

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**DISEÑO DE UNA RED DE TRANSPORTE CON TECNOLOGÍA
DWDM PARA BRINDAR BANDA ANCHA AL DEPARTAMENTO
DE ANCASH 2021**

TESIS

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

PRESENTADA POR

Bach. MANRIQUE RIMAY DIEGO ALONSO

Bach. ANAYA HUAMANCARI, JOSÉ ANTONIO

ASESOR: Ing. CUADRADO LERMA LUIS ALBERTO

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

A MIS PADRES EUGENIO Y OBDULIA

Como una muestra de mi cariño y agradecimiento, por todo el amor y el apoyo brindado, les agradezco de todo corazón la orientación que siempre me han otorgado, los quiero mucho.

Diego Alonso Manrique Rimay

A MIS PADRES JOSÉ Y JUANA

Quienes me enseñaron el camino hacia la superación ya que muchos de mis logros se los debo a ustedes puesto que siempre fueron el claro ejemplo de la perseverancia y la disciplina, Gracias papá y mamá por su incansable apoyo y aliento.

José Antonio Anaya Huamancari

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a nuestra facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Ricardo Palma, por darnos la oportunidad de recibir los conocimientos de la mejor plana docente de la especialidad y formarnos como profesionales.

Diego Manrique y José Anaya

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	1
1.2.1 Problema General.....	1
1.2.2 Problemas Específicos	1
1.3 Importancia y Justificación del estudio.....	2
1.3.1 Importancia.....	2
1.3.2 Justificación.....	2
1.4 Delimitación del estudio.....	3
1.4.1 Delimitación espacial.....	3
1.4.2 Delimitación tecnológica.....	3
1.5 Objetivos de la investigación.....	3
1.5.1 Objetivo General.....	3
1.5.2 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Marco Histórico.....	4
2.2 Investigación relacionada con el tema.....	5
2.2.1 Antecedentes Internacionales.....	5
2.2.2 Antecedentes Nacionales.....	8
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	9
2.3.1 DWDM.....	10
2.3.2 Banda Ancha.....	11
2.3.3 Transmisores y Receptores Ópticos.....	12
2.3.4 Filtros DWDM MUX/DEMUX.....	13
2.3.5 Multiplexores Ópticos ADD/DROP.....	14
2.3.6 Amplificadores ópticos.....	15
2.3.7 Transpondedores (convertidores de longitud de onda).....	16

2.3.8 Redes de telecomunicaciones de Banda Ancha	17
2.4 Fibra Óptica.....	18
2.4.1 Características de la Fibra Óptica	19
2.4.1.1 Índice de refracción	20
2.4.1.2 1 ^{ra} Ley de Reflexión	20
2.4.1.3 2 ^{da} Ley de Refracción	21
2.4.1.4 Apertura Numérica	21
2.4.1.5 Propagación de la luz en un guiaonda cilíndrico	21
2.4.2 Fibra monomodo	22
2.5 Conectores.....	23
2.5.1 Conector SC.....	23
2.5.2 Conector LC.....	24
2.6 Adaptadores.....	25
2.7 Empalmes de fibra óptica.....	25
2.7.1 Empalme mecánico.....	25
2.7.2 Empalme por fusión.....	26
2.8 Parámetros de transmisión.....	27
2.8.1 Empalme por fusión.....	27
2.8.2 Dispersión en las fibras.....	27
2.8.3 Dispersión modal.....	27
2.8.4 Dispersión cromática.....	28
2.8.5 Atenuación óptica total.....	28
2.8.6 Ruido en sistemas de larga distancia amplificados (OSNR).....	29
2.9 Definición de términos básicos.....	31
2.8.1 SDH.....	31
2.8.2 PDH.....	31
2.8.3 IP.....	31
2.8.4 MPLS.....	32
2.8.5 TDT.....	32
2.8.6 RAMAN.....	32
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	33
3.1 Tipificación de la investigación.....	33
3.1.1 Tipo de investigación.....	33

3.1.2 Esquema general del diseño.....	33
3.2 Necesidad actual para el servicio de Banda Ancha	33
3.2.1 Elección del departamento para el desarrollo del diseño	33
3.2.2 Información general del departamento de Ancash	34
3.2.3 Hogares con acceso a Internet.....	36
3.2.4 Hogares con acceso a TV por cable.....	37
3.2.5 Hogares con acceso a teléfono fijo.....	38
3.3 Distribución de los equipos DWDM.....	39
3.4 Diseño de enlaces de interconexión de la red de fibra óptica entre los equipos de transmisión.....	40
3.5 Dimensión del equipamiento que constituirán la red DWDM.....	44
3.5.1 Dimensionando el Ancho de Banda.....	44
3.5.2 Elección de equipos y tipos de tarjetas.....	45
3.6 Asignación de lambdas de trabajo.....	47
3.7 Nombramiento a los equipos (NE ID) y la dirección IP para la gestión remota.....	49
3.8 Resultados.....	50
3.8.1 Cálculos teórico del nivel de dispersión cromática.....	50
3.8.2 Cálculos teórico de las pérdidas de atenuación de la fibra óptica oscura	52
3.8.3 Cálculos de niveles de potencia.....	54
3.8.4 Cálculos de niveles de señal ruido (OSNR).....	67
CAPÍTULO IV: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.....	70
4.1 Cronograma de actividades.....	70
4.2 Presupuesto.....	70
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
ANEXOS.....	79
Anexo 1: Ficha técnica de fibra óptica.....	79
Anexo 2: Fichas técnicas de equipos DWDM.....	81
Anexo 3: Fichas técnicas del Amplificador Booster.....	83
Anexo 4: Fichas técnicas del Pre Amplificador.....	84
Anexo 5: Fichas técnicas del Amplificador de Linea.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Longitud de onda y sus respectivas ventanas.....	21
Tabla 2. Coordenadas de los nodos del diseño.....	42
Tabla 3. Muestra de los nodos del diseño.....	44
Tabla 4: Velocidad de descarga mínima de las aplicaciones según FCC.....	46
Tabla 5: Componentes que conforman el diseño de red DWDM.....	47
Tabla 6: Asignación de canales ópticos en cada.....	48
Tabla 7: Direccionamiento de los equipos y asignación de las IP.....	49
Tabla 8: Valores de tolerancia de dispersión cromática para diferentes capacidades.	51
Tabla 9: Valores de atenuación de cada enlace en la red DWDM.....	54
Tabla 10: Valores de atenuación y potencia referenciales del sistema DWDM.....	55
Tabla 11: Presupuestos de capital.....	60
Tabla 12: Presupuestos de operaciones.....	61
Tabla 13: Estimación del retorno de la inversión con el plan 30Mbps.....	72
Tabla 14: Estimación del retorno de la inversión con el plan 70Mbps.....	72
Tabla 15: Estimación del retorno de la inversión con el plan 100Mbps.....	72
Tabla 16: Estimación del retorno de la inversión con el plan 150Mbps.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Evolución de la Tecnología DWDM.....	4
Figura N° 2: Estructura de una red DWDM.....	11
Figura N° 3: Transmisor Receptor de una red DWDM.....	13
Figura N° 4: Multiplexado y Demultiplexado de la señal óptica.....	14
Figura N° 5: Operación del OADM diseñado para operar en longitudes de onda DWDM	15
Figura N° 6: Operación de un DWDM EDFA	16
Figura N° 7: Operación de un TRANSPONDER DWDM.....	17
Figura N° 8: Estructura actual de las redes de telecomunicaciones de Banda Ancha....	18
Figura N° 9 : Estructura de la fibra óptica.....	19
Figura N° 10: Estructura de la fibra óptica monomodo.....	22
Figura N° 11: Conector tipo SC.....	23
Figura N° 12: Conector tipo LC.....	24
Figura N° 13: Tipos de adaptadores de una red de transporte óptico.....	25
Figura N° 14: Empalme mecánico.....	26
Figura N° 15: Empalme por Fusión.....	26
Figura N° 16: Dispersión cromática.....	28
Figura N° 17: Esquema general del diseño de la red de transporte DWDM.....	33
Figura N° 18: Ciudad de Huaraz.....	34
Figura N° 19: Población censada a nivel nacional.....	35
Figura N° 20: Población censada a nivel nacional(Hogares con acceso a internet).....	36
Figura N° 21: Población censada a nivel nacional(Hogares con acceso a TV por cable).....	37
Figura N° 22: Población censada a nivel nacional(Hogares con acceso a internet).....	38
Figura N° 23: Esquema general de la distribución de los equipos DWDM.....	39
Figura N° 24: Línea de interconexión entre los equipos de transmisión.....	41
Figura N° 25: Recorrido de la fibra óptica a través de los equipos DWDM.....	42
Figura N° 26: Esquema general de la distribución de los equipos DWDM y terminales.....	43
Figura N° 27: Diagrama general de la red DWDM con los diversos componentes ópticos.....	46
Figura N° 28: Efectos de la dispersión cromática.....	50

Figura N°29: Sistema de DWDM, nodo Lima.....	55
Figura N°30: Sistema de DWDM, nodo Ancon.....	57
Figura N°31: Sistema de DWDM, nodo Hualmay.....	59
Figura N°32: Sistema de DWDM, nodo Paramonga.....	61
Figura N°33: Sistema de DWDM, nodo Huarmey.....	63
Figura N°34: Sistema de DWDM, nodo Simon Bolivar.....	65
Figura N°35: Resultado OSNR mínimo total.....	68
Figura N°36: Resultado OSNR máximo total.....	69
Figura N° 37: Cronograma de actividades.....	70

ÍNDICE DE FORMULAS

Formula 1: Índice de refracción.....	20
Formula 2: Ley de reflexión.....	20
Formula 3: Ley de refracción.....	21
Formula 4: Apertura numérica I.....	21
Formula 5: Apertura numérica II.....	21
Formula 6: Diferencia relativa de índices de refracción de los dos medios.....	21
Formula 7: Frecuencia de corte normalizada I.....	22
Formula 8: Frecuencia de corte normalizada II.....	22
Formula 9: Constante de fase de la onda.....	22
Formula 10: La atenuación en la fibra.....	27
Formula 11: La atenuación por unidad de longitud.....	27
Formula 12: Atenuación óptica total.....	28
Formula 13: Ruido ASE de un EDFA.....	30
Formula 14: la relación señal a ruido óptica OSNR I.....	30
Formula 15: la relación señal a ruido óptica OSNR II.....	30
Formula 16: Distancia máxima que el receptor tolera la dispersión cromática.....	50
Formula 17: Atenuación total del enlace.....	52
Formula 18: Cantidad de empalmes en el enlace.....	52
Formula 19: La potencia de entrada al amplificador Booster.....	56
Formula 20: La potencia de salida al amplificador Booster.....	56
Formula 21: La potencia de entrada al amplificador ILA1.....	57
Formula 22: La potencia de salida al amplificador ILA1.....	58
Formula 23: La potencia de entrada al amplificador ILA2.....	59
Formula 24: La potencia de salida al amplificador ILA2.....	60
Formula 25: La potencia de entrada al amplificador ILA3.....	61
Formula 26: La potencia de salida al amplificador ILA3.....	62
Formula 27: La potencia de entrada al amplificador IL4.....	63
Formula 28: La potencia de salida al amplificador IL4.....	64

RESUMEN

En el desarrollo del presente diseño se realiza una red de transmisión óptica punto a punto utilizando tecnología de Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa (DWDM) para brindar servicio de banda ancha al departamento de Ancash, esto es con el objetivo de poder mitigar la escasez de este servicio en los hogares del departamento en mención. Para el diseño se analizaron diversas características técnicas, como el poder determinar las ubicaciones de los equipos, el recorrido de la fibra óptica, la elección de las tarjetas con tecnología DWDM, entre otros. Otro aspecto para considerar son aquellos lugares de transición en donde se instalará amplificadores de potencia con el fin de no tener pérdida de información debido a la gran distancia del recorrido. Asimismo, se realizaron cálculos matemáticos para determinar la relación señal ruido, la dispersión cromática y atenuaciones del enlace en su conjunto. Finalmente, se plantea una red de transporte segura, estable, y escalable para facilitar a los diversos operadores de telecomunicaciones tener mayor presencia en la zona y de esta manera los pobladores sean beneficiados.

Palabras claves: DWDM, amplificadores, dispersión cromática, atenuaciones, fibra óptica, escalable.

ABSTRACTS

In the development of this design, a point-to-point optical transmission network is made using Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) technology to provide broadband service to the department of Ancash, this is with the objective of being able to mitigate the shortage of this service in the homes of the department in question. For the design, various technical characteristics were analyzed, such as being able to determine the locations of the equipment, the route of the optical fiber, the choice of cards with DWDM technology, among others. Another aspect to consider are those transition places where power amplifiers will be installed in order not to lose information due to the great distance of the route. Likewise, mathematical calculations were carried out to determine the signal-to-noise ratio, the chromatic dispersion and attenuations of the link as a whole. Finally, a safe, stable, and scalable transport network is proposed to facilitate the various telecommunications operators to have a greater presence in the area and in this way the residents are benefited.

Key words: DWDM, amplifiers, chromatic dispersion, attenuations, fiber optics, scalable.

INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo y elaboración de la presente tesis nos basamos en el conocimiento obtenido en nuestra casa de estudios superiores y nuestra experiencia laboral con el fin de realizar una investigación que permita integrar el servicio de Banda Ancha a través de una red óptica pasiva que utiliza la tecnología DWDM escalable a futuro.

En nuestra investigación se formuló el siguiente problema general: ¿Cómo diseñar una red de transporte con tecnología DWDM para brindar banda ancha al departamento de Áncash 2021?, pregunta que a través de nuestra investigación se ha tratado de responder. El fundamento de nuestra investigación es diseñar una red de transporte utilizando la tecnología DWDM. Así incrementar la capacidad de transmisión

Nuestro objetivo principal es diseñar una red de transporte con tecnología DWDM teniendo en cuenta el hardware para brindar banda ancha en el departamento de Ancash.

Nuestra investigación se estructuró de la siguiente manera:

En el capítulo I se elaboró el planteamiento y delimitación del problema.

En el capítulo II se pasa a detallar el marco teórico.

En el capítulo III se describe la planificación y desarrollo de nuestro diseño de la red de transporte y equipos a emplear.

En el capítulo IV presentamos el cuadro de costos que pertenecen a la relación económica.

Para concluir nuestra investigación se redactarán las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas empleadas, también se adjunta anexos de información adicional que da sustenta al estudio realizado.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Actualmente en el departamento de Ancash la distribución de conectividad de operadores que brindan el servicio de Banda Ancha no abastece en su mayoría con servicio de Internet Hogar. El cual se demuestra con los resultados estadísticos del último censo nacional emitido por la INEI, que en su mayoría los hogares por condición de tenencia no cuentan con dicho servicio.

Por esta razón nuestro proyecto de diseño de una red de transporte con tecnología DWDM debe brindar el servicio de banda ancha al departamento Ancash con lo cual se espera lograr una mayor tasa de Internet Hogar en la población.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo diseñar una red de transporte con tecnología DWDM para brindar banda ancha al departamento de Ancash 2021?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cómo diseñar una red de transporte con tecnología DWDM para brindar Banda ancha utilizando la infraestructura disponible 2021? (1).
- b) ¿Cómo diseñar una red de transporte con tecnología DWDM teniendo en cuenta el hardware para brindar banda ancha en el departamento de Ancash 2021? (2).
- c) ¿Cómo diseñar una red de transporte con tecnología DWDM para brindar banda ancha escalable al departamento de Ancash 2021? (3).

1.3 Importancia y justificación del estudio

1.3.1 Importancia del estudio

Es importante el desarrollo de la propuesta de este diseño puesto que la tecnología DWDM introduce múltiples longitudes de ondas que serían aprovechables para la obtención de mayor capacidad para la transmisión y recepción de información, de esta manera podríamos cubrir con las necesidades de conectividad en el departamento de Ancash.

1.3.2 Justificación del estudio

a) Justificación tecnológica

Utilizaremos la tecnología DWDM ya que ésta nos brindará mayor capacidad para transmitir gran cantidad de información a larga distancia en banda ancha, aprovechando las diferentes interfaces que manejan los puertos clientes; asimismo esta tecnología tiene la bondad de ser escalable de acuerdo con las características técnicas del equipo y necesidades del diseño.

b) Justificación económica

La justificación económica está relacionada en forma directa con las empresas y clientes ya que este diseño con tecnología DWDM va a reducir los costos del servicio brindado por las mismas. Siendo este sector capaz de generar nuevas oportunidades en el área geográfica donde se implemente; es por ello que el desarrollo de la propuesta de este diseño con tecnología DWDM podría aminorar los costos de los servicios de internet, telefonía y cable; haciendo que más pobladores del departamento de Ancash puedan suplir sus necesidades de conectividad.

c) Justificación social

El desarrollo de la propuesta de este diseño con tecnología DWDM podría brindar Acceso a menores costos, acceso a un servicio continuo y de calidad; asimismo este diseño busca contribuir en la modernización de las diferentes zonas brindando el servicio de banda ancha mejorando los estándares de vida de los pobladores creando una mayor demanda de empleos y oportunidades.

1.4 Delimitación del estudio

1.4.1 Delimitación espacial:

El diseño que estamos planteando está dirigido para poder desarrollarse estrictamente en los nodos comprendidos en el enlace de Lima – Ancash, ya que, si se decide por cambiar de zonas, se presentarían variaciones en los parámetros y no sería posible activar la capacidad.

1.4.2 Delimitación tecnológica:

El diseño va a suplir con las necesidades solamente hasta los nodos de telecomunicaciones; Sin embargo para cubrir y llegar a los pobladores necesariamente los operadores locales y demás empresas de telecomunicaciones se tendrán que conectar a nuestros puertos y así poder transmitirles las capacidades correspondientes.

1.5 Objetivos de la investigación

1.5.1 Objetivo general

Diseñar una red de transporte con tecnología DWDM para brindar el servicio de banda ancha al departamento de Ancash 2021.

1.5.2 Objetivos específicos

- a) Diseñar una red de transporte con tecnología DWDM para brindar banda ancha utilizando la infraestructura disponible 2021.
- b) Diseñar una red de transporte con tecnología DWDM teniendo en cuenta el hardware para brindar banda ancha en el departamento de Ancash 2021.
- c) Diseñar una red de transporte con tecnología DWDM para brindar banda ancha escalable al departamento de Ancash 2021.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco histórico

Larry, (2015) Nos indica que han pasado más de 20 años desde que la tecnología DWDM entró en escena por primera vez, y en las últimas dos décadas ha revolucionado la transmisión de información a largas distancias. En la actualidad, la tecnología DWDM se aplica tan ampliamente que casi olvidamos que hubo un tiempo en que el acceso a la información desde el otro lado del mundo era costoso y lento. Sin embargo a principios de la década de 1990 se dio la segunda generación de WDM, que en ocasiones se denomina WDM de banda estrecha, en la cual se usaba de dos a ocho canales, que estaban espaciados en un intervalo de unos 400 GHz en la ventana de 1.550 nm. A mediados de los noventa, los sistemas DWDM que estaban emergiendo eran conformados por 16 a 40 canales y un espaciado de 100 a 200 GHz. Desde finales de los noventa a la actualidad, los sistemas DWDM han evolucionado hasta el punto de que son capaces de tener de 64 a 160 canales en paralelo y espaciados cada 25 o 50 GHz. La evolución del DWDM se observa en la Figura N° 1.

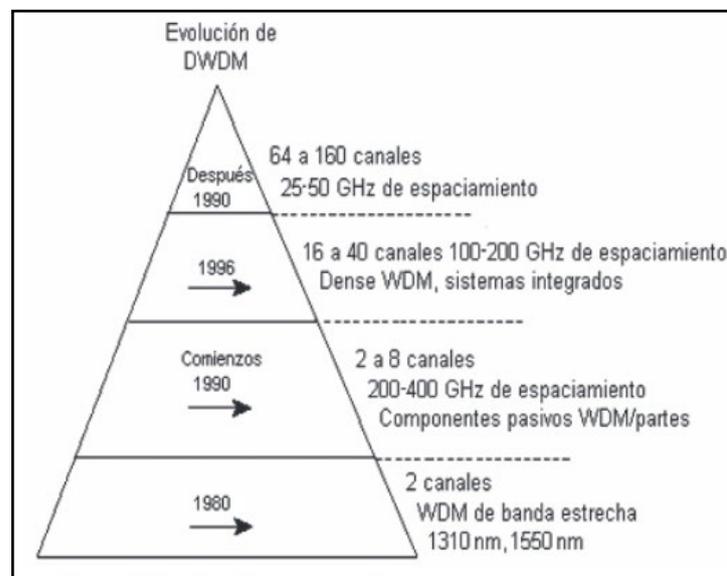


Figura N° 1: Evolución de la tecnología DWDM

Fuente: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/272/5603>

2.2 Investigación relacionada con el tema

2.2.1 Antecedentes Internacionales

Guachisaca, V. (2021). En su tesis “Diseño de una red de transmisión DWDM metropolitana integrando servicios SDH, en la ciudad de Loja”. Para obtener el grado de Magister en Telecomunicaciones en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador; En su trabajo de postgrado tuvo por conclusión que “La tecnología DWDM permite implementar redes de transmisión ópticas de grandes capacidades, en la cual se transportan de forma transparente diferentes tipos de tecnologías como SDH, ETH, IP/MPLS entre otras, a través de una fibra óptica, aprovechando así, el beneficio de la capacidad teórica del ancho de banda de las redes de fibra óptica; El sistema DWDM permite multiplexar hasta 80 longitudes de onda con una capacidad de canal de 10G, 40G y 100G.” “Luego de ejecutar el análisis del ancho de banda teórico (158,232 Gbps) y de la demanda actual de servicios de telecomunicaciones en la ciudad de Loja, se observa que existe un incremento y desarrollo en el mercado actual en los servicios de telecomunicaciones y en especial el acceso a internet, la única red que soporta y permite el transporte del tráfico de manera segura y fiable es una red transmisión óptica con tecnología DWDM.” “La ruta de los canales ópticos no supera la distancia de 80 km, por lo cual no es necesario un módulo de compensador cromático y amplificadores ópticos de línea EDFA en los enlaces de fibra óptica. El análisis y estudio del proyecto permite elaborar el diseño de los enlaces de fibra óptica que interconectarán los equipos de la capa óptica y la red de transmisión con tecnología DWDM para transportar varios servicios GE, SDH, PDH y SAN en la ciudad de Loja, en el cual, se detalla el tipo de servicio a transportar, el dimensionamiento de equipos con sus respectivos elementos ópticos, los enlaces de fibra óptica y el tipo de protección SNCP que tiene cada servicio con la finalidad de asegurar y proveer la calidad del servicio en caso de fallas en el enlace de fibra óptica.”

Chango, V. (2017). En su tesis “Diseño y simulación de la red DWDM para ampliación e integración a una red SDH existente para una empresa proveedora de servicios de telecomunicaciones en Quito-Ecuador”. Para

obtener el grado de Magister en Redes de Comunicación en la Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Ecuador; En su trabajo de postgrado tuvo por conclusión que “Una de las bondades, de la Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa es la integración de múltiples formatos en el envío de la información, permite que el proveedor de servicios haga empleo del ancho de banda sin tener que preocuparse por un conocimiento profundo de los equipos que se van a integrarse a esta tecnología por lo que se enfocan simplemente en el transporte de los datos.” “Es de valiosa importancia la elección de los elementos que van a formar parte de la solución que se va a desarrollar. Uno de esos elementos y sin el cuál no sería posible en la práctica la puesta en marcha de un proyecto es la fibra óptica. El escogimiento debe ser realizado en base de alguna de las recomendaciones dadas por la ITU-T (G.652, G.653, G.655, G657), esto con el objetivo de minimizar problemas en cuanto al retardo, jitter, dispersión de las señales ópticas.” “Efectivamente en la simulación se observan que las frecuencias asignadas para el canal propuesto en el diagrama figuran 24 y tabla 30 coinciden completamente con la verificación realizada por el analizador WDM. Se utilizó en el ingreso de datos lo establecido en la recomendación ITU-T G.694.1. 5. Al realizar la medición con el Power Meter podemos observar a la salida del Demux una potencia de -13,4 dBm, que estarían dentro del rango propuesto para este caso. Como se ve no se necesitaría de amplificadores como lo anotamos al realizar los cálculos teóricos.” “Para el crecimiento de redes SDH es necesaria la disponibilidad de contar con hilos de fibra (los cuáles deben ser probados antes de ser habilitados) y cada vez que exista esta necesidad 83 pues lo obvio es contar con más recursos en la Planta externa. De esta forma la importancia de la integración ente SDH y DWDM es grande, ya que esta última ofrece lambdas (longitudes de onda) sobre un par de hilos de fibra óptica sobre las cuáles es posible el envío del tráfico proveniente de las redes SDH y en consecuencia el crecimiento de estas sería no requeriría de factibilidades en recursos de fibra.”

Lanchi, L. (2020). En su tesis “Diseño de una red de transporte DWDM con longitudes de onda de 400Gbps para la ciudad de Guayaquil”. Para obtener el grado de Magister en Telecomunicaciones en la Universidad Católica de

Santiago de Guayaquil, Ecuador; En su trabajo de postgrado tuvo por conclusión que “Las redes DWDM han evolucionado para permitir el transporte de canales ópticos de gran capacidad de ancho de banda, mediante la utilización de técnicas de modulación coherente, y sistemas de multiplicación con grillas flexibles que permiten optimizar el espectro óptico y sobre todo posibilitan la escalabilidad de canales ópticos con distintas velocidades.” “El arreglo de tarjetas multiplexoras, demultiplexoras, amplificadoras y tarjetas de línea seleccionados en el diseño propuesto permiten obtener un sistema DWDM con 5 nodos ROADM, que acuerdo a las distancias de los enlaces no hay necesidad de considerar un nodo OLA, la ubicación de cada pre amplificador y amplificador booster está seleccionado de manera estratégica para permitir la funcionalidad de potencia óptima del sistema y posibilitar el envío de 48 canales ópticos a cualquier dirección con velocidades interoperables de 100G/200G/400G y en un futuro realizar un upgrade a 1T.” “En la simulación realizada Optisystem se puede comprobar que el sistema propuesto opera dentro de los rangos ópticos normales de las tarjetas finales y al paso de cada amplificador, el sistema compensa todas las pérdidas de inserción locales de cada nodo y además las presentadas por el medio de transmisión, con un valor de señal ruido de 24,9 dB para 23 Km y 20 dB para 80 km, estos valores garantizan que la señal puede ser recuperada y por ende determinan la ausencia de errores en la red.” “Mediante los cálculos matemáticos y en dependencia de los parámetros ópticos de los amplificadores Booster en la salida y entrada de un nodo ROADM y coeficientes de atenuación de la fibra óptica, se puede concluir que con el sistema propuesto con amplificadores EDFA puede alcanzar alrededor de 80 a 90 km de distancia entre dos nodos ROADM, por ende el diseño propuesto es factible de implementar en el escenario de red considerado, dado que todos los enlaces se encuentran con distancias menores a este valor máximo permitido.”

2.2.2 Antecedentes Nacionales

Janampa, J. (2019). en su tesis titulada “Diseño de una red de fibra óptica para implementar el servicio de banda ancha para Andina Perú cable E.I.R.L. en la ciudad de Cerro de Pasco” para titularse como ingeniero de Sistemas en la

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Perú; En su trabajo de grado tuvo por conclusión que “La transmisión de los servicios de telecomunicaciones los cuales son: internet, televisión digital, telefonía y los diversos servicios multimedia basados en la red de fibra óptica brindarán un mejor servicio permitiendo a los usuarios acceder a una mejor velocidad y capacidad de transmisión buscando el punto primordial que para nuestra investigación viene a ser la satisfacción de los clientes en el uso de los servicios de telecomunicaciones.” , “La tecnología basada en red de fibra óptica se presenta como una solución óptima actualmente, sin embargo, debido al constante avance tecnológico en los equipos que se implementen se tendrán como sucesoras a equipos nuevos con mejores características y de mejor costo por ello es indispensable estar en constante cambio haciendo seguimiento a las innovaciones tecnológicas.”, “La presente investigación se alinea a la iniciativa del gobierno central para el cierre de brechas de desarrollo denominado plan nacional de infraestructura que busca el crecimiento, competitividad y desarrollo nacional priorizando sectores entre los cuales se puede encontrar el de telecomunicaciones donde uno de los puntos vitales es la mejora de la calidad del servicio de banda ancha.”

Nuñez, A. (2018). en su tesis titulada “Diseño de una red de transporte sobre fibra óptica para incrementar la banda ancha de las regiones: Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna” para titularse como ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú; En su trabajo de grado tuvo por conclusión que “La tecnología DWDM utilizada para el diseño de la red de transporte es la más eficiente actualmente en el mercado de las redes de banda ancha gracias a la capacidad de conmutación a grandes distancias que tiene esta y la calidad de regeneración que se le puede brindar a la señal transmitida, además de su compatibilidad con tecnologías pasadas lo cual la convierte en una tecnología versátil para distribuir servicios de telecomunicaciones a un gran número de usuarios. Se verifica la gran ventaja de contar con una red dorsal nacional sobre la cual se pueden desplegar nuevos proyectos en telecomunicaciones, con un índice de costos Capex muy bajo a comparación de proyectos ejecutados anteriormente por empresas privadas de telecomunicaciones sobre el territorio peruano.”

Mamani, W. (2018). en su tesis titulada “Diseño de una red DWDM (Multiplexación por División en Longitudes de Ondas Densas) para la implementación de un Sistema FTTH en Instituciones de Sicuani” para titularse como ingeniero de Sistemas en la Universidad Peruana Union de Juliaca, Perú; En su trabajo de grado tuvo por conclusión que “Las redes de acceso son la parte fundamental para los operadores de telecomunicaciones debido a que transportan los servicios ofrecidos al usuario final por ello se debe diseñar cumpliendo estrictamente los estándares propuestos por las entidades reguladoras, esta práctica nos ayudara que la red diseñada funcione sin problemas a la hora de su implementación.”, “La tecnología DWDM y FTTH es una buena opción para la implementación de redes de acceso debido que usa fibra óptica de extremo a extremo y no tiene elementos activos en medio que puedan causar problema en el tiempo, además se mantendrá vigente tecnológicamente debido que la fibra óptica es un medio de transmisión óptimo y que a la fecha no tiene remplazo.”, “La aparición de nuevos operadores brindando cada vez un mayor ancho de banda y nuevos servicios exige que los diseñadores de planta externa se mantengan actualizados con nuevas tecnologías para diseñar redes adaptables y convergentes al tiempo. En el diseño se debe considerar la tecnología y medios que ayuden persistir en el tiempo antes que al costo de la tecnología a diseñar.”

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.

La transmisión de datos, es un mecanismo de envío de información, para que la transmisión de datos por medio de fibra óptica exista es necesario un transmisor, que se encarga de transformar ondas electromagnéticas en energía óptica o luminosa, por lo cual se considera este elemento como activo luego de que la señal luminosa es transmitida por el medio óptico en el otro extremo de la comunicación tenemos el receptor, cuya principal función es transformar a señal luminosa que llega en energía electromagnética similar o igual a la señal original.

La información convertida en haz de luz soporta sucesivas reflexiones que la mantienen dentro de sí para salir por el otro extremo. Es decir, es una guía de onda de luz.

2.3.1 DWDM

Larry, (2015) Tecnología DWDM (Multiplexación por división de longitud de onda densa) es una extensión de las redes ópticas. Los dispositivos DWDM (multiplexante, o Mux para abreviar) combinan la salida de varios transmisores ópticos para la transmisión a través de una sola fibra óptica. En el extremo receptor, otro dispositivo DWDM (demultiplexor, o Demux para abreviar) separa las señales ópticas combinadas y pasa cada canal a un receptor óptico. Sólo se utiliza una fibra óptica entre los dispositivos DWDM (por dirección de transmisión). En lugar de requerir una fibra óptica por par de transmisores y receptores, DWDM permite que varios canales ópticos ocupen un solo cable de fibra óptica.

(Larry, 2015) Una ventaja clave de DWDM es que es independiente del protocolo y la velocidad de bits. Las redes basadas en DWDM pueden transmitir datos en IP, ATM, SONET, SDH y Ethernet. Por lo tanto, las redes basadas en DWDM pueden transportar diferentes tipos de tráfico a diferentes velocidades a través de un canal óptico. La transmisión de voz, correo electrónico, vídeo y datos multimedia son solo algunos ejemplos de servicios que se pueden transmitir simultáneamente en sistemas DWDM. Los sistemas DWDM tienen canales en longitudes de onda espaciadas con espaciado de 0.4nm o 0.8nm.

Larry, (2015) DWDM es un tipo de multiplexación por división de frecuencia (FDM). Una propiedad fundamental de la luz establece que las ondas de luz individuales de diferentes longitudes de onda pueden coexistir independientemente dentro de un medio. Los láseres son capaces de crear pulsos de luz con una longitud de onda muy precisa. Cada longitud de onda individual de la luz puede representar un canal de información diferente. Al combinar pulsos de luz de diferentes longitudes de onda, muchos canales se pueden transmitir a través de una sola fibra simultáneamente. Los sistemas de fibra óptica utilizan señales de luz dentro de la banda infrarroja (longitud de onda de 1 mm a 750nm) del espectro electromagnético. Las frecuencias de luz en el rango óptico del espectro electromagnético generalmente se identifican por su longitud de onda, aunque la frecuencia (distancia entre lambdas)

proporciona una identificación más específica. . Por tanto se puede observar la estructura de una red DWDM. Véase la Figura N° 2.

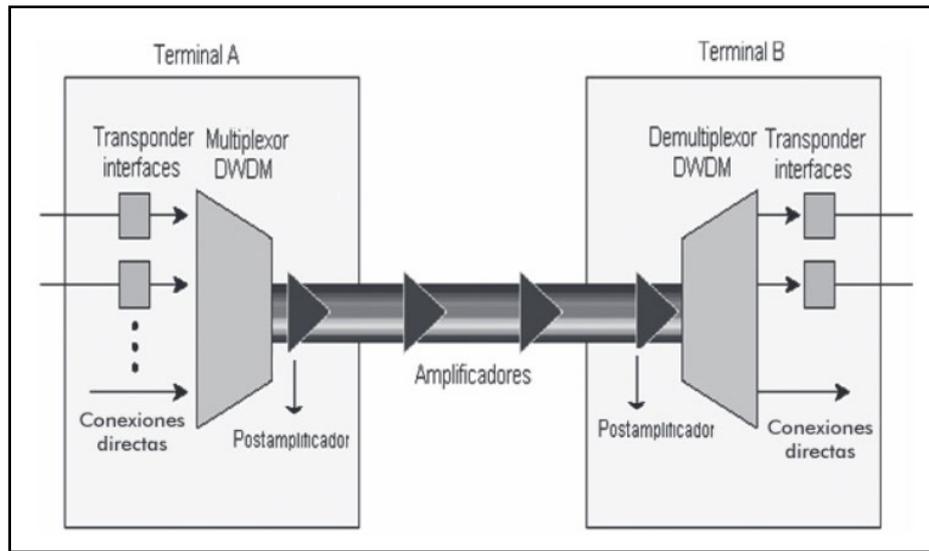


Figura N° 2: Estructura de una red DWDM.

Fuente:<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/272/5603>

2.3.2 Banda Ancha

(Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2013) La Banda Ancha puede considerarse, desde un punto de vista técnico, como un conjunto de tecnologías de red avanzadas o como el motor de una radical y gran transformación que revitaliza la entrega de los servicios existentes y da pie a la aparición de nuevos e innovadores servicios. En el mundo moderno, la banda ancha se ha convertido en una infraestructura fundamental que determina la competitividad nacional de los países en la economía digital mundial. La banda ancha es también una herramienta para alcanzar nuestra meta común, las sociedades del conocimiento, donde el acceso a la información y la creatividad humana son vitales. En términos técnicos, la “banda ancha” puede definirse por poseer características especiales en Velocidades de transmisión mínimas, Tipo de tecnología (por ejemplo las llamadas tecnologías “4G”) y una serie de conceptos funcionales, entre los que se cuentan la conexión permanente (donde el servicio Internet está sujeto a actualizaciones instantáneas en tiempo real.), la alta capacidad (donde las conexiones de baja latencia y alta capacidad

que pueden transportar grandes cantidades de bits de información por segundo; sea cual sea el punto de vista y la definición, la banda ancha es capaz de entregar de manera fiable servicios convergentes y de ofrecer simultánea y conjuntamente voz, datos y vídeo, posiblemente a través de redes diferentes. La conectividad en banda ancha sustenta una serie de diversos servicios, informaciones y aplicaciones desde la realidad aumentada para particulares a las pruebas médicas y el diagnóstico a distancia, la computación distribuida en la investigación académica y la interactividad en línea a distancia en la educación y muchas más cosas que aún ni siquiera imaginamos. En el futuro, la entrega de servicios sanitarios, educativos, bancarios, empresariales, comerciales y estatales dependerá enteramente de las plataformas de banda ancha, por lo que todos y cada uno de los países ha de planificar el “futuro basado en la banda ancha”.

2.3.3 Transmisores y Receptores ópticos

Larry, (2015) Los transmisores se describen como componentes DWDM ya que proporcionan las señales de origen que luego se multiplexan. Las características de los transmisores ópticos utilizados en los sistemas DWDM son muy importantes para el diseño del sistema. Múltiples transmisores ópticos se utilizan como fuentes de luz en un sistema DWDM. Los bits de datos eléctricos entrantes (0 o 1) desencadenan la modulación de un flujo de luz. Los láseres crean pulsos de luz. Cada pulso de luz tiene una longitud de onda exacta (λ) expresada en nanómetros (nm). En un sistema basado en portadores ópticos, se envía un flujo de información digital a un dispositivo de capa física, cuya salida es una fuente de luz (un LED o un láser) que interconecta un cable de fibra óptica. Este dispositivo convierte la señal digital entrante de forma eléctrica (electrones) a óptica (fotones) (conversión eléctrica a óptica, E-O). La conversión de E-O no afecta al tráfico. El formato de la señal digital subyacente no ha cambiado. Los pulsos de luz se propagan a través de la fibra óptica por medio de la reflexión interna total. En el extremo receptor, otro sensor óptico (fotodiodo) detecta los pulsos de luz y convierte la señal óptica entrante de nuevo a forma eléctrica. Un par de fibras generalmente conectan dos dispositivos cualesquiera (uno transmite fibra, uno

recibe fibra).

Larry, (2015) Los sistemas DWDM requieren longitudes de onda de luz muy precisas para funcionar sin distorsión intercanal o diafonía. Varios láseres individuales se utilizan típicamente para crear los canales individuales de un sistema DWDM. Cada láser opera a una longitud de onda ligeramente diferente. Los sistemas modernos funcionan con separación de 200, 100 y 50 GHz. Se están investigando los sistemas más nuevos que admiten la separación de 25 GHz y la separación de 12,5 GHz. En general, los transceptores DWDM (DWDM SFP, DWDM SFP+, DWDM XFP, etc.) que operan a 100 y 50 GHz se pueden encontrar en el mercado hoy en día. El Transmisor/Receptor de una red DWDM. Véase la Figura N° 3.



Figura N° 3: Transmisor Receptor de una red DWDM.

Fuente: <http://spanish.sfpopticaltransceiver.com/sale-9555068-lr4-100g-qsfp28-transceiver-for-data-center-qsfp28-10km-4cwm-on-sm.html>

2.3.4 Filtros DWDM MUX/DEMUX

Larry, (2015) Múltiples longitudes de onda (todas se encuentran dentro de la banda de 1550 nm) creadas por múltiples transmisores y que operan en diferentes fibras se combinan en una fibra por medio de un filtro óptico (filtro Mux). La señal de salida de un multiplexador óptico se conoce como señal compuesta. En el extremo receptor, un filtro de gota óptica (filtro DeMux) separa todas las longitudes de onda individuales de la señal compuesta a fibras

individuales. Las fibras individuales pasan las longitudes de onda demultiplexadas a tantos receptores ópticos. Normalmente, los componentes Mux y Demux (transmitir y recibir) están contenidos en un único gabinete. Los dispositivos ópticos Mux/DeMux pueden ser pasivos. Las señales de componentes se multiplexan y demultiplexan ópticamente, no electrónicamente, por lo tanto, no se requiere ninguna fuente de alimentación externa. La figura siguiente es la operación DWDM bidireccional. N pulsos de luz de N longitudes de onda diferentes transportadas por N fibras diferentes se combinan por un DWDM Mux. Las señales N se multiplexan en un par de fibra óptica. Un DWDM Demux recibe la señal compuesta y separa cada una de las N señales componentes y pasa cada una a una fibra. Las flechas transmitidas y de la señal de recepción representan el equipo del lado del cliente. Esto requiere el uso de un par de fibras ópticas; uno para transmitir, uno para recibir. El desarrollo del multiplexado y desmultiplexado se observan en la Figura N° 4.

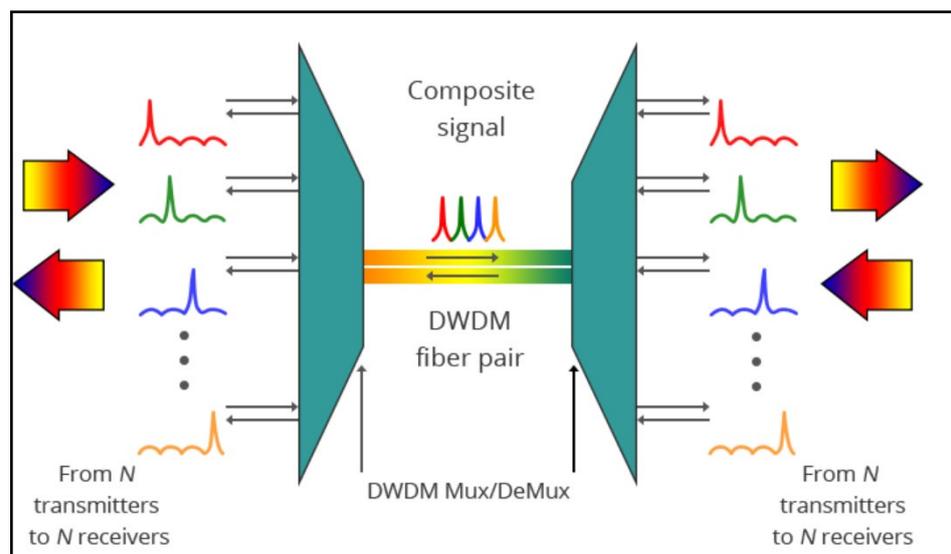


Figura N° 4 : Multiplexado y desmultiplexado de la señal óptica

Fuente:<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/272/560>
93

2.3.5 Multiplexores Ópticos ADD/DROP

Larry, (2015) Los multiplexores ópticos add/drop (es decir, OADMs) tienen una función diferente de "Add/Drop", en comparación con los filtros

Mux/Demux. Aquí está una figura que muestra la operación de un DWDM OADM de 1 canal. Este OADM está diseñado para agregar o soltar señales ópticas con una longitud de onda particular. De izquierda a derecha, una señal compuesta entrante se divide en dos componentes, drop y pass-through. El OADM cae solamente la secuencia de señal óptica roja. El flujo de señal descartado se pasa al receptor de un dispositivo cliente. Las señales ópticas restantes que pasan a través del OADM se multiplexan con una nueva secuencia de la señal de la adición. El OADM añade un nuevo flujo de señal óptica roja, que opera en la misma longitud de onda que la señal caída. El nuevo flujo de señal óptica se combina con las señales de paso para formar una nueva señal compuesta. La operación de los amplificadores se observan en la Figura N° 5

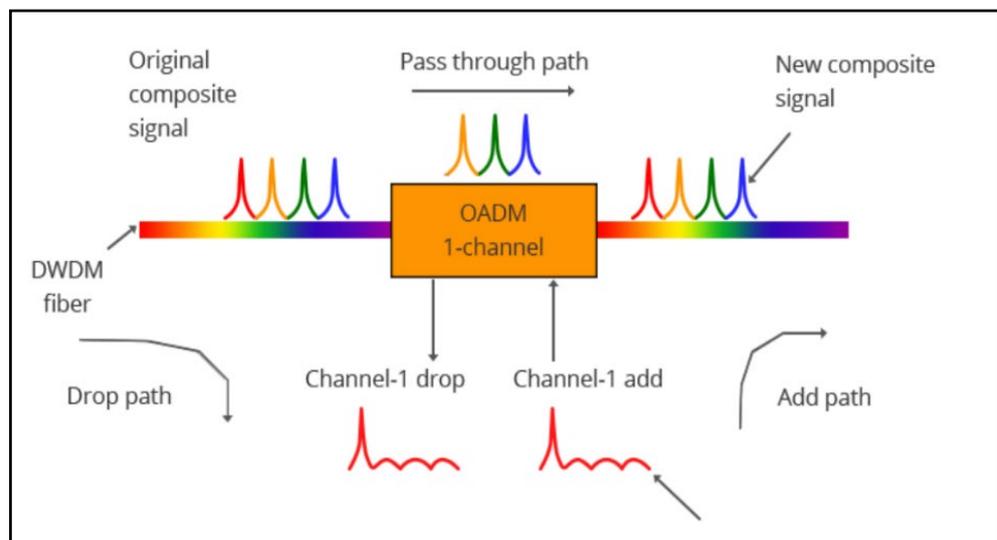


Figura N° 5: Operación del OADM diseñado para operar en longitudes de onda DWDM

Fuente: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/272/5610>

3

2.3.6 Amplificadores Ópticos

Larry, (2015) Los amplificadores ópticos aumentan la amplitud o añaden ganancia a las señales ópticas que pasan sobre una fibra estimulando directamente los fotones de la señal con energía extra. Son dispositivos "en fibra". Los amplificadores ópticos amplifican las señales ópticas en una

amplia gama de longitudes de onda. Esto es muy importante para la aplicación del sistema DWDM. Amplificadores de fibra dopados con erbio (EDFAs) son el tipo más comúnmente utilizado de amplificadores ópticos en fibra. Los EDFAs utilizados en los sistemas DWDM a veces se denominan DWDM EDFA, en comparación con los utilizados en los sistemas CATV o SDH. Para ampliar la distancia de transmisión de su sistema DWDM, puede elegir entre diferentes tipos de amplificadores ópticos, incluidos DWDM EDFA, CATV EDFA, SDH EDFA, EYDFA y Raman Amplifier, etc. Asimismo la operación de los amplificadores se observan en la Figura N° 6.

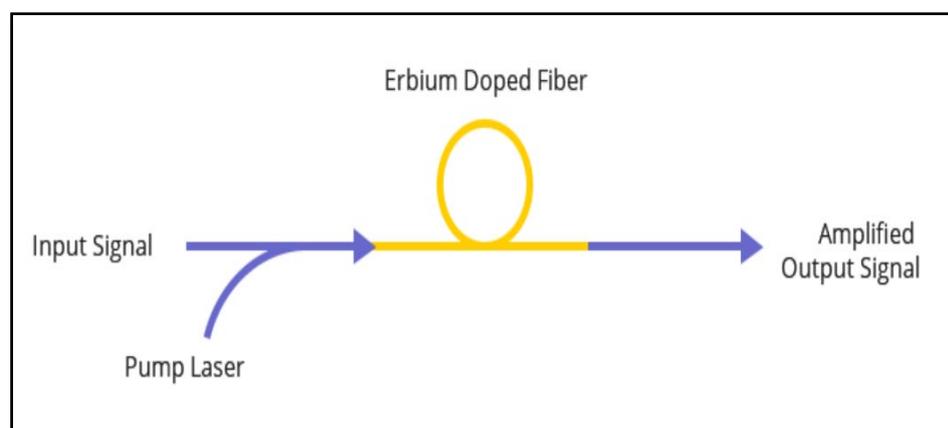


Figura N° 6: la operación de un DWDM EDFA.

Fuente: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/272/568>
P9903

2.3.7 Transpondedores (Convertidores de Longitudes de Onda)

Larry, (2015) Transpondedores convertir señales ópticas de una longitud de onda entrante a otra longitud de onda saliente adecuada para aplicaciones DWDM. Los transpondedores son convertidores de longitud de onda óptico-eléctrico-óptico (O-E-O). Un transpondedor realiza una operación O-E-O para convertir longitudes de onda de la luz, por lo que algunas personas las llamaron "OEO" para abreviar. Dentro del sistema DWDM, un transpondedor convierte la señal óptica del cliente en una señal eléctrica (O-E) y, a continuación, realiza las funciones 2R (Reamplify, Reshape) o 3R (Reamplify, Reshape y Retime). La siguiente figura muestra el funcionamiento del transpondedor bidireccional. un Transpondedor WDM se

encuentra entre un dispositivo cliente y un sistema DWDM. De izquierda a derecha, el transpondedor recibe un tren de bits óptico que funciona a una longitud de onda determinada (1310 nm). El transpondedor convierte la longitud de onda de funcionamiento del flujo de bits entrante en una longitud de onda compatible con la UIT. Transmite su salida a un sistema DWDM. En el lado de recepción (de derecha a izquierda), el proceso se invierte. El transpondedor recibe una corriente de bits compatible con la UIT y convierte las señales de nuevo a la longitud de onda utilizada por el dispositivo cliente. La operación de un DWDM EDFA se observan en la Figura N° 7.

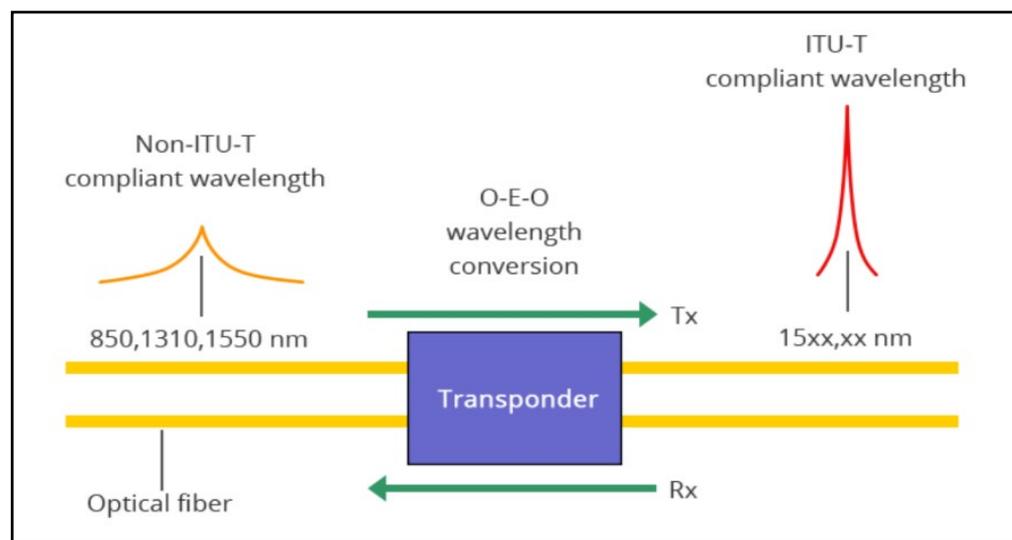


Figura N° 7: la operación de un TRANSPONDEDOR.

Fuente: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/272/560389>

Los transpondedores se utilizan generalmente en sistemas WDM (2,5 a 40 Gbps), incluyendo no sólo los sistemas DWDM, sino también los sistemas CWDM. Y los transpondedores WDM (convertidores OEO) pueden venir con diferentes puertos de módulo (SFP a SFP, SFP+ a SFP+, XFP a XFP, etc.).

2.3.8 REDES DE TELECOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA

La estructura actual de las redes de telecomunicaciones de Banda Ancha para el acceso a Internet, está conformada en términos generales por los elementos que se observan en la Figura N° 8.

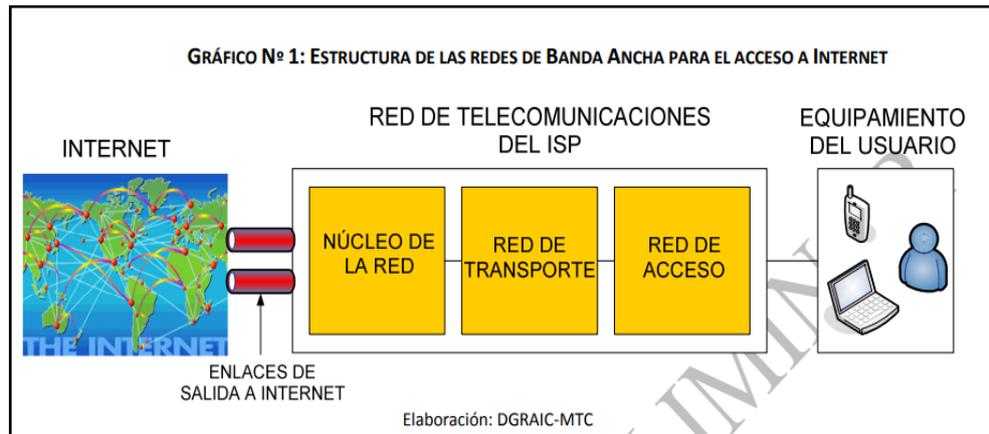


Figura N° 8 estructura actual de las redes de telecomunicaciones de Banda Ancha

Fuente: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/272/560367>

2.4 Fibra Óptica

La fibra óptica es un finísimo hilo de vidrio muy puro (aunque también se construyen de plástico, por economía), con un diámetro entre cinco o diez micras, los antiguos eran de 50 micras. Para que se pueda manejar, al fabricarlos se rodean de más vidrio o plástico, pero este vidrio o plástico de fuera no es el que conduce la luz. De hecho, las dos partes de la fibra se construyen a propósito con un índice de refracción diferente, para que si la luz intenta salir, el vidrio de fuera actúe como un espejo y vuelva a meter el rayo para dentro (su índice de refracción haga que la luz se refleje y no salga al exterior). Externamente, se pone un recubrimiento para protección mecánica, para que no se estropee; asimismo la fibra óptica permite transmitir comunicaciones a cientos de kilómetros sin necesidad de convertirla en electricidad para amplificarla, dado que ya existen amplificadores ópticos. Además, la cantidad de información que se puede transferir es muy grande, superior a la que se puede conseguir por cualquier otro medio. La estructura de la fibra óptica se observa en la Figura N° 9

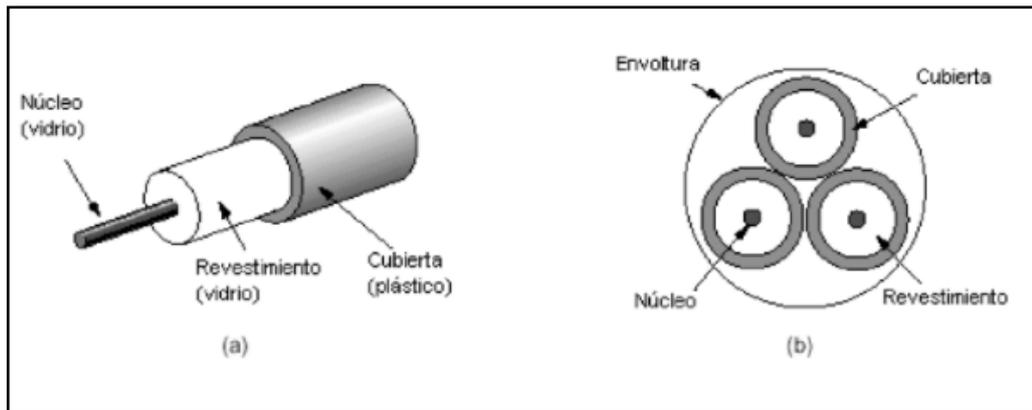


Figura N° 9: Estructura de La fibra óptica.

Fuente: <https://elibro.net/es/ereader/bibliourp/106442?page=84>.

2.4.1 Características de la fibra óptica

Es una de las transmisiones más seguras, puesto que al no radiar energía al exterior resulta muy improbable la detección de la señal que está siendo transmitida. Siendo necesario para ello interferir en el sistema, algo bastante difícil de hacer sin que sea detectado, pues para ello habría que interrumpir el enlace durante un largo período de tiempo.

Tienen pocas pérdidas de potencia, debidas fundamentalmente a la absorción de la señal y no a la radiación. Por lo que se pueden conseguir enlaces de varias decenas de kilómetros sin necesidad de usar amplificadores de señal. Puesto que la señal se transmite mediante fotones en lugar de electrones, este sistema resulta inmune a cualquier interferencia electromagnética procedente del exterior; esto significa ausencia total de ruido y, por tanto, errores en la transmisión. Al mismo tiempo se evita el riesgo de incendios y explosiones en instalaciones propensas a ellos.

El tamaño y peso de los cables de fibra óptica utilizados es muy pequeño, lo cual facilita enormemente su instalación, disminuyéndose el coste de la misma y de su posterior mantenimiento.

Es inmune a las condiciones climáticas externas, tales como agua, temperatura, etc., no presentando peligro alguno en su manipulación. Sin embargo, debido a fisuras en la cubierta protectora, puede penetrar la humedad en el interior del cable y deteriorar la fibra; para protegerla, se rellena el interior con un gel que evita la entrada de agua en el mismo. Debido al perfecto aislamiento de la fibra

del medio exterior.

Para la utilización de la fibra óptica la señal eléctrica se transforma en luminosa y, modulada en forma de pulsos, se transmite a través del núcleo hasta el receptor, donde es reconvertida de nuevo en eléctrica, sin que haya una gran pérdida de potencia. Con atenuaciones muy bajas. Las longitudes de onda (nanómetros) a las que la fibra presenta menos pérdida de potencia se denominan ventanas. Seguidamente se muestra la longitud de onda de la luz que se corresponde con cada una de las ventanas en la tabla N° 1

Tabla N° 1: muestra la longitud de onda y sus respectivas ventanas.

1.ª ventana	2.ª ventana	3.ª ventana
850 nm	1.300 nm	1.550 nm

Fuente: <https://elibro.net/es/ereader/bibliourp/106442?page=86>.

a) **Índice de refracción**

Se define el índice de refracción de un material como el cociente entre velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en dicho material. La velocidad de la luz en un medio es tanto menor cuanto más denso sea éste. Por tanto, el índice de refracción de cualquier material será siempre mayor que la unidad:

n: índice de refracción

Por tal se tiene: $n > 1$

$$n = \frac{c}{v}, \dots \dots \dots (1)$$

b) **1ª Ley de reflexión**

Los ángulos que forman el rayo incidente y el reflejado con la normal a la superficie de separación de los dos medios son iguales

$$\alpha_1 = \alpha_R, \dots \dots \dots (2)$$

2^{da} Ley de refracción

Los índices de refracción de los dos medios están en razón inversa de los senos de los ángulos que forma la normal a la superficie de separación con las respectivas ondas

$$\frac{n_0}{n_1} = \frac{\text{sen}\alpha_1}{\text{sen}\alpha_0} \quad n_0 > n_1$$

$$n_0 \cdot \text{sen}\alpha_0 = n_1 \cdot \text{sen}\alpha_1 \dots\dots\dots(3)$$

c) Apertura numérica (AN)

Esto es un cono cuya generatriz forma un ángulo α_{0L} con el eje de la fibra, pues todos los rayos que incidan con ángulo inferior a este cumplirán el principio de reflexión total, mientras que los incidentes con ángulo mayor que el límite van a ser refractados para los parámetros habituales de fibras estas pérdidas se cifran entre el 3 y 4 % en estas condiciones se define la apertura numérica o índice de aceptación de luz.

$$AN = n_0 \cdot \text{sen}\alpha_{0L} \dots\dots\dots(4)$$

$$AN = n_1 \sqrt{2\delta} \dots\dots\dots(5)$$

Asimismo δ es la diferencia relativa de índices de refracción de los dos medios:

$$\delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \dots\dots\dots(6)$$

d) Propagación de la luz en un guiaonda cilíndrico

Donde aparece el parámetro V el cual está relacionado con el número de veces que el radio “a” de la fibra contiene a la longitud de onda “ λ ” siendo este factor dependiente de la longitud de onda que se está propagando, del diámetro del núcleo, del índice de refracción del mismo y de la apertura numérica AN

V: frecuencia de corte normalizada

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \dots\dots\dots(7)$$

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \cdot n \sqrt{2\delta} \dots\dots\dots(8)$$

Teniendo en cuenta que $\frac{2\pi}{\lambda} = \beta_0$ donde:

β_0 : Es la constante de fase de la onda

$$\beta_0 = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi f}{v} = \frac{2\pi}{\lambda} \dots\dots\dots(9)$$

2.4.2 Fibra monomodo

Si en las fibras ópticas el diámetro del núcleo (entre 1 y 10 μm) es similar a la longitud de onda, solo un rayo de luz o modo puede viajar a través de ellas, denominándose a estas “fibras monomodo”. Esta solución proporciona un gran ancho de banda. Las fibras monomodo se emplean normalmente en enlaces de larga distancia. Potencialmente, esta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/km. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar ya que sus pequeñas dimensiones implican un manejo delicado y entrañan dificultades de conexión, que requieren de una técnica sofisticada para la correcta soldadura de la fibra o el empleo de conectores especiales y caros. Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten, es decir, de unos 5 a 8 μm . Si el núcleo está constituido de un material cuyo índice de refracción es muy diferente al de la cubierta, entonces se habla de fibras monomodo. Véase la Figura N° 10.

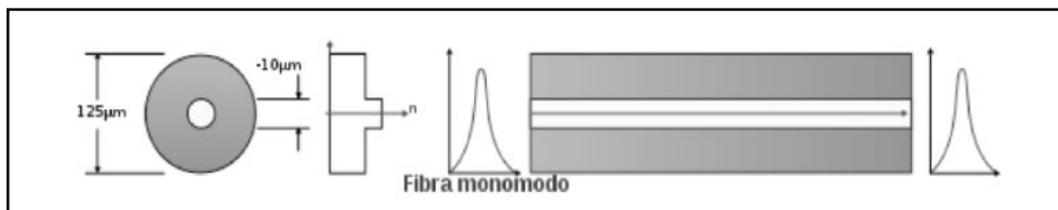


Figura N° 10: Estructura de La fibra óptica monomodo.

Fuente: <https://elibro.net/es/ereader/bibliourp/106442?page=86>.

2.5 Conectores

Existen numerosos conectores para conexión en fibra óptica, dependiendo del país o continente son algunos más comunes que otros, así como en diferentes sectores y rubros; algunos muy comunes como: SC, LC.

2.5.1 Conector SC

El conector SC, del tipo push-pull, housing de plástico, férula de zirconia (diámetro 2.5 mm +/- 0.05 %), es fácilmente desmontable del acoplador dado su forma de ingreso en línea recta. Existe en diferentes versiones, para cables de 900 μ , 2 ó 3mm.

Es otro de los conectores de tipo presintonizados y es compatible con el diseño de la SII. El campo de aplicación se encuentra en la mayoría de los enlaces industriales, centrales telefónicas, operadoras de CATV, es la interfaz de salida de los media converters más habituales 10/100, Posee una excelente relación calidad/precio. Véase el conector tipo SC en la Figura N° 11.



Figura N° 11: Conector tipo SC.

Fuente: <https://silexfiber.com/tipos-conectores-fibra-optica/>

2.5.2 Conector LC

La línea la de conectores LC tiene sólo la mitad de tamaño de los conectores como SC, ST, FC y OTROS, ofreciendo la posibilidad de montar una mayor cantidad de acopladores “LC” en un patch-pannel. Disponible en versiones monomodo o multimodo, simplex o dúplex (adaptador mediante), PC o APC. Es ideal para redes de alta velocidad, de voz, Telecomunicaciones, y aplicaciones en centrales sobre racks de alta densidad y CPD’S. El diseño del housing externo es similar al de un jack, y es compatible con componentes de todos los fabricantes de reconocido prestigio y con especificaciones EIA/TIA 568A, FOCIS 10 e IEC 11801. El diámetro de su férula es de 1.25mm (+/- 0.05 %).Es la interfaz óptica de salida característica de los enlaces Gigabite. El conector tipo LC. Véase la Figura N° 12.



Figura N° 12: Conector tipo LC.

Fuente: <https://silexfiber.com/tipos-conectores-fibra-optica/>

2.6 Adaptadores

Los adaptadores o acopladores sirven para dar continuidad al haz de luz que se transmite a través de la fibra óptica hacia otro segmento, los adaptadores más utilizados en las conexiones de redes metropolitanas son LC_LC, SC_SC . se observa los diferentes tipos de adaptadores que se utilizan en las conexiones de una red de transporte óptico véase en la Figura N° 13.

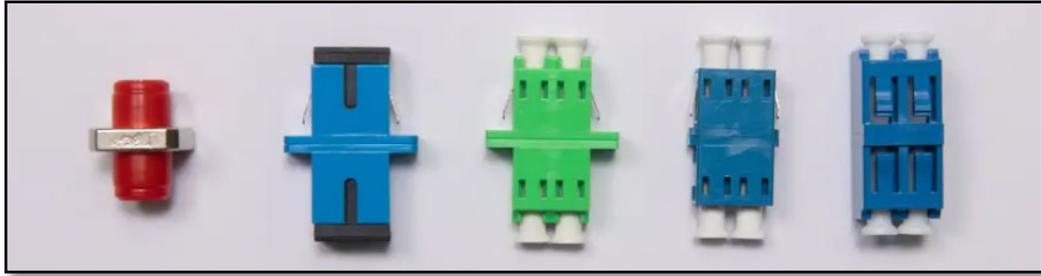


Figura N° 13: Tipos de adaptadores de una red de transporte óptico.

Fuente: <https://es.tmlptech.com/product/adaptor>

2.7 Empalmes de fibra óptica

Son las uniones de cables de fibra óptica desarrolladas por diversos métodos para soluciones según sea conveniente.

2.7.1 Empalme mecánico

Es un tipo de empalme que aprovecha la circunstancia de la menor sensibilidad de las pérdidas por separación de extremos en las fibras frente a la desviación angular por lo que se tratar de buscar formas de unión que garanticen en lo posible la alineación de los ejes manteniéndolos en su lugar y para estos son asegurados mecánicamente por presión; siendo fácil la manipulación de las mismas para reparaciones rápidas y rentables; sin embargo este tipo de empalme adiciona una pérdida que es típicamente 0.3 dB e introduce una reflexión más alta que un empalme por arco fusión en una red óptica. Véase el empalme mecánico en la figura N°14.



Figura N° 14: Tipo de empalme mecánico de una red de transporte óptico.

Fuente: <https://toolboom.com/es/articles-and-video/mechanical-fiber-optic-splicing/>

2.7.2 Empalme por fusión

Es un tipo de empalme más sofisticado puesto que este se realiza a través de un dispositivo generador de calor el cual realiza un empalme más seguro y permanente entre los núcleos de la fibra óptica a trabajar tanto para las fibras monomodo y multimodo; véase el empalme por fusión en la figura N° 15.

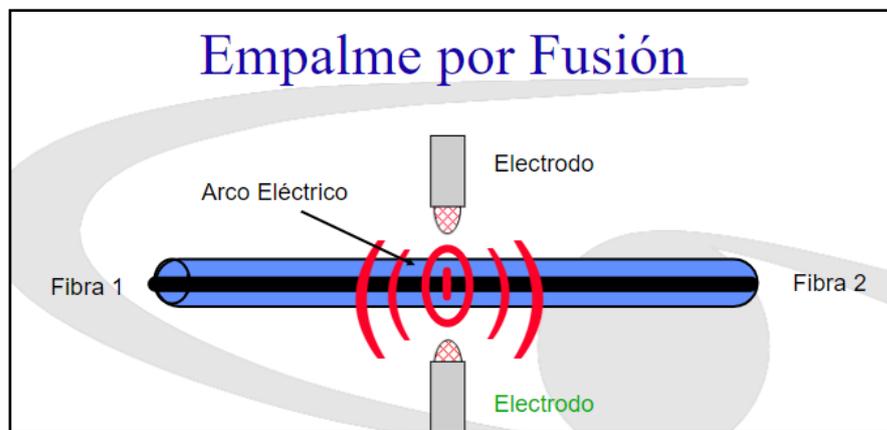


Figura N° 15: Empalme por fusión.

Fuente: <https://slideplayer.es/slide/141674/>

2.8 Parámetros de transmisión

2.8.1 Atenuación en la fibra óptica

Es un fenómeno que contribuye en degradar la información de modo que se vea afectada en la recepción de la misma; siendo así que las características de la señal no son idénticas a la información transmitida en origen. Se define la atenuación en la fibra $P(\lambda)$ como la relación entre las potencias de salida y potencia de entrada expresada en decibelios (dB)

$$P(\lambda) \quad (dB) = 10 \cdot \log \frac{P_T}{P_R} \dots\dots\dots(10)$$

Asimismo, se define como el coeficiente de atenuación $\alpha(\lambda)$ como la atenuación por unidad de longitud, generalmente en (Km) a esa longitud de onda.

$$\alpha(\lambda) \quad (dB) = \frac{1}{L} 10 \cdot \log \frac{P_T}{P_R} \dots\dots\dots(11)$$

2.8.2 Dispersión en las fibras

Es un conjunto de efectos que conforman un segundo parámetro característico de las fibras denominado “DISPERSION” siendo este un parámetro que define la capacidad máxima que, por unidad de longitud, se puede transmitir por una fibra por lo que puede medirse en términos de retardo relativo o de la máxima frecuencia pasante que admite. Teniendo en cuenta que el efecto de dispersión es acumulativo con la longitud de la fibra para lo cual la capacidad de la misma se mide en MHz. Km

2.8.3 Dispersión modal

Hemos visto que las distintas velocidades y direcciones asociadas a las longitudes de onda que penetran en la fibra pueden permitir la propagación de diferentes modos y que el número de ellos es tanto mayor cuanto mayor sea la libertad de recorridos. Ello implica que dos rayos de la misma longitud de onda que incidan simultáneamente, pero con direcciones distintas, llegarán en

instantes diferentes al extremo receptor; a este efecto se conoce como “DISPERSIÓN MODAL” o intermodal, por afectar a las relaciones entre modos, y es un parámetro característico de las fibras multimodo.

2.8.4 Dispersión cromática

La dispersión cromática se produce porque los rayos de luz que inyectamos en el extremo de un cable, llegan al otro lado en diferentes momentos, recibiendo una señal ligeramente distorsionada. Se mide en ps/nm·km, que indica que un pulso con una anchura espectral de 1 nanómetro se ensanchará 1 picosegundo por cada kilómetro que viaje. Ambos afectan tanto a fibras monomodo como multimodo. Veamos la dispersión cromática según la longitud de onda correspondiente en la figura N° 16.

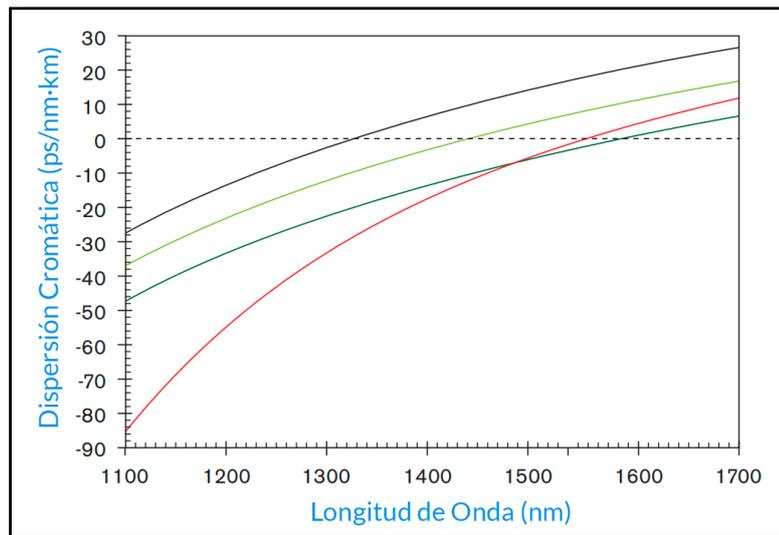


Figura N° 16: Dispersión cromática

Fuente: <https://www.prored.es/la-dispersion-cromatica/>

2.8.5 Atenuación óptica total

Es la pérdida de potencia de la señal óptica cuando se propaga a través de la fibra desde el emisor hasta el receptor, su unidad de medida es dB/km, la atenuación es causada por factores propios de la fibra óptica y se conoce como pérdidas intrínsecas, además existen pérdidas extrínsecas que son originadas por la distancia, los empalmes, los conectores, la curvatura de instalación y la suciedad de la fibra óptica. En la figura 2.12, se presenta el diagrama de un

enlace de fibra óptica entre el transmisor y receptor

A continuación, se detalla la ecuación matemática que permite determinar la atenuación total de un enlace de fibra óptica.

$$A_t = (n * C) + (c * J) + (L * a) + M \dots\dots\dots(12)$$

n: cantidad de conectores

C: atenuación de un conector óptico (dB)

c: cantidad de empalmes en el enlace

J: atenuación de un empalme (dB)

M: margen del sistema (los cables de conexión, las curvas de los cables, los eventos de atenuación óptica impredecibles y otras cosas por el estilo representan alrededor de 3 dB)

a: atenuación del cable óptico (dB/km)

L: longitud total del cable óptico.

La atenuación es constante en la fibra monomodo en la ventana de 1310nm y 1550nm, es de 0,3-0,4dB/Km y 0,17-0,25dB/Km respectivamente.

2.8.6 Ruido en sistemas de larga distancia amplificados. (OSNR)

La aparición de los amplificadores ópticos supuso una revolución para los temas ópticos de telecomunicación. Una gran ventaja es que cubren un espectro muy amplio y ello se aprovecha en los sistemas DWDM. Se emplean al final de un tramo para compensar las pérdidas sufridas por la señal en su propagación. Los amplificadores de fibra óptica dopada con Erblio (EDFAs) amplifican la señal entre 1530 y 1560 nm, esto es, unos 40 canales de 100GHz u 80 separados por 50 GHz, aunque hoy en día existen EDFAs que amplifican también la banda L (desde 1560 a 1625 nm).

Desafortunadamente, la amplificación óptica produce emisión espontánea amplificada (ASE) y éste es un factor limitante del alcance y la capacidad de estos sistemas. Cada amplificador óptico presenta un ruido ASE que se va acumulando a lo largo de la cadena de amplificadores y da lugar a un ruido de batido en el receptor, que constituye el límite fundamental del ruido en un

sistema óptico amplificado. Cada EDFA presenta un ruido ASE dado por la siguiente expresión:

$$P_{ASE} = 2hv \cdot \Delta v \cdot n_{sp}(G - 1) \dots\dots\dots(13)$$

Donde P_{ASE} es la potencia ASE en una anchura de banda óptica Δv , h es la constante de Planck, v es la frecuencia óptica, n_{sp} es el factor de emisión espontánea y G es la ganancia del amplificador. La contribución del ASE de cada amplificador al ASE acumulado se caracteriza por la figura de ruido, que a ganancias altas ($G > 15\text{dB}$), se caracteriza por $NF=2 n_{sp}$.

Esta penalización debido al batido entre la señal y el ruido ASE se caracteriza mediante la relación señal a ruido óptica (OSNR, "Optical Signal to Noise Ratio"), que es el cociente entre la potencia del canal de salida, P_{out} y la potencia ASE en un ancho espectral de 0.1 nm:

$$OSNR = \frac{P_{out}}{P_{ASE}(\Delta\lambda=0.1\text{nm})} \dots\dots\dots(14)$$

La OSNR debe ser tal que garantice una tasa de error de bit (BER, "Bit Error Rate") de 10^{-15} , incluyendo cualquier distorsión provocada en la transmisión. Conforme aumenta la longitud del enlace, aumenta el número de amplificadores que contribuyen al ruido ASE, y por tanto, al final disminuye la OSNR. El alcance del sistema viene dado por la longitud del enlace para el cual la OSNR al extremo es mayor o igual que el que garantiza dicho nivel de BER, teniendo en cuenta una gestión adecuada de todas las distorsiones presentes en el sistema.

Puede demostrarse la siguiente fórmula que permite obtener la OSNR en función del número de amplificadores, las pérdidas en cada tramo, la figura de ruido del amplificador y las potencias de cada canal en el amplificador:

$$OSNR (dB) = 58 + P_{out} - L_{span} - NF - 10\log(N_{amp}) \dots(15)$$

Suponiendo que la distancia entre amplificadores es fija, por cada 1 dB que mejora la OSNR, el alcance del sistema aumenta un 25% y si lo hace 3 dB, el alcance total es el doble.

La OSNR puede aumentar si incrementamos P_{out} o disminuyendo la figura de ruido o las pérdidas en cada tramo. La figura 10.2 representa la OSNR en función del alcance total del sistema: $N_{amp} L_{span}$ tomando $NF=5dB$ y la potencia de cada canal como 0 dBm para distintos valores de pérdidas por tramo, que se corresponden aproximadamente con 60, 80, 100 y 120 Km. Si este se mantiene constante, la OSNR crece conforme L_{span} disminuye y N_{amp} aumenta en la misma proporción ya que la OSNR sólo depende logarítmicamente de N_{amp}

2.9 Definición de términos básicos

2.9.1 SDH

Academia UTP, (2014) Es un estándar para redes de telecomunicaciones de "alta velocidad, y alta capacidad"; más específicamente es una jerarquía digital sincrónica. Este es un sistema de transporte digital realizado para proporcionar una infraestructura de redes de telecomunicaciones más simple, económica y flexible. Las viejas redes fueron desarrolladas en el tiempo en que las transmisiones punto a punto eran la principal aplicación de la red. Hoy en día los operadores de redes requieren una flexibilidad mucho mayor.

2.9.2 PDH

Academia UTP, (2014) Las señales de datos que tienen el mismo rango de transmisión pero que son provenientes de diferentes fuentes, siempre tienen un desplazamiento mayor o menor del valor nominal de bit rate, estos tienen pequeñas variaciones entre ellos. Por otra parte, cada una de las señales es también sincrónica con las otras.

2.9.3 IP

Patricio,A, (2019). Una dirección IP es una representación numérica del punto de Internet donde está conectado un dispositivo. Se usa para identificar dónde hay algo y, en cierto modo, qué es. Comprender los fundamentos de las direcciones IP es esencial para desenvolverse por Internet.

2.9.4 MPLS

Tapasco, M., (2008). (Multiprotocol Label Switching). Tecnología que permite conectividad de todas las sedes de un cliente entre sí y que proporciona mayor eficiencia en las comunicaciones (menor retardo).

2.9.5 TDT

Secretaría de estado de telecomunicaciones e infraestructuras digitales, (2005). La Televisión Digital Terrestre (TDT) es el resultado de la aplicación de la tecnología digital a la señal de televisión para luego transmitirla por medio de ondas hercianas terrestres, es decir, aquellas que se transmiten por la atmósfera sin necesidad de cable o satélite y se reciben por medio de antenas UHF convencionales.

2.9.6 RAMAN

S. Moreno, D. Torres, and G. Puerto, (2018). Los amplificadores Raman se valen de la ganancia Raman de la propia fibra óptica. Dicha ganancia responde a un efecto no lineal producido en la molécula de SiO₂ (Dióxido de Silicio) que compone la fibra, y que dada la disposición de esta como guía de onda se estimula en la propia propagación.

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Tipificación de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El método utilizado para este diseño es del tipo cuantitativo porque se utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico. Es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos, aunque desde luego, es factible redefinir alguna fase.

3.1.2 Esquema general del diseño

Este es el esquema general del diseño de la red DWDM que está compuesto principalmente por Filtros DWDM Mux/DeMux, amplificadores Ópticos, transpondedores; véase la figura N° 17.

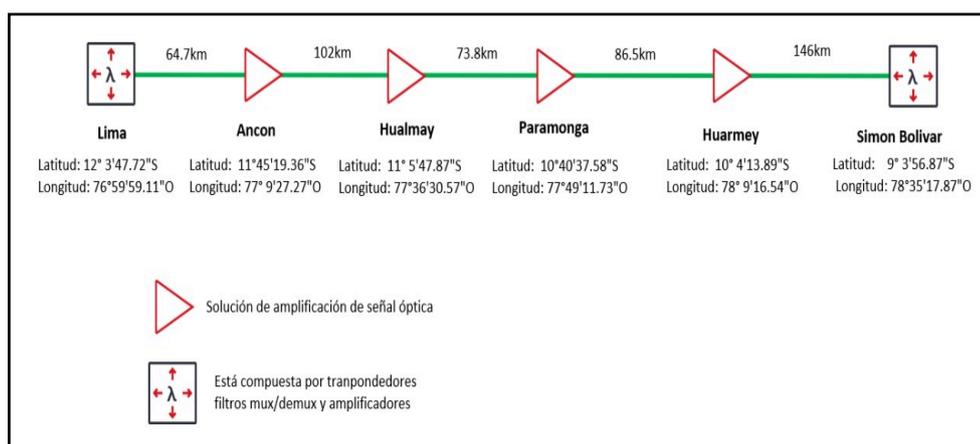


Figura N° 17: Esquema general del diseño de la red DWDM

Fuente: Diseño propio

3.2 Necesidad actual del servicio de banda ancha.

3.2.1 Elección del departamento para el desarrollo del diseño.

En algunos departamentos del Perú según datos estadísticos de la INEI, existe un déficit enorme de conectividad, los valores estadísticos son muy alarmantes, ya que existen departamentos en donde se observan que más del 70% de hogares por condición de tenencia no cuentan con los servicios de internet, telefonía fija y cable, para lo cual tuvimos que elegir el

departamento más acorde al diseño y la necesidad que este implica.

Para la elección hemos considerado 4 puntos importantes que son:

- 1) Cantidad total de hogares por condición de tenencia de Internet, telefonía fija y cable.
- 2) Cantidad de hogares por condición de tenencia de Internet, telefonía fija y cable, que no cuentan con este servicio.
- 3) Economía.
- 4) Zonas de fácil acceso. Con estos puntos importantes y comparando los departamentos de los últimos datos estadísticos oficiales de la INEI, realizado en el año 2017, se concluyó que el departamento más acorde al diseño es el departamento de Ancash.

3.2.2 Información general del departamento de Ancash.

a) Ubicación geográfica

El departamento de Ancash, situado en la región central – occidental del Perú, cubre una superficie de 35 915 Km², que representa el 2,8 por ciento del territorio nacional. Comprende territorios tanto de las zonas altas de la Cordillera de los Andes como parte del desierto costero peruano. Limita con el océano Pacífico por el oeste, La Libertad, por el norte, Huánuco por el este y Lima por el sur. Ancash está políticamente dividido en 20 provincias y 166 distritos, siendo la ciudad de Huaraz su capital. Véase la figura N° 18.

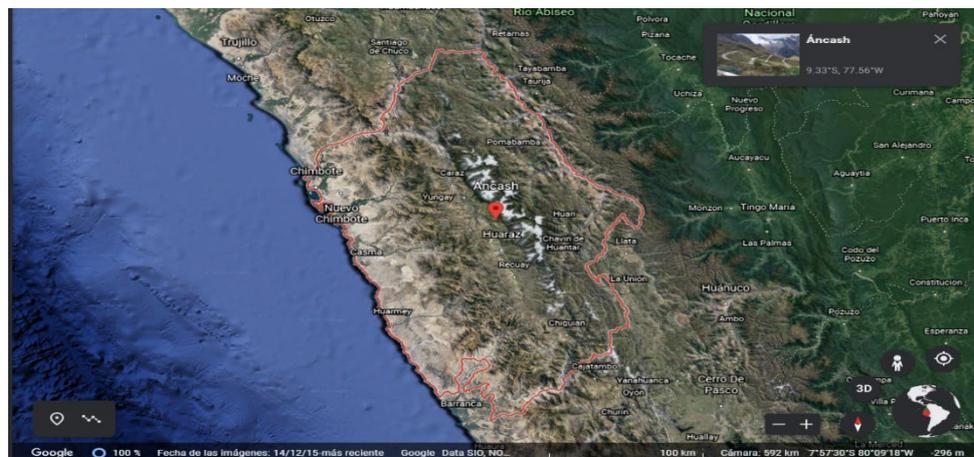


Figura N° 18: ciudad de Huaraz

Fuente: Diseño propio

b) Población

La población total del departamento de Ancash conforme al último censo nacional realizado en el año 2017 es de 1 083 519. Es decir, es el décimo departamento con mayor población en el país, por debajo de departamentos como Lima, Piura, La libertad, entre otros. Véase la figura N°19.

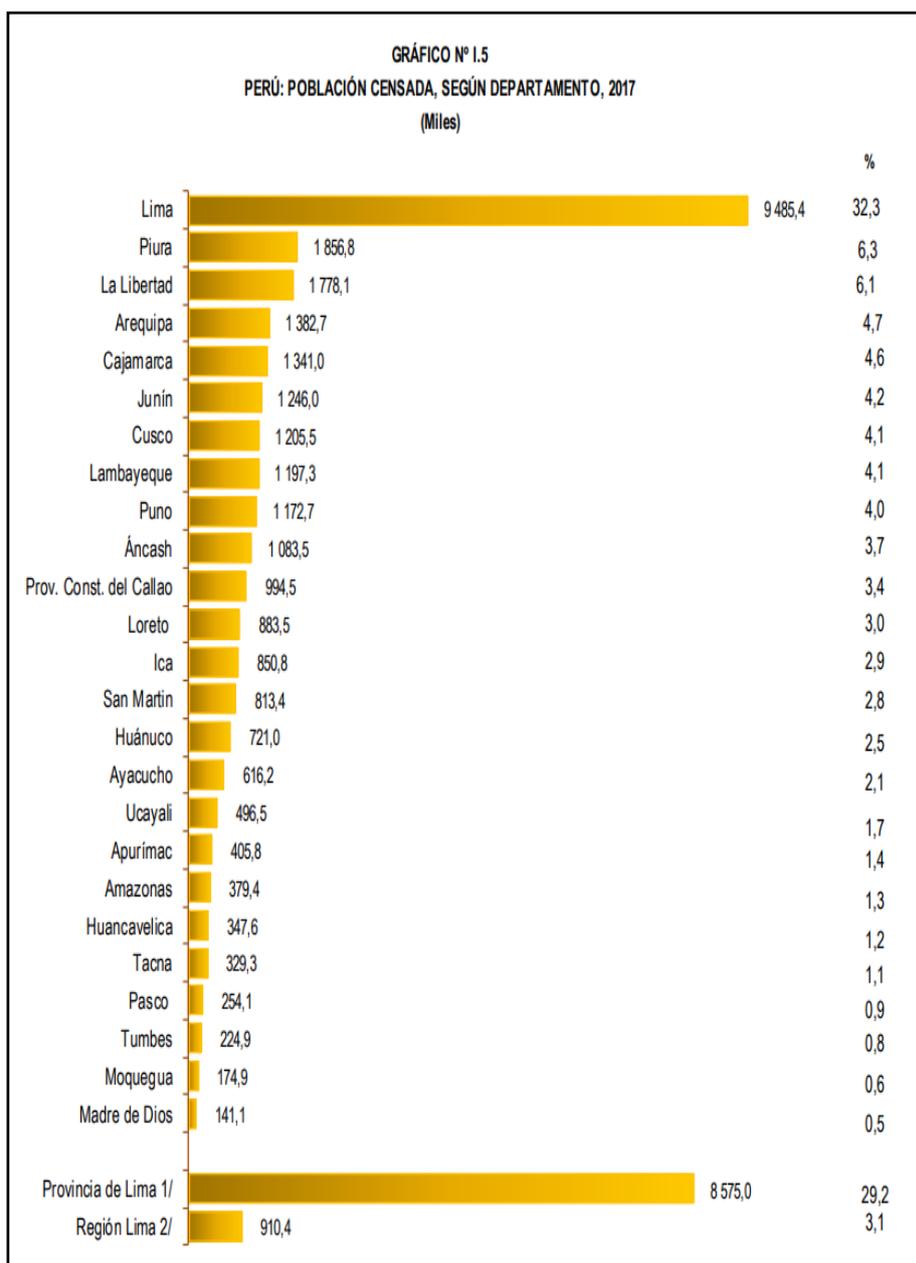


Figura N° 19: Población censada a nivel nacional.

Fuente: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digital/es/Est/Lib1541/index.htm

3.2.3 Hogares con acceso a internet

En el departamento de Ancash, según los datos estadísticos de la INEI, los hogares que tienen acceso a internet, la cobertura del servicio en el año 2017 alcanzó los 57 mil 482 hogares el cual representa un (18.33%); mientras que en el 2007 fue de 8 mil 813 (3.39%), que representa un incremento intercensal de 48 mil 669 hogares, con una tasa de crecimiento promedio anual de 20.6%. Asimismo, los hogares que no cuentan con el servicio de internet se contabilizaron en 256 mil 179 (81.67%) en 2017 y 251 mil 274 hogares (96.61%) en 2007. Véase los hogares con acceso a internet en la figura N°20

**PERÚ: HOGARES POR CONDICIÓN DE TENENCIA DE INTERNET,
SEGÚN DEPARTAMENTO, 2007 Y 2017**
(Absoluto y porcentaje)

Departamento	Censo 2007		Censo 2017		Variación intercensal 2007 - 2017	Tasa de crecimiento promedio anual
	Con Internet	Sin internet	Con Internet	Sin internet		
Total	458 158	6 295 916	2 314 182	5 938 102	1 856 024	17.6
Amazonas	611	90 034	4 783	102 581	4 172	22.8
Ancash	8 813	251 274	57 482	256 179	48 669	20.6
Apurímac	969	105 476	11 251	114 797	10 282	27.8
Arequipa	21 133	288 759	139 893	285 629	118 760	20.8
Ayacucho	2 398	160 749	19 344	166 337	16 946	23.2
Cajamarca	5 470	327 841	36 741	358 867	31 271	21.0
Prov. Const. del Callao	22 853	193 399	117 689	148 539	94 836	17.8
Cusco	6 795	297 179	60 040	294 829	53 245	24.3
Huancavelica	415	112 402	5 230	100 788	4 815	28.8
Huánuco	2 687	178 044	22 078	181 373	19 391	23.4
Ica	7 657	173 171	65 271	172 767	57 614	23.9
Junín	6 601	296 617	57 200	292 513	50 599	24.1
La Libertad	21 913	362 929	129 382	344 645	107 469	19.4
Lambayeque	13 228	241 260	88 768	220 219	75 540	20.9
Lima	301 028	1 774 063	1 233 174	1 377 948	932 146	15.1
Loreto	3 304	172 742	25 053	171 632	21 749	22.4
Madre de Dios	252	27 242	6 808	34 604	6 556	39.0
Moquegua	2 514	46 585	14 762	44 240	12 248	19.3
Pasco	833	66 056	6 626	62 571	5 793	23.0
Piura	12 676	377 009	86 393	406 293	73 717	21.1
Puno	3 548	359 884	30 924	384 045	27 376	24.1
San Martín	3 565	170 081	32 287	190 377	28 722	24.6
Tacna	5 021	79 798	30 577	73 901	25 556	19.8
Tumbes	1 270	48 735	13 269	49 329	11 999	26.4
Ucayali	2 604	94 587	19 157	103 099	16 553	22.1
Provincia de Lima 1/	294 833	1 565 736	1 171 306	1 182 644	876 473	14.8
Región Lima 2/	6 195	208 327	61 868	195 304	55 673	25.8

Figura N° 20: Población censada a nivel nacional(Hogares con acceso a Internet).

Fuente:https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm

3.2.4 Hogares con acceso a TV por cable

En el departamento de Ancash, según los datos estadísticos de la INEI, los hogares que tienen acceso a TV por cable, la cobertura del servicio en el año 2017 registró 85 mil 745 hogares (27.34%) y 27 mil 641 (10.63%) en el 2007, que representa un incremento intercensal de 58 mil 104 hogares, con una tasa de crecimiento promedio anual de 12%. Mientras que, aquellos que no cuentan con el servicio de TV por cable alcanzaron los 227 mil 916 hogares (72,66%) en 2017 y 232 mil 446 (89.37%) en 2007. Véase el cuadro estadístico del censo 2017 según los hogares con tenencia de TV por cable en la figura N°21

**PERÚ: HOGARES POR CONDICIÓN DE TENENCIA DE TV POR CABLE,
SEGÚN DEPARTAMENTO, 2007 Y 2017**
(Absoluto y porcentaje)

Departamento	Censo 2007		Censo 2017		Variación intercensal 2007 - 2017	Tasa de crecimiento promedio anual
	Con TV por cable	Sin TV por cable	Con TV por cable	Sin TV por cable		
Total	1 045 708	5 708 366	3 100 380	5 151 904	2 054 672	11.5
Amazonas	3 127	87 518	18 336	89 028	15 209	19.3
Áncash	27 641	232 446	85 745	227 916	58 104	12.0
Apurímac	3 469	102 976	16 610	109 438	13 141	16.9
Arequipa	38 416	271 476	148 585	276 937	110 169	14.5
Ayacucho	4 160	158 987	28 046	157 635	23 886	21.0
Cajamarca	8 179	325 132	54 260	341 348	46 081	20.8
Prov. Const. del Callao	61 788	154 464	146 307	119 921	84 519	9.0
Cusco	16 272	287 702	63 411	291 458	47 139	14.6
Huancavelica	845	111 972	7 682	98 336	6 837	24.7
Huánuco	6 939	173 792	44 421	159 030	37 482	20.4
Ica	13 470	167 358	94 679	143 359	81 209	21.5
Junín	16 537	286 681	75 136	274 577	58 599	16.3
La Libertad	48 573	336 269	155 528	318 499	106 955	12.3
Lambayeque	26 901	227 587	98 973	210 014	72 072	13.9
Lima	655 191	1 419 900	1 558 833	1 052 289	903 642	9.0
Loreto	15 200	160 846	66 686	129 999	51 486	15.9
Madre de Dios	3 838	23 656	19 048	22 364	15 210	17.4
Moquegua	6 647	42 452	22 700	36 302	16 053	13.1
Pasco	6 253	60 636	21 803	47 394	15 550	13.3
Piura	35 171	354 514	157 880	334 806	122 709	16.2
Puno	5 710	357 722	25 835	389 134	20 125	16.3
San Martín	25 371	148 275	100 584	122 080	75 213	14.8
Tacna	6 230	78 589	23 095	81 383	16 865	14.0
Tumbes	6 186	43 819	27 921	34 677	21 735	16.2
Ucayali	3 594	93 597	38 276	83 980	34 682	26.7
Provincia de Lima 1/	608 902	1 251 667	1 424 444	929 506	815 542	8.9
Región Lima 2/	46 289	168 233	134 389	122 783	88 100	11.2

Figura N° 21: Población censada a nivel nacional(Hogares con acceso a TV por cable).

Fuente:https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm

3.2.5 Hogares con acceso a teléfono fijo

Según los resultados de los censos de 2017, existen 45 mil 402 hogares (14.47%) que tienen acceso a teléfono fijo, proporción menor a la observado en 2007, que fue 52 mil 317 (20.12%), es decir, se observa una disminución intercensal de 6 mil 915, con una tasa negativa de crecimiento promedio anual de -1.4%. Asimismo, los hogares que no cuentan con el servicio de teléfono fijo registraron 268 mil 259 (85.53%) en 2017 y 207 mil 770 (79.88%) en 2007. vease en la figura N° 22

**PERÚ: HOGARES POR CONDICIÓN DE TENENCIA DE TELÉFONO FIJO,
SEGÚN DEPARTAMENTO, 2007 Y 2017**
(Absoluto y porcentaje)

Departamento	Censo 2007		Censo 2017		Variación intercensal 2007 - 2017	Tasa de crecimiento promedio anual
	Con teléfono fijo	Sin teléfono fijo	Con teléfono fijo	Sin teléfono fijo		
Total	1 868 953	4 885 121	1 805 771	6 446 513	- 63 182	-0.3
Amazonas	4 565	86 080	1 313	106 051	- 3 252	-11.7
Áncash	52 317	207 770	45 402	268 259	- 6 915	-1.4
Apurímac	5 237	101 208	3 732	122 316	- 1 505	-3.3
Arequipa	88 508	221 384	92 342	333 180	3 834	0.4
Ayacucho	11 843	151 304	10 343	175 338	- 1 500	-1.3
Cajamarca	23 692	309 619	19 251	376 357	- 4 441	-2.1
Prov. Const. del Callao	109 393	106 859	103 204	163 024	- 6 189	-0.6
Cusco	36 071	267 903	37 587	317 282	1 516	0.4
Huancavelica	3 323	109 494	2 068	103 950	- 1 255	-4.6
Huánuco	13 140	167 591	12 492	190 959	- 648	-0.5
Ica	42 748	138 080	42 528	195 510	- 220	-0.1
Junín	51 220	251 998	41 818	307 895	- 9 402	-2.0
La Libertad	114 624	270 218	102 461	371 566	- 12 163	-1.1
Lambayeque	71 737	182 751	66 730	242 257	- 5 007	-0.7
Lima	1 029 973	1 045 118	1 063 420	1 547 702	33 447	0.3
Loreto	34 948	141 098	19 851	176 834	- 15 097	-5.5
Madre de Dios	2 837	24 657	3 764	37 648	927	2.9
Moquegua	8 675	40 424	8 447	50 555	- 228	-0.3
Pasco	4 443	62 446	2 271	66 926	- 2 172	-6.5
Piura	79 741	309 944	60 589	432 097	- 19 152	-2.7
Puno	16 720	346 712	14 832	400 137	- 1 888	-1.2
San Martín	20 181	153 465	15 616	207 048	- 4 565	-2.5
Tacna	16 182	68 637	16 768	87 710	586	0.4
Tumbes	8 973	41 032	7 437	55 161	- 1 536	-1.9
Ucayali	17 862	79 329	11 505	110 751	- 6 357	-4.3
Provincia de Lima 1/	983 606	876 963	1 020 012	1 333 938	36 406	0.4
Región Lima 2/	46 367	168 155	43 408	213 764	- 2 959	-0.7

Figura N° 22: Población censada a nivel nacional(Hogares con acceso a teléfono fijo)

Fuente:https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digital/es/Est/Lib1541/index.htm

3.3 Distribución de los equipos DWDM.

Con el objetivo de poder proveer servicios de banda ancha al departamento de Ancash y para mayor facilidad del diseño, se dimensionaron 6 puntos estratégicos en la cual se ubicarían los equipos de transmisión y estos deben estar interconectados por un enlace de fibra óptica que va a hacer el medio por el cual viajarán las señales ópticas. En la siguiente figura N° 23 se observa la distribución de los equipos:

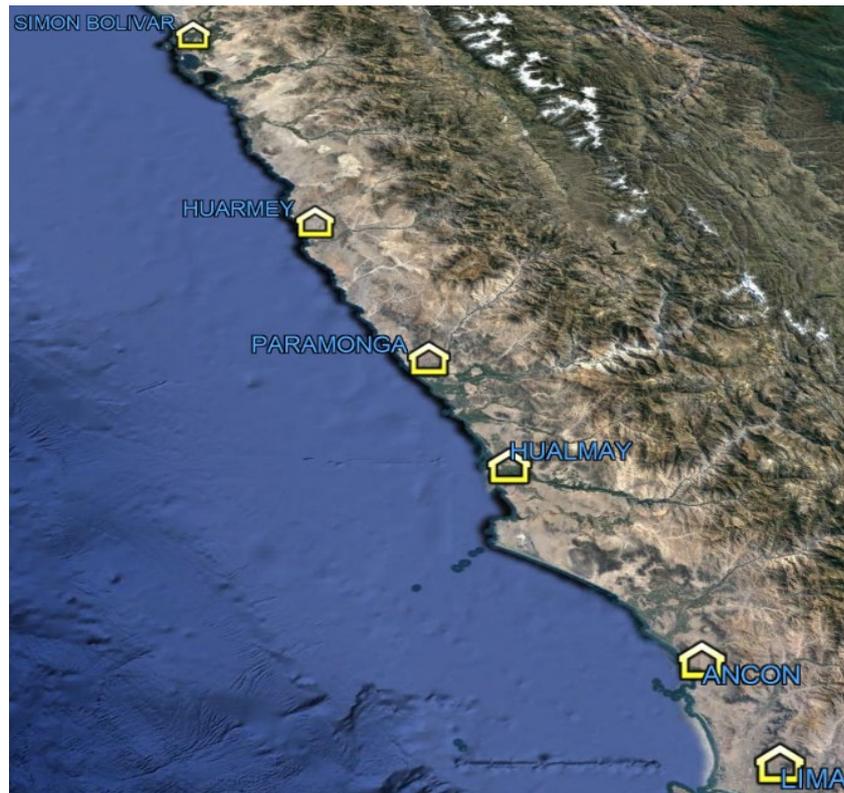


Figura N° 23: Esquema general de la distribución de los equipos DWDM

Fuente: Diseño propio

Para esta distribución se consideró lugares que contaban con los recursos necesarios para que los equipos puedan funcionar correctamente, como nodos de telecomunicaciones y estaciones de radio enlaces, siempre y cuando estos cumplan los parámetros o especificaciones técnicas de la fibra óptica, dispersión cromática, OSNR, entre otros.

En la siguiente tabla se presenta las coordenadas exactas de los lugares a considerar.

Tabla N° 2 : Coordenadas de los Nodos del Diseño.

Nodo	Latitud	Longitud	Departamento
Lima	12° 3'47.72"S	76°59'59.11"O	Lima Metropolitana
Ancón	11°45'19.36"S	77° 9'27.27"O	Lima
Hualmay	11° 5'47.87"S	77°36'30.57"O	Lima
Paramonga	10°40'37.58"S	77°49'11.73"O	Lima
Huarmey	10° 4'13.89"S	78° 9'16.54"O	Ancash
Simón Bolívar	9° 3'56.87"S	78°35'17.87"O	Ancash

Fuente: Diseño propio

3.4 Diseño de enlaces de interconexión de la red de fibra óptica entre los equipos de transmisión.

Los enlaces de fibra óptica presentados son medios de transmisión de información que se realizan a través de pulsos de luz por los diferentes enlaces. La ruta de fibra óptica en efecto tiene diferentes recorridos, en la cual, el recorrido del presente diseño viaja por rutas de líneas eléctricas de 220KV y en su mayoría pasan por torres de alta tensión, que ayudará a dar una mayor garantía para que no se presente algún tipo de corte de servicio por falla física de la fibra óptica. En la siguiente gráfica se mostrará un mapa de rutas de las líneas eléctricas de 220KV que proporciona Osinerming a través de la web. Véase la figura N°24.



Figura N° 24: Línea de Interconexión entre los equipos de transmisión.

Fuente: Diseño propio

La fibra óptica que se utiliza para el presente diseño es de tipo OPGW monomodo G.652D de 12 hilos, elegimos estas fibras porque nos proporcionan mayor seguridad por su revestimiento, por los diversos datos técnicos que se acomodan al diseño y principalmente porque trabajan en largas distancia. Véase la figura N°25

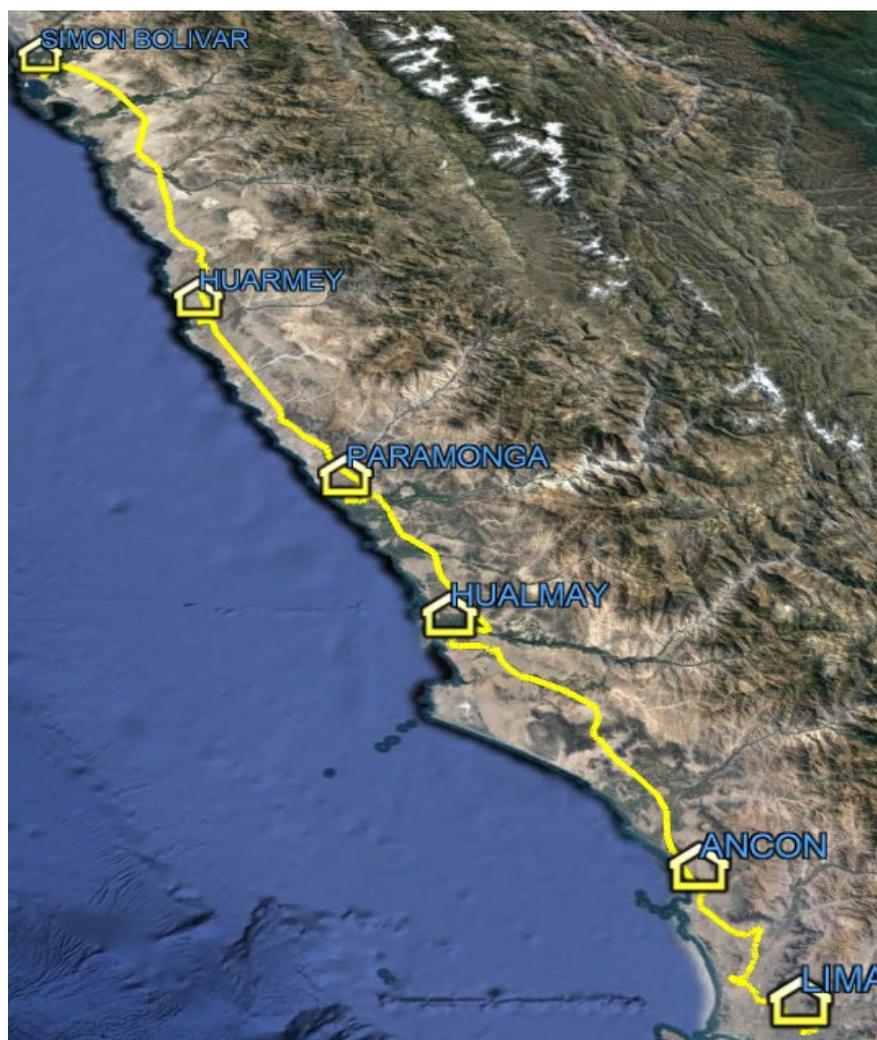


Figura N° 25: Recorrido de la fibra óptica a través de los equipos DWDM

Fuente: Diseño propio

Para el diseño se consideró el siguiente dimensionamiento con respecto al tendido de la fibra óptica:

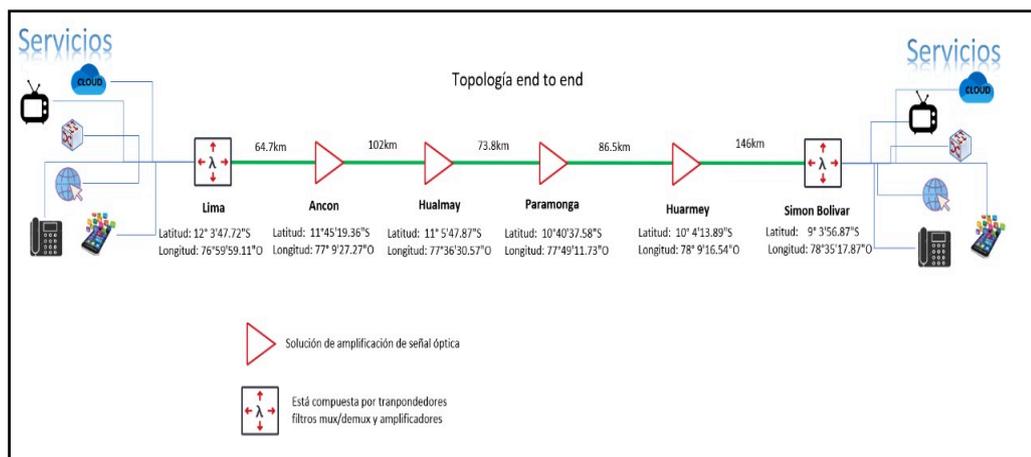
Tabla N° 3: muestra la longitud de onda y sus respectivas ventanas.

Tramos	Distancias	Tipo de fibra	Ventana de Trabajo	Coficiente de Atenuación de la FO	Tendido
Lima- Ancon	64.7km	G.657A	Atenuación@1550nm	0.18dB/km	aéreo
Ancon-Hualmay	102km	G.657A		0.18dB/km	
Hualmay-Paramonga	73.8km	G.657A		0.18dB/km	
Paramonga-Huarmey	86.5km	G.657A		0.18dB/km	
Huarmey-Simon Bolivar	146km	G.657A		0.18dB/km	
Distancia total	507km				

Fuente: Diseño propio

Para poder saber el total de cada tramo del enlace de fibra óptica, además del recorrido se considera el tipo de tendido, en este caso solo consideramos tendido aéreo, con 30 metros de cable de reserva cada 500 metros, también se considerará por cada punto de empalme por fusión 0.05dB cada 5 km, ya que la longitud máxima de la bobina que se está considerando tiene 5km de longitud máxima.

Con la información que nos proporciona vía web la empresa Osinerming podemos ubicar las torres de altas tensión para el tendido de fibra óptica. Cabe mencionar que existen diversos operadores que brindan el servicio de Banda Ancha en las zonas de Lima y Ancash con tendido de fibra óptica local, sin embargo existen operadores que no cuentan con un tendido de fibra óptica regional, tomando como referencia a la operadora WIN quien actualmente solo tiene cobertura en Lima y Callao. Siendo así el operador una vez conectado a la red del diseño propuesto podrá desarrollar su tecnología FTTH en la zona de Ancash ramificando las capacidades entre la población y de esta manera podrá expandir su cobertura de los servicios de



banda ancha, entregando así a los usuarios una conexión veloz y de alta calidad. Véase la figura N°26

Figura N° 26: Esquema general del diseño de la red DWDM y terminales

Fuente: Diseño propio

El esquema de la solución de red DWDM es del tipo punto a punto, que proporciona alta integridad y confiabilidad de la señal. El nodo Lima y Simón Bolívar, son nodos principales ya que son los puntos que se puede subir y/o bajar tráfico, entre otras palabras son los puntos donde el operador mencionado puede conectarse a través de los puertos tributarios del quipo DWDM, en la cual podrá pasar diversos servicios como Cloud, tv, telefonía, internet hogar, entre otros.

3.5 Dimensión del equipamiento que constituirán la red DWDM.

Para poder tomar una decisión del equipamiento correcto a elegir, debemos tomar en consideración diversos factores, como la cantidad y el tipo de tráfico que va a pasar por la red DWDM,

3.5.1 Dimensionando el ancho de banda

En la siguiente tabla podemos observar los valores mínimos del rendimiento de las diversas aplicaciones usadas en la red según la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos, en conclusión, para que el abonado (usuario final) tenga un buen rendimiento del servicio brindado, debe contar con una velocidad mínima de 17.2Mbps.

Tabla N° 4: Velocidad de descarga mínima de internet según FCC.

Descripción	Ancho de banda
Correo electrónico	0.5 Mbps
Navegar por internet	0.5 Mbps to 1.0 Mbps
<i>Streaming</i> de música	0.5 Mbps
Llamadas telefónicas (VoIP)	0.5 Mbps
<i>Streaming</i> de vídeo	0.7 Mbps
<i>Streaming</i> de películas de calidad HD	4 Mbps
Videoconferencia básica	1 Mbps
Videoconferencia en HD	4 Mbps
Videoconsola conectada a internet	1 Mbps
Juegos en tiempo real en HD	4 Mbps
Total	17.2Mbps

Fuente: <https://www.paessler.com/es/it-explained/bandwidth>

Para considerar una velocidad de transmisión, cada abonado de internet necesita un rendimiento de 17.2Mbps (Sumatoria del consumo mínimo tomado) para tener una conexión óptima, en el supuesto caso que todos los 256,179 abonados estén conectados a la misma vez, con la misma cantidad de aplicativos en línea, el rendimiento en la red sería de $17.2\text{Mbps} * 256,179 = 4,41\text{Tbps}$, sin embargo es improbable que esto suceda, así que se propone que solo el 7% de abonados (usuarios finales) acceden al mismo tiempo, $256,179 * 7\% = 17,932.53$ de usuarios, entonces el throughput máximo es de

$17,932.3 \times 17.2 \text{Mbps} = 308.44 \text{Gbps}$.

Se tomó el 7% como referencia, según las experiencias obtenidas y también en referencia al valor aproximado mostrada en la siguiente tesis, página 72: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15878/1/T-UCSG-POS-MTEL-185.pdf>.

3.5.2 Elección de equipos y tipos de tarjetas.

Esta parte es fundamental para el diseño. En la actualidad existen diversos tipos de equipos, con características diferentes, pero con el mismo criterio, lo más importante es escoger el tipo de equipo, de acuerdo a la necesidad de la capacidad, características de los enlaces, niveles de potencia, distancias, tipos de fibra.

En cada nodo se realiza el respectivo arreglo de tarjetas para la emisión de señales del cliente a través de los diferentes canales ópticos. Para los nodos principales que son los nodos de Lima y Simón Bolívar, se están usando transpondedores, que contiene puertos tributarios y de línea, que sirve para subir y/o bajar tráfico.

En conjunto a la tarjeta mencionada se usará la tarjeta mux/demux, en donde las longitudes de onda del transpondedor son multiplexadas en una sola señal óptica y enviada a la fibra. También se usará la tarjeta WSS (The Wavelength Selective Switch) para un posible crecimiento y enrutamiento de nuevos enlaces que se acoplen a la red, en esta instancia solo usaremos un puerto para pasar todos los servicios requeridos hasta el departamento de Ancash y por último consideraremos una tarjeta amplificadora para amplificar la señal transmitida y recibida.

En los nodos centrales, se utilizará arreglos de tarjetas amplificadoras, que por motivos de las distancias ya calculadas debemos amplificar la señal óptica, el nivel de amplificación se determinará de acuerdo con la distancia presentada.

En los enlaces del presente diseño son supervisados por una tarjeta llamada OSC (Optical Supervisor Channel) a través de un canal óptico que va conectado al amplificador. Para poder dimensionar los componentes del sistema DWDM se plantea el siguiente diagrama DWDM véase la figura N° 27.

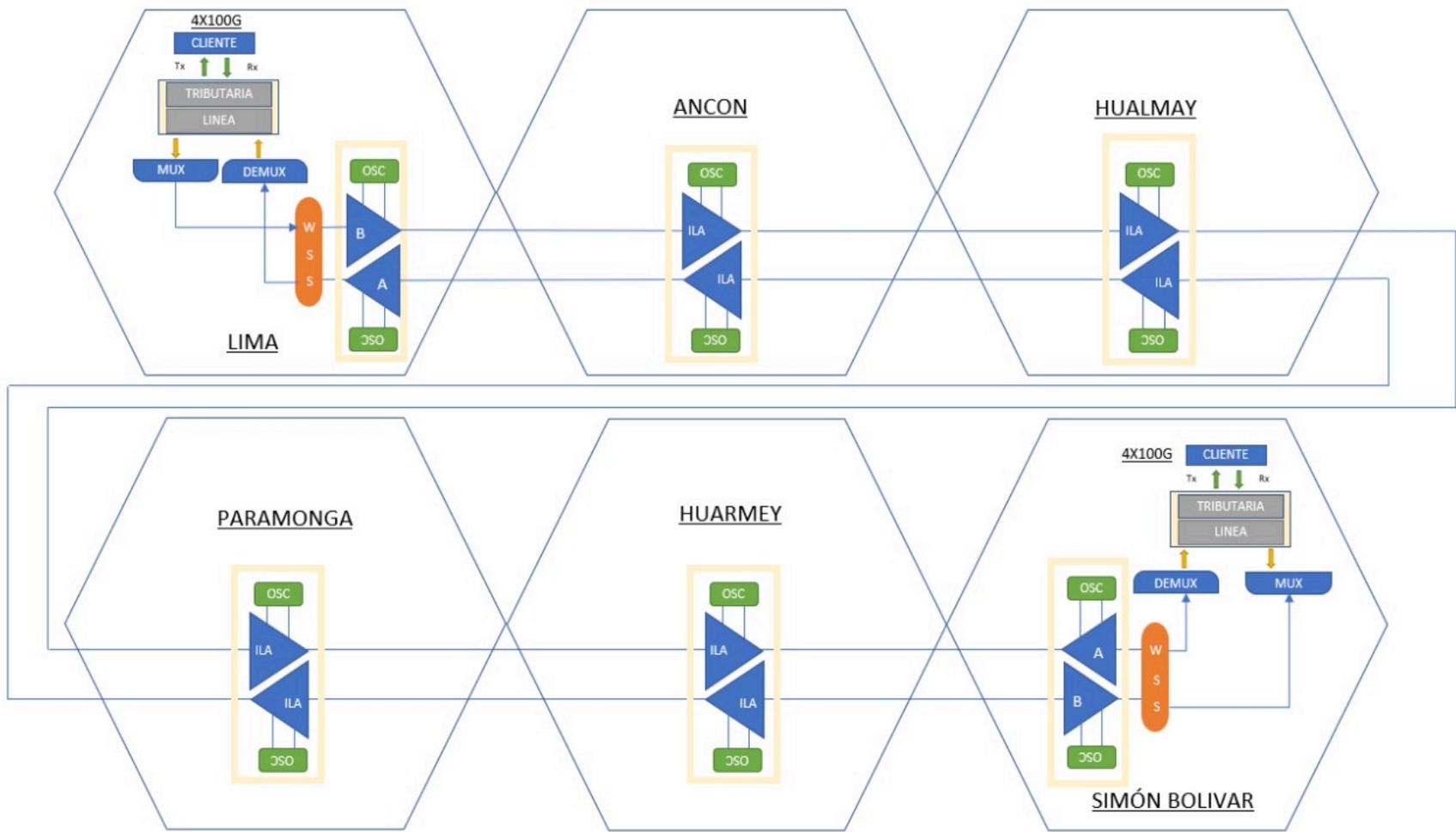


Figura N° 27: Diagrama general de la red DWDM con los diversos componentes ópticos

Fuente: Creación propia

Tabla N° 5 componentes que conforman el diseño de la red DWDM:

Equipos	Nodo Lima	Nodo Ancon	Nodo Hualmay	Nodo Paramonga	Nodo Huarmey	Nodo Simon Bolivar
Shelf	1	1	1	1	1	1
Transponder	1	0	0	0	0	1
Amplificador Booster	1	0	0	0	0	1
Amplificador ILA	0	1	1	1	1	0
Pre Amplificador	1	0	0	0	0	1
WSS	1	0	0	0	0	1
OSC	1	1	1	1	1	1

Fuente: Diseño propio

3.6 Asignaciones de lambdas de trabajo.

Para la asignación de las lambdas de trabajo, no hay dificultad de elegirlo ya que todo el espectro que nos brinda un equipos mux/demux en esta ocasión estarán libres y la podemos elegir de acuerdo a nuestra conveniencia, en este diseño consideramos habilitar 1 lambda de 400G de 196.0Thz, dentro de las lambdas libres que nos puede dar un equipo.

La tecnología DWDM estándar ITU G.694.1 comienza en 1528.77nm hasta 1563.86nm que se encuentra dentro de la banda C. El DWDM se puede tener un espaciado de longitud de onda de 100GHz (0.8nm) para 40 canales, o un espaciado de 50GHz (0.4nm) para 80 canales. La cuadrícula de canal completa de las longitudes de ondas o lambdas a 100 GHz se muestra a continuación en la Tabla 6:

Tabla N° 6: Asignaciones de canales ópticos en cada Nodo.

Canal	Frecuencia (THz)	Longitud de Onda Central (nm)	Canal	Frecuencia (THz)	Longitud de Onda Central (nm)
C17	191.7	1563.86	C40	194	1545.32
C18	191.8	1563.05	C41	194.1	1544.53
C19	191.9	1562.23	C42	194.2	1543.73
C20	192	1561.41	C43	194.3	1542.94
C21	192.1	1560.61	C44	194.4	1542.14
C22	192.2	1559.79	C45	194.5	1541.35
C23	192.3	1558.98	C46	194.6	1540.56
C24	192.4	1558.17	C47	194.7	1539.77
C25	192.5	1557.36	C48	194.8	1538.98
C26	192.6	1556.55	C49	194.9	1538.19
C27	192.7	1555.75	C50	195	1537.4
C28	192.8	1554.94	C51	195.1	1536.61
C29	192.9	1554.13	C52	195.2	1535.82
C30	193	1553.33	C53	195.3	1535.04
C31	193.1	1552.52	C54	195.4	1534.25
C32	193.2	1551.72	C55	195.5	1533.47
C33	193.3	1550.92	C56	195.6	1532.68
C34	193.4	1550.12	C57	195.7	1531.9
C35	193.5	1549.32	C58	195.8	1531.12
C36	193.6	1548.51	C59	195.9	1530.33
C37	193.7	1547.72	C60	196	1529.55
C38	193.8	1546.92	C61	196.1	1528.77
C39	193.9	1546.12			

Fuente: <https://community.fs.com/es/blog/cwdmdwdm-itu-channels-guide.html>

3.7 Nombrar a los equipos (NE ID) y la dirección IP para la gestión remota

La gestión es una parte bien importante, porque se queda a disposición de poder ver o monitorear la gestión de todos los equipos de transporte DWDM, de manera centralizada y en tiempo real, por medio de los canales de monitoreo habilitados en todo el enlace.

Para esta solución se tomó como puntos de gestión los nodos extremos que son Lima y Simón Bolívar, ya que son puntos principales que debemos tener visión porque son nodos principales, ya que son los puntos donde se va a tener manipulación en caso de una habilitación de servicio.

Una vez realizada la instalación de los equipos en los diferentes nodos, debemos configurar las IP's de los equipos ubicados en los 6 nodos y el puerto COLANX de los equipos extremos, ya que estos son los únicos que van hacer conectados a un switchs de gestión, los equipos intermedios van a estar gestionados por INBAND, una vez realizada la configuración local de estas IP's, debemos hacer pruebas de conectividad entre los equipos.

Mediante la gestión uno puede visualizar los parámetros, ancho de banda, identificación de cada servicio, estado de alarmas, reportes de desempeño de todos equipos, pero para poder identificarlos debemos asignarles una nomenclatura, en la cual esta te la brinda el administrador de red, estas nomenclaturas guardan un formato para su asignación, pueden ser números o letras.

Tabla N° 7: Direccionamiento de los equipos y asignación de las IP.

Site Name	Lima	Ancón	Hualmay	Paramonga	Huarmey	Simón Bolívar
Name (TID)	C65bLIM	C65ACN	C65HUAL	C65PMG	C65HUR	C65SIB
CLLI						
Shelf Number	1	1	1	1	1	1
Shelf IP Address	172.22.24.7	172.22.24.1	172.22.24.2	172.22.24.3	172.22.24.4	172.22.24.5
SHELF (or NE) IP address	172.22.24.7	172.22.24.1	172.22.24.2	172.22.24.3	172.22.24.4	172.22.24.5
SHELF (or NE) IP Netmask	255.255.255.255	255.255.255.255	255.255.255.255	255.255.255.255	255.255.255.255	255.255.255.255
SHELF (or NE) IP Host only mode	Off	Off	Off	Off	Off	Off
SHELF (or NE) IP Non-routing mode	Off	Off	Off	Off	Off	Off
COLAN-X IP address	172.22.24.258	172.21.22.259				
COLAN-X IP Netmask	255.255.255.252	255.255.255.252				
COLAN-X IP Host only mode	Off	Off				
COLAN-X IP Non-routing mode	Off	Off				
ARP proxy	Off	Off				
Next Hop	172.22.24.257	172.22.24.248				

Fuente: Diseño propio

3.8 Resultados

En esta sección desarrollaremos los cálculos de los parámetros técnicos principales como son la dispersión cromática, atenuación de los enlaces de fibra óptica, los niveles de potencia en los enlaces de transmisión y recepción y el OSNR, esto es con el objetivo de poder validar los parámetros técnicos de la tecnología DWDM requiere para poder habilitar los servicios y dar las garantías de la operatividad de la red.

3.8.1 Cálculos teóricos de nivel de dispersión cromática.

En la señal óptica, las diferentes longitudes de onda por lo general tienen diferentes velocidades dentro de la fibra, produciéndose el fenómeno denominado Dispersión. En este caso solo usaremos una misma velocidad para cada lambda, sin embargo, es fundamental calcularla para evidenciar que no se tiene este problema en la red. Está más decir que este parámetro es fundamental tenerlo en cuenta al momento de realizar la habilitación de nuevas lambdas. vease los efectos de la dispersión cromática en la figura N° 28.

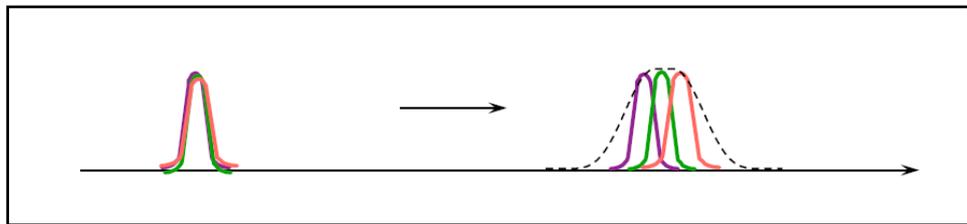


Figura N°28: Efectos de la dispersión cromática.

Fuente: <https://community.fs.com/blog/an-overview-of-dwdm-technology-and-dwdm-system-components.html>

$$L_{DC} = \frac{T_D}{DC_Q} \dots\dots\dots(16)$$

LDC=Distancia maxima que el receptor tolera la dispersion cromatica (**km**).

TD=Tolerancia de Dispersión, unidad de medida es **ps/** .

DCQ=Coeficiente de Dispersión, unidad de medida es **psnm*km**.

Los valores de la dispersión cromática TD, son determinados por el fabricante,

dependiendo del GBaud, la capacidad y la aplicación en el que se utilice, en este caso vamos a utilizar una tarjeta transponder marca Ciena de manera referencial encontrado en su página oficial, asimismo para un canal óptico de 400Gbps que es el valor que vamos a utilizar para este diseño tiene como tolerancia de 17500 ps/nm a 56Gbaud.

A continuación, en la tabla 8, se representa los valores de tolerancia para diferentes capacidades de canales ópticos considerado por el fabricante Ciena.

Tabla 8. Valores de tolerancia de dispersión cromática para diferentes capacidades.

Transponders Cards	WaveLogic Ai MOTR	WaveLogic Ai MOTR w/OPS
Chromatic dispersion tolerance	<ul style="list-style-type: none"> For 35Gbaud: -89000 to +579000 ps/nm 	
	<ul style="list-style-type: none"> For 56Gbaud, 100G, 150G, 200G, 250G line rate: -35000 to +435500 ps/nm for both terrestrial and submarine applications 	
	<ul style="list-style-type: none"> For 56Gbaud, 300G line rate: -35000 ps/nm to +35000 ps/nm for terrestrial applications and -35000 to +435500 ps/nm for submarine applications 	
	<ul style="list-style-type: none"> For 56Gbaud, 400G line rate: -17500 ps/nm to +17500 ps/nm for both terrestrial and submarine applications 	

Fuente: https://media.ciena.com/documents/400G_WaveLogic_Ai_MOTR_DS.pdf

Ahora el coeficiente de dispersión **DCQ** de la fibra óptica que hemos elegido para el diseño, según la ITU G657A tiene un valor de 18.6 ps/(nm × km)

Una vez obtenida los valores de las variables **TD** y **DC** reemplazamos en la siguiente ecuación ya presentada **LDC**.

$$L_{DC} = \frac{T_D}{DC_Q}$$

$$L_{DC} = \frac{17500 \frac{ps}{nm}}{18.6 \frac{ps}{nm * km}}$$

$$L_{DC} = 940.86 km$$

En relación con el resultado obtenido de la distancia máxima de la dispersión cromática, da como resultado el valor de 940.86km, entonces para el

desarrollo del diseño del sistema DWDM, este factor cumple con el requisito, ya que la distancia máxima que se está presentando de acuerdo al diseño es de **507km**.

3.8.2 Cálculos de las pérdidas de atenuación de la fibra óptica oscura.

Saber el valor de la atenuación total del enlace es muy importante, porque nos ayuda a saber si la fibra óptica está en buenas condiciones para poder iluminarla con señal óptica.

Para el cálculo de la atenuación total, usaremos la siguiente formula:

$$At = (n * C) + (c * J) + (L * a) + (M).....(17)$$

$$c = \frac{\text{longitud del enlace}}{\text{longitud de la bobina}} - 1(18)$$

n: cantidad de conectores

C: atenuación de un conector óptico (dB)

c: cantidad de empalmes en el enlace

J: atenuación de un empalme (dB)

M: margen del sistema (los cables de conexión, las curvas de los cables, los eventos de atenuación óptica impredecibles representan alrededor de 3 dB).

a: atenuación del cable óptico dB/km(Ficha técnica de la Fibra óptica).

L: longitud total del cable óptico.

Longitud de la bobina: 5Km

Los datos que se van a considerar para desarrollar la atenuación total de cada enlace serán: n: 2, C: 0.5dB, J: 0.1dB, a: 0.18dB/km, M:2dB.

Enlace N° 1 : Lima – Ancón: (L: 64.7km, c:12)

Realizamos el remplazo a la ecuación de la atenuación total:

$$At = (n * C) + (c * J) + (L * a) + (M)$$

n: 2, C: 0.5dB, J: 0.1dB, a: 0.18dB/km, M:2dB, L: 64.7km, c:12

$$At = (2 * 0.5dB) + (12 * 0.1dB) + (64.7km * 0.18dB/km) + (2dB)$$

$$At = 15.85dB$$

Enlace N° 2 : Ancón – Hualmay: (L: 102km, c:20)

Realizamos el remplazo a la ecuación de la atenuación total:

$$At = (n * C) + (c * J) + (L * a) + (M)$$

n: 2, C: 0.5dB, J: 0.1dB, a: 0.18dB/km, M:2dB, L: 102km, c:20

$$At = (2 * 0.5dB) + (20 * 0.1dB) + (102km * 0.18dB/km) + (2dB)$$

$$At = 23.36dB$$

Enlace N° 3 : Hualmay – Paramonga: (L: 73.8km, c:14)

Realizamos el remplazo a la ecuación de la atenuación total:

$$At = (n * C) + (c * J) + (L * a) + (M)$$

n: 2, C: 0.5dB, J: 0.1dB, a: 0.18dB/km, M:2dB, L: 73.8km, c:14

$$At = (2 * 0.5dB) + (14 * 0.1dB) + (73.8km * 0.18dB/km) + (2dB)$$

$$At = 17.68dB$$

Enlace N° 4 : Paramonga – Huarvey: (L: 86.5km, c:17)

Realizamos el remplazo a la ecuación de la atenuación total:

$$At = (n * C) + (c * J) + (L * a) + (M)$$

n: 2, C: 0.5dB, J: 0.1dB, a: 0.18dB/km, M:2dB, L: 86.5km, c:17

$$At = (2 * 0.5dB) + (17 * 0.1dB) + (86.5km * 0.18dB/km) + (2dB)$$

$$At = 20.27dB$$

Enlace N° 5 : Huarmey – Simón Bolívar: (L: 146km, c:29)

Realizamos el remplazo a la ecuación de la atenuación total:

$$At = (n * C) + (c * J) + (L * a) + (M)$$

n: 2, C: 0.5dB, J: 0.1dB, a: 0.18dB/km, M:2dB, L: 146km, c:29

$$At = (2 * 0.5dB) + (29 * 0.1dB) + (146km * 0.18dB/km) + (2dB)$$

$$At = 32,18dB$$

Tabla N° 9: Valores de atenuación de cada enlace en la red DWDM.

Tramos	Distancias	Tipo de fibra	Ventana de Trabajo	Coefficiente de Atenuación de la FO	Tendido	Att por tramo DE FO(dB)
Lima- Ancon	64.7km	G.657A	Atenuación@1550nm	0.18dB/km	aéreo	15.85
Ancon-Hualmay	102km	G.657A		0.18dB/km		23.36
Hualmay-Paramonga	73.8km	G.657A		0.18dB/km		17.68
Paramonga-Huarmey	86.5km	G.657A		0.18dB/km		20.27
Huarmey-Simon Bolivar	146km	G.657A		0.18dB/km		32.18
Distancia total	507km					

Fuente: Diseño propio

3.8.3 Cálculos de niveles de potencia

En base al diseño propuesto, la tarjeta transponder genera una lambda o longitud de onda λ , que viaja por todos los elementos ópticos de la red hasta llegar al nodo receptor.

En la solución presentada de nuestro diseño, vamos a enviar una lambda que viajará desde el nodo de Lima hasta el nodo de Simón Bolívar.

Para poder determinar la potencia de TX del amplificador booster tenemos que realizar, tenemos que partir a realizar los cálculos desde el transpondedor, en este caso este transponder enviará una lambda que tiene como destino el nodo de Simón Bolívar.

Para poder realizar los cálculos se debe tener en cuenta que los componentes ópticos como son las tarjetas generan una pérdida de inserción. En la siguiente

tabla N° 9, se muestran los valores de perdida que generan los componentes intermedios del sistema DWDM, estos valores son referenciales que servirán para realizar los cálculos matemáticos de los niveles de potencia, tanto de transmisión como de recepción.

Tabla N° 10: Valores de atenuación y potencia referenciales del sistema DWDM.

Descripción	Valor
Rango de potencia de transmision del tranponder (Ptx)	-9 ~ +4dBm
Sensibilidad del transponder (Prx)	-20 dBm
Pérdida de multiplexor (Lmux)	-6 dB
Perdida del WSS (Lwss)	-5 dB
Amplificador Booster (B)	
Ganancia nominal	24dB
Potencia nominal de entrada	-23 ~ +12 dBm
Potencia nominal de salida	22dBm
Preamplificador (A)	
Ganancia nominal	20dB
Potencia nominal de entrada	-32~-4dBm
Potencia nominal de salida	16dBm
Amplificador en línea (ILA)	
Ganancia nominal	20dB
Potencia nominal de entrada	-20~+5dBm
Potencia nominal de salida	22dBm

Fuente:

https://media.ciena.com/documents/400G_WaveLogic_Ai_MOTR_DS.pdf,

<https://www.fs.com/mx/c/amplifier-modules-837>

LIMA

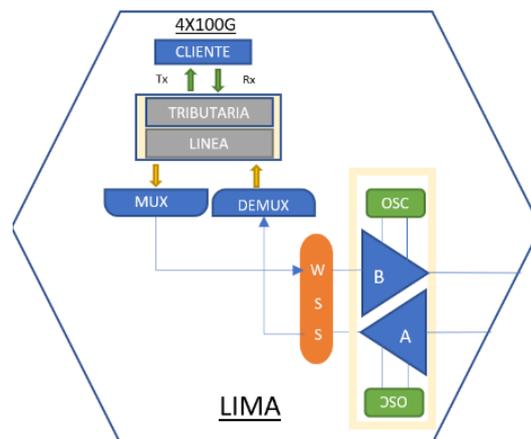


Figura N°29: Sistema de DWDM, nodo Lima

Fuente: Diseño propio

La potencia de entrada al amplificador Booster se determina por la siguiente ecuación:

$$PinB = Ptx - Lmux - Lwss \dots \dots \dots (19)$$

PinB : Potencia de entrada al amplificador Booster

Ptx : Potencia de transmisión del transpondedor

Lmux: Pérdida del multiplexor

Lwss : Pérdida del WSS

Valor de potencia de entrada mínima al amplificador, según la tabla N°9

$$PTX = -9$$

$$PinB = Ptx - Lmux - Lwss$$

$$PinB_{min} = -9dBm - 6dB - 5dB$$

$$PinB_{min} = -20dBm$$

Valor de potencia de entrada máxima al amplificador, según la tabla N°9

$$PTX = +4dBm$$

$$PinB = Ptx - Lmux - Lwss$$

$$PinB_{max} = +4dBm - 6dB - 5dB$$

$$PinB_{max} = -7dBm$$

Los valores obtenidos dan con los valores referenciales tomados en la web, ya que se encuentran dentro del rango de la potencia nominal de entrada -23dBm a +12 dBm.

La potencia de salida al amplificador Booster se determina por la siguiente ecuación:

$$PoutB = PinB + G_B \dots \dots \dots (20)$$

PoutB: Potencia de salida al amplificador Booster

PinB : Potencia de entrada al amplificador Booster

G_B : Ganancia del Booster

Potencia de salida mínima del amplificador.

$$P_{outB_{min}} = -20dBm + 24dB$$

$$P_{outB_{min}} = +4dBm$$

Potencia de salida máxima del amplificador.

$$P_{outB_{max}} = -7dBm + 24dB$$

$$P_{outB_{max}} = +17dBm$$

La potencia nominal de salida del amplificador en referencia es de 22dBm, por lo tanto, los valores obtenidos de la potencia de salida mínima y máxima garantiza que el amplificador booster no se sature.

ANCÓN:

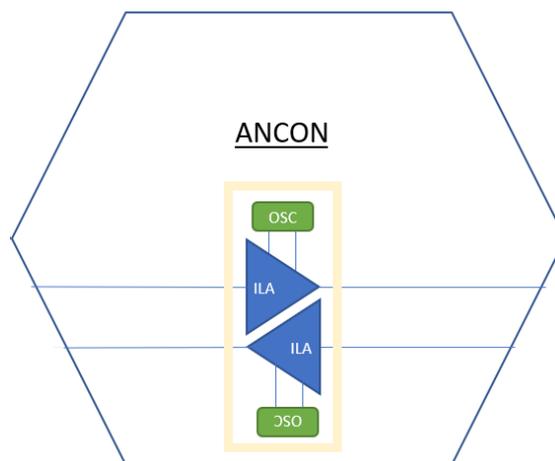


Figura N°30: Sistema de DWDM, nodo Ancon

Fuente: Diseño propio

La potencia de entrada al amplificador ILA1 se determina por la siguiente ecuación:

$$P_{inILA1} = P_{outB} - L_{enlace} \dots\dots\dots(21)$$

P_{inILA1} : Potencia de entrada al amplificador en Linea 1

P_{outB} : Potencia de salida al amplificador Booster

L_{enlace} : Perdida del enlace 1

Potencia de entrada mínima del amplificador ILA.

$$P_{inILA1_{min}} = P_{outB} - L_{enlace}$$

$$P_{inILA1_{min}} = +4dBm - 15.85dB$$

$$P_{inILA1_{min}} = -11.85dBm$$

Potencia de entrada máxima del amplificador ILA.

$$P_{inILA1_{max}} = P_{outB} - L_{enlace}$$

$$P_{inILA1_{max}} = +17dBm - 15.85dB$$

$$P_{inILA1_{max}} = +1.15dBm$$

Los valores obtenidos dan con los valores referenciales tomados en la web, ya que se encuentran dentro del rango de la potencia nominal de entrada -20dBm a +5 dBm.

La potencia de salida al amplificador ILA1 se determina por la siguiente ecuación:

$$P_{outILA1} = P_{inILA1} + G_{ILA} \dots \dots \dots (22)$$

$P_{outILA1}$: Potencia de salida al amplificador en Linea 1

P_{inILA1} : Potencia de entrada al amplificador en Linea 1

G_{ILA} : Ganancia del amplificador en Linea 1

Potencia de salida mínima del amplificador.

$$P_{outILA1_{min}} = P_{inILA1_{min}} + G_{ILA}$$

$$P_{outILA1_{min}} = -11.85dBm + 20dB$$

$$P_{outILA1_{min}} = +8.15dBm$$

Potencia de salida máxima del amplificador.

$$P_{outILA1_{max}} = P_{inILA1_{max}} + G_{ILA}$$

$$P_{outILA1_{max}} = +1.15dBm + 20dB$$

$$P_{outILA1_{max}} = +21.15dBm$$

La potencia nominal de salida del amplificador en referencia es de 22dBm, por lo tanto, los valores obtenidos de la potencia de salida mínima y máxima garantiza que el amplificador ILA1 no se sature.

HUALMAY

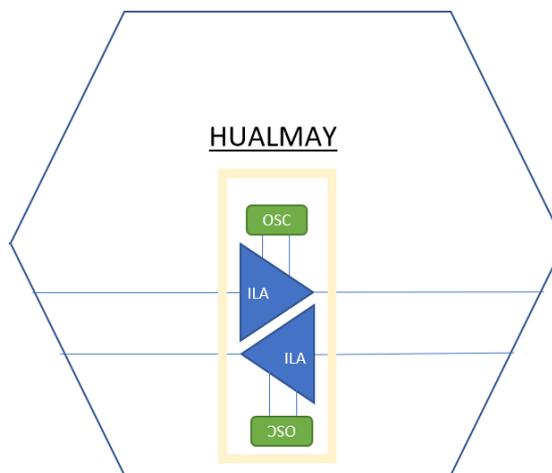


Figura N°31: Sistema de DWDM, nodo Hualmay

Fuente: Diseño propio

La potencia de entrada al amplificador ILA2 se determina por la siguiente ecuación:

$$P_{inILA2} = P_{outILA1} - L_{enlace} \dots \dots \dots (23)$$

P_{inILA2} : Potencia de entrada al amplificador en Línea 2

$P_{outILA1}$: Potencia de salida al amplificador en Línea 1

L_{enlace} : Pérdida del enlace 2

Potencia de entrada mínima del amplificador ILA.

$$PinILA2_{min} = PoutILA1_{min} - L_{entace\ 2}$$

$$PinILA2_{min} = +8.15dBm - 23.36dB$$

$$PinILA2_{min} = -15.21dBm$$

Potencia de entrada máxima del amplificador ILA.

$$PinILA2_{max} = PoutILA1_{max} - L_{entace}$$

$$PinILA2_{min} = +21.15dBm - 23.36dB$$

$$PinILA2_{max} = -2.21dBm$$

Los valores obtenidos dan con los valores referenciales tomados en la web, ya que se encuentran dentro del rango de la potencia nominal de entrada -20dBm a +5 dBm.

La potencia de salida al amplificador ILA2 se determina por la siguiente ecuación:

$$PoutILA2 = PinILA2 + G_{ILA2} \dots\dots\dots(24)$$

$PoutILA2$: Potencia de salida al amplificador en Linea 2

$PinILA2$: Potencia de entrada al amplificador en Linea 2

G_{ILA2} : Ganancia del amplificador en Linea 2

Potencia de salida mínima del amplificador ILA2

$$PoutILA2_{min} = PinILA2_{min} + G_{ILA2}$$

$$PoutILA2_{min} = -15.21dBm + 20dB$$

$$PoutILA2_{min} = +4.79dBm$$

Potencia de salida máxima del amplificador.

$$PoutILA2_{max} = PinILA2_{max} + G_{ILA2}$$

$$PoutILA2_{max} = -2.21dBm + 20dB$$

$$P_{outILA2_{max}} = +17.79dBm$$

La potencia nominal de salida del amplificador en referencia es de 22dBm, por lo tanto, los valores obtenidos de la potencia de salida mínima y máxima garantiza que el amplificador ILA2 no se sature.

PARAMONGA

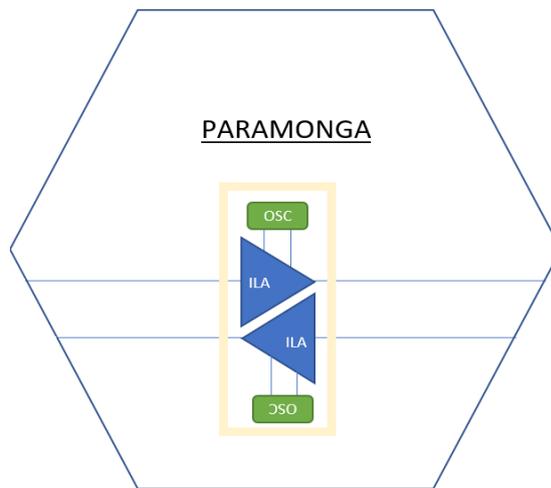


Figura N°32: Sistema de DWDM, nodo Paramonga

Fuente: Diseño propio

La potencia de entrada al amplificador ILA3 se determina por la siguiente ecuación:

$$P_{inILA3} = P_{outILA2} - L_{enlace3} \dots\dots\dots(25)$$

P_{inILA3}: Potencia de entrada al amplificador en Línea 3

P_{outILA2}: Potencia de salida al amplificador en Línea 2

L_{enlace3} : Pérdida del enlace 3

Potencia de entrada mínima del amplificador ILA3.

$$P_{inILA3_{min}} = P_{outILA2_{min}} - L_{enlace3}$$

$$P_{inILA3_{min}} = +4.79dBm - 17.68dB$$

$$P_{inILA3_{min}} = -12.89dBm$$

Potencia de entrada máxima del amplificador ILA3.

$$PinILA3_{max} = PoutILA2_{max} - L_{enlace3}$$

$$PinILA3_{min} = +17.79dBm - 17.68dB$$

$$PinILA3_{max} = +0.11dBm$$

Los valores obtenidos dan con los valores referenciales tomados en la web, ya que se encuentran dentro del rango de la potencia nominal de entrada -20dBm a +5 dBm.

La potencia de salida al amplificador ILA se determina por la siguiente ecuación:

$$PoutILA3 = PinILA3 + G_{ILA3} \dots\dots\dots(26)$$

PoutILA3: Potencia de salida al amplificador en Linea 3

PinILA3 : Potencia de entrada al amplificador en Linea 3

G_{ILA3} : Ganancia del amplificador en Linea 3

Potencia de salida mínima del amplificador.

$$PoutILA3_{min} = PinILA3_{min} + G_{ILA3}$$

$$PoutILA3_{min} = -12.89dBm + 20dB$$

$$PoutILA3_{min} = +7.11dBm$$

Potencia de salida máxima del amplificador.

$$PoutILA3_{max} = PinILA3_{max} + G_{ILA3}$$

$$PoutILA3_{max} = +0.11dBm + 20dB$$

$$PoutILA3_{max} = +20.11dBm$$

La potencia nominal de salida del amplificador en referencia es de 22dBm, por lo tanto, los valores obtenidos de la potencia de salida mínima y máxima garantiza que el amplificador ILA3 no se sature.

HUARMEY

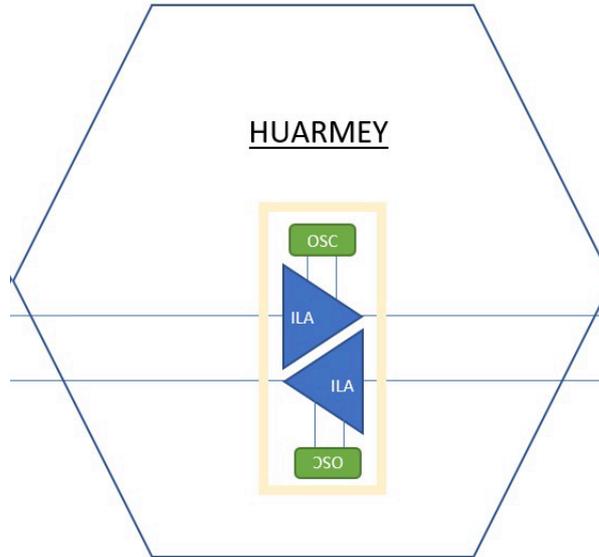


Figura N°33: Sistema de DWDM, nodo Huarmey

Fuente: Diseño propio

La potencia de entrada al amplificador ILA4 se determina por la siguiente ecuación:

$$PinILA4 = PoutILA3 - L_{enlace4} \dots\dots\dots(27)$$

P_{inILA4} : Potencia de entrada al amplificador en Línea 4

$P_{outILA3}$: Potencia de salida al amplificador en Línea 3

$L_{enlace4}$: Perdida del enlace 4

Potencia de entrada mínima del amplificador ILA4.

$$PinILA4_{min} = PoutILA3_{min} - L_{enlace4}$$

$$PinILA4_{min} = +7.11dBm - 20.27dB$$

$$PinILA4_{min} = -13.16dBm$$

Potencia de entrada máxima del amplificador ILA4.

$$PinILA4_{max} = PoutILA3_{max} - L_{enlace4}$$

$$PinILA4_{max} = +20.11dBm - 20.27dB$$

$$PinILA4_{max} = -0.16dBm$$

Los valores obtenidos dan con los valores referenciales tomados en la web, ya

que se encuentran dentro del rango de la potencia nominal de entrada -20dBm a +5 dBm.

La potencia de salida al amplificador ILA se determina por la siguiente ecuación:

$$P_{outILA4} = P_{inILA4} + G_{ILA4} \dots\dots\dots(28)$$

$P_{outILA4}$: Potencia de salida al amplificador en Línea 4

P_{inILA4} : Potencia de entrada al amplificador en Línea 4

G_{ILA4} : Ganancia del amplificador en Línea 4

Potencia de salida mínima del amplificador.

$$P_{outILA4_{min}} = P_{inILA4_{min}} + G_{ILA4}$$

$$P_{outILA4_{min}} = -13.16dBm + 20dB$$

$$P_{outILA4_{min}} = +6.84dBm$$

Potencia de salida máxima del amplificador.

$$P_{outILA4_{max}} = P_{inILA4_{max}} + G_{ILA4}$$

$$P_{outILA4_{max}} = -0.16dBm + 20dB$$

$$P_{outILA4_{max}} = +19.84dBm$$

La potencia nominal de salida del amplificador en referencia es de 22dBm, por lo tanto, los valores obtenidos de la potencia de salida mínima y máxima garantiza que el amplificador ILA3 no se sature.

SIMÓN BOLÍVAR

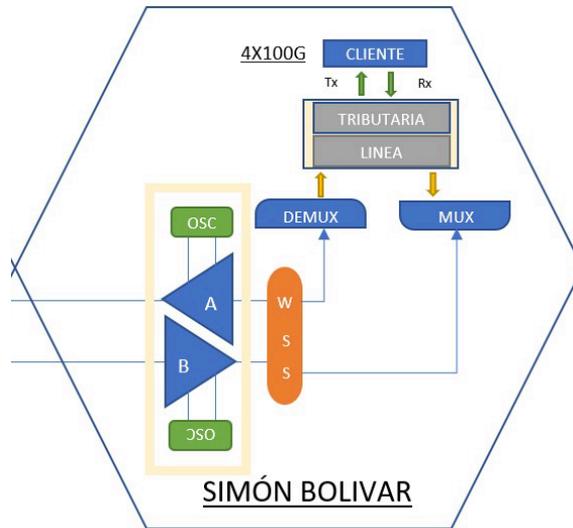


Figura N°34: Sistema de DWDM, nodo Simón Bolívar

Fuente: Diseño propio

La potencia de entrada del preamplificador se determina por la siguiente ecuación:

$$PinA = PoutILA4 - L_{enlace} \dots\dots\dots(29)$$

$PinA$: Potencia de entrada al amplificador

$PoutILA4$: Potencia de salida al amplificador en Línea 4

$L_{enlace5}$: Perdida del enlace 5

Potencia de entrada mínima del preamplificador.

$$PinA_{min} = PoutILA4_{min} - L_{enlace5}$$

$$PinA_{min} = +6.84dBm - 32.18dB$$

$$PinA_{min} = -25.34dBm$$

Potencia de entrada máxima del preamplificador.

$$PinA_{max} = PoutILA4_{max} - L_{enlace}$$

$$PinA_{max} = +19.84dBm - 32.18dB$$

$$PinA_{max} = -12.34dBm$$

Los valores obtenidos dan con los valores referenciales tomados en la web, ya que se encuentran dentro del rango de la potencia nominal de entrada -32dBm a -4 dBm.

Luego la potencia de salida del preamplificador se determina por la siguiente ecuación:

$$PoutA_{min} = PinA_{min} + G_A$$

$$PoutA_{min} = -25.34dBm + 20dB$$

$$PoutA_{min} = -5.34dBm$$

Potencia de entrada máxima del preamplificador.

$$PoutA_{max} = PinA_{max} + G_A$$

$$PoutA_{max} = -12.34dBm + 20dB$$

$$PoutA_{max} = 7.66dBm$$

La potencia nominal de salida del pre amplificador en referencia es de 22dBm, por lo tanto, los valores obtenidos de la potencia de salida mínima y máxima garantiza que el pre amplificador no se sature.

Ahora se determinará la potencia de entrada del transponder.

Potencia de entrada mínima del transponder.

$$Prx_{min} = PoutA_{min} - L_{wss} - L_{dmux}$$

$$Prx_{min} = PoutA_{min} - L_{wss} - L_{dmux}$$

$$Prx_{min} = -5.34dBm - 5dB - 6dB$$

$$Prx_{min} = -16.34dBm$$

Potencia de entrada máxima del transponder.

$$Prx_{max} = PoutA_{max} - L_{wss} - L_{dmux}$$

$$Prx_{max} = PoutA_{max} - L_{wss} - L_{dmux}$$

$$Prx_{max} = 7.66dBm - 5dB - 6dB$$

$$Prx_{max} = -3.34dBm$$

La sensibilidad del transponder es de -20dBm, por lo tanto, los valores obtenidos de la potencia de recepción mínima y máxima garantiza que el transpondedor no se sature.

3.8.4 Cálculos de niveles de señal ruido (OSNR).

El OSNR es el parámetro más importante asociado con una señal óptica determinada. Es una cantidad medible para una red determinada y se puede calcular a partir de los parámetros del sistema dados. Sugiere un grado de deterioro cuando la señal óptica es transportada por un sistema de transmisión óptica que incluye amplificadores ópticos. Por lo general, la calidad de la señal se expresa mediante el OSNR requerido frente al receptor. (La degradación de la señal se expresa mediante la penalización de OSNR).

Para poder calcular el OSNR a la salida de los amplificadores, se utiliza la siguiente ecuación:

$$OSNRA(dB) = 58 + Pout(dB) - L_{span}(dB) - NF(dB) - 10Log(N_{amp})$$

$OSNRA(dB)$: Relacion señal óptica/ruido
(OPTICAL SIGNAL TO NOISE RATIO)

$Pin(dB)$: Potencia de entrada

$L_{span}(dB)$: Perdida de

$NF(dB)$: Señal de ruido

N_{amp} : Número de Amplificación

Tomando lo valores: $NF(EDFA)=4dB$, $N=1$. Calcularemos el OSNR en cada etapa:

Realizando el cálculo del mínimo $OSNR_{min}$:

Este enlace DWDM long haul tiene 5 etapas:

$$OSNR_{1min}(dB) = 58 + 4dBm - 15.85dB - 4dB - 10Log(1) = 42.15dB$$

$$OSNR_{2min}(dB) = 58 + 8.15dBm - 23.36dB - 4dB - 10Log(2) = 35.78dB$$

$$OSNR_{3min}(dB) = 58 + 4.79dBm - 17.68dB - 4dB - 10Log(3) = 36.34dB$$

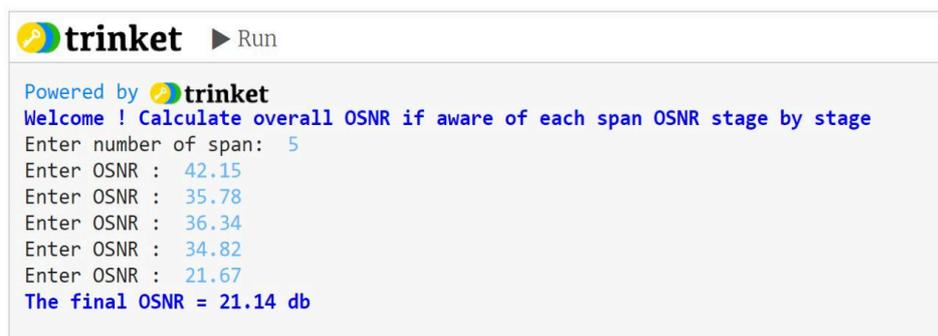
$$OSNR_{4min}(dB) = 58 + 7.11dBm - 20.27dB - 4dB - 10Log(4) = 34.82dB$$

$$OSNR_{5min}(dB) = 58 + 6.84dBm - 32.18dB - 4dB - 10Log(5) = 21.67dB$$

Realizamos el cálculo para hallar el valor total del OSNR_{min}:

$$\frac{1}{OSNR_T} = \frac{1}{OSNR_1} + \frac{1}{OSNR_2} + \frac{1}{OSNR_3} + \frac{1}{OSNR_4} + \frac{1}{OSNR_5}$$

$$OSNR_{Tmin}(dB) = 21.14dB$$



```

trinket ▶ Run
Powered by trinket
Welcome ! Calculate overall OSNR if aware of each span OSNR stage by stage
Enter number of span: 5
Enter OSNR : 42.15
Enter OSNR : 35.78
Enter OSNR : 36.34
Enter OSNR : 34.82
Enter OSNR : 21.67
The final OSNR = 21.14 db

```

Figura N°35: Resultado OSNR mínimo total

Fuente: <https://www.opticstrans.com/post/script-for-overall-osnr-calculation-when-know-each-span-osnr>

Realizando el cálculo del mínimo OSNR_{max}:

$$\begin{aligned} OSNR1_{max}(dB) &= 58 + 17dBm - 15.85dB - 4dB - 10Log(1) \\ &= 55.15dB \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} OSNR2_{max}(dB) &= 58 + 21.15dBm - 23.36dB - 4dB - \\ 10Log(2) &= 48.78dB \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} OSNR3_{max}(dB) &= 58 + 17.79dBm - 17.68dB - 4dB - \\ 10Log(3) &= 49.34dB \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} OSNR4_{max}(dB) &= 58 + 20.11dBm - 20.27dB - 4dB - \\ 10Log(4) &= 47.82dB \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} OSNR5_{max}(dB) &= 58 + 19.84dBm - 29.3dB - 4dB - \\ 10Log(5) &= 34.67dB \end{aligned}$$

Realizamos el cálculo para hallar el valor total del OSNR_{max}:

$$\frac{1}{OSNR_T} = \frac{1}{OSNR_1} + \frac{1}{OSNR_2} + \frac{1}{OSNR_3} + \frac{1}{OSNR_4} + \frac{1}{OSNR_5}$$

$$OSNR_{T_{max}}(dB) = 34.14dB$$

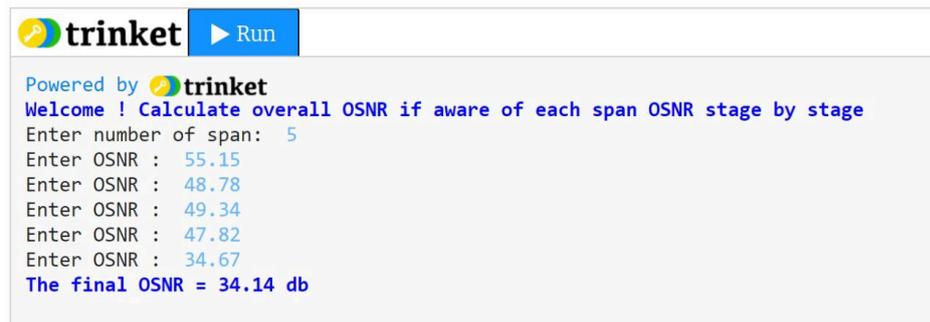


Figura N°36: Resultado OSNR máximo total

Fuente: <https://www.opticstrans.com/post/script-for-overall-osnr-calculation-when-know-each-span-osnr>

De los resultados obtenidos “ $OSNR_{min}$ y $OSNR_{max}$ ” se observa, que el nivel es tolerable, ya que el OSNR está dentro del rango del valor que generalmente se usan para este tipo de redes que es mayor de 20dB.

CAPÍTULO IV: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

4.1 Cronograma de actividades

El cronograma de actividades contempla todo el periodo que toma para el diseño propuesto de la red de transporte DWDM. Véase el cronograma de actividades en la figura N° 37

RED DE TRANSPORTE DWDM	Fechas																							
	Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre			
Actividades	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Elección de la localidad(Ancash) para establecer el servicio	■	■																						
Busqueda de fibra óptica existente que llegue de Lima a Ancash			■	■																				
Ubicación de los puntos o nodos estratégicos					■	■	■	■																
Mediciones de las distancias entre nodos									■	■	■	■												
Elección de equipamiento correspondiente para el diseño													■	■	■	■	■	■	■	■				
Cálculos ópticos																					■	■	■	■

Figura N° 37: Esquema general del diseño de la red DWDM

Fuente: Diseño propio

4.2 Presupuesto

Para saber la rentabilidad y el dimensionamiento de los costos de la elaboración del diseño de la red de transporte, se realizará un análisis financiero del CAPEX y OPEX de acuerdo a los requisitos principales para su puesta en funcionamiento.

Dentro del costo del CAPEX estimado preliminarmente se encuentran los bienes como el precio del equipamiento en los 5 nodos, costo de instalación (equipos de medición, herramientas de trabajo, costo del personal, soporte remoto para la configuración, entre otros), software/licencias, adecuaciones (visita previa para el estudio de campo, compra de breakers, compra de cables de energía, compra patch cord's de fibra óptica, compra de ODFs, compra de barra GND para el aterraje de equipos, entre otros).

Dentro del OPEX estimado preliminarmente se encuentran, servicio de mantenimiento por 2 años, cubicación para la instalación de nuestro gabinete de telecomunicaciones en los 6 nodos, suministros herrajes y apoyos para la instalación de fibra óptica.

Tabla N° 10: Presupuestos de Capital.

CAPEX					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO (USD)	CANTIDAD	VALOR TOTAL (USD)	
A	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO				
1	Suministro de equipos DWDM Lima - Ancash	USD 350,000	1	USD	350,000
2	Instalación y habilitación de equipos DWDM	USD 128,744	1	USD	30,000
3	Software/Licencias de equipos	USD 55,000	1	USD	55,000
4	Adecuaciones para instalación de equipos	USD 20,000	1	USD	20,000
5	Suministro de fibra óptica	USD 90	500	USD	45,000
6	Herrajes para fibra óptica(caja de empalme, abrazadera, juegos de suspensiones, Amortiguador de vibraciones en espiral, etc)	USD 200,000	1	USD	200,000
7	Imprevistos(5%)	USD 22,750	1	USD	22,750
	TOTAL			USD	722,750

Fuente: Diseño propio

Tabla N° 11: presupuestos de operaciones.

OPEX					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
B	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO				
1	Servicios de mantenimiento de equipos DWDM	año	2	15,000.00	USD 30,000
2	Cubicación de los equipos en propiedad privada	sitio/mes	6	700.00	USD 4,200
3	Apoyos(torres y postes) - operadoras del sector cooperativo	apoyo/mes	800	35.00	USD 28,000
4	Commitment 300Gbps	Mbps	300,000	0.90	USD 270,000
5	Burstable (según consumo) 100Gbps	Mbps	100,000	0.90	USD 90,000
	TOTAL				USD 422,200

Fuente: Diseño propio

Estos son planes que actualmente el operador WIN tiene ofertando a los clientes a excepción del plan de 30Mbps, el cual será propuesto a OSIPTEL con la finalidad de ingresar al mercado y competir con los operadores ya existentes, garantizando el 70% de la velocidad contratada. Asimismo se detalla el cálculo de los costos según el plan, como se muestra en la tabla N°12, tabla N°13, tabla N°14 y tabla N° 15, en los cuales se estima que el retorno de la inversión del diseño propuesto con el mínimo plan será en el tercer mes, considerando el caso que se venda la capacidad total del servicio de banda ancha.

Plan 30Mbps

Tabla N° 12: estimación del retorno de la inversión con el Plan 30Mbps.

USUARIO	VELOCIDAD(Mbps/mes)	VELOCIDAD GARANTIZADA 70% (Mbps/mes)	COSTO(S/.)	GANANCIA TOTAL(S/.)
1	30	21	62.9	62.9
2	60	42	62.9	125.8
3	180	126	62.9	188.7
4	720	504	62.9	251.6
5	3600	2520	62.9	314.5
.
.
.
19000	570000	399000	62.9	1195100

Fuente: Diseño propio

Plan 70Mbps

Tabla N° 13: estimación del retorno de la inversión con el Plan 70Mbps.

USUARIO	VELOCIDAD(Mbps/mes)	VELOCIDAD GARANTIZADA 70% (Mbps/mes)	COSTO(S/.)	GANANCIA TOTAL(S/.)
1	70	49	99	99
2	140	98	99	198
3	420	294	99	297
4	1680	1176	99	396
5	8400	5880	99	495
.
.
.
8100	567000	396900	99	801900

Fuente: Diseño propio

Plan 100Mbps

Tabla N° 14: estimación del retorno de la inversión con el Plan 100Mbps.

USUARIO	VELOCIDAD(Mbps/mes)	VELOCIDAD GARANTIZADA 70% (Mbps/mes)	COSTO(S/.)	GANANCIA TOTAL(S/.)
1	100	70	119	119
2	200	140	119	238
3	600	420	119	357
4	2400	1680	119	476
5	12000	8400	119	595
.
.
.
5700	570000	399000	119	678300

Fuente: Diseño propio

Plan 150Mbps

Tabla N° 15: estimación del retorno de la inversión con el Plan 150Mbps.

USUARIO	VELOCIDAD(Mbps/mes)	VELOCIDAD GARANTIZADA 70% (Mbps/mes)	COSTO(S/.)	GANANCIA TOTAL(S/.)
1	150	105	159	159
2	300	210	159	318
3	900	630	159	477
4	3600	2520	159	636
5	18000	12600	159	795
.
.
.
3800	570000	399000	159	604200

Fuente: Diseño propio

CONCLUSIONES

1. La utilización de la infraestructura existente como las torres de alta tensión como medio de soporte y base para el tendido de las fibra resultó ser la más segura puesto que se encuentran alejados de la ciudad; asimismo se utilizaron nodos de telecomunicaciones las cuales nos brindan condiciones óptimas para poder brindar los diversos servicios como telefonía, internet y cable de manera eficiente
2. Se realizó el diseño propio de una nueva red de transporte utilizando la tecnología DWDM teniendo en cuenta el acceso a las diferentes ciudades aledañas y cantidad de puntos de red en cada una de ellas a fin de limitar la brecha tecnológica existente.
3. El diseño propuesto está elaborado bajo un modelo que permite el crecimiento de los equipos que actualmente se encuentran en las estaciones base como a su vez pueda sostener las futuras tecnologías; asimismo según el análisis de costo beneficio nos muestra que es un proyecto rentable a futuro ya que se emplea una tecnología de última generación que nos garantiza tener mayor capacidad de transmisión.

RECOMENDACIONES

1. Es de conocimiento general que los cambios constantes en los servicios de Banda Ancha trae consigo exigencias particulares en la red DWDM toda vez que es de suma importancia recomendar la implementación de una red escalable, abierta a la innovación tecnológica que superará la anterior trayendo con ello mayor capacidad a un bajo costo, esto ayudara a migrar fácilmente de una tecnología a otra o de una capacidad a otra sin mayores cambios más que en los elementos activos.
2. Es recomendable brindar el mantenimiento, verificación física y visual periódicamente de todo el recorrido del tendido, tomando como prioridad los puntos críticos vulnerables a la fatiga mecánica de la fibra óptica por acción de la naturaleza donde existe mayor incidencia de vientos y precipitaciones toda vez que estos son principales causantes de la caída de la red.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia UTP (01 de Abril del 2014) PDH recuperado el 10 de julio de 2021 de <https://academia.utp.edu.co/hbcano/files/2014/04/sdh.pdf>
- Chango, V.(2017). Diseño y simulación de la red DWDM para ampliación e integración a una red SDH existente para una empresa proveedora de servicios de telecomunicaciones en Quito-Ecuador, Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Ecuador.
- Dávila, G. (2006). “El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales.” Revista de Educación, 12, 180-205.
- Guachisaca, V.(2021). Diseño de una red de transmisión DWDM metropolitana integrando servicios SDH, en la ciudad de Loja, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador.
- Huidobro, J. (2014). Telecomunicaciones: Tecnologías redes y servicios. Madrid, España: RA-MA
- Lanchi, L.(2020). Diseño de una red de transporte DWDM con longitudes de onda de 400Gbps para la ciudad de Guayaquil, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador.
- Larry. (9 de Abril del 2015). Una visión general de la tecnología DWDM y los componentes del sistema DWDM (fs.com) recuperado el 29 de Junio del 2021 de <https://community.fs.com/blog/an-overview-of-dwdm-technology-and-dwdm-system-components.html>
- Mamani, W .(2018). Diseño de una red DWDM (Multiplexación por División en Longitudes de Ondas Densas) para la implementación de un Sistema FTTH en Instituciones de Sicuani, Universidad Peruana Union de Juliaca, Perú;

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (01 de Julio del 2010). Ancho de Banda recuperado el 30 de Junio del 2021 de http://portal.mtc.gob.pe/portal/proyecto_banda_ancha/DOC%20TRABAJO%2001%20BANDA%20ANCHA%2010-junio-2010.pdf

Núñez, A .(2018). Diseño de una red de transporte sobre fibra óptica para incrementar la banda ancha de las regiones: Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.

Patricio,A (12 de Diciembre del 2019). Definición IP recuperado el 9 de Julio del 2021 de <https://www.avast.com/es-es/c-what-is-an-ip-address>

Rubio, B. (1994). Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica. USA: RA-MA Secretaria de estado de telecomunicaciones e infraestructuras digitales (30 de Julio del 2005). Definición TDT recuperado el 9 de Julio del 2021 de <https://televisiondigital.mineco.gob.es/TelevisionDigital/formas-acceso/Paginas/tdt.aspx>

S. Moreno, D. Torres, and G. Puerto(2018),”Análisis y comparativo de los amplificadores ópticos SOA, EDFA y RAMAN”, Rev. Ing. Investig. Desarro., vol. 18 (2), pp. 22-28, Julio. 2018.

Tapasco,M (01 de Enero del 2008). Definición MPLS recuperado el 9 de Julio del 2021 de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1311/0046T172.pdf?sequence=1>

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (14 de Mayo del 2013). Ancho de Banda recuperado el 29 de Junio del 2021 de <https://www.itu.int/en/wtpf-13/Documents/backgroundunder-wtpf-13-broadband-es.pdf>

INEI. (2017). Directorio Nacional de Centros Poblados. Censos Nacionales 2017. Recuperado el 7 de noviembre de 2019 de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm

Tomasi, W. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas. México: Pearson Educación.

Huidobro, J. M. (2014). Telecomunicaciones: tecnologías, redes y servicios (2a. ed.). RAMA Editorial. <https://elibro.net/es/ereader/bibliourp/106442?page=83>

ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica de fibra óptica

Corning® SMF-28® Ultra Optical Fiber Product Information

CORNING



Corning® SMF-28® Ultra optical fiber was the first to market to combine the benefit of industry-leading attenuation and improved macrobending performance while maintaining compatibility with the existing installed fiber base. This full-spectrum, all-in-one fiber is operational in regional, long-haul, metro, access, mobile, and fiber to the home (FTTH) applications. SMF-28 Ultra fiber has bend performance that exceeds Recommendation ITU-T G.657.A1, and is compatible and fully compliant with Recommendation ITU-T G.652.D.

Optical Specifications

Maximum Attenuation

Wavelength (nm)	Maximum Value* (dB/km)
1310	≤ 0.32
1383**	≤ 0.32
1490	≤ 0.21
1550	≤ 0.18
1625	≤ 0.20

*Alternate attenuation offerings available upon request.

**Attenuation values at this wavelength represent post-hydrogen aging performance.

Attenuation vs. Wavelength

Range (nm)	Ref. λ (nm)	Max. α Difference (dB/km)
1285 – 1330	1310	0.03
1525 – 1575	1550	0.02

The attenuation in a given wavelength range does not exceed the attenuation of the reference wavelength (λ) by more than the value α.

Macrobend Loss

Mandrel Radius (mm)	Number of Turns	Wavelength (nm)	Induced Attenuation* (dB)
10	1	1550	≤ 0.50
10	1	1625	≤ 1.5
15	10	1550	≤ 0.05
15	10	1625	≤ 0.30
25	100	1310, 1550, 1625	≤ 0.01

*The induced attenuation due to fiber wrapped around a mandrel of a specified radius.

Point Discontinuity

Wavelength (nm)	Point Discontinuity (dB)
1310	≤ 0.05
1550	≤ 0.05

Cable Cutoff Wavelength (λ_{cc})

λ_{cc} ≤ 1260 nm

Mode Field Diameter

Wavelength (nm)	Mode Field Diameter (μm)
1310	9.2 ± 0.4
1550	10.4 ± 0.5

Dispersion

Wavelength (nm)	Dispersion Value [ps/(nm·km)]
1550	≤ 18
1625	≤ 22

Zero Dispersion Wavelength (λ₀): 1304 nm ≤ λ₀ ≤ 1324 nm
Zero Dispersion Slope (S₀): ≤ 0.092 ps/(nm²·km)

Polarization Mode Dispersion (PMD)

	Value (ps/√km)
PMD Link Design Value	≤ 0.04*
Maximum Individual Fiber PMD	≤ 0.1

*Complies with ITU-T G.650-2 Appendix IV, (m = 20, Q = 0.01%), August 2015.

The PMD link design value is a term used to describe the PMD of concatenated lengths of fiber (also known as PMD₀). This value represents a statistical upper limit for total link PMD. Individual PMD values may change when fiber is cabled.

ColorPro™ Identification Technology

SMF-28 Ultra fiber is also available in colored and ringmarked variants, enabled by ColorPro™ identification technology. Corning fibers with ColorPro™ identification technology deliver better efficiency in cable manufacturing, simplify inventory management, and leverage an enhanced fiber product offering.

How to Order

Contact your sales representative, or call the Optical Fiber Customer Service Department:
Ph: 1-607-248-2000 (U.S./Can.)
+44-1244-525-320 (Europe)
Email: cofic@corning.com
Please specify the fiber type, attenuation, and quantity when ordering.

PI1424

Issued: September 2019
Supersedes: November 2014

TL9000/ISO 9001 Certified



Dimensional Specifications

Glass Geometry

Fiber Curl	≥ 4.0 m radius of curvature
Cladding Diameter	125.0 ± 0.7 μm
Core-Clad Concentricity	≤ 0.5 μm
Cladding Non-Circularity	≤ 0.7%

Coating Geometry

Coating Diameter	242 ± 5 μm
Coating-Cladding Concentricity	< 12 μm

Environmental Specifications

Environmental Test	Test Condition	Induced Attenuation 1310 nm, 1550 nm, and 1625 nm (dB/km)
Temperature Dependence	-60°C to +85°C*	≤ 0.05
Temperature Humidity Cycling	-10°C to +85°C up to 98% RH	≤ 0.05
Water Immersion	23°C ± 2°C	≤ 0.05
Heat Aging	85°C ± 2°C	≤ 0.05
Damp Heat	85°C at 85% RH	≤ 0.05

Operating Temperature Range: -60°C to +85°C

*Reference temperature = +23°C

Mechanical Specifications

Proof Test

The entire fiber length is subjected to a tensile stress ≥ 100 kpsi (0.69 GPa). Higher proof test levels are available.

Length

Fiber lengths available up to 50.4 km/spool.

Performance Characterizations

Characterized parameters are typical values.

Core Diameter	8.2 μm
Numerical Aperture	0.14 NA is measured at the one percent power level of a one-dimensional far-field scan at 1310 nm.
Effective Group Index of Refraction (n_{eff})	1310 nm: 1.4676 1550 nm: 1.4682
Fatigue Resistance Parameter (n_f)	20
Coating Strip Force	Dry: 0.6 lbs. (3 N) Wet, 14-day room temperature: 0.6 lbs. (3 N)
Rayleigh Backscatter Coefficient (for 1 ns Pulse Width)	1310 nm: -77 dB 1550 nm: -82 dB

CORNING

Corning Incorporated
One Riverfront Plaza
Corning, NY 14831 U.S.A.
www.corning.com/opticalfiber

Corning and SMF-28 are registered trademarks and ColorPro is a trademark of Corning Incorporated, Corning, NY.
© 2019 Corning Incorporated. All Rights Reserved.

Fuente: <https://www.corning.com/opticalfiber>

Anexo 2: Fichas técnicas de equipos DWDM

WaveLogic Ai MOTR Module Specifications		
Module Description	WaveLogic Ai MOTR	WaveLogic Ai MOTR w/OPS
Number of line ports	Line: 1 x WLAI line port (up to 400Gb/s)	
Number of client ports	Clients (4 ports total): 4 x QSFP28	
Integrated Optical Protection	N/A	1+1 Line Protection
Weight	1.7 kg (3.7 lb)	
Tunable frequency	191.3425 to 196.1075 THz, 0.0001THz tuning precision	
Tx output power	-9 to +4 dBm	-9 to -0.3 dBm
Rx back-back sensitivity	-20 dBm (per channel)	-18.2 dBm (per channel)
Rx overload	+5 dBm (per channel) +11 dBm (total power)	+5.7 dBm (per channel) +11.7dBm (total power)
Rx damage level	+14 dBm (total power)	+14.7 dBm (total power)
PMD tolerance	For 35Gbaud: 80 ps mean, 240 ps peak For 56Gbaud: 50 ps mean, 150 ps peak	
Line rates	<ul style="list-style-type: none"> • 100 Gb/s, 150 Gb/s, 200 Gb/s (at 35.5Gbaud) • 100 Gb/s, 150 Gb/s, 200 Gb/s, 250 Gb/s, 300 Gb/s, 400 Gb/s (at 56.80Gbaud) 	
PDL tolerance	For 35Gbaud, all line rates: 2.5 dB For 56Gbaud, line rate dependent: <ul style="list-style-type: none"> • 100G line rate: 3.0 dB • 150G line rate: 2.8 dB • 200G line rate: 2.5 dB • 250G line rate: 2.5 dB • 300G line rate: 2.0 dB • 400G line rate: 1.5 dB 	
Chromatic dispersion tolerance	<ul style="list-style-type: none"> • For 35Gbaud: -89000 to +579000 ps/nm • For 56Gbaud, 100G, 150G, 200G, 250G line rate: -35000 to +435500 ps/nm for both terrestrial and submarine applications • For 56Gbaud, 300G line rate: -35000 ps/nm to +35000 ps/nm for terrestrial applications and -35000 to +435500 ps/nm for submarine applications • For 56Gbaud, 400G line rate: -17500 ps/nm to +17500 ps/nm for both terrestrial and submarine applications 	
WaveLogic Ai link performance monitoring	<ul style="list-style-type: none"> • Pre-FEC BER, Pre-FEC Q (average, max) • Post-FEC Error Count • Tx power level • Rx total power and channel power • Maximum, average, and real-time DGD • PDL (average, max) • Total Rx and total Tx link dispersion • Estimated fiber length • Estimated unidirectional latency • Effective Signal-to-Noise Ratio (ESNR) 	
Client Protocols (Mappings)	<ul style="list-style-type: none"> • 100GbE (GMP) • OTU4 (none) 	
Topology Discovery	<ul style="list-style-type: none"> • 10GE and 100GE LLDP Ingress Monitoring (LLDP snooping) • Network Discovery Protocol (NDP) Adjacencies for photonic layer discovery 	

WaveLogic Ai MOTR Module Specifications continued

Loopback support	<ul style="list-style-type: none"> • Line: facility and terminal loopbacks supported • Client: facility and terminal loopbacks supported
Integrated Test Set (ITS)	<ul style="list-style-type: none"> • 4 independent 100GbE/OTU4 ITS per card, 1 per port • Test patterns: 100GE 802.3ba, OPU4 (PRBS31) • Ability to test full traffic path across the DWDM line, as well as subtending equipment from client port
Protection	<ul style="list-style-type: none"> • 1+1 OPS client-layer optical path protection • 1+1 OPS optical channel path protection • 1+1 OPS optical trunk protection • Layer 0 Control Plane restoration
Shelf capacity	<ul style="list-style-type: none"> • 6500-D2: 800 Gb/s • 6500-D7: 2.8 Tb/s • 6500-S8: 2.4 Tb/s • 6500-S14: 5.6 Tb/s • 6500-S32: 12.8 Tb/s
ROADM support	<ul style="list-style-type: none"> • Up to 16 cascaded ROADMs
Channel plan support	<ul style="list-style-type: none"> • 35Gbaud: 50GHz fixed, 75GHz fixed, 100GHz fixed, flexible grid • 56Gbaud: 75GHz fixed, 100GHz fixed, flexible grid

Visit the Ciena Community 
Get answers to your questions

Ciena may make changes at any time to the products or specifications contained herein without notice. Ciena and the Ciena Logo are trademarks or registered trademarks of Ciena Corporation in the U.S. and other countries. A complete list of Ciena's trademarks is available at www.ciena.com. Third-party trademarks are the property of their respective owners and do not imply a partnership between Ciena and any other company. Copyright © 2019 Ciena® Corporation. All rights reserved. DS336 5.2019



Fuente: https://media.ciena.com/documents/400G_WaveLogic_Ai_MOTR_DS.pdf

Anexo 3: Ficha técnica del Amplificador Booster tomado de referencia.



Haz clic para ampliar la imagen



EDFA booster personalizado para la solución DWDM #35926

US\$ 1,987.24

FS P/N: EDFA-BA 366 vendidos 46 comentarios 7 preguntas

Canales:	40ch (por defecto) v
Longitud de onda:	C21-C60 (por defecto) v
Modo de operación:	AGC v
Potencia de salida:	17dBm v
Ganancia:	24dB v
Potencia de entrada:	-23dBm~+12dBm v
Conector:	LC/UPC v
Carcasa:	Módulo enchufable v
Servicio especial:	<input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Puerto de monitoreo

Personalizado, almacén Asia Enviar a Perú
US\$ 45.00 por DHL, recibe tu pedido el mié. 24 de nov.

1 v
Añadir a la cesta

Booster EDFA para redes DWDM

Los amplificadores DWDM que adoptan el láser de bombeo JDSU de 980nm o 1480nm son de bajo ruido y aplanados, tienen una alta relación de señal óptica a ruido (OSNR), lo que permite la conexión en cascada de varios EDFA para formar un enlace OTN amplificado en largas distancias. Los amplificadores DWDM de módulos conectables se adaptan al chasis administrado, que se administra, se configura y se monitorea de forma remota como parte de la red, a través del canal de supervisión óptico (OSC).

Además, el equipo técnico profesional de FS.COM ofrece soluciones DWDM gratuitas combinadas con atención al cliente para garantizar que su solución de transporte óptico se despliegue de manera óptima.

Especificaciones técnicas

Tipo de amplificador	Booster Amplificador	Planitud de ganancia	1dB (Típico)
Longitud de onda de funcionamiento	C banda 1528nm~1564nm	Figura de bajo ruido	Típico 4.5dB
Fuente de alimentación	Potencia individual/dual	Modo de operación	AGC (Control automática de ganancia)
Conector	LC/SC/FC/ST, UPC/APC pulido	Seguridad de ojos	Class IIIB
Consumo de energía (Plug-in)	≤30W	Consumo de energía (1U 19")	15~20W
Interfaz de red	Ethernet	Administración	SNMPv1, Monitor Online, herramienta de administración simple
Temperatura operativo	-10°C~60°C	Temperatura de almacenamiento	-20°C~+75°C
Tipo de chasis	1U, 2U, 4U	Carcasa	Módulo enchufable/1U 19" montaje en rack
Tipo de módulo enchufable (H*W*D)	20.6mm* 159.7mm* 220.0mm	1U 19" montaje en rack (H*W*D)	44.0mm* 484.0mm*237.0mm

* Nota:

1. El consumo de energía del tipo de tarjeta EDFA es igual o menor que 10W cuando su potencia de salida no supera los 23dBm;
2. También se puede proporcionar una temperatura de operación extendida (Rango de temperatura máxima de -40 ° C a + 85 ° C). Para obtener más detalles, ponte en contacto con es@fs.com para consulta.

Fuente: <https://www.fs.com/mx/products/35926.html>

Anexo 4: Ficha técnica del Pre Amplificador tomado de referencia

Preamplificador banda C 40 canales DWDM EDFA de ganancia variable			
El EDFA de la serie M6200 está diseñado para extender de manera rentable el presupuesto de potencia óptica del enlace para construir una transmisión DWDM de larga distancia.			
Proporciona amplificación para una gama de soluciones ópticas a partir de una sola longitud de onda. Permite hasta 40 longitudes de onda de DWDM banda C ITU. Y el EDFA de la serie M6200 se puede integrar altamente con la plataforma WDM de la serie M6200 y con los módulos DCM/OLP/filtro rojo y azul de la serie M6200.			
Especificaciones técnicas			
Tipo de amplificador	Preamplificador	Longitud de onda de operación	C21-C60
Ganancia óptica	25±5dB	Planitud de ganancia	1.5dB (típica)
Potencia de entrada	-32dBm~-4dBm	Potencia de salida saturada	≤16dBm
Figura de ruido	5.5dB (típica)	Pérdida de retorno	≤45dB
Conector óptico	LC/UPC	Administración	SNMP v2, WEB
Consumo de energía	≤15W	Modo de funcionamiento	AGC/APC
Temperatura de funcionamiento	-10°C~50°C	Temperatura de almacenamiento	-20°C~ +80°C
Tipo de chasis	2U	Carcasa	Módulo enchufable (ocupa 1 ranura en el chasis administrado M6200)

Fuente: <https://www.fs.com/mx/products/107367.html>

Anexo 5: Ficha técnica del Amplificador de Línea tomado de referencia



Haz clic para ampliar la imagen



EDFA en línea personalizado para la solución DWDM #35924

US\$ 2,169.02

FS P/N: EDFA-LA

75 vendidos | 25 comentarios | 8 preguntas

Canales:

Longitud de onda:

Modo de operación:

Potencia de salida:

Ganancia:

Potencia de entrada:

Conector:

Carcasa:

Servicio especial: No Puerto de monitoreo

[Personalizado, almacén Asia](#)

[Enviar a Perú](#)

US\$ 45.00 por DHL, recibe tu pedido el mié. 24 de nov.

1

Añadir a la cesta

EDFA en línea para redes DWDM

Los amplificadores DWDM que adoptan el láser de bombeo JDSU de 980nm o 1480nm son de bajo ruido y aplanados, tienen una alta relación de señal óptica a ruido (OSNR), lo que permite la conexión en cascada de varios EDFA para formar un enlace OTN amplificado en largas distancias. Los amplificadores DWDM de módulos conectables se adaptan al chasis administrado, que se administra, se configura y se monitorea de forma remota como parte de la red, a través del canal de supervisión óptico (OSC).

Además, el equipo técnico profesional de FS.COM ofrece soluciones DWDM gratuitas combinadas con atención al cliente para garantizar que su solución de transporte óptico se despliegue de manera óptima.

Especificaciones técnicas

Tipo de amplificador	Amplificador en línea	Planitud de ganancia	1dB (Típico)
Longitud de onda de funcionamiento	C banda 1528nm~1564nm	Figura de bajo ruido	Típico 4.5dB
Fuente de alimentación	Potencia individual/dual	Modo de operación	AGC (Control automática de ganancia)
Conector	LC/SC/FC/ST, UPC/APC pulido	Seguridad de ojos	Class III B
Consumo de energía 1	≤15dB (Potencia de salida < 20dBm)	Consumo de energía 2	≤20dB(Potencia de salida≥20dBm)
Interfaz de red	Ethernet	Administración	SNMPV1, Monitor Online, herramienta de administración simple
Temperatura operativo	-10°C~60°C	Temperatura de almacenamiento	-20°C~ +75°C
Tipo de chasis	1U, 2U, 4U	Carcasa	Módulo enchufable/1U 19" montaje en rack
Tipo de módulo enchufable (HxWxD)	0.81"x6.29"x8.66" (20.6x159.7x220mm)	1U 19" montaje en rack (HxWxD)	1.75"x19"x9.29" (44.5x482.6x236mm)

* Nota: También se puede proporcionar una temperatura de operación extendida (Rango de temperatura máxima de -40 ° C a + 85 ° C). Para obtener más detalles, ponte en contacto con es@fs.com para consulta.

Fuente: <https://www.fs.com/mx/products/35924.html>