

# Desarrollo de una red experimental IP/WDM

Walter Grote<sup>(1)</sup>, Cristian Henry<sup>(2)</sup>, Ricardo Olivares<sup>(1)</sup> y Fideromo Saavedra<sup>(3)</sup>

[wgh@elo.utfsm.cl](mailto:wgh@elo.utfsm.cl), [chenry@reuna.cl](mailto:chenry@reuna.cl), [rov@elo.utfsm.cl](mailto:rov@elo.utfsm.cl), [fsaavedr@usach.cl](mailto:fsaavedr@usach.cl)

<sup>(1)</sup>UTFSM, Av. España 1680, Valparaíso; <sup>(2)</sup>REUNA, Canadá 239, Providencia;

<sup>(3)</sup>USACH, Avda. L.B.O'Higgins 3363, Santiago

**Resumen** — En el presente trabajo se describe el diseño y desarrollo de una red experimental de tecnología IP/WDM de 4 nodos, para el desarrollo de aplicaciones demandantes de ancho de banda e investigación aplicada y capacitación en tecnología de comunicaciones por fibras ópticas.

**Abstract** — This publication describes the design and implementation of an experimental network with 4 nodes based on IP/WDM technology, for the development of broadband applications and applied research and training in fiber optic communication technology.

**Palabras Clave**— Comunicaciones por fibras ópticas, IP, WDM, redes de banda ancha.

## I. INTRODUCCIÓN

En la emergente Sociedad de la Información, el transporte de información no se reduce a la voz y a los datos, sino que incluye contenidos multimediales en el más amplio sentido de la palabra. Los requerimientos por tener anchos de banda cada vez mayores tienen un comportamiento similar a la ley de Moore, que describe el desarrollo de las capacidades de los semiconductores, [1]. Las tecnologías de redes ópticas WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) aparecen como la opción más promisoría para sustentar la demanda creciente de ancho de banda en las estructuras de transporte. Esta tecnología permite incrementar y aprovisionar el ancho de banda de la fibra actual en más de dos órdenes de magnitud, [2], [3]. Se prevé que IP sobre WDM será la combinación "ganadora" debido a la habilidad de IP de ser una capa común de convergencia y de WDM de ser una capa de transporte altamente eficiente de banda ancha, [3].

En este trabajo se describe el diseño y desarrollo de una red óptica para fines de investigación aplicada en tecnologías de información demandantes de ancho de banda y comunicaciones por fibra óptica. Este desarrollo se está realizando bajo el amparo del proyecto FONDEF D00I1026 "Redes Ópticas para el Internet del Futuro", que está siendo ejecutado por REUNA, la Universidad Técnica Federico Santa María UTFSM, la Universidad de Santiago de Chile (USACH), la Universidad de Chile (UCH), la Universidad de la Frontera (UFRO) y la Universidad de Tarapacá (UTA), ver [4].

Este trabajo tiene relación con el diseño y especificación de la red, no cubre el desarrollo de las aplicaciones, lo cual será cubierto en otra publicación.

## II. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Para el diseño de la red óptica ha sido relevante establecer claramente los objetivos de cada una de las entidades

participantes del proyecto. Estos objetivos son, para

- REUNA: administración, diseño e implementación de la red óptica y desarrollo de aplicaciones demandantes de ancho de banda.
- UTFSM: administración general del proyecto, diseño e implementación de red óptica, investigación aplicada y capacitación en comunicaciones ópticas, desarrollo de aplicaciones demandantes de ancho de banda e investigación aplicada en redes IP con calidad de servicio.
- USACH y UTA: diseño e implementación de red óptica, investigación aplicada y capacitación en comunicaciones ópticas.
- UCH y UFRO: investigación aplicada en redes IP con calidad de servicio.

## III. HIPÓTESIS DEL PROYECTO

El proyecto FONDEF D00I1026 se orienta a la implementación de una red de fibra óptica Inter-Universitaria, la cual está formada por cuatro nodos WDM/GbE (*Wavelength Division Multiplexing/Gigabit Ethernet*): tres en Santiago (USACH, REUNA y UdeCH) y uno en Valparaíso (UTFSM). Hipótesis importantes para el desarrollo del proyecto son:

- Se puede combinar las ventajas del protocolo IP y la tecnología WDM, evitando el tradicional encapsulamiento en SDH para el transporte de aplicaciones demandantes de ancho de banda.
- La red óptica experimental implementada será escalable, y estará acompañada con la implementación de laboratorios en comunicaciones ópticas para investigación aplicada y capacitación al sector productivo.
- El desafío es proveer una solución a estas necesidades a un costo muy reducido, acorde al financiamiento que provee FONDEF.
- Las empresas del sector telecomunicaciones deben estar dispuestas a colaborar con el proyecto con fibra óptica, a pesar de los difíciles momentos por los cuales está pasando el sector. Es importante que la fibra utilizada por los proveedores sea homogénea.
- En el tramo Santiago-Valparaíso no es posible una regeneración pasando por un procesamiento eléctrico, ya que esto impide llevar a cabo los experimentos ópticos.
- Los fondos deben ser suficientes para financiar el equipamiento faltante para el laboratorio óptico.

## IV. TOPOLOGÍA DE LA RED OPTICA

La red óptica debe adaptarse a las necesidades del proyecto. En la UTFSM se desarrollarán trabajos de investigación, desarrollo, capacitación y transferencia al sector productivo relacionados con el nivel físico y con el nivel de aplicaciones. En REUNA se realizarán trabajos relacionados con el nivel de aplicaciones. El nodo de la UCHILE se usará exclusivamente para correr aplicaciones IP. En cambio en el nodo de la USACH,

se realizará exclusivamente un trabajo relacionado con las comunicaciones ópticas.

La red óptica se ha proyectado con 4 nodos interconectados como lo ilustra la figura 4.1. Nótese que hay un enlace de gran distancia (150 km aproximadamente), propio de un *backbone*, y dos enlaces de corto alcance, como suelen presentarse en redes Metropolitanas (alrededor de 10 km).

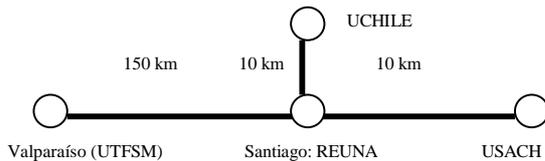


Figura 4.1: Diagrama conceptual de la red óptica y sus nodos

Desde el punto de vista de las aplicaciones, la red óptica a implementar tiene la forma de la figura 4.2. Como se observa, la USACH no participa del desarrollo de aplicaciones que corran sobre la red.

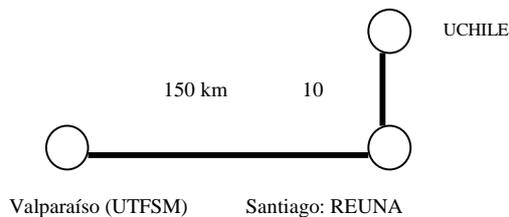


Figura 4.2: Red óptica para el desarrollo de las aplicaciones.

Se requiere de: una conexión o ruta entre UTFSM y REUNA (1 longitud de onda en cada sentido), una ruta entre UTFSM y UCHILE (1 longitud de onda en cada sentido) y una ruta entre UCHILE y REUNA (1 longitud de onda en cada sentido)

Para la investigación aplicada en comunicaciones ópticas la red tomará la forma de la figura 4.3, donde el paso por REUNA es obligado, pero sin un tratamiento de la señal óptica en este nodo.

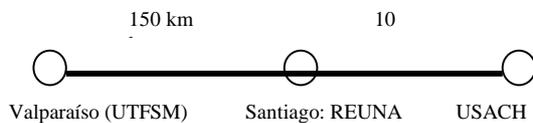


Figura 4.3: Red para experimentar en comunicaciones ópticas

Para implementar lo anterior se requiere de fibra oscura en los siguientes tramos UTFSM-REUNA-USACH. Entre REUNA y la UCH no se requiere, en rigor, de fibra oscura, pero es conveniente que se disponga de ella.

El diseño de la red óptica pasó por diversas fases. Originalmente, cuando se formuló el proyecto, se estimó que

para el tiempo en que el proyecto entrara a su fase de ejecución se iba a disponer de switches ópticos en forma comercial, a precios razonables. Esto permitiría realizar ruteo dinámico. Es por esa razón que a los proveedores de equipos se les presentó una solución que contemplaba una configuración de estrella con su centro en REUNA, en cuyo nodo se instalaba un switch que permite realizar ruteamiento dinámico de longitudes de onda. Esta solución es muy atractiva puesto que ofrece una gran flexibilidad para configurar redes experimentales usando el ruteo dinámico, lo cual también se aprovecha en ocasiones en que se producen fallas en los enlaces. Adicionalmente, el diseño contemplaba que los enlaces se realizaran con tecnología CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*), la cual es de menor costo.

CWDM es una tecnología en que se transmite información en diferentes longitudes de onda. Típicamente se ofrecen soluciones comerciales con hasta 8 longitudes de onda que se distribuyen en el espectro de 890 nm a 1550 nm, cada una de una capacidad de 1,25 Gb/s. Su capacidad de crecimiento está limitada a estas 8 longitudes de onda, ya que para mayores capacidades la solución lógica es la de DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*).

Sin embargo hay tres razones que hacen que esta solución basada en CWDM sea irrealizable para los propósitos del proyecto.

- 1) No existen amplificadores ópticos para CWDM. Sólo se dispone de regeneradores. Pero para realizar investigación y capacitación en comunicaciones ópticas se requiere de amplificadores ópticos.
- 2) El uso de esta tecnología implica que se deben instalar 2 regeneradores ópticos en el tramo Santiago-Valparaíso, a distancias de 50 km entre sí. Sin embargo, los proveedores de servicio probablemente tienen sus repetidores ópticos instalados a distancias de 75 km para sus enlaces SDH, lo que hace que esta solución sea impracticable.
- 3) Adicionalmente, los switches ópticos para realizar ruteo dinámico no se desarrollan para tecnología CWDM, por ser ésta una tecnología muy limitada en capacidad.

En consecuencia, se desarrollaron alternativas basadas en ruteo estático y tecnología DWDM en el trayecto Santiago – Valparaíso. DWDM permite la transmisión de información en múltiples longitudes de onda en un espectro mucho más estrecho que el de DWDM, generalmente menos de 100 nm. Esto permite el uso de amplificadores ópticos. El problema es que DWDM es una tecnología más cara.

Una red óptica basada en dos anillos ópticos redundantes con un nodo central ubicado en REUNA o la USACH es muy atractiva. Sin embargo, esta solución se descartó porque desde un punto de vista práctico es impracticable ya que exige el uso de un número elevado de trasladadores de longitud de onda, que encarecen el proyecto.

Esto derivó en la propuesta de una red óptica con una topología de estrella, con REUNA como nodo central. Entre REUNA y la UTFSM se establece un enlace de 2 fibras, con 4

longitudes de onda cada una, una fibra de ida y una de vuelta. Hay 2 longitudes de onda, de las 4 nombradas, destinadas al desarrollo de aplicaciones con rutas estáticas REUNA-UTFSM y UCH-UTFSM. Las otras 2 longitudes de onda son para investigación aplicada y capacitación en comunicaciones ópticas entre UTFSM y USACH. De REUNA hay dos enlaces a la UCH, con fines de desarrollo de aplicaciones. Uno de ellos es el de UCH-REUNA, el otro es el de UTFSM-UCH. Finalmente entre REUNA y la USACH es necesario que exista un enlace de 2 fibras con una longitud de onda cada uno, para completar la ruta UTFSM-USACH. Véase la figura 2.4.

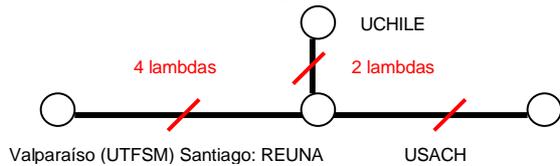


Figura 4.4: la red óptica experimental del proyecto FONDEF

## V. CONFIGURACIÓN DE LA RED OPTICA

Se contactó a los siguientes proveedores de empresas para solicitar cotizaciones: Alcatel, Cisco (Adexus y Coasin), Huawei, Magenta, Nortel (Telectronic), PadTec, Siemens, WRI. Analizadas las propuestas después de un proceso de licitación pública, se optó por la solución de CISCO que se presenta a continuación en la figura 5.1. La solución planteada cumple con los requerimientos del proyecto, haciendo uso de la capacidad de los switches ópticos que son instalados en la UCH y en REUNA, de tener enlaces independientes de 10 km, haciendo uso de 4 de las 6 fibras disponibles.

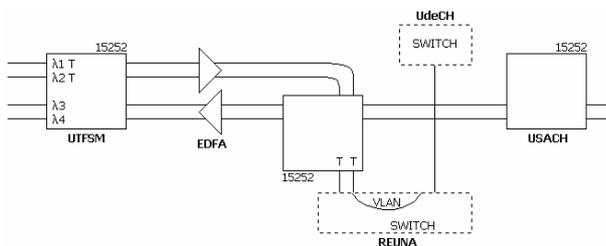


Figura 5.1: Red óptica en base a equipamiento CISCO.

La solución considera 3 switches ópticos 15252. En el caso de la UTFSM este equipo está implementado con 8 transponedores de longitud de onda (4 en cada sentido), mientras que en REUNA y la USACH cuentan con 4 transponedores (2 en cada sentido). El enlace Santiago – Valparaíso tiene dos amplificadores ópticos EDFA (uno en cada sentido).

Para la red de datos compuesta por tres nodos IP, la topología óptica de longitudes de onda o “canales ópticos” termina en equipos de capa 2 y 3, de última generación, llamados *routing-switches*. Estos equipos finales son Cisco Catalyst 3550-12G cuyo protocolo de capa 2 es Gigabit Ethernet 802.3z (1.25 Gb/s) y de capa 3 es IPv4. La topología de red entre los 3 nodos IP descansa directamente en la topología de los canales ópticos

configurados sobre la red WDM. Los tres nodos IP estarán ubicados en la UTFSM, en la UCHILE y en REUNA.

Durante el segundo año del proyecto se agregarán tres nuevos equipos a la red de datos para configurar el protocolo de ruteo IPv6. Estos equipos serán *routers* Cisco 2651XM, los cuales serán interconectados entre sí usando canales ópticos distintos de la misma red óptica WDM. La numeración IPv6 corresponderá a un sub-bloque de pruebas (sTLA /48) perteneciente al dominio experimental en Internet2 6Bone, red con la cual se tendrá una conexión nativa en IPv6. Los nodos IPv6 serán ubicados en los mismos sitios de la red IPv4. Sobre esta red de datos podrán experimentarse aplicaciones que requieran características avanzadas como calidad de servicio (QoS), enrutamiento multicast, IPv6 nativo y una cantidad de tráfico agregado útil o ancho de banda de varios Gb/s.

## VI. DISEÑO DE LOS LABORATORIOS DE INVESTIGACION EN REDES OPTICAS

Las hipótesis para el desarrollo de laboratorios de comunicaciones ópticas, orientados a la investigación en comunicaciones ópticas y a la capacitación experimental de los proveedores de servicios de comunicaciones que utilizan la fibra óptica como medio de transporte de información, es que se requieren instrumentos para configurar dos laboratorios con el equipamiento básico, uno en la UTFSM y otro en la USACH. Ambas instituciones cuentan con especialistas en la materia y aportan con equipamiento para este laboratorio, adquirido previamente. Los experimentos a ser implementados requieren de instrumentos para transmitir señales ópticas por la fibra en determinadas longitudes de onda y otros instrumentos que permitan medir experimentalmente el efecto que se producen en el tramo a ser analizado, considerando los efectos de amplificadores y de la fibra misma.

En lo relativo al equipamiento, se dotó a estos laboratorios con fuentes ópticas sintonizables, analizadores de espectro ópticos, analizadores de reflectometría y medidores de potencia. En consecuencia, el equipamiento con el que cuentan estos laboratorios es el siguiente: un OTDR (*Optical TimeDomain Reflectometer*), un OSA. (*Optical Spectrum Analyzer*), dos medidores de potencia óptica, dos fuentes ópticas, dos localizadores de fallas de enlaces ópticos, un atenuador de señales ópticas programable, un sistema didáctico de comunicaciones por fibra óptica, tramos de fibra de aproximadamente 10 km y rollos de fibra desnuda de distintas características para la realización de diversos experimentos, máquinas fusionadoras automáticas (donadas por ENTEL).

Algunos experimentos de medición de parámetros en dispositivos/sistemas de comunicaciones ópticas que se pueden realizar con este equipamiento se describen a continuación:

a. *Caracterización de una fuente óptica*. para obtener algunos parámetros de la fuente láser, tales como: longitud de onda principal, máxima amplitud de longitud de onda, FWHM (*Full Width at Half Maximum*) y potencia total.

b. *Caracterización de un amplificador óptico (EDFA).* Es posible realizar un conjunto de mediciones para conocer los parámetros más importantes de un amplificador óptico (EDFA), tales como: longitud de onda de la fuente, potencia de la fuente, espectro de ganancia del amplificador y figura de ruido del amplificador. Para estas mediciones puede ser necesario el uso de un atenuador óptico.

c. *Medición de Pérdida de Inserción utilizando el OTDR.* El OTDR trae incorporada una fuente óptica y el módulo medidor de potencia. Las pérdidas de inserción se producen en dispositivos que intervienen en la trayectoria de la señal. Primero se debe conectar la fibra sin el dispositivo para tener una potencia de referencia, luego se inserta éste y se mide la potencia. La diferencia entre ambas potencias entregará las pérdidas introducidas por el dispositivo.

d. *Medición de Apertura Numérica.* Con el uso de un kit de fibra óptica es posible realizar una serie de experiencias de laboratorio para conocer parámetros característicos de la fibra óptica. Mediante el esquema de medición mostrado a continuación, es posible obtener el valor de Apertura Numérica de la fibra.

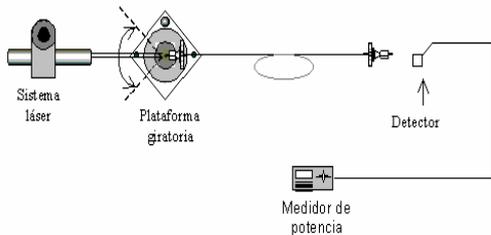


Figura 6.1: Medición de apertura numérica

La plataforma giratoria de la figura 6.1 está graduada en ángulos: girando en ambos sentidos, tal como lo sugiere la figura, se obtiene el valor del máximo ángulo de incidencia que permite el cálculo de la Apertura Numérica.

e. *Curva Potencia v/s Corriente de un LED.* Con el Multímetro Digital de la figura 6.2 se obtiene el valor de corriente del LED, girando la perilla superior. En el medidor de potencia se obtiene la medida de potencia. El experimento consiste en obtener una gráfica de la corriente inyectada versus potencia emitida.

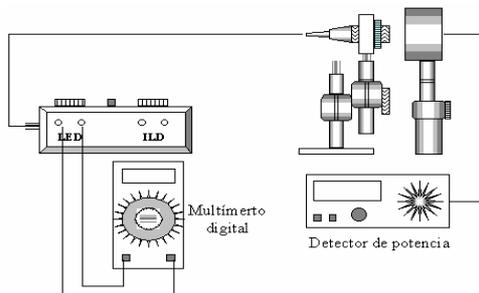


Figura 6.2: Medición para obtener curva P-I de un LED

f. *Curva Potencia v/s Corriente de un diodo láser (ILD).* De igual forma que para la medición de la curva de Potencia v/s

Corriente para el diodo emisor de luz (LED), para obtener esta medición para un diodo láser, se utiliza el esquema de medición de la figura 6.3, utilizando el kit de fibra óptica. Con el Multímetro Digital se obtiene el valor de corriente del LED, girando la perilla superior. En el medidor de potencia se obtiene la potencia. Se tabula una cantidad apropiada de mediciones y se procede a graficarlas.

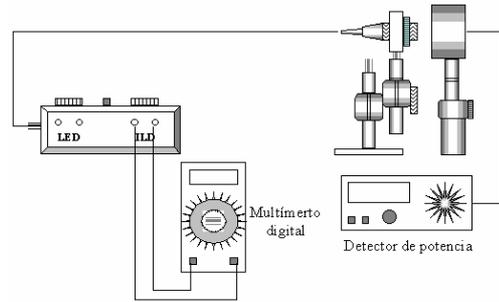


Figura 6.3. Medición para obtener curva P-I de un ILD

g. *Enlace de comunicaciones WDM mediante fibra óptica.* Con el uso del kit de fibra óptica, también es posible realizar un enlace de comunicaciones WDM. La idea es transmitir la información por medio de la fibra, para ello, en un extremo del enlace se dispone de dos fuentes de señal (radios) que envían sus señales y son multiplexadas en una misma fibra. En el otro extremo del enlace, estas señales son demultiplexadas para dos distintos receptores (parlantes). La configuración del enlace se presenta en la figura 6.4.

## VII. INVESTIGACIÓN EN REDES OPTICAS

Las actividades de investigación a ser realizadas en este laboratorio a escala real, dicen relación con la observación experimental, y validación de los modelos matemáticos asociados, de una serie de fenómenos de importancia en redes de esta naturaleza. Entre estos fenómenos, se pueden citar:

- Efectos de la acumulación de ganancia local (*gain peaking*) en cascada de amplificadores ópticos (EDFAs)
- Efectos de la acumulación del ruido de emisión espontánea amplificada (ASE) en enlaces amplificados
- Efectos de fenómenos no lineales en redes ópticas WDM
- Efectos de funciones *add/drop* de señales en los nodos de redes ópticas WDM.
- Amplificación óptica distribuida

## VIII. CURSOS DE CAPACITACIÓN A SER OFRECIDOS

Entre las actividades de capacitación contempladas en este proyecto, se cuentan:

- Curso de comunicaciones por fibras ópticas
- Diseño de redes ópticas WDM
- Medición de parámetros relevantes en sistemas de comunicaciones por fibra óptica
- Medición de desempeño de redes ópticas WDM

- Mantenimiento y operación de redes ópticas WDM

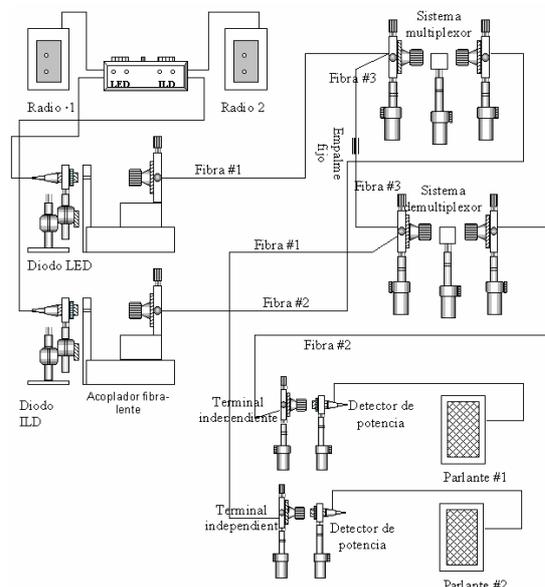


Figura 6.4. Sistema de comunicaciones ópticas WDM.

## IX. RESULTADOS OBTENIDOS

El proceso para obtener el equipamiento y la infraestructura para la red óptica IP/WDM fue largo y difícil. El modelo de red que fue concebido inicialmente con la colaboración de ingenieros de CANARIE (ver referencia [5]) resultó ser inaplicable para la red desarrollada. El proyecto CANARIE tiene muchas similitudes con el proyecto que se está desarrollando en Chile, sin embargo, apunta más bien a proveer una conectividad de banda ancha para comunidades que están interesadas en apoyarse en tecnologías de información. En el proyecto FONDEF, el hecho de realizar investigación aplicada en comunicaciones por fibra óptica significó que aparecieran requerimientos adicionales a los del proyecto CANARIE, como por ejemplo, el evitar el uso de repetidores regeneradores en los enlaces.

Las negociaciones con los proveedores de equipamiento de red y de instrumental de laboratorio fueron extensas, debido principalmente a limitaciones presupuestarias en el proyecto. Un punto importante que prolongó la negociación fue el hecho de que fue necesario explicar a los proveedores de equipos de telecomunicaciones (Alcatel, Huawei, Nortel, Siemens, PadTec, WRI) el carácter experimental de la red, en la que se buscaba evitar el transporte de información sobre tecnología SDH, la necesidad de proporcionar longitudes de onda transparentes para la investigación aplicada en comunicaciones por fibra óptica y también, debido a lo recién expuesto, la incompatibilidad de soluciones basadas en regeneradores. Una vez que se logró transferir estos conceptos a estas empresas, se recibieron muy buenas propuestas por todas aquellas que participaron en el proceso de licitación. La decisión final acerca de cuál era el equipamiento a ser adquirido no fue fácil, con algunas pérdidas

significativas en el proceso, necesarias por lo demás en toda solución que implica compromisos.

En un proyecto como el descrito el aporte más significativo es la fibra óptica que permite configurar la red. ManquehueNet colaboró con el proyecto realizando el tendido metropolitano en Santiago, que une a la UCH con REUNA y la USACH con REUNA con 6 fibras en cada enlace. También elaboraron una conectividad entre esta red con CHILESAT, que es la empresa que aportó con 2 fibras para el enlace entre Santiago y Valparaíso, además del albergue de los amplificadores ópticos necesarios para este tramo. Finalmente es de reconocer el aporte de AT&T, que proveyó el acceso local entre CHILESAT y la UTFSM con 2 fibras. Todas las fibras ópticas del proyecto están conformes a la norma G652, lo cual simplifica extraordinariamente la configuración de la red.

En este contexto resulta interesante, además, que para efectos de la investigación aplicada en comunicaciones ópticas es imprescindible la colaboración de los expertos y las organizaciones que participan del proyecto. El proyecto reúne a los tres expertos que tienen un doctorado en Comunicaciones Ópticas del país, que no contaban con un laboratorio real, con el instrumental básico y una infraestructura de red de la envergadura necesaria, pero que gracias a la ejecución de este proyecto la tienen. Este laboratorio permite ofrecer una capacitación en estas tecnologías no solamente a los ingenieros de las empresas de telecomunicaciones y de redes de computadoras, sino también a estudiantes de ingeniería que se beneficiarán de esta iniciativa.

## X. CONCLUSIONES

Se ha descrito el proceso de diseño y configuración de una red óptica experimental basada en tecnología IP sobre WDM con 3 nodos en Santiago y un nodo en Valparaíso. Sobre esta red se realizarán investigación aplicada y capacitación en comunicaciones por fibra óptica, como asimismo una serie de aplicaciones de interés. Algunos de los tópicos de desarrollo que se realizarán una vez que esté configurada la red es el desarrollo de una red experimental IPv6 con nodos en la UTFSM, REUNA, UFRO y otras

## XI. RECONOCIMIENTOS

Este trabajo es financiado parcialmente por el proyecto FONDEF D00I1026, y tuvo el apoyo de AT&T, CANARIE, CHILESAT, CISCO y ManquehueNet. Se agradece además la colaboración de los alumnos memoristas Cristian Fernández y Gustavo Teke, como también de Juan Montero.

## XII. REFERENCIAS

- [1] <http://www.research.att.com/~amo/doc/internet.moore.abst>
- [2] [www.gildertech.com](http://www.gildertech.com)
- [3] N. Ghani et al., "On IP-over-WDM Integration", *IEEE Comm. Mag.*, marzo 2000
- [4] <http://redesopticas.reuna.cl/>
- [5] <http://www.connect.gc.ca/en/290-e.htm>

**Walter Grote** es académico del Departamento de Electrónica de la UTFSM desde 1974. Obtuvo el título de Ingeniero Civil Electrónico de las UTFSM en 1975, el grado de M.Sc. in EE. del Polytechnic Institute of NY y el grado de Ph.D in EE de la Polytechnic University en 1984 y 1992, respectivamente. Ha sido investigador en diversos proyectos FONDECYT, FONDEF, FDI y FONTEC y continúa con esa labor. El área de desarrollo profesional es en telefonía, comunicaciones inalámbricas, redes de datos y protocolos de acceso múltiple.

**Cristian Henry** es Ingeniero de Redes de la Gerencia Técnica de REUNA. Obtuvo el título de Ingeniero en Computación e Informática en la Universidad Católica del Norte en 1993, el grado de licenciado en Ciencias de la Ingeniería en la Universidad de Atacama en 1995, y el Título de Especialidad en Arquitectura de Conmutación y Comunicación de Datos en la ETSIT de la Universidad Politécnica de Madrid en 1997. Adicionalmente obtuvo las Certificaciones Internacionales en el área de *Routing* y *Switching* Cisco CCNA en 2001, CCNP en 2002 y actualmente es candidato del examen de laboratorio para la obtención de la certificación CCIE (*Cisco Certified Internetwork Expert*) en Estados Unidos. El área de desarrollo profesional es en telecomunicaciones, redes de multimedias y protocolos de *routing* y *switching* para redes avanzadas.

**Ricardo Olivares** es académico del Departamento de Electrónica de la UTFSM desde 1986. Obtuvo el título de Ingeniero Civil Electrónico de las UTFSM en 1989, el grado de M.Sc. y PhD en Ing. Eléctrica de la Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, en 1992 y 2000, respectivamente. El área de desarrollo profesional es en telecomunicaciones, con énfasis en comunicaciones ópticas.

**Fideromo Saavedra Guzmán** es Ingeniero Civil Eléctrico de la Universidad de Santiago de Chile, Doktor Ingenieur de la Universidad Técnica de Dresden, Alemania. Ha ejercido como académico en las Ues. Técnica del Estado, Santiago; Técnica de Dresden y Humboldt de Berlín, Alemania; de la Frontera de Temuco; del Bío-Bío de Concepción y Austral de Valdivia. Actualmente se desempeña como profesor JC en la U. de Santiago de Chile. Posee publicaciones nacionales e internacionales en las áreas de propagación electromagnética, educación en Ingeniería, pero principalmente en el área de la comunicación óptica.