



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO



Diego Andrés Pavez Navarro

Experiencias de laboratorio docente usando amplificador óptico EDFA

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Civil Electrónico



**Escuela de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería**

Valparaíso, 23 de mayo de 2019



Experiencias de laboratorio docente usando un amplificador óptico EDFA

Diego Andrés Pavez Navarro

Informe Final para optar al título de Ingeniero Civil Electrónico,
aprobada por la comisión de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la
Facultad de Ingeniería de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
conformada por

Sr. Ariel Leiva López
Profesor Guía

Sr. Francisco Pizarro Torres
Segundo Revisor

Sr. Sebastián Fingerhuth Massmann
Secretario Académico

Valparaíso, 23 de mayo de 2019

Para Antonella

Agradecimientos

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí. Gracias por su apoyo desde el momento en que comencé este largo viaje de estudiar una carrera lejos de mi ciudad natal, nunca me ha faltado su cariño, agradecer la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban por mí pese a la distancia que nos separó durante estos largos años de estudio.

Gracias a mi novia, Antonella, quien se preocupó por mí en cada momento y que siempre quiso lo mejor para mí, estuvo apoyándome desde el inicio y a lo largo de todo este trabajo, siempre dándome ánimos y no dejándome flaquear. Te agradezco por tantas ayudas y tantos aportes no sólo para el desarrollo de mi tesis, sino también para mi vida, eres mi mayor inspiración y motivación.

Agradecer a mis amigos y compañeros de carrera, por tantos años juntos, tantos buenos y malos momentos, sufrimientos y alegrías en clases y fuera de ellas. La experiencia ganada junto a ustedes es invaluable.

Valparaíso, 23 de mayo de 2019

Diego Pavez Navarro

Resumen

Con la evidente evolución en las comunicaciones, volúmenes de datos cada vez mayores y la necesidad de una mayor velocidad de transmisión, la fibra óptica ha sido una revolución, aumentando su instalación de forma masiva tanto en Chile como a nivel mundial. Es por esto que se busca disminuir la brecha de conocimientos y habilidades de los futuros ingenieros electrónicos en telecomunicaciones, con tal de obtener un buen desempeño en el ámbito profesional, en lo que a diseño de enlaces e implementación de amplificadores ópticos se refiere.

Es por este motivo que se propone el diseño, la validación e implementación de experiencias de laboratorio con el uso de un amplificador de fibra dopada de Erblio (EDFA) e instrumentos de medición de campo en redes de fibra óptica. Para esto, se presentan dos talleres prácticos haciendo uso de amplificadores ópticos con sus distintas configuraciones, e instrumentos presentes en cualquier empresa de telecomunicaciones que son esenciales y básicos en las mediciones de campos, como lo son el Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR), la sonda de inspección de fibra (FIP) y el Analizador de Espectro Óptico (OSA). Las experiencias son dirigidas con guías de laboratorio para el alumno y guías de apoyo al ejecutor que buscan orientar el conocimiento en cada una de las sesiones. Para validar el impacto que produce el laboratorio se diseñó y aplicó un test que consta de 38 preguntas de selección múltiple, con 4 alternativas cada una.

A modo de prueba, los talleres y los test se aplicaron a un grupo de 7 alumnos de la carrera ingeniería civil electrónica de la PUCV, los cuales cumplen el requisito de haber aprobado los cursos obligatorios de telecomunicaciones. Comparando los resultados entre el test final y el test inicial, se obtuvo un evidente aumento de conocimiento en el grupo de estudiantes. Los resultados sirven para poder determinar y validar la implementación de los talleres del laboratorio de comunicaciones ópticas para futuros alumnos de electrónica en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Palabras claves: fibra óptica, EDFA, amplificador óptico, OTDR, OSA, FIP.

Abstract

With the evident evolution in communications, increasing volumes of data and the need for a higher transmission speed, fiber optic has been a revolution, increasing its installation massively both in Chile and worldwide. This is why it seeks to reduce the knowledge gap and skills of future electronic engineers in telecommunications, in order to obtain a good performance in the professional field, in terms of design of links and implementation of optical amplifiers.

It is for this reason that the design, validation and implementation of laboratory experiments is proposed with the use of an Erbium doped fiber amplifier (EDFA) and field measurement instruments in fiber optic networks. For this, two practical workshops are presented making use of optical amplifiers with their different configurations, and instruments present in any telecommunications company that are essential and basic in field measurements, such as the Optical Time Domain Reflectometer (OTDR), the fiber inspection probe (FIP) and the Optical Spectrum Analyzer (OSA). The experiences are guided with laboratory guides for the student and guides to support the executor who seek to guide the knowledge in each of the sessions. To validate the impact produced by the laboratory, a test consisting of 38 multiple-choice questions was designed and applied, with 4 alternatives each.

As a test, the workshops and the tests were applied to a group of 7 students of the career in electronic civil engineering of the PUCV, which meet the requirement of having passed the compulsory telecommunications courses. Comparing the results between the final test and the initial test, an evident increase in knowledge was obtained in the group of students. The results serve to determine and validate the implementation of the workshops of the optical communications laboratory for future students of electronics at the School of Electrical Engineering of the Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Keywords: fiber optics, EDFA, optical amplifier, OTDR, OSA, FIP.

Índice general

Introducción	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
1 Antecedentes generales.....	4
1.1 Conectividad en Chile.....	5
1.2 Problemática	7
1.3 Estado del arte.....	7
1.3.1 Experiencias en casas de estudios.....	7
1.3.2 Fortalezas y debilidades	9
1.4 Propuesta	9
2 EDFA y sus características.....	10
2.1 Funcionamiento de un EDFA.....	10
2.2 EDFA 100S	11
2.3 Caracterización del EDFA	13
2.3.1 Espectro de Ganancia	14
2.3.2 Relaciones de potencia.....	15
2.3.3 Potencia de ruido	18
2.4 Diseño de Set Ups.....	20
2.4.1 Pérdidas por conector	21
2.4.2 Curvas de amplificación.....	22
3 Experiencias de laboratorio	32
3.1 Diseño del test.....	32
3.2 Resultados test inicial.....	34
3.3 Diseño taller N°1	36
3.4 Diseño taller N°2	38
3.5 Resultados test final.....	39
3.6 Contraste de resultados	42
Discusión y conclusiones.....	45

Bibliografía..... 49

Introducción

La creciente necesidad de comunicarse, las transmisiones vía streaming, televisión IP, imágenes y videos de cada vez mejor calidad trae consigo una demanda de tráfico de datos cada vez mayor, que las comunicaciones por radiofrecuencias o cables de cobre no dan abasto por el ancho de banda y la velocidad de transmisión requerida. El aumento de dispositivos móviles o electrónicos con conexión a Internet ha significado también un aumento constante en las líneas de transmisión de datos con el fin de poder entregar mayores prestaciones a los usuarios. El volumen de tráfico de datos actual es tan grande que se estima que para el 2021 haya un tráfico de 3.3 Zettabits anuales a nivel global, esto es el equivalente en Gigabytes a que todas las películas producidas en el mundo en toda la historia crucen las redes IP mundiales cada 1,26 minutos [1]. Chile no está ajeno al crecimiento en el volumen del tráfico de datos, puesto que la sociedad ha tenido acceso al avance permanente en dispositivos de comunicación, como lo es el caso de la evolución a teléfonos inteligentes (Smartphone) y televisores inteligentes (Smart TV), generando así necesidad de acceso a internet por más dispositivos, es por esto que la Subsecretaría de Telecomunicaciones (SUBTEL) se plantea como visión posicionar al país como referente internacional en telecomunicaciones, alcanzando altos estándares de calidad y minimizado la brecha digital. Es por eso que promueve el acceso de todos los chilenos a los servicios de telecomunicaciones en igualdad de condiciones, que es un paso clave para la reducción de la brecha digital, generando mayor competencia entre los distintos actores del mercado, lo que finalmente se traduce en la prestación de servicios de alta calidad [2].

En materia de telecomunicaciones la prioridad de la SUBTEL se ha centrado en integrar la cobertura y calidad de los servicios de telecomunicaciones, en particular en los rincones más apartados del país, disminuyendo la brecha digital y permitiendo un acceso igualitario a las nuevas tecnologías, todos con acento puesto en el ciudadano, sus derechos y los beneficios que la conectividad trae asociado, foco principal del quehacer institucional del Ministerio y en particular de la Subsecretaría de Telecomunicaciones. Una muestra del gran avance que ha tenido nuestro país en materia de conectividad, uso y apropiación de las nuevas tecnologías de información y telecomunicaciones en este periodo, es el aumento del acceso a internet de 49,2 a un 97 por cada 100 habitantes y que el 98 por ciento de la población vive en una zona con disponibilidad de servicios de Internet. Dentro de los proyectos de cobertura se destaca el proyecto de Fibra Óptica Austral (FOA), la cual tendrá tramos de fibra terrestres y submarinas, esta es la política pública más ambiciosa y revolucionaria en lo que integración y desarrollo digital

se refiere, con el compromiso de conectar a toda la población chilena, sin excepción, desde Arica hasta Puerto Williams. Otros proyectos en el ámbito de cobertura y acceso a destacar son el proyecto “Servicios de Telecomunicaciones para Zonas WiFi”, que se enmarca dentro de la política pública impulsada por este Ministerio para contribuir a reducir la brecha digital en aquellos lugares más vulnerables de Chile que poseen pocas alternativas de conectividad, fomentando la inclusión digital de la ciudadanía y otorgándoles acceso a nuevas tecnologías a través de Internet, otro proyecto de Integración digital de Zonas Insulares con Chile Continental, a través del aumento de ancho de banda de los enlaces en al menos 28 [Mbps] para Isla de Pascua y 8 [Mbps] para el Archipiélago de Juan Fernández.

Los próximos desafíos corresponden principalmente a la implementación del proyecto Fibra Óptica Austral, la adjudicación e implementación de redes troncales terrestres para Aysén y Los Lagos, desarrollo de un proyecto de fibra óptica para la Región de Tarapacá y la Región de Coquimbo. Por otra parte, está la necesidad de realizar estudios de factibilidad para desarrollar los proyectos en los próximos años tales como el Proyecto Fibra Óptica Antártica, el Proyecto Cable Transpacífico Asia-Chile y el Proyecto Red Troncal Arica-Valparaíso-Puerto Montt. Todos estos proyectos tienen como objetivo que nuestro país cuente con una infraestructura robusta que permita soportar los distintos servicios de telecomunicaciones como lo es la telefonía móvil, internet de hogar y televisión digital, lo cual es indispensables para las exigencias actuales y futuras de la sociedad, permitiendo que Chile se incorpore plenamente a esta nueva la revolución tecnológica y del conocimiento [3].

Para enlaces tan extensos, como son los cables submarinos de fibra, los cuales tiene un largo superior a los miles de kilómetros, si bien la señal podría llegar hasta el final del enlace, no lo hará con la energía suficiente para superar el umbral de recepción del receptor final, y además la atenuación puede ser tan grande que cause la pérdida de información de la señal. Para combatir con la atenuación de la señal a través de la fibra, y asegurar una potencia de recepción adecuada en el receptor es que se utilizan amplificadores ópticos a lo largo del enlace, procurando ubicarlos cada ciertos tramos asegurando que la señal mantenga la energía necesaria para que no se pierda la información de esta.

Un EDFA es un tipo de amplificador óptico, el cual tiene un tramo de fibra dopada con Erblio. Este tipo de amplificador opera sólo con el uso de fotones, en el dominio óptico, sin necesidad de convertir la señal para operar en el dominio electrónico. De esta forma, no es necesario implementar regeneradores optoelectrónicos entre tramos de fibra, que son más complejos y de mayor costo. Los amplificadores ópticos consiguen una amplificación de la señal óptica en su espectro de operación (en torno a los 1550 [nm]), siendo la alternativa más simple y eficaz para combatir el problema de la atenuación de la fibra, y puede ser usado independientemente del tipo de modulación, polarización y ancho de banda de la señal, además tiene la ventaja de poder amplificar un conjunto de señales WDM (del inglés, multiplexación por división de longitud de onda) [4].

La enseñanza del área de las telecomunicaciones en Chile se da en distintas universidades e instituciones, que en su mayoría abarcan sólo conocimientos teóricos en sus clases. Esta

tendencia de realizar enseñanzas preferentemente teóricas ante la combinatoria teórico-práctica, se basa principalmente en el costo elevado de realizar la implementación de laboratorios que cumplan con el objetivo de enseñar el uso de dispositivos e instrumentos. Pero hoy en día, esta realidad ha venido cambiando en conjunto con el pensamiento y proyecciones de las instituciones, que buscan generar, más allá de ser una fuente de conocimiento, competencias en los alumnos, y es aquí en donde la enseñanza teórica se complementa con el poner en práctica los conocimientos. A pesar de esto, es complejo encontrar diseño de experiencias prácticas para nivel universitario de redes ópticas docentes en el país en que implementen, además de instrumentos de medición, amplificadores ópticos en sus distintas configuraciones.

El Laboratorio de Telecomunicaciones de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, a través de tesis como Ignacio Tolorza quién realizó el proyecto “Experiencias de laboratorio de redes ópticas basadas en interruptores MEMS”, Sebastián Manríquez con el proyecto “Laboratorio de redes ópticas flexibles basados en WSS” y Esteban Hermosilla con el proyecto “Experiencias prácticas usando instrumentos de medición de campo para laboratorio de fibras ópticas”, ha buscado disminuir la brecha, entregando herramientas a los futuros estudiantes del área para mejorar sus conocimientos, habilidades y competencias. Es aquí donde en el presente trabajo busca complementar a través de la propuesta de un conjunto de experiencias de laboratorio docente con las cuales se pretende dar una buena base en el manejo de los dispositivos e instrumentos básicos de medición y la implementación de EDFAs en un enlace, comprendiendo su funcionamiento y sus posibles aplicaciones.

Objetivo general

- Diseñar, implementar y evaluar experiencias docentes de laboratorio usando un amplificador óptico EDFA.

Objetivos específicos

- Caracterizar ópticamente un amplificador EDFA.
- Diseñar experiencias y guías de laboratorio.
- Implementar las experiencias y aplicarlas a un grupo de estudiantes.
- Evaluar la efectividad de las herramientas educativas en el aprendizaje de los estudiantes mediante la aplicación de un test inicial y final.

1 Antecedentes generales

En la actualidad existen alrededor de 448 cables de fibra óptica submarinos en servicio alrededor del mundo las cuales corresponden el 99% de las transmisiones transoceánicas. El mapa del cableado submarino se puede apreciar en la Figura 1-1. El cableado está permanentemente cambiando ya sea por renovación de los cables como por la instalación de nuevos enlaces entre nodos [5].

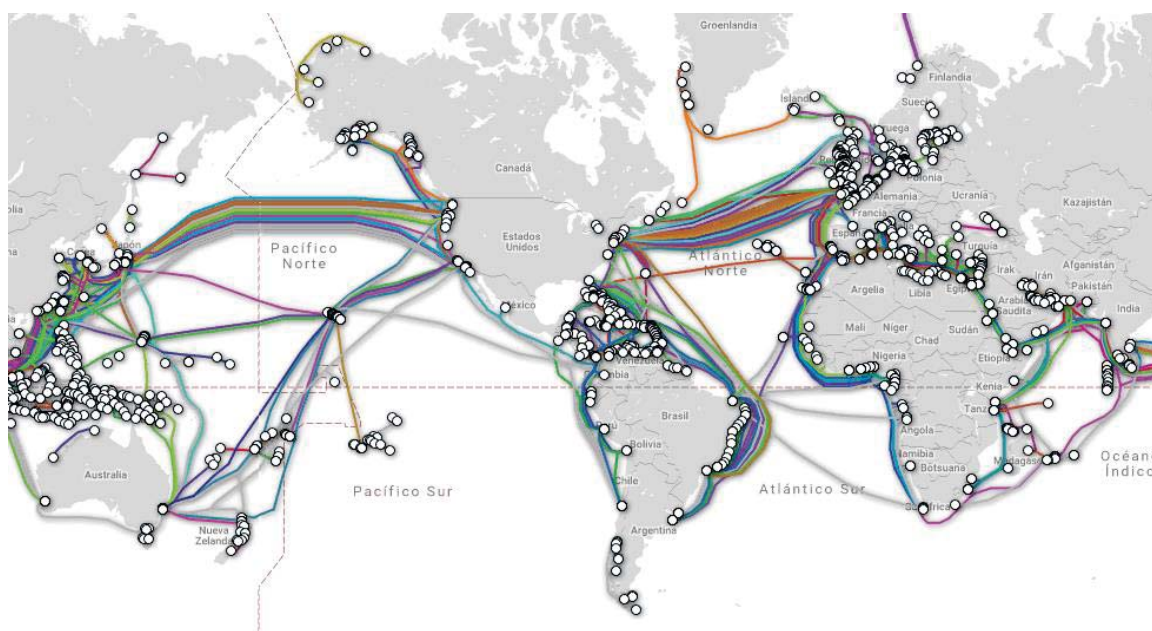


Figura 1-1 Mapa de cables submarinos (fuente: <https://www.submarinecablemap.com>)

En las costas de Chile existen dos nodos de conexión a la red de fibra submarina (ver Figura 1-2), un nodo se encuentra en Arica y otro en Valparaíso, a ambos llegan dos cables, Pan American (PAN-AM) y South America-1 (SAM-1) el cual es parte del anillo sudamericano. Además, se está planificando la instalación de tres nuevos cables submarinos que llegarán al nodo de Valparaíso, los cuales crearán una red para unir los países de Sudamérica con Estados Unidos. Adicionalmente, Huawei tiene la intención de crear uno de los enlaces más largos del planeta el cual uniría China con Chile, este proyecto aún se encuentra en fase de estudio y planificación.

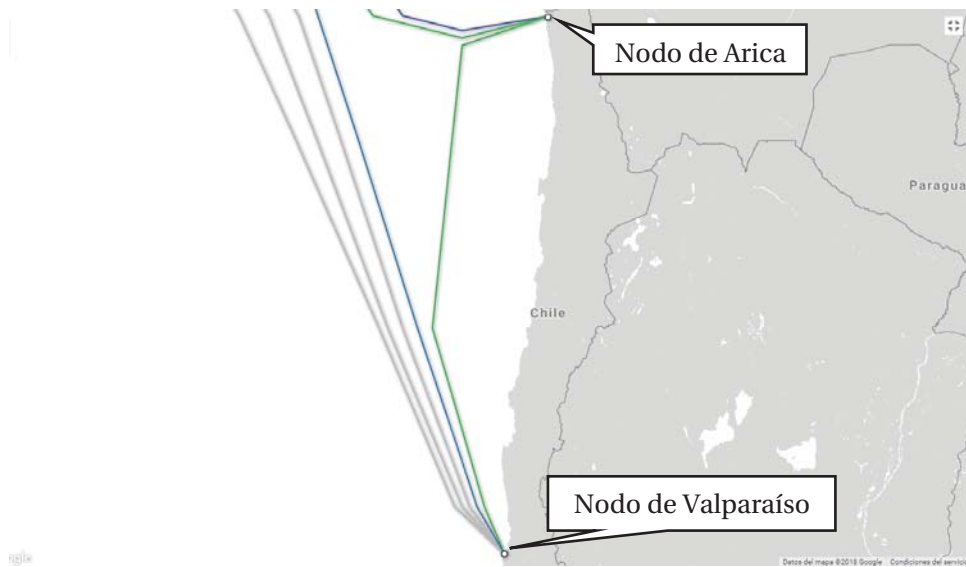


Figura 1-2 Nodos en las costas de Chile (fuente: <https://www.submarinecablemap.com>)

1.1 Conectividad en Chile.

Ante el eventual aumento de dispositivos electrónicos conectados a internet, se requiere un mejoramiento continuo de la tecnología y dispositivos que impliquen dicha conexión. Chile ha sabido responder bien ante este aumento en las peticiones de conexión, a septiembre de 2017 según la Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (SUBTEL) hubo 17,95 millones de accesos y una penetración de 97,5 accesos a internet por cada 100 habitantes (ver Figura 1-3). Es por ello que se ubica en el lugar 25 según el ranking de conectividad a nivel global [6], el país se está convirtiendo en una de las naciones tecnológicamente más avanzadas de América Latina. Sin más, en enero de 2018 se obtuvo una penetración de 102 accesos por cada 100 habitantes, un verdadero hito puesto que es primera vez que la cantidad de conexiones superan al número de habitantes.

Internet fijo y móvil

Conexiones y Penetración cada 100 hab.

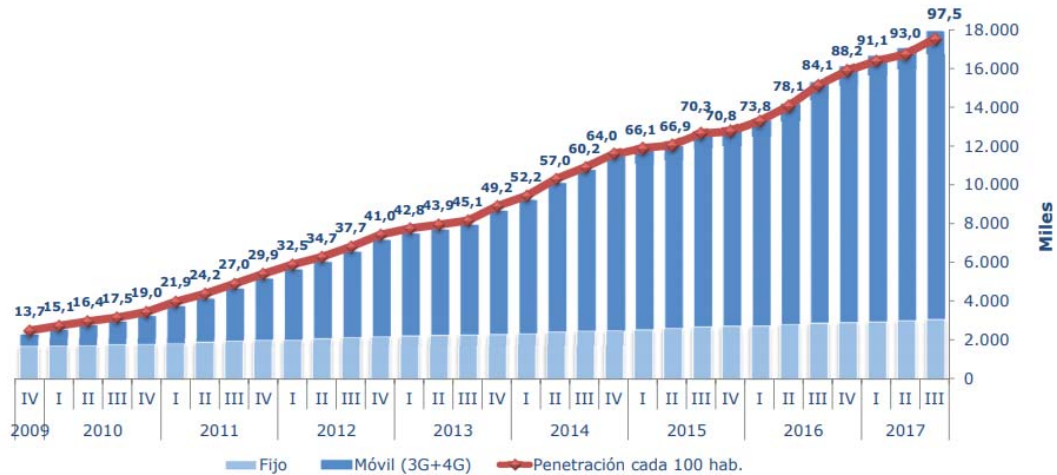


Figura 1-3 Crecimiento en Chile de la conectividad a internet [7]

Un reciente proyecto busca unir la Patagonia con el resto de Chile a través de la fibra óptica Austral (FOA) creando así una red que una desde Arica hasta Puerto Williams. El proyecto contempla la instalación de 3.000 kilómetros de fibra óptica submarina y 1.000 kilómetros de fibra óptica terrestre [8].

Ante las grandes distancias recorridas por los enlaces de fibra óptica, algunos de miles de kilómetros, se hace necesario la amplificación de la señal cada ciertos tramos del enlace. Esto para combatir la atenuación de la señal causada por el coeficiente de atenuación propio de la fibra óptica y así lograr llegar al receptor con una señal cuya potencia sea superior al umbral de recepción (potencia mínima necesaria para detectar una señal con un cierto nivel de errores).

La Subsecretaría de Telecomunicaciones tiene el proyecto de un diseño técnico de una red Troncal Nacional de Infraestructura de Telecomunicaciones (TNIT) para el país. El cual buscar unir vía marítima desde Arica a Carelmapu. En la Figura 1-4 se aprecia la atenuación presente entre cada enlace del sistema festón, el cual es una red de 19 tramos que uniría Arica con Carelmapu vía submarina. Del cuadro se aprecian los enlaces que requerirían amplificación de un EDFA por la gran atenuación presente en el tramo de fibra.

TRAMO	ATENUACIÓN (dB)	Tx-Rx dB	RAMAN dB	EDFA dB	GANANCIA DEL SISTEMA dB	MARGEN dB	CONFIGURACIÓN DEL ENLACE
ARICA - PISAGUA	35,0	39			39	4,0	No requiere amplificación.
PISAGUA - IQUIQUE	21,6	39			39	17,4	Usar equipos SLTE de menor alcance.
IQUIQUE - TOCOPILLA	52,6	39	15		54	1,4	SLTE + Amplificación Raman
TOCOPILLA - ANTOFAGASTA	54,3	39	15	10	64	9,7	SLTE + Amplificación Raman+ EDFA de 10 dB.
ANTOFAGASTA - TALTAL	51,3	39	15		54	2,7	SLTE + Amplificación Raman
TALTAL - CHAÑARAL	39,6	39		10	49	9,4	SLTE + EDFA de 10 dB.
CHAÑARAL - CALDERA	24,7	39			39	14,3	Usar equipos SLTE de menor alcance.
CALDERA - HUASCO	50,2	39	15		54	3,8	SLTE + Amplificación Raman
HUASCO - COQUIMBO	54,6	39	15	10	64	9,4	SLTE + Amplificación Raman+ EDFA de 10 dB.
COQUIMBO - LOS VILOS	70,2	39	15	15	69	-1,2	Usar SLTE de enlace ultra largo + Raman + EDFA.
LOS VILOS - VALPARAÍSO	38,9	39		10	49	10,1	SLTE de menor alcance + EDFA de 10 dB.
VALPARAÍSO - SAN ANTONIO	19,5	39			39	19,5	Usar equipos SLTE de menor alcance.
SAN ANTONIO - PICHILEMU	25,7	39			39	13,3	No requiere amplificación.
PICHILEMU - CONSTITUCIÓN	25,3	39			39	13,7	No requiere amplificación.
CONSTITUCIÓN - CONCEPCIÓN	49,5	39		15	54	4,5	SLTE + EDFA de 15 dB.
CONCEPCIÓN - PUERTO SAAVEDRA	75,5	39	15	15	69	-6,5	Usar SLTE de enlace ultra largo + Raman + EDFA.
PUERTO SAAVEDRA - NIEBLA	29,7	39			39	9,3	No requiere amplificación.
NIEBLA - BAHÍA MANSA	27,5	39			39	11,5	Usar equipos SLTE de menor alcance.
BAHÍA MANSA - CARELMAPU	35,6	39			39	3,4	No requiere amplificación.

Figura 1-4 Cuadro de atenuaciones por tramos del troncal tipo festón [9]

1.2 Problemática

La creación de grandes enlaces de fibra óptica en Chile, como la fibra óptica Austral (FOA), mejoramiento de la red troncal, creación de un troncal tipo festón y proyectos de empresas privadas, requieren de profesionales con habilidades totales en materia de red, esto considera el conocimiento e implementación de herramientas (OTDR, OSA, FIP) y de dispositivos ópticos, como es el caso de un EDFA. Profesionales con estas capacidades son escasos y su aprendizaje se basa en la experiencia adquirida en la práctica.

Es por la falta de profesionales con conocimientos en el área de redes ópticas capaces de resolver problemas relacionados con el diseño de enlaces y con la implementación de amplificadores ópticos, que se deja en evidencia que los Ingenieros Electrónicos y Civil Electrónicos de la casa de estudio se enfrentan a una temática en labores profesionales sin conocimiento alguno de experiencias teórico-prácticas en esta área.

1.3 Estado del arte

El diseño de un enlace de larga distancia (sobre 80 [km]) debe considerar la implementación de amplificadores para asegurar una buena recepción de la señal. Chile está en pleno desarrollo en cuanto a la masificación del uso de fibra óptica, es por esto que se hace necesario la formación de especialistas que sepan del diseño de enlaces con la incorporación de amplificadores ópticos.

1.3.1 Experiencias en casas de estudios

Para poder solucionar la problemática anterior se pueden realizar experiencias docentes en un laboratorio de fibra óptica con el fin de enseñar y analizar el comportamiento de la atenuación de la señal a lo largo de la fibra y cómo contrarrestar este efecto con la implementación de amplificadores, entendiendo esto, se puede planificar el correcto diseño de enlaces. Contar con

laboratorios donde se expongan experiencias relacionadas a la práctica es de vital importancia para la reducción de la brecha de profesionales capacitados en redes ópticas.

A continuación, se exponen las casas de estudios en los cuales se han desarrollado tesis e investigaciones con fibra óptica, en los cuales se implementan EDFAs. Estas casas de estudio cuentan con profesores que tienen conocimiento en el uso de amplificadores ópticos, por lo cual podrían realizar experiencias docentes para enseñar sobre la implementación de estos.

Internacionales

Los siguientes laboratorios presentan área de fibra óptica, en los cuales se ha desarrollado experimentación con EDFAs.

- Grupo de ingeniería fotónica, Universidad de Cantabria, España [10].
- OFLAB, Universidad politécnica de Cataluña, España [11].
- Laboratorio de comunicaciones digitales, Universidad nacional de Córdoba, Argentina [12].
- Departamento de electrónica y telecomunicaciones, Universidad de Costa Rica, Costa Rica [13].
- Facultad de ciencias de la electrónica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México [14].
- Faculty of Applied Science and Engineering, University of Toronto, Canadá [15].
- EEE department, University of Strathclyde, Escocia [16].
- Physics department, Lehigh University, EEUU [17].
- Optoelectronics Laboratory, Helsinki University of Technology, Finlandia [18].

Nacionales

A continuación, se presentan las universidades que potencialmente son una competencia en el ámbito de la docencia en experiencias de laboratorio usando amplificadores ópticos EDFAs puesto que se han desarrollado investigaciones con el uso de estos.

- Universidad de Santiago de Chile [19].
- Universidad Austral de Chile [20].
- Universidad Técnica Federico Santa María [21].
- Universidad de Tarapacá [22].

Todas las universidades y laboratorios anteriormente nombrados han tenido tesis y experimentos que abordan temas relacionados a la fibra óptica, en particular a la implementación de EDFAs, pero no se encontraron instituciones que directamente impartieran prácticas docentes en las cuales se trabaje con EDFAs, por lo que se hace necesario generar estas instancias de educación y formación de profesionales con conocimiento de este tema.

1.3.2 Fortalezas y debilidades

Los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica del área de telecomunicaciones egresados de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso presentan un perfil profesional con ciertas debilidades que impactan en una posición desfavorable frente a la competencia al enfrentarse en el mundo laboral. Estas debilidades se presentan a continuación.

- Cursos obligatorios de telecomunicaciones abarcan poco los temas relacionados a la fibra óptica, y aún menos a temas referentes a los EDFAs.
- Laboratorio de fibra óptica con bajo porcentaje de integración de alumnos, son muy pocos los estudiantes que trabajan en este laboratorio y tienen conocimiento sobre el uso de los materiales e instrumentos.
- Alumnos con interés en el área tienen pocas o nulas instancias de trabajar en el laboratorio de fibra óptica.

De toda debilidad nace una oportunidad para convertirla en fortaleza, es por esto que se debe tener proyección, tanto a nivel de universidad como a nivel de país, aprovechando la revolución de la fibra óptica que se está llevando a cabo tanto a nivel nacional como internacional. La manera en que se afrontan estas oportunidades es la que define el perfil de un profesional. Las fortalezas que se desprenden de las debilidades se presentan a continuación.

- Docentes con conocimiento en el área de fibra óptica.
- Docentes que motivan a la investigación y experimentación.
- Laboratorio de fibra óptica bien equipado con materiales e instrumentos de uso actual.
- Gestiones para seguir actualizando el laboratorio y adquirir materiales e instrumentos faltantes.
- Estudiantes con proyección e interés en el área de fibra óptica.

1.4 Propuesta

En el presente capítulo se da a conocer el fundamento de la propuesta, la cual consiste en el diseño, implementación y validación de experiencias docentes de laboratorio utilizando EDFAs. Para la correcta realización de estas experiencias es necesario tener conocimientos sobre la correcta manipulación e implementación de los distintos elementos, dispositivos e instrumentos con los cuales se construyen los Set Ups de las distintas experiencias.

La propuesta que se desarrolla es el diseño de experiencias docentes usando un amplificador óptico EDFA en el laboratorio de telecomunicaciones, área de fibra óptica. Para esto se debe estudiar y comprender primeramente el uso, funcionamiento y aplicación de un EDFA y del resto de elementos y dispositivos necesarios para la elaboración de las experiencias.

Una vez comprendido el funcionamiento de los equipos y lograr la correcta manipulación de los distintos dispositivos e instrumentos se procede a la elaboración de las distintas experiencias de laboratorio, comenzando con talleres básicos para la enseñanza del correcto manejo de los elementos hasta experiencias de mayor complejidad.

2 EDFA y sus características

Un EDFA (del inglés, Erbium Doped Fiber Amplifier) es un tipo de amplificador óptico el cual se ocupa como solución al problema de la atenuación propia de la fibra, presente con mayor importancia en enlaces muy extensos (sobre 80 [km] de longitud). Este tipo de amplificadores operan en el dominio óptico, sin necesidad de pasar por el dominio eléctrico, y tienen la característica de amplificar independiente del tipo de modulación de la señal y su ancho de banda, además de poder trabajar con señales multiplexadas en longitud de onda (WDM) en su banda de operación.

2.1 Funcionamiento de un EDFA

El funcionamiento del EDFA se basa en la emisión estimulada de luz, similar a un láser, pero sin la necesidad de retroalimentación. La fibra dopada con Erblio, al ser estimulada mediante una señal de bombeo, típicamente de 980 o 1480 [nm] (ver Figura 2-1), causa que los electrones absorban fotones, quedando éstos en estado excitado durante un intervalo que está definido por el tiempo de vida de los átomos de Erblio (1 [μs]). Al volver a su estado original, pueden tener un decaimiento radiactivo o no radiactivo, en el primer caso los electrones al decaer a un nivel básico liberan la energía almacenada en forma de fotones de longitud de onda de 1550 [nm], y en segundo caso los electrones decaen a un nivel metaestable liberando la energía en forma de calor. Para que llegue a producirse el fenómeno de emisión estimulada dentro del amplificador óptico, debe producirse una inversión de población a nivel de estados de energía, que se traduce en que la cantidad de iones en estado excitado sea mayor que la cantidad de iones en el estado básico de energía. Dicha inversión de población se logra inyectando potencia a la fibra dopada y puede ser realizada mediante un bombeo externo.

Es a partir de la energía almacenada en los electrones excitados que se produce la amplificación mediante la emisión estimulada. Sin embargo, además de producirse la emisión estimulada, también se produce el fenómeno de emisión espontánea, producto de que algunos fotones decaen en forma espontánea desde el nivel metaestable al nivel básico, liberando fotones de longitud de onda aleatoria, por lo cual dicha emisión espontánea es también amplificada, lo que origina el ruido de emisión espontánea o ASE (Amplified Spontaneous Emission). Este efecto, además de introducir ruido a la señal que se propaga, dado que disminuye la población en el nivel metaestable, también hace disminuir la ganancia que proporciona el EDFA.

En la actualidad el amplificador de fibra dopada con Erblio es el más utilizado entre los amplificadores de fibra dopada, dada las características intrínsecas que posee el Erblio, como es la de operar en la zona cercana a 1550 [nm], región en la cual la fibra monomodo posee mínimas pérdidas, gran ancho de banda de operación, baja figura de ruido, independencia de la polarización y su gran estabilidad.

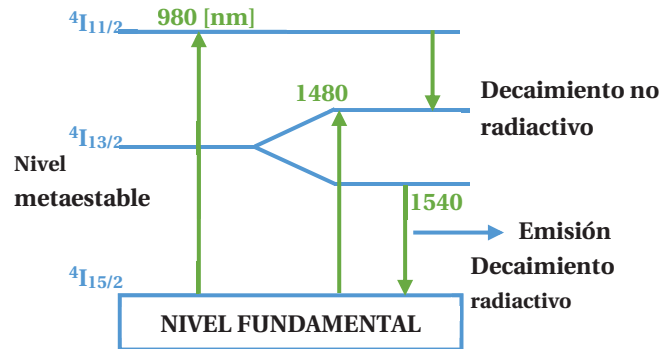


Figura 2-1 Bandas de energía del átomo de Erblio

El funcionamiento interno a nivel óptico se puede apreciar en la Figura 2-2, en el cual se muestra que en la primera etapa pasa a través de un multiplexor óptico la señal de entrada y el láser de bombeo, luego se inyecta la señal multiplexada a la fibra dopada de Erblio la cual cuenta con aisladores a la entrada y salida de la fibra, el primer aislador se emplea para impedir la propagación en sentido contrario de la emisión espontánea (ruido ASE). El segundo aislador cumple la función de impedir que entren señales al EDFA y evitar amplificación de señales reflejadas. Finalmente se coloca un filtro óptico a la salida para eliminar el ruido ASE generado en el amplificador, el cual está fuera del espectro útil.

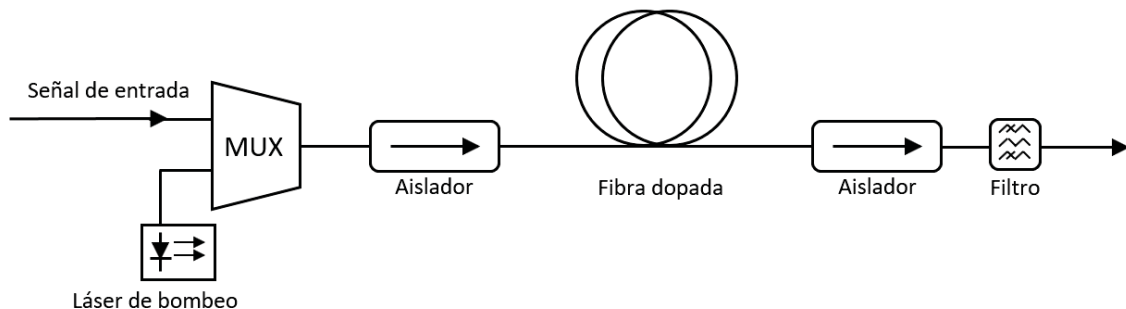


Figura 2-2 Esquema interno de un EDFA

2.2 EDFA 100S

En marzo de 2018, el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la PUCV adquirió un EDFA modelo 100S de la marca Thorslabs (ver Figura 2-3) el cual es un amplificador óptico de alta ganancia y baja figura de ruido. Está diseñado para fibras monomodo, garantizando una mínima dispersión cromática. En el panel central se encuentra un switch de

encendido y apagado el cual se opera con una llave. El display digital indica la corriente de bombeo y la temperatura de operación, las cuales se puede ajustar mediante una perilla o por comunicación por USB 2.0. Cuenta con una entrada y una salida, ambos con conectores FC/APC, para activar el bombeo del láser posee un botón y un led el cual indica su estado, cuando está encendido el bombeo del láser está activado y por ende la amplificación de la señal.



Figura 2-3 EDFA 100S (fuente: <https://www.thorlabs.com>)

Las características principales se muestran a continuación en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Especificaciones del EDFA 100S [23]

Ítem	EDFA 100S
Longitud de onda de operación	1530 [nm] - 1565 [nm]
Figura de ruido	< 5 [dB]
Estabilidad de potencia de salida	<± 2% sobre 24 [hrs] de operación
Dispersión total	< 0.06 [ps/nm]
Ganancia dependiente de la polarización	< 0.2 [dB]
Aislación input/output	>30 [dB]
Máxima potencia de entrada	10 [dBm]
Máxima potencia de salida	23 [dBm]
Temperatura de operación	15 °C – 35 °C

2.3 Caracterización del EDFA

Luego de comprender el uso del EDFA 100S es importante medir algunos parámetros y obtener sus curvas típicas para caracterizarlo, como son su espectro de ganancia, relaciones de potencia y potencia de ruido, se espera obtener curvas similares a las que se aprecian en la Figura 2-4.

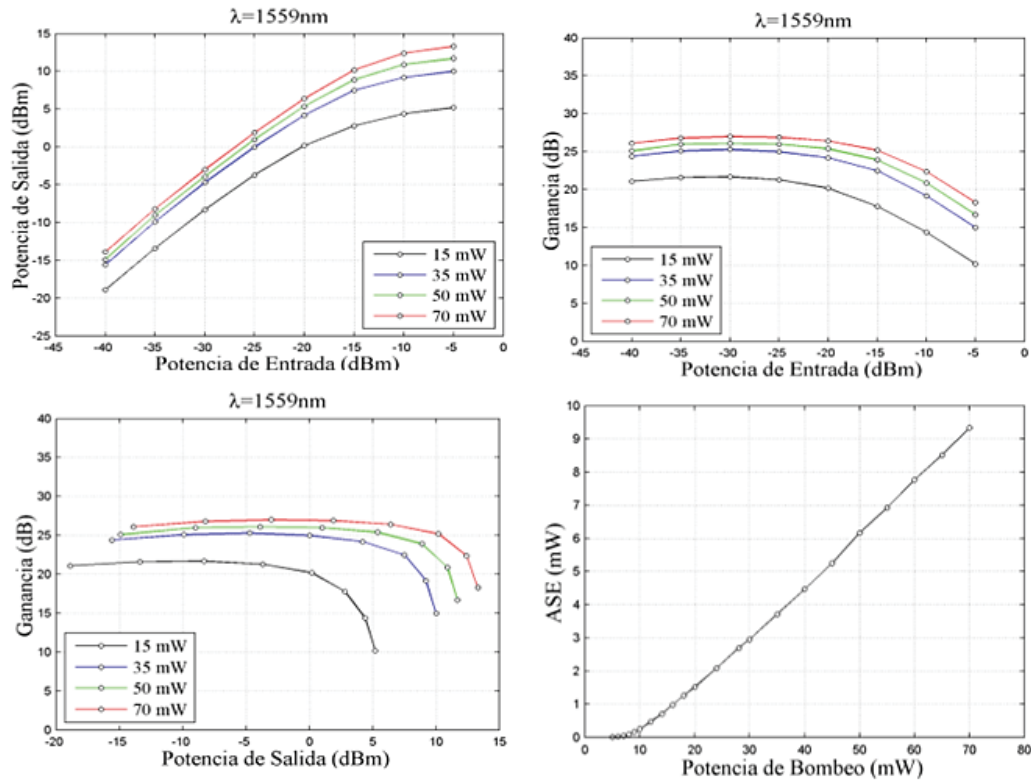


Figura 2-4 Curvas típicas de un EDFA [24]

Para medir dichos parámetros se montó un pequeño Set Up, utilizando un láser sintonizable, al cual se le puede ajustar la longitud de onda del láser y su potencia de bombeo, un atenuador variable y un analizador de espectro óptico (OSA) para medir la potencia óptica. Con el fin de ajustar la potencia de entrada al EDFA se montó el Set Up de la Figura 2-5, midiendo la potencia con el OSA, se ajusta la longitud de onda deseada del láser y se varía la relación de potencia emitida por este y la atenuación generada por el atenuador hasta obtener la potencia deseada para inyectar al EDFA.

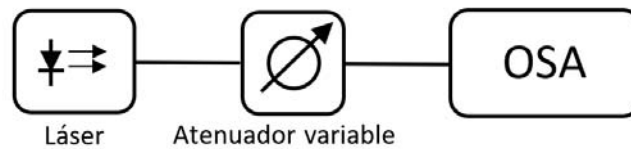


Figura 2-5 Set Up para calibración de potencia

Luego de tener la potencia deseada, se conecta el EDFA entre el atenuador y el OSA como se aprecia en la Figura 2-6, se ajusta la corriente de bombeo del EDFA y se procede a medir la potencia recibida en el analizador de espectro óptico.

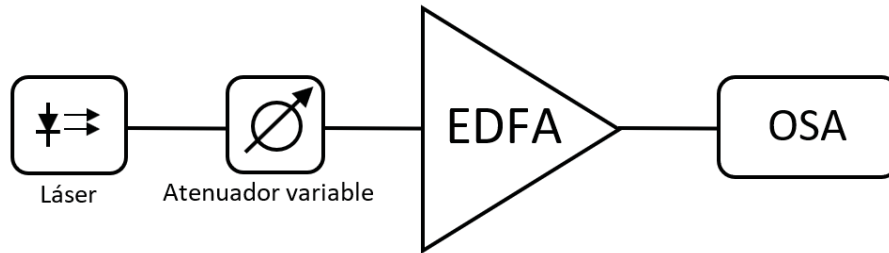


Figura 2-6 Set Up para caracterización del EDFA

2.3.1 Espectro de Ganancia

El espectro de ganancia de un EDFA indica cómo se comporta su amplificación a lo largo de su ventana de operación. Para caracterizar esto se deja una potencia de entrada fija al EDFA, en este caso 2 [dBm] y se varía la longitud de onda de emisión del láser en todo su espectro, desde 1524 [nm] hasta 1575 [nm] con saltos de 3 [nm] cada vez. Se repiten las mediciones para distintas corrientes de bombeo del EDFA (200, 400, 600 y 800 [mA]) obteniendo los datos de la Tabla 2-2. Luego se procede a graficar las curvas del espectro de ganancia (ver Figura 2-7). De las curvas se aprecia que, para distintas corrientes de bombeo, el EDFA presenta una respuesta relativamente plana y su ventana de operación va desde los 1530 a 1560 [nm] aproximadamente, y como es de esperar, a mayor corriente de bombeo, mayor potencia de salida.

Tabla 2-2 Mediciones para el espectro de ganancia para 2 [dBm] de entrada

λ [nm]	P_{out} [dBm]			
	200 [mA]	400 [mA]	600 [mA]	800 [mA]
1524	3,5	10	12,7	14,1
1527	4,2	10,8	13,5	15,1
1530	4,4	11	13,7	15,3
1533	4,7	11,2	13,8	15,4
1536	5,3	11,5	14	15,6
1539	5,7	11,6	14	15,5
1542	6	11,7	14	15,6
1545	6,3	12	14,3	15,8
1548	6,6	12,2	14,5	16
1551	7	12,3	14,7	16,1
1554	7,2	12,5	14,8	16,2
1557	7,4	12,6	14,9	16,2
1560	7,4	12,6	14,8	16,2
1563	7,4	12,3	14,6	15,9
1566	7	11,9	13,9	15,1
1569	6,5	11	12,8	13,7
1572	5,8	9,7	11,3	12
1575	4,9	8,5	9,6	10,1

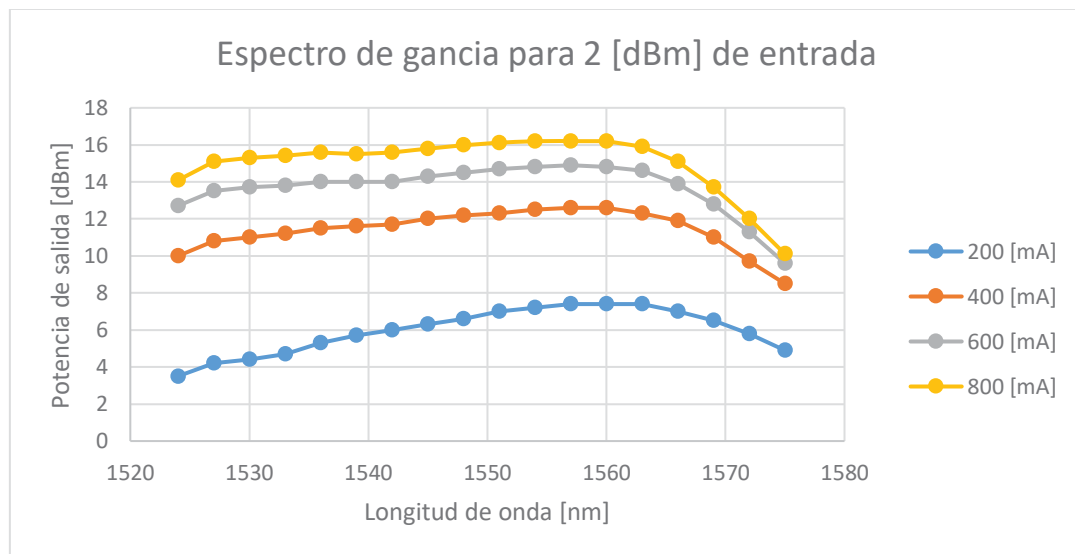


Figura 2-7 Espectro de ganancia del EDFA 100S

2.3.2 Relaciones de potencia

Caracterizar la potencia de salida del EDFA y obtener su relación con la potencia de entrada, y el comportamiento de la ganancia de este con respecto a la potencia de entrada y salida resulta útil

para que el usuario final conozca el comportamiento del amplificador. Para realizar estas mediciones se monta el mismo Set Up de la Figura 2-6, esta vez dejando la longitud de onda del láser fija en 1550 [nm] y se varía la potencia de entrada del EDFA desde -40 [dBm] hasta 5 [dBm], con saltos de 5 [dBm] cada vez. Las mediciones se efectúan para 200, 600 y 1000 [mA] de corriente de bombeo, obteniendo los datos de la Tabla 2-3, de la cual se desprende la ganancia del EDFA apreciable en la

Tabla 2-4.

Se grafican los datos obteniendo las curvas para la relación de potencia de salida respecto a la potencia de entrada, ganancia respecto a la potencia de entrada y ganancia respecto a la potencia de salida, apreciables en la Figura 2-8, Figura 2-9 y Figura 2-10 respectivamente.

Tabla 2-3 Mediciones potencia de salida respecto a potencia de entrada para $\lambda = 1550$ [nm]

P_{in} [dBm]	P_{out} [dBm]		
	200 [mA]	600 [mA]	1000 [mA]
-40	-20,73	-12,91	-11,21
-35	-13,41	-4,57	-2,83
-30	-7,57	1,33	3,1
-25	-3,44	5,54	7,41
-20	0,1	9,04	11,11
-15	2,48	11,17	13,26
-10	3,85	12,63	14,74
-5	5,44	14,01	16,32
0	6,64	15,07	17,13
5	7,03	15,46	17,85

Tabla 2-4 Ganancia del EDFA para $\lambda = 1550$ [nm]

P_{in} [dBm]	Ganancia [dB]		
	200 [mA]	600 [mA]	1000 [mA]
-40	19,27	27,09	28,79
-35	21,59	30,43	32,17
-30	22,43	31,33	33,1
-25	21,56	30,54	32,41
-20	20,1	29,04	31,11
-15	17,48	26,17	28,26
-10	13,85	22,63	24,74
-5	10,44	19,01	21,32
0	6,64	15,07	17,13
5	2,03	10,46	12,85

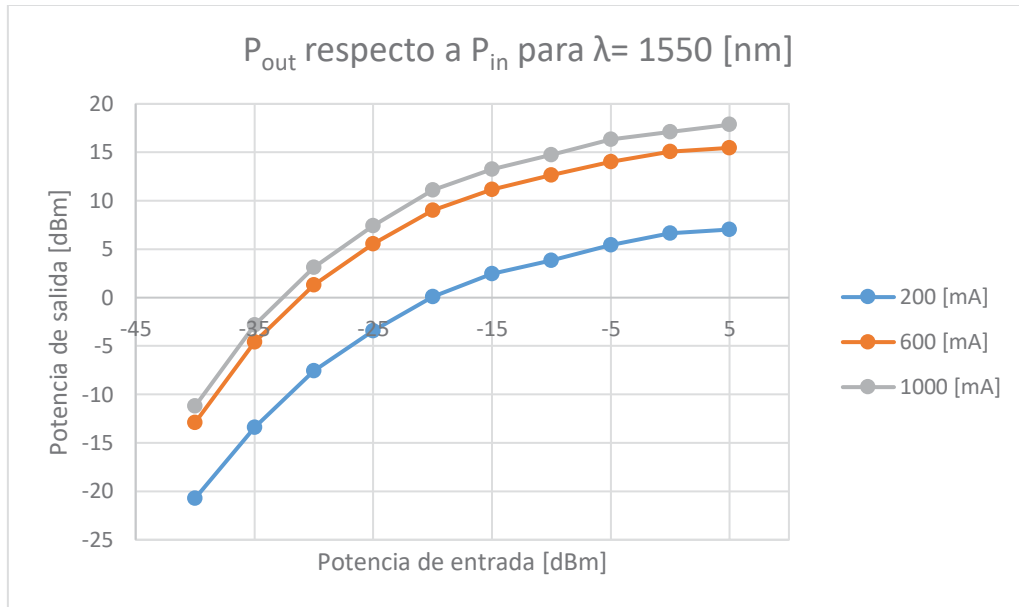


Figura 2-8 Relación de potencia de salida respecto a la potencia de entrada para $\lambda = 1550$ [nm]

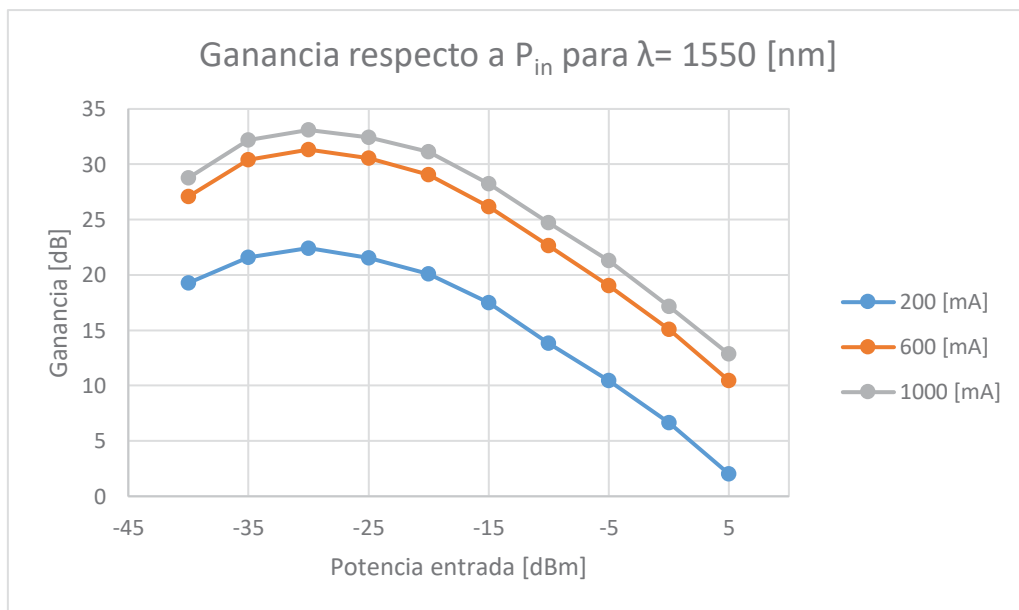


Figura 2-9 Ganancia respecto a la potencia de entrada para $\lambda = 1550$ [nm]

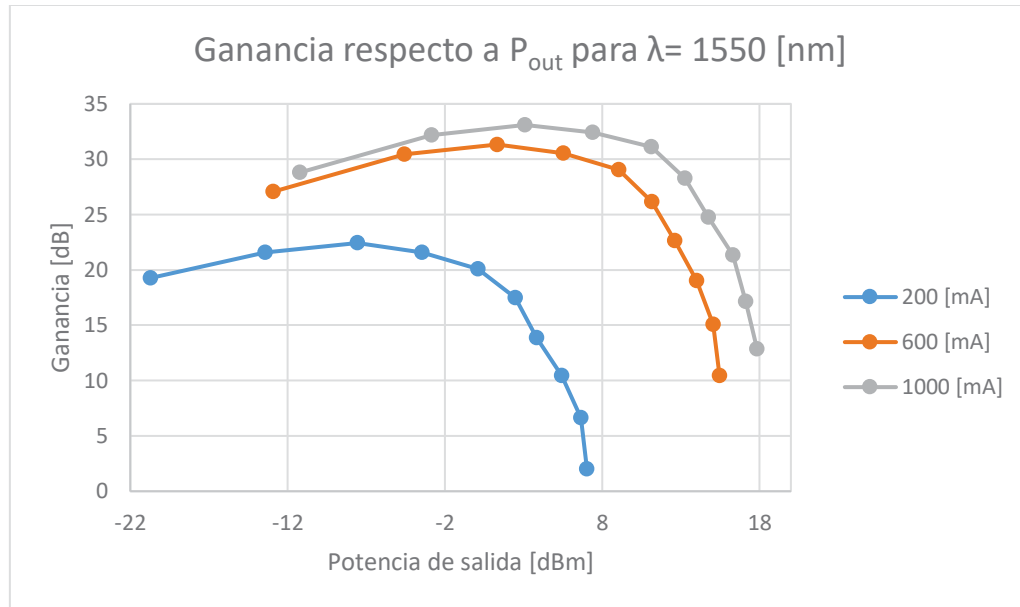


Figura 2-10 Ganancia respecto a la potencia de salida para $\lambda= 1550$ [nm]

De los gráficos anteriores se puede apreciar el comportamiento del EDFA en relación a su ganancia, dependiente de la potencia de entrada y potencia de salida para una longitud de onda de 1550 [nm]. Se observa que el EDFA tiene una máxima ganancia de 33,1 [dB] para el límite de corriente de bombeo y que el amplificador comienza a saturarse después de los 0 [dBm] de entrada.

2.3.3 Potencia de ruido

La emisión espontánea genera ruido que es amplificado, ruido ASE (del inglés, emisión espontánea amplificada), un parámetro importante a considerar a la hora de implementar un EDFA en un enlace. Para caracterizarlo se monta el Set Up de la Figura 2-11, se conecta el EDFA sin señal de entrada y se activa el bombeo de este, aumentando de 100 [mA] cada vez, a la salida se coloca un analizador de espectro óptico para medir la potencia de la señal. En la Figura 2-12 se aprecia la medición del analizador de espectro óptico en la banda C, se observa el espectro del ruido ASE del EDFA, generado solo por el bombeo del láser, sin señal de entrada. Las mediciones de la potencia de ruido en la ventana de operación del EDFA (1530 a 1565 [nm]) se observa en la Tabla 2-5, y su curva correspondiente en la Figura 2-13.

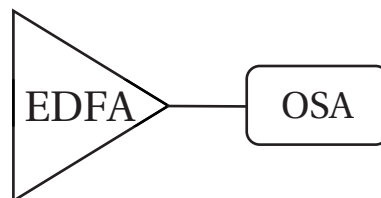


Figura 2-11 Set Up para medir potencia de ruido ASE

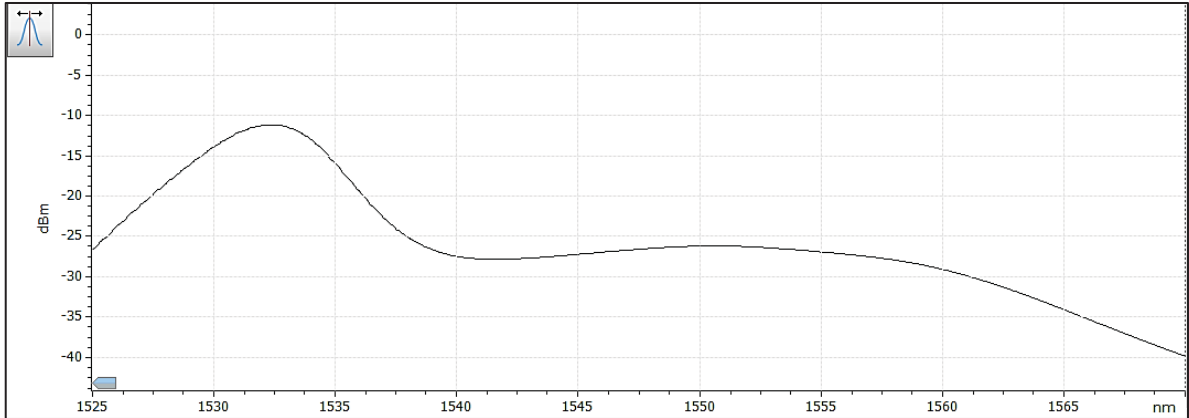


Figura 2-12 Espectro del ruido ASE observado en el OSA

Tabla 2-5 Mediciones de potencia del ruido ASE en la banda C

Corriente [mA]	ASE [dBm]	ASE [mW]
200	-20,65	0,008
300	-13,45	0,045
400	-10,51	0,088
500	-8,77	0,132
600	-7,54	0,176
700	-6,63	0,217
800	-5,9	0,257
900	-5,33	0,293
1000	-4,86	0,326

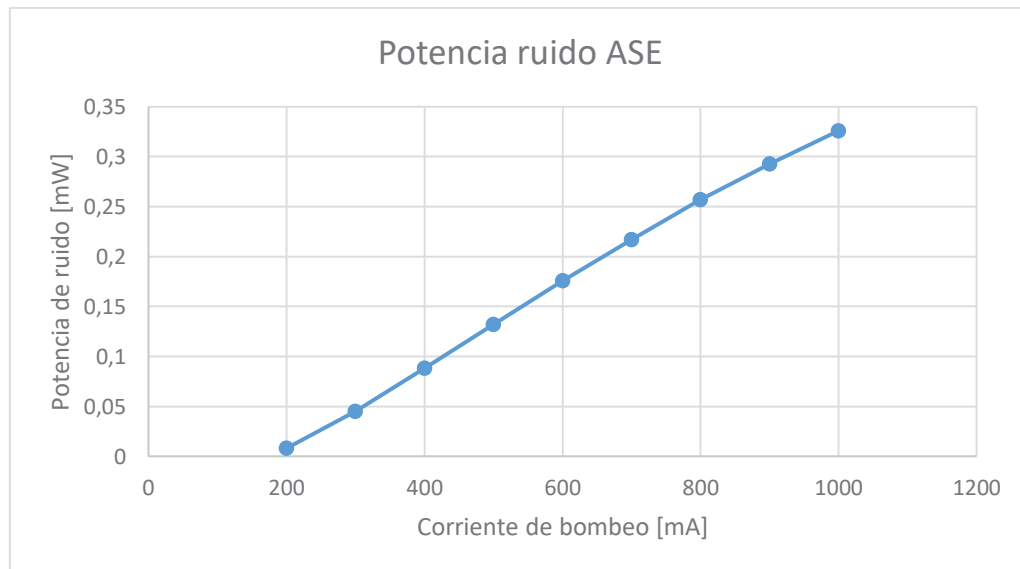


Figura 2-13 Potencia de ruido ASE del EDFA

De la figura anterior se puede apreciar que la potencia de ruido aumenta de manera lineal conforme aumente la corriente de bombeo del EDFA, además se observa que la potencia de ruido añadido por el amplificador es muy baja, $<0,5$ [mW].

2.4 Diseño de Set Ups

Una vez caracterizado el EDFA 100S se procede al diseño de las experiencias de laboratorio las cuales serán aplicadas a un grupo de alumnos. Se diseñaron 5 Set Ups, variando la aplicación del amplificador, siendo usado como Booster, amplificador de línea y pre-amplificador, puesto que es un amplificador óptico de potencia variable, se procede a obtener su curva de amplificación variando la corriente de bombeo.

Para realizar las mediciones se utilizó un OSA (analizador de espectro óptico) con el fin de medir la potencia recibida en el canal. Como transmisor se empleó un módulo transceptor Fiberstore CSFP-1G55-80-GE (ver Figura 2-14) el cual posee un conector LC dúplex, un canal es emisor y el otro receptor. El canal transmisor opera con un láser de 1550 [nm] de un alcance máximo de 80 [km] aproximado.



Figura 2-14 Módulo transceptor

El módulo transceptor se alimenta insertándolo en un convertidor Stand-alone Unmanaged Gigabit Ethernet Media Converter, 1000Base-T RJ45 to 1x 1000Base-X SFP Slot (ver Figura 2-15).



Figura 2-15 Media Converter

2.4.1 Pérdidas por conector

El EDFA 100S posee un conector tipo FC/APC, es decir, tipo pulido de corte angular. Los carretes de fibra de 25 [km] existentes en el laboratorio poseen conectores tipo FC/PC, de tipo de pulido de corte plano. Al conectar ambas fibras tipos de pulido incompatibles se crea un espacio vacío entre ambas puntas, como se aprecia en la Figura 2-16, el distanciamiento entre núcleos genera una pérdida de potencia considerable, es por esta razón que se procede a medir la atenuación generada por este evento.



Figura 2-16 Esquema de unión de una fibra PC con una fibra APC

Puesto que el EDFA posee aisladores en su configuración, no es posible medir directamente las pérdidas por conector con un OTDR, puesto que el pulso de luz enviado por este no podría retornar al ser atenuado por los aisladores. Es por esto que se montó un Set Up básico el cual se aprecia en la Figura 2-17. En este Set Up simula la conexión del EDFA, se unen dos carretes de fibra óptica de 25 [km] de largo con conectores FC/PC mediante un jumper de conector SC/APC y adaptadores SC-FC.

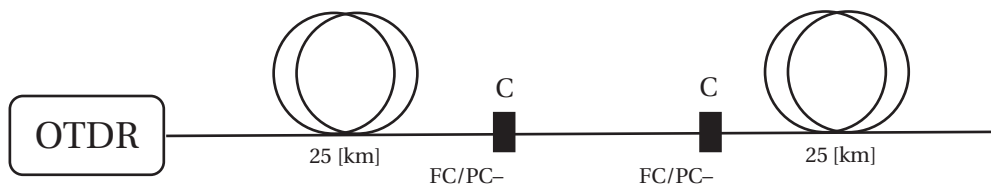


Figura 2-17 Set Up para medir pérdida por empalme PC-APC

Se procede a caracterizar en enlace usando un OTDR para detectar las pérdidas de los conectores, obteniendo la medición presente en la Figura 2-18.

Visualmente se puede apreciar la pérdida de potencia en el evento A, a la entrada del conector se mide una atenuación de 27,9 [dB] y a la salida 20,7 [dB], lo que indica una pérdida por conector de 7,2 [dB]. Se repite la medición variando el tiempo de duración del pulso de luz, obteniendo el mismo resultado. Se comprobó la medición hecha con el gráfico con el valor entregado por el software del OTDR el cual aproxima el valor de la pérdida por conector.

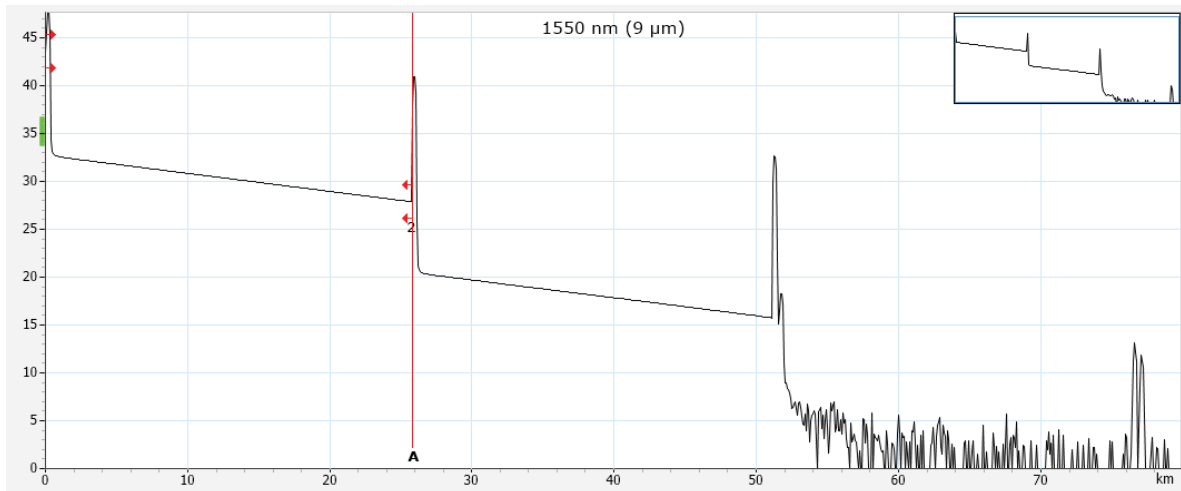


Figura 2-18 Medición del OTDR

2.4.2 Curvas de amplificación

Puesto que el EDFA 100S es de ganancia variable resulta útil caracterizarlo y obtener su curva de amplificación, para esto se montaron cinco Set Ups distintos y así analizar sus distintas aplicaciones posibles, usando el EDFA como Booster, amplificador de línea y pre-amplificador, para enlaces de 25 y 50 [km], midiendo la potencia de salida con un OSA (ver Figura 2-19), ocupando este como receptor.

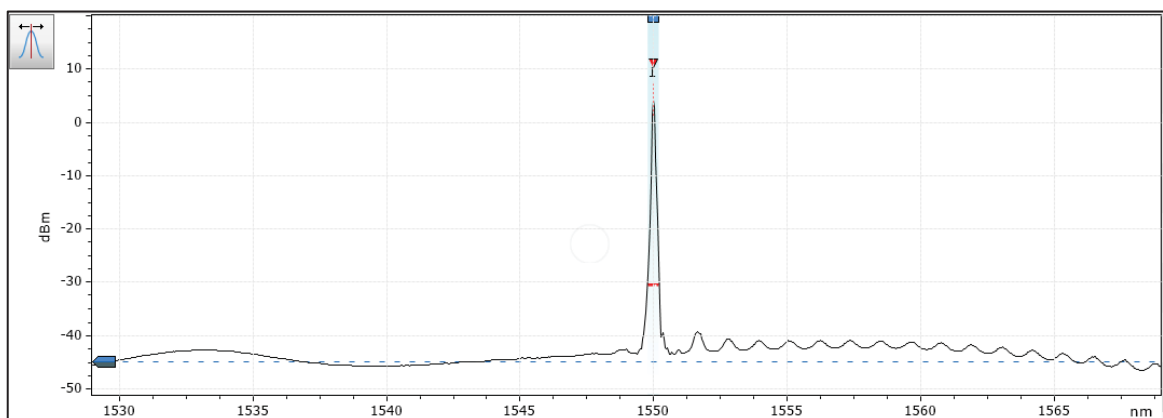


Figura 2-19 Medición de potencia recibida por un OSA

Booster

Un Booster es un amplificador el cual se coloca al inicio del enlace con el objetivo de amplificar la señal en su origen, así transmitir con la máxima potencia posible. Un amplificador tipo Booster debe poder tolerar una gran potencia de entrada y generar una alta potencia de salida. El esquema del Set Up para el enlace de 25 [km] se aprecia en la Figura 2-20 y el montaje real en la Figura 2-21, asimismo el esquema para el enlace de 50 [km] se aprecia en la Figura 2-22 y su montaje en la Figura 2-23. Se conecta el EDFA inmediatamente después del láser, con una potencia de entrada de 0,75 [dBm], y a la salida de este los carretes de fibra óptica.

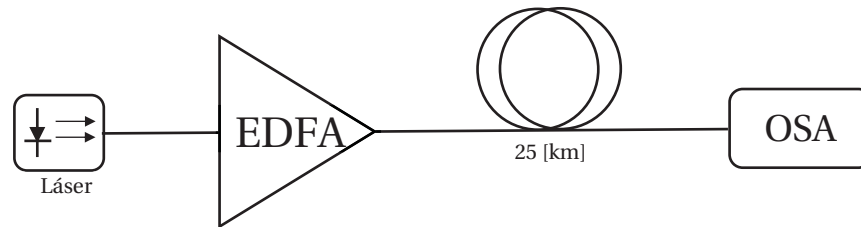


Figura 2-20 Esquema Booster para enlace de 25 [km]

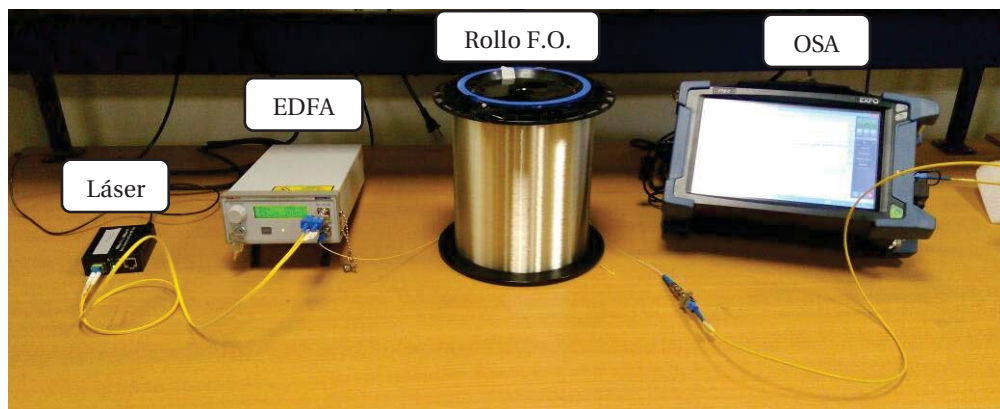


Figura 2-21 Set Up Booster para enlace de 25 [km]

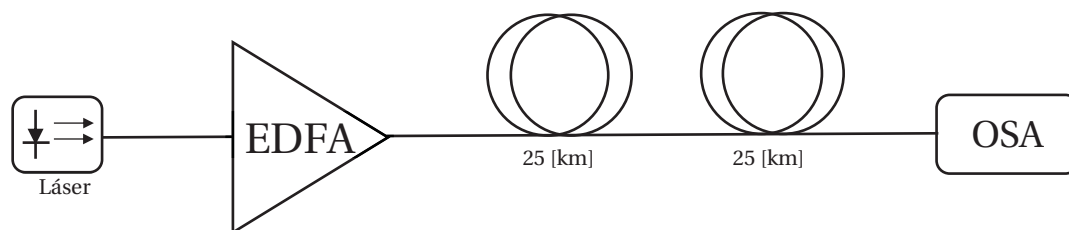


Figura 2-22 Esquema Booster para enlace de 50 [km]

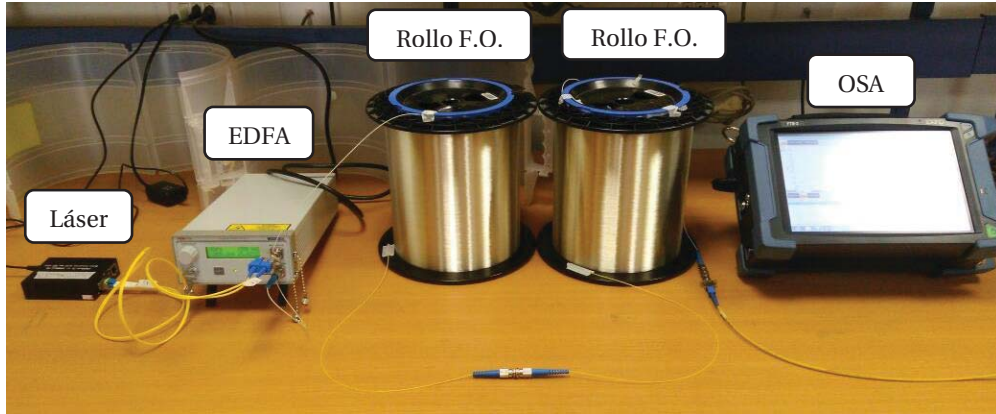


Figura 2-23 Set Up Booster para enlace de 50 [km]

Se varia la corriente de bombeo del láser de amplificación de 50 [mA] cada vez y se mide la potencia recibida por el OSA, obteniendo la Tabla 2-6 y la Tabla 2-7

Tabla 2-6 Mediciones para EDFA tipo Booster para enlace de 25 [km]

Corriente [mA]	Potencia de llegada [dBm]
200	1,33
250	3,44
300	4,97
350	6,09
400	7,03
450	7,73
500	8,33
550	8,89
600	9,35
650	9,83
700	10,12
750	10,47
800	10,77
850	11,06
900	11,32
950	11,58
1000	11,82

Tabla 2-7 Mediciones para EDFA tipo Booster para enlace de 50 [km]

Corriente [mA]	Potencia de llegada [dBm]
200	-3,42
250	-1,31
300	0,09
350	1,16
400	1,94
450	2,67
500	3,32
550	3,87
600	4,37
650	4,77
700	5,05
750	5,26
800	5,67
850	5,96
900	6,02
950	6,37
1000	6,54

De las mediciones anteriores se obtienen las curvas de amplificación las cuales se aprecian en la Figura 2-24 y Figura 2-25.

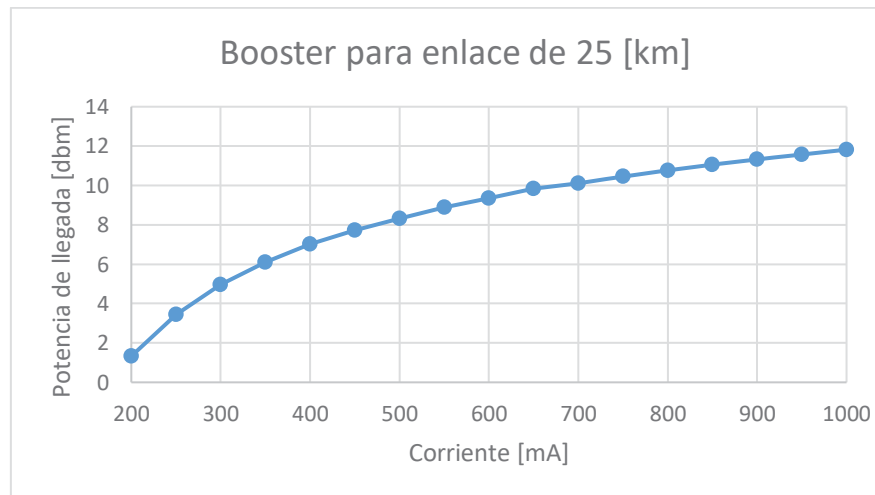


Figura 2-24 Curva de amplificación Booster para enlace de 25 [km]

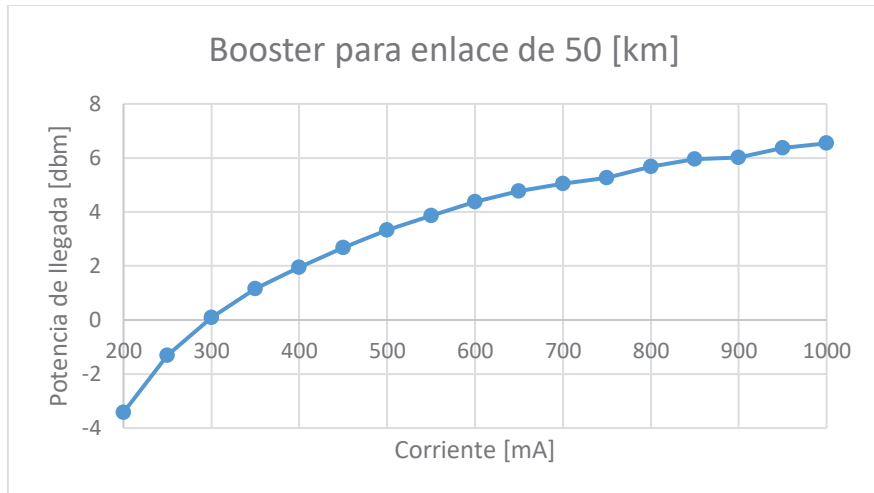


Figura 2-25 Curva de amplificación Booster para enlace de 50 [km]

Amplificador de línea

Un amplificador de línea se coloca en medio de un enlace con el objetivo de añadir potencia a la señal que ha sido atenuada por un tramo de fibra y con esto lograr que la señal viaje por decenas de kilómetros más. Este tipo de amplificador óptico debe contar con un bajo umbral de entrada, alta potencia de salida y baja figura de ruido. El esquema del Set Up que se aprecia en la Figura 2-26 y el montaje en la Figura 2-27, al transmisor del láser se conecta un carrete de fibra óptica, luego al EDFA, con una potencia de entrada de $-4,51$ [dBm], y luego otro carrete de fibra para a la salida de este medir la potencia recibida con un OSA.

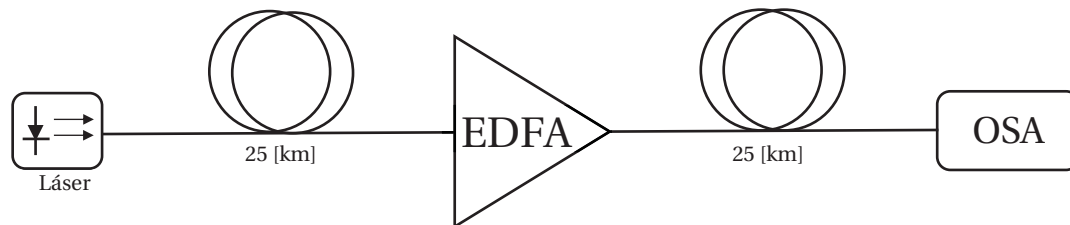


Figura 2-26 Esquema amplificador de línea para enlace de 50 [km]

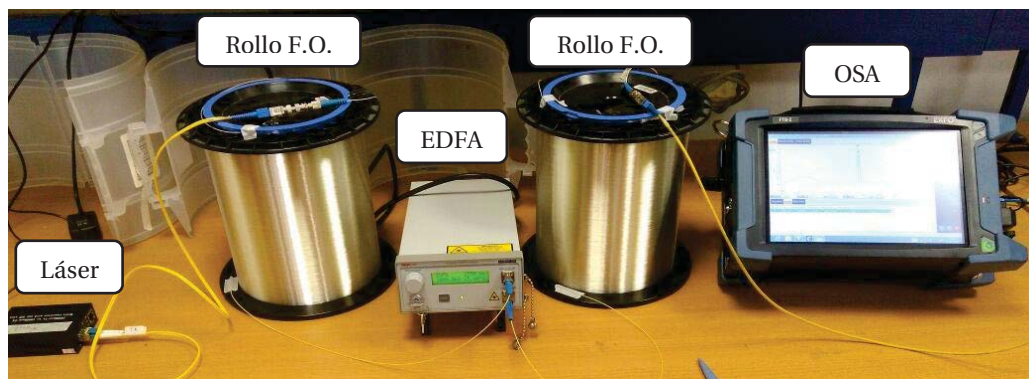


Figura 2-27 Set Up amplificador de línea para enlace de 50 [km]

Al igual que el procedimiento anterior, se va variando la corriente de bombeo de 50 [mA] a la vez, y se mide la potencia recibida, obteniendo las mediciones de la Tabla 2-8.

Tabla 2-8 Mediciones amplificador de línea para enlace de 50 [km]

Corriente [mA]	Potencia de llegada [dBm]
200	-0,43
250	1,9
300	3,49
350	4,62
400	5,51
450	6,24
500	6,78
550	7,37
600	7,77
650	8,17
700	8,47
750	8,77
800	9,04
850	9,28
900	9,52
950	9,77
1000	10,04

De los datos de la tabla anterior se grafica la corriente de bombeo vs la potencia de salida, obteniendo la Figura 2-28

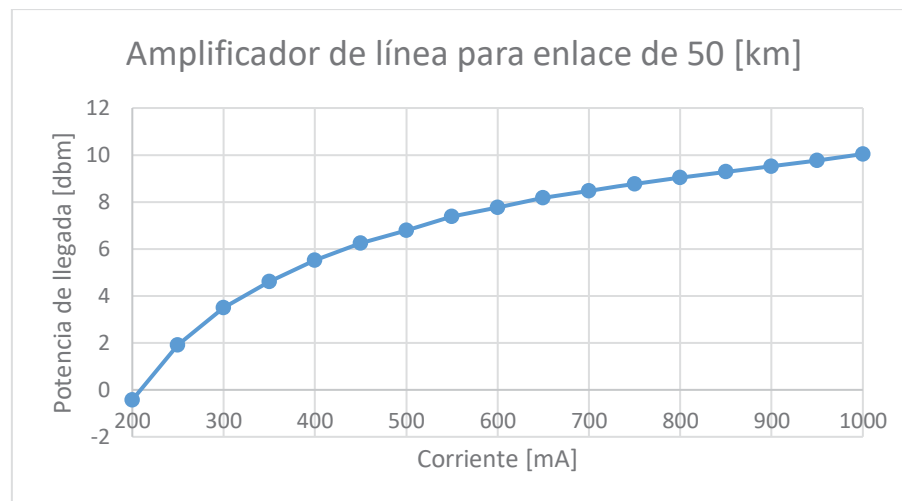


Figura 2-28 Curva de amplificación para amplificador de línea para enlace de 50 [km]

Pre-amplificador

Un pre-amplificador se ubica al final del enlace, justo antes del receptor, su propósito es amplificar levemente la señal para superar el umbral de recepción puesto que la señal llega muy atenuada. Este tipo de amplificador óptico debe tener un bajo umbral de entrada y ganancia media. El esquema del Set Up para el enlace de 25 [km] se aprecia en la Figura 2-29 y el montaje en la Figura 2-30, de la misma manera el Set Up para el enlace de 50 [km] se observa en la Figura 2-31 y su montaje en la Figura 2-32. Para el enlace de 25 [km], a la salida del láser se conecta el carrete de fibra óptica, luego se conecta el EDFA, con una potencia de entrada de $-4,28$ [dBm], a la salida de este se conecta un OSA. Para el enlace de 50 [km], se conectan dos carretes de fibra a la salida del láser, llegando al EDFA con una potencia de $-9,5$ [dBm], a la salida de este se conecta un OSA para efectuar las mediciones.

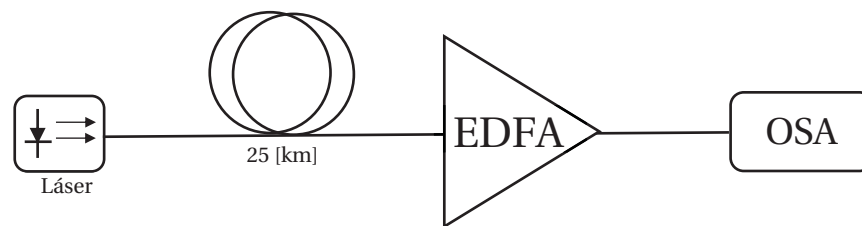


Figura 2-29 Esquema pre-amplificador para enlace de 25 [km]

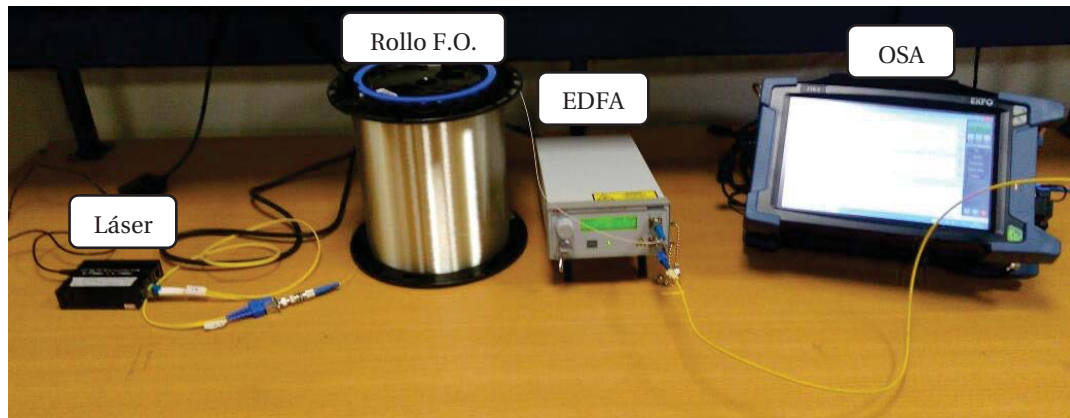


Figura 2-30 Set Up pre-amplificador para enlace de 25 [km]

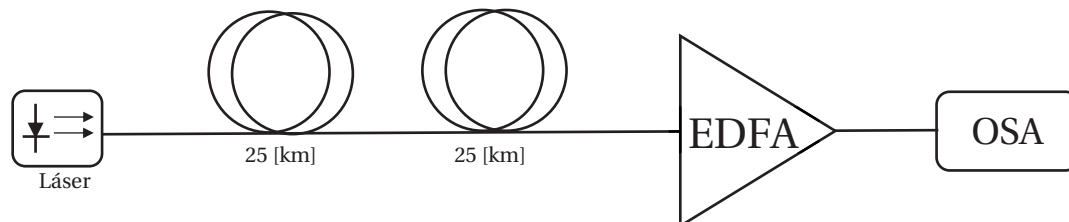


Figura 2-31 Esquema pre-amplificador para enlace de 50 [km]

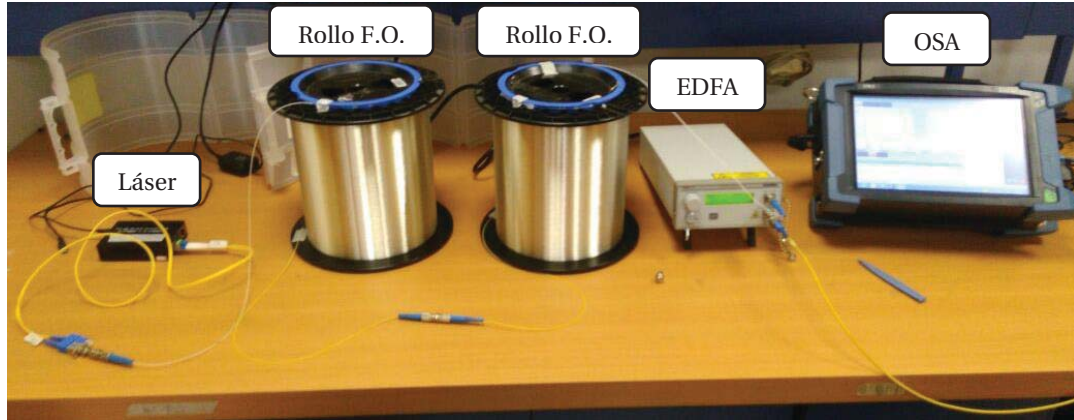


Figura 2-32 Set Up pre-amplificador para enlace de 50 [km]

Al igual que en ambos procedimientos anteriores, se varía la corriente de bombeo del láser y se mide la potencia al final del enlace, obteniendo la Tabla 2-9 y la Tabla 2-10 para enlace de 25 [km] y 50 [km] respectivamente.

Tabla 2-9 Mediciones pre-amplificador para enlace de 25 [km]

Corriente [mA]	Potencia de llegada [dBm]
200	4,62
250	6,96
300	8,51
350	9,67
400	10,59
450	11,35
500	11,94
550	12,45
600	12,93
650	13,32
700	13,77
750	14,08
800	14,38
850	14,64
900	14,91
950	15,14
1000	15,37

Tabla 2-10 Mediciones pre-amplificador para enlace de 50 [km]

Corriente [mA]	Potencia de llegada [dBm]
200	2,44
250	5,02
300	6,59
350	7,82
400	8,78
450	9,55
500	10,06
550	10,57
600	11,06
650	11,51
700	11,87
750	12,2
800	12,54
850	12,83
900	13,06
950	13,21
1000	13,38

De las tablas anteriores se puede obtener la gráfica potencia de salida vs corriente, las cuales se aprecian en la Figura 2-33 y en la Figura 2-34.

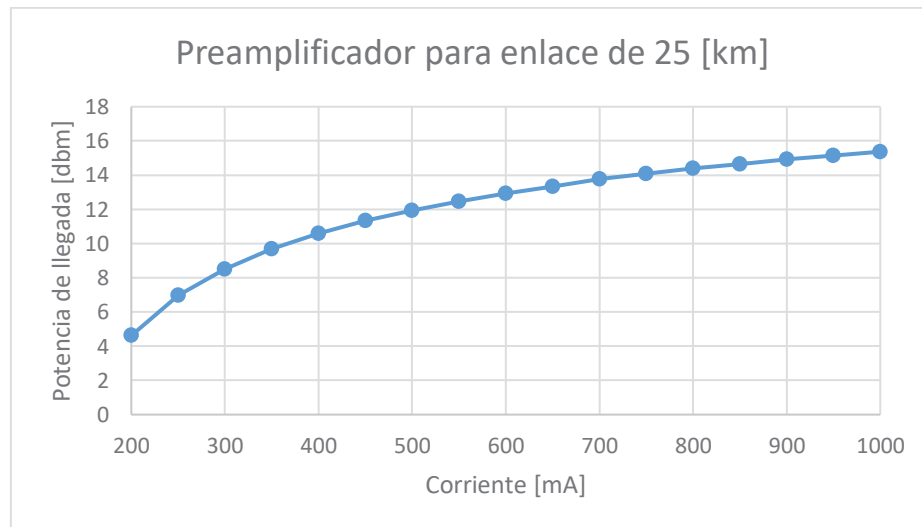


Figura 2-33 Curva de amplificación para enlace de 25 [km]

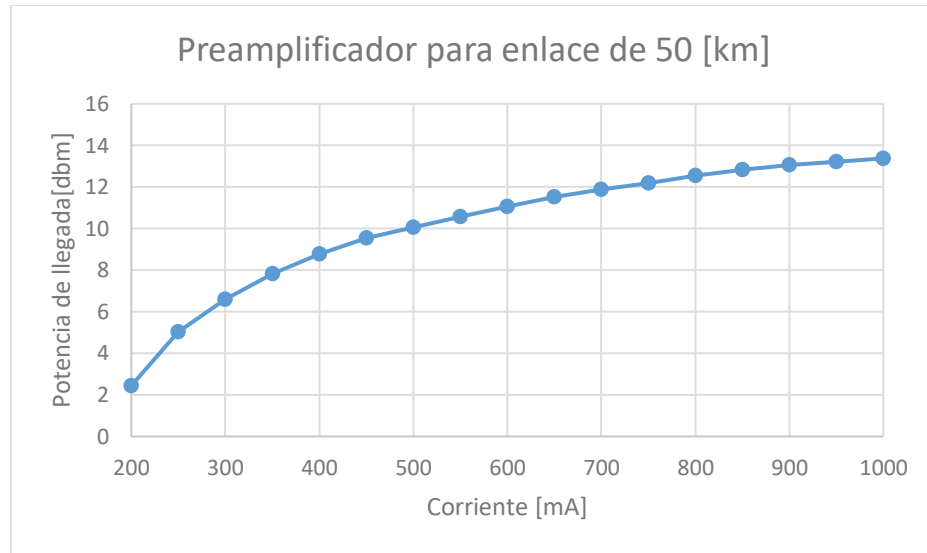


Figura 2-34 Curva de amplificación para enlace de 50 [km]

3 Experiencias de laboratorio

3.1 Diseño del test

Antes de realizar talleres prácticos a un grupo de alumnos es importante medir qué es lo que saben, qué es lo que no recuerdan y qué es lo que ignoran. De igual manera, para validar la eficacia de los talleres, corresponde medir cuanto fue lo que aprendieron en el transcurso de estos. Para ello es necesaria la aplicación de un instrumento de evaluación apropiado a lo que se quiere medir. Es para esto que se diseñó un test de alternativas, el cual se le aplicará al grupo de alumnos antes y después de realizar los talleres, y de esta forma poder medir la efectividad de los talleres en cuanto a la enseñanza de conocimientos y habilidades.

Se diseñó el test ajustando los conceptos y conocimientos proyectados a las experiencias prácticas que se realizarán. El test se dividió en 4 secciones las cuales se muestran a continuación:

- Fibra óptica en general
- OTDR
- OSA
- EDFA

Se tiene un total de 38 preguntas, cada ítem del test tiene 13, 6, 5 y 14 preguntas respectivamente, las cuales se exponen en el apéndice A, la cantidad de preguntas por sección es proporcional a la importancia de esta.

Para la realización de cada pregunta se tomó en cuenta el no dar indicios sobre la solución, ni en la misma pregunta ni en otras, también se consideró importante el no encadenar preguntas y el uso de un lenguaje preciso, a modo de facilitar la lectura.

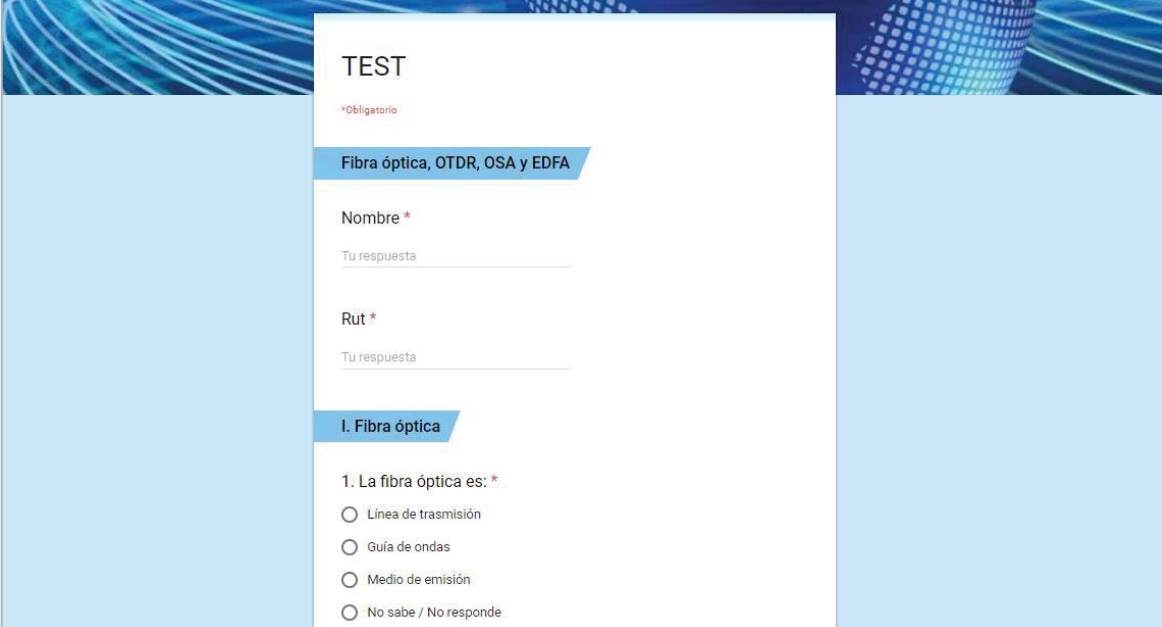
Cada pregunta consta de cuatro alternativas, las cuales presentan las siguientes opciones de respuesta:

- Respuesta correcta
- Distractor (respuesta incorrecta pero similar a la solución)
- Respuesta incorrecta
- Respuesta omitida

Se decide colocar una opción de omitir respuesta con el objetivo de evitar que el alumno responda de manera aleatoria cuando este no sepa la respuesta correcta, puesto que dicha práctica provocaría errores a la hora de validar los talleres, causando que los cálculos de respuestas totales buenas e incorrectas no sean con datos verídicos.

Una vez diseñado el test, el cual se expone en el apéndice A, se buscan herramientas disponibles para obtener aplicar el test y obtener los resultados de las respuestas de los alumnos. Se descarta la opción de aplicar el test en forma física, puesto que imposibilita la obtención de resultados en tiempo real, y traspasar las respuestas una a una a un documento de Excel resulta tedioso e ineficiente.

Dentro de las otras posibles herramientas se encontraron páginas web que dan servicios para realizar tipos de encuestas, las cuales se personalizan por el usuario. Se elige ocupar el servicio gratuito de Google Docs. [25], que permite la realización de formularios online, con disponibilidad de resultados en tiempo real y tabulados una hoja de cálculos de Excel lo cual facilita el análisis de las respuestas. Una captura de pantalla del formulario online [26] se muestra en la Figura 3-1.



TEST

*Obligatorio

Fibra óptica, OTDR, OSA y EDFA

Nombre *

Tu respuesta

Rut *

Tu respuesta

I. Fibra óptica

1. La fibra óptica es: *

Línea de transmisión

Guía de ondas

Medio de emisión

No sabe / No responde

Figura 3-1 Captura de pantalla del test

3.2 Resultados test inicial

Se reunió un grupo de siete alumnos de la carrera Ingeniería Civil Electrónica de la PUCV, los cuales cumplen el requisito de haber cursado y aprobado los cursos EIE458 Telecomunicaciones y EIE543 Sistemas de telecomunicaciones por lo que se asume que ya tienen conocimientos básicos de fibra óptica.

El test inicial se aplicó al grupo de alumnos antes de realizar los talleres prácticos con el fin de evaluar los conocimientos que adquirieron durante los cursos obligatorios, los resultados del test inicial se tabularon en una hoja de cálculo la cual se aprecia en la Figura 3-2.

	E	F	G	H	I	J	K	L
1 La fibra óptica es:								
2 La fibra óptica está hecha de:								
3 Los principales tipos de fibra óptica son:								
4 La fibra óptica está hecha de:								
5 La fibra óptica está hecha de:								
6 La fibra óptica está hecha de:								
7 La fibra óptica está hecha de:								
8 La fibra óptica está hecha de:								
9 La fibra óptica está hecha de:								
10 La fibra óptica está hecha de:								

Figura 3-2 Captura de pantalla de la hoja de cálculo con las respuestas del test

En una primera instancia se analizaron todas las preguntas del test en conjunto, se obtuvieron un total de 266 respuestas considerando las 38 preguntas de los 7 alumnos, en la Figura 3-3 se graficaron la totalidad de respuestas buenas, malas y omitidas. Se aprecia que si bien la cantidad de respuestas malas es relativamente baja (52 respuestas), la cantidad de respuestas omitidas (112 respuestas) supera a las de respuestas buenas (102 respuestas). Esto indica que los alumnos saben o recuerdan poca información relacionada al área de fibra óptica y su instrumentación, y que tienen muy pocos conocimientos relacionados a los EDFAs.

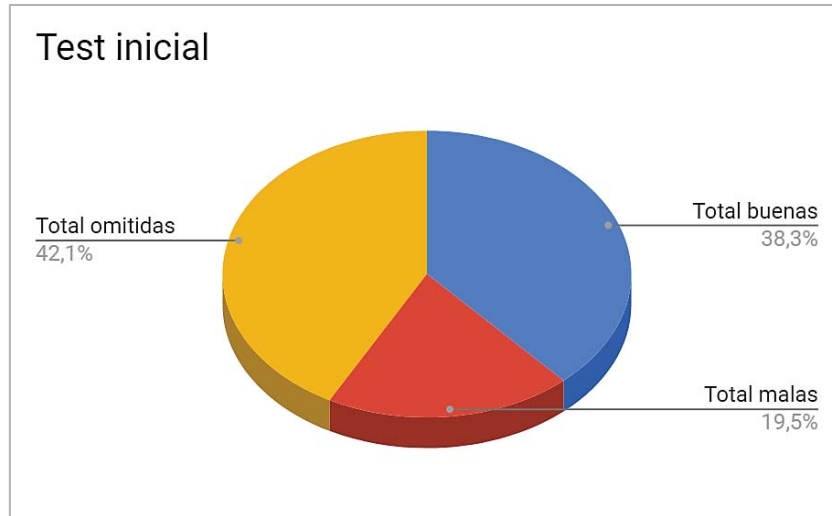


Figura 3-3 Resultados del test inicial

En un segundo análisis se separaron las preguntas en las dos secciones dependiendo si a los conocimientos a los que apuntan las preguntas se adquieren en clases o en la práctica, a continuación, se muestran las preguntas de cada sección:

- Conocimientos adquiridos en clases: 1, 2, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 y 36.
- Conocimientos adquiridos en la práctica: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 19, 35, 37, y 38.

Las gráficas de cada sección se pueden apreciar en la Figura 3-4 y Figura 3-5 respectivamente. Se observa que la mayoría de respuestas correctas corresponden a los conocimientos teóricos adquiridos en clases y que la mayor cantidad de preguntas omitidas corresponden a los conocimientos adquiridos en la práctica. Se puede concluir que los conocimientos de fibra óptica adquiridos en los cursos de telecomunicaciones de la EIE son en su mayoría teóricos y básicos, generando un déficit en habilidades prácticas.



Figura 3-4 Resultados de preguntas orientadas a conocimientos de clases



Figura 3-5 Resultados de preguntas orientadas a conocimientos de la práctica

3.3 Diseño taller N°1

Ante el déficit de conocimientos y habilidades relacionadas a la fibra óptica y en particular al uso de EDFAs, se deben diseñar los talleres prácticos orientados a mejorar estos déficits. Para ello se realizó un emparejamiento entre los objetivos que se quieren alcanzar con el taller, y las actividades que se realizarán para cumplir con estos, los cuales se aprecian en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Emparejamiento entre objetivos y actividades para el primer taller

Objetivos	Actividades
Identificar las principales diferencias entre tipos de fibras, conectores y pulidos.	Utilizar el adaptador adecuado para conectar dos conectores FC, dos conectores SC y finalmente un conector FC con un conector SC. Describir cómo identificar cada conector y cuál es el método para unirlos.
Medir correctamente usando un OTDR y sonda FIP.	Encender el OTDR y conectar la FIP. Comprobar el estado de limpieza de todos los conectores y puertos a utilizar. Adjuntar imágenes de los conectores antes y después de la limpieza.
Manipular correctamente fibra óptica e instrumentación.	Montar un Set up y medir las pérdidas de los conectores con el uso del OTDR. Adjuntar la imagen de la traza del OTDR.
Comprender características y funcionamiento de un EDFA como amplificador de línea.	Montar un Set Up para medir el ruido ASE.
Medir correctamente usando un OSA.	Montar un Set Up para usar el EDFA como amplificador de línea. Obtener su curva de amplificación variando la corriente de bombeo.

Una vez definidos los objetivos y las actividades a realizar se procede a elaborar la guía que se aplicará al grupo de alumnos, la cual se observa en el apéndice B. Para facilitar la evaluación de la guía y hacer más simple adjuntar las imágenes solicitadas, se traspasó la guía a un formulario de Google Docs. [27] como se observa en la Figura 3-6. Se diseña una guía para el ejecutor del taller la cual cuenta con las respuestas de la guía de laboratorio e indicaciones para la correcta realización del taller.

Previo a aplicar el taller se les realizó una breve introducción orientada a cómo se manipulan los instrumentos y cuáles son los cuidados que se deben tener con la fibra óptica, también se les describió la función y las características del EDFA, luego se separaron a los alumnos en dos grupos los cuales trabajaron en equipo, turnándose las actividades a realizar, con el fin de que todos ellos puedan manipular la fibra óptica y la instrumentación, y de esta manera tener un mejor aprendizaje de conocimientos y habilidades.

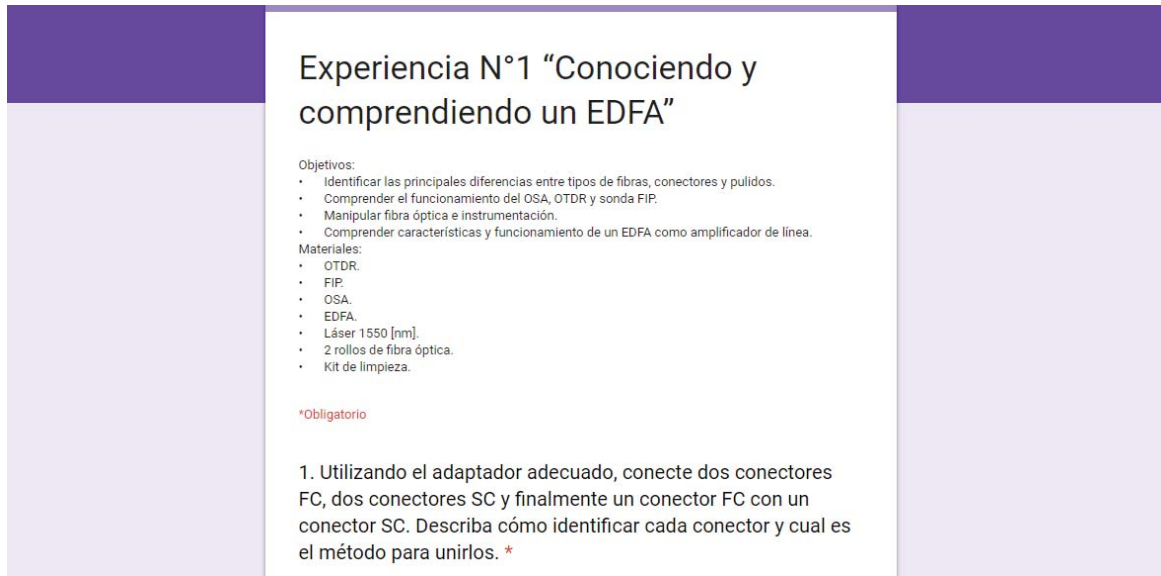


Figura 3-6 Captura de pantalla del taller N°1

3.4 Diseño taller N°2

Considerando que los estudiantes aprendieron habilidades y conocimientos relacionados el manejo correcto de fibra óptica, mediciones con instrumentación e implementación de un EDFA en el primer taller, se diseña la segunda experiencia de laboratorio orientada a poner en práctica y reforzar lo aprendido, además, se incluyen en este taller los conocimientos que faltaban abordar respecto a los tipos de EDFAs.

Para diseñar el taller se realiza un emparejamiento entre los objetivos que se quieren alcanzar y las actividades que se realizarán para cumplir con los objetivos propuestos, el cual se aprecia en la Tabla 3-2.


Tabla 3-2 Emparejamiento de objetivos y actividades para el segundo taller

Objetivos	Actividades
Manipular correctamente fibra óptica e instrumentación.	Montar una serie de Set Ups y medir la potencia recibida en un analizador de espectro óptico.
Conocer, identificar e implementar los tipos de EDFA.	Montar Set Ups implementando un EDFA como Booster y como pre amplificador, obteniendo su curva de amplificación. Calcular la curva de ganancia del EDFA.

Una vez definidos los objetivos y actividades se procede a elaborar la guía completa que se aplicará a un grupo de estudiantes, la cual se observa en el apéndice D. Adicionalmente se diseñó

una guía para el ejecutor del taller la cual se aprecia en el apéndice E, esta guía contiene indicaciones y las respuestas al taller. Para aplicar la guía, a diferencia de la guía y test anterior, se realizará de manera física puesto que en los cuestionarios online utilizados no es posible adjuntar tablas para completar. En la Figura 3-7 se aprecia una captura de la guía que deben desarrollar los alumnos.

Para este taller se pensó en que los alumnos trabajen por su cuenta, siempre bajo la supervisión del ejecutor el cual debe guiar el taller según lo indicado en la guía del ejecutor.



ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
LABORATORIO DE FIBRAS ÓPTICAS

Experiencia N°2 EDFA **"Tipos el EDFA"**

Nombre: _____
Rut: _____ Fecha: _____

Objetivo:

- Conocer, identificar e implementar los tipos de EDFA.
- Manipular correctamente fibra óptica e instrumentación.

Materiales:

- OSA.
- EDFA.
- Láser 1550 [nm].
- 2 rollos de fibra óptica.
- Kit de limpieza.
- Adaptadores FC-FC, SC-SC y SC-FC

Actividad Práctica:

1. Montar los Set Ups de las Figura 1, Figura 2 y Figura 3 y medir la potencia recibida en el OSA para completar la Tabla 1.




Figura 1 Enlace 0 [km].

Nota: La potencia recibida en el OSA corresponde a la potencia de entrada al EDFA para un ~~Booster~~ de 25 y 50 [km].

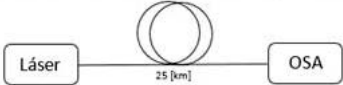



Figura 2 Enlace 25 [km].

Nota: La potencia recibida en el OSA corresponde a la potencia de entrada al EDFA para un pre amplificador de 25[km]



DAPN/252018

Figura 3-7 Taller N°2 Guía de alumnos

3.5 Resultados test final

Luego de que al mismo grupo de siete alumnos a los cuales se les aplicó el test inicial y realizaron ambos talleres prácticos se les volvió a aplicar el test, esta vez para evaluar los conocimientos y habilidades que adquirieron durante el transcurso de las experiencias de laboratorio y contrastarla con lo que aprendieron en los cursos obligatorios dictados. Al test se le añadió una

pregunta de retroalimentación para conocer la opinión personal de los alumnos con respecto a los talleres.

En un primer análisis global, se consideran las 38 preguntas del test de los 7 alumnos, teniendo un total de 266 respuestas, en la Figura 3-8 se aprecia la gráfica que contempla las respuestas buenas, malas y omitidas. Se aprecia que la cantidad de respuestas correctas (218 respuestas) es superior comparada con la cantidad de respuestas malas (44 respuestas), siendo casi 5 veces más. La cantidad de respuestas omitidas es muy baja, teniendo solo 4 respuestas omitidas.

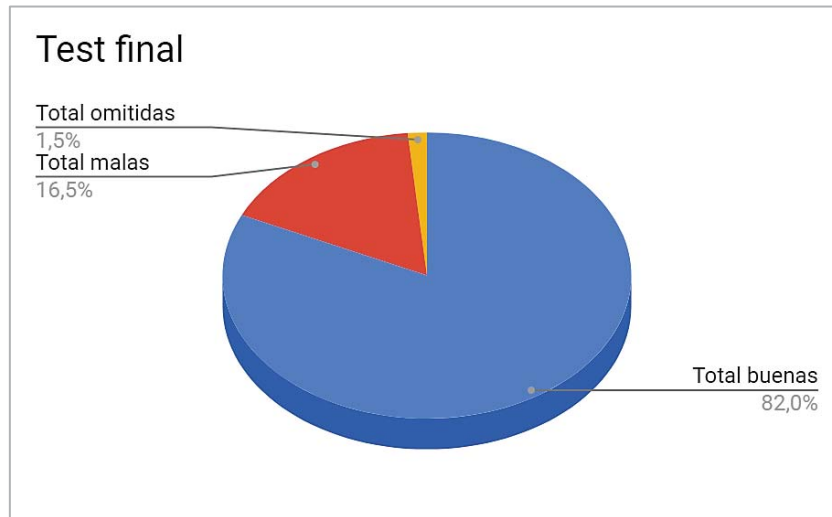


Figura 3-8 Resultados test final

En un segundo análisis, al igual que en el análisis del test inicial, se separaron las preguntas en las dos secciones dependiendo si a los conocimientos a los que apuntan las preguntas se adquieren en clases o en la práctica, a continuación, se muestran las preguntas de cada sección:

- Conocimientos adquiridos en clases: 1, 2, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 y 36.
- Conocimientos adquiridos en la práctica: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 19, 35, 37, y 38.

Las gráficas de la sección de conocimientos teóricos y conocimientos prácticos se pueden apreciar en la Figura 3-9 y Figura 3-10 respectivamente. Se aprecia que en ambas secciones la cantidad de respuestas buenas supera ampliamente a la cantidad de respuestas malas y que la cantidad de respuestas omitidas es mínima. Para el caso de los conocimientos teóricos se obtuvo solo una omisión, 126 respuestas buenas y 34 respuestas malas, en cuanto a los conocimientos prácticos se obtuvieron 3 omisiones, 92 respuestas buenas y 10 respuestas malas.

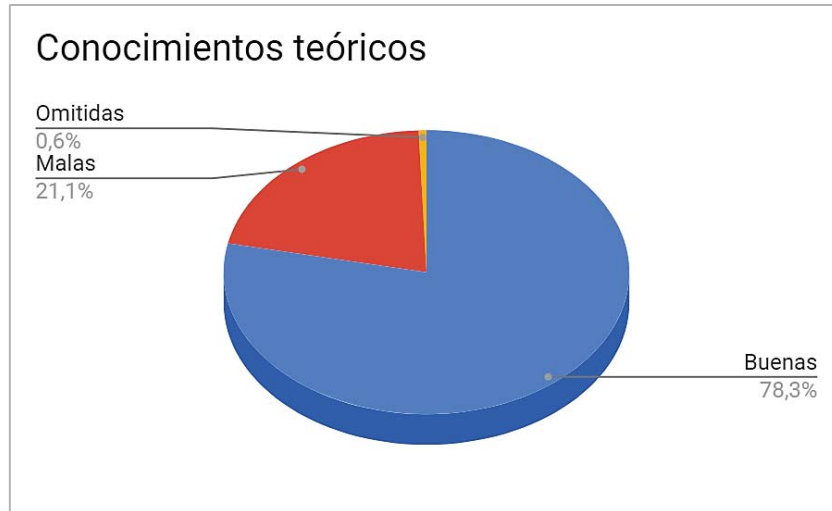


Figura 3-9 Resultados de preguntas orientadas a conocimientos de clases

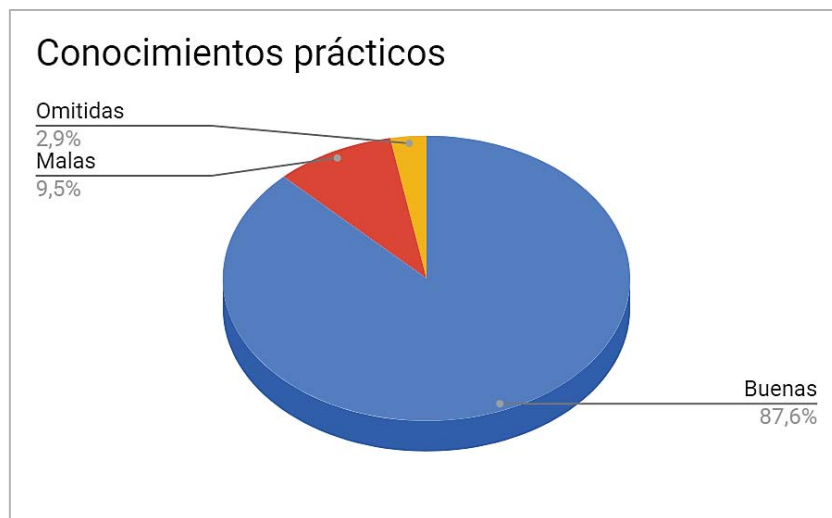


Figura 3-10 Resultados de preguntas orientadas a conocimientos de la práctica

En la retroalimentación los alumnos indicaron que quedaron muy conformes con el desarrollo de los talleres, recalcando la importancia de tener actividades prácticas, puesto que estas facilitan mucho el aprendizaje y motivan más al estudio. Les resultó muy útil para aprender habilidades prácticas y teóricas relacionadas a los EDFAs, y reforzaron los conocimientos aprendidos en las clases.

En cuanto a lo negativo de los talleres se indicó la falta de tiempo para realizar estos, puesto que las guías presentan muchas actividades, es por esto que se propone dividir las experiencias en cuatro talleres, siendo el primero de modo introductorio al manejo correcto de la fibra óptica e instrumentación, y los tres talleres restantes para cada uno de los tipos de implementación de un EDFA (Booster, amplificador de línea y pre amplificador).

3.6 Contraste de resultados

Una vez aplicado el test inicial y el test final es importante contrastar los resultados para validar la eficacia de los talleres en cuanto a la enseñanza de conocimientos y habilidades. Para esto en una primera instancia, al igual que en los análisis anteriores, se compararon la totalidad de respuestas buenas, malas y omitidas, la gráfica comparativa se puede apreciar en la Figura 3-11. Se aprecia que la cantidad de respuestas buenas aumento a más del doble (113,72%) y las omisiones bajaron considerablemente (-96,43%) en el test final. La cantidad de respuestas malas disminuyeron en baja proporción (-15,38%).

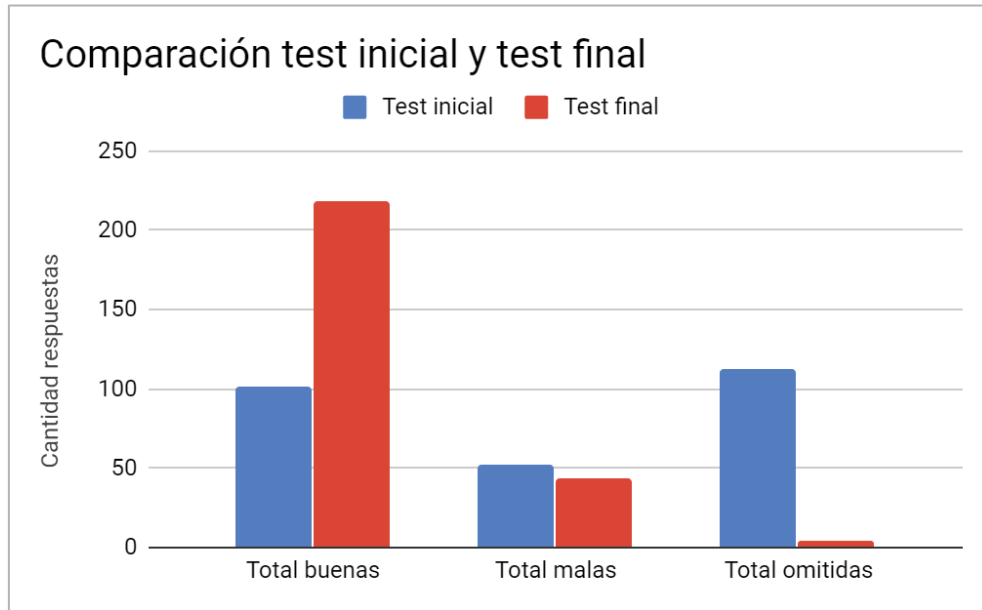


Figura 3-11 Comparación totalidad de respuestas del test inicial y test final

El segundo análisis corresponde a separar las preguntas dependiendo si estas apuntan a los conocimientos que se adquieren en clases o en la práctica. Se compararon ambas secciones entre el test inicial y el test final, la gráfica comparativa de las preguntas apuntadas a conocimientos teóricos se aprecia en la Figura 3-12 y la gráfica comparativa de las preguntas de conocimientos teóricos en la Figura 3-13.

Se puede observar que en las preguntas orientadas a conocimientos teóricos tuvo una importante disminución en la cantidad de respuestas omitidas (-98%), y un gran aumento en la cantidad de respuestas correctas (75%), la cantidad de incorrectas disminuyó en baja proporción (-12,82%). En cuanto a las preguntas orientadas a los conocimientos prácticos sucede algo similar, un drástico aumento en la cantidad de respuestas correctas (206,67%), una importante disminución en la cantidad de respuestas omitidas (-95,16%) y una leve baja en la cantidad de respuestas incorrectas (-23%).

Se puede concluir que los alumnos antes de realizar los talleres carecían de ciertos conocimientos, en mayor proporción en los conocimientos apuntados a lo práctico, reflejando esta carencia en

la gran cantidad de omisiones que respondieron en un principio, también se observa que recordaban poco de los conocimientos que debieron haber adquirido durante los cursos obligatorios dictados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, se puede observar en la cantidad de respuestas incorrectas y omitidas.

Luego de haber realizado los talleres prácticos propuestos se observó una clara mejora en la resolución del test, reforzando los conocimientos teóricos y prácticos, lo cual se refleja en que las preguntas que se omitieron en el primer test, pasaron a ser respuestas buenas en el test final, así mismo con un porcentaje de las respuestas incorrectas. El mayor cambio se observa en los conocimientos adquiridos en la práctica y los conocimientos relacionados a los EDFAs.

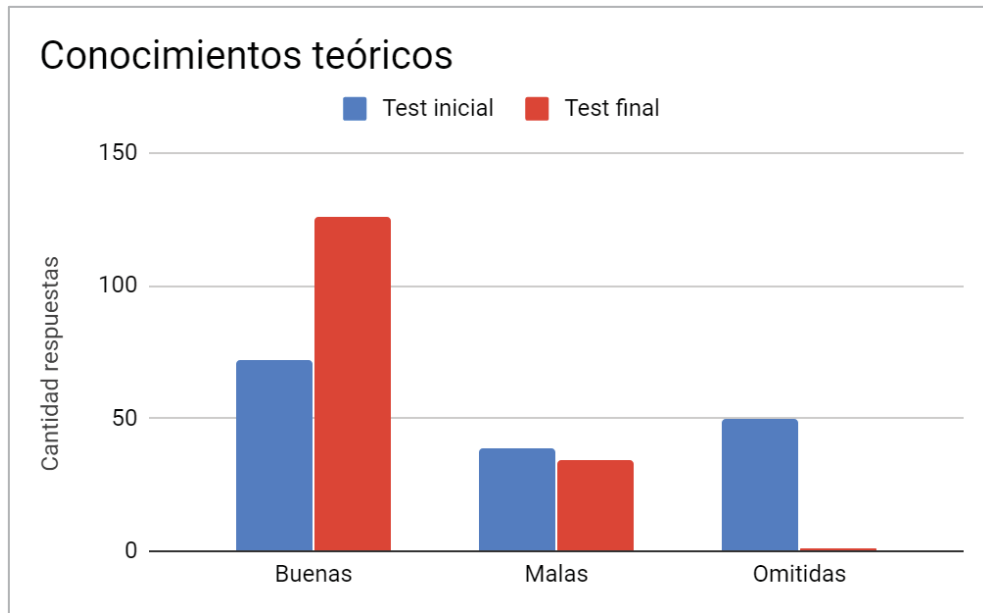


Figura 3-12 Comparación de preguntas orientadas a conocimientos de clases

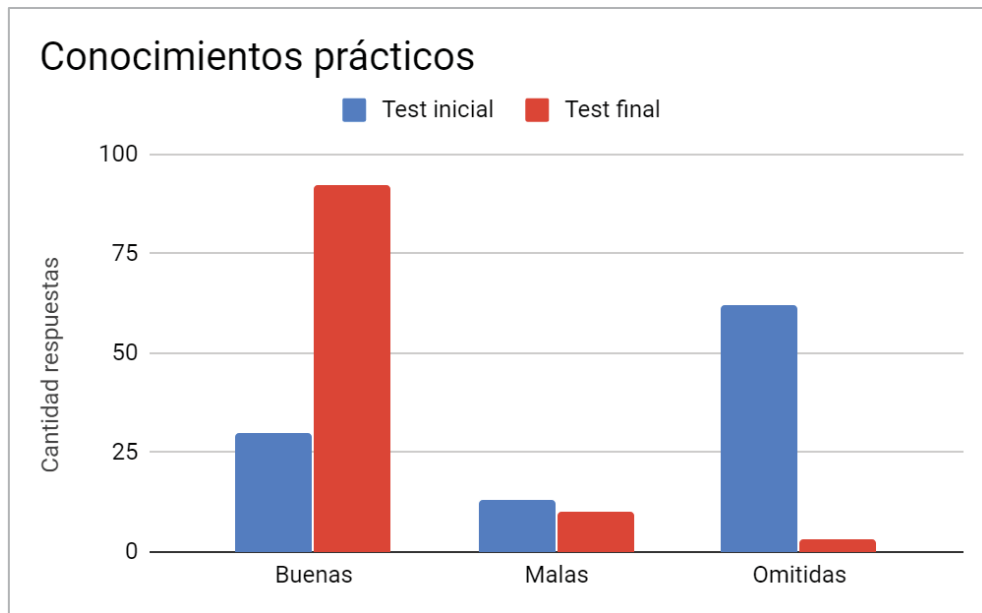


Figura 3-13 Comparación de preguntas orientadas a conocimientos de la práctica

Discusión y conclusiones

Dado el drástico crecimiento de las redes ópticas por el constante aumento en la demanda de información, han surgido proyectos de instalación de redes troncales de fibra por parte de instituciones públicas y privadas, se hace evidente la necesidad de especialistas en el diseño de estas y en la implementación de amplificadores ópticos para asegurar la buena recepción de la señal.

La escasez de laboratorios de telecomunicaciones en Chile que posean específicamente área de fibra óptica para obtener conocimiento y poder enseñar sobre el diseño de enlaces y redes ópticas es una gran debilidad a la hora de formar profesionales que puedan aportar al desarrollo del país. Se hace necesario implementar experiencias docentes de laboratorio con el uso de un EDFA para reforzar esa debilidad de formación de perfiles profesionales especializados, y así de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso egresen profesionales con conocimientos tanto teóricos como prácticos de problemáticas reales en el diseño de redes ópticas y en el uso de amplificadores ópticos EDFAs, entrando a la competencia con los homólogos de otras instituciones y teniendo visión de futuro aportando al desarrollo del país y su revolución tecnológica.

La adquisición de un EDFA modelo 100S de la marca Thorlabs es parte del proceso de renovación del laboratorio de telecomunicaciones de la Escuela de Ingeniería Eléctrica. Esta adquisición genera la oportunidad de seguir adquiriendo conocimientos en el área de fibra óptica, con la posibilidad de generar nuevas experiencias de laboratorios y experimentación, y con esto, enseñar y capacitar sobre su funcionamiento y aplicación.

Se estudió en profundidad el funcionamiento del EDFA tanto a nivel atómico, considerando el método de la generación de emisión espontánea de luz con los átomos de Erblio, como a nivel óptico, entendiéndose como es la multiplexación de la señal de bombeo y la portadora, la aislación y filtrado para obtener una amplificación de alta ganancia y baja figura de ruido.

Se analizó y comprendió el funcionamiento del EDFA 100S, estudiando su hoja de datos para considerar sus especificaciones técnicas más importantes para su uso, como es su ventana de operación, la máxima potencia de entrada y salida, los tipos de conectores que posee y el tipo de fibra óptica para el cual está diseñado.

Se caracterizó el amplificador óptico obteniendo sus parámetros más importantes, como es su espectro de ganancia en su ventana de operación, su relación de potencia de entrada y salida y su ganancia, además de midió la potencia de ruido ASE generado por el EDFA. De estas mediciones se concluye que su ventana de operación va desde los 1530 [nm] a los 1560 [nm], posee una máxima ganancia de 33,1 [dB] para 1000 [mA] de corriente de bombeo y posee una baja potencia de ruido, menor a 0,5 [mW].

Adicionalmente, teniendo en cuenta que los conectores de los rollos de fibra óptica con los que cuenta el laboratorio no eran los óptimos para conectarlos al EDFA, se obtuvo la pérdida por conector que se genera al juntar un conector PC con uno APC. Se propone adquirir jumpers FC/PC a FC/APC para obtener el óptimo desempeño del EDFA, de negarse esta propuesta se puede aprovechar esta falencia para desarrollar una experiencia de laboratorio dedicada a enseñar sobre este tipo de problema.

Se diseñaron cinco Set Ups para implementar el EDFA y obtener sus curvas de amplificación, en enlaces de 25 y 50 [km]. Primeramente, se utilizó el EDFA como un amplificador óptico tipo Booster, es decir que se coloca al inicio del enlace, justo después del transmisor, luego se implementó como amplificador de línea, ubicándolo en medio del enlace, y finalmente se empleó como un pre-amplificador, conectándolo al final del enlace, justo antes del receptor. Se obtuvieron las curvas de amplificación para cada Set Up, variando la corriente de bombeo del láser del EDFA, de 50 [mA] cada vez y midiendo la integral de la potencia del canal con un OSA. Comparando las potencias recibidas se concluye que la mejor aplicación del EDFA 100S es de pre-amplificador, comprobando las especificaciones de la hoja de datos la cual dice que este modelo fue diseñado para esta utilidad.

Se diseñó un test con el fin de validar la eficacia de los talleres prácticos, para esto las preguntas del test se dividieron en cuatro secciones las cuales son fibra óptica, OTDR, OSA y EDFA, con 13, 6, 5 y 14 preguntas respectivamente, teniendo un total de 38 preguntas. Cada pregunta tiene cuatro posibles respuestas, una respuesta buena, dos incorrectas de las cuales una de ella es un distractor (respuesta similar a la correcta), y una respuesta omitida, se decide añadir esta última opción con el fin de evitar que los alumnos respondan de manera aleatoria. Se buscó la forma de aplicar el test, descartando la opción de tomarlo en forma física por su poca practicidad. Se decidió tomar el test de manera online a través de un formulario de Google Docs. Puesto que presenta las ventajas de entregar los resultados en tiempo real y tabulados en una hoja de cálculo, esto último facilita el análisis de las respuestas.

Se reunió a un grupo de siete alumnos de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la PUCV, con el requisito de haber aprobado las asignaturas de telecomunicaciones y sistemas de telecomunicaciones, esto para asegurar que tengan algún conocimiento sobre fibra óptica. Se aplicó el test antes de realizar los talleres, con el fin de medir qué conocimientos adquirieron en los cursos, y qué conocimientos y habilidades carecen. Considerando el total de preguntas se obtuvo 266 respuestas, de las cuales 52 fueron incorrectas, 112 omitidas y 102 buenas, lo cual indica que los conocimientos y habilidades que carecen son mayor comparado a lo aprendido en clases y en general poseen pocos conocimientos relacionado a los EDFAs. Se analizaron las

respuestas separando en dos categorías dependiendo si los conocimientos a los que apuntan las preguntas se adquieren en clases o en la práctica. De este análisis se desprende que la mayoría de las respuestas correctas corresponden a los conocimientos adquiridos en clases, y la mayoría de preguntas erradas u omitidas están relacionadas a los conocimientos que se aprenden en la práctica, dejando en evidencia la falta de habilidades prácticas enseñadas en los cursos de telecomunicaciones y lo poco que se abarca el tema relacionado a los EDFAs.

Se diseñó un primer taller enfocado a mejorar las carencias de conocimiento y habilidades relacionados a la fibra óptica y su instrumentación y en particular al uso de EDFAs. Se definen los objetivos que se quiere alcanzar con el taller y las actividades que se realizarán para cumplir dichos objetivos. Dentro de este taller se abarcan conocimientos y habilidades relacionadas a la manipulación de fibra óptica, uso de OTDR, FIP, OSA y la implementación de un EDFA como amplificador de línea. El taller se aplicó al grupo de alumnos que rindieron el test inicial, separándolos en dos equipos los cuales turnaban a todos sus integrantes a la hora de realizar las actividades, asegurándose de que todos manipulen la fibra óptica y la instrumentación para así mejorar sus habilidades y conocimientos prácticos. La aplicación de la guía del taller se realizó mediante un cuestionario de Google Docs. Para tener registro de las respuestas de los alumnos.

Se diseñó un segundo taller práctico enfocado a reforzar los conocimientos y habilidades adquiridas durante la primera experiencia de laboratorio y además enseñar nuevos conocimientos relacionados a los tipos de EDFAs y su implementación. Este segundo taller se pensó para que los alumnos trabajen por su cuenta, bajo la supervisión del ejecutor. Se definieron los objetivos y actividades relacionadas a estos para diseñar la guía de laboratorio. Se elaboró una guía de laboratorio con actividades para que los alumnos desarrollen y una guía para el ejecutor que dictará el taller con indicaciones y respuestas de la experiencia de laboratorio. La guía se aplicó en formato físico al mismo grupo de alumnos que desarrollaron el primer taller.

Una vez los alumnos desarrollaran las dos experiencias de laboratorio se les aplicó el test final para validar la eficacia de los talleres en cuanto la enseñanza de conocimientos y habilidades. Se les aplicó el mismo test inicial, añadiendo una pregunta de retroalimentación. El resultado fue una evidente mejora en la resolución del test, obteniendo una gran cantidad de respuestas correctas (218 respuestas) y disminuyendo al mínimo la cantidad de respuestas omitidas (4 respuestas), la cantidad de respuestas incorrectas (44 respuestas) es baja comparado a las respuestas correctas. En la retroalimentación los alumnos indicaron que las experiencias de laboratorio fueron de gran ayuda a la otra de adquirir conocimientos y habilidades relacionados al EDFA y también les ayudó a reforzar los conocimientos que habían adquirido en clases, indicaron que es importante tener actividades prácticas, puesto que estas facilitan mucho el aprendizaje y motivan más al estudio.

Se compararon los resultados del test inicial y el test final a modo de validar la eficacia de los talleres en la enseñanza de conocimientos y habilidades relacionados a los EDFAs y a la fibra óptica e instrumentación en general. Considerando las 38 preguntas del test, de los 7 alumnos, se obtuvo un aumento del 113,72% en las respuestas correctas, y una disminución del 96,43% en las omisiones, las respuestas incorrectas disminuyeron en un 15,38%. Al analizar las preguntas que

apuntes a los conocimientos de carácter teórico se obtuvo un aumento en las preguntas correctas de un 75% y las preguntas incorrectas y omitidas disminuyeron en un 12,82% y 98% respectivamente, en cuanto a las preguntas de carácter práctico se obtuvo un drástico aumento en las respuestas correctas, con un crecimiento de 206,67%, las preguntas incorrectas disminuyeron en un 23% y las omisiones en un 95,16%. Luego de haber realizado los talleres prácticos propuestos se observó una clara mejora en la resolución del test, reforzando los conocimientos teóricos y prácticos, lo cual se refleja en que las preguntas que se omitieron en el primer test, pasaron a ser respuestas buenas en el test final, así mismo con un porcentaje de las respuestas incorrectas. El mayor cambio se observa en los conocimientos adquiridos en la práctica y los conocimientos relacionados a los EDFAs.

En el trabajo futuro se propone separar las experiencias de laboratorio en 4 talleres, el primero introductorio, un taller de EDFA tipo booster, uno de amplificador de línea y un último taller de pre amplificador, esto por lo extenso que resultaron las experiencias de laboratorio al juntar muchas actividades en solo dos talleres. Se debe seguir con la validación de los talleres, aplicándolos en más alumnos y evaluando la eficacia de estos en la enseñanza de conocimientos y habilidades. Una vez validado los talleres se propone añadir las experiencias de laboratorio a un curso de redes ópticas.

Bibliografía

- [1] C. Valero, «ADSL Zone,» 8 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.adslzone.net/2017/06/08/20170608internet-2021/>. [Último acceso: Abril 2018].
- [2] SUBTEL, «Misión y Visión,» [En línea]. Available: <https://www.subtel.gob.cl/quienes-somos/mision-y-vision-2/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [3] SUBTEL, *BALANCE DE GESTIÓN INTEGRAL AÑO 2017*, 2017.
- [4] J. C. Romero y W. O. Sulcami Ramos, «Sistemas de transmisión por fibra optica,» 2007.
- [5] PriMetrica, Inc., 2018. [En línea]. Available: <https://www2.telegeography.com/submarine-cable-faqs-frequently-asked-questions>. [Último acceso: Abril 2018].
- [6] Huawei Technologies Co.,Ltd., 2017. [En línea]. Available: http://www.huawei.com/minisite/gci/en/country_rankings.html. [Último acceso: abril 2018].
- [7] SUBTEL, «Sector Telecomunicaciones Tercer Trimestre 2017,» 2017.
- [8] SUBTEL, 21 Octubre 2017. [En línea]. Available: <http://www.subtel.gob.cl/gobierno-destaco-los-beneficios-que-la-fibra-optica-austral-tendra-en-la-patagonia/>. [Último acceso: Abril 2018].
- [9] R. & M. G. Consultor, «Diseño técnico de la troncal nacional de infraestructura de telecomunicaciones (TNIT) de fibr ótica requerido para las necesidades de la industria 4.0,» Santiago, 2017.
- [10] Universidad de Cantabria, «Grupo de ingeniería fotónica,» [En línea]. Available: <http://gif.teisa.unican.es/>. [Último acceso: 2018].

-
- [11] Universitat Politècnica de Catalunya, «OFLAB,» [En línea]. Available: <https://www.upc.edu/content/master/guiadocent/pdf/esp/230697>. [Último acceso: 2018].
- [12] Universidad nacional de Córdoba, «Laboratorio de comunicaciones digitales,» [En línea]. Available: <http://lcd.efn.unc.edu.ar/sitio/>. [Último acceso: 2018].
- [13] Universidad de Costa Rica, «Departamento de electrónica y telecomunicaciones,» [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/institution/University_of_Costa_Rica/department/Departamento_de_Electronica_y_Telecomunicaciones. [Último acceso: 2018].
- [14] Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, «Facultad de ciencias de la electrónica,» [En línea]. Available: <https://www.buap.mx/content/facultad-en-ciencias-de-la-electr%C3%B3nica>. [Último acceso: 2018].
- [15] University of Toronto, «Faculty of Applied Science and Engineering,» [En línea]. Available: <https://www.engineering.utoronto.ca/>. [Último acceso: 2018].
- [16] University of Strathclyde, «EEE department,» [En línea]. Available: <https://www.strath.ac.uk/engineering/electricelectricalengineering/>. [Último acceso: 2018].
- [17] Lehigh University, «Physics department,» [En línea]. Available: <https://physics.cas2.lehigh.edu/>. [Último acceso: 2018].
- [18] Helsinki University of Technology, «Optoelectronics Laboratory,» [En línea]. Available: <https://www.nsti.org/directory/org.html?i=980>. [Último acceso: 2018].
- [19] F. CANDIA, «ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES FÍSICAS EN INSTRUMENTOS DEL FRONT END,» 2015.
- [20] C. García, «Análisis de la Tecnología IP sobre WDM,» Valdivia, 2006.
- [21] R. Olivares, W. Grote, C. Henry y F. Saavedra, «Desarrollo de una red experimental IP/WDM,» Valparaíso, 2002.
- [22] F. Saavedra, D. Leonelli y Á. Lamas, «PROPAGACIÓN DE PULSOS ÓPTICOS A TRAVÉS DE AMPLIFICADORES DE FIBRA DOPADA CON ERBIO (EDFA),» Tarapacá, 2005.
- [23] Thorlabs Inc., «EDFA100S and EDFA100P Erbium Doped Fiber Amplifiers Operating Manual,» 2016.

- [24] P. E. Jimenez, DISEÑO DE EXPERIENCIAS DE LABORATORIO BASADAS EN UN AMPLIFICADOR A FIBRA DOPADA CON ERBIO (EDFA), 2015.
- [25] Google, «Google Drive,» [En línea]. Available: <https://drive.google.com>. [Último acceso: Diciembre 2018].
- [26] D. Pavez Navarro, «Diagnóstico sobre fibra óptica, OTDR, OSA y EDFA,» [En línea]. Available: <https://goo.gl/forms/UC2WmQJ0neMCER8x1>. [Último acceso: Diciembre 2018].
- [27] D. Pavez Navarro, «Experiencia N°1 “Conociendo y comprendiendo un EDFA”,» [En línea]. Available: <https://goo.gl/forms/Euhzf7NWx4HJN6q93>. [Último acceso: Diciembre 2018].

A Test

Test

“Diagnóstico sobre fibra óptica, OTDR, OSA y EDFA”

Nombre: _____

Rut: _____ Fecha: _____

I. Fibra óptica

1. La fibra óptica es:
 - a) Línea de transmisión
 - b) Guía de ondas
 - c) Medio de emisión
 - d) No sabe / No responde
2. La fibra óptica está hecha de:
 - a) Cristal
 - b) Dióxido de Silicio
 - c) Acrílico
 - d) No sabe / No responde
3. Los principales tipos de pulido de fibra óptica son:
 - a) PC, UPC, APC
 - b) FC, SC, LC
 - c) RC, FC, APC
 - d) No sabe / No responde
4. Los principales tipos de conectores son:
 - a) PC, APC, UPC
 - b) FC, SC, LC
 - c) Coaxial
 - d) No sabe / No responde
5. La conexión que presenta menos reflexiones internas es:
 - a) APC-APC
 - b) PC-PC
 - c) SC-FC
 - d) No sabe / No responde
6. La peor unión de conectores es:
 - a) PC-UPC

-
- b) PC-PC
 - c) APC-PC
 - d) No sabe / No responde
7. Dos conectores APC/FC se unen:
- a) Insertándolos en un adaptador cuadrado
 - b) Atornillándolos en un adaptador circular
 - c) No se pueden unir
 - d) No sabe / No responde
8. Dos conectores UPC/SC se unen:
- a) Insertándolos en un adaptador cuadrado
 - b) Atornillándolos en un adaptador circular
 - c) No se pueden unir
 - d) No sabe / No responde
9. ¿Cómo se unen un conector APC/FC con un conector UPC/SC?:
- a) Con un adaptador híbrido, conectando el APC/FC por el lado cuadrado y el UPC/SC por el lado circular
 - b) Con un adaptador híbrido, conectando el APC/FC por el lado circular y el UPC/SC por el lado cuadrado
 - c) No se pueden unir
 - d) No sabe / No responde
10. ¿Cuándo se debe limpiar un conector?
- a) Solo cuando está sucio
 - b) No es necesario limpiarlos
 - c) Siempre antes de conectarlos
 - d) No sabe / No responde
11. ¿Con qué se debe limpiar un conector?
- a) Con limpia contactos
 - b) Con cualquier paño húmedo
 - c) Con materiales especiales y alcohol
 - d) No sabe / No responde
12. ¿Por qué se debe tener cuidado al manipular fibra óptica?
- a) Porque cualquier movimiento brusco o torcedura podría cortarla
 - b) No se debe tener cuidado, la fibra no es delicada
 - c) Se debe tener el mismo cuidado que al manipular un cable
 - d) No sabe / No responde

13. Que representa la Figura 0-1:

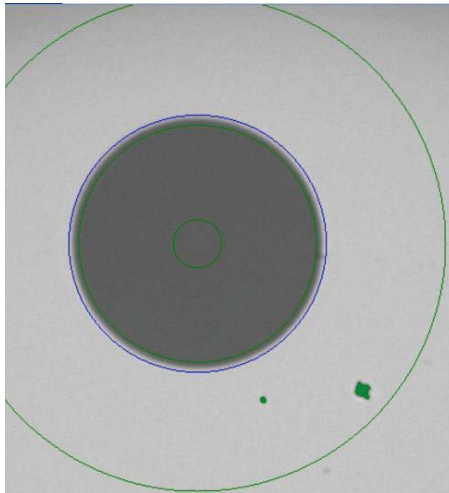


Figura 0-1

- a) Un conector sucio
- b) El núcleo de una fibra óptica
- c) Un conector rallado
- d) No sabe / No responde

II. OTDR

14. ¿Qué significa OTDR? (en español):
 - a) Óptica transportadora de reflexiones
 - b) Reflexión óptica en el dominio del tiempo
 - c) Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo
 - d) No sabe / No responde
15. ¿Cuál es la función principal de un OTDR?
 - a) Diagnosticar y caracterizar la FO
 - b) Medir reflexiones internas de la fibra
 - c) Detectar cortes de la fibra
 - d) No sabe / No responde
16. Un OTDR puede usarse para:
 - a) Estimar longitud de la fibra y tipo de conectores
 - b) Estimar tipo de fibra y ubicación de conectores
 - c) Estimar la longitud de la fibra y atenuación
 - d) No sabe / No responde
17. La gráfica entregada por el OTDR tiene las unidades:
 - a) dB vs Distancia
 - b) dBm vs Distancia
 - c) Tiempo vs Distancia
 - d) No sabe / No responde
18. ¿Qué perillas tiene un OTDR?
 - a) Alcance, tiempo
 - b) Tiempo, potencia y alcance
 - c) Alcance, ancho de pulso y tiempo.

d) No sabe / No responde

19. ¿Qué se puede obtener de la Figura 0-2?:

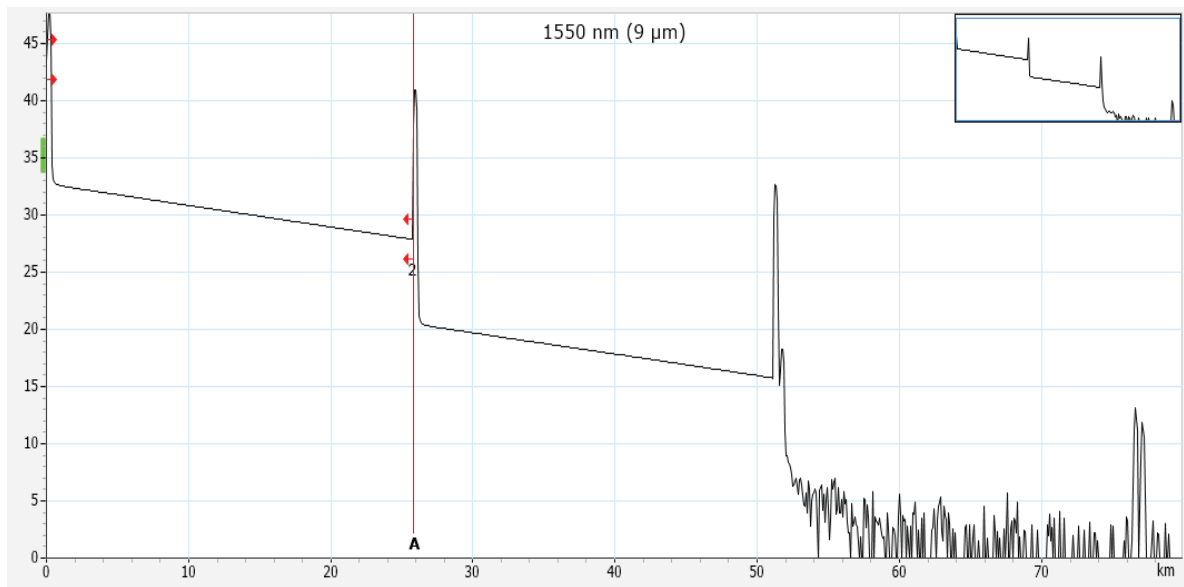


Figura 0-2

- a) La traza de un OTDR
- b) La pérdida por empalme
- c) La potencia de un láser
- d) No sabe / No responde

III. OSA

20. ¿Qué significa OSA? (en español):

- a) Señal analizada ópticamente
- b) Analizador de espectro óptico
- c) Atenuador de espectro óptico
- d) No sabe / No responde

21. ¿Cuál es la función principal de un OSA?

- a) Medir y visualizar el espectro óptico
- b) Medir longitudes de onda
- c) Medir potencia de un láser
- d) No sabe / No responde

22. Un OSA puede usarse para:

- a) Medir ancho de banda y potencia de una señal
- b) Caracterizar señales en cuanto a ancho espectral y potencia
- c) Ver cuantas señales se transmiten
- d) No sabe / No responde

23. La gráfica del OSA tiene unidades de:

- a) dB vs distancia
- b) dBm vs tiempo
- c) dBm vs λ

- d) No sabe / No responde
24. ¿Cuáles son las bandas ópticas que idealmente puede analizar un OSA?
- a) Bandas O, E, S y M
 - b) Bandas del espectro visible
 - c) Bandas comprendidas por CWDM y DWDM
 - d) No sabe / No responde

IV. EDFA

25. ¿Qué significa EDFA? (en español):
- a) Amplificador óptico de fibra
 - b) Amplificador de fibra dopada de Erblio
 - c) Fibra amplificada de Erblio
 - d) No sabe / No responde
26. ¿Cuál es la función principal de un EDFA?
- a) Amplificar señales en una banda específica
 - b) Amplificar señales en todo el espectro
 - c) Filtrar señales amplificadas
 - d) No sabe / No responde
27. ¿Dónde se ubica un EDFA tipo Booster?
- a) Al inicio del enlace, justo después del transmisor
 - b) En medio del enlace
 - c) Al final del enlace, justo antes del receptor
 - d) No sabe / No responde
28. ¿Dónde se ubica un EDFA tipo amplificador de línea?
- a) Al inicio del enlace, justo después del transmisor
 - b) En medio del enlace
 - c) Al final del enlace, justo antes del receptor
 - d) No sabe / No responde
29. ¿Dónde se ubica un EDFA tipo pre amplificador?
- a) Al inicio del enlace, justo después del transmisor
 - b) En medio del enlace
 - c) Al final del enlace, justo antes del receptor
 - d) No sabe / No responde
30. ¿En qué banda opera un EDFA?
- a) En todo el espectro
 - b) En torno a los 1500 [nm]
 - c) En las bandas O, E, S, C y L
 - d) No sabe / No responde
31. Un EDFA puede amplificar:
- a) Solo una señal en su banda de operación
 - b) Señales multiplexadas en su banda de operación
 - c) Cualquier señal de cualquier longitud de onda
 - d) No sabe / No responde
32. La amplificación de un EDFA depende de:
- a) Tipo de modulación de la señal
 - b) Polarización de la señal
 - c) No depende de la modulación o polarización de la señal
 - d) No sabe / No responde
33. Un EDFA puede amplificar señales de ancho de banda:

- a) CWDM
 - b) DWDM
 - c) Independiente del ancho de banda
 - d) No sabe / No responde
34. ¿Qué significa ASE?
- a) Amplificación de señales estimuladas
 - b) Emisión espontánea amplificada
 - c) Emisión de señales amplificadas
 - d) No sabe / No responde
35. La Figura 0-3 representa la curva típica de:

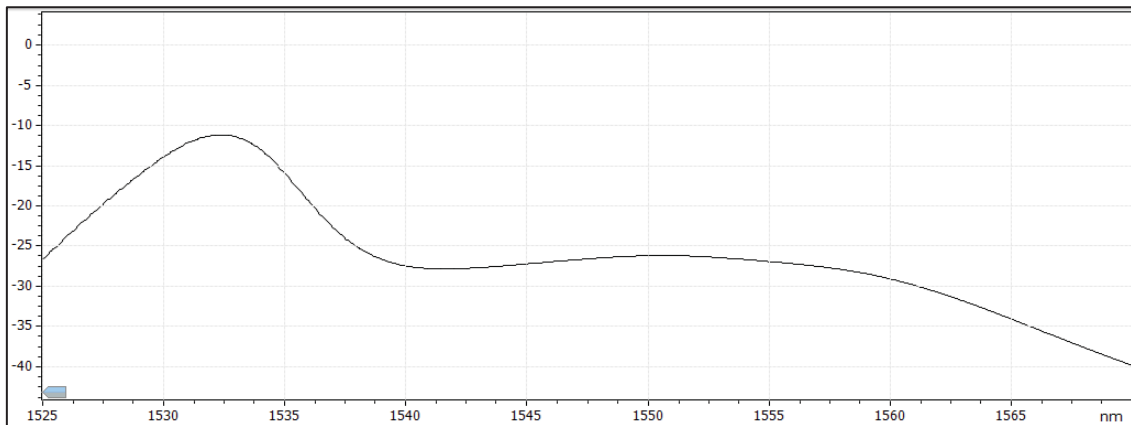


Figura 0-3

- a) Ruido ASE
 - b) Espectro de ganancia del EDFA
 - c) Una señal amplificada
 - d) No sabe / No responde
36. Se utiliza Erblio porque:
- a) Tiene buenas propiedades ópticas, lo que lo hace un buen amplificador
 - b) Al decaer sus electrones excitados liberan fotones en torno a los 1550 [nm]
 - c) A nivel atómico genera cristales que amplifican la luz
 - d) No sabe / No responde
37. ¿Qué pasa si a un EDFA sin señal de entrada se le mide la salida con un OSA?
- a) Se medirá el ruido ASE
 - b) No se medirá nada, pues no tiene entrada
 - c) Se medirá el ruido generado por la luz ambiental
 - d) No sabe / No responde

38. Según la Figura 0-4, con qué potencia llegaría una señal en un enlace de 50 [km] si el EDFA esa ubicado como pre-amplificador, a la entrada de este llegan -9,5 [dBm] y el láser se bombea con 500 [mA].

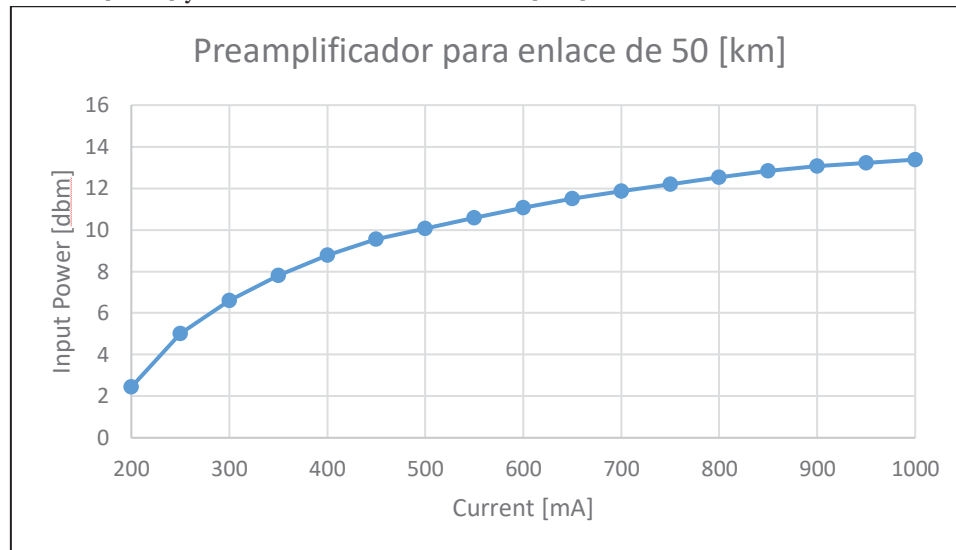


Figura 0-4

- a) 10 [dBm]
- b) 12 [dBm]
- c) 500 [dBm]
- d) No sabe / No responde

B Taller N°1 Guía de alumnos

**Experiencia N°1
EDFA**

**“Conociendo y
comprendiendo un
EDFA”**

**Guía de
alumnos**

Nombre: _____

Rut: _____ Fecha: _____

Objetivos:

- Identificar las principales diferencias entre tipos de fibras, conectores y pulidos.
- Medir correctamente usando un OSA, OTDR y sonda FIP.
- Manipular correctamente fibra óptica e instrumentación.
- Comprender e implementar un EDFA como amplificador de línea.

Materiales:

- OTDR.
- FIP.
- OSA.
- EDFA.
- Láser 1550 [nm].
- 2 rollos de fibra óptica.
- Kit de limpieza.
- Jumpers LC-SC y SC-SC.
- Adaptadores SC-SC, FC-FC y SC-FC.

Actividad Práctica:

1. Utilizando el adaptador adecuado, conecte dos conectores FC, dos conectores SC y finalmente un conector FC con un conector SC. Describa cómo identificar cada conector y cuál es el método para unirlos.

2. Encienda el OTDR y conecte la FIP. Compruebe el estado de limpieza de todos los conectores y puertos a utilizar. Adjunte imágenes de los conectores antes y después de la limpieza.



Figura 0-5. Conector sucio



Figura 0-6. Conector limpio

3. Monte el Set Up de la Figura 0-7 y mida las pérdidas de los conectores C1 y C2 con el uso del OTDR. Adjunte la imagen de la traza del OTDR.

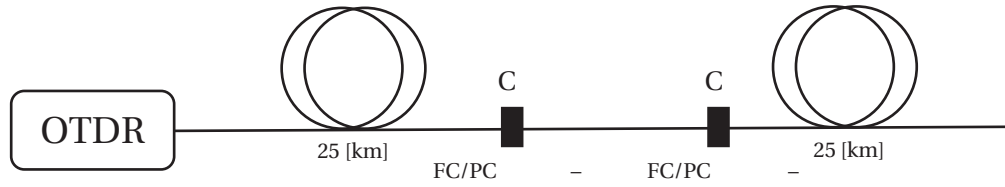


Figura 0-7 Set Up para medir pérdida por empalme PC-APC.

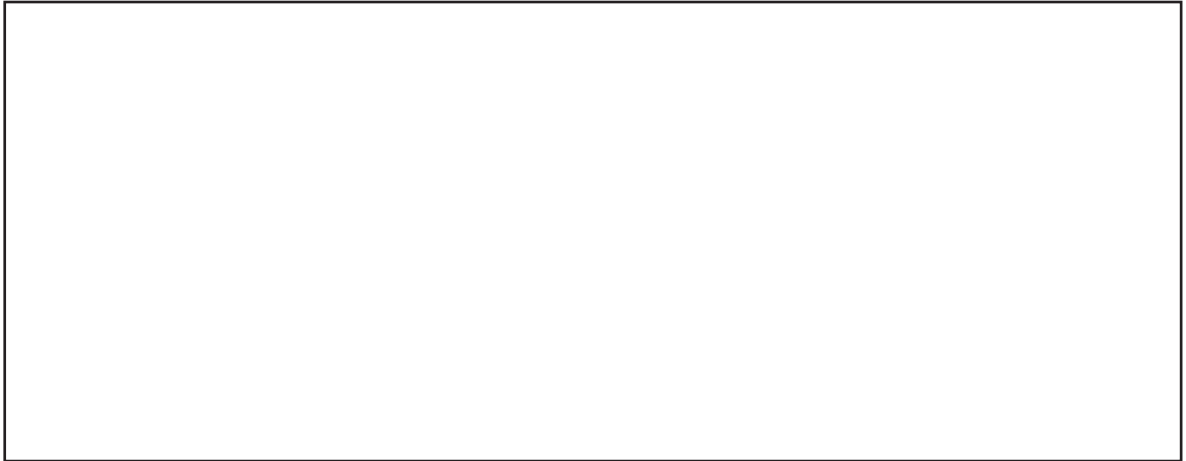


Figura 0-8. Traza OTDR

- Explique brevemente como calcular la pérdida de los conectores.

4. Monte el Set Up de la Figura 0-9 y encienda el EDFA sin señal de entrada.

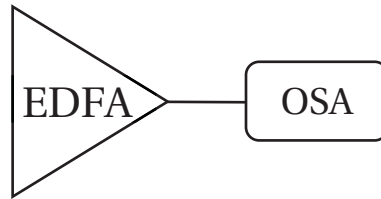


Figura 0-9 Set up para medir ruido ASE

- Adjunte una imagen de la señal medida.

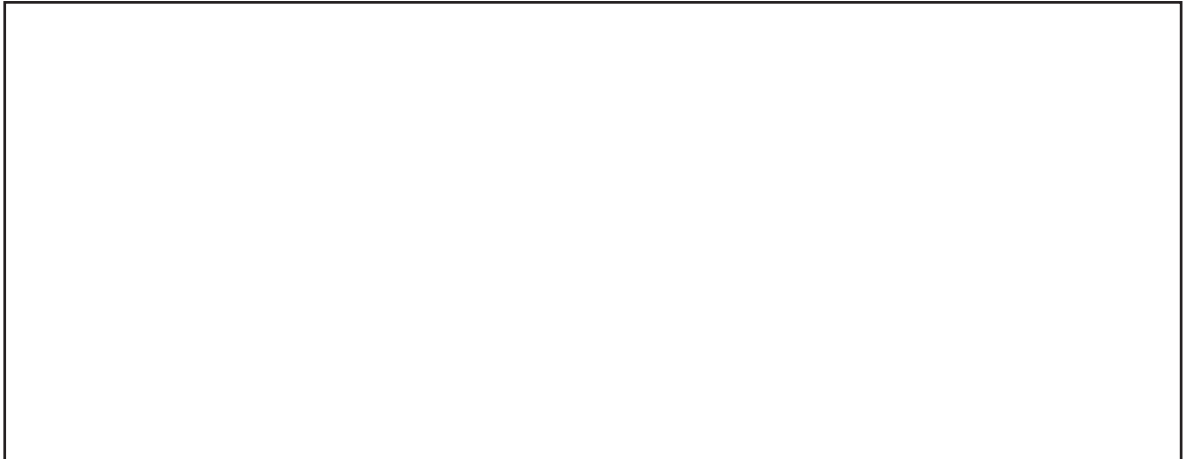


Figura 0-10 Espectro ruido ASE

- Explique brevemente porqué se genera este ruido

5. Monte el Set Up de la Figura 0-11.

Nota 1: Utilizar como TX un módulo laser de 1550 [nm] y un OSA como RX.

Nota 2: Asegúrese de que la potencia de entrada al EDFA sea menor a la potencia de entrada máxima permitida.

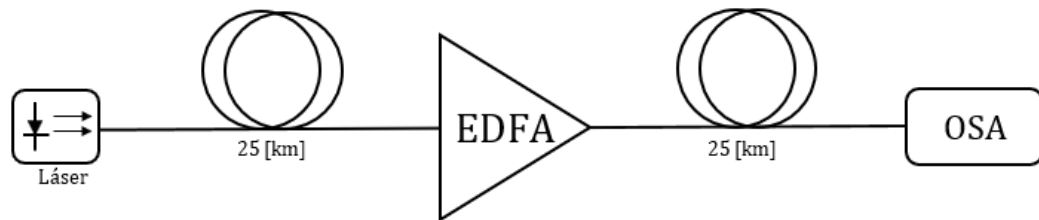


Figura 0-11 Esquema amplificador de línea para enlace de 50 [km].

- Utilizando un OSA mida la potencia de entrada al EDFA.

Pin =

¿Es esta potencia menor a los 10 dBm admitidos por el EDFA?

- Variando la corriente de bombeo del EDFA complete la Tabla 0-1.

Nota 1: Asegúrese de que la potencia medida por el OSA sea menor al umbral de saturación de este.

Tabla 0-1

Corriente [mA]	Potencia de recibida en RX [dBm]
Sin EDFA	
200	
300	
400	
500	
600	
700	
800	
900	
1000	

6. Explique para qué se utiliza un EDFA, y porqué es necesario tener la curva de amplificación en un EDFA de ganancia variable.

C Taller N°1 Guía del ejecutor

Experiencia N°1
EDFA

“Conociendo y
comprendiendo un EDFA”

Guía del ejecutor

Nombre: _____

Rut: _____ Fecha: _____

Objetivos:

- Identificar las principales diferencias entre tipos de fibras, conectores y pulidos.
- Medir correctamente usando un OSA, OTDR y sonda FIP.
- Manipular correctamente fibra óptica e instrumentación.
- Comprender e implementar un EDFA como amplificador de línea.

Materiales:

- OTDR.
- FIP.
- OSA.
- EDFA.
- Láser 1550 [nm].
- 2 rollos de fibra óptica.
- Kit de limpieza.
- Jumpers LC-SC y SC-SC.
- Adaptadores SC-SC, FC-FC y SC-FC.

Actividad Práctica:

7. Preparación: Dejar sobre el mesón todos los materiales a utilizar para que sea de fácil acceso a los alumnos.
8. Utilizando el adaptador adecuado, conecte dos conectores FC, dos conectores SC y finalmente un conector FC con un conector SC. Describa cómo identificar cada conector y cuál es el método para unirlos.

Respuesta: Recordar que la fibra óptica se manipula sujetándola solo desde el conector, sin tocar la fibra y evitando torceduras y jalones.

- Conector FC: Ferule Conector, de forma circular.

- *Conector SC: Square Conector, de forma cuadrada*

Dos conectores FC se unen con un adaptador cuadrado, haciendo calzar la pestaña del conector con el canal del adaptador e insertándolo hasta sentir un “click”.

Dos conectores SC se unen con un adaptador circular, haciendo calzar la pestaña del conector con el canal del adaptador y atornillándolo.

Un conector FC se une con un conector SC con un adaptador híbrido, haciendo calzar la pestaña del conector con el canal del adaptador, atornillando el conector FC en el lado circular e insertando el conector SC en el lado cuadrado.

9. Encienda el OTDR y conecte la FIP. Compruebe el estado de limpieza de todos los conectores y puertos a utilizar. Adjunte imágenes de los conectores antes y después de la limpieza.

Nota: Encender el OTDR presionando el botón de encendido, esperar a que cargue el sistema operativo y la aplicación del OTDR, puesto que esta se carga de manera automática.

- *Conectar la sonda FIP al OTDR mediante USB, abrir la aplicación CMAX2.*
- *Recordar utilizar la punta de prueba adecuada:*
 - o *Para los conectores machos FC/PC y SC/PC se utiliza el adaptador universal de 2,5 [mm].*
 - o *Para los conectores machos FC/APC y SC/APC se utiliza un adaptador APC de 2,5 [mm].*
 - o *Para un puerto PC y un puerto APC se utiliza un adaptador hembra universal de 2,5 [mm] y un adaptador hembra APC de 2,5 [mm] respectivamente.*
- *Recordar los tipos de pulido:*
 - o *PC: Corte Plano.*
 - o *APC: Corte Angular*
 - o *UPC: Corte en punta.*
- *Enfocar la imagen con la perilla de la sonda FIP.*
- *Una vez enfocada la imagen, capturar presionando el botón de cámara de la sonda FIP.*
- *El programa analizará de forma automática la imagen, indicando con color verde cuando el conector esté limpio y con color rojo cuando este sucio.*
- *Se debe limpiar el conector de manera delicada con un paño para limpiar y alcohol.*



Figura 0-12. Conector sucio

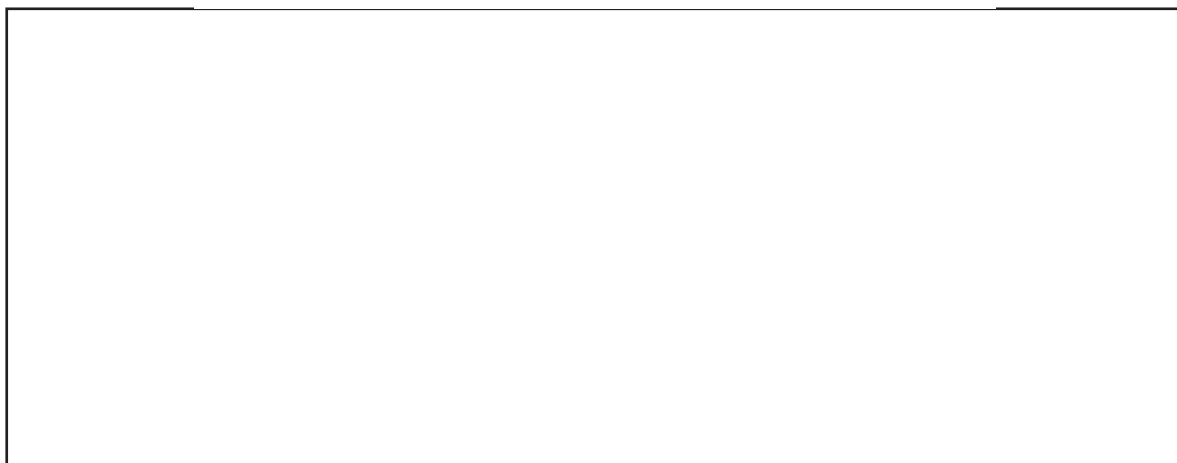


Figura 0-13. Conector limpio

10. Monte el Set Up de la Figura 0-14 y mida las pérdidas de los conectores C1 y C2 con el uso del OTDR. Adjunte la imagen de la traza del OTDR.

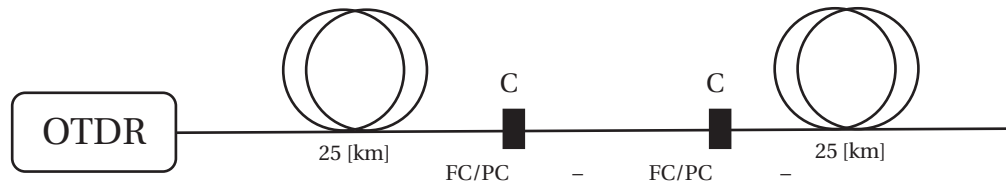


Figura 0-14 Set Up para medir pérdida por empalme PC-APC.

Nota: Ajustar el alcance a 80 [km], la duración de pulso a 2,5 [us] y el tiempo de promediado a 10 [s].

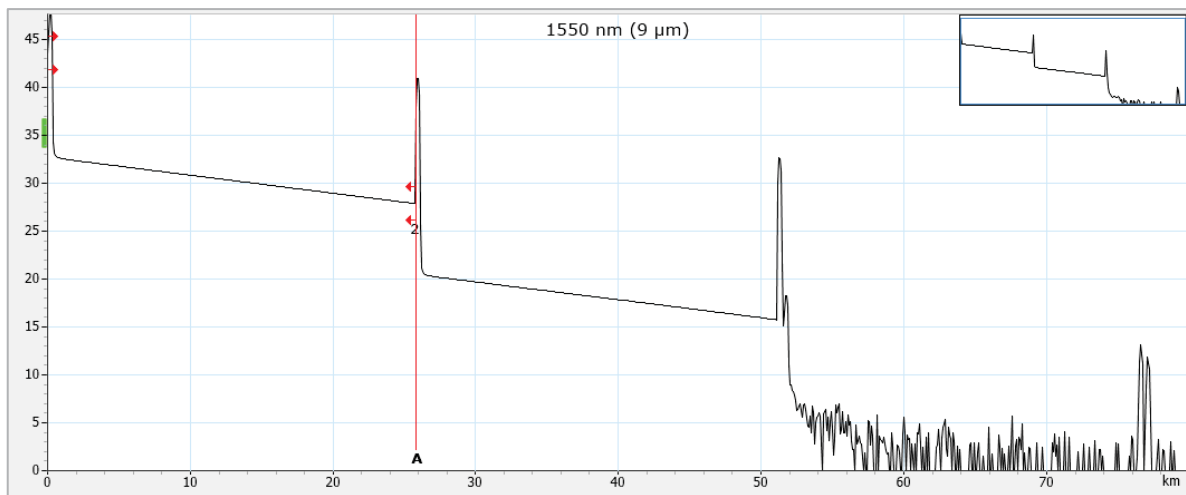


Figura 0-15. Traza OTDR

- Explique brevemente como calcular la pérdida de los conectores.

Respuesta: La pérdida de los conectores corresponde a la atenuación generada por la unión de estos, para medirla lo primero es obtener la traza del OTDR, luego hacer el zoom suficiente para ajustar la escala y tener valores más precisos. La pérdida se calcula obteniendo el delta de atenuación (restando los [dB] medidos antes y después del conector).

11. Monte el Set Up de la Figura 0-16y encienda el EDFA sin señal de entrada.

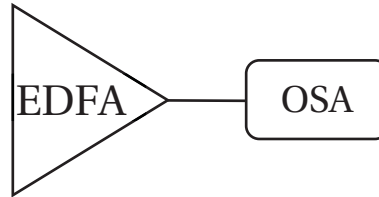


Figura 0-16 Set up para medir ruido ASE

La conexión sería: EDFA → adaptador FC-SC → jumper SC-SC → OSA.

Nota: Se debe encender el EDFA sin señal de entrada, ajustando la corriente de bombeo del láser a 1000 [mA]. El OSA debe ajustarse a la banda C.

- Adjunte una imagen de la señal medida.

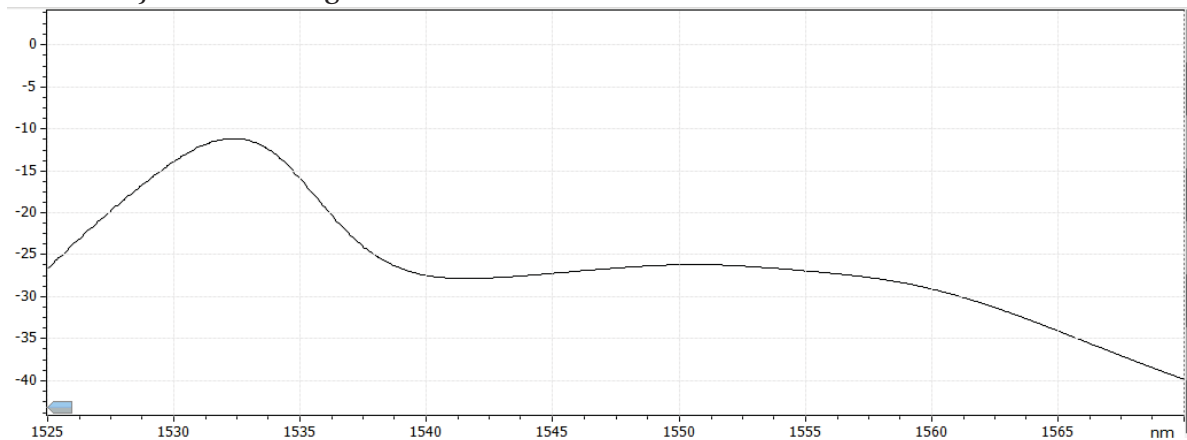


Figura 0-17 Espectro ruido ASE

- Explique brevemente porqué se genera este ruido

Respuesta: El láser externo genera que los electrones del átomo de Erblio absorban energía, saltando a niveles superiores de energía, algunos de ellos decaen de manera espontánea liberando fotones de distintas longitudes de onda, estos fotones son amplificados por la energía de los electrones que decaen de manera estimulada, generado el ruido ASE (ruido de emisión espontánea amplificada).

12. Monte el Set Up de la Figura 0-18.

Nota 1: Utilizar como TX un módulo laser de 1550 [nm] y un OSA como RX.

Nota 2: Asegúrese de que la potencia de entrada al EDFA sea menor a la potencia de entrada máxima permitida.

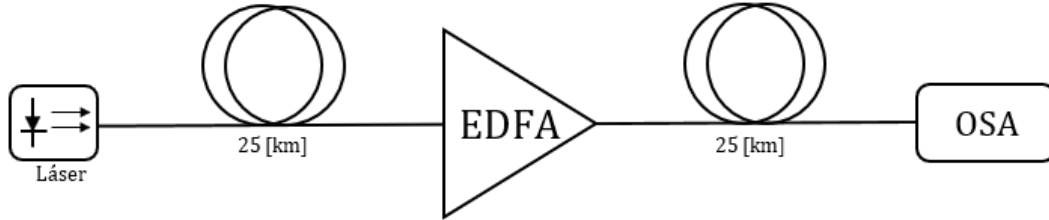


Figura 0-18 Esquema amplificador de línea para enlace de 50 [km].

La conexión sería: Láser → jumper LC-SC → Adaptador SC-FC → Carrete 25 [km] → EDFA → Carrete 25 [km] → Adaptador FC-SC → jumper SC-SC → OSA.

- Utilizando un OSA mida la potencia de entrada al EDFA.

$P_{in} =$

¿Es esta potencia menor a los 10 dBm admitidos por el EDFA?

- Variando la corriente de bombeo del EDFA complete la Tabla 0-2.

Nota 1: Asegúrese de que la potencia medida por el OSA sea menor al umbral de saturación de este.

Tabla 0-2

Corriente [mA]	Potencia de recibida en RX [dBm]
Sin EDFA	
200	
300	
400	
500	
600	
700	
800	
900	
1000	

13. Explique para qué se utiliza un EDFA, y porqué es necesario tener la curva de amplificación en un EDFA de ganancia variable.

Respuesta: Un EDFA se utiliza para amplificar o “levantar” señales, especialmente en enlaces muy extensos puesto que los láseres utilizados tienen un alcance aproximado de 80 [km] puesto que la fibra óptica, por sus impurezas, atenúan la señal. El uso de amplificadores ópticos asegura que la señal transmitida llegue con buena potencia al receptor en el final del enlace.

En el caso de un EDFA de potencia variable es importante obtener su curva de amplificación para adecuar la ganancia según los requerimientos del receptor, y así asegurar que la potencia recibida en el receptor este dentro de la potencia mínima aceptable y el umbral de saturación.

D Taller N°2 Guía de alumnos

Experiencia N°2

EDFA

“Tipos el EDFA”

Guía de alumnos

Nombre: _____

Rut: _____ Fecha: _____

Objetivo:

- Conocer, identificar e implementar los tipos de EDFA.
- Manipular correctamente fibra óptica e instrumentación.

Materiales:

- OSA.
- EDFA.
- Láser 1550 [nm].
- 2 rollos de fibra óptica.
- Kit de limpieza.
- Adaptadores FC-FC, SC-SC y SC-FC

Actividad Práctica:

14. Montar los Set Ups de las Figura 0-19, Figura 0-20 y Figura 0-21 y medir la potencia recibida en el OSA para completar la Tabla 0-3.

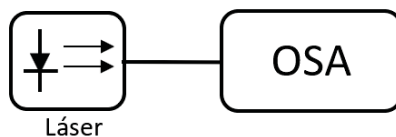


Figura 0-19 Enlace de 0 [km].

Nota: La potencia recibida en el OSA corresponde a la potencia de entrada al EDFA para un Booster de 25 y 50 [km].

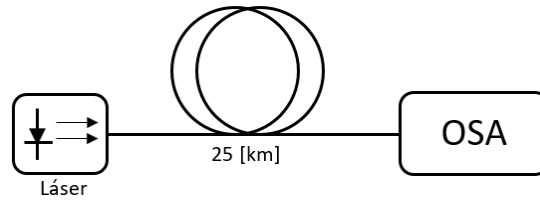


Figura 0-20 Enlace de 25 [km].

Nota: La potencia recibida en el OSA corresponde a la potencia de entrada al EDFA para un pre amplificador de 25[km]

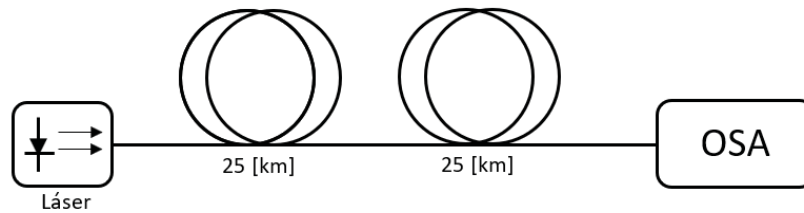


Figura 0-21 enlace de 50 [km].

Nota: La potencia recibida en el OSA corresponde a la potencia de entrada al EDFA para un pre amplificador de 50 [km].

Tabla 0-3

	Enlace de 0 [km]	Enlace de 25 [km]	Enlace de 50 [km]
Potencia recibida [dBm]			
¿Es menor a 10 [dBm]?			

Nota: Como la potencia medida en el OSA corresponde a la potencia de entrada del EDFA es importante asegurarse que esta sea menor a 10 [dBm] la cual es la potencia de entrada máxima permitida por el EDFA.

15. Montar el Set Up de la Figura 0-22 y variar la corriente de bombeo para completar la columna correspondiente en la
16. Tabla 0-4. Repetir actividad para el Set Up de la Figura 0-23, Figura 0-24 y Figura 0-25.
Nota: Utilizar como TX un módulo láser de 1550 [nm] y un OSA como RX.

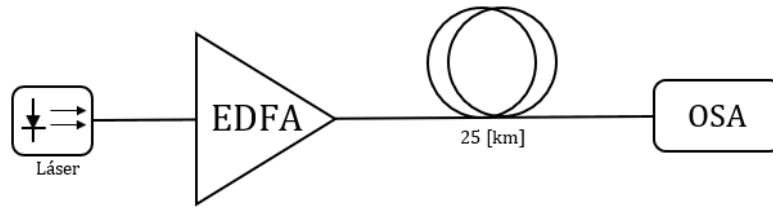


Figura 0-22 Esquema Booster para enlace de 25 [km]

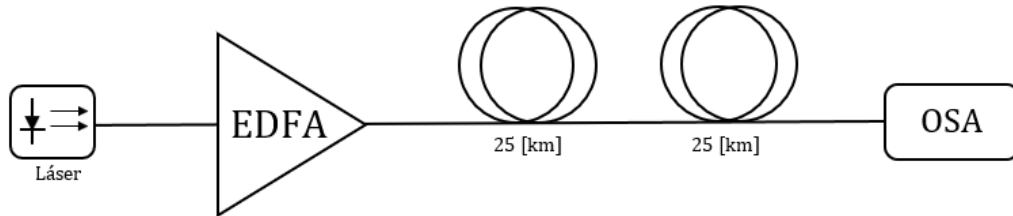


Figura 0-23 Esquema Booster para enlace de 50 [km]

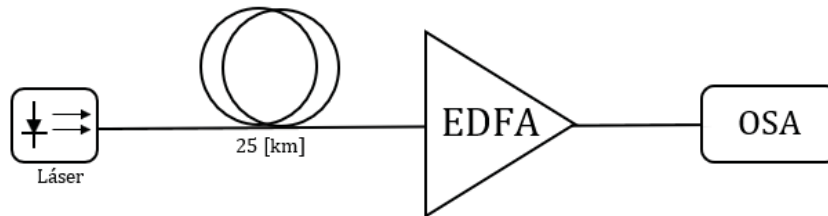


Figura 0-24 Esquema pre-amplificador para enlace de 25 [km]

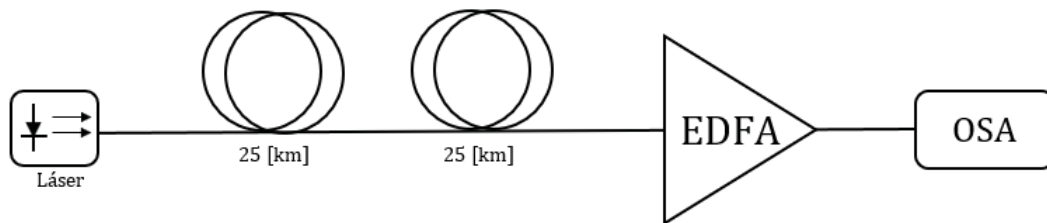


Figura 0-25 Esquema pre-amplificador para enlace de 50 [km]

Tabla 0-4

Corriente [mA]	Potencia de llegada [dBm]			
	Booster para enlace de 25 [km]	Booster para enlace de 50 [km]	Preamp. para enlace de 25 [km]	Preamp. para enlace de 50[km]
200				
300				
400				
500				
600				
700				
800				
900				
1000				

2. Con los datos obtenidos en la Tabla 0-3 y

Tabla 0-4 calcule la ganancia del EDFA y complete la Tabla 0-5.

Tabla 0-5

Ganancia [dB]		
Corriente [mA]	Preamp. para enlace de 25 [km]	Preamp. para enlace de 50 [km]
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1000		

3. ¿Por qué no se puede medir la ganancia del EDFA con un booster o un amplificador de línea con las mediciones realizadas? Explique.

4. Analizando los datos obtenidos, ¿este modelo de EDFA en particular, funciona mejor como booster, amplificador de línea o pre-amplificador? Explique.

E Taller N°2 Guía del ejecutor

Experiencia N°2

EDFA

“Tipos el EDFA”

Guía del ejecutor

Nombre: _____

Rut: _____ Fecha: _____

Objetivo:

- Conocer, identificar e implementar los tipos de EDFA.
- Manipular correctamente fibra óptica e instrumentación.

Materiales:

- OSA.
- EDFA.
- Láser 1550 [nm].
- 2 rollos de fibra óptica.
- Jumper LC-SC, SC-SC.
- Kit de limpieza.
- Adaptadores FC-FC, SC-SC y SC-FC

Actividad Práctica:

0. Preparación: Dejar sobre el mesón todos los materiales a utilizar para que sea de fácil acceso a los alumnos
1. Montar los Set Ups de las Figura 0-26, Figura 0-27 y Figura 0-28 y medir la potencia recibida en el OSA para completar la Tabla 0-6.

Nota: -Dejar a los alumnos con la libertad de trabajar solos, siempre bajo la supervisión del ejecutor.

- Antes de encender el láser el ejecutor debe revisar la conexión realizada por los alumnos, cerciorado que todos los conectores se encuentren bien ajustados.

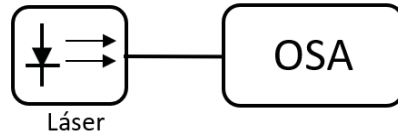


Figura 0-26 Enlace de 0 [km].

Nota: La potencia recibida en el OSA corresponde a la potencia de entrada al EDFA para un Booster de 25 y 50 [km].

La conexión sería: Láser → jumper LC-SC → adaptador SC-SC → jumper SC-SC → OSA.

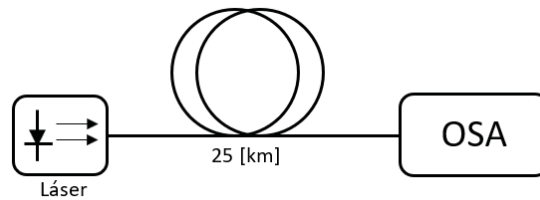


Figura 0-27 Enlace de 25 [km].

Nota: La potencia recibida en el OSA corresponde a la potencia de entrada al EDFA para un pre amplificador de 25[km]

La conexión sería: Láser → jumper LC-SC → Adaptador SC-FC → Carrete 25 [km] → Adaptador FC-SC → jumper SC-SC → OSA.

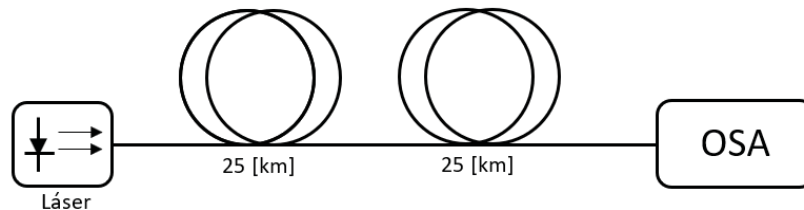


Figura 0-28 enlace de 50 [km].

Nota: La potencia recibida en el OSA corresponde a la potencia de entrada al EDFA para un pre amplificador de 50 [km].

La conexión sería: Láser → jumper LC-SC → Adaptador SC-FC → Carrete 25 [km] → Adaptador FC-FC → Carrete 25 [km] → Adaptador FC-SC → jumper SC-SC → OSA.

Tabla 0-6

	Enlace de 0 [km]	Enlace de 25 [km]	Enlace de 50 [km]
Potencia recibida [dBm]			
¿Es menor a 10 [dBm]?			

Nota: Como la potencia medida en el OSA corresponde a la potencia de entrada del EDFA es importante asegurarse que esta sea menor a 10 [dBm] la cual es la potencia de entrada máxima permitida por el EDFA.

2. Montar el Set Up de la Figura 0-29 y variar la corriente de bombeo para completar la columna correspondiente en la Tabla 0-7. Repetir actividad para el Set Up de la Figura 0-30, Figura 0-31 y Figura 0-32.

Nota: Utilizar como TX un módulo láser de 1550 [nm] y un OSA como RX.

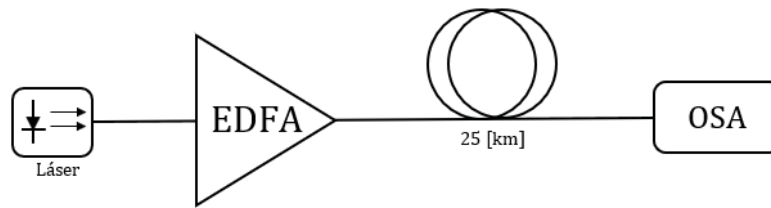


Figura 0-29 Esquema Booster para enlace de 25 [km]

La conexión sería: Láser → jumper LC-SC → Adaptador SC-FC → EDFA → Carrete 25 [km] → Adaptador FC-SC → jumper SC-SC → OSA.

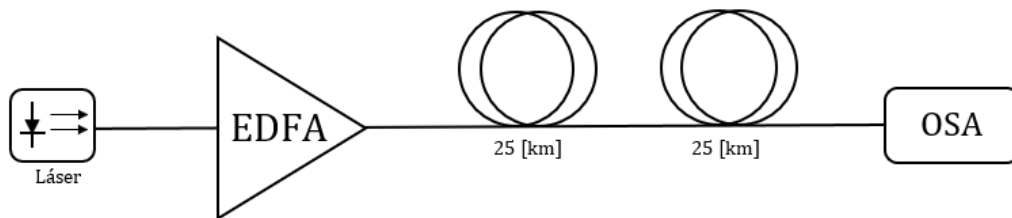


Figura 0-30 Esquema Booster para enlace de 50 [km]

La conexión sería: Láser → jumper LC-SC → Adaptador SC-FC → EDFA → Carrete 25 [km] → Adaptador FC-FC → Carrete 25 [km] → Adaptador FC-SC → jumper SC-SC → OSA.

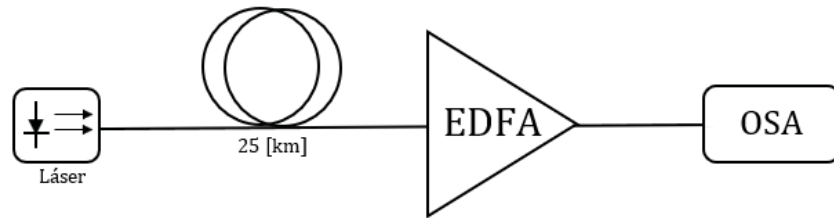


Figura 0-31 Esquema pre-amplificador para enlace de 25 [km]

La conexión sería: Láser → jumper LC-SC → Adaptador SC-FC → Carrete 25 [km] → EDFA → Adaptador FC-SC → jumper SC-SC → OSA.

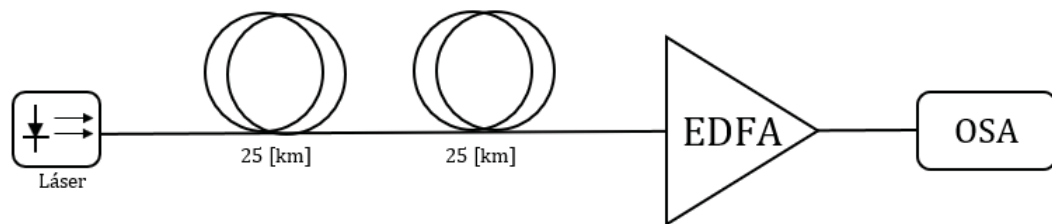


Figura 0-32 Esquema pre-amplificador para enlace de 50 [km]

La conexión sería: Láser → jumper LC-SC → Adaptador SC-FC → Carrete 25 [km] → Adaptador FC-FC → Carrete 25 [km] → EDFA → Adaptador FC-SC → jumper SC-SC → OSA.

Tabla 0-7

Corriente [mA]	Potencia de llegada [dBm]			
	Booster para enlace de 25 [km]	Booster para enlace de 50 [km]	Preamp. para enlace de 25 [km]	Preamp. para enlace de 50 [km]
200				
300				
400				
500				
600				
700				
800				
900				
1000				

3. Con los datos obtenidos en la Tabla 0-6 y Tabla 0-7 calcule la ganancia del EDFA y complete la Tabla 0-8.

Nota: Recordar que en escala logarítmica la ganancia de una etapa se calcula como:

$$G [dB] = P_{out} [dBm] - P_{in} [dBm].$$

Tabla 0-8

Corriente [mA]	Ganancia [dB]	
	Preamp. para enlace de 25 [km]	Preamp. para enlace de 50 [km]
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1000		

4. ¿Por qué no se puede medir la ganancia del EDFA con un booster o un amplificador de línea con las mediciones realizadas? Explique.

Respuesta: Porque para medir la ganancia del EDFA se debe tener la potencia de entrada y potencia de salida de este. En las mediciones del Booster y amplificador de línea se tiene la potencia de entrada, pero no la potencia se salida, puesto que la potencia recibida en el OSA viene atenuada por el enlace de fibra óptica.

5. Analizando los datos obtenidos, ¿este modelo de EDFA en particular, funciona mejor como booster, amplificador de línea o pre-amplificador? Explique.

Respuesta: Este modelo de EDFA opera mejor como un pre amplificador por diversos factores, entre ellos está la baja potencia de ruido que posee y que la máxima potencia recibida por el OSA se obtuvo con este tipo de EDFA, además dado que posee la característica de ser de ganancia variable, la potencia de salida se puede adecuar a un eventual receptor con umbral de recepción y umbral de saturación.