

## **IMPACTO DEL USO DE UN LABORATORIO DE MEDICIONES SOBRE EL APRENDIZAJE EN COMUNICACIONES ÓPTICAS**

Esteban Hermosilla, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, esteban.hermosilla.c01@mail.pucv.cl

Ariel Leiva, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, ariel.leiva@pucv.cl

Francisco Pizarro, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, francisco.pizarro.t@pucv.cl

### **RESUMEN**

Se presenta un estudio sobre el impacto que produce la aplicación de un laboratorio de mediciones en el aprendizaje de alumnos de Ingeniería Civil Electrónica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso sobre aspectos técnicos de comunicaciones por fibra óptica.

El laboratorio consiste en 4 sesiones basados en el uso de instrumentos esenciales y/o básicos que cualquier empresa de telecomunicaciones que posea redes de fibra óptica debiera tener: OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*) y OSA (*Optical Spectrum Analyser*). Para medir el impacto en el aprendizaje de los estudiantes, se diseña y aplica un Test al inicio y al final del taller, el cual consiste en 51 preguntas de selección múltiple donde se mide el grado de conocimiento en 4 niveles.

El laboratorio y los test fueron aplicados a 2 grupos con distintos niveles de asignaturas previamente aprobadas. Los resultados obtenidos arrojan variaciones de respuestas correctas del +35% llegando a valores absolutos del 75%. La apreciación personal de los estudiantes también es positiva, debido a que dejan ver que el uso de instrumentos de medición usados en las empresas los prepara de mejor manera al mundo laboral.

**PALABRAS CLAVES:** Laboratorio de mediciones ópticas, rendimiento académico.

### **INTRODUCCIÓN**

Actualmente, la fibra óptica representa el medio de transmisión capaz de soportar los grandes y crecientes volúmenes de tráfico de datos a nivel nacional e internacional. Es por esta razón que, desde hace más de una década, los sistemas de transmisión de larga distancia han sido implementados a través de troncales de fibra óptica. Más aún, y hace un par de años, la implementación de redes de acceso ópticas (GPON: *Gigabit Passive Optical Network* [Farmer2016]) ya es una realidad en algunas ciudades como Santiago y Valdivia, haciendo realidad el concepto de FTTH (*Fiber To The Home*) en Chile.

Debido a la masificación de sistemas y redes ópticas en Chile, se hace necesario que los futuros ingenieros electrónicos en telecomunicaciones posean los conocimientos y habilidades para desempeñarse de buena manera en el ámbito profesional. Sin embargo, la mayoría de las instituciones de educación superior basan la enseñanza de las comunicaciones ópticas a través de clases teóricas y con el apoyo de simuladores (como por ejemplo, OPTSIM [Sujith2010]), y en menor medida, basada en laboratorios prácticos.

En Chile, los laboratorios prácticos de comunicaciones ópticas no se han masificado debido, principalmente, al alto valor comercial del equipamiento de medición de comunicaciones ópticas. Es por esta razón que se hace necesario analizar la pertinencia y/o utilidad de contar con este

tipo de laboratorios experimentales a través del impacto en el aprendizaje de los estudiantes de asignaturas de comunicaciones por fibra óptica.

En este artículo se propone un taller básico de medición en comunicaciones ópticas el cual está basado en el uso de 2 instrumentos muy utilizados en la práctica por empresas que poseen sistemas y/o redes de fibra óptica. Estos son el reflectómetro óptico en el dominio del tiempo o más conocido como OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*) [Hui2008] y el analizador de espectro óptico más conocido como OSA (*Optical Spectrum Analyser*) [Hui2008]. El OTDR es un instrumento capaz de obtener trazas de atenuación en función de la distancia de una fibra óptica, y el OSA es capaz de visualizar el espectro de las señales que se transmiten por un enlace óptico.

Para medir el impacto que produce el taller en los conocimientos de los alumnos en temáticas prácticas de comunicaciones ópticas, se diseñó un test de selección múltiple con 4 alternativas de respuesta, representando 4 niveles de conocimiento. Las preguntas están relacionadas con temáticas que en clases teóricas, o basadas en simuladores, debiesen cubrirse en algún grado de profundidad, por lo que indirectamente se está evaluando la efectividad de estas clases. Las temáticas a evaluar en el test están relacionadas con aspectos teóricos y prácticos de fibras ópticas, elementos de comunicaciones ópticas y, técnicas e instrumentos de medición. El test se aplica antes del desarrollo del laboratorio y, también, al final de éste (sin que los estudiantes sean avisados de esta actividad). De esta forma, se obtienen estadísticas del aumento del grado de conocimiento en aspectos teóricos y prácticos en comunicaciones ópticas.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 1 se presenta la propuesta de laboratorio y su evaluación; en la sección 2 se muestran las estadísticas resultantes de la aplicación de los laboratorios y test; y en finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo.

## 1.- PROPUESTA DE LABORATORIO Y EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS.

En la Figura N° 1 se muestra la propuesta de laboratorio, test de evaluación de conocimientos y obtención de estadísticas que se desea implementar. En ésta, se aprecia que los estudiantes deben rendir un Test inicial de conocimientos (Etapa A), para que luego comiencen a desarrollar los talleres prácticos (Etapa B). Luego, los estudiantes vuelven a rendir el mismo Test inicial (Etapa C) para que finalmente se obtengan estadísticas y realimentación de los talleres (Etapa D).

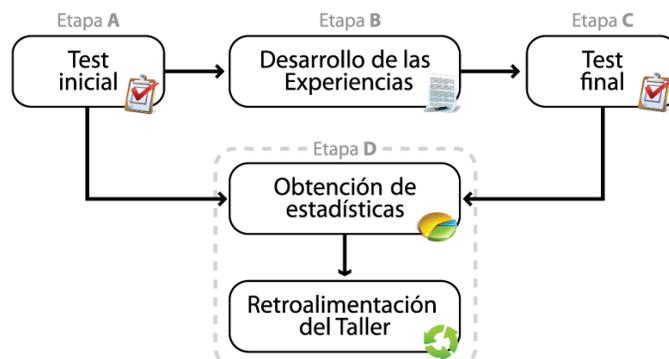


Figura N° 1. Esquema general de la propuesta.

A continuación, se detallan las distintas etapas de ejecución:

### Etapa A: Test inicial

Con el fin de detectar las fortalezas y debilidades en conocimientos teóricos y prácticos de comunicaciones ópticas es que se diseñó un Test inicial el cual es aplicado en forma presencial y on-line para un menor tiempo de procesamiento de resultados. El Test inicial consta de 51 preguntas de 4 alternativas cada una con la finalidad de relacionarlos con 4 niveles de conocimientos de los tópicos: conocimiento completo (CC), conocimiento parcial (CP), conocimiento errado (CE) y desconocimiento completo (DC). Esto tiene relación con la consciencia y las competencias que posean los estudiantes: inconscientemente no sabe (incompetencia inconsciente, relacionados a CE y CP), conscientemente no sabe (incompetencia consciente, relacionado a DC) y conscientemente sabe (competencia consciente, relacionado a CC).

Las preguntas están centradas en 3 ejes temáticos: conceptos relacionados a fibra óptica y dispositivos ópticos pasivos, OTDR y OSA. Debido a la extensión del Test, éste no se incluye en el artículo. Sin embargo, puede ser descargado on-line en [goo.gl/Xv50RS](http://goo.gl/Xv50RS). La Figura N° 2 muestra una vista del Test que deben responder los estudiantes al inicio de la actividad.

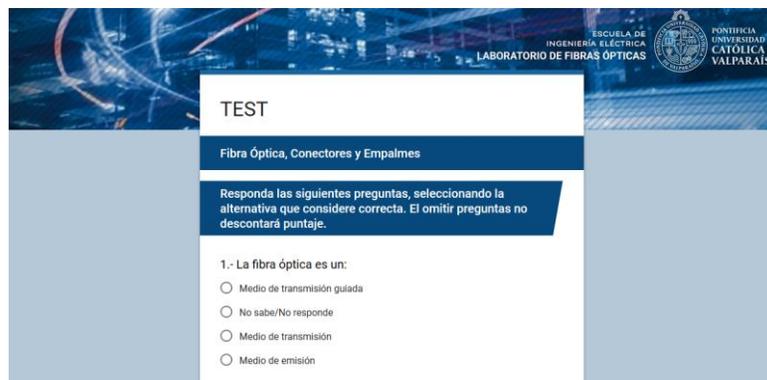


Figura N° 2. Vista general del Test a responder por los estudiantes.

### **Etapa B: Experiencias de laboratorio**

Las temáticas de las actividades se listan a continuación:

- Experiencia OSA: “Conociendo el OSA”.
- Experiencia N°1 OTDR: “Conociendo el OTDR”.
- Experiencia N°2 OTDR: “Eventos Reflexivos y Zonas Muertas”.
- Experiencia N°3 OTDR: “Rango Dinámico, Ecos y Fantasmas”.

En cada experiencia de laboratorio, el alumno debe realizar las actividades según una guía. Cada guía del alumno (GA) consta de un cuestionario previo (acerca de los manuales de los dispositivos y elementos involucrados) y el detalle de las actividades prácticas. A continuación, se detalla cada una de las experiencias:

#### **Experiencia OSA: “Conociendo el OSA”**

El objetivo general de esta experiencia es que los alumnos puedan conocer, preparar y manejar las funcionalidades básicas de un OSA y su aplicación en un entorno básico de comunicaciones ópticas.

El primer experimento consiste en corroborar el estado de limpieza de los conectores ópticos del OSA. Para esto se debe utilizar una sonda FIP (*Fiber Inspection Probe*) y un kit de limpieza si es necesario. En la Figura N° 3.a se muestra la configuración a implementar. El segundo experimento consiste en utilizar el OSA para caracterizar una portadora óptica proveniente de un láser. Para esto, son necesarios los siguientes elementos: conversor de medios Ethernet a fibra, transceptor SFP y un *splitter* óptico. El conversor de medios y el transceptor son necesarios para generar una portadora óptica, y el *splitter* es para que el nivel de potencia óptica entregado al OSA no supere el nivel máximo permitido de potencia recibida para este instrumento. La Figura N° 3.b muestra un esquema de la configuración a implementar.



Figura N° 3. Configuración para (a) visualización de estado de limpieza de conectores y (b) visualización del espectro de un láser (transceptor óptico) con un OSA.

Los resultados esperados de cada actividad es que los alumnos sean capaces de visualizar el estado de limpieza de los conectores y limpiar de ser necesario (Ver Figura N° 4). Además, se pretende que los alumnos sean capaces de interconectar dispositivos, haciendo especial énfasis en los tipos de conectores y pulidos ópticos. Finalmente, también se espera que los alumnos sean capaces de operar un OSA en sus funcionalidades básicas, haciendo énfasis en su cuidado. En la Figura N° 5 se muestra una imagen referencial de una medición con el OSA que los alumnos debieran obtener.

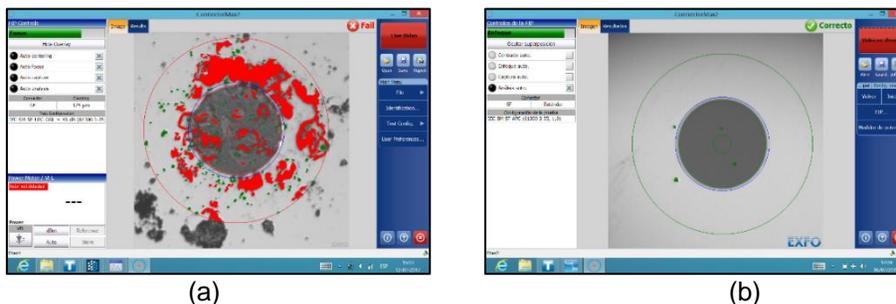


Figura N° 4. Visualización del estado de los conectores (a) antes y (b) después de la limpieza.

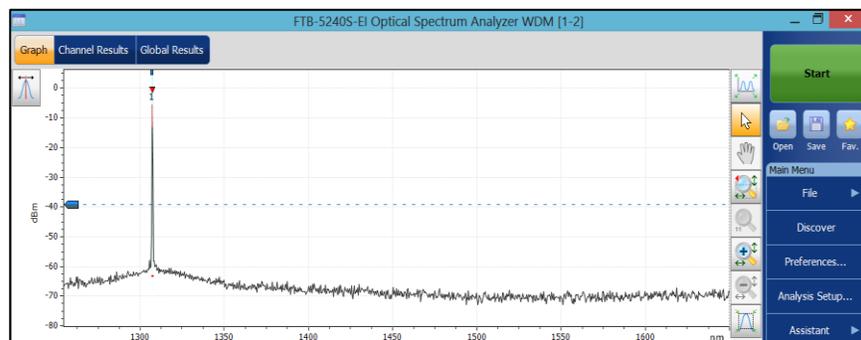


Figura N° 5. Visualización de una medición esperada con el OSA.

Experiencia N°1 OTDR: “Conociendo el OTDR”.

El objetivo general de esta experiencia es que los estudiantes puedan conocer, preparar y manejar las funcionalidades básicas de un OTDR y su aplicación (medición) en un entorno básico de comunicaciones ópticas.

El primer experimento consiste, al igual que en el caso del OSA, en visualizar el estado de limpieza de sus conectores (Ver Figura N° 6.a). El segundo experimento consiste en obtener una traza de pérdidas vs distancia con una bobina de lanzamiento (BL). Este último elemento consiste en un rollo de unos pocos km de fibra óptica. En la Figura N° 6.b se muestra el esquema de la configuración a implementar para usar un OTDR.



Figura N° 6. Configuración para (a) visualización de estado de limpieza de conectores y (b) visualización del espectro de una traza OTDR de una bobina de lanzamiento.

Se espera que los estudiantes sean capaces de manejar la configuración para obtener una traza de OTDR. La configuración tiene relación con los siguientes parámetros: longitud de onda, duración de los pulsos ópticos y alcance. En la Figura N° 7 se muestra una imagen referencial de medición que los alumnos debieran obtener usando un OSA con una bobina de lanzamiento.

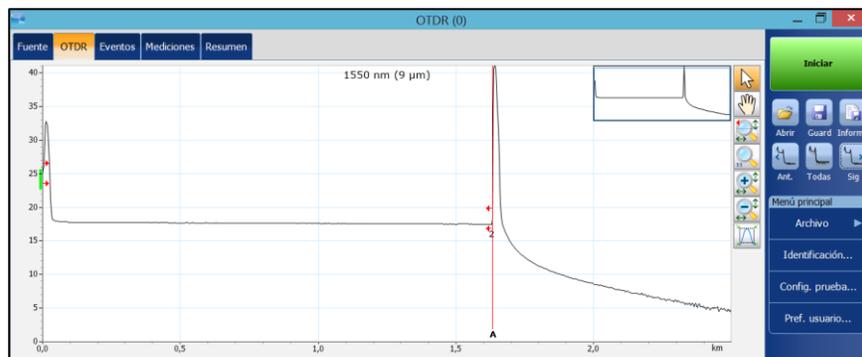


Figura N° 7. Visualización de una medición esperada con el OTDR en una bobina de lanzamiento.

Experiencia N°2 OTDR: “Eventos Reflexivos y Zonas Muertas”.

El objetivo general de esta experiencia es que los estudiantes puedan conocer, preparar y manejar las funcionalidades básicas de un OTDR y su aplicación (medición) en un entorno de comunicaciones ópticas más cercano a la realidad (con mayor número de secciones de fibra óptica).

El experimento consiste en conectar varios rollos de fibra óptica, y unir éstos al OTDR, para así obtener la traza de pérdidas vs distancia. Así, se debe visualizar la ubicación y pérdida de cada

unión de carrete de fibra óptica, el fin de éstas y la identificación de zona muerta. En la Figura N° 8 se muestra el esquema sugerido de conexión.

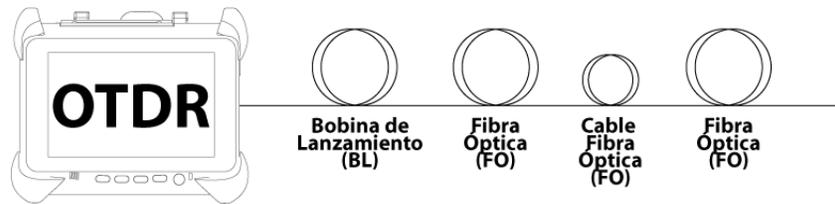


Figura N° 8. Esquema de conexión para medición con OTDR.

Los resultados esperados es que los estudiantes sean capaces de obtener trazas OTDR en un entorno más real al de la experiencia anterior, es decir, con diversos eventos reflexivos (uniones entre fibras ópticas y fin de ellas). Además, se espera que sean capaces de configurar el instrumento para obtener una buena resolución (capacidad de distinguir dos eventos reflexivos cercanos) e identificar zonas muertas (en la que no se puede realizar una medición). En la Figura N° 9 se muestra una imagen referencial de la medición con un OTDR que los estudiantes debiesen obtener.

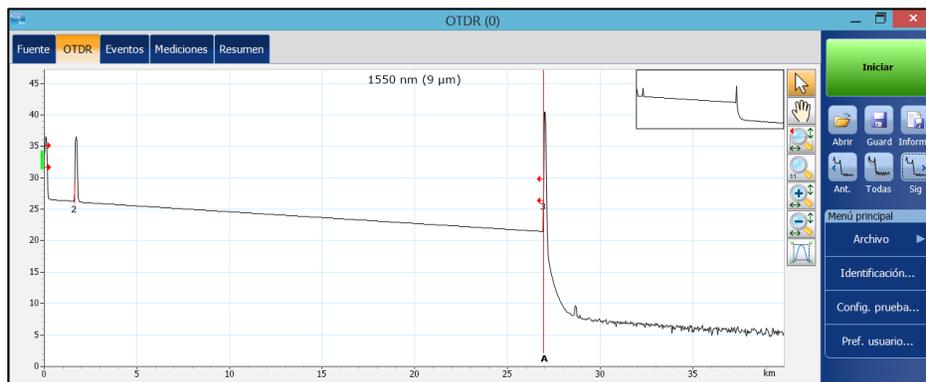


Figura N° 9. Visualización de una medición esperada con el OTDR.

### Experiencia N°3 OTDR: “Rango Dinámico, Ecos y Fantasma”.

El objetivo general de esta experiencia es que los estudiantes puedan conocer y realizar mediciones con el fin de comprender en mayor profundidad los conceptos que involucra el uso de un OTDR (rango dinámico, resolución, ecos y fantasmas) y su aplicación (medición) en un entorno de comunicaciones ópticas.

El primer experimento consiste en obtener las trazas de las pérdidas vs distancia de un tramo óptico compuesto por una bobina de lanzamiento (BL) y los carretes de fibra óptica, reconociendo la distancia de los eventos, analizando las pérdidas tanto de eventos, de reflectancia máxima, por sección y atenuación, para luego reconocer el mejor rango dinámico al hacer modificaciones de la duración de los pulsos (Ver configuración sugerida en Figura N° 10.a). Con el desarrollo del segundo experimento, que consiste en la implementación y análisis del tramo compuesto por la bobina de lanzamiento y un carrete de fibra óptica, se busca visualizar e identificar los ecos en las trazas OTDR (Ver configuración sugerida en Figura N° 10.b).

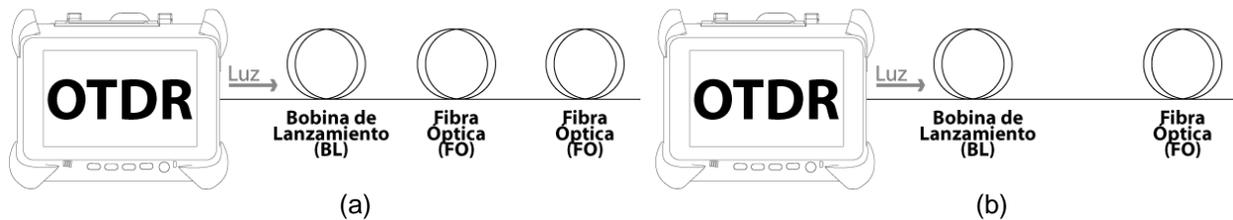


Figura N° 10. Configuración asociada a experiencia OTDR N° 3.

Se espera que los estudiantes sean capaces de manejar la configuración para obtener una traza de OTDR, realizar con éstas las mediciones pertinentes de las pérdidas y del eco. Luego de realizar las mediciones con tres pulsos de duración distintas se espera que el alumno aprecie, de forma explícita, como es la relación entre el rango dinámico y la resolución. Es por esto que se debe ser capaz de concluir que, a mayor rango dinámico, es decir, a un pulso más largo en el tiempo, la resolución de los eventos disminuye. En la Figura N° 11 se puede visualizar una medición con OTDR con (a) pulsos extensos vs una con (b) pulsos reducidos.

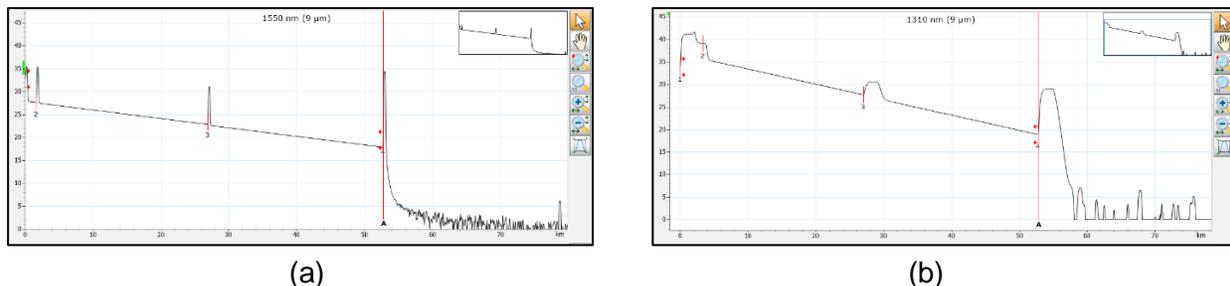


Figura N° 11: Visualización de mediciones esperadas con el OTDR variando la duración de los pulsos: (a) extensos vs (b) reducidos.

### Etapa C: Test final

Al finalizar el desarrollo de todas las experiencias, los estudiantes deben contestar un Test final de forma presencial y online. La finalidad de éste es poder cuantificar el aumento en conocimientos teóricos y prácticos que los estudiantes pudieron obtener al desarrollar las experiencias. El Test a aplicar es el mismo que el Test inicial, teniendo el resguardo de no avisar previamente lo similar de ambos test, de no dejarlos disponibles para su estudio y de no informar el resultado del test inicial a los alumnos.

### Etapa D: Obtención de estadísticas y retroalimentación.

Basados en los resultados de la aplicación de los Test inicial y final, se espera contar con estadísticas generales y particulares sobre la variación de los conocimientos teóricos y prácticos de los estudiantes. Estos resultados no son sólo útiles para visualizar la eficacia de las experiencias, sino que también son útiles para visualizar las debilidades de ellas. Esto, con el fin de poder mejorarlas o adaptarlas.

## 2.- RESULTADOS

La propuesta de laboratorio, test de evaluación de conocimientos y obtención de estadísticas se aplicó a 2 grupos en que cada uno de ellos corresponde a estudiantes que venían con un perfil

de conocimientos similares (mismos cursos aprobados). La Tabla N° 1 muestra las características de cada grupo.

Tabla N° 1: Características de grupos de estudiantes.

ID del grupo	Curso previamente aprobado	N° de estudiantes
1	Sistemas de telecomunicaciones	6
2	Redes ópticas WDM	6

### Etapa A: Test inicial

Los resultados de la aplicación del Test inicial se muestran en la Figura N° 12, en donde se aprecian los 4 niveles de conocimientos de los tópicos: conocimiento completo (CC), conocimiento parcial (CP), conocimiento errado (CE) y desconocimiento completo (DC).

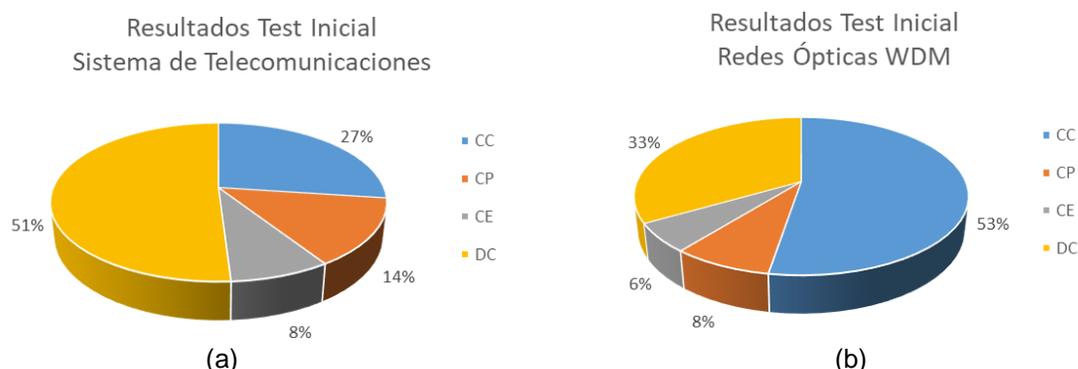


Figura N° 12: Resultados de test inicial aplicado a estudiantes con los cursos previamente aprobados de (a) Sistemas de Telecomunicaciones y (b) Redes ópticas WDM.

Para el caso de alumnos con la asignatura “Sistemas de Telecomunicaciones” aprobada, los resultados obtenidos del test inicial tienen una tendencia a la omisión (DC). Para el caso de los estudiantes con el pre-requisito aprobado de “Redes ópticas WDM”, esta tendencia es menor, ya que el acercamiento teórico a los instrumentos de mediciones es más profundo que para los del grupo anterior.

### Etapa B: Experiencias de laboratorio

En esta ocasión, cada grupo realizó las experiencias en días separados y distribuyéndolos en 2 sub-grupos de 3 alumnos cada uno debido a la limitante de espacio e instrumentos. Los detalles de tipo, número y valor comercial de los distintos elementos e instrumentos usados en las experiencias se muestran en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Dispositivos/elementos usados en las experiencias.

Dispositivo	Cant.	Valor Unit.	Proveedor	Dispositivo	Cant.	Valor Unit.	Proveedor
OTDR FTB730C + FIP430B	1	\$11.300.000	EXFO	Cortadora de FO	1	\$80.000	APKChile
OSA FTB 5420S	1	\$18.000.000	EXFO	Peladora de FO	1	\$12.000	APKChile
Rollo de FO 25 km	2	\$450.000	Corning	Transceptor 1310/1550	8	\$40.000	Fiberstore.com
Bob. Lanzamiento 1 km	1	\$60.000	APKChile	Convertor de medios	8	\$25.000	Fiberstore.com
Kit de limpieza	1	\$255.000	APKChile				

### Etapa C: Test final

Los resultados de la aplicación del Test final se muestran en la Figura N° 13, en donde se aprecian los 4 niveles de conocimientos de los tópicos: conocimiento completo (CC), conocimiento parcial (CP), conocimiento errado (CE) y desconocimiento completo (DC).

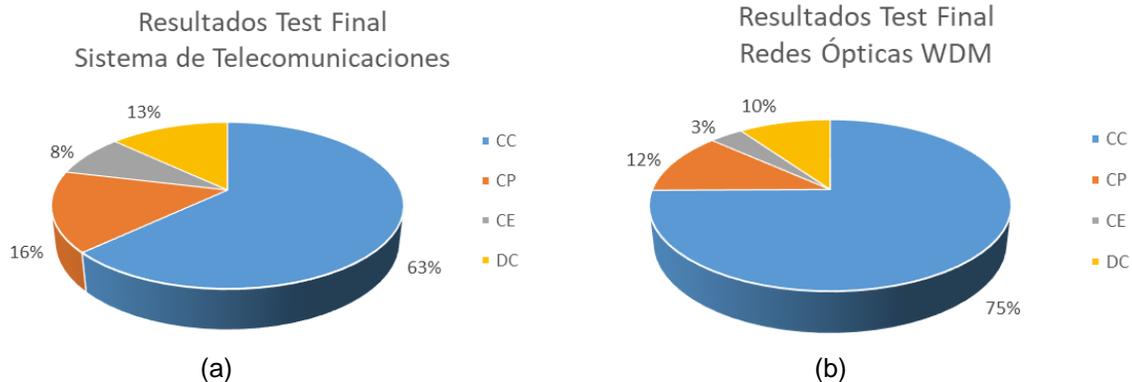


Figura N° 13: Resultados de Test final aplicado a estudiantes con los cursos previamente aprobados de (a) Sistemas de Telecomunicaciones y (b) Redes ópticas WDM.

Los resultados muestran una clara mejora con respecto a las preguntas correctamente contestadas para ambos grupos de estudiantes. Cabe destacar que la opción de “no contestar” disminuye al casi 10% en ambos grupos.

### Etapa D: Obtención de estadísticas y retroalimentación.

Una vez teniendo los resultados de los test inicial y final, es posible obtener métricas de variación de los conocimientos teóricos y prácticos de la aplicación de los laboratorios. En la Tabla N° 3 se muestran las variaciones porcentuales de las estadísticas de las distintas respuestas.

Tabla N° 3: Variaciones porcentuales de resultados de Test.

Respuesta	Sist. de telecomunicaciones			Redes ópticas WDM		
	Inicial %	Final %	$\Delta$ %	Inicial %	Final %	$\Delta$ %
CC	27,12	63,07	+35,95	52,61	74,84	+22,23
CP	13,73	15,69	+1,96	8,17	11,76	+3,59
CE	8,17	8,17	0	5,88	3,59	-2,29
DC	50,98	13,07	-37,91	33,33	9,80	-23,53

Las variaciones de conocimiento exhibida por los alumnos al desarrollar este laboratorio es claramente positiva (entre el 22 al 35% de aumento de respuestas correctas), llegando a un porcentaje de respuestas correctas de 63% y 74% para los grupos relacionados a Sistemas de Telecomunicaciones y Redes ópticas WDM, respectivamente. Esto evidencia los beneficios que un taller de este tipo puede producir en la reafirmación de conocimientos teóricos por parte de alumnos con diferentes perfiles de ingreso. Del punto de vista de apreciación personal por parte de los alumnos, éstos valorizaron las experiencias con instrumentos de medición que se encuentran en las empresas de telecomunicaciones, contribuyendo así a la mejor percepción que los estudiantes tienen de su paso por la universidad.

## **CONCLUSIONES**

En este artículo se presenta una propuesta de laboratorio de mediciones de comunicaciones ópticas, basados en instrumentos de medición usados por empresas de telecomunicaciones, como lo son el OTDR y el OSA. Además, se propone la medición de las variaciones de los conocimientos adquiridos al desarrollar las experiencias de este laboratorio a través de un test inicial y final.

Los laboratorios fueron realizados por 2 grupos de estudiantes con distintos perfiles de ingreso, caracterizados por las asignaturas relacionadas a comunicaciones ópticas previamente aprobadas: sistemas de telecomunicaciones y redes ópticas WDM.

Los resultados obtenidos muestran que las respuestas correctas llegan hasta un 63% (grupo relacionado a sistemas de telecomunicaciones) y 75% (grupo relacionado a redes ópticas WDM), con variaciones con respecto a los resultados de ingreso de 35% y 22%, respectivamente. De esta forma, queda en evidencia los beneficios que trae este laboratorio. Además, los alumnos declararon su buena apreciación de experimentar con equipos de medición usados por las empresas de telecomunicaciones.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece el apoyo financiero de los proyectos Fondecyt 11140386 y Corfo 14NI2-26905 "Nueva Ingeniería para el 2030".

## **REFERENCIAS**

- [Farmer2016] J. Farmer, B. Lane, K. Bourg, W. Wang, "FTTx Networks: Technology Implementation and Operation", Morgan Kaufmann; 1 edition, November 18, 2016.
- [Hui2008] R. Hui, M. O'Sullivan, "Fiber Optic Measurement Techniques", Academic Press; 1 edition, December 26, 2008.
- [Sujith2010] S Sujith, K G Gopchandran, "A simulation study on DCF compensated SMF using OptSim", International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), Oct. 2010 , Moscow, Russia.