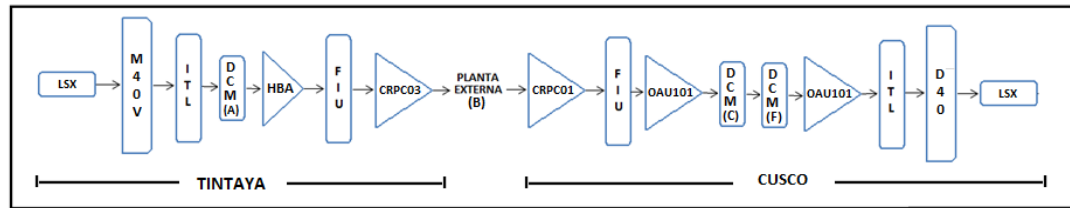


FIGURA 5-4 ENLACE TINTAYA – CUSCO

Fuente: Elaboración propia

Transmisión		Recepción Tintaya	
<b>P<sub>LSX</sub> (dBm)</b>	-3	<b>P<sub>TX</sub> (dBm)</b>	<b>24.2</b>
<b>P<sub>IM40V</sub> (dBm)</b>	-6.5	<b>Planta externa (B) (dBm)</b>	-45.6
<b>P<sub>ITL</sub> (dBm)</b>	-1	<b>Gain<sub>CRPC01</sub> (dBm)</b>	10
<b>P<sub>IDCM(A)</sub> (dBm)</b>	-3.3	<b>P<sub>FIU</sub> (dBm)</b>	-1
<b>Gain<sub>HBA</sub> (dBm)</b>	29	<b>Gain<sub>OAU101</sub> (dBm)</b>	20
<b>P<sub>FIU</sub> (dBm)</b>	-1	<b>P<sub>IDCM(C)</sub> (dBm)</b>	-6.4
<b>Gain<sub>CRPC03</sub> (dBm)</b>	10	<b>P<sub>IDCM(F)</sub> (dBm)</b>	-9.8
<b>Planta externa (dBm)</b>	-54.4	<b>Gain<sub>OAU101</sub> (dBm)</b>	7
<b>P<sub>TX</sub> (dBm)</b>	<b>-30.2</b>	<b>P<sub>ITL</sub> (dBm)</b>	-1
		<b>P<sub>ID40</sub> (dBm)</b>	-6.5
		<b>P<sub>RX</sub> (dBm)</b>	<b>-9.1</b>

TABLA 5-7 CÁLCULO DE POTENCIAS TINTAYA – CUSCO

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar se tiene una potencia de recepción de -9.1 dBm, la cual está dentro de los parámetros de recepción de la tarjeta LSX, Prx [-16;0].

Dado que se tiene un enlace punto a punto, el sistema de amplificación para el enlace Tintaya – Cusco, el cálculo de potencias será el mismo que el enlace Cusco – Tintaya.

En la estación de Tintaya, se realiza una interconexión back to back entre las tarjetas LSX (puerto Tx/Rx), para poder tener continuidad en el enlace.

#### 5.4.4 Cálculos de Dispersión por Modo de Polarización (PMD)

Uno de los factores que también influye de manera crítica en la longitud del enlace cuando se trabaja con velocidades de transmisión por lambda superiores a 10 Gbps es la dispersión por modo de Polarización (PMD).

Actualmente no existe tecnología que permita reducir los efectos del PMD en un enlace como si se puede hacer con la dispersión cromática, pero para la implementación del enlace se calcula la dispersión por modo de polarización, verificar que no se tendrá problemas con la transmisión de información por causa del PMD. Los dos elementos de un enlace que son afectados por el PMD son la fibra óptica de planta externa y los módulos DCM.

Para poder calcular el PMD de la fibra óptica, se debe conocer el valor DGD conocido como la diferencia de retardo de grupo, el DGD lo podemos determinar con la siguiente fórmula, [OptiX WDM Network Planning and Design\_HUAWEI\_2008].

$$DGD = PMD \times L^{1/2} \dots (8)$$

Donde:

*DGD: es la diferencia de retardo de grupo expresada en ps*

*PMD: es el coeficiente de dispersión por modo de polarización expresada en ps/(Km)<sup>1/2</sup>*

*L: es la longitud (o distancia) del enlace expresada en Km*

Para el cálculo del DGD de la fibra óptica, se considera el coeficiente PMD para una Fibra

G.652.D = 0.2 ps/(Km)<sup>1/2</sup>. Tabla 5-8.

Enlace		Distancia (Km)	DGD (ps)
Arequipa	Tintaya	220	2.97
Tintaya	Cusco	180	2.68

**TABLA 5-8 VALORES DE DGD DE LA FIBRA POR ENLACE**

*Fuente: Elaboración propia*

En el caso del PDM de los módulos DCM, son dados por el proveedor según especificación técnica, estos valores de DGD se pueden observar en la tabla 5-9.

Item Type	Distance (km)	Max. Insertion Loss(dB)	DGD of DCM (ps)
DCM(S) 5 km	5	2.3	0.3
DCM(T) 10 km	10	2.8	0.3
DCM(A) 20 km	20	3.3	0.4
DCM(B) 40 km	40	4.7	0.5
DCM(C) 60 km	60	6.4	0.6
DCM(D) 80 km	80	8	0.7
DCM(E) 100 km	100	9	0.8
DCM(F) 120 km	120	9.8	0.8

**TABLA 5-9 MÓDULOS DCM (VALORES DE DGD)**

*Fuente: OptiX WDM Network Planning and Design [HUAWEI\_2008]*

El DGD de los enlaces es la raíz cuadrada de la suma cuadrática de cada uno de los DGD (DGD de la fibra óptica y DGD de los módulos DCM). Tabla 5-10 y tabla 5-11.

$$DGD = \sqrt{\sum(DGD_i)^2} \dots (9)$$

Tx Arequipa – Rx Tintaya		Tx Tintaya – Rx Arequipa	
1 DCM(A) en Arequipa	0.4	1 DCM(A) en Tintaya	0.4
1 DCM(E) en Tintaya	0.8	1 DCM(E) en Arequipa	0.8
1 DCM(F) en Tintaya	0.8	1 DCM(F) en Arequipa	0.8
DGD Fibra: Arequipa – Tintaya	2.97	DGD Fibra: Tintaya - Arequipa	2.97
<b>DGD(ps) TOTAL</b>	<b>4.97</b>	<b>DGD(ps) TOTAL</b>	<b>4.97</b>

TABLA 5-10 VALORES DE DGD TOTAL ENLACE AREQUIPA – TINTAYA

Fuente: Elaboración propia

Tx Tintaya – Rx Cusco		Tx Cusco – Rx Tintaya	
1 DCM(A) en Tintaya	0.4	1 DCM(A) en Cusco	0.4
1 DCM(C) en Cusco	0.6	1 DCM(C) en Tintaya	0.6
1 DCM(F) en Cusco	0.8	1 DCM(F) en Tintaya	0.8
DGD Fibra: Tintaya – Cusco	2.68	DGD Fibra: Cusco - Tintaya	2.68
<b>DGD(ps) TOTAL</b>	<b>4.46</b>	<b>DGD(ps) TOTAL</b>	<b>4.46</b>

TABLA 5-11 VALORES DE DGD ENLACE TINTAYA – CUSCO

Fuente: Elaboración propia

Con los valores obtenidos de DGD se verificará si es necesario aplicar una penalidad que afectará el OSNR del enlace el cual se detalla en la tabla 5-12.

<b>UTILIZANDO CÓDIGO NRZ</b>	
DGD ≤ 5ps	No se necesita considerar penalidad para
5ps < DGD ≤ 10ps	considerar 0.5 dB como penalidad para OSNR
10ps < DGD ≤ 15ps	considerar 1.5 dB como penalidad para OSNR
DGD > 15ps	seleccionar DRZ o agregar un regenerador
<b>UTILIZANDO CÓDIGO DRZ (PROPIETARIO HUAWEI)</b>	
DGD ≤ 12ps	No se necesita considerar penalidad para
12ps < DGD ≤ 15ps	considerar 0.5 dB como penalidad para OSNR
15ps < DGD ≤ 18ps	considerar 1.5 dB como penalidad para OSNR
18ps < DGD ≤ 20ps	considerar 3 dB como penalidad para OSNR
20ps < DGD ≤ 22ps	considerar 3 dB como penalidad para OSNR

**TABLA 5-12 PENALIZACIÓN DEL OSNR POR DGD**

*Fuente: OptiX WDM Network Planning and Design [HUAWEI\_2008]*

Como se puede observar, ninguno de los valores de DGD de los enlaces supera los 5ps, por ende, el PMD no afectará en el enlace.

#### **5.4.5 Cálculo del OSNR (Relación señal / ruido óptico)**

Al usar amplificadores para incrementar la potencia de la señal óptica, se produce el incremento del ruido, para lo cual se debe tener en consideración el OSNR en el diseño del enlace [OptiX WDM Network Planning and Design\_HUAWEI\_2008].

En la figura 5-5 se observa que el OSNR disminuye a medida que la señal va siendo amplificada cada cierto tramo.

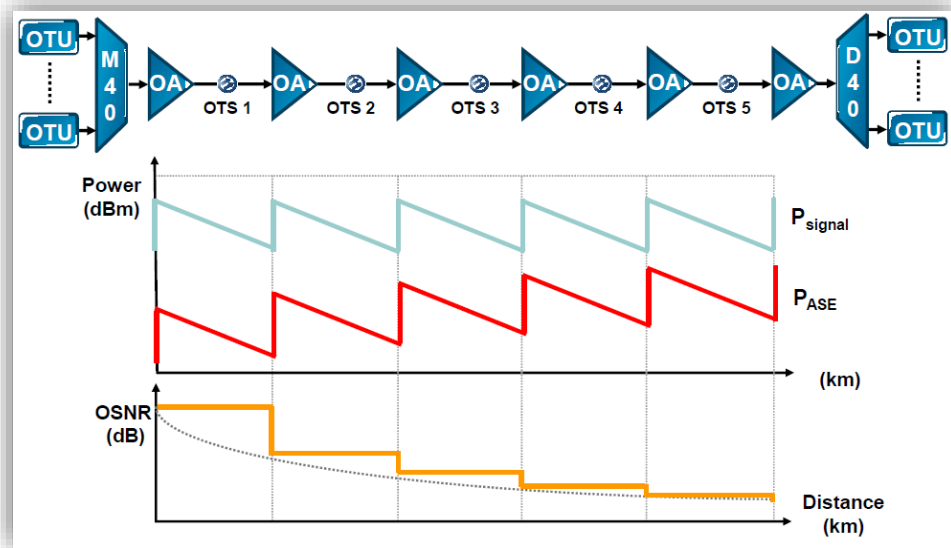


FIGURA 5-45 COMPORTAMIENTO DEL OSNR

Fuente: "OptiX WDM Network Planning and Design" [HUAWEI\_2008]

Para disminuir los efectos de este problema se tienen mecanismos de corrección de errores tales como FEC (corrección de errores hacia adelante), o diversos códigos de línea robustos. Para poder calcular el OSNR de un enlace se tiene la siguiente fórmula. [OptiX WDM Network Planning and Design\_HUAWEI\_2008].

$$OSNR = P_{OUT}(dB) - L(dB) - NF(dB) - 10 \log(N)(dB) - 10 \log[hr \Delta r_o] \dots (10)$$

Donde:

*P<sub>out</sub>*: Potencia de Salida en dBm

*L*: Atenuación entre los amplificadores en dB

*NF*: Figura de ruido del Amplificador en dB

*N*: Número de Tramos

$\Delta r_0$ : Ancho de banda óptico en Hz

*r*: Frecuencia óptica en Hz

*h*: constante de Planck en  $Ws^2$

Cuando se trabaja con la banda  $1.55 \mu m$  y el ancho de banda óptico es  $0.1 nm$ , para lo cual se considera  $10 \log[hr\Delta r_0] = -58dB$

Entonces se tiene la siguiente fórmula:

$$OSNR = P_{OUT}(dB) - L(dB) - NF(dB) - 10 \log(N)(dB) + 58 \dots (11)$$

Para poder calcular el OSNR del enlace se debe considerar las especificaciones técnicas de la tarjeta LSX, potencia de transmisión (Puerto OUT),  $P_{tx} = -3dBm$ . Y las especificaciones de los amplificadores de recepción OAU101, figura de ruido  $NF = -8dB$ . Tabla 5-13.

Enlace		OSNR
Arequipa	Tintaya	15.6
Tintaya	Cusco	24.4

**TABLA 5-13 VALORES OSNR POR ENLACE**

*Fuente: Elaboración propia*

Se puede observar que se tiene un valor en el límite permitido.

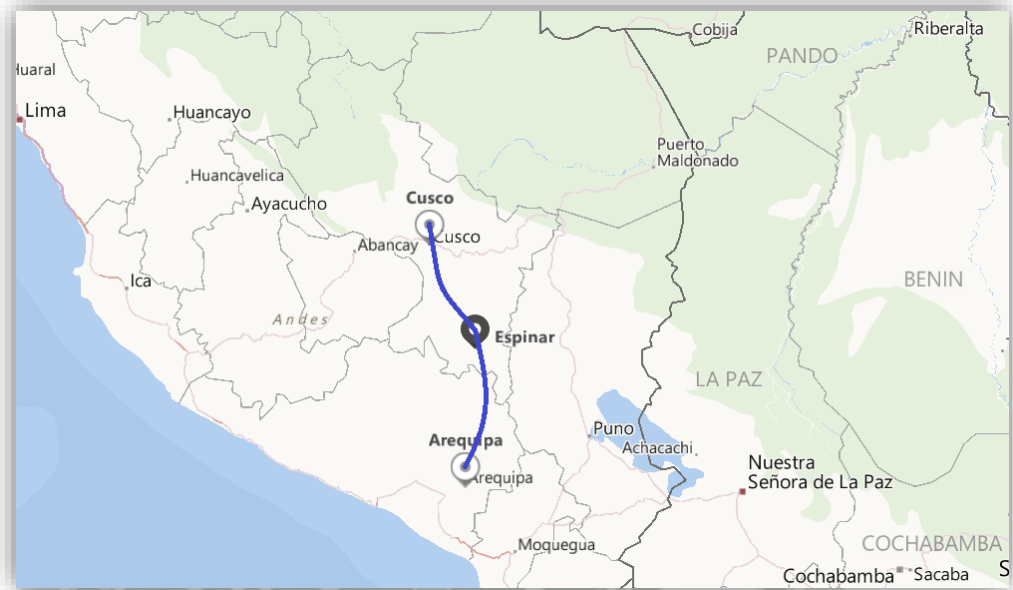
## CAPÍTULO 6 - IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

### 6.1 Alcance

En ese capítulo se describe el uso de la tecnología de DWDM en el desarrollo de la interconexión de la ciudad de Cusco a la red de fibra óptica del Perú. Proyecto de Telefónica del Perú y Graña y Montero (Telecomunicaciones), encargado de la implementación de la red DWDM.

#### 6.1.1 Descripción General

Este enlace está compuesto por dos tramos los cuales son: Arequipa - Tintaya y Tintaya - Cusco. Dado que entre la ciudad de Arequipa y Cusco no presenta estaciones donde se pueda amplificar la señal óptica, es necesario implementar una estación regeneradora la cual se encuentra en la mina Tintaya (punto intermedio) localidad de Espinar. Figura 6-1.



**FIGURA 6-1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ENLACE AREQUIPA – CUSCO**

*Fuente: Elaboración propia*

Internexa implemento una sala de equipos dentro de la subestación de la mina Tintaya (localidad de Espinar), con las adecuaciones para poder permitir desarrollar el proyecto. La implementación se tuvo que realizar en paralelo dada la importancia del proyecto.

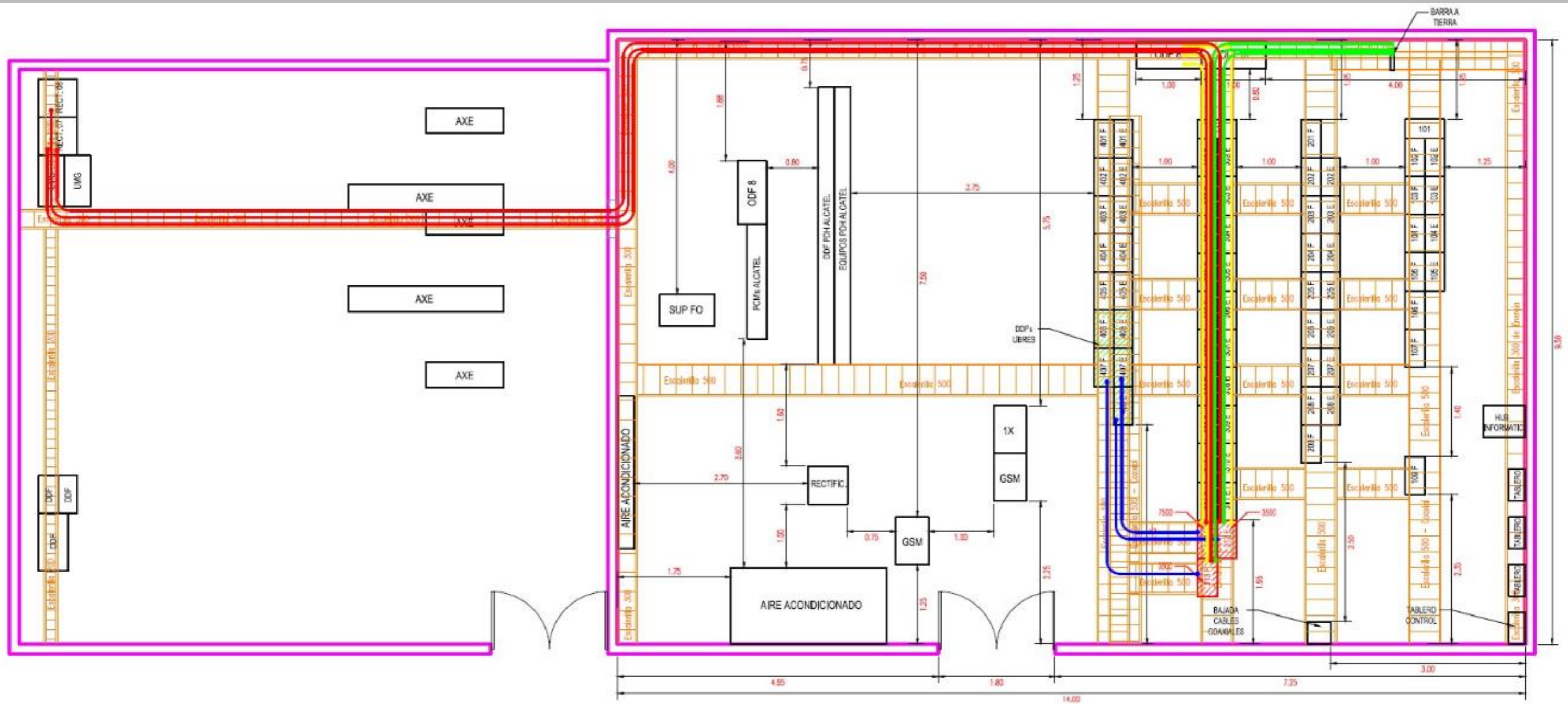
Para la implementación, se debe contar con la información necesaria para la instalación de los equipos y las interconexiones. Y esto se realiza mediante un Site Survey Report (Reporte de inspección del lugar).

#### 6.1.1.1 Site Survey Report (Reporte de inspección del lugar).

Consiste en una inspección a una estación determinada en donde se recoge información valiosa para la instalación de un equipo DWDM, como:

- Posición a instalar el equipo.
- Ruta para cables de energía y GND.
- Distancia necesaria para cables de energía y GND.
- Llaves disponibles de energía.
- Ruta para los latiguillos de fibra óptica.
- Distancia necesaria para latiguillos de fibra óptica.
- Posiciones de ODF.
- Modo de acceso a la estación.
- Entre otras observaciones.

En el layout (plano de sala de equipos), se pudo ver el recorrido de los cables de energía, recorrido de los cables coaxiales, recorrido de la fibra óptica y la distribución de los equipos en la sala de equipos. Figura 6-2.



SITE		ARQ SW - SALA DE EQUIPOS	
CONTRATA		HUAWEI	
INFORMACION TECNICA DEL SITE			
ESCALERILLAS		LEYENDA	
	A INSTALAR		CABLE COAXIAL
	EN PISO		CABLE DE ENERGIA
	ADICIA		CABLE DE TIERRA
			CABLE DE F.O.
			LONGITUD DE CABLES



FIGURA 6-2 LAYOUT (PLANO DE SALA DE EQUIPOS)

Fuente: Elaboración Propia

### 6.1.2 Hardware:

Las redes DWDM Huawei toman una posición líder en el mundo, y Telefónica del Perú cuenta con una red Huawei SDH y DWDM, amplia y estable que abarca las zonas del Sur, Norte y centro del Perú, bajo este contexto Huawei del Perú ofrece los servicios de implementaciones de equipos nuevos para la integración a estas redes. Para este propósito se empleará la serie de equipos OptiX OSN6800. Figura 6-3.

OptiX OSN6800 incorpora múltiples tecnologías de red de próxima generación, tales como G.709 OTN, ROADM, ópticas sintonizables e insertables, ASON/GMPLS, 40 G, conmutación de datos, entrega flexible, infraestructura de transporte óptico rentable con optimización de datos.

Principales características de OptiX OSN6800:

- Soporta una capacidad de crossconexión de 800 Gbps.
- Soporta 80  $\lambda$  en DWDM y 16  $\lambda$  en CWDM.
- Permite configurar servicios STM-16, STM-4, STM-1, (10GE) Gigabit Ethernet (GE), Fast Ethernet (FE).
- Permite trabajar con topologías punto a punto, malla y anillo.



**FIGURA 6-3 RACK – OptiX OSN6800**

*Fuente: Elaboración propia*

La plataforma de transmisión óptica OptiX OSN6800 se compone, del subrack OSN6800 el cual alberga las tarjetas de servicio, DCM's (Módulos de Dispersión Cromática) y CRPC (Amplificador Raman).

### 6.1.2.1 Subrack OSN6800:

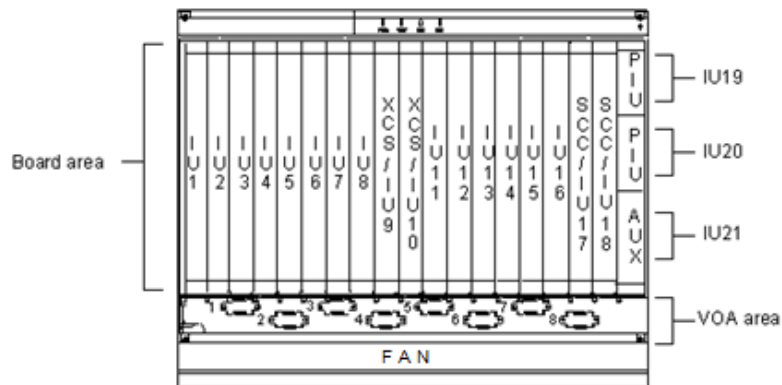
Este equipo emplea la tecnología WDM/OTN. Figura 6-4.



**FIGURA 6-4 SUBRACK OSN6800**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI - HEDEX]*

El subrack OptiX OSN6800 está constituido por 21 slots (IU), los cuales se define como IU1 a IU21 de izquierda a derecha, como se muestra en la figura 6-5.



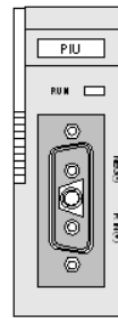
**FIGURA 6-5 DISTRIBUCIÓN DE SLOTS DE SUBRACK OSN6800**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI - HEDEX]*

- IU1-IU17 son para tarjetas de servicio.
- IU21 es para la entrada AUX.
- IU19 y IU20 son para la PIU.
- IU18 es para el SCC.
- IU17 está disponible para el SCC standby o para las otras tarjetas de servicio.
- IU9 está disponible para la tarjeta XCS activa o para tarjetas de servicio.
- IU10 está disponible para la tarjeta XCS standby o para tarjetas de servicio.
- FAN

#### 6.1.2.1.1 Unidad de Interfaz de Energía (PIU)

Proporciona al subrack un voltaje de -48V, por el backplane. El OptiX OSN 6800 está configurado con dos tarjetas PIU. Estas dos tarjetas proporcionan una alimentación al sistema de backup 1 + 1. Ambas tarjetas trabajan juntas, no existe una relación de actico/espera entre las PIU A y la PIU B. En caso que una tarjeta PIU tenga una tensión diferente, la tarjeta PIU con mayor voltaje, proporcionara la mayor parte de la corriente. Cuando una tarjeta PIU falle el sistema informara mediante una alarma. Los slots para las tarjetas son el slot 19 y slot 20. Figura 6-6.

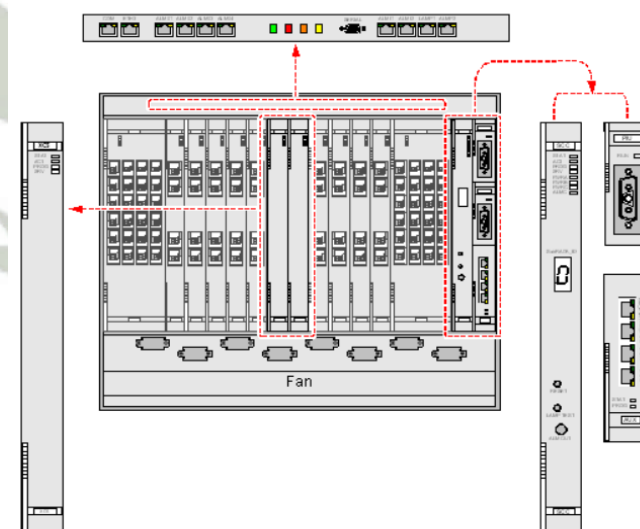


**FIGURA 6-6 TARJETA PIU\_SUBRACK OSN6800**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*

### 6.1.2.1.2 Interfaz de Comunicación de datos

El OptiX OSN 6800 proporciona varias interfaces para la comunicación de datos e interfaces de gestión. Estas interfaces se encuentran en el área de interfaz de tarjetas y en el panel frontal de la tarjeta AUX. Figura 6-7.



**FIGURA 6-7 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN DE DATOS DE SUBRACK OSN6800**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*

#### 6.1.2.1.2.1 Interfaces en el área de Interfaz (EFI):

El área de interfaz proporciona interfaces funcionales, como la interfaz de administración, la interfaz de comunicación entre subrack's, salida de alarma, entrada de alarma y una interfaz de salida. Esta interfaz se encuentra en la parte superior del subrack OSN6800, con los indicadores de alarmas. Figura 6-8



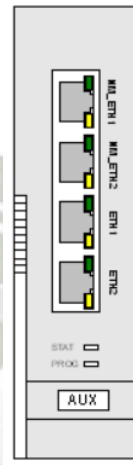
**FIGURA 6-8 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN EFI SUBRACK OSN6800**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*

- COM: Interfaz para comisionamiento.
- ETH3: Se conecta con el ETH1 y ETH2 (tarjeta AUX), se utiliza para la conexión entre subrack's.
- ALM01-ALM04: Se utiliza para la salida de alarmas.
- SERIAL: Interfaz serial para comisionamiento y gestión.
- ALM1-ALM2: Se utiliza para alarmas externas.
- LAMP1-LAMP2: Conexión de alarmas de subrack con indicadores de gabinete.

#### 6.1.2.1.2 Interfaces en la tarjeta auxiliar (AUX)

La tarjeta AUX, proporciona interfaces para conexión de subrack's e interfaces para gestión. El slot para la tarjeta es el slot 21. Figura 6-9.



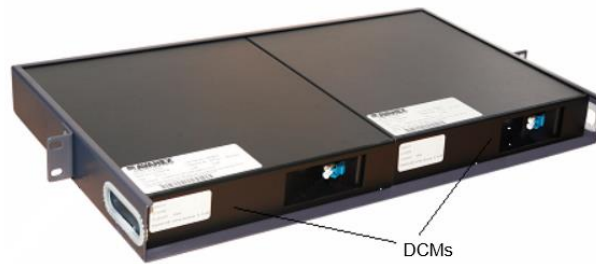
**FIGURA 6-9 INTERFACES DE TARJETA AUX SUBRACK OSN6800**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*

- NM\_ETH1/NM\_ETH2: Interfaces para la gestión.
- ETH1/ETH2: Se conecta con el ETH1, ETH2 y ETH3, se utiliza para la conexión entre subrack's.

### 6.1.2.2 Módulos de Dispersión Cromática (DCM)

Los módulos DCM compensan la dispersión positiva en la transmisión de fibra, para ayudar a mantener la forma original del pulso de la señal. Figura 6-10.

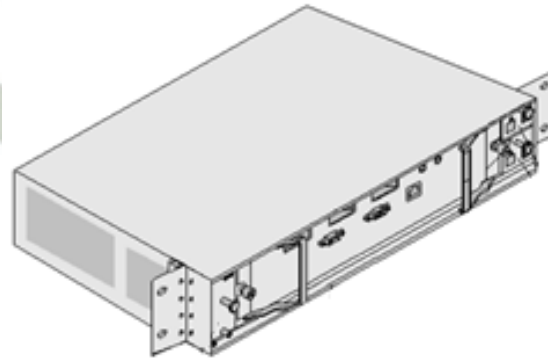


**FIGURA 6-10 MÓDULOS DCM**

Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]

### 6.1.2.3 CRPC (Amplificador de bomba Raman para banda C en forma de caja)

El amplificador Raman se utiliza para la amplificación de la potencia óptica en distancias largas. Figura 6-11.



**FIGURA 6-11 RAMAN (CRPC)**

Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]

## 6.2 Elementos de una RED DWDM

### 6.2.1 Optical Terminal Multiplexer (OTM)

OTM (terminal óptica de multiplexación) se utiliza para subir y bajar servicios, se realiza la conversión de O/E/O para todos los canales ópticos. Esta configuración se utiliza para un enlace punto - punto. Figura 6-12.

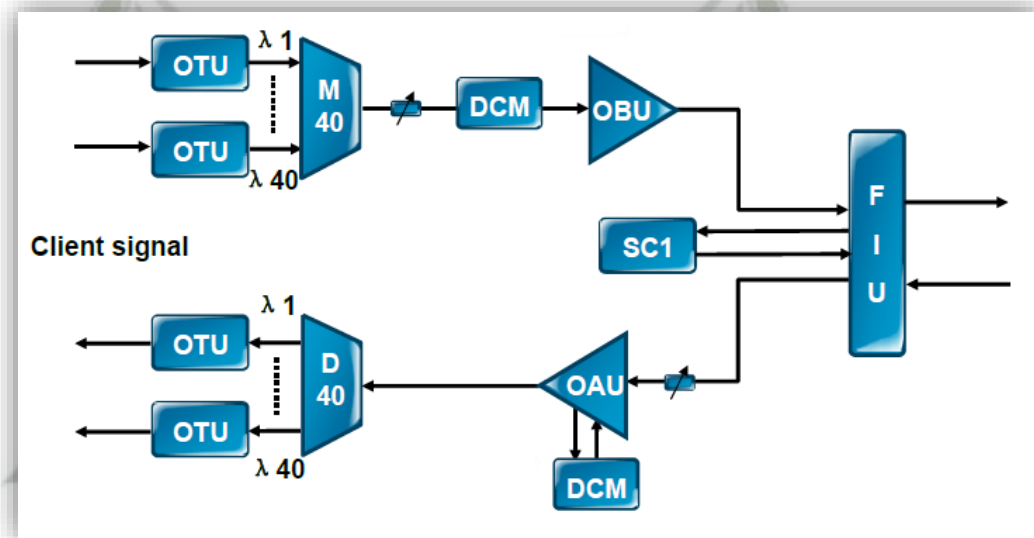


FIGURA 6-12 OPTICAL TERMINAL MULTIPLEXER (OTM)

Fuente: "OptiXWDM Network Planning and Design" [HUAWEI\_2008]

### 6.2.2 Regenerator (REG)

En REG (regenerador), se realiza la conversión de O/E/O para todos los canales ópticos. Tiene un costo elevado y su uso se da para poder regenerar las señales ópticas en un enlace de larga distancia. Figura 6-13

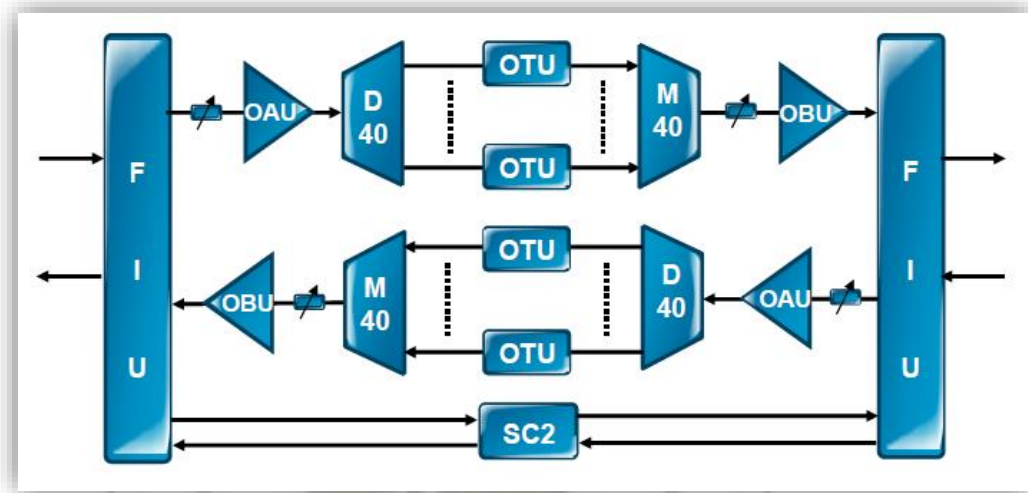


FIGURA 6-13 REGENERATOR (REG)

Fuente: "OptiXWDM Network Planning and Design" [HUAWEI\_2008]

### 6.2.3 Unidades a implementar (tarjetas)

Para la implementación de este enlace entre Arequipa - Tintaya - Cusco, está compuesto por las siguientes unidades (tarjetas) que son parte del sistema DWDM. [OSN 6800 Hardware Description\_HUAWEI – HEDEX].

#### 6.2.3.1 Optical Transponder Unit (OTU - Unidad De Transporte Óptico)

Cada OTU, es configurable a una determinada longitud de onda. Las OTU tienen la posibilidad de llevar servicios con velocidades de transmisión de 2.5Gbps, 10Gbps, 40Gbps y hasta 100 Gbps. (esto dependerá del proveedor de servicios de telecomunicaciones, en este caso Telefónica del Perú), para este enlace se

implementaron dos lambdas de 10Gbps. Las OTU son las interfaces de comunicación entre la señal cliente y la señal WDM [HUAWEI\_WDM Principe\_2006].

Los transponders de este enlace es la tarjeta LSX (10 GEth/STM-64) figura 6-14 y la tarjeta LOG (8xGE(1.25Gbit)) figura 6-15.



**FIGURA 6-14 TARJETA LSX**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*



**FIGURA 6-15 TARJETA LOG**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*

### 6.2.3.2 Multiplexor y Demultiplexor Óptico

#### 6.2.3.2.1 Multiplexor (M40V – Tarjeta de multiplexación de 40 canales con VOA)

La tarjeta M40V, permite multiplexar 40 longitudes de onda. La M40V tiene incorporado atenuadores variables (VOA) por cada canal óptico, esto permite realizar la ecualización de cada lambda.

Existen dos tipos de M40V: Las del tipo EVEN donde el rango de frecuencia de los canales va desde los 192.10 THz a los 196.00 THz; y las del tipo ODD donde

el rango de frecuencia de los canales va desde los 192.15 THz hasta los 196.05 THz. Figura 6-16. Para la implantación se usará el tipo EVEN.

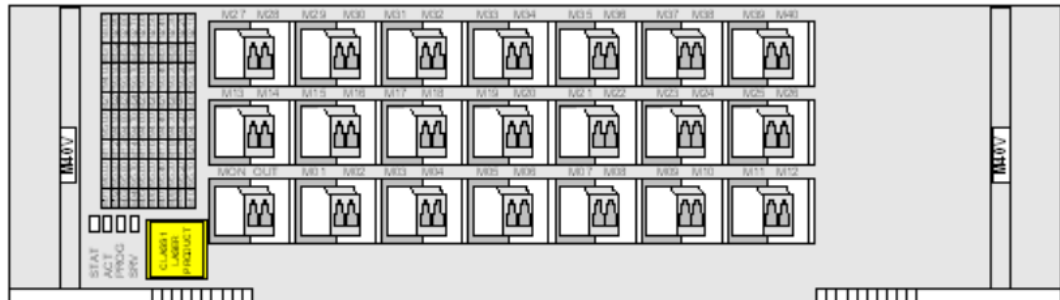


FIGURA 6-16 TARJETA M40V

Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]

#### 6.2.3.2.2 Demultiplexor (D40 – Tarjeta de demultiplexación de 40 canales)

La tarjeta D40 permite demultiplexar una señal multiplexada en 40 longitudes de ondas. Al igual que la tarjeta M40V también son de los tipos EVEN y ODD y manejan los mismos rangos de frecuencia. Figura 6-17. Para la implantación se usará el tipo EVEN.

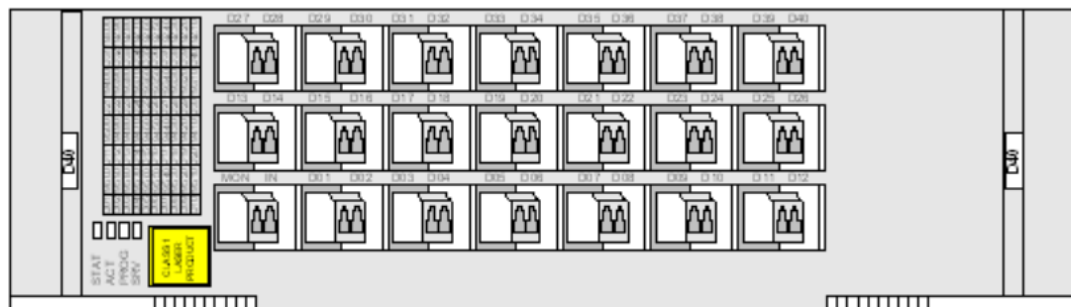
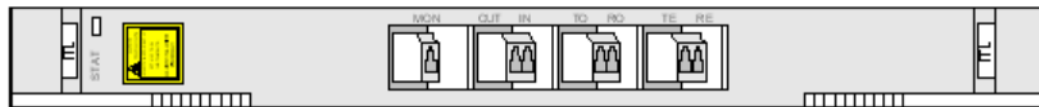


FIGURA 6-17 TARJETA D40

Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]

### 6.2.3.2.3 Interleaver Board (ITL – Tarjeta de entrelazado)

La tarjeta ITL permite multiplexar y demultiplexar dos sistemas de 40 lambdas en un solo sistema de 80 lambdas donde se reduce el espaciado de lambdas de 100 GHz a 50 GHz. Trabaja de la mano con las unidades M40V y D40. El principio es juntar las tarjetas M40V y D40 tipo EVEN con las tarjetas de M40V y D40 tipo ODD, para formar un sistema de 80 lambdas. Figura 6-18. La tarjeta ITL se emplea para más adelante poder formar un sistema de 80 lambdas.

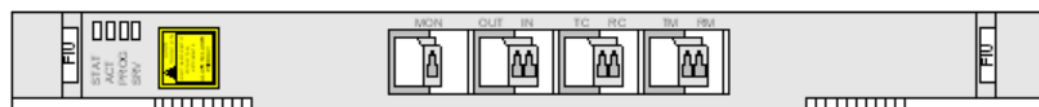


**FIGURA 6-18 TARJETA ITL**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*

### 6.2.3.2.4 Fiber Interface Unit (FIU - Unidad de interfaz de fibra)

La tarjeta FIU permite multiplexar y demultiplexar las señales a lo largo de fibra óptica, con la señal óptica de supervisión provista por las tarjetas HSC1. Figura 6-19.



**FIGURA 6-19 TARJETA FIU**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*

### 6.2.3.3 Amplificadores Ópticos

Para este enlace se usa amplificadores del tipo EDFA y amplificadores del tipo Raman, dado a la distancia del enlace.

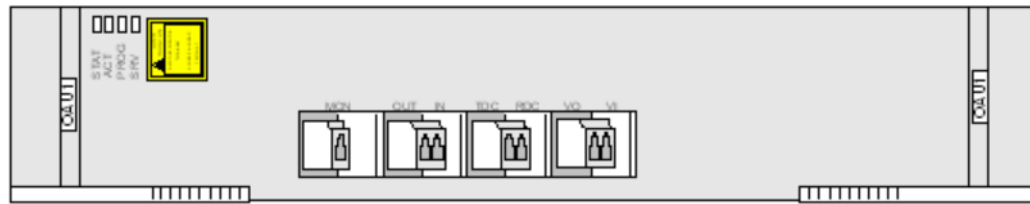
#### 6.2.3.3.1 Amplificadores tipo EDFA (Amplificador de fibra dopada con erbio)

Los amplificadores de tipo EDFA son de dos tipos: OAU (Optical Amplifier Unit) y OBU (Optical Boosted Unit), referente al amplificador OBU se tiene un amplificador de alta potencia HBA (high-power booster amplifier board), el cual se usa en distancias largas de fibra óptica.

Todos los amplificadores cuentan con un puerto de monitoreo.

##### 6.2.3.3.1.1 Amplificadores OAU (Unidad de amplificador óptico)

El amplificador OAU tiene una ganancia variable, asimismo también presentan el boqueo de ganancia, es decir cuando se agrega o se elimina una o más lambdas, no afecta la ganancia de otras lambdas. Este tipo de amplificador se usa normalmente en la recepción del enlace. Existen diferentes amplificadores del tipo OAU con ganancias diferentes para la implantación se utilizará del tipo OAU101 con ganancia variable de 20dB. Figura 6-20.

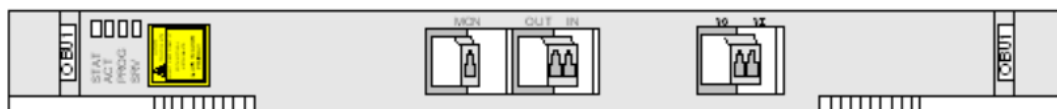


**FIGURA 6-20 TARJETA OAU101**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*

#### 6.2.3.3.1.2 Amplificadores OBU (Unidad óptica de refuerzo)

Los amplificadores OBU se usa para el ajuste de la ganancia, asimismo también presentan el boqueo de ganancia, es decir cuando se agrega o se elimina una o más lambdas, no afecta la ganancia de otras lambdas. Este tipo de amplificador se usa en la transmisión del enlace. Para este enlace se utilizará para el damichanel (simular las 40 lambdas en el enlace). Existen diferentes amplificadores del tipo OBU con ganancias diferentes para la implantación se utilizará del tipo OBU103. Figura 6-21.



**FIGURA 6-21 TARJETA OBU103**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*

### 6.2.3.3.1.3 Amplificadores HBA (Tarjeta amplificadora de alta potencia)

El amplificador HBA solo se utiliza en el extremo de la transmisión, en un sistema que cubre un tramo de fibra óptica largo. También presentan el boqueo de ganancia, es decir cuando se agrega o se elimina una o más  $\lambda$ s, no afecta la ganancia de otras  $\lambda$ s. El amplificador HBA tiene una ganancia fija de 29dB. Figura 6-22.

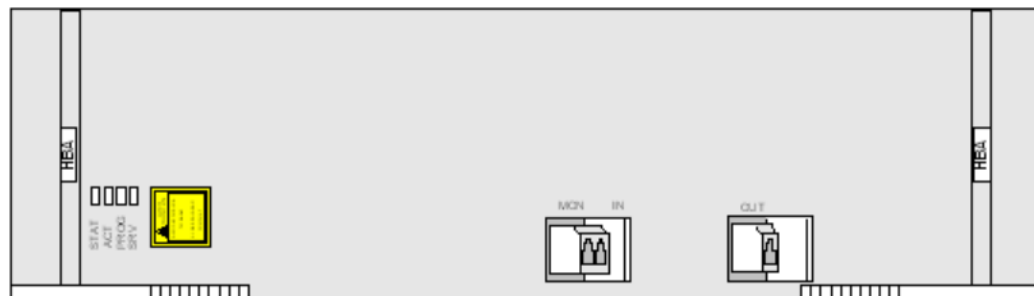


FIGURA 6-22 TARJETA HBA

Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]

### 6.2.3.3.2 Amplificador RAMAN (CRPC - Amplificador de bomba Raman para banda C en forma de caja)

Este amplificador bombea luz de alta potencia en la señal multiplexada, que proporciona la energía para la amplificación de las  $\lambda$ s en la fibra en distancias largas con gran ancho de banda y bajo ruido. Figura 6-23.

Existen dos tipos de CRPC, el CRPC01 y el CRPC03:

- El CRPC01 adopta la tecnología de bombeo hacia atrás, es decir se introduce la luz de bombeo en sentido contrario a la recepción, utilizado en la recepción.
- El CRPC03 adopta la tecnología de bombeo hacia adelante utilizado en la transmisión.

Dependiendo de la distancia del enlace se usa solo en la recepción o en la transmisión y recepción.

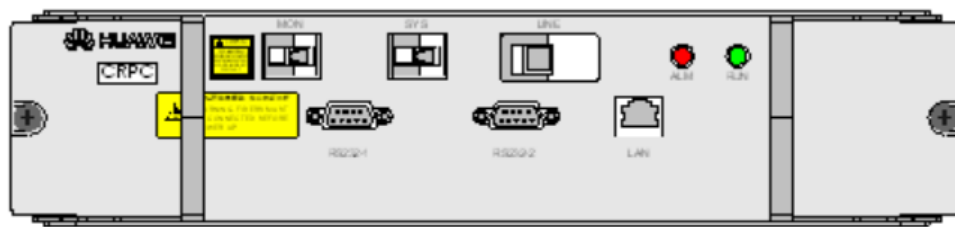


FIGURA 6-23 MÓDULO CRPC

Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]

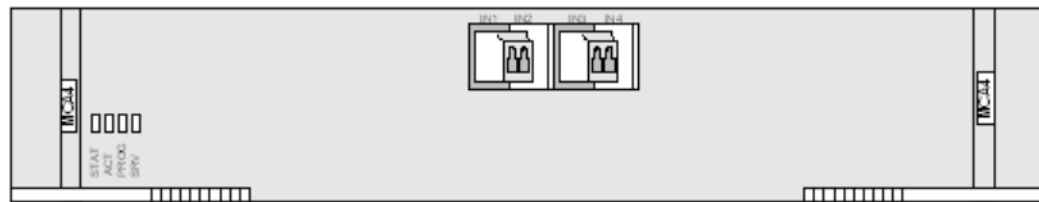
#### 6.2.3.4 Analizador de espectros (MCA)

La tarjeta MCA se utiliza principalmente para el análisis espectral. Presenta las siguientes funciones de monitoreo.

- La potencia óptica de cada lambda.
- Longitud de onda central.

- Relación óptica entre señal y ruido.
- Número de longitudes de onda en la trayectoria óptica principal.

La tarjeta MCA existen de dos tipos la MCA4 y la MCA8, la diferencia es la cantidad de puertos de monitoreo. Los puertos de monitoreo se conectan a los puertos de monitoreo de los amplificadores ópticos. Para la implantación del enlace se usará la MCA4. Figura 6-24.



**FIGURA 6-24 TARJETA MCA**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*

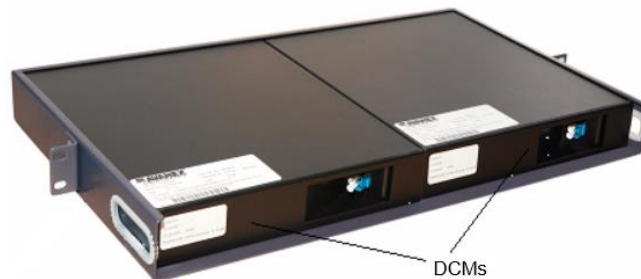
### 6.2.3.5 Módulos de Dispersión Cromática (DCM)

Los módulos DCM compensan la dispersión positiva en la transmisión de fibra, para ayudar a mantener la forma original del pulso de la señal.

Después de que se transmita una señal óptica a una cierta distancia, el impulso de la señal óptica se expande debido a la acumulación de la dispersión positiva.

Un módulo DCM es un dispositivo pasivo que compensa la dispersión. El módulo DCM utiliza la dispersión negativa inherente de una fibra de compensación de

dispersión para compensar la dispersión positiva de una fibra de transmisión para evitar la expansión del pulso. Figura 6-25.



**FIGURA 6-25 MÓDULO DCM**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*

### **6.3 Procedimiento de Instalación**

#### **6.3.1 Instalación de Hardware OSN6800**

Con la información del site survey (inspección del lugar), la cual es validada por el operador Telefónica del Perú, se procede con la instalación, donde indica la ubicación donde se instalarán los equipos OSN6800 y las posiciones de las llaves de energía.

La instalación consiste en la fijación del rack OSN6800, y el energizado del mismo, lo cual se realiza según la guía de instalación del proveedor Huawei [OptiX OSN 6800 Quick Installation Guide].

### 6.3.2 Instalación de fibra óptica

El tendido de la fibra óptica se realiza desde el equipo OSN6800 módulo CRPC (amplificador RAMAN) hacia el ODF por las escalerillas áreas (ruta de fibra óptica).

Figura 6-26.



**FIGURA 6-26 INSTALACIÓN DE FIBRA OPTICA (MÓDULO CRPC)**

*Fuente: "Elaboración propia"*

### 6.3.2.1 Conexión de fibra óptica

Para la implementación de este proyecto se utilizaron 4 hilos de fibra óptica de planta externa, 2 hilos de fibra principales y los otros 2 hilos de fibra para respaldo, para cada tramo (Arequipa – Tintaya y Tintaya – Cusco). Para la conexión de fibra óptica en un sistema con amplificadores raman se tiene que seguir un procedimiento [HUAWEI\_AMPLIFICADORES RAMAN].

#### 6.3.2.1.1 Conexión en módulo CRPC (RAMAN)

Para la conexión de la fibra óptica en el módulo CRPC se tiene un procedimiento, dado que la potencia óptica de salida revertida del amplificador RAMAN es muy elevada, es necesario utilizar conectores LSH/APC (también denominados conectores E2000) figura 6-27.



FIGURA 6-27 CONECTORES LSH/APC (CONECTORES E2000)

Fuente: "Elaboración propia"

Procedimiento a seguir:

1. Verificar superficie de conector de fibra con un microscopio de fibra óptica, figura 6-28.



**FIGURA 6-28 MICROSCOPIO DE FIBRA ÓPTICA (EXFO)**

*Fuente: "Elaboración propia"*

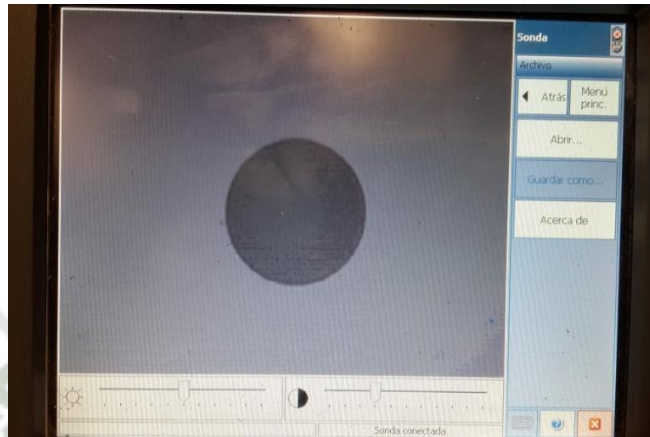
El microscopio EXFO se conecta a sus distintos equipos de pruebas como el FTB-200 y el FTB-1, figura 6-29.



**FIGURA 6-29 EQUIPOS FTB-200 y FTB-1 (EXFO)**

*Fuente: "Elaboración propia"*

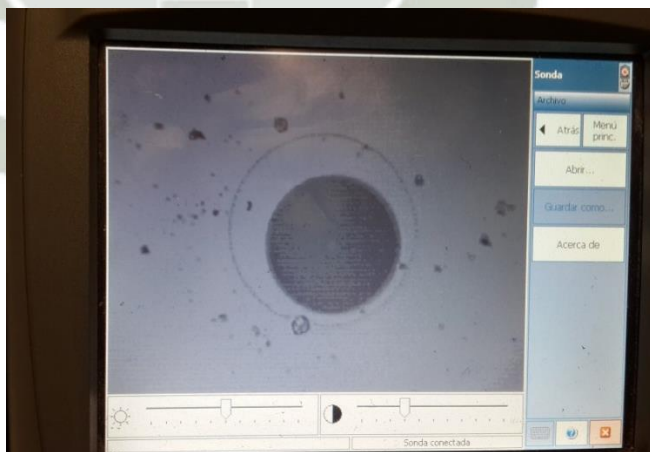
Para una superficie limpia se ve como un círculo gris y, ocasionalmente, presenta un pequeño círculo de un color gris más claro, el cual es el núcleo de la fibra, figura 6-30.



**FIGURA 6-30 SUPERFICIE DE UN CONECTOR LIMPIO**

*Fuente: "Elaboración propia"*

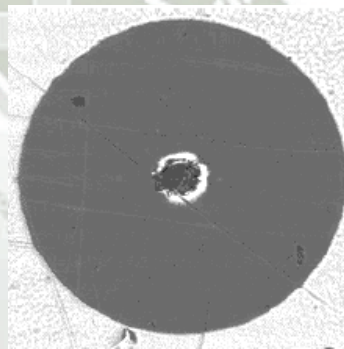
Cuando la fibra se encuentra sucia, en el microscopio se observa lo siguiente, figura 6-31.



**FIGURA 6-31 SUPERFICIE DE UN CONECTOR SUCIO**

*Fuente: "Elaboración propia"*

2. Para la limpieza de superficie del conector de fibra se hace con un papel fabricado especialmente para limpiar fibras. En caso que la suciedad persista será necesario utilizar alcohol isopropílico.
3. Si luego de haber limpiado el conector de fibra con alcohol y la suciedad sigue presente, entonces la parte sucia se encuentra dañada, si la mancha se encuentra en el núcleo de la fibra, entonces indica que este se ha quemado, y se requiere reemplazar la fibra, figura 6-32.



**FIGURA 6-32 SUPERFICIE DE UNA FIBRA QUEMADA**

*Fuente: "Elaboración propia"*

#### **6.3.2.1.2 Conexión en ODF**

Para sistema con amplificadores RAMAN, no se utiliza conector alguno en la fibra óptica dentro de los 20 km cercanos al amplificador RAMAN. Esto se debe a que un enfrentamiento de conectores de fibra produce una pérdida de 0.5dB, y en los primeros 10 km no pude superar la pérdida de 0.1dB, entre los 10 km a 20

km no debe superar los 0.2dB de pérdida, entre los 20 km a 30 km no debe superar los 0.4dB de pérdida, entre los 30 km a 40 km no debe superar los 1.0dB de pérdida, y para una distancia superior a los 40 km no debe superar los 2.0dB de pérdida.

Por ese motivo en las bandejas del ODF se fusiona la fibra óptica que va hacia al módulo RAMAN con la fibra de panta externa, figura 6-33.



**FIGURA 6-33 FIBRA FUSIONADA EN BANDEJA DE ODF**

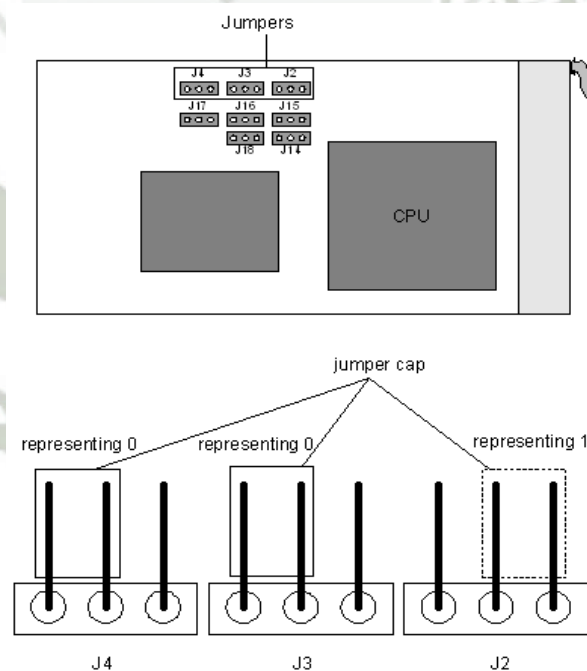
*Fuente: "Elaboración propia"*

## 6.4 Proceso de Ingeniería

Consiste en la configuración y pruebas locales que certifican el buen funcionamiento del equipamiento.

### 6.4.1 Configuración inicial del equipo OSN6800

Esta configuración consiste en la asignación del ID de los subrack; es decir asignar el subrack master y los subrack's slave. Esto se realiza en la tarjeta AUX, en la parte interna presenta jumper los cuales presentar números binarios como se muestra en la figura 6-34.



**FIGURA 6-34 CONFIGURACIÓN DE ID DE SUBRACK OSN6800 (TARJETA AUX)**

*Fuente: "OSN 6800 Hardware Description" [HUAWEI – HEDEX]*

La asignación de los ID empieza en 0 así sucesivamente hasta el ID 7, el ID 0 viene hacer el ID para el subrack master, el ID se ve reflejado en el display de la tarjeta SCC (tarjeta controladora) Figura 6-35. Normalmente los ID ya vienen configurados de fábrica por el proveedor.

La interconexión de los subrack's se realiza a través de los puertos ETH de la tarjeta AUX y módulo EFI, a través de un cable utp (directo) el módulo RAMAN también es gestionado por esos puertos.



**FIGURA 6-35 SUBRACK OSN6800 MASTER ID:0**

*Fuente: "Elaboración propia"*

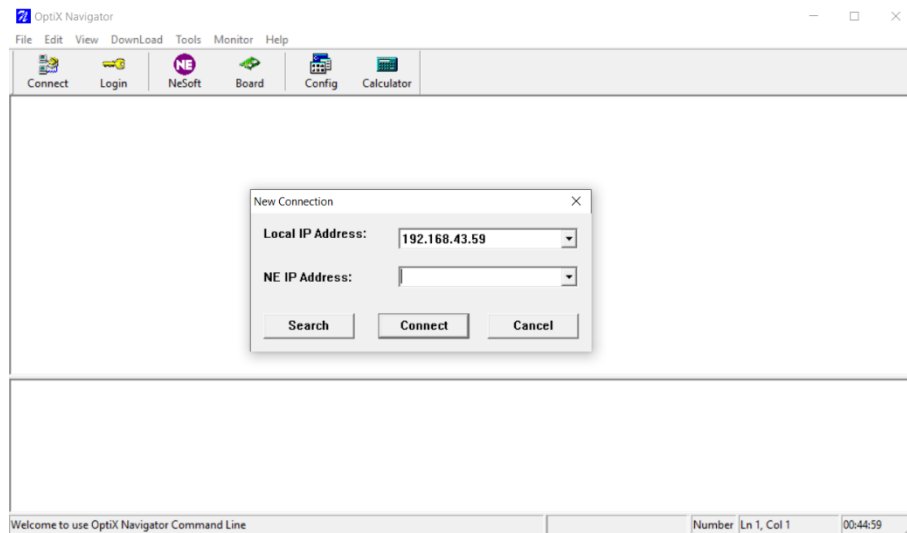
En el enlace en site de Arequipa se tiene un bastidor 501F con tres subrack's (el tercer subrack con ID:2 este asignado para las tarjetas OTU para futuras ampliaciones de lambdas).

En site Tintaya se tiene dos bastidores el 101F con dos subrack's, con dirección hacia Arequipa y el 101E con tres subrack's, con dirección hacia Cusco (el tercer subrack con ID:4 está asignado para las tarjetas OTU para futuras ampliaciones de lambdas). En el site de Cusco se tiene dos bastidores el 403E con dos subrack's con dirección hacia Tintaya y el 402E con dos subrack's, uno de los subrack's está asignado para las tarjetas OTU y el otro subrack tiene como la finalidad la interconexión de Cusco con Abancay para posteriormente poder realizar la interconexión con Andahuaylas.

#### **6.4.2 Configuración Base del equipo OSN6800**

Esta configuración consiste en la asignación del ID y del IP del equipo OSN6800, el ID y el IP es provisto por Telefónica del Perú, esa información permitirá gestionar los equipos, los cuales serán agrados al servidor de NMS (gestor de Telefónica del Perú).

Para realizar el cambio del ID y IP lo hacemos a través del puerto NM\_ETH del equipo OSN6800 del subrack con ID:0, mediante un cable utp (directo), con el programa OptiX Navigator, figura 6-36.

**FIGURA 6-36 PROGRAMA OPTIX NAVIGATOR V5.6**

*Fuente: "Elaboración propia"*

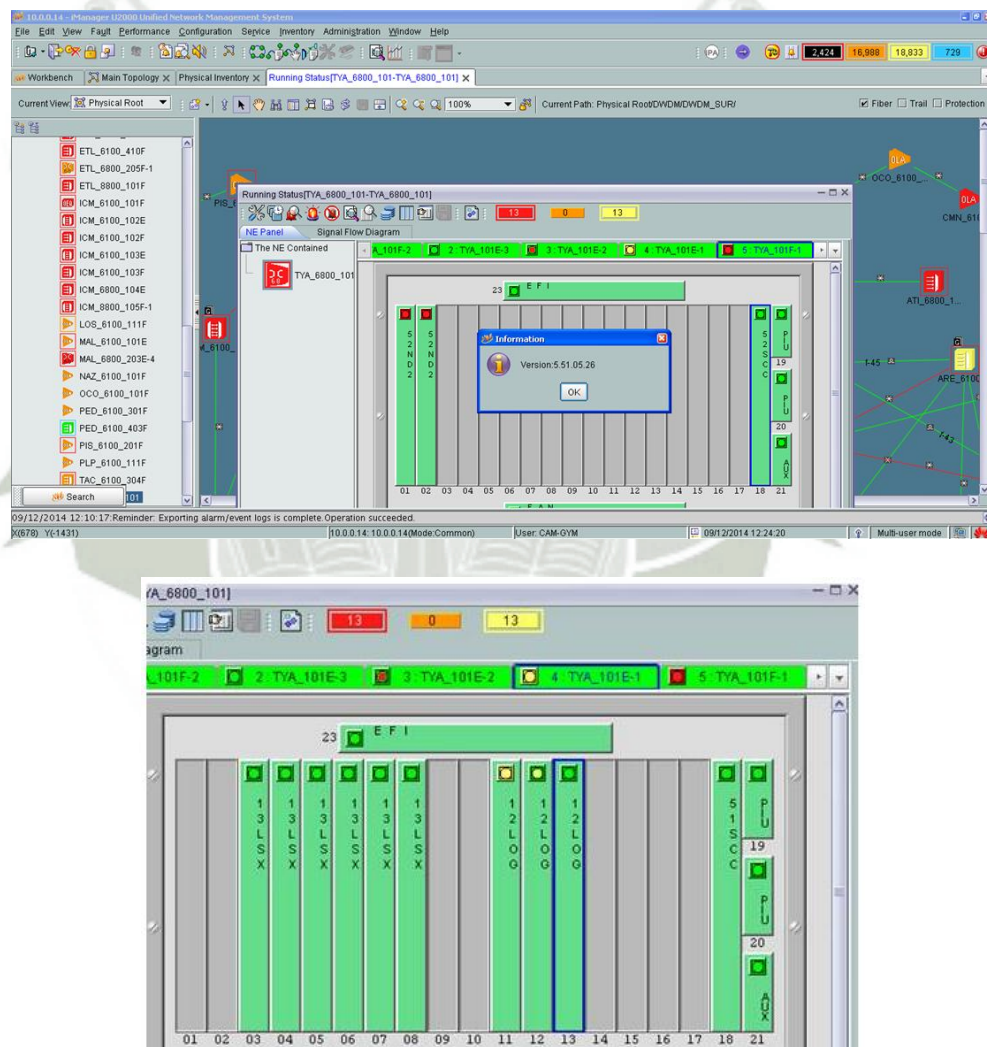
Para poder obtener la dirección IP del equipo OSN6800, a la laptop se le coloca la IP 129.9.1.100, con esa IP podremos obtener la IP del equipo OSN6800, para luego colocar una IP de la red en la que se encuentra el equipo OSN6800 a la laptop, para así poder loguearse con el equipo OSN6800. Una vez logueado se procede al cambio del ID y de la IP del equipo OSN6800.

Luego de haber cambiado el ID y el IP, el equipo OSN6800 procederá a reiniciarse. Luego procedemos a loguearnos para verificar los cambios realizados.

### 6.4.3 Gestión local del equipo OSN6800

Con la gestión del equipo OSN6800, podremos revisar la versión de software del equipo y de las tarjetas que se encuentran en los subrack's, en el caso que se

necesite realizar un downgrade o upgrade esto lo determinara Telefónica del Perú ya que estos equipos se integrarán a su red. Con la gestión local se procederá a realizar la configuración de las tarjetas, las cuales se probarán para poder verificar si cumplen con las especificaciones técnicas. La gestión local hacemos a través del puerto NM\_ETH del equipo OSN6800 del subrack con ID:0, mediante un cable utp (directo), y con el programa U2000, figura 6-37.



**FIGURA 6-37 PROGRAMA IMANAGER U2000**

*Fuente: "Elaboración propia"*

#### 6.4.4 Software Commissioning (Puesta en marcha del software)

Consiste en la configuración y pruebas locales que certifican el buen funcionamiento del equipamiento, estas pruebas las realizamos mediante el protocolo de aceptación (PAC) 04\_ANEXO. En el caso que se encuentre un inconveniente se informara al proveedor de los equipos.

Para poder realizar estas pruebas son necesario los siguientes equipos:

1. Equipo EXFO FTB-200, con módulo OSA (analizador de espectros ópticos).



FIGURA 6-38 FTB200 OSA (EXFO)

Fuente: "Elaboración propia"

- Equipo EXFO FTB-1, con módulo de pruebas ethernet y SDH.



FIGURA 6-39 FTB-1 (EXFO)

Fuente: "Elaboración propia"

- Equipo EXFO Atenuador variable.



FIGURA 6-40 FVA-600 (EXFO)

Fuente: "Elaboración propia"

4. Equipo EXFO Power meter (medidor óptico).



FIGURA 6-41 FPM-300 (EXFO)

*Fuente: "Elaboración propia"*

**6.4.4.1 Pruebas de tarjetas OTU (Unidad De Transporte Óptico)**

Las tarjetas OTU cuenta con dos puertos, puerto lado cliente (Tx/Rx) y el lado DWDM (IN/OUT).

**6.4.4.1.1 Potencia óptica de transmisión**

La potencia emitida por los puertos TX y OUT es medida con el power meter, la cual es compara con los valores que se refleja en el gestor, figura 6-42.

### A.3.1 Potencia Óptica Promedio de Transmisión

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto Óptico	Potencia (dBm) de salida		ALS	Observaciones
				T2000	P.M.		
501F-1	1	LSX	TX	-1.9	-2.34	Disabled	Ventana 1310
501F-1	1	LSX	OUT	-1.0	-1.27	N.A.	Ventana 1550
501F-1	2	LSX	TX	-2.0	-2.89	Disabled	Ventana 1310
501F-1	2	LSX	OUT	-0.9	-1.03	N.A.	Ventana 1550

FIGURA 6-42 POTENCIA ÓPTICA PROMEDIO DE TRANSMISIÓN (ATP)

Fuente: "Elaboración propia"

#### 6.4.4.1.2 Longitud de onda central de transmisión

Con el equipo FTB-200 (módulo OSA) se monitorea el puerto óptico OUT, el cual está configurado a la longitud de onda a la que va a trabajar, el valor obtenido se compara con el valor teórico, figura 6-43.

### A.3.2 Longitud de Onda Central de la Señal Óptica de Transmisión

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	$\lambda$ (nm) OSA	$\lambda$ Nominal	$\Delta\lambda$ (nm)	OSNR	Observaciones
501F-1	1	LSX	1560.70	1560.61	0.09	52.38	192.1 Thz
501F-1	2	LSX	1559.89	1559.79	0.1	51.04	192.2 Thz

FIGURA 6-43 LONGITUD DE ONDA CENTRAL DE LA SEÑAL ÓPTICA DE TRANSMISIÓN (ATP)

Fuente: "Elaboración propia"

#### 6.4.4.1.3 Sensitividad mínima de recepción

Para poder realizar esta prueba atenúamos la potencia que ingresa al puerto óptico RX y al puerto óptico IN, hasta el punto que la prueba de BER pueda correr sin que presente errores. Los valores obtenidos se comparan con los valores del gestor, figura 6-44.

Para probar la sensibilidad del puerto óptico RX, se coloca un loop físico de fibra óptica en puerto IN/OUT, y el equipo FTB-1 en el puerto óptico TX/RX en serie con el atenuador variable para atenuar la señal de salida del equipo FTB-1, la cual ingresara al puerto RX.

Y para el puerto óptico IN, se coloca el atenuador variable en el puerto IN/OUT (como loop físico), la señal emitida por el puerto OUT será atenuada, para después ingresar en el puerto IN.

### A.3.3 Sensitividad Mínima del Receptor

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto Óptico	Sensitividad (dBm)		Observaciones
				T2000	P.M:	
501F-1	1	LSX	RX	-18.7	-17.86	--
501F-1	1	LSX	IN	-22.4	-22.38	--
501F-1	2	LSX	RX	.19.0	-17.98	--
501F-1	2	LSX	IN	-22.2	-21.60	--

**FIGURA 6-44 SENTIVIDAD MÍNIMA DEL RECEPTOR (ATP)**

*Fuente: "Elaboración propia"*

### 6.4.4.2 Pruebas de Amplificadores

La prueba que se realiza a los amplificadores es para verificar la ganancia del amplificador, para lo cual se toma una potencia de referencia esta puede ser de una tarjeta OTU o del equipo FTB-1, la potencia de referencia la ingresamos por el puerto IN y con el power meter medimos la potencia de salida en el puerto OUT, se configura el amplificador a su máxima ganancia a través del gestor. Con lo cual podemos verificar la ganancia del amplificador, figura 6-45.

### A.3.4 Ganancia del Amplificador

NOTA: Gain Adjustable Range: OBU101 20±1.5/OBU103 23±1.5/OAU101 20±2 Tolerancia ≤ 2.0

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Ganancia Real	Ganancia T2000	Δ Gan	Observaciones
501-F-2	1	OAU101	-1.26	18.55	19.81	20	-0.19	192.1 Thz
501-F-2	5	OAU101	-1.26	18.28	19.54	20	-0.46	192.1 Thz
501-F-2	8	OBU103	-1.26	20.29	21.55	23	-1.45	192.1 Thz
501-F-2	16	OAU101	-1.26	18.46	19.72	20	-0.28	192.1 Thz
501-F-3	4	HBA	-1.26	27.13	28.39	29	-0.61	192.1 Thz

Nota: Potencia de referencia la tarjeta LSX 501F-2 Slot:1 Pto:OUT

FIGURA 6-45 GANANCIA DEL AMPLIFICADOR (ATP)

Fuente: "Elaboración propia"

#### 6.4.4.3 Pruebas de Multiplexor y Demultiplexor

##### 6.4.4.3.1 Pruebas de Multiplexor M40V (Tarjeta de multiplexación de 40 canales con VOA)

Al multiplexor se le realiza prueba de atenuación ya que en los 40 puertos que presenta la tarjeta M40V tienen atenuadores variables incorporados (VOA), y su vez se realiza una prueba de pérdida de inserción, para ello utilizamos el equipo FTB-200 (módulo OSA).

Para la prueba de atenuación, se toma como referencia una potencia óptica de una tarjeta OTU, la tarjeta OTU será configurada con 40 frecuencias para poder probar los 40 puertos de la tarjeta M40V, para lo cual la potencia de referencia de la tarjeta OTU se conectará en los puertos M01, M02, M03, .... M40 y el equipo FTB-200 se conectará en el puerto óptico OUT de la tarjeta M40V. En la

tarjeta M40V se configura a sus 40 puertos con su atenuación mínima y luego con su atenuación máxima, figura 6-46.

### A.3.6 Atenuación de las Tarjetas VA4 y M40V

#### Para las Tarjetas VA4 (No aplica)

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Atenuación	Observaciones
--	--	--	--	--	--	--	--

#### Para las Tarjetas M40V

M40V <=8.5dB D40<=6.5dB

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Atenuación	Observaciones
501F-3	1	M40V	M01	-0.76	-5.87	5.11	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M01	-0.76	-20.59	19.83	Max: 15.0
501F-3	1	M40V	M02	0.04	-5.75	5.79	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M02	0.04	-20.9	20.94	Max: 15.0
501F-3	1	M40V	M03	-0.12	-5.93	5.81	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M03	-0.12	-20.94	20.82	Max: 15.0
501F-3	1	M40V	M04	-0.34	-5.78	5.44	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M04	-0.34	-20.91	20.57	Max: 15.0
501F-3	1	M40V	M05	-0.3	-6.46	6.16	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M05	-0.3	-21.7	21.4	Max: 15.0
501F-3	1	M40V	M06	0.04	-5.73	5.77	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M06	0.04	-21.1	21.14	Max: 15.0
501F-3	1	M40V	M27	-0.54	-5.71	5.17	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M27	-0.54	-20.68	20.14	Max: 15.0
501F-3	1	M40V	M28	-0.11	-6.18	6.07	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M28	-0.11	-20.94	20.83	Max: 15.0
501F-3	1	M40V	M29	-0.48	-5.86	5.38	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M29	-0.48	-21.01	20.53	Max: 15.0
501F-3	1	M40V	M37	0.16	-5.99	6.15	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M37	0.16	-21.16	21.32	Max: 15.0
501F-3	1	M40V	M38	-0.04	-5.99	5.95	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M38	-0.04	-20.87	20.83	Max: 15.0
501F-3	1	M40V	M39	-0.65	-6.05	5.4	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M39	-0.65	-21.24	20.59	Max: 15.0
501F-3	1	M40V	M40	0.11	-6.35	6.46	Min: 0.0
501F-3	1	M40V	M40	0.11	-21.51	21.62	Max: 15.0

FIGURA 6-46 ATENUACIÓN DE TARJETA M40V (ATP)

Fuente: "Elaboración propia"

La prueba de pérdida de inserción, se toma como referencia una potencia óptica de una tarjeta OTU, la tarjeta OTU será configurada con 40 frecuencias para poder probar los 40 puertos de la tarjeta M40V, para lo cual la potencia de

referencia de la tarjeta OTU se conectará en los puertos M01, M02, M03, .... M40 y el equipo FTB-200 se conectará en el puerto óptico OUT de la tarjeta M40V. En la tarjeta M40V se configura a sus 40 puertos con su atenuación mínima, figura 6-47.

### A.3.7 Pérdida de inserción del M40V/D40

M40V <=8.5dB D40<=6.5Db

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto de entrada	Puerto de Salida	P <sub>in</sub> (dBm)	P <sub>out</sub> (dBm)	Atenuación	Observaciones
501F-3	1	M40V	M01	OUT	-0.76	-5.87	5.11	OK
501F-3	1	M40V	M02	OUT	0.04	-5.75	5.79	OK
501F-3	1	M40V	M03	OUT	-0.12	-5.93	5.81	OK
501F-3	1	M40V	M04	OUT	-0.34	-5.78	5.44	OK
501F-3	1	M40V	M05	OUT	-0.3	-6.46	6.16	OK
501F-3	1	M40V	M06	OUT	0.04	-5.73	5.77	OK
501F-3	1	M40V	M07	OUT	-2.35	-6.46	4.11	OK
501F-3	1	M40V	M08	OUT	-0.07	-6.01	5.94	OK
501F-3	1	M40V	M23	OUT	-0.06	-5.57	5.51	OK
501F-3	1	M40V	M24	OUT	-1.94	-5.71	3.77	OK
501F-3	1	M40V	M25	OUT	-2	-5.65	3.65	OK
501F-3	1	M40V	M26	OUT	0.36	-5.68	6.04	OK
501F-3	1							
501F-3	1	M40V	M35	OUT	-1.23	-5.9	4.67	OK
501F-3	1	M40V	M36	OUT	-0.79	-5.47	4.68	OK
501F-3	1	M40V	M37	OUT	0.16	-5.99	6.15	OK
501F-3	1	M40V	M38	OUT	-0.04	-5.99	5.95	OK
501F-3	1	M40V	M39	OUT	-0.65	-6.05	5.4	OK
501F-3	1	M40V	M40	OUT	0.11	-6.35	6.46	OK

FIGURA 6-47 PÉRDIDA DE INSERCIÓN M40V (ATP)

Fuente: "Elaboración propia"

#### 6.4.4.3.2 Pruebas de Demultiplexor D40 (Tarjeta de demultiplexación de 40 canales)

Al demultiplexor se le realiza una prueba de pérdida de inserción a los 40 puertos, para ello utilizamos el equipo FTB-200 (módulo OSA).

La prueba de pérdida de inserción, se toma como referencia una potencia óptica de una tarjeta OTU, la tarjeta OTU será configurada con 40 frecuencias para poder probar los 40 puertos de la tarjeta D40, para lo cual la potencia de referencia de la tarjeta OTU se conectará en el puerto óptico IN y el equipo FTB-200 se conectará en los puertos óptico D01, D02, D03, .... D40 de la tarjeta D40, figura 6-48.

#### A.3.7 Pérdida de inserción del M40V/D40

M40V  $\leq$  8.5dB D40  $\leq$  6.5Db

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto de entrada	Puerto de Salida	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Atenuación	Observaciones
ID: 0	14_15	D40	IN	D01	-0.76	-4.58	3.82	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D03	-0.12	-4.59	4.47	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D04	-0.34	-4.68	4.34	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D05	-0.3	-4.65	4.35	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D06	0.04	-4.59	4.63	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D07	-2.35	-4.53	2.18	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D23	-0.06	-4.26	4.2	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D24	-1.94	-4.67	2.73	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D25	-2	-4.85	2.85	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D26	0.36	-4.6	4.96	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D27	-0.54	-4.64	4.1	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D35	-1.23	-4.75	3.52	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D36	-0.79	-4.63	3.84	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D37	0.16	-5.15	5.31	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D38	-0.04	-4.9	4.86	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D39	-0.65	-4.87	4.22	OK
ID: 0	14_15	D40	IN	D40	0.11	-4.83	4.94	OK

FIGURA 6-48 PÉRDIDA DE INSERCIÓN D40 (ATP)

Fuente: "Elaboración propia"

#### 6.4.4.3.3 Prueba de tarjeta FIU (Unidad de interfaz de fibra)

La prueba a esta tarjeta consiste en la pérdida de inserción, esta tarjeta multiplexa y demultiplexa la lambda de servicio con las lambdas de gestión. Para ello utilizamos el equipo FTB-200 (módulo OSA). La prueba de pérdida inserción de la tarjeta FIU, la realizamos en la etapa de transmisión y la etapa de recepción. Se toma como referencia la potencia óptica de una tarjeta OTU.

En la etapa de recepción, la potencia de referencia de la tarjeta OTU la ingresamos por el puerto óptico RC y en puerto óptico OUT se conecta el equipo FTB-200. Y en la etapa de transmisión, la potencia de referencia de la tarjeta OTU la ingresamos por el puerto óptico IN y en puerto óptico TC se conecta el equipo FTB-200, figura 6-49.

#### A.3.8 Pérdida de inserción del FIU

FIU: IN-TC  $\leq 1$ ; RC-OUT  $\leq 1$

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto de Entrada	Puerto de Salida	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Pérdida de Inserción	Observaciones
501F-3	7	FIU	IN	TC	-0.85	-0.29	-0.56	192.1 Thz
501F-3	7	FIU	RC	OUT	-0.85	-0.69	-0.16	192.1 Thz

Nota: Potencia de referencia la tarjeta LSX 501F-2 Slot:2 Pto:OUT

FIGURA 6-49 PÉRDIDA DE INSERCIÓN FIU (ATP)

Fuente: "Elaboración propia"

#### 6.4.4.3.4 Prueba de tarjeta ITL (Tarjeta de entrelazado)

La prueba a esta tarjeta consiste en la pérdida de inserción, Para ello utilizamos el equipo FTB-200 (módulo OSA). La prueba de pérdida inserción de la tarjeta

ITL, la realizamos en la etapa de transmisión y la etapa de recepción. Se toma como referencia la potencia óptica de una tarjeta OTU.

En la etapa de recepción, la potencia de referencia de la tarjeta OTU la ingresamos por el puerto óptico IN y en puerto óptico TE se conecta el equipo FTB-200. Y en la etapa de transmisión, la potencia de referencia de la tarjeta OTU la ingresamos por el puerto óptico RE y en puerto óptico OUT se conecta el equipo FTB-200, figura 6-50.

#### A.3.9 Pérdida de inserción del ITL

ITL: IN-TE <2.5; RE-OUT <4.5

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto de Entrada	Puerto de Salida	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Pérdida de Inserción	Observaciones
501F-3	8	ITL	IN	TE	-0.85	-1.86	1.01	192.1 Thz
501F-3	8	ITL	RE	OUT	-0.85	-0.92	0.07	192.1 Thz

**Nota:** Potencia de referencia la tarjeta LSX 501F-2 Slot:1 Pto:OUT

**FIGURA 6-50 PÉRDIDA DE INSERCIÓN ITL (ATP)**

*Fuente: "Elaboración propia"*

#### 6.4.4.4 Pruebas de tarjeta MCA (Analizador de espectros)

La prueba que se realiza a la tarjeta MCA es para verificar su funcionamiento, el cual lo relacionamos con el del equipo FTB-200 (módulo OSA). Para lo cual se toma una potencia de referencia de una tarjeta OTU, y la ingresamos por los puertos ópticos IN1, IN2, IN3 y IN4, figura 6-51.

### A.3.13 Funcionamiento de la Tarjeta MCA

Nota: Diferencia entre OSA y MCA  $\leq 2$ db

Sub-rack ID	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto	$\lambda_{MCA}$ (nm)	$\lambda_{OSA}$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	$P_{MCA}$ (dBm)	$P_{OSA}$ (dBm)	$\Delta P$ (dB)
501F-2	3	MCA4	IN1	1559.79	1559.89	0.1	17.8	17.93	0.13
501F-2	3	MCA4	IN2	1559.79	1559.89	0.1	17.9	17.93	0.03
501F-2	3	MCA4	IN3	1559.79	1559.89	0.1	18.1	17.93	0.17
501F-2	3	MCA4	IN4	1559.79	1559.89	0.1	17.8	17.93	0.13

Nota: Potencia de referencia la tarjeta LSX 501F-2 Slot:1 Pto:OUT

FIGURA 6-51 FUNCIONAMIENTO DE TARJETA MCA (ATP)

Fuente: "Elaboración propia"

### 6.4.4.5 Pruebas de módulos DCM (Módulos de Dispersión Cromática)

La prueba de los módulos DCM consiste en la pérdida de inserción, Para ello utilizamos el equipo FTB-200 (módulo OSA). Para lo cual se toma como referencia la potencia óptica de una tarjeta OTU. El módulo DCM cuenta con un puerto óptico IN donde insertaremos la potencia de referencia de la tarjeta OTU y en puerto óptico OUT se conecta el equipo FTB-200, figura 6-52.

### A.3.11 Pérdida de inserción de DCM

DCM (T) 10 Km: Max. Insertion Loss 2.8 dB

Sub-rack	Tipo de DCM	Puerto de	Puerto de Salida	$P_{IN}$ (dBm)	$P_{OUT}$ (dBm)	Pérdida de Inserción	Observaciones Valor teórico
501F	A(20KM)	IN	OUT	-1.26	-4.22	-2.96	192.1 Thz
501F	C(60KM)	IN	OUT	-1.26	-6.64	-5.38	192.1 Thz
501F	A(20KM)	IN	OUT	-1.26	-4.00	-2.74	192.1 Thz
501F	F(120KM)	IN	OUT	-1.26	-8.50	-7.24	192.1 Thz

Nota: Potencia de referencia la tarjeta LSX 501F-2 Slot:2 Pto:OUT

FIGURA 6-52 PÉRDIDA DE INSERCIÓN DCM (PROTOCOLO DE ACEPTACION)

Fuente: "Elaboración propia"

#### 6.4.5 Integración de enlace Arequipa – Cusco

Consiste en la integración de servicios del equipamiento nuevo al resto de la red que actualmente tiene Telefónica del Perú. Para lo cual se trabaja bajo un diagrama de fibra provista por el proveedor de equipos HUAWEI. 05\_ANEXO.

Con el diagrama de fibra procedemos a realizar la interconexión de las tarjetas. Con todo interconectado se procede a la calibración de los valores del enlace, para lo cual se realiza la calibración de las lambdas y la amplificación de potencia de transmisión como la de recepción, la calibración la realizamos con el equipo FTB-200 en cada etapa del diagrama. Esto se realiza en cada site (Arequipa - Tintaya - Cusco), figura 6-53 y figura 6-54.

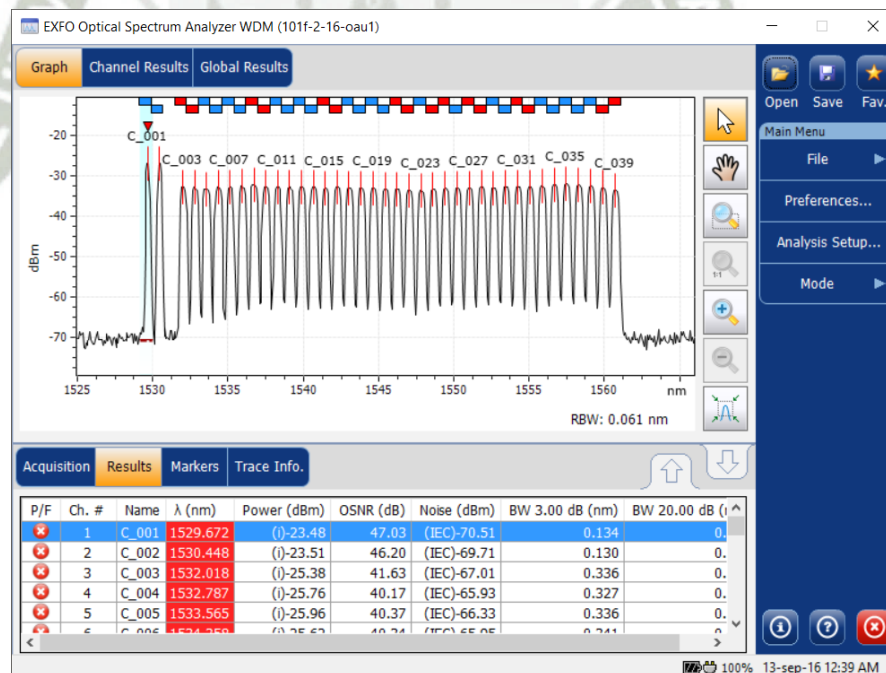


FIGURA 6-53 MEDICIÓN DE LAMBDA (OSA)

Fuente: “Elaboración propia”

P/F	Ch. #	Name	$\lambda$ (nm)	Power (dBm)	OSNR (dB)	Noise (dBm)	IEC	BW 3.00 dB (nm)	BW 20.00 dB (nm)
+	1	C_001	1529.672	(-)-23.48	47.03	(IEC)-70.51		0.134	0.
+	2	C_002	1530.448	(-)-23.51	46.20	(IEC)-69.71		0.130	0.
+	3	C_003	1532.018	(-)-25.38	41.63	(IEC)-67.01		0.336	0.
+	4	C_004	1532.787	(-)-25.76	40.17	(IEC)-65.93		0.327	0.
+	5	C_005	1533.565	(-)-25.96	40.37	(IEC)-66.33		0.336	0.
+	6	C_006	1534.358	(-)-25.62	40.34	(IEC)-65.95		0.341	0.
+	7	C_007	1535.143	(-)-25.58	38.83	(IEC)-64.41		0.334	0.
+	8	C_008	1535.935	(-)-25.32	37.63	(IEC)-62.95		0.340	0.
+	9	C_009	1536.726	(-)-25.09	36.54	(IEC)-61.63		0.335	0.
+	10	C_010	1537.498	(-)-25.41	36.09	(IEC)-61.49		0.334	0.
+	11	C_011	1538.290	(-)-25.38	35.90	(IEC)-61.28		0.343	0.
+	12	C_012	1539.088	(-)-25.47	35.32	(IEC)-60.79		0.339	0.
+	13	C_013	1539.877	(-)-25.41	35.61	(IEC)-61.02		0.344	0.
+	14	C_014	1540.675	(-)-25.43	36.26	(IEC)-61.70		0.341	0.
+	15	C_015	1541.462	(-)-25.86	35.97	(IEC)-61.83		0.330	0.
+	16	C_016	1542.243	(-)-25.44	35.98	(IEC)-61.43		0.341	0.
+	17	C_017	1543.044	(-)-25.51	35.91	(IEC)-61.43		0.346	0.
+	18	C_018	1543.841	(-)-25.73	36.47	(IEC)-62.20		0.336	0.
+	19	C_019	1544.639	(-)-25.69	36.92	(IEC)-62.61		0.345	0.
+	20	C_020	1545.441	(-)-25.85	37.32	(IEC)-63.17		0.343	0.
+	21	C_021	1546.223	(-)-26.03	36.65	(IEC)-62.67		0.333	0.
+	22	C_022	1547.018	(-)-26.19	36.31	(IEC)-62.50		0.344	0.
+	23	C_023	1547.826	(-)-26.27	36.77	(IEC)-63.03		0.345	0.
+	24	C_024	1548.623	(-)-25.86	36.19	(IEC)-62.05		0.344	0.
+	25	C_025	1549.431	(-)-25.73	36.28	(IEC)-62.01		0.346	0.

FIGURA 6-54 MEDICIÓN DE LAMBDA (OSA)

Fuente: "Elaboración propia"

Una vez que se obtiene la calibración, se gestionan los equipos desde el gestor de Telefónica del Perú, figura 6-55 y figura 6-56.

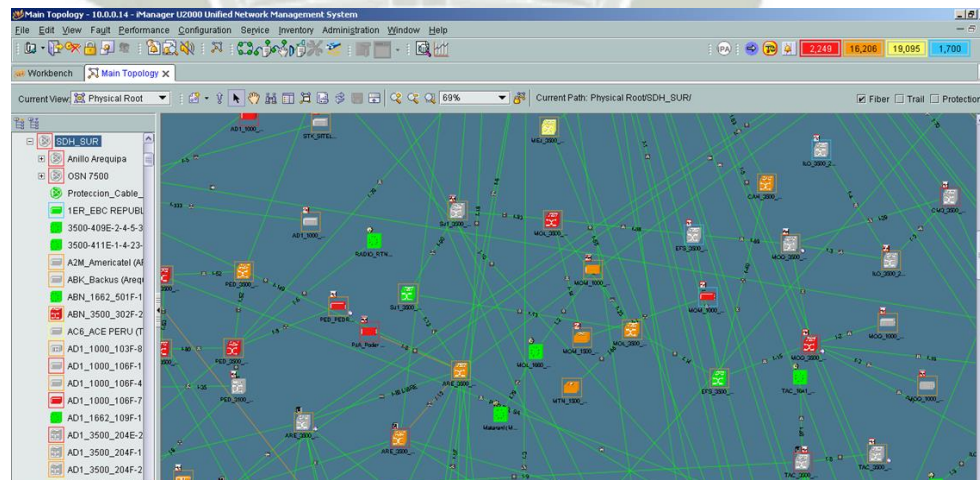
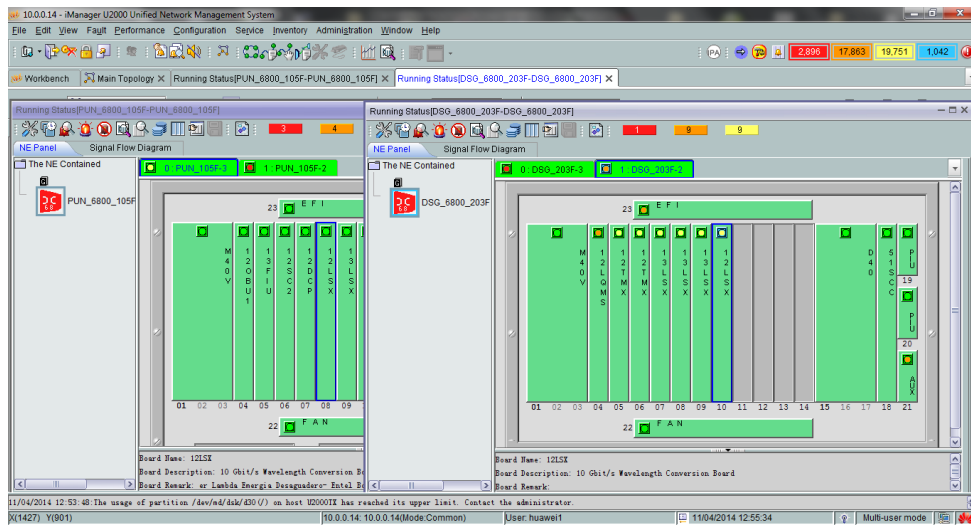


FIGURA 6-55 GESTOR DE TELEFÓNICA DEL PERÚ (PROGRAMA IMANAGER U2000)

Fuente: "Elaboración propia"



**FIGURA 6-56 GESTOR DE TELEFÓNICA DEL PERÚ (PROGRAMA IMANAGER U2000)**

*Fuente: "Elaboración propia"*

Desde el gestor de Telefónica del Perú se consigue la mejor performance del enlace, en el gestor se tiene la gestión de los equipos de los tres site (Arequipa - Tintaya - Cusco), con lo cual se puede lograr una mejor calibración ya que se puede ir variando los parámetros de las M40V y de los amplificadores de cada site. La calibración a nivel del gestor se realiza a través de la tarjeta MCA4, figura 6-57 y figura 6-58, y a través del gestor se puede observar las potencias de recepción de las tarjetas.

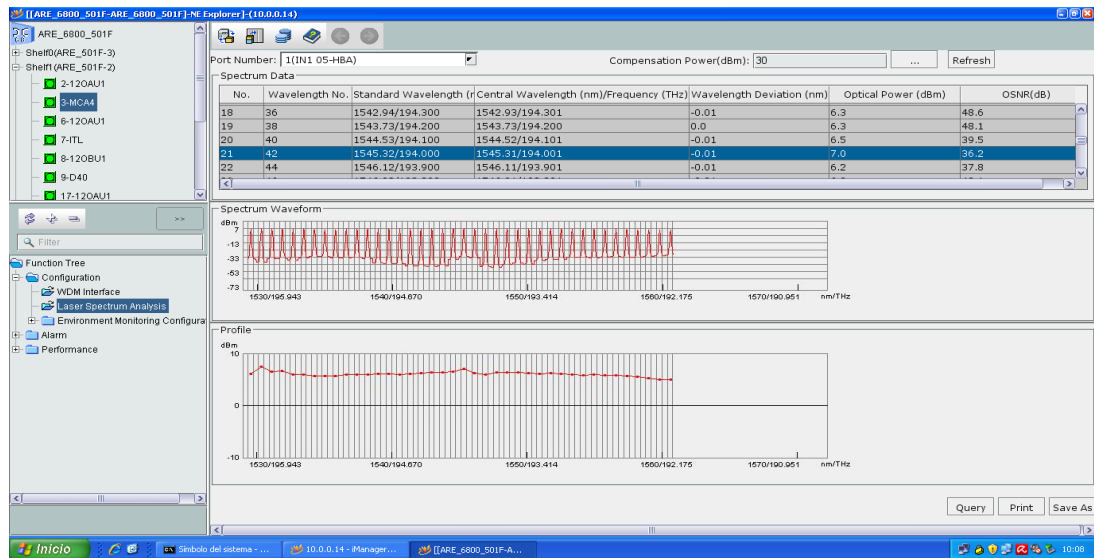


FIGURA 6-57 MEDICIÓN EN MCA (AREQUIPA TO TINTAYA)

Fuente: "Elaboración propia"

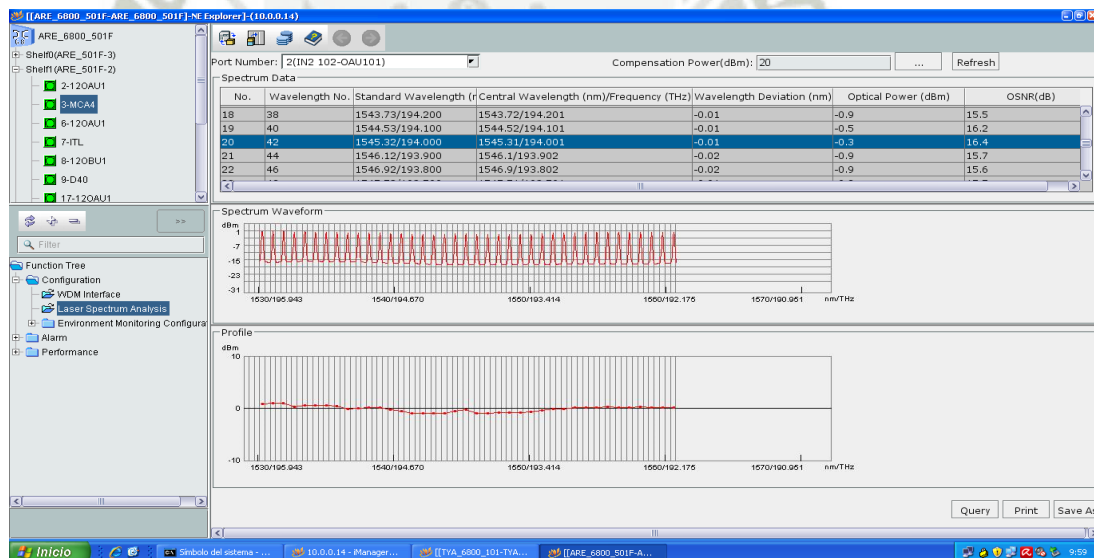


FIGURA 6-58 MEDICIÓN EN MCA (AREQUIPA FROM TINTAYA)

Fuente: "Elaboración propia"

Una vez que se tiene el enlace calibrado, se realizan pruebas del medio, estas pruebas consisten en pruebas de BER, estas pruebas son de 24 horas figura 6-59, concluidas las pruebas se da por concluido la implementación del enlace.  
06\_ANEXO.



**FIGURA 6-59 PRUEBA DE BER AREQUIPA – CUSCO (LOOP FISICO EN CUSCO)**

*Fuente: "Elaboración propia"*

## CAPÍTULO 7 - OTROS PROYECTOS DE FIBRA ÓPTICA

### 7.1 Proyecto REDESUR

Este proyecto consiste en la formación de anillos de DWDM entre las ciudades de Arequipa, Moquegua, Tacna, Puno y Juliaca. En la actualidad existen redes de DWDM entre Arequipa – Juliaca, Juliaca – Puno, y Arequipa – Tacna.

Para poder desarrollar este proyecto, Telefónica del Perú con el apoyo de Red Eléctrica del Sur (REDESUR), la cual proporciona la fibra óptica de planta externa entre Arequipa – Moquegua, Moquegua – Puno, y Moquegua – Tacna.



**FIGURA 7-1 SALA DE EQUIPOS REDESUR - MOQUEGUA**

*Fuente: "Elaboración propia"*

### **7.2 Proyecto de servicio de Banda Ancha Rural Juliaca - Puerto Maldonado**

Proyecto en el que América Móvil Perú (Claro) hizo un enlace Juliaca – Puerto Maldonado, con lo cual se logra una integración social de los pueblos de la sierra y la amazonia.

En este proyecto que consistía enlazar Juliaca – Puerto Maldonado, para lo que Claro con el apoyo de Red Eléctrica del Perú (REP), la cual proporciona la fibra óptica de planta externa.

### **7.3 Proyecto “DUKE-AGU-PUCALLPARE”**

Proyecto de América Móvil Perú (Claro), el cual cubre las ciudades de la sierra y de la amazonia, con lo cual se implementa una red DWDM entre Huánuco - Tingo María - Cerro Divisoria - Aguaytia - Neshura - Pucallpa – Barranca.

### **7.4 Proyecto AQP Sur (Valle el Tambo)**

Proyecto de Telefónica del Perú, consiste en un nuevo enlace SDH entre Mollendo hasta El Fiscal (Mollendo – Mejía – El Arenal – La Curva – Punta de Bombón – Cocachacra – El Fiscal), el proyecto consistió en el aumento de capacidad, para lo cual se instalaron equipos HUAWEI Optinex OSN3500, con lo cual se aumentó la capacidad del enlace de un STM-1 a STM-16.



**FIGURA 7-2 SALA DE EQUIPOS PUNTA DE BOMBON (EQUIPO OSN3500)**

*Fuente: "Elaboración propia"*



**FIGURA 7-3 SALA DE EQUIPOS MEJIA (EQUIPO OSN3500)**

*Fuente: "Elaboración propia"*

## 7.5 Proyectos implementados en el sur de país

Como se sabe los equipos DWDM son escalables, permitiendo poder incorporar más lambdas, para lo cual se realizó inserción de lambdas entre:

- ✓ Arequipa – Lima.
- ✓ Arequipa – Juliaca.
- ✓ Juliaca – Puno.
- ✓ Puno – Desaguadero.
- ✓ Arequipa – Tacna.
- ✓ Arequipa – Cusco.
- ✓ Cusco – Abancay.



FIGURA 7-4 SALA DE EQUIPOS AREQUIPA\_SW (EQUIPOS DWDM Y SDH)

Fuente: "Elaboración propia"

## CONCLUSIONES

1. Con la implementación del enlace de fibra óptica entre Arequipa – Cusco, se mejora los servicios de telecomunicaciones del departamento de Cusco, incrementando la velocidad de las conexiones de internet, la capacidad y cobertura del servicio de telefonía móvil, la telefonía fija y el servicio de radiodifusión por cable.
2. La ciudad de Cusco es la primera etapa del desarrollo de fibra óptica en la sierra del país y este enlace es la base para poder expandirse a otras ciudades del Perú.
3. Este enlace es escalable, permitiendo poder incorporar más longitudes de onda, las cuales podrán ser de 10Gbps, 40Gbps y de 100Gbps, según sea la necesidad de la demanda de los servicios de telecomunicaciones.
4. La marca Huawei demostró ser confiable y segura, por lo cual Telefónica del Perú implementa su red con la marca Huawei a nivel nacional. Cabe indicar que Huawei tiene presencia a nivel nacional e internacional, actualmente es la empresa que tiene más presencia en las diferentes empresas operadoras de telecomunicaciones.
5. Gracias a la tecnología DWDM podemos implementar un enlace de 40 longitudes de onda a diferentes capacidades solo utilizando dos (02) hilos de fibra óptica.

## BIBLIOGRAFÍA

- 00\_[BIZNEWS PERU\_2011]\_Fibra óptica e Internet de alta velocidad llegan al Cusco
- 01\_[MTC\_2011]\_Plan Nacional para el Desarrollo de la Banda Ancha en el Perú
- 02\_[EL COMERCIO\_2010]\_Graña y Montero adquiere empresa de servicios eléctricos a chilena Enersis CAM
- 03\_[CISCO\_2015]\_Cisco Global Cloud Index Forecast and Methodology 2014–2019
- 04\_[CEPAL\_2013]\_Banda ancha en américa latina más allá de la conectividad
- 05\_[MTC\_2012]\_Plan Nacional para el Desarrollo de la banda ancha en el peru (2011-2016) [MTC\_2012]
- 06\_[EL COMERCIO\_2016]\_73% de la población rural carece de conexión a Internet
- 07\_[EXFO\_2015]\_Multiplexación por división en longitud de onda ligera
- 08\_[EXFO\_2015]\_Multiplexación por división de longitud de onda densa
- 09\_[MONOGRAFIA\_2014]\_Sistemas de comunicaciones ópticas Monografía Bogotá 2014
- 10\_[CONECTRONICA\_2009]\_Amplificador Raman
- 11\_[EXFO\_2013]\_OTN (G.709) Reference Guide
- 01\_WDM Principle [2006]
- 02\_OptiX WDM Network Planning and Design [2008]
- 03\_OptiX OSN 6800 Cálculo de Potencia Óptica [2008]
- 04\_OptiX WDM Pruebas [2008]
- 05\_HEDEX\_HUAWEI

- JORDÁN, V., GALPERÍN, H. Y PERES, W.

Banda ancha en América Latina: más allá de la conectividad

**En el texto:** (Jordán, Galperín and Peres, 2013)

**Bibliografía:** Jordán, V., Galperín, H. and Peres, W. (2013). Banda ancha en América Latina: más allá de la conectividad. 1st ed. Santiago de Chile: Naciones Unidas. CEPAL.

- GARCÍA TOMÁS, J., RAYA CABRERA, J. L. Y RODRIGO RAYA, V.

Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP

**En el texto:** (García Tomás, Raya Cabrera and Rodrigo Raya, 2002)

**Bibliografía:** García Tomás, J., Raya Cabrera, J. and Rodrigo Raya, V. (2002). Alta velocidad y calidad de servicio en redes IP. 1st ed. Madrid: RA-MA.

- <http://proyectos.inei.gov.pe/web/poblacion/>
- [http://www.granaymontero.com.pe/quienes\\_somos.aspx](http://www.granaymontero.com.pe/quienes_somos.aspx)
- [http://elcomercio.pe/economia/peru/grana-montero-adquiere-empresa-servicios-electricos-chilena-enersis\\_1-noticia-687427](http://elcomercio.pe/economia/peru/grana-montero-adquiere-empresa-servicios-electricos-chilena-enersis_1-noticia-687427)
- [http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/Cloud\\_Index\\_White\\_Paper.html](http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/Cloud_Index_White_Paper.html)
- [http://www.mtc.gov.pe/comunicaciones/regulacion\\_internacional/estadistica\\_catastro/informacion\\_estadistica.html](http://www.mtc.gov.pe/comunicaciones/regulacion_internacional/estadistica_catastro/informacion_estadistica.html)
- <https://www.osiptel.gob.pe/documentos/indicadores-estadisticos>

- <http://elcomercio.pe/economia/peru/peru-73-poblacion-rural-carece-conexion-internet-noticia-1881639>
- <http://www.conelectronica.com/redes-industriales/amplificadores-opticos-raman>
- <http://www.academia.edu/6879654/WDM>
- <https://comunicacionesopticas.files.wordpress.com/2007/10/trabajo-wdm.pdf>
- <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6961/1/T-ESPE-047100.pdf>
- <https://technology.ihs.com/573691/optical-network-hardware-market-notches-fastest-growing-4th-quarter-in-5-years>
- <http://news.ihsmarket.com/press-release/technology/infonetics-global-optical-network-hardware-market-sees-diverse-results-vend>
- [http://wwen.zte.com.cn/pub/en/products/bearer/optical\\_transmission/wdm\\_otn/201112/t20111207\\_268213.html](http://wwen.zte.com.cn/pub/en/products/bearer/optical_transmission/wdm_otn/201112/t20111207_268213.html)
- <http://www.huawei.com/es/products/transport-network/wdm-otn/osn6800-3800/>
- <http://www.cienaargentina.com.ar/products/4200/tab/overview/>
- [http://www.telecomnetworks.ru/datadocs/doc\\_1588ji.pdf](http://www.telecomnetworks.ru/datadocs/doc_1588ji.pdf)

# 06\_ANEXO

PRUEBAS DE ENLACE AREQUIPA - CUSO



EXFO Electro-Optical Engineering Inc.

Report Title: ReportTitle

Report Date: 2012-05-27 14:49:36

-----Job Information-----

Job ID: 1  
Contractor: --  
Customer: --  
Operator Name: --  
Comment: --

-----Test Configuration-----

Test Name: TEST  
Application Type: BERT  
Topology: Single Port

>Port Configuration

Transceiver Mode 10GigE LAN  
Clock Mode Internal  
VLAN None  
Frame Format Ethernet II  
OUI N/A  
IP Source Address 10.10.134.41  
MAC Source Address 00:03:01:08:89:89

>BERT

Framing Layer Framed L2  
TX Rate 100  
Ethernet Frame size 9600  
Pattern RX PRBS 2^31-1

-----Test Results-----

Start Time: 2012-05-26 12:12:48 Duration 1d 02:35:37

>BERT

Verdict: --

	Seconds	Count	Rate
Bit Error	0	0	0.00E00
Pattern Loss	0	--	--
No Traffic	0	--	--

-----Alarms/Errors-----

>Port

Alarms

	Seconds
LOS	0
Frequency	0
LOC	0

>Ethernet

Alarms

	Seconds
Link Down	0
Local Fault	0
Remote Fault	0

Errors

	Seconds	Count	Rate
Block	0	0	0.00E00
Jabber/Giant	0	0	0.00E00
Runt	0	0	0.00E00
Undersize	0	0	0.00E00
FCS	0	0	0.00E00

>Upper Layer

Errors

	Seconds	Count	Rate
IP Header Checksum	0	0	0.00E00
UDP Checksum	0	0	0.00E00
TCP Checksum	0	0	0.00E00

-----Statistics-----

Valid Frame Counts  
 Total TX Frame Count 1.24392E10  
 Total RX Frame Count 1.24392E10

Signal Analysis  
 Power Level (dBm) -9.1

Frequency Analysis  
 Frequency (bps) 10312508608  
 Frequency Offset (ppm) 1  
 Max. Negative Offset (ppm) 0  
 Max. Positive Offset (ppm) 1

>SDT

Configuration  
 Mode Defect Mode  
 No Defect Time (µs) 10  
 Test Period (µs) 100000

SDT Events

Total Disruption Count --

Disruption Time

Shortest (µs) --  
 Longest (µs) --  
 Last (µs) --  
 Average (µs) --  
 Total (µs) --

SDT Alarm

Service Disruption (sec) --

-----System Information-----

>Module Information

Module ID: FTB-8510G  
 Revision: 3  
 Serial Number: 548968  
 Calibration Date: 2014-03-05 02:58:00

>Software Information

Software Version: 1.9.0.80

EXFO Electro-Optical Engineering Inc.

Report Title: CUSCO - AQP RFC CASCADA

Report Date: 2012-05-25 10:24:13

-----Job Information-----

Job ID: 1  
Contractor: --  
Customer: --  
Operator Name: --  
Comment: --

-----Test Configuration-----

Test Name: TEST  
Application Type: RFC 2544  
Topology: Single Port

>Port Configuration

Transceiver Mode 10GigE LAN  
Clock Mode Internal  
VLAN None  
Frame Format Ethernet II  
OUI N/A  
IP Source Address 10.10.134.41  
MAC Source Address 00:03:01:08:89:89

>RFC 2544

Throughput Maximum Rate (%) 100  
Throughput Test Time 00:01  
Back-to-Back Test Time 00:01  
Frame Loss Maximum Rate (%) 100  
Frame Loss Test Time 00:01  
Latency Test Time 00:01  
Margin (%) 0

Latency Max rate

No information is available

-----Test Results-----

Start Time: 2000-03-03 17:29:02 Duration 0d 00:07:01

>RFC 2544

Verdict	Status
Throughput	--
Back-to-Back	--
Frame Loss	--
Latency	--

>Throughput

Layer: Layer 1-2-3

Display Results: Current

Frame Size	TX-to-RX
64	10000000000
128	10000000000
256	10000000000
512	10000000000
1024	10000000000
1518	10000000000
9600	10000000000

>Back-to-Back

Layer: Layer 1-2-3

Display Results: Current

Frame Size	TX-to-RX
64	14880953
128	8445946
256	4528986
512	2349625
1024	1197319
1518	812744
9600	129938

>Frame Loss

Display Results: Current

Displayed Step: 100

Frame Size	TX-to-RX
64	0
128	0
256	0
512	0
1024	0
1518	0
9600	0

>Latency

Display Results: Current

Latency Mode: Store and Forward

Frame Size	TX-to-RX (s)
64	0.0106937758
128	0.0106940846
256	0.0106946522
512	0.010696246400000001
1024	0.0106989758
1518	0.0107018726
9600	0.010747053000000001

-----Alarms/Errors-----

>Port

Alarms

	Seconds
LOS	0
Frequency	0
LOC	0

>Ethernet

Alarms

	Seconds
Link Down	0
Local Fault	0
Remote Fault	0

Errors

	Seconds	Count	Rate
Block	0	0	0.00E00
Jabber/Giant	0	0	0.00E00
Runt	0	0	0.00E00
Undersize	0	0	0.00E00
FCS	0	0	0.00E00

>Upper Layer

Errors

	Seconds	Count	Rate
IP Header Checksum	0	0	0.00E00
UDP Checksum	0	0	0.00E00

-----Statistics-----

Valid Frame Counts

Total TX Frame Count	190903025
Total RX Frame Count	190903025

Signal Analysis

Power Level (dBm) -10.1

Frequency Analysis

Frequency (bps)	10312515520
Frequency Offset (ppm)	2
Max. Negative Offset (ppm)	0
Max. Positive Offset (ppm)	2

-----System Information-----

>Module Information

Module ID:	FTB-8510G
Revision:	3
Serial Number:	548968
Calibration Date:	2011-03-05 02:58:00

>Software Information

Software Version: 1.9.0.80

# 01\_ANEXO

ESTADÍSTICAS DE SERVICIOS PÚBLICOS DE  
TELECOMUNICACIONES A NIVEL NACIONAL



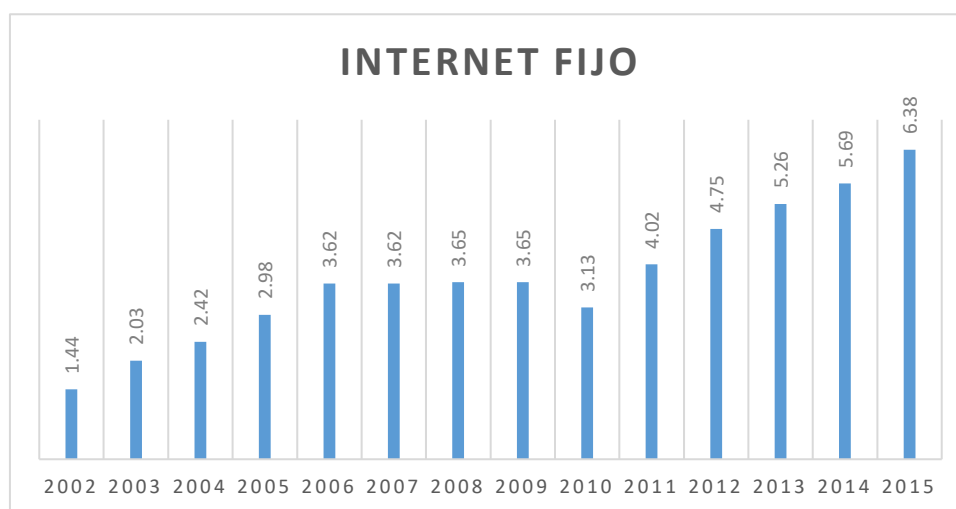
## ESTADÍSTICAS DE SERVICIOS PÚBLICOS DE TELECOMUNICACIONES A NIVEL NACIONAL

Servicios		Indicador	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Internet	Internet fijo	Suscriptores									1.44	2.03	2.42	2.98	3.62	3.62	3.65	3.65	3.13	4.02	4.75	5.26	5.69	6.38
	Internet movil	Suscriptores																	0.9	1.32	2.04	2.83	44.61	49.96
Telefonia Movil		Lineas en servicio	0.22	0.31	0.83	1.75	2.91	4.06	5.12	6.76	8.56	10.72	14.75	20.51	31.7	55.6	72.9	84.3	98.26	108.3	96.97	97.22	102.9	109.3
Telefonia Fija	Telefonia Fija de Abonado	Lineas en servicio	3.21	4.53	5.45	6.18	6.14	6.26	6.19	5.9	6.1	6.7	7.4	8.3	8.7	9.6	10	10.1	9.96	10.15	10.54	10.46	9.79	9.3
	Telefonia Publica x1000	Telefonos Publicos	0.58	1.02	1.4	1.61	1.95	2.47	3.22	3.59	4.22	4.73	5.18	5.57	5.73	6.2	6.9	6.6	7.01	7.01	7.34	6.99	6.68	6.17
Radiodifusion por cable		Suscriptores	0.03	0.08	0.42	1.01	1.21	1.27	1.34	1.29	1.16	1.33	1.40	1.70	2.09	2.55	3.18	3.49	4.10	4.30	4.83	4.88	5.42	6.03

Densidad: Número de Abonados por cada 100 habitantes.

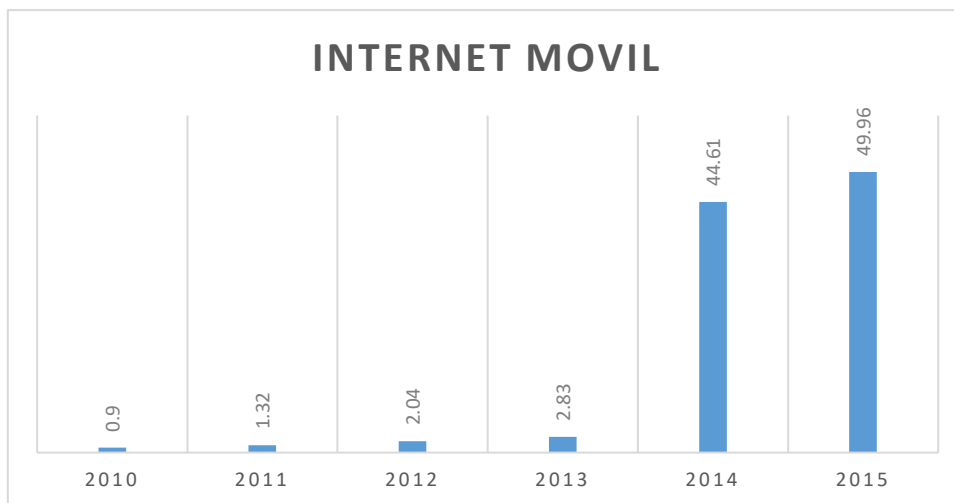
Fuente: MTC "ESTADÍSTICAS DE SERVICIOS PÚBLICOS DE TELECOMUNICACIONES A NIVEL NACIONAL"

[http://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/regulacion\\_internacional/estadistica\\_catastro/informacion\\_estadistica.html](http://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/regulacion_internacional/estadistica_catastro/informacion_estadistica.html)



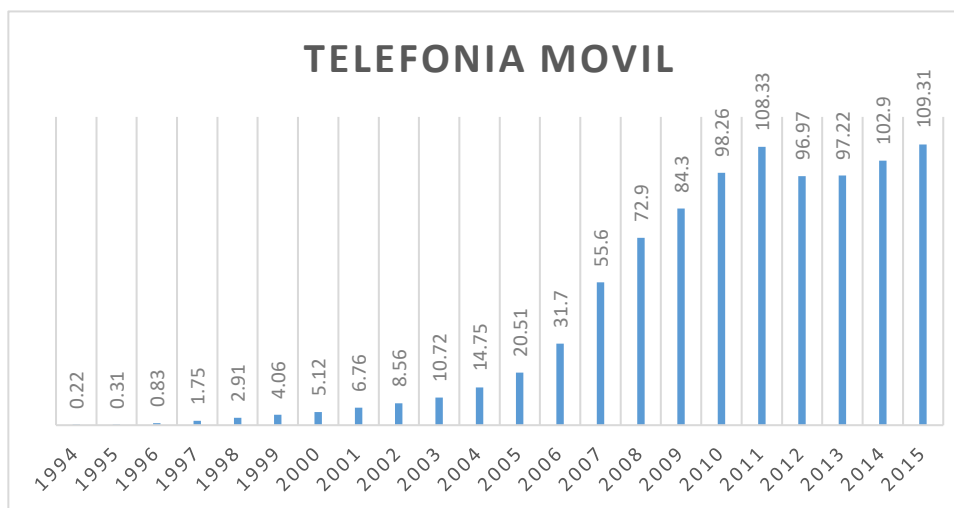
**FIGURA\_01: INTERNET FIJO**

DENSIDAD DE SUSCRIPTORES EN EL SERVICIO DE INTERNET FIJO 2002-2015 (SUSCRIPTORES DE INTERNET FIJO POR CADA 100 HABITANTES)



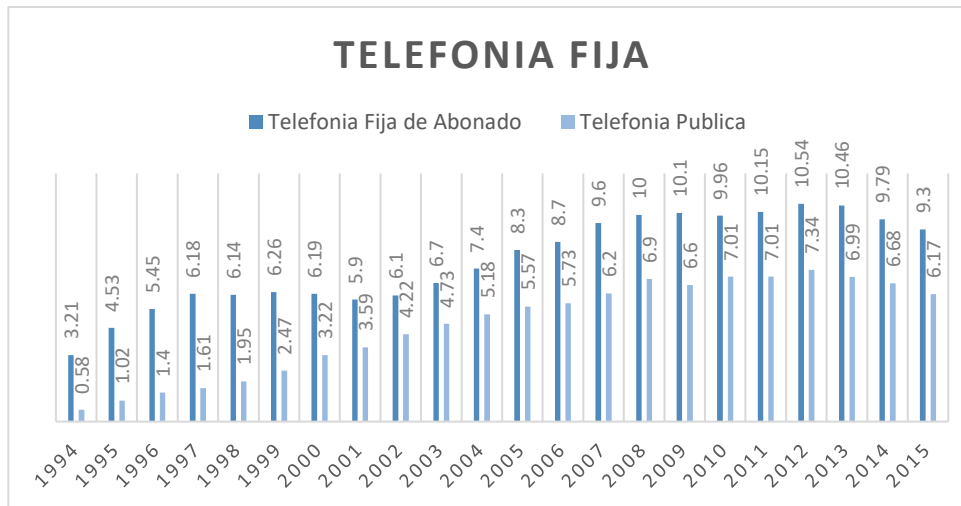
**FIGURA\_02: INTERNET MOVIL**

DENSIDAD DE SUSCRITORES EN EL SERVICIO DE INTERNET MÓVIL 2002-2015 (SUSCRITORES DE INTERNET FIJO POR CADA 100 HABITANTES)



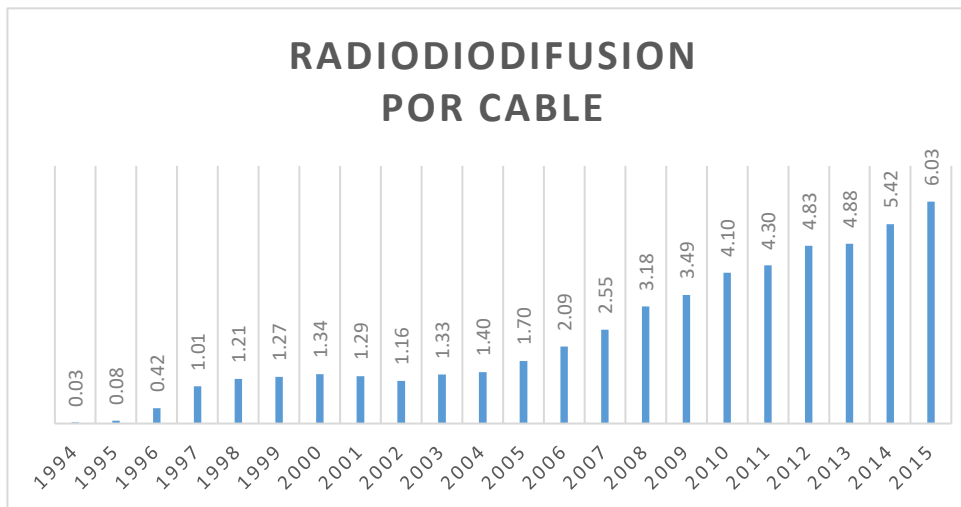
**FIGURA\_03: TELEFONIA MOVIL**

DENSIDAD DE LÍNEAS EN SERVICIO DE TELEFONÍA MÓVIL 1994-2015 (TELEFONÍA MÓVIL EN SERVICIO POR CADA 100 HABITANTES)



**FIGURA\_04: INTERNET FIJO**

DENSIDAD DE LÍNEAS EN SERVICIO DE TELEFONÍA FIJA 1994-2015 (TELEFONÍA FIJA DE ABONADO EN SERVICIO POR CADA 100 HABITANTES Y TELEFONÍA PÚBLICA POR CADA 1000 HABITANTES)

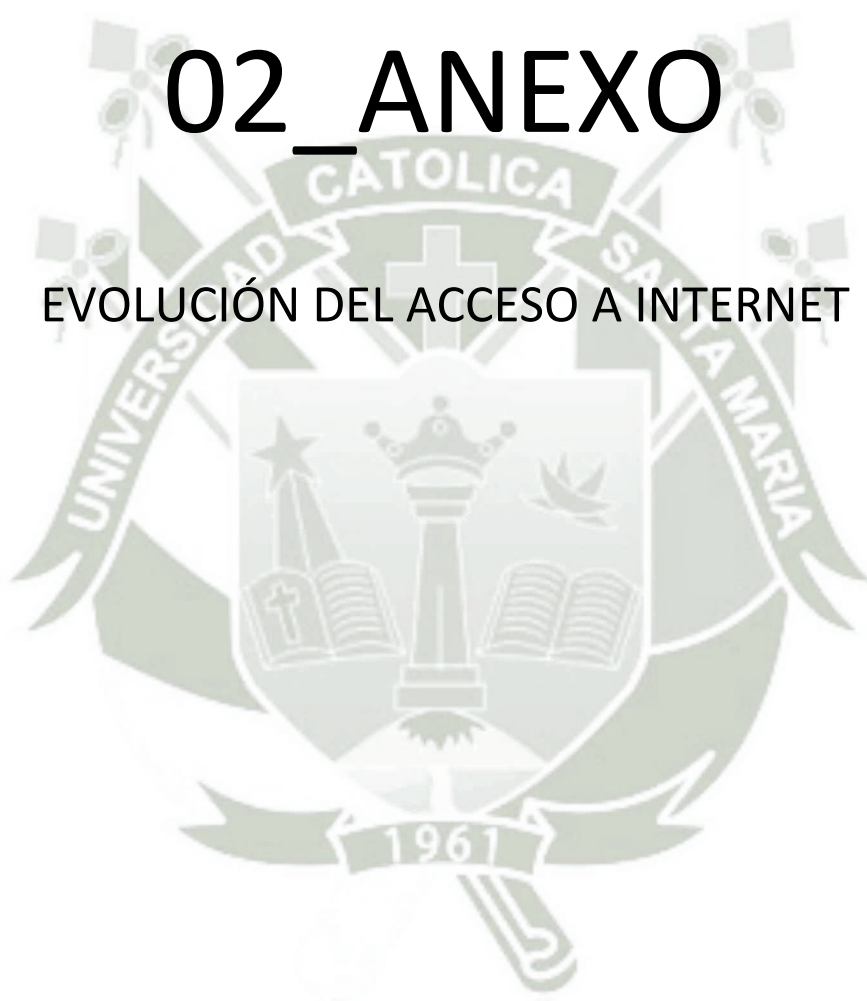


**FIGURA\_05: RADIODIFUSION POR CABLE**

DENSIDAD DE SUSCRIPTORES EN EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR CABLE 1994-2015 (SUSCRIPTORES DE RADIODIFUSIÓN POR CABLE POR CADA 100 HABITANTES)

# 02\_ANEXO

EVOLUCIÓN DEL ACCESO A INTERNET

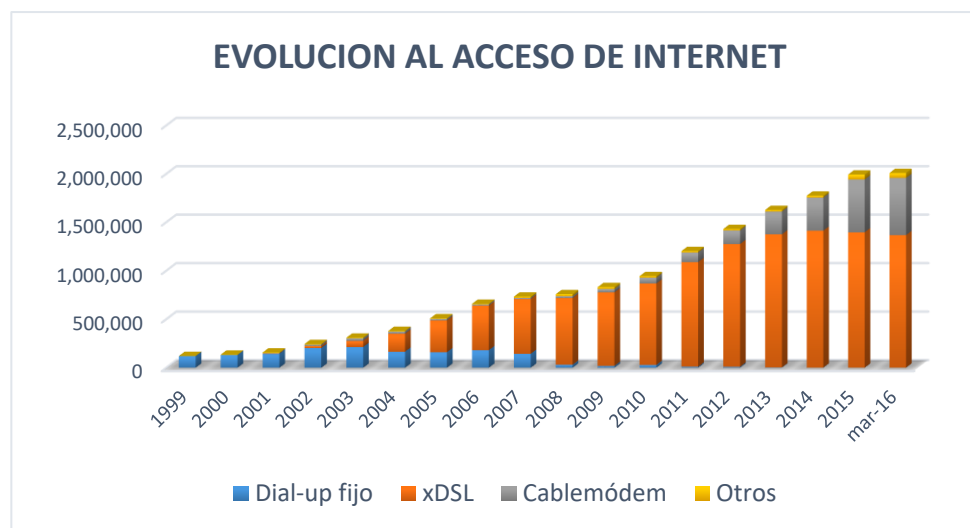


## CONEXIONES DE INTERNET 1999 - 2016

Tecnología de Acceso	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	mar-16
Dial-up fijo	120,014	130,560	142,623	202,602	213,013	164,798	159,323	180,742	143,665	29,762	18,031	27,762	9903	9,476	3,261	924	459	425
xDSL	0	32	1,700	20,375	63,641	185,516	327,982	458,730	565,007	688,260	758,418	840,010	1077980	1,264,381	1,371,760	1,411,024	1,394,552	1,365,357
Cablemódem	0	788	6,007	15,093	27,002	23,134	15,849	12,277	11,114	18,788	34,739	60311	99657	141,335	235,091	342,621	546,194	591,293
Otros	1,071	3,292	6,320	6,228	6,122	5,874	5,751	7,015	12,590	20,388	19,450	15,430	14923	14,565	16,504	19,499	51,066	51,213
<b>Total Perú</b>	<b>121,085</b>	<b>134,672</b>	<b>156,650</b>	<b>244,298</b>	<b>309,778</b>	<b>379,322</b>	<b>508,905</b>	<b>658,764</b>	<b>732,376</b>	<b>757,198</b>	<b>830,638</b>	<b>943,423</b>	<b>1,202,463</b>	<b>1,429,757</b>	<b>1,626,616</b>	<b>1,774,068</b>	<b>1,992,271</b>	<b>2,008,288</b>

Fuente: OSIPTEL "Conexiones de Internet 1999 - 2016"

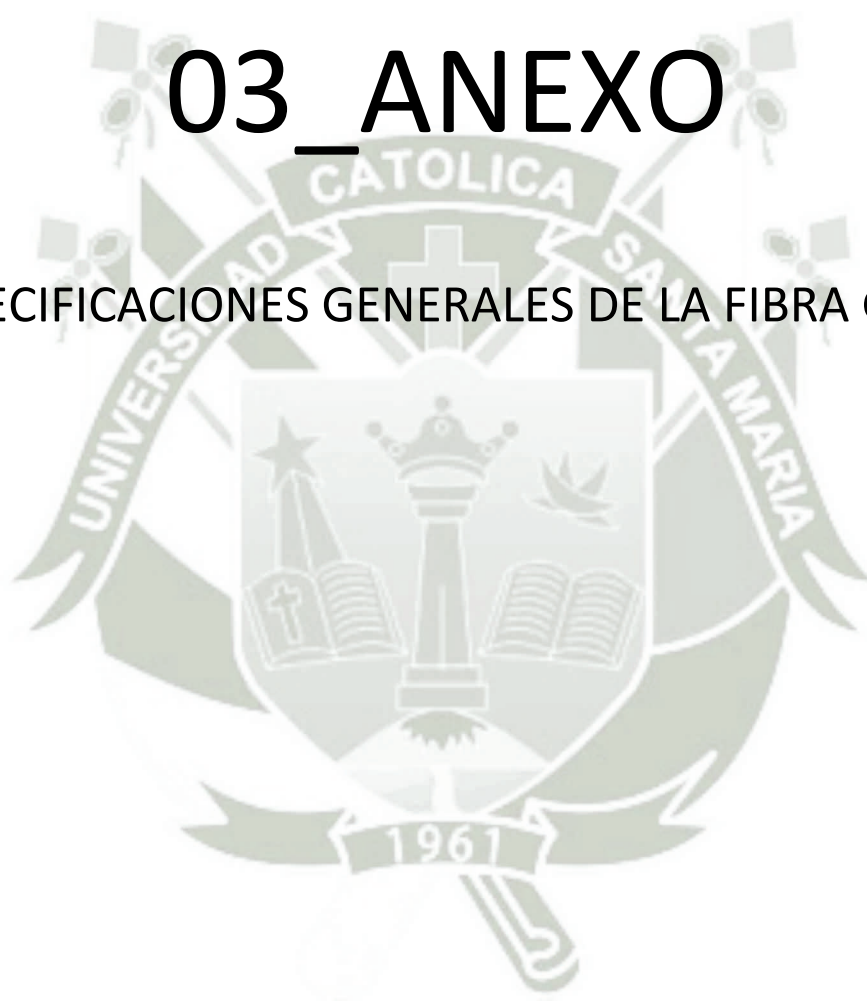
<https://www.osiptel.gob.pe/documentos/indicadores-estadisticos>



**FIGURA: EVOLUCIÓN DEL ACCESO A INTERNET (CONEXIONES FIJAS)**

# 03\_ANEXO

ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA FIBRA G.652



Unión Internacional de Telecomunicaciones

# UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

# G.652

(06/2005)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,  
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Características de los medios de transmisión – Cables  
de fibra óptica

---

## Características de las fibras y cables ópticos monomodo

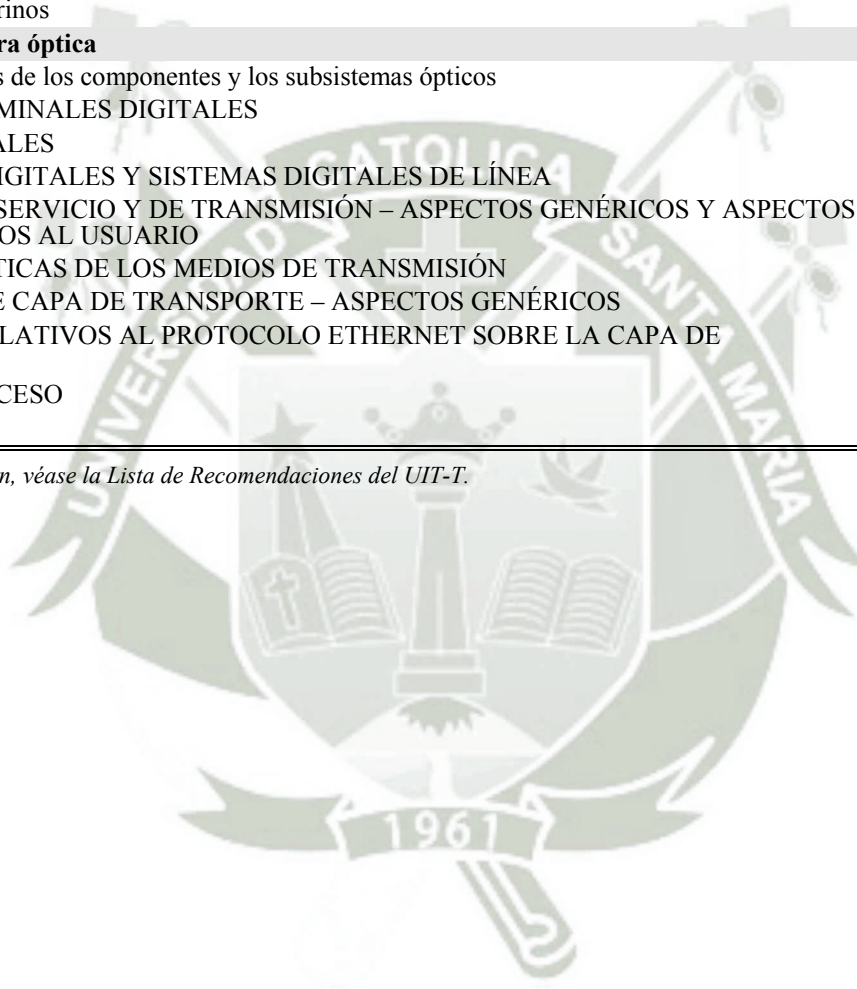
Recomendación UIT-T G.652

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G

SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATELITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
<b>Cables de fibra óptica</b>	<b>G.650–G.659</b>
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE – ASPECTOS GENÉRICOS	G.7000–G.7999
ASPECTOS RELATIVOS AL PROTOCOLO ETHERNET SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE	G.8000–G.8999
REDES DE ACCESO	G.9000–G.9999

*Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.*



## Recomendación UIT-T G.652

### Características de las fibras y cables ópticos monomodo

#### Resumen

Esta Recomendación describe las características geométricas, mecánicas y de transmisión de fibras y cables ópticos monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm. En un principio, esta fibra fue diseñada para funcionar óptimamente en la región de longitud de onda de 1310 nm, pero puede asimismo utilizarse en la región de 1550 nm. Ésta es la última revisión de una Recomendación publicada por primera vez en 1984. En esta revisión se deja claro que debe especificarse el parámetro  $PMD_Q$  en las fibras no cableadas y se hacen más estrictos ciertos márgenes de tolerancia. Mediante la presente revisión se pretende mantener el ininterrumpido éxito comercial de esta fibra en los sistemas de transmisión óptica de alta calidad, que no dejan de evolucionar.

#### Orígenes

La Recomendación UIT-T G.652 fue aprobada el 29 de junio de 2005 por la Comisión de Estudio 15 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

#### Historia

Versión	Fecha de aprobación	
Versión 1	(10/1984)	
Versión 2	(11/1988)	
Versión 3	(03/1993)	
Versión 4	(04/1997)	
Versión 5	(10/2000)	En esta revisión se añadieron cuadros para los distintos niveles de soporte del sistema.
Versión 6	(03/2003)	En esta revisión se aclara la nomenclatura de las distintas categorías de fibras. Asimismo, de conformidad con el acuerdo sobre la descripción de las bandas de espectro, se modificó el límite superior de la banda L, de 16XX a 1625 nm. Las características de atenuación para las categorías con cresta de agua reducida (G.652.C y G.652.D) se generalizan para una amplia región en vez de para una única longitud de onda. Se añaden requisitos de PMD para todas las categorías y en dos de ellas se han reducido los límites (en comparación con el $0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ ). En cuanto a la prueba de macroflexión, el diámetro del mandril se ha reducido a un radio de 30 mm. Como se indica anteriormente, esta Recomendación ha evolucionado considerablemente a lo largo del tiempo, por lo que se insta al lector a remitirse a la versión apropiada para determinar las características de productos ya en uso, teniendo en cuenta su año de producción. De hecho, los productos deben cumplir con las Recomendaciones en vigor en el momento de su fabricación, pero es posible que no cumplan plenamente los requisitos de las versiones posteriores de la Recomendación.
Versión 7	(06/2005)	Se señala el soporte de las aplicaciones G.695. Se precisa el método aplicable para atender los valores del coeficiente de dispersión cromático y en 5.10 se indica la utilización de estos valores junto con la utilización de las estadísticas de dispersión cromática para el diseño de sistemas. En 6.2 se precisa la relación entre el parámetro $PMD_Q$ de la fibra no cableada y de la fibra cableada. En el cuadro de requisitos: Se elimina la línea correspondiente a la PMD de la fibra no cableada y se modifica la nota correspondiente a la PMD que se requiere en el caso de la fibra no cableada. Se reduce la tolerancia de la MFD en 1310 nm. Se reduce la pendiente de dispersión máxima en la longitud de onda correspondiente a una dispersión nula. Se reduce el error máximo de concentricidad. Se reduce la pérdida máxima de macroflexión. La formulación del requisito de máximo hídrico en los cuadros 3 y 4 se modifica con el fin de tomar en consideración la especificación en toda la gama de valores frente a la especificación en 1310 nm.

## PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

## NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

## PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2005

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1 Alcance .....	1
2 Referencias .....	1
2.1 Referencias normativas .....	1
2.2 Referencias informativas .....	2
3 Terminología y definiciones .....	2
4 Abreviaturas, siglas o acrónimos .....	2
5 Características de la fibra.....	2
5.1 Diámetro del campo modal .....	3
5.2 Diámetro del revestimiento .....	3
5.3 Error de concentricidad del núcleo.....	3
5.4 No circularidad .....	3
5.5 Longitud de onda de corte .....	3
5.6 Pérdida por macroflexiones .....	4
5.7 Propiedades materiales de la fibra .....	4
5.8 Perfil del índice de refracción.....	4
5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática .....	4
5.10 Coeficiente de dispersión cromática.....	5
6 Características del cable .....	5
6.1 Coeficiente de atenuación.....	6
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización .....	6
7 Cuadros de valores recomendados.....	6
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema.....	11
I.1 Atenuación.....	11
I.2 Dispersión cromática .....	11
I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD).....	12
I.4 Coeficiente no lineal.....	12
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	12
BIBLIOGRAFÍA .....	14

## Recomendación UIT-T G.652

### Características de las fibras y cables ópticos monomodo

#### 1 Alcance

Esta Recomendación describe un cable de fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm, optimizado para uso en la región de longitud de onda de 1310 nm, y que puede utilizarse también en longitudes de onda en la región de 1550 nm (en las que la fibra no está optimizada). Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

Las características geométricas, ópticas, mecánicas y de transmisión de esta fibra se describen más adelante en tres categorías de atributos:

- los atributos de la fibra son aquellos que se mantienen en el cableado y la instalación;
- los atributos del cable, que son los recomendados para el suministro del cable;
- los atributos de enlace, que son las características de cables concatenados, y que describen los métodos de estimación de los parámetros de las interfaces del sistema basadas en medidas, modelado u otras consideraciones. Los atributos de enlace y de diseño del sistema se describen en el apéndice I.

Esta Recomendación y las distintas categorías de calidad que se especifican en los cuadros de la cláusula 7 pueden soportar los sistemas conexos de las siguientes Recomendaciones:

- Rec. UIT-T G.957.
- Rec. UIT-T G.691.
- Rec. UIT-T G.692.
- Rec. UIT-T G.693.
- Rec. UIT-T G.959.1.
- Rec. UIT-T G.695.

NOTA – En función de la longitud de los enlaces, puede ser necesaria un cierto grado de acomodación de la dispersión para ciertos códigos de aplicación G.691, G.692 o G.959.1.

El significado de los términos empleados en esta Recomendación y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en las Recs. UIT-T G.650.1 y G.650.2. Las características de esta fibra, incluidas las definiciones de los parámetros correspondientes, sus métodos de prueba y los valores pertinentes se precisarán a medida que avancen los estudios y se adquiera experiencia.

#### 2 Referencias

##### 2.1 Referencias normativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- Recomendación UIT-T G.650.1 (2004), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo.*

- Recomendación UIT-T G.650.2 (2005), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos conexos de las características estadísticas y no lineales de fibras y cables monomodo.*
- CEI 60793-2-50 (2004), *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres.*

## 2.2 Referencias informativas

- Recomendación UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.691 (2003), *Interfaces ópticas para los sistemas monocanal STM-64 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.693 (2005), *Interfaces ópticas para sistemas de conexión local.*
- Recomendación UIT-T G.695 (2005), *Interfaces ópticas para aplicaciones de multiplexación por división aproximada en longitud de onda.*
- Recomendación UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.959.1 (2003), *Interfaces de capa física de red óptica de transporte.*

## 3 Terminología y definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones contenidas en las Recs. UIT-T G.650.1 y G.650.2. Los valores se redondean al número de dígitos presentes en los cuadros de valores recomendados antes de evaluar su conformidad.

## 4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas, siglas o acrónimos.

$A_{\text{eff}}$	Área efectiva ( <i>effective area</i> )
DGD	Retardo diferencial de grupo ( <i>differential group delay</i> )
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda densa ( <i>dense wavelength division multiplexing</i> )
GPa	Gigapascal
PMD	Dispersión por modo de polarización ( <i>polarization mode dispersion</i> )
PMD <sub>Q</sub>	Parámetro estadístico para enlaces de tipo PMD ( <i>statistical parameter for link PMD</i> )
SDH	Jerarquía digital síncrona ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )
TBD	Por determinar ( <i>to be determined</i> )
WDM	Multiplexación por división en longitud de onda ( <i>wavelength division multiplexing</i> )

## 5 Características de la fibra

En esta cláusula sólo se recomiendan las características de la fibra que proporcionan una mínima estructura de diseño esencial para la fabricación de fibras. En la cláusula 7 se establecen gamas de valores o límites a los mismos. De éstas, la longitud de onda de corte de la fibra cableada y la dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*) pueden verse

apreciablemente afectadas por la fabricación o la instalación del cable. Además, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable enrollado en un tambor y a las fibras en cables instalados.

### 5.1 Diámetro del campo modal

El valor nominal y la tolerancia del mismo se especifican para 1310 nm. El valor nominal especificado debe encontrarse comprendido en la gama de valores de la cláusula 7. La tolerancia especificada no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7. La desviación con respecto al valor nominal no debe exceder la tolerancia especificada.

### 5.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125  $\mu\text{m}$ . También se especifica en la cláusula 7 una tolerancia cuyo valor no debe ser superado. La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder la tolerancia especificada.

### 5.3 Error de concentricidad del núcleo

El error de concentricidad del núcleo no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7.

### 5.4 No circularidad

#### 5.4.1 No circularidad del campo modal

En la práctica, la no circularidad del campo modal de las fibras que tienen campos modales nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y las uniones no se vean afectadas. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo modal. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo modal con fines de aceptación.

#### 5.4.2 No circularidad del revestimiento

La no circularidad del revestimiento no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7.

### 5.5 Longitud de onda de corte

Pueden distinguirse tres tipos útiles de longitudes de onda de corte:

- longitud de onda de corte de cable,  $\lambda_{cc}$ ;
- longitud de onda de corte de la fibra,  $\lambda_c$ ;
- longitud de onda de corte de cable puente,  $\lambda_{cj}$ .

NOTA – Para algunas aplicaciones específicas de cables submarinos pueden ser necesarias otras longitudes de onda.

La correlación de los valores medidos de  $\lambda_c$ ,  $\lambda_{cc}$  y  $\lambda_{cj}$  depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general  $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$ , no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa. Es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo mínimo de cable entre uniones a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema. Ello puede conseguirse recomendando que la máxima longitud de onda de corte  $\lambda_{cc}$  de una fibra monomodo cableada sea 1260 nm o, en el caso de cables puente, recomendando que la máxima longitud de onda de corte sea de 1250 nm o, para el peor caso en longitud y flexión de la fibra, recomendando que la máxima longitud de onda de corte de la fibra sea 1250 nm.

La longitud de onda de corte del cable,  $\lambda_{cc}$ , no debe exceder el valor máximo especificado en la cláusula 7.

## 5.6 Pérdida por macroflexiones

Las pérdidas por macroflexiones varían con la longitud de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas alrededor del mandril con un radio determinado. La pérdida por macroflexión no debe exceder lo especificado en la cláusula 7 para la longitud de onda especificada, el radio de curvatura y el número de vueltas.

NOTA 1 – Una prueba de aptitud puede ser suficiente para comprobar que se cumple este requisito.

NOTA 2 – El número recomendado de vueltas se corresponde al número aproximado de vueltas utilizadas en todos los empalmes de una sección de repetición típica. El radio recomendado es equivalente al mínimo radio de curvatura generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en instalaciones de sistemas reales para evitar un fallo por fatiga estática.

NOTA 3 – Si por razones de orden práctico se adopta un número de vueltas inferior al recomendado, se sugiere utilizar un número no inferior a 40 vueltas, siendo entonces el incremento de las pérdidas proporcionalmente menor.

NOTA 4 – La recomendación de pérdidas por macroflexión se refiere el montaje de las fibras en instalaciones reales de fibra monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

NOTA 5 – Cuando se requieran pruebas de rutina, en lugar del valor recomendado puede utilizarse un bucle de menor diámetro de una o varias vueltas con el objeto de conseguir precisión y facilitar la medida. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba de varias vueltas deben elegirse de modo que exista una correspondencia con la prueba recomendada y la pérdida permitida.

## 5.7 Propiedades materiales de la fibra

### 5.7.1 Materiales de la fibra

Deben indicarse las sustancias que intervienen en la composición de las fibras.

NOTA – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de sílice.

### 5.7.2 Materiales protectores

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

### 5.7.3 Nivel de prueba de resistencia mecánica

El nivel de prueba de resistencia mecánica especificada  $\sigma_p$ , no será inferior al valor mínimo especificado en la cláusula 7.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en 3.2 y 5.6/G.650.1.

## 5.8 Perfil del índice de refracción

Generalmente no es necesario conocer el perfil del índice de refracción de la fibra.

## 5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática

Queda en estudio.

NOTA – Para una longitud de onda concreta, el valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática puede variar con respecto al valor medido en una sección de gran longitud. Si el valor disminuye hasta un valor pequeño a una longitud de onda próxima a una longitud de onda de funcionamiento de un sistema WDM, el efecto no lineal conocido por mezcla de cuatro ondas puede inducir la propagación de potencia a otras longitudes de onda, incluyendo, pero no estando limitado a, otras longitudes de onda de funcionamiento. La

magnitud de la potencia de la mezcla de cuatro ondas es función del valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática, la pendiente de dispersión cromática, las longitudes de onda en funcionamiento, la potencia óptica y la distancia a lo largo de la que se produce la mezcla de cuatro ondas.

Para el funcionamiento de sistemas DWDM en la región de 1550 nm, la dispersión cromática de las fibras G.652 es lo suficientemente grande como para evitar la mezcla de cuatro ondas. La uniformidad de la dispersión cromática no es por tanto un aspecto de naturaleza funcional.

### 5.10 Coeficiente de dispersión cromática

Habrá que ajustar el retardo de grupo o el coeficiente de dispersión cromática a la longitud de onda, mediante la ecuación tripartita de Sellmeier, que se ha definido en el anexo A/G.650.1. (Véase 5.5/G.650.1 en lo que concierne a la interpolación de los valores de dispersión en longitudes de onda no medidas.)

La ecuación de Sellmeier puede utilizarse para ajustarse a los datos de cada intervalo de valores (1310 nm y 1550 nm) separadamente con dos ajustes, o con un ajuste común, utilizando datos de ambas gamas de valores.

El ajuste mediante la ecuación Sellmeier en la región de 1310 nm puede no ser suficientemente preciso si se extrapola a la región de 1550 nm. Como la dispersión cromática en esta última región es considerable, puede resultar aceptable esta menor precisión. En caso contrario, podría mejorarse la precisión, incluyendo datos de la región de 1550 nm al realizar el ajuste común, o al efectuar un ajuste separado para la región de 1550 nm. Hay que señalar que un ajuste común podría reducir la precisión en la región de 1310 nm.

El coeficiente de dispersión geométrica,  $D$ , se especifica estableciendo límites para los parámetros de una curva de dispersión cromática que sea función de la longitud de onda en la región de 1310 nm. El límite del coeficiente de dispersión cromática para cualquier longitud de onda,  $\lambda$ , se calcula utilizando la longitud de onda mínima de dispersión nula,  $\lambda_{0\text{mín}}$ , la longitud de onda máxima de dispersión nula,  $\lambda_{0\text{máx}}$ , y el coeficiente de la pendiente máxima de dispersión nula,  $S_{0\text{máx}}$ , en la siguiente expresión:

$$\frac{\lambda S_{0\text{máx}}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\text{máx}}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\text{máx}}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\text{mín}}}{\lambda} \right)^4 \right]$$

En los cuadros de la cláusula 7 deberán indicarse los límites de los valores de  $\lambda_{0\text{mín}}$ ,  $\lambda_{0\text{máx}}$ , y  $S_{0\text{máx}}$ .

Los valores del coeficiente de dispersión cromática a longitudes de onda que van de 1500 nm a 1625 nm se utilizan también para diseñar sistemas o compensadores de dispersión cromática. Los valores del coeficiente de dispersión cromática a longitudes de onda seleccionadas en este intervalo de valores se evalúan con una ecuación Sellmeier de cinco términos o un modelo polinomial de cuarto orden basado en las mediciones realizadas en estas gamas de longitud de onda. Los diseños efectuados recurriendo a valores del coeficiente de dispersión cromática se basan normalmente en un enfoque estadístico similar al indicado en el Suplemento UIT-T G.39. En el apéndice I se enumeran los valores típicos para una banda de unos 1550 nm.

NOTA – En la mayoría de los casos no es necesario medir el coeficiente de dispersión cromática de fibra monomodal.

## 6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras que se presentan en la cláusula 5 se ven muy poco afectadas por el proceso de cableado, en esta cláusula se presentan recomendaciones principalmente relativas a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados.

Las condiciones ambientales y de prueba son de gran importancia y se describen en las directrices sobre los métodos de prueba.

## 6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo para una o más longitudes de onda en las regiones de 1310 nm y 1550 nm. Los valores del coeficiente de atenuación del cable de fibra óptica no deben exceder los valores especificados en la cláusula 7.

NOTA – El coeficiente de atenuación puede calcularse para una gama de longitudes de onda, en base a medidas realizadas sobre unas pocas longitudes de onda predictivas (3 a 4). Este procedimiento se describe en 5.4.4/G.650.1 y en el apéndice III/G.650.1 se presenta un ejemplo.

## 6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización

No todos los cuadros incluyen requisitos relativos a la dispersión por modo de polarización (PMD). Cuando es necesario, la dispersión por modo de polarización de la fibra cableada se especifica estadísticamente, no de forma individual para cada fibra. Los requisitos sólo hacen referencia a aspectos del enlace calculados a partir de información del cable. A continuación se describe la métrica de la información estadística. En CEI/TR 61282-3 se describen los métodos de cálculo que se resumen en el apéndice IV/G.650.2.

El fabricante debe proporcionar un valor de PMD de diseño del enlace,  $PMD_Q$ , que constituya el límite estadístico superior del coeficiente de PMD de los cables de fibra óptica concatenados en un enlace de M secciones de cable. El límite superior se define en términos de un bajo nivel de la probabilidad, Q, de que un valor de coeficiente de PMD concatenado sea mayor que  $PMD_Q$ . Para los valores de M y Q de la cláusula 7, el valor de  $PMD_Q$  no debe superar el coeficiente máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

Las medidas y especificaciones obtenidas en fibras no cableadas son requisito necesario pero no suficiente para garantizar las especificaciones en fibra cableada. El valor máximo para el diseño de enlaces especificado en fibras no cableadas será inferior o igual al especificado en fibras cableadas. La relación de los valores de PMD en fibra no cableada y cableada dependerá de las circunstancias de la construcción y tratamiento del cable, así como del estado de acoplamiento del modo de la fibra no cableada. En la Rec. UIT-T G.650.2 se propone el despliegue de un bajo acoplamiento de modo, lo que exige que la fibra se enrolle con poca tensión en un carrete de gran diámetro para realizar mediciones PMD en fibra no cableada.

Puede interpretarse que los límites de la distribución de los valores de los coeficientes de PMD son casi equivalentes a los límites de la variación estadística del retardo diferencial de grupo (DGD, *differential group delay*), que varía de forma aleatoria en función del tiempo y de la longitud de onda. Cuando se especifica la distribución del coeficiente de PMD para cables de fibra óptica, pueden determinarse límites equivalentes para la variación de DGD. En el apéndice I figuran la métrica y los valores de los límites de la distribución del DGD.

NOTA 1 – Sólo se requerirá una especificación  $PMD_Q$  cuando los cables se utilicen para sistemas que disponen de la especificación del DGD máximo, es decir, por ejemplo, no se aplicará la especificación  $PMD_Q$  para los sistemas de la Rec. UIT-T G.957.

NOTA 2 – Deberá calcularse la  $PMD_Q$  para distintos tipos de cables, generalmente utilizando valores PMD de muestra. Las muestras se obtendrán de cables de construcción similar.

NOTA 3 – La especificación  $PMD_Q$  no se aplicará a cables cortos como los cables puente, cables interiores y cables de bajada.

## 7 Cuadros de valores recomendados

Los cuadros siguientes resumen los valores recomendados para una serie de categorías de fibras que satisfacen los objetivos de esta Recomendación. Estas categorías se distinguen principalmente en función de los requisitos PMD y del requisito de atenuación en 1383 nm. En el apéndice I se incluye información sobre las distancias de transmisión y las velocidades binarias relativas a los requisitos PMD.

El cuadro 1, Atributos G.652.A, contiene los atributos y valores recomendados necesarios para soportar aplicaciones tales como las recomendadas en las Recs. UIT-T G.957 y G.691 para sistemas de hasta STM-16, así como 10 Gbit/s hasta 40 km (Ethernet) y STM-256 de la Rec. UIT-T G.693.

El cuadro 2, Atributos G.652.B, contiene los atributos y valores recomendados que son necesarios para soportar aplicaciones de mayor velocidad binaria, hasta STM-64, tales como algunas de las descritas en las Recs. UIT-TG.691 y G.692, y STM-256 para algunas aplicaciones de las Recs. UIT-TG.693 y G.959.1. En función de la aplicación, puede ser necesario adaptar la dispersión cromática.

El cuadro 3, Atributos G.652.C, es semejante al cuadro sobre G.652.A, pero permite transmisiones en partes de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360 nm a 1530 nm.

El cuadro 4, Atributos G.652.D, es semejante al cuadro sobre G.652.B, pero permite transmisiones en partes de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360 nm a 1530 nm.

**Cuadro 1/G.652 – Atributos G.652.A**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm <sup>2</sup> × km
<b>Atributos del cable</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,5 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PDM <sub>Q</sub> máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD <sub>Q</sub> para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD <sub>Q</sub> .		

**Cuadro 2/G.652 – Atributos G.652.B**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm <sup>2</sup> × km
<b>Atributos del cable</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,4 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD <sub>Q</sub> para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD <sub>Q</sub> .		

**Cuadro 3/G.652 – Atributos G.652.C**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm <sup>2</sup> × km
<b>Atributos del cable</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm $\pm$ 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD<sub>Q</sub> para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD<sub>Q</sub>.</p> <p>NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm, después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>		

**Cuadro 4/G.652 – Atributos G.652.D**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm <sup>2</sup> × km
<b>Atributos del cable</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm $\pm 3$ nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD<sub>Q</sub> en la fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD<sub>Q</sub> del cable.</p> <p>NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>		

## Apéndice I

### Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema

Un enlace concatenado incluye generalmente largos de cable de fibra óptica de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en las cláusulas 5 y 6. Los parámetros de transmisión de enlaces concatenados deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos largos del cable, sino también las estadísticas de la concatenación.

Las características de transmisión de los largos de fabricación de cable de fibra óptica tendrán una determinada distribución probabilística que hay que tener en cuenta para conseguir los diseños más económicos. Los párrafos de este apéndice deben leerse teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

Los atributos del enlace se ven afectados por factores ajenos al propio cable de fibra óptica, tales como los empalmes, los conectores y la instalación. Estos factores no pueden especificarse en esta Recomendación. A los efectos de la estimación de los valores de las características del enlace, en los cuadros siguientes se presentan valores típicos de enlaces de fibra óptica. Los métodos de estimación de parámetros necesarios para el diseño del sistema están basados en medidas, en el modelado o en otras consideraciones.

#### I.1 Atenuación

La atenuación  $A$  de un enlace viene dada por:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

donde:

- $\alpha$  coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace
- $\alpha_s$  atenuación media por empalme
- $x$  número de empalmes de un enlace
- $\alpha_c$  atenuación media de los conectores de línea
- $y$  número de conectores de línea de un enlace (si se facilita)
- $L$  longitud del enlace

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos del envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.). La expresión anterior no incluye la pérdida de los conectores del equipo. Los valores típicos indicados en la cláusula I.5 corresponden al coeficiente de atenuación de enlaces de fibra óptica. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

#### I.2 Dispersión cromática

La dispersión cromática, expresada en ps/nm, puede obtenerse de los coeficientes de dispersión cromática de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal con la longitud y respetando los signos de los coeficientes (véase 5.10).

Cuando estas fibras se utilizan para transmitir en la región de 1550 nm, a menudo se emplea alguna forma de compensación de la dispersión cromática. En este caso, en el diseño se utiliza la dispersión cromática media del enlace. La dispersión medida en la ventana de 1550 nm puede caracterizarse en dicha ventana mediante una relación lineal con la longitud de onda. La relación se describe en función del coeficiente de dispersión cromática medio y del coeficiente de la pendiente de dispersión a 1550 nm.

En la cláusula I.1 se incluyen valores típicos del coeficiente de dispersión cromática,  $D_{1550}$ , y del coeficiente de la pendiente de dispersión cromática,  $S_{1550}$ , a 1550 nm. Estos valores pueden utilizarse junto con la longitud del enlace,  $L_{Link}$ , para calcular la dispersión cromática típica que debe utilizarse en el diseño de enlaces ópticos.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \text{ (ps/nm)}$$

### I.3 Retardo diferencial de grupo (DGD)

El retardo diferencial de grupo es la diferencia que se produce entre los instantes de llegada de dos modos de polarización para una longitud de onda y un instante determinados. En el caso de un enlace con un coeficiente de PMD específico, el DGD del enlace varía de forma aleatoria con el tiempo y la longitud de onda como una distribución de Maxwell que sólo contenga un único parámetro que sea el producto del coeficiente de PMD del enlace y de la raíz cuadrada de la longitud del mismo. Las degradaciones del sistema debidas al PMD para un instante y longitud de onda determinados, dependen del DGD para dicho instante y longitud de onda. Por tanto, se han desarrollado los medios necesarios para establecer límites útiles en la distribución del DGD, dado que éste se relaciona con la distribución del coeficiente de PMD del cable de fibra óptica y con sus límites. Todo ello está documentado en CEI/TR 61282-3 y resumido en el apéndice IV/G.650.2. A continuación se describe la métrica de las limitaciones de la distribución de DGD.

NOTA – La determinación de la contribución de componentes distintos al cable de fibra óptica queda fuera del ámbito de esta Recomendación, pero se analizan en CEI/TR 61282-3.

Longitud del enlace de referencia,  $L_{Ref}$ : es la longitud máxima del enlace a la que se aplica la DGD máxima y su probabilidad. Para enlaces más largos, se multiplica el máximo de DGD por la raíz cuadrada de la relación entre la longitud real y la longitud de referencia.

Longitud de cable máxima típica,  $L_{Cab}$ : los valores máximos están asegurados cuando los cables individuales típicos de la concatenación o las longitudes de los cables que se miden para determinar la distribución del coeficiente de PMD son menores que este valor.

DGD máxima,  $DGD_{m\acute{a}x}$ : valor de DGD que puede utilizarse considerando el diseño del sistema óptico.

Probabilidad máxima,  $P_F$ : probabilidad de que el valor DGD real supere  $DGD_{m\acute{a}x}$ .

### I.4 Coeficiente no lineal

El efecto de la dispersión cromática interactúa con la no linealidad de la fibra descrita mediante el coeficiente no lineal,  $n_2/A_{eff}$ , en relación con las degradaciones del sistema inducidas por efectos ópticos no lineales (véanse las Recs. UIT-T G.663 y G.650.2). Los valores típicos varían con la implementación. Los métodos de prueba para un coeficiente no lineal quedan en estudio.

### I.5 Cuadros de valores típicos comunes

Los valores de los cuadros I.1 y I.2, son representativos de enlaces de fibra óptica concatenados conforme a las cláusulas I.1 y I.3, respectivamente. Los valores de DGD máxima implícitos inducidos por la fibra del cuadro I.2 son orientativos con respecto a los requisitos de otros elementos ópticos que se pueden encontrar en el enlace.

NOTA – La longitud de sección de cable es de 10 km excepto para el enlace  $0,10 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}} / > 4000 \text{ km}$ , en que se fija a 25 km. El nivel de probabilidades de error es  $6,5 \times 10^{-8}$ .

**Cuadro I.1/G.652 – Valor representativo de enlaces  
de fibra óptica concatenados**

Coefficiente de atenuación	Región de longitud de onda	Valor típico del enlace
(Nota)	1260 nm – 1360 nm	0,5 dB/km
	1530 nm – 1565 nm	0,275 dB/km
	1565 nm – 1625 nm	0,35 dB/km
Coeficiente de dispersión cromática	$D_{1550}$	$17 \text{ ps/nm} \times \text{km}$
	$S_{1550}$	$0,056 \text{ ps/nm}^2 \times \text{km}$
NOTA – El valor típico del enlace corresponde al coeficiente de atenuación del enlace utilizado en las Recs. UIT-T G.957 y G.691.		

**Cuadro I.2/G.652 – Retardo diferencial de grupo**

PMDQ máximo (ps/ $\sqrt{\text{km}}$ )	Longitud del enlace (km)	DGD máximo implícito inducido por la fibra (ps)	Velocidad binaria del canal
Sin especificar			Hasta 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (nota)	10 Gbit/s
	2	7,5	40 Gbit/s
0,20	3000	19,0	10 Gbit/s
	80	7,0	40 Gbit/s
0,10	> 4000	12,0	10 Gbit/s
	400	5,0	40 Gbit/s
NOTA – Este valor se aplica igualmente para los sistemas 10 Gigabit Ethernet.			

## BIBLIOGRAFÍA

- CEI/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*
- CEI 60793-2 (2003), *Optical fibres – Part 2: Product specifications.*

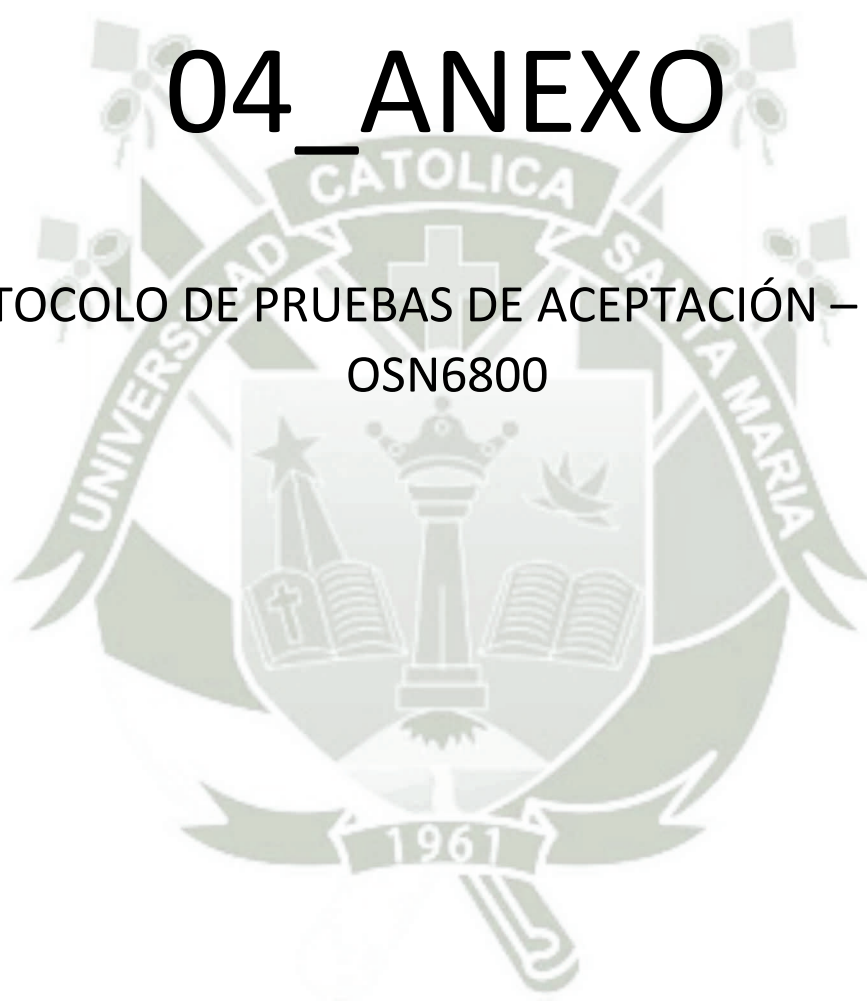


## SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
<b>Serie G</b>	<b>Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales</b>
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación

# 04\_ANEXO

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE ACEPTACIÓN – OPTIX  
OSN6800



*Telefonica*

**El objetivo de este protocolo es verificar que la solución provista por Huawei con los equipos OptiX OSN 6800 para la red DWDM de Telefónica del Perú S.A.A. puede ser puesta en uso comercial.**

**ESTACION: TINTAYA  
TIN\_6800\_101E**



**HUAWEI**

**Huawei Technologies Co., Ltd.  
JUNIO 2012**

## Tabla de Frecuencias de Señales DWDM

Lambda	Frecuencia Central (THz)	Frecuencia Central(nm)	Lambda	Frecuencia Central (THz)	Frecuencia Central(nm)
1	196.05	1529.16	41	194.05	1544.92
2	196.00	1529.55	42	194.00	1545.32
3	195.95	1529.94	43	193.95	1545.72
4	195.90	1530.33	44	193.90	1546.12
5	195.85	1530.72	45	193.85	1546.52
6	195.80	1531.12	46	193.80	1546.92
7	195.75	1531.51	47	193.75	1547.32
8	195.70	1531.90	48	193.70	1547.72
9	195.65	1532.29	49	193.65	1548.11
10	195.60	1532.68	50	193.60	1548.51
11	195.55	1533.07	51	193.55	1548.91
12	195.50	1533.47	52	193.50	1549.32
13	195.45	1533.86	53	193.45	1549.72
14	195.40	1534.25	54	193.40	1550.12
15	195.35	1534.64	55	193.35	1550.52
16	195.30	1535.04	56	193.30	1550.92
17	195.25	1535.43	57	193.25	1551.32
18	195.20	1535.82	58	193.20	1551.72
19	195.15	1536.22	59	193.15	1552.12
20	195.10	1536.61	60	193.10	1552.52
21	195.05	1537.00	61	193.05	1552.93
22	195.00	1537.40	62	193.00	1553.33
23	194.95	1537.79	63	192.95	1553.73
24	194.90	1538.19	64	192.90	1554.13
25	194.85	1538.58	65	192.85	1554.54
26	194.80	1538.98	66	192.80	1554.94
27	194.75	1539.37	67	192.75	1555.34
28	194.70	1539.77	68	192.70	1555.75
29	194.65	1540.16	69	192.65	1556.15
30	194.60	1540.56	70	192.60	1556.55
31	194.55	1540.95	71	192.55	1556.96
32	194.50	1541.35	72	192.50	1557.36
33	194.45	1541.75	73	192.45	1557.77
34	194.40	1542.14	74	192.40	1558.17
35	194.35	1542.54	75	192.35	1558.58
36	194.30	1542.94	76	192.30	1558.98
37	194.25	1543.33	77	192.25	1559.39
38	194.20	1543.73	78	192.20	1559.79
39	194.15	1544.13	79	192.15	1560.20
40	194.10	1544.53	80	192.10	1560.61



## A TABLAS DE RESULTADOS

### A.1 INSPECCIÓN VISUAL

No.	Puntos a revisar	Estado	Observaciones
1	Inspección de la instalación de hardware de los equipos en los gabinetes	OK	Verificada en sitio
2	Inspección del tendido de fibras y cables de energía	OK	Verificada en sitio
3	Inspección de la conexión interna de fibras y cables de energía	OK	Verificada en sitio
4	Inspección de los rotulados (etiquetas) según normas técnicas	OK	Verificada en sitio
5	Inspección del fijamiento del bastidor con base antisísmica (falso piso) / sobre piso de cemento	OK	Verificada en sitio

### A.2 Verificación de tarjetas instaladas

#### A.2.1 Detalle de tarjetas por lugar

Nombre de la Estación : TINTAYA  
 Tipo de equipo : OSN6800  
 Número de Serie : 98OGG019928-002  
 Order No : 9116614650006  
 Nombre de Equipo : TIN\_6800\_101E  
 ID : 9-1434 IP: 129.9.5.154

Ite m	Subrack ID	Slot	Board Type	BIOS Version	Software Version	Logic Version	PCB Version	Serial Number
1	2:101E_3	1-3	TN11M40V01	2.53/2.57	2.39	(U18)110	VER.C	030DSJD0AA000664
2	2:101E_3	4-6	TN11HBA01	-	1.11	(U13)110 (U15)110 (U16)120	VER.A	030HMT10AA000023
3	2:101E_3	7	TN13FIU02	-	1.11	-	VER.C	030KXM10AB000004
4	2:101E_3	8	TN11HSC101	2.53/2.57	2.6	(U1009)120 (U7)210	VER.B	030JWG10AA000018
5	2:101E_3	9	TN11ITL01	-	1.11	-	VER.C	030GDYD0AA000308
6	2:101E_3	14-16	TN11D4001	2.53/2.57	2.39	(U18)110	VER.B	030ETED0AA000681
7	2:101E_3	18	TN51SCC01	8.21.41/9.21.39	5.51.05.26	(U37)510(U8)100(U49)110	VER.B	030JVX10AA008940
8	2:101E_3	19	PIUA	-	1.11	-	VER.D	020JTND0A9002166
9	2:101E_3	20	PIUB	-	1.11	-	VER.D	020JTND0A9002206
10	2:101E_3	21	AUX	2.53/2.57	2.34	(U1)100	VER.D	030LMFD0AA003703
11	2:101E_3		EFI	-	1.11	(U25)100	VER.E	2102120403N0AB000671
12	2:101E_3		FAN	-	1.11	(U5)130	VER.D	2102120516N0AA003995
13	2:101E_3		SUBRACK	-	-	-	-	21022300652N0AB000244
14	3:101E_2	1-2	TN12OAU101	2.53/2.57	2.58	(U1009)200(U1025)120	VER.B	030LMK10AB000156
15	3:101E_2	3-4	TN11MCA401	2.53/2.57	2.39	(U6)120	VER.A	030DTA10AA000305
16	3:101E_2	5-6	TN12OAU101	2.53/2.57	2.58	(U1009)200(U1025)120	VER.B	030LMK10AB000148
17	3:101E_2	7	TN11ITL01	-	1.11	-	VER.C	030GDYD0AA000195
18	3:101E_2	8	TN12OBU103	2.53/2.57	2.58	(U1009)200(U1025)120	VER.B	030LMP10AB000028
19	3:101E_2	9-11	TN11D4001	2.53/2.57	2.39	(U18)110	VER.B	030ETED0AA000694
20	3:101E_2	16-17	TN12OAU101	2.53/2.57	2.58	(U1009)200(U1025)120	VER.B	030LMK10AB000142
21	3:101E_2	18	TN51SCC01	8.21.41/9.21.39	5.51.05.26	(U37)510(U8)100(U49)110	VER.B	030JVX10AA007439
22	3:101E_2	19	PIUA	-	1.11	-	VER.D	020JTND0A9002163



23	3:101E_2	20	PIUB	-	1.11	-	VER.D	020JTND0A9002155
24	3:101E_2	21	AUX	2.53/2.57	2.34	(U1)100	VER.D	030NMF00AA003706
25	3:101E_2		FAN	-	1.11	(U5)130	VER.D	2102120516N0AA003885
26	3:101E_2		EFI	-	1.11	(U25)100	VER.E	2102120403N0AB000691
27	3:101E_2		SUBRACK	/	/	/	/	2102300652N0AB000246
28	4:101E_1	5	TN1M3LSXT01	2.53/2.57	2.6	(U21)130	VER.A	2102317380109B000004
29	4:101E_1	6	TN1M3LSXT01	2.53/2.57	2.6	(U21)130	VER.A	2102317380109B000003
30	4:101E_1	7	TN1M3LSXT01	2.53/2.57	2.6	(U21)130	VER.A	2102317380109A000011
32	4:101E_1	8	TN1M3LSXT01	2.53/2.57	2.6	(U21)130	VER.A	2102317380109B000013
33	4:101E_1	18	TN51SCC01	8.21.41/9.21.39	5.51.05.26	(U37)510(U8)100(U49)110	VER.B	030JVX10AA008967
34	4:101E_1	19	PIUA	-	1.11	-	VER.D	020JTND0A9002157
35	4:101E_1	20	PIUB	-	1.11	-	VER.D	020JTND0A9002219
36	4:101E_1	21	AUX	2.53/2.57	2.34	(U1)100	VER.D	030NMF00AA003697
37	4:101E_1		FAN	-	1.11	(U5)130	VER.D	2102120516N0AA003882
38	4:101E_1		EFI	-	1.11	(U25)100	VER.E	2102120403N0AB000672
39	4:101E_1		SUBRACK	-	-	-	-	2102300652N0AB000245
40	101E_4_1		TN1CRPC03	-	-	-	-	030JXA10AD000001
41	101E_4_2		TN1CRPC01	-	-	-	-	030EPH10AB000015
42	101E_4_4-		DCM-F	-	-	-	-	103485230132
43	101E_4_4-		DCM-C	-	-	-	-	103785230521
44	101E		RACK	-	-	-	-	2102112872N0AB000002

## A.2.2 Detalle de puntos de conexión en la sala

### Posiciones de ODF

Sub-rack	Slot	Tarjeta	Port	ODF	Bandeja	Fibras	Observación
101E-4-1	31	CRPC03	LINE	01	02	1	Fibra fusionada
101E-4-2	30	CRPC03	LINE	01	02	2	Fibra fusionada

### Posiciones de Energía

Fuente	Rectificador	Distribuidor	Llave	Medida en Bastidor Encendido(V)	Corriente(A)
A	ELTEK	01	03 (100A)	-53.48	4.00
B	ELTEK	01	04 (100A)	-53.48	3.90

## A.3 Pruebas Técnicas

### A.3.1 Potencia Óptica Promedio de Transmisión

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto Óptico	Potencia (dBm) de salida		ALS	Observaciones
				T2000	P.M.		
101E-1	5	LSX	OUT	-1.0	-1.34	--	--
101E-1	5	LSX	TX	-1.9	-2.10	--	--
101E-1	6	LSX	OUT	-0.9	-1.24	--	--
101E-1	6	LSX	TX	-2.0	-2.67	--	--
101E-1	7	LSX	OUT	-1.0	-1.45	--	--
101E-1	7	LSX	TX	-1.9	-2.45	--	--
101E-1	8	LSX	OUT	-0.9	-1.22	--	--
101E-1	8	LSX	TX	-2.0	2.12	--	--

### A.3.2 Longitud de Onda Central de la Señal Óptica de Transmisión

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	$\lambda$ (nm) OSA	$\lambda$ Nominal	$\Delta\lambda$ (nm)	Potencia	OSNR	Observaciones
101E-1	5	LSX	1530.41	1530.33	0.08	-1.55	50.1	195.90 Thz.
101E-1	6	LSX	1530.41	1530.33	0.08	-1.41	49.3	195.90 Thz.
101E-1	7	LSX	1531.21	1531.12	0.09	-1.81	49.5	195.80 Thz.
101E-1	8	LSX	1531.21	1531.12	0.09	-1.02	48.9	195.80 Thz.

### A.3.3 Sensitividad Mínima del Receptor

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto Óptico	Sensitividad (dBm)		Observaciones
				T2000	P.M	
101E-1	5	LSX	IN	-22.2	-22.21	--
101E-1	5	LSX	RX	-18.50	-17.92	--
101E-1	6	LSX	IN	-22.1	-21.87	--
101E-1	6	LSX	RX	-19.00	-18.10	--
101E-1	7	LSX	IN	-22.4	-22.52	--
101E-1	7	LSX	RX	-18.70	-17.90	--
101E-1	8	LSX	IN	-22.2	-21.82	--
101E-1	8	LSX	RX	-18.90	-17.98	--

### A.3.4 Ganancia del Amplificador

NOTA: Gain Adjustable Range: OBU101 20±1.5/OBU103 23±1.5/OAU101 20±2 Tolerancia <= 2.0

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Ganancia Real	Ganancia T2000	$\Delta$ Gan	Observaciones
101E-2	1	OAU101	-1.26	18.55	19.81	20	-0.19	192.1 Thz
101E-2	5	OAU101	-1.26	18.28	19.54	20	-0.46	192.1 Thz
101E-2	8	OBU103	-1.26	20.29	21.55	23	-1.45	192.1 Thz
101E-2	16	OAU101	-1.26	18.46	19.72	20	-0.28	192.1 Thz
101E-3	4	HBA	-1.26	27.13	28.39	29	-0.61	192.1 Thz

Nota: Potencia de referencia la tarjeta LSX 501F-2 Slot:1 Pto:OUT

### A.3.5 Ganancia del Amplificador RAMAN (No aplica)

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	P <sub>mon</sub> (dBm)	P <sub>sys</sub> (dBm)	Ganancia ON-OFF	Observaciones
--	--	--	--	--	--	--

### A.3.6 Atenuación de las Tarjetas VA4 y M40V

Para las Tarjetas VA4 (No aplica)

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Atenuación	Observaciones
--	--	--	--	--	--	--	--

Para las Tarjetas M40V

M40V <=8.5dB D40<=6.5dB

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Atenuación	Observaciones
101E-3	1_3	M40V	M01	-0.76	-5.87	5.11	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M01	-0.76	-20.59	19.83	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M02	0.04	-5.75	5.79	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M02	0.04	-20.9	20.94	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M03	-0.12	-5.93	5.81	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M03	-0.12	-20.94	20.82	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M04	-0.34	-5.78	5.44	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M04	-0.34	-20.91	20.57	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M05	-0.3	-6.46	6.16	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M05	-0.3	-21.7	21.4	Max: 15.0



101E-3	1_3	M40V	M06	0.04	-5.73	5.77	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M06	0.04	-21.1	21.14	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M07	-2.35	-6.46	4.11	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M07	-2.35	-21.69	19.34	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M08	-0.07	-6.01	5.94	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M08	-0.07	-21.3	21.23	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M09	-0.53	-6.14	5.61	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M09	-0.53	-21.11	20.58	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M10	-1.63	-5.45	3.82	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M10	-1.63	-20.11	18.48	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M11	-0.49	-5.11	4.62	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M11	-0.49	-20.09	19.6	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M12	-0.13	-5.74	5.61	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M12	-0.13	-20.36	20.23	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M13	-0.78	-5.31	4.53	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M13	-0.78	-20.23	19.45	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M14	-0.4	-5.58	5.18	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M14	-0.4	-20.25	19.85	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M15	-0.63	-5.93	5.3	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M15	-0.63	-20.93	20.3	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M16	0.09	-5.49	5.58	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M16	0.09	-20.35	20.44	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M17	0.12	-5.97	6.09	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M17	0.12	-21.04	21.16	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M18	0.14	-5.73	5.87	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M18	0.14	-20.84	20.98	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M19	-0.18	-6.06	5.88	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M19	-0.18	-21.37	21.19	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M20	-0.88	-5.89	5.01	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M20	-0.88	-21	20.12	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M21	-1.74	-5.94	4.2	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M21	-1.74	-21.37	19.63	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M22	0.24	-5.68	5.92	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M22	0.24	-20.88	21.12	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M23	-0.06	-5.57	5.51	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M23	-0.06	-21.15	21.09	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M24	-1.94	-5.71	3.77	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M24	-1.94	-20.94	19	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M25	-2	-5.65	3.65	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M25	-2	-20.58	18.58	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M26	0.36	-5.68	6.04	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M26	0.36	-20.3	20.66	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M27	-0.54	-5.71	5.17	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M27	-0.54	-20.68	20.14	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M28	-0.11	-6.18	6.07	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M28	-0.11	-20.94	20.83	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M29	-0.48	-5.86	5.38	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M29	-0.48	-21.01	20.53	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M30	-0.04	-5.63	5.59	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M30	-0.04	-20.47	20.43	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M31	0.33	-5.48	5.81	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M31	0.33	-20.74	21.07	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M32	0.2	-5.83	6.03	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M32	0.2	-20.8	21	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M33	-0.73	-6.1	5.37	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M33	-0.73	-21.12	20.39	Max: 15.0



101E-3	1_3	M40V	M34	0.29	-5.97	6.26	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M34	0.29	-20.61	20.9	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M35	-1.23	-5.9	4.67	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M35	-1.23	-21	19.77	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M36	-0.79	-5.47	4.68	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M36	-0.79	-20.25	19.46	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M37	0.16	-5.99	6.15	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M37	0.16	-21.16	21.32	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M38	-0.04	-5.99	5.95	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M38	-0.04	-20.87	20.83	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M39	-0.65	-6.05	5.4	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M39	-0.65	-21.24	20.59	Max: 15.0
101E-3	1_3	M40V	M40	0.11	-6.35	6.46	Min: 0.0
101E-3	1_3	M40V	M40	0.11	-21.51	21.62	Max: 15.0

### A.3.7 Pérdida de inserción del M40V/D40

M40V <=8.5dB D40<=6.5Db

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto de entrada	Puerto de Salida	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Atenuación	Observaciones
101E-3	1_3	M40V	M01	OUT	-0.76	-5.87	5.11	OK
101E-3	1_3	M40V	M02	OUT	0.04	-5.75	5.79	OK
101E-3	1_3	M40V	M03	OUT	-0.12	-5.93	5.81	OK
101E-3	1_3	M40V	M04	OUT	-0.34	-5.78	5.44	OK
101E-3	1_3	M40V	M05	OUT	-0.3	-6.46	6.16	OK
101E-3	1_3	M40V	M06	OUT	0.04	-5.73	5.77	OK
101E-3	1_3	M40V	M07	OUT	-2.35	-6.46	4.11	OK
101E-3	1_3	M40V	M08	OUT	-0.07	-6.01	5.94	OK
101E-3	1_3	M40V	M09	OUT	-0.53	-6.14	5.61	OK
101E-3	1_3	M40V	M10	OUT	-1.63	-5.45	3.82	OK
101E-3	1_3	M40V	M11	OUT	-0.49	-5.11	4.62	OK
101E-3	1_3	M40V	M12	OUT	-0.13	-5.74	5.61	OK
101E-3	1_3	M40V	M13	OUT	-0.78	-5.31	4.53	OK
101E-3	1_3	M40V	M14	OUT	-0.4	-5.58	5.18	OK
101E-3	1_3	M40V	M15	OUT	-0.63	-5.93	5.3	OK
101E-3	1_3	M40V	M16	OUT	0.09	-5.49	5.58	OK
101E-3	1_3	M40V	M17	OUT	0.12	-5.97	6.09	OK
101E-3	1_3	M40V	M18	OUT	0.14	-5.73	5.87	OK
101E-3	1_3	M40V	M19	OUT	-0.18	-6.06	5.88	OK
101E-3	1_3	M40V	M20	OUT	-0.88	-5.89	5.01	OK
101E-3	1_3	M40V	M21	OUT	-1.74	-5.94	4.2	OK
101E-3	1_3	M40V	M22	OUT	0.24	-5.68	5.92	OK
101E-3	1_3	M40V	M23	OUT	-0.06	-5.57	5.51	OK
101E-3	1_3	M40V	M24	OUT	-1.94	-5.71	3.77	OK
101E-3	1_3	M40V	M25	OUT	-2	-5.65	3.65	OK
101E-3	1_3	M40V	M26	OUT	0.36	-5.68	6.04	OK



101E-3	1_3	M40V	M27	OUT	-0.54	-5.71	5.17	OK
101E-3	1_3	M40V	M28	OUT	-0.11	-6.18	6.07	OK
101E-3	1_3	M40V	M29	OUT	-0.48	-5.86	5.38	OK
101E-3	1_3	M40V	M30	OUT	-0.04	-5.63	5.59	OK
101E-3	1_3	M40V	M31	OUT	0.33	-5.48	5.81	OK
101E-3	1_3	M40V	M32	OUT	0.2	-5.83	6.03	OK
101E-3	1_3	M40V	M33	OUT	-0.73	-6.1	5.37	OK
101E-3	1_3	M40V	M34	OUT	0.29	-5.97	6.26	OK
101E-3	1_3	M40V	M35	OUT	-1.23	-5.9	4.67	OK
101E-3	1_3	M40V	M36	OUT	-0.79	-5.47	4.68	OK
101E-3	1_3	M40V	M37	OUT	0.16	-5.99	6.15	OK
101E-3	1_3	M40V	M38	OUT	-0.04	-5.99	5.95	OK
101E-3	1_3	M40V	M39	OUT	-0.65	-6.05	5.4	OK
101E-3	1_3	M40V	M40	OUT	0.11	-6.35	6.46	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D01	-0.76	-4.58	3.82	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D02	0.04	-4.85	4.89	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D03	-0.12	-4.59	4.47	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D04	-0.34	-4.68	4.34	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D05	-0.3	-4.65	4.35	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D06	0.04	-4.59	4.63	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D07	-2.35	-4.53	2.18	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D08	-0.07	-4.27	4.2	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D09	-0.53	-4.33	3.8	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D10	-1.63	-4.5	2.87	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D11	-0.49	-4.58	4.09	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D12	-0.13	-4.32	4.19	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D13	-0.78	-4.57	3.79	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D14	-0.4	-4.2	3.8	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D15	-0.63	-4.4	3.77	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D16	0.09	-4.66	4.75	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D17	0.12	-4.61	4.73	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D18	0.14	-4.41	4.55	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D19	-0.18	-4.57	4.39	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D20	-0.88	-5.57	4.69	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D21	-1.74	-4.51	2.77	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D22	0.24	-4.3	4.54	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D23	-0.06	-4.26	4.2	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D24	-1.94	-4.67	2.73	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D25	-2	-4.85	2.85	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D26	0.36	-4.6	4.96	OK

101E-3	14_16	D40	IN	D27	-0.54	-4.64	4.1	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D28	-0.11	-4.23	4.12	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D29	-0.48	-4.78	4.3	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D30	-0.04	-4.78	4.74	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D31	0.33	-4.66	4.99	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D32	0.2	-4.57	4.77	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D33	-0.73	-4.66	3.93	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D34	0.29	-4.64	4.93	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D35	-1.23	-4.75	3.52	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D36	-0.79	-4.63	3.84	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D37	0.16	-5.15	5.31	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D38	-0.04	-4.9	4.86	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D39	-0.65	-4.87	4.22	OK
101E-3	14_16	D40	IN	D40	0.11	-4.83	4.94	OK

### A.3.8 Pérdida de inserción del FIU

FIU: IN-TC <=1; RC-OUT <=1

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto de Entrada	Puerto de Salida	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Pérdida de Inserción	Observaciones
101E-3	7	FIU	IN	TC	-0.85	-0.29	-0.56	192.1 Thz
101E-3	7	FIU	RC	OUT	-0.85	-0.69	-0.16	192.1 Thz

**Nota:** Potencia de referencia la tarjeta LSX 101E-1 Slot:5 Pto:OUT

### A.3.9 Pérdida de inserción del ITL

ITL: IN-TE <2.5; RE-OUT <4.5

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto de Entrada	Puerto de Salida	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Pérdida de Inserción	Observaciones
101E-3	8	ITL	IN	TE	-0.85	-1.86	1.01	192.1 Thz
101E-3	8	ITL	RE	OUT	-0.85	-0.92	0.07	192.1 Thz

**Nota:** Potencia de referencia la tarjeta LSX 501F-2 Slot:1 Pto:OUT

### A.3.10 Pérdida de inserción de DCP (No APLICA)

DCP:TI1-TO11/TI1-TO12/TI2-TO21/TI2-TO22 ≤ 4;RI1-RO11/RI1-RO12/RI2-RO21/RI2-RO22 ≤ 1.5

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto de Entrada	Puerto de Salida	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Pérdida de Inserción	Observaciones
--	--	--	--	--	--	--	--	--

### A.3.11 Pérdida de inserción de DCM

DCM (T) 10 Km: Max. Insertion Loss 2.8 dB

Sub-rack	Tipo de DCM	Puerto de	Puerto de Salida	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Pérdida de Inserción	Observaciones Valor teórico
101E	A(20KM)	IN	OUT	-1.26	-4.22	-2.96	192.1 Thz
101E	C(60KM)	IN	OUT	-1.26	-6.64	-5.38	192.1 Thz
101E	A(20KM)	IN	OUT	-1.26	-4.00	-2.74	192.1 Thz
101E	F(120KM)	IN	OUT	-1.26	-8.50	-7.24	192.1 Thz

**Nota:** Potencia de referencia la tarjeta LSX 501F-2 Slot:2 Pto:OUT

### A.3.12 Pérdida de inserción de WSMD4 (No aplica)

: AM-OUT < 8  
IN- DM < 8

Sub-rack ID	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto de Entrada	Puerto de Salida	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Pérdida de Inserción	Observaciones
--	--	--	--	--	--	--	--	--

### A.3.13 Funcionamiento de la Tarjeta MCA

Nota: Diferencia entre OSA y MCA <= 2db

Sub-rack ID	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto	$\lambda_{MCA}$ (nm)	$\lambda_{OSA}$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	P <sub>MCA</sub> (dBm)	P <sub>OSA</sub> (dBm)	$\Delta P$ (dB)
101E-2	3	MCA4	IN1	1559.79	1559.89	0.1	17.8	17.93	0.13
101E-2	3	MCA4	IN2	1559.79	1559.89	0.1	17.9	17.93	0.03
101E-2	3	MCA4	IN3	1559.79	1559.89	0.1	18.1	17.93	0.17
101E-2	3	MCA4	IN4	1559.79	1559.89	0.1	17.8	17.93	0.13

Nota: Potencia de referencia la tarjeta LSX 501F-2 Slot:5 Pto:OUT

### A.3.14 Relación Señal/Ruido Óptico por canal en la Recepción (Pendiente)

Sub-rack	Slot	Tipo de tarjeta	$\lambda$ Nominal (nm)	Potencia (dBm)	OSNR	Obs.
--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--

### A.3.15 Potencia Óptica Total del Elemento de Red (No aplica)

(Optical Power Management Report U2000).

### A.3.16 Conectividad desde el ODF a las Tarjetas Ópticas (No aplica)

Sub-rack	Tipo de Tarjeta	Puerto de Entrada	Puerto de Salida	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Pérdida de Inserción	Observaciones
--	--	--	--	--	--	--	--

### A.3.17 Prueba de Cross-conexión entre tarjetas NS3-TQX (No aplica)

Sitio	Sub-rack	Fuente de Cross-conexión	Destino de Cross-conexión	Nivel de Cross-conexión	Resultados	Observaciones
--	--	--	--	--	--	--

### A.3.18 Prueba de Tasa de Error de Bit del Sistema

Sitio	Sub-rack	Tipo de tarjeta	$\lambda$ Nominal (nm)	Bits errados	Tipo de Servicio	Obs.
AQP	501E-1	LSX	1532.68	0.00E00	10GigE	Prueba en cascada
AQP	501E-1	LSX	1533.47	0.00E00	10GigE	Prueba en cascada

### A.3.19 Prueba de Conmutación de Energía

Sub-rack	Acción (principal a secundario)	Resultado	Alarma Generada	Observaciones
ID: 0	OFF Fuente A Sub rack 0/Conmuta Fuente B	OK	Power_fail	0 Subr 19 PIU 0 Subr 20 PIU
ID: 0	OFF Fuente B Sub rack 0/Conmuta Fuente A	OK	Power_fail	0 Subr 19 PIU 0 Subr 20 PIU
ID: 1	OFF Fuente A Sub rack 1/Conmuta Fuente B	OK	Power_fail	1 Subr 19 PIU 1 Subr 20 PIU
ID: 1	OFF Fuente B Sub rack 1/Conmuta Fuente A	OK	Power_fail	1 Subr 19 PIU 1 Subr 20 PIU
ID: 2	OFF Fuente A Sub rack 1/Conmuta Fuente B	OK	Power_fail	1 Subr 19 PIU 1 Subr 20 PIU
ID: 2	OFF Fuente B Sub rack 1/Conmuta Fuente A	OK	Power_fail	1 Subr 19 PIU 1 Subr 20 PIU

### A.3.20 Prueba de Señal a Ruido Óptico del Sistema *(No aplica)*

Sub-rack	Tipo de tarjeta	$\lambda$ Nominal (nm)	Potencia	NF	Obs.
--	--	--	--	--	--

### A.3.21 Prueba de Conmutación de Energía *(No aplica)*

Sub-rack	Acción (principal a secundario)	Resultado	Alarma Generada	Observaciones
--	--	--	--	--

### A.3.22 Conectividad del T2000 y Verificación de Funcionalidades *(No aplica)*

Tarjeta	Acción	Puerto	Alarma Generada	Observaciones
--	Desconexión de la Gestion	--	--	--
--	Extracción de tarjeta	--	--	--

### A.3.23 Prueba de función general del teléfono (Order Wire Telephone) *(Pendiente)*

Sub-rack	Puerto de Teléfono			Número de teléfono	Observaciones
	función General	Addressing call	--	--	--
		Conference call	--	--	--

OBSERVACIONES:

---

**Representante de Telefónica del Perú**

Firma/ Fecha: \_\_\_\_\_

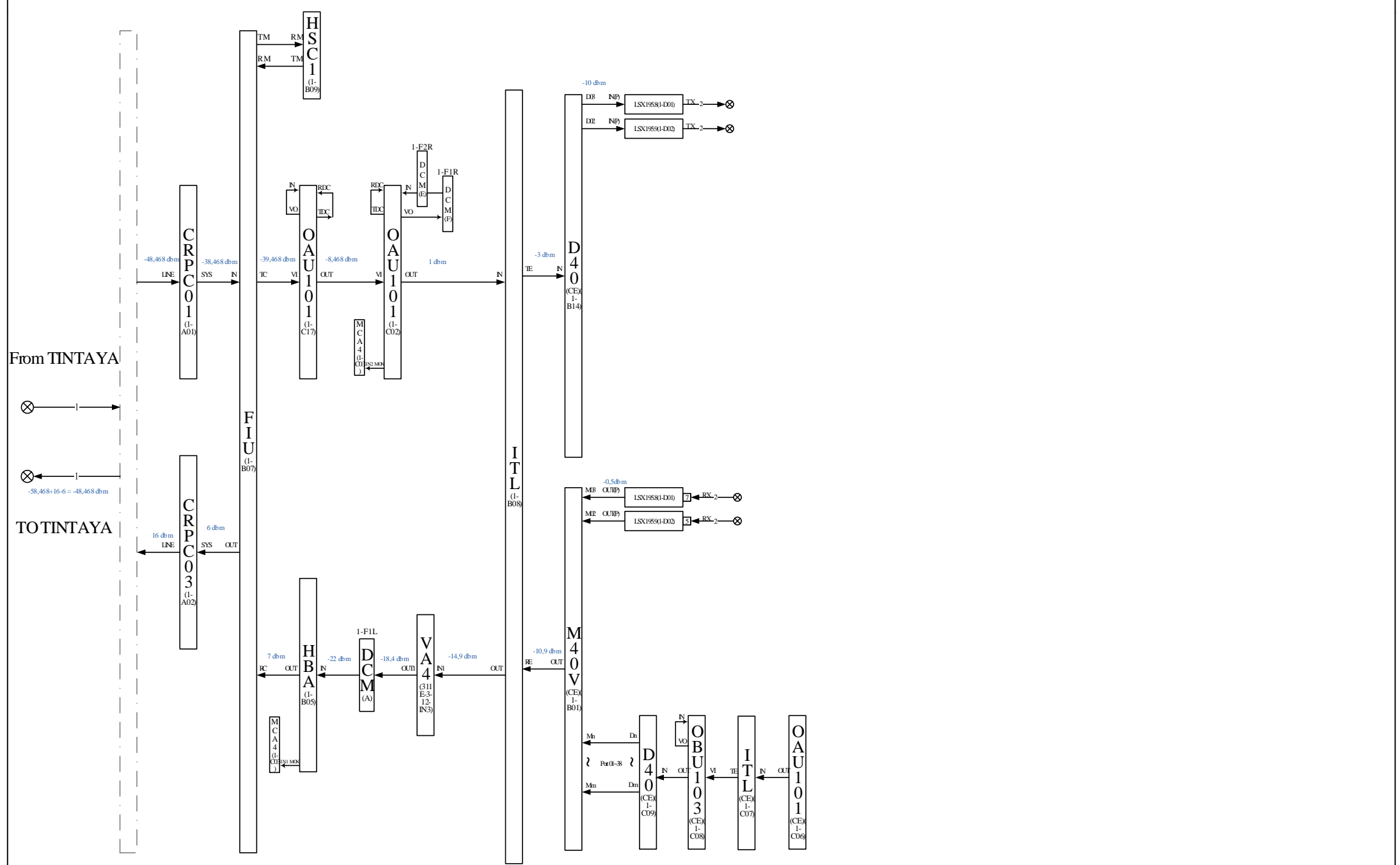
**Representante de Huawei**

Firma/ Fecha: \_\_\_\_\_

# 05\_ANEXO

## DIAGRAMA DE FIBRA ÓPTICA





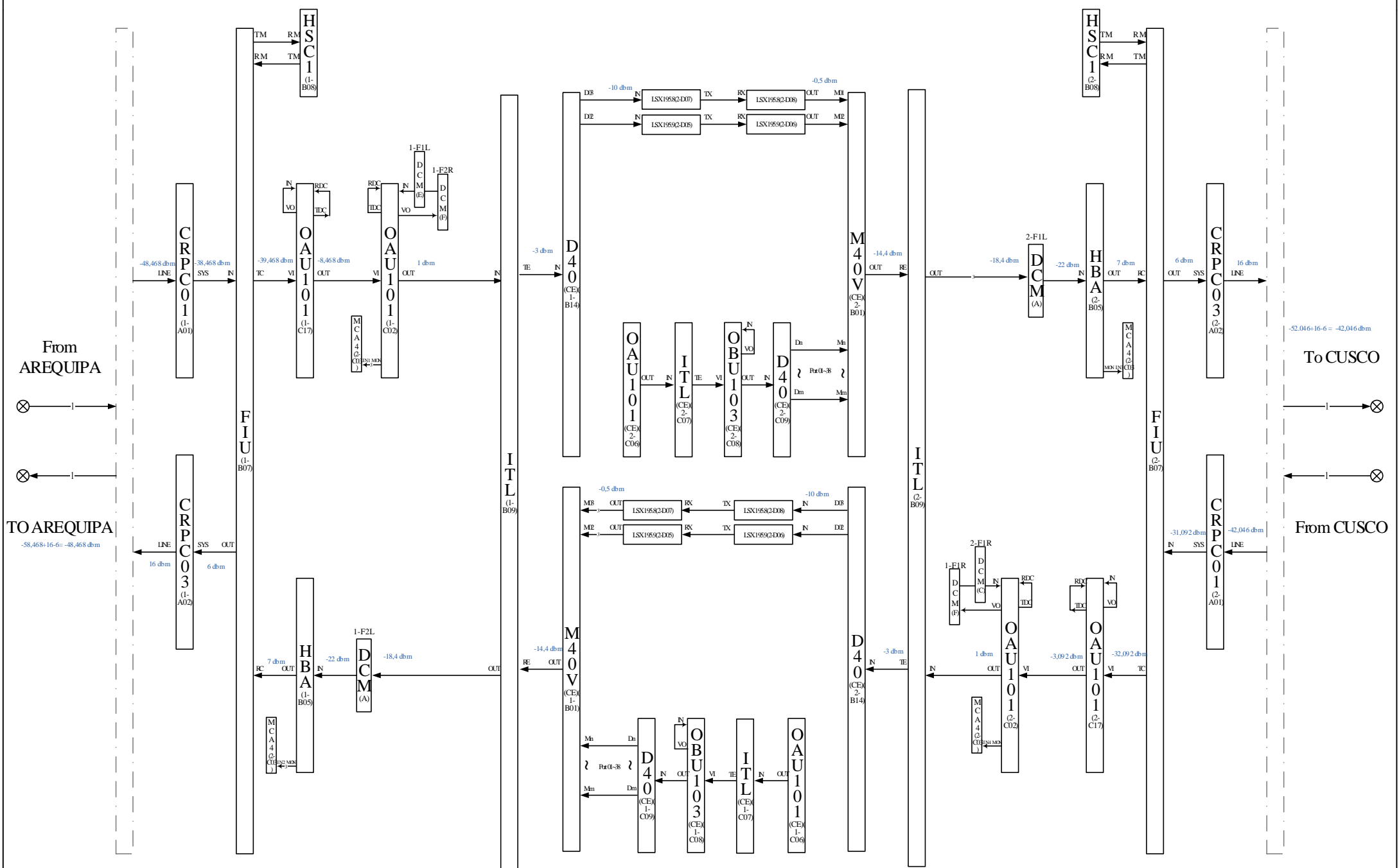
**Legend:**

- the fiber inside a rack
- ndB fixed attenuator
- variable attenuator
- customer ODF connector
- the fiber connected to the outside
- the fiber connected to customer ODF connector
- the fiber between the racks
- the fiber between customer ODF connector
- backplane bus

**Notes:**

1. The Letter near board denotes the port.
2. (A/B/C/D01)-A/B/C/D or (D/M/U01)-D/M/U ,from bottom to top subrack:01, slot 1.
3. (A) OTU receiver type APD
4. (P) OTU receiver type PIN
5. Rack Labels:  
1- AREQUIPA - 1

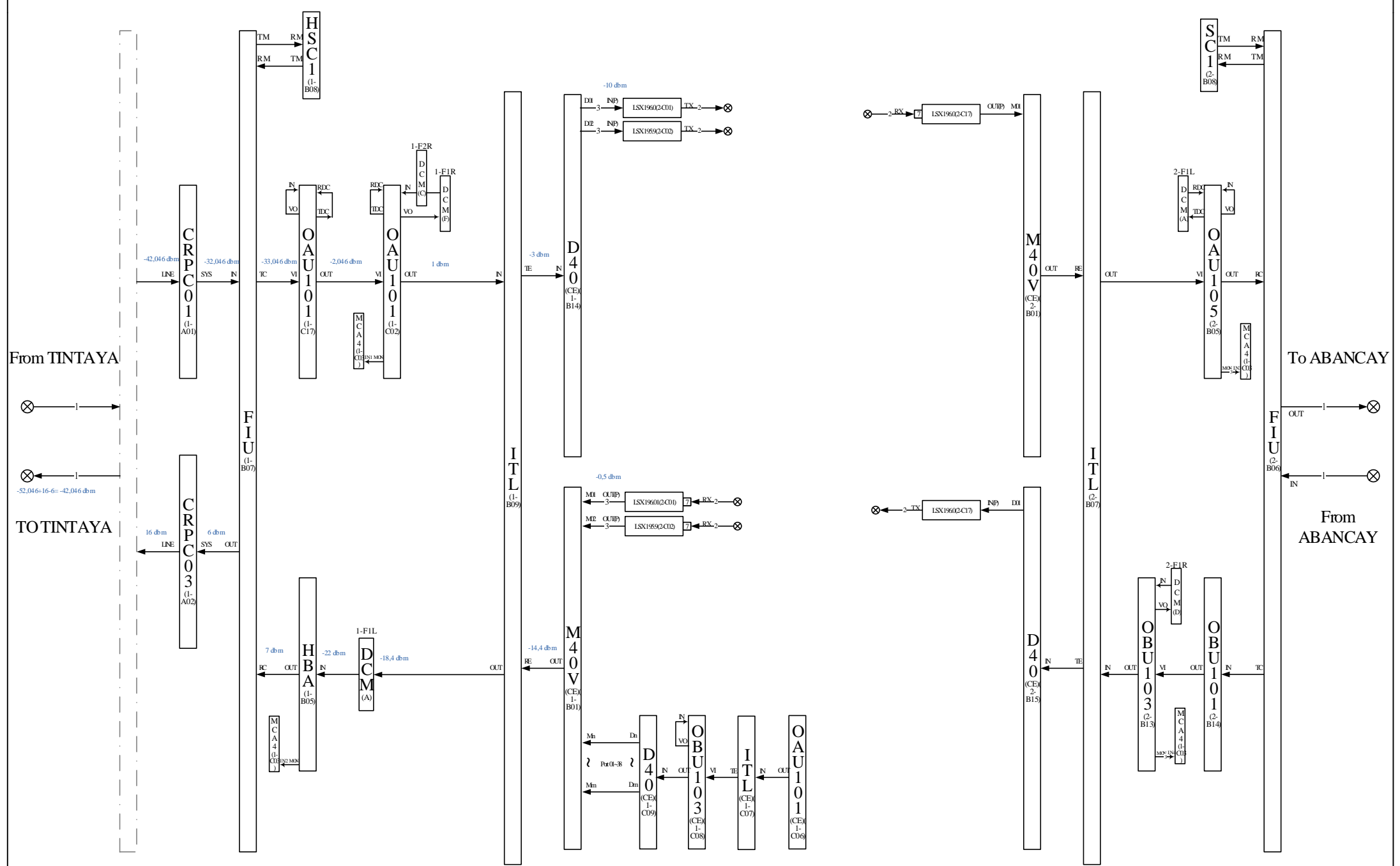
Customer	TdP Intermexa Tramo DWDM		Huawei Technologies Co.,Ltd.
Prepared by	Zengzhaoping	Version	
Modified by	Zengzhaoping	Created on	2010-09-29
Reviewed by	Zengzhaoping		AREQUIPA(OTM) In SUBNET_2



- Legend:**
- the fiber inside a rack
  - the fiber connected to the outside
  - ndB fixed attenuator
  - variable attenuator
  - customer ODF connector
  - the fiber connected to customer ODF connector
  - the fiber between the racks
  - the fiber between customer ODF connector
  - backplane bus

- Notes:**
- The Letter near board denotes the port.
  - (A/B/C/D01)-A/B/C/D or (D/M/U01)-D/M/U ,from bottom to top subrack:01, slot 1.
  - (A) OTU receiver type APD
  - (P) OTU receiver type PIN
  - Rack Labels:
    - 1- TINTAYA -1
    - 2- TINTAYA - 2

Customer	TdP Intermexa Tramo DWDM		Huawei Technologies Co.,Ltd.
Prepared by	Zengzhaoping	Version	
Modified by	Zengzhaoping	Created on	2010-09-29
Reviewed by	Zengzhaoping		TINTAYA(OTM) In SUBNET_2



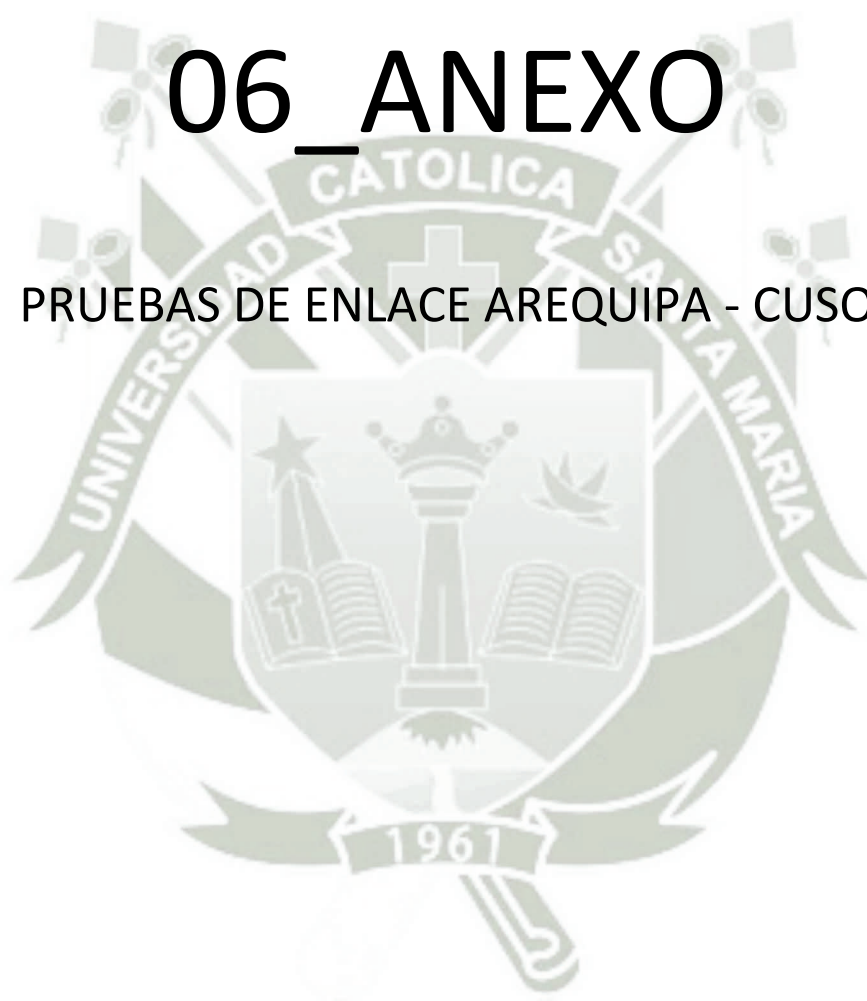
- Legend:**
- the fiber inside a rack
  - ndB fixed attenuator
  - variable attenuator
  - customer ODF connector
  - the fiber connected to the outside
  - the fiber connected to customer ODF connector
  - the fiber between the racks
  - the fiber between customer ODF connector
  - backplane bus

- Notes:**
1. The Letter near board denotes the port.
  2. (A/B/C/D01)-A/B/C/D or (D/M/U01)-D/M/U ,from bottom to top subrack:01, slot 1.
  3. (A) OTU receiver type APD
  4. (P) OTU receiver type PIN
  5. Rack Labels:  
1- CUSCO - 1    2- CUSCO - 2

Customer	TdP Intermexa Tramo DWDM		Huawei Technologies Co.,Ltd.
Prepared by	Zengzhaoping	Version	
Modified by	Zengzhaoping	Created on	2010-09-29
Reviewed by	Zengzhaoping		CUSCO(OTM) In SUBNET_2

# 06\_ANEXO

PRUEBAS DE ENLACE AREQUIPA - CUSO



EXFO Electro-Optical Engineering Inc.

Report Title: ReportTitle

Report Date: 2012-05-27 14:49:36

-----Job Information-----

Job ID: 1  
Contractor: --  
Customer: --  
Operator Name: --  
Comment: --

-----Test Configuration-----

Test Name: TEST  
Application Type: BERT  
Topology: Single Port

>Port Configuration

Transceiver Mode 10GigE LAN  
Clock Mode Internal  
VLAN None  
Frame Format Ethernet II  
OUI N/A  
IP Source Address 10.10.134.41  
MAC Source Address 00:03:01:08:89:89

>BERT

Framing Layer Framed L2  
TX Rate 100  
Ethernet Frame size 9600  
Pattern RX PRBS 2^31-1

-----Test Results-----

Start Time: 2012-05-26 12:12:48 Duration 1d 02:35:37

>BERT

Verdict: --

	Seconds	Count	Rate
Bit Error	0	0	0.00E00
Pattern Loss	0	--	--
No Traffic	0	--	--

-----Alarms/Errors-----

>Port

Alarms

	Seconds
LOS	0
Frequency	0
LOC	0

>Ethernet

Alarms

	Seconds
Link Down	0
Local Fault	0
Remote Fault	0

Errors

	Seconds	Count	Rate
Block	0	0	0.00E00
Jabber/Giant	0	0	0.00E00
Runt	0	0	0.00E00
Undersize	0	0	0.00E00
FCS	0	0	0.00E00

>Upper Layer

Errors

	Seconds	Count	Rate
IP Header Checksum	0	0	0.00E00
UDP Checksum	0	0	0.00E00
TCP Checksum	0	0	0.00E00

-----Statistics-----

Valid Frame Counts  
 Total TX Frame Count 1.24392E10  
 Total RX Frame Count 1.24392E10

Signal Analysis  
 Power Level (dBm) -9.1

Frequency Analysis  
 Frequency (bps) 10312508608  
 Frequency Offset (ppm) 1  
 Max. Negative Offset (ppm) 0  
 Max. Positive Offset (ppm) 1

>SDT

Configuration  
 Mode Defect Mode  
 No Defect Time (µs) 10  
 Test Period (µs) 100000

SDT Events

Total Disruption Count --

Disruption Time

Shortest (µs) --  
 Longest (µs) --  
 Last (µs) --  
 Average (µs) --  
 Total (µs) --

SDT Alarm

Service Disruption (sec) --

-----System Information-----

>Module Information

Module ID: FTB-8510G  
 Revision: 3  
 Serial Number: 548968  
 Calibration Date: 2014-03-05 02:58:00

>Software Information

Software Version: 1.9.0.80

EXFO Electro-Optical Engineering Inc.

Report Title: CUSCO - AQP RFC CASCADA

Report Date: 2012-05-25 10:24:13

-----Job Information-----

Job ID: 1  
Contractor: --  
Customer: --  
Operator Name: --  
Comment: --

-----Test Configuration-----

Test Name: TEST  
Application Type: RFC 2544  
Topology: Single Port

>Port Configuration

Transceiver Mode 10GigE LAN  
Clock Mode Internal  
VLAN None  
Frame Format Ethernet II  
OUI N/A  
IP Source Address 10.10.134.41  
MAC Source Address 00:03:01:08:89:89

>RFC 2544

Throughput Maximum Rate (%) 100  
Throughput Test Time 00:01  
Back-to-Back Test Time 00:01  
Frame Loss Maximum Rate (%) 100  
Frame Loss Test Time 00:01  
Latency Test Time 00:01  
Margin (%) 0

Latency Max rate

No information is available

-----Test Results-----

Start Time: 2000-03-03 17:29:02 Duration 0d 00:07:01

>RFC 2544

Verdict	Status
Throughput	--
Back-to-Back	--
Frame Loss	--
Latency	--

>Throughput

Layer: Layer 1-2-3

Display Results: Current

Frame Size	TX-to-RX
64	10000000000
128	10000000000
256	10000000000
512	10000000000
1024	10000000000
1518	10000000000
9600	10000000000

>Back-to-Back

Layer: Layer 1-2-3

Display Results: Current

Frame Size	TX-to-RX
64	14880953
128	8445946
256	4528986
512	2349625
1024	1197319
1518	812744
9600	129938

>Frame Loss

Display Results: Current

Displayed Step: 100

Frame Size	TX-to-RX
64	0
128	0
256	0
512	0
1024	0
1518	0
9600	0

>Latency

Display Results: Current

Latency Mode: Store and Forward

Frame Size	TX-to-RX (s)
64	0.0106937758
128	0.0106940846
256	0.0106946522
512	0.010696246400000001
1024	0.0106989758
1518	0.0107018726
9600	0.010747053000000001

-----Alarms/Errors-----

>Port

Alarms

	Seconds
LOS	0
Frequency	0
LOC	0

>Ethernet

Alarms

	Seconds
Link Down	0
Local Fault	0
Remote Fault	0

Errors

	Seconds	Count	Rate
Block	0	0	0.00E00
Jabber/Giant	0	0	0.00E00
Runt	0	0	0.00E00
Undersize	0	0	0.00E00
FCS	0	0	0.00E00

>Upper Layer

Errors

	Seconds	Count	Rate
IP Header Checksum	0	0	0.00E00
UDP Checksum	0	0	0.00E00

-----Statistics-----

Valid Frame Counts

Total TX Frame Count	190903025
Total RX Frame Count	190903025

Signal Analysis

Power Level (dBm) -10.1

Frequency Analysis

Frequency (bps)	10312515520
Frequency Offset (ppm)	2
Max. Negative Offset (ppm)	0
Max. Positive Offset (ppm)	2

-----System Information-----

>Module Information

Module ID:	FTB-8510G
Revision:	3
Serial Number:	548968
Calibration Date:	2011-03-05 02:58:00

>Software Information

Software Version: 1.9.0.80