

# REDES ÓPTICAS DWDM: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

## DWDM OPTICAL NETWORKS: DESIGN AND IMPLEMENTATION

DUILIO ARNULFO BUELVAS PEÑARRREDONDA<sup>1</sup>  
IVÁN DARÍO TÉLLEZ SILVA<sup>2</sup>  
EDGAR AMADO MATEUS<sup>3</sup>

RECIBIDO: SEPTIEMBRE 2009

APROBADO: DICIEMBRE 2009

### RESUMEN

En la actualidad estamos asistiendo a una auténtica revolución de las comunicaciones avanzadas, derivada principalmente de la liberalización del sector y del crecimiento de los usuarios de Internet, los servicios de datos y la telefonía móvil. Las soluciones que tienen la mayoría de los proveedores de telecomunicaciones para satisfacer este aumento de la demanda de tráfico son diversas. Por una parte pueden instalar más fibra, aunque esta es una solución costosa y en algunos casos inviable. No obstante, el principal problema al que se enfrentan los proveedores de servicio es el relacionado con el salto a una capacidad mayor. La mejor alternativa que tienen los operadores consiste en DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), que permite aumentar de una forma económica la capacidad de transporte de las redes existentes. En este artículo se realiza un análisis de las redes DWDM, sus características principales y los aspectos que influyen en su diseño e implementación para un funcionamiento óptimo y escalable a futuro.

### *Palabras clave*

Redes ópticas, multiplexación, ancho de banda, potencia óptica, escalabilidad, transparencia.

### *Abstract*

Today we are witnessing a revolution in advanced communications, derived primarily from the liberalization of the sector and the growth of Internet users, data services and mobile telephony. The solutions that most telecommunication providers

---

1 Ingeniero electrónico, Universidad Autónoma de Colombia. Especialista en Soluciones Telemáticas. M.Sc. (p) en Teleinformática. Docente adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo: dbuelvas@udistrital.edu.co  
2 Ingeniero en Telecomunicaciones, Universidad Distrital. Ingeniero en redes ópticas en Telmex. Correo: ivan.dario.tellez@gmail.com  
3 Ingeniero en Telecomunicaciones, Universidad Distrital. Docente Universidad Autónoma de Bucaramanga. Correo: eamadomateus@hotmail.com

offer to meet this increase in traffic demand are diverse. On the one hand you can install more fiber; although this is an expensive, impractical solution. In some other cases, the main problem facing service providers is related to the jump to a higher capacity. The best alternative is to have operators in DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), which allow an economical way to increase the carrying capacity of existing networks. In this article, an analysis of DWDM networks is performed including their main characteristics and issues that influence their design and implementation for optimal performance and scalable future.

### Key words

Optical networks, multiplexing, bandwidth, optical power, scalability, transparency.

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido a la evolución y a la oferta comercial de nuevos servicios informáticos de valor agregado, tales como video bajo demanda, videoconferencia remota, telemedicina, aplicaciones multimedia, entre otros, las empresas de telecomunicaciones, como carriers y operadores, han tenido que implementar nuevas tecnologías de multiplexación sobre los enlaces de fibra óptica existentes para así soportar grandes requerimientos de ancho de banda, como los de las aplicaciones mencionadas. En el diseño y la implementación de las redes normalmente se busca bajar costos, como los derivados de la operación de la red y de las obras civiles de instalación de fibra óptica. La multiplexación por división de longitud de onda (WDM) [1-2] es una tecnología que se utiliza en la transmisión de varias longitudes de onda sobre una misma fibra sin interferencia mutua; cada longitud de onda representa un canal óptico dentro de la fibra. Un sistema WDM posee métodos ópticos que permiten combinar dichos canales dentro de la fibra y extraerlos en puntos apropiados a lo largo de la red. Al transmitir simultáneamente varios

canales, se logra incrementar el ancho de banda del medio de transmisión, el cual es equivalente a la capacidad individual de cada longitud de onda por el número de estas. Un sistema básico utiliza un multiplexor para unir las señales y un demultiplexor para separarlas. El sistema puede ser unidireccional o bidireccional, de acuerdo con los dispositivos de multiplexación. En el caso bidireccional, la información se transmite en canales diferentes para cada sentido.

## 2. DESARROLLO DE TECNOLOGÍA DWDM

Alexander G. Bell ensayó en 1880, con un dispositivo llamado *photophone* y la luz solar, utilizar tales ondas en las comunicaciones. La utilización de un haz de luz incoherente —luz compuesta por múltiples longitudes de onda— en un medio como el aire no entregó un resultado aceptable para comunicaciones a larga distancia, por lo que el invento quedó en el olvido y se esperó hasta las décadas de los sesenta y de los setenta del siglo XX, cuando aparecieron los láseres y la fibra óptica que eliminaron estas barreras. A partir de entonces, el desarrollo de la electroóptica ha sido acelerado y se han alcanzado grandes éxitos con la aplicación de esta técnica para la construcción de todo tipo de dispositivos que permiten transmitir una gran cantidad de información a gran distancia, con total fiabilidad y seguridad.

La culminación de todos estos desarrollos [1-2] es la técnica conocida como WDM (Wavelength Division Multiplexing) o multiplexación por división de longitud de onda, que permite la transmisión simultánea de diferentes longitudes de onda (canales) por la misma fibra óptica. DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) nace desde la tecnología WDM, la cual empezó a finales de la década de 1980, usando dos longitudes de onda muy espaciadas —1310 nm y 1550 nm— a veces llamada WDM de banda ancha. Las fibras se utilizaban para transmitir en diferentes sentidos.

A principios de la década de 1990 se da la segunda generación de WDM, que en ocasiones se denomina WDM de banda estrecha, en la cual se usaba de dos a ocho canales, que estaban espaciados en un intervalo de unos 400 GHz en la ventana de 1.550 nm. A mediados de los noventa, los sistemas DWDM que estaban emergiendo estaban conformados por 16 a 40 canales y un espaciado de 100 a 200 GHz. Desde finales de los noventa a la actualidad [1-2], los sistemas DWDM han evolucionado hasta el punto de que son capaces de tener de 64 a 160 canales en paralelo y espaciados cada 25 o 50 GHz. En la Figura 1 se muestra un esquema de la evolución de esta tecnología:



Figura 1. Evolución de tecnología DWDM.

Actualmente se están implementando redes NG-DWDM que soportan 640 canales reconfigurables, aplicando conceptos de MPLS y ASON (Automatically Switched Optical Network) que permiten no sólo aumentar la capacidad sino realizar ingeniería de tráfico para optimizar las redes ópticas.

### 3. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES DWDM

El sistema DWDM tiene ciertas características de nivel físico. En la Figura 2 se indica este

sistema y a continuación se describen las funciones principales:

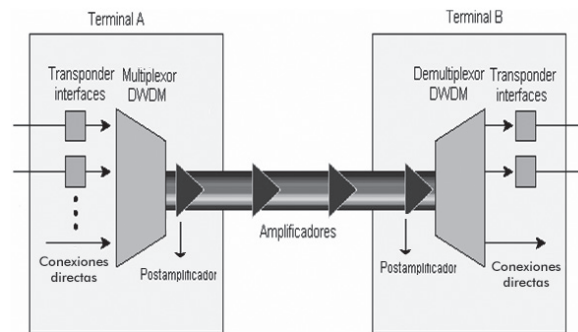


Figura 2. Características a nivel físico de DWDM.

1. El transponder, o trasladador de longitud de onda, acepta la entrada en la forma de un láser estándar monomodo o multimodo. La entrada puede venir de distintos medios físicos y con diferentes tipos de tráfico. La longitud de onda de cada señal de entrada es mapeada a una longitud de onda DWDM.

2. Luego se produce una combinación de señales; para esto se usan los multiplexores. Las longitudes de onda DWDM del transponder son multiplexadas en una sola señal óptica y enviada a la fibra. El sistema puede incluir la posibilidad de aceptar señales ópticas directas al multiplexor, que pueden venir, por ejemplo, de un satélite.

3. Hay alguna pérdida inherente asociada a la multiplexación y la demultiplexación. Esta pérdida depende del número de canales, pero se puede mitigar con amplificadores ópticos que amplían todas las longitudes de onda a la vez sin conversión eléctrica. Para esto se utiliza un postamplificador a la salida del sistema.

4. El siguiente paso es la transmisión de señales que se hace por la fibra óptica. Sin embargo, los efectos de diafonía y la degradación o pérdida de la señal óptica deben ser considerados en la

transmisión por la fibra. Estos efectos pueden ser minimizados mediante el control de las variables, tales como el espaciado entre canales, la tolerancia de la longitud de onda y los niveles de potencia del láser. En un enlace óptico se usan amplificadores ópticos para darle ganancia a la señal.

5. Un preamplificador refuerza la señal antes de que entre en un extremo del sistema.

6. Inmediatamente viene la separación de las señales recibidas. En el lado del receptor, tales señales multiplexadas deben ser separadas en lambdas (longitudes de onda) individuales. Aunque esta tarea parece ser simplemente el opuesto de la combinación de señales, en la actualidad es técnicamente más difícil.

7. Finalmente está la recepción de señales. La señal demultiplexada es recibida por un fotodetector y cada lambda individual es mapeada según el tipo de salida requerido. Si el cliente tiene servicio de fibra óptica, sus equipos deben contar con interfaces para recibir la señal. Esta función la pueden realizar, por ejemplo, los transceivers ópticos (convertidores optoelectrónicos).

### 3.1 PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN EN SISTEMAS DWDM

Los sistemas DWDM tienen una gran importancia en la capa óptica, la cual es responsable del transporte de las señales a través de la red. Algunos parámetros básicos concernientes a la transmisión óptica son explicados a continuación.

#### 3.1.1 ESPACIAMIENTO DEL CANAL

El espaciado del canal es la mínima frecuencia de separación entre las diferentes señales multiplexadas en la fibra. Puede ser de 200, 100, 50, 25 o 12,5 GHz; los espaciados que ac-

tualmente están estandarizados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) (ver [3]) son los de 50 y 100 GHz, y constan en la recomendación G.694.1.29

Cuanto menor sea el espaciado, mayor será la diafonía; además, el impacto de algunas no linealidades de la fibra, tales como FWM (mezclado de cuatro ondas), las incrementa. Y dependiendo de los equipos, a medida que el espaciado disminuye también se limita la máxima velocidad de datos por longitud de onda que se desea transmitir.

#### 3.1.2 DIRECCIÓN DE LA SEÑAL

Los sistemas DWDM pueden ser implementados de dos formas: unidireccional y bidireccional. En los sistemas unidireccionales todas las longitudes de onda viajan en una misma dirección en la fibra y se necesitan dos de estas para la transmisión en ambos sentidos. Por otro lado, en los sistemas bidireccionales el canal es subdividido en dos bandas, una para cada dirección. Esto quita la necesidad de una segunda fibra, pero se reduce la capacidad del ancho de banda a transmitirse.

#### 3.1.3 ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL

Los sistemas DWDM son capaces de transportar señales ópticas con grandes anchos de banda. Los típicos sistemas DWDM usan láseres que tienen una velocidad de bit de 10 gbps (OC-192/STM-64) y pueden multiplexar a 240 longitudes de onda. Esto provee un máximo de 2,4 tbps sobre una sola fibra óptica. Los nuevos sistemas DWDM serán capaces de soportar velocidades de 40 gbps (OC-768/STM-256) por cada longitud de onda con 300 canales multiplexados. A raíz de esto se podrán transmitir 12 tbps de ancho de banda sobre una misma fibra. Todo esto obviamente está condicionado a la posibilidad de transmisión de la fibra

óptica y a los sistemas de conmutación.

#### 3.1.4 POTENCIA DE LA SEÑAL

La potencia de la señal en los sistemas ópticos decrece exponencialmente con la distancia. La potencia de entrada es proporcionada directamente por el láser emisor y la potencia de salida es el resultado de una amplia gama de sucesos que se presentan a lo largo del enlace óptico, como son: atenuación, dispersión, efectos no lineales en las fibras ópticas, amplificación óptica, conversión optoelectrónica, etc.

#### 3.1.5 CODIFICACIÓN

Las señales eléctricas que llevan las diferentes portadoras de información son codificadas cuando son convertidas a señales ópticas para su transmisión y son decodificadas en el receptor óptico, donde serán nuevamente convertidas a señales eléctricas. Los tipos de codificación más utilizados en el dominio óptico son: no retorno a cero (NRZ) y retorno a cero (RZ).

#### 3.1.6 TASA DE BIT ERRADO (BER)

La tasa de bits errados (BER) es igual a la tasa de bits errados en un total de bits transmitidos. Típicamente valores de BER de  $10^{12}$  son característicos de la Red Óptica Síncrona (Sonet, por sus siglas en inglés) y  $10^{15}$  para redes DWDM, especialmente en redes *long haul*. El valor de  $10^{15}$  quiere decir 1 bit errado en  $10^{15}$  bits transmitidos.

#### 3.1.7 RUIDO

El ruido se presenta en sistemas ópticos que incluyen procesos de amplificación. El OSNR (relación señal a ruido óptico) especifica la razón entre la potencia neta de la señal y la potencia neta del ruido.

## 4. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE LA RED ÓPTICA DWDM

Lo primero que se debe hacer antes de comenzar el diseño de la red óptica es saber cuáles son los requerimientos del operador. Estos determinan los parámetros iniciales para el diseño y algunos pueden ser:

- Mantener servicios actuales.
- Escalabilidad.
- Disponibilidad.
- Capacidad.
- Costos.
- Mantenimiento.
- Instalación.
- Gestión.

Después de tener los parámetros iniciales debemos continuar con el diseño. Es necesario tener en cuenta que el principal objetivo para cualquier implementación es mantener los servicios actuales, aumentando la capacidad de los enlaces; utilizar un solo hilo de fibra para  $T_x$  y otro para  $R_x$ , y garantizar la conectividad entre los nodos, los anchos de banda y la baja relación señal a ruido.

La metodología que se seguirá para este diseño es la siguiente, aunque cabe aclarar que no es la única posible:

- Elección de los equipos y tarjetas. Se debe elegir los equipos a utilizar ya que estos marcarán las pautas para el diseño a nivel de potencia, ancho de banda y OSNR.
- Configuración de los equipos. Hay que realizar la configuración de cada uno de los nodos, con las tarjetas elegidas para cada señal existente.
- Diseño a nivel de potencia. Se requiere garantizar la potencia óptica en cada uno de

los nodos para asegurar que no se pierda la señal en la fibra.

- Diseño a nivel de ancho de banda. Se garantiza la distancia máxima de transmisión para las señales que se van a utilizar.
- Diseño a nivel de ruido. Se asegura que la relación señal a ruido no sea muy alta y no genere problemas para la señal.

#### 4.1 ELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

Esta es una fase fundamental del diseño. En el mercado existen distintos tipos de marcas, con características diferentes pero con la misma base. Lo importante es escoger los equipos según los requerimientos del cliente, los equipos existentes a migrar, las características de los enlaces y el soporte que el fabricante les dé a los equipos. Los equipos elegidos nos proporcionan las características de potencia y de dispersión que van a afectar nuestro diseño mas adelante.

#### 4.2 CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS

La configuración de los equipos es una de las partes más importantes para el diseño, que permitirá generar todos los cálculos de potencia, ancho de banda y OSNR. Para esto, necesitaremos los requerimientos y las características de cada nodo. Existen tres tipos de configuraciones diferentes de equipos, según la clase de red. La Figura 3 muestra la configuración de un equipo terminal, el cual permite subir y bajar la información del cliente punto a punto.

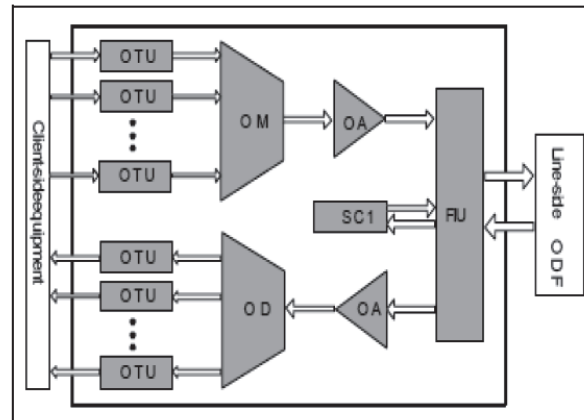


Figura 3. Configuración de un equipo terminal.

La Figura 4 detalla la configuración de un equipo intermedio, el cual permite bajar y subir información de los usuarios en configuración anillo. Se utiliza cuando se quiere conectar más de cuatro nodos.

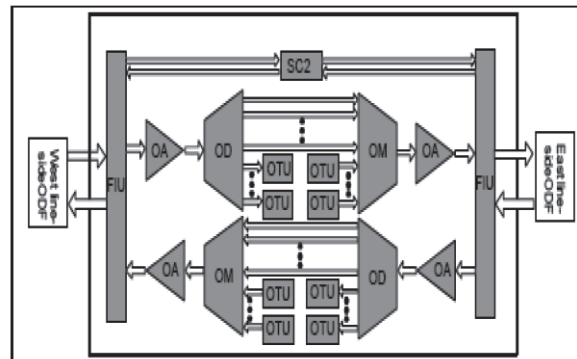


Figura 4. Configuración de un equipo intermedio.

En la Figura 5 se observa la configuración de un equipo amplificador, que se utiliza en sitios donde se debe regenerar la señal y darle más ganancia.

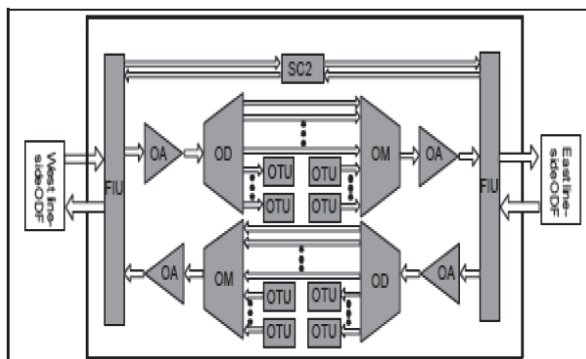


Figura 5. Configuración de un equipo amplificador.

### 4.3 CALCULO A NIVEL DE POTENCIA

El estudio del balance de potencia en un sistema de comunicaciones ópticas no es en esencia muy diferente del que podría realizarse para cualquier otro sistema convencional de comunicaciones, elaborado a través de cualquier otro medio. La única diferencia que puede presentarse es la derivada de los componentes que se utilizan. El punto de partida son los elementos básicos en los que se puede perder parte de la energía transmitida. Estos son esencialmente: la fibra óptica, los conectores y los empalmes que se hayan realizado. Además de lo anterior es preciso considerar un margen de seguridad. Considerando todos los factores anteriores, la expresión general que habrá de calcularse será de la forma:

$$PTX = PRX_{Límite} + Pérdidas + Ms \text{ (db)} \quad (1)$$

En la ecuación (1) PTX es la potencia de salida del transmisor;  $PRX_{Límite}$  es la sensibilidad del receptor y Ms, el margen de seguridad. El *power budger* ( $\Delta P$ ) se suele calcular como la diferencia entre la potencia de salida del transmisor (PTX) y la sensibilidad del receptor ( $PRX_{Límite}$ ), que representa el máximo valor de pérdidas que puede tolerar el sistema para asegurar una recepción óptima de nivel de potencia. Si es negativo, indica que el sistema requiere amplificación; si es

positivo, indica que el sistema puede funcionar sin necesidad de amplificar la señal.

La atenuación de la fibra es un factor que también se debe tener en cuenta para el diseño a nivel de potencia. Esta atenuación depende directamente del tipo de fibra y de la distancia entre nodos. Existen tres métodos para conocerla, y la elección de cada uno depende de la información que tengamos. Se presentan a continuación:

Método 1: Distancia x Atenuación en km + Margen de diseño + Pérdidas por conectores.

Método 2: Distancia x 0,275 db / km.

Método 3: Pérdidas reales + 3db de margen de diseño.

Los métodos 1 y 2 son de carácter teórico y se aproximan al valor real de atenuación, pero no tienen en cuenta los problemas que existan en la fibra y que le generan atenuación. El método recomendado y que se debe utilizar para un diseño real es el tercero; para ello se debe medir la atenuación de la fibra ya tendida y sumarle un margen de diseño de 3 db.

### 4.4 DISEÑO A NIVEL DE ANCHO DE BANDA

A nivel de ancho de banda (BW) la fibra óptica se comporta como un filtro. El BW depende de la dispersión temporal que la fibra produce sobre la señal óptica:

$$\Delta Td = \text{Dispersión temporal total} \quad (2)$$

$\Delta Td$  se compone de dos tipos de dispersiones: dispersión temporal modal ( $\Delta Tm$ ), que se da entre los modos de la fibra (sólo en fibra multimodo); y dispersión temporal cromática, que se da por la dispersión de la señal en el transcurso de la

fibra. Esta dispersión se da en los dos tipos de fibra, multimodo y monomodo. Como los sistemas DWDM son de larga distancia, sólo se utiliza fibra monomodo por su baja atenuación y alcance. La dispersión cromática ( $\Delta T_c$ ) está dada por el coeficiente de dispersión cromática ( $\Theta_c$ ), que es una característica de la fibra óptica y determina cuántos nanosegundos (ns) se dispersa en el tiempo la señal óptica por nanómetros (nm) de ancho espectral de la fuente óptica y por kilómetro de la longitud recorrida de dicha señal (km):

$$\Theta_c \text{ [ns/nm*km]}$$

El ancho espectral de la portadora óptica  $\Delta\lambda$ [nm] es una característica del equipo, junto con la distancia ( $L$ ) recorrida por la señal. Entonces, tenemos:

$$\Delta T_c = \Theta_c * \Delta\lambda * L \quad (3)$$

La Figura 6 plasma el ensanchamiento del pulso debido a la dispersión cromática.

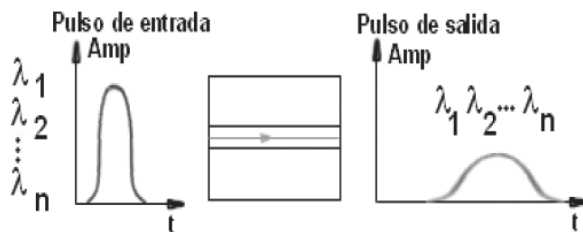


Figura 6. Ensanchamiento del pulso.

Por definición, se dice que el ancho de banda de la fibra óptica es igual a:

$$BW_{fo} = 0,44 / \Delta T_d \quad (4)$$

$$\Delta T_d = (\Delta T_m^2 + \Delta T_c^2)^{1/2} \quad (5)$$

Como no hay dispersión modal por tratarse de fibra óptica monomodo, el ancho de banda se puede expresar de la siguiente forma:

$$BW_{fo} = 0,44 / (\Theta_c * \Delta\lambda * L) \quad (6)$$

Se puede observar que el BW de la fibra óptica depende de la distancia recorrida, así que se debe saber el ancho de banda utilizado por la señal a transmitir para saber a que distancia hay que ubicar un corrector de dispersión cromática.

#### 4.5 DISEÑO A NIVEL DE RUIDO

La relación señal a ruido es un factor importante que se debe tener en cuenta para el diseño de estas redes ópticas y es una característica de cualquier sistema de comunicación. En un sistema de comunicación óptico, la relación señal a ruido óptico (OSNR) es la medida del nivel de potencia óptica (dB) de una señal transmitida, por el nivel de potencia del ruido existente en el sistema (dB). La relación señal a ruido es una medida de cómo una buena señal óptica sobresale a cualquier luz que penetre por accidente en el sistema. La señal debe ser considerablemente más potente que el ruido subyacente. La señal reduce su potencia con la distancia en una fibra óptica y debe ser necesariamente elevada en forma periódica, por medio de amplificadores ópticos. No obstante, la ganancia óptica asociada a esos amplificadores debe balancearse contra el ruido adicional que cada amplificador introduce. Los amplificadores ópticos amplían la señal, pero también el ruido indeseado. Mientras menor sea el nivel de la señal y mayor el nivel de ruido, menor será el OSNR. Los receptores aceptan sólo un determinado nivel de OSNR para distinguir las señales del ruido del sistema, lo que se puede expresar de la siguiente manera:

$$OSNR = 10 \log P_s/P_n \quad (7)$$



$P_s$  es la potencia de la señal y  $P_n$  es la potencia del ruido. Esta figura de ruido la da el fabricante para cada elemento del sistema, como se ve en la Figura 7.

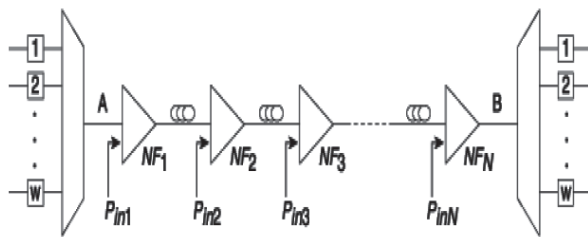


Figura 7. Ruido del sistema.

Para estos sistemas también se debe realizar cálculos de disponibilidad de servicio. Los más importantes son:

- Disponibilidad.
- Pérdida de paquetes.
- Retardo.
- *Jitter*.

## 5. IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS DWDM

La implementación de estos equipos normalmente se realiza en nodos de telecomunicaciones. El nodo es un cuarto de equipos y/o un espacio centralizado de uso específico del equipo, tal como una central telefónica. Este cuarto incluye un espacio de trabajo para personal de telecomunicaciones. Los cuartos de equipos deben ser diseñados y aprovisionados de acuerdo a los requerimientos de la norma EIA/TIA 569. Algunas recomendaciones de esta norma son:

- Las dimensiones del cuarto de equipos deben ser consideradas según la norma EIA/TIA. Sin embargo, puede darse el caso de que el cuarto de equipos en el nodo no sea propio del operador sino alquilado; enton-

ces, hay que hacer lo posible para que se cumpla con las recomendaciones.

- El número y el tamaño de los ductos utilizados para acceder al cuarto de equipos varían con respecto al grosor del cable de fibra óptica utilizada, de los cables eléctricos, de las protecciones a tierra, etc. Los ductos de entrada requieren elementos de retardo de propagación de incendio.
- Las puertas de acceso tienen que ser de apertura completa, con llave, y tener al menos 91 cm de ancho y 2 m de alto. Es necesario que la puerta sea removible y que abra hacia afuera (o de lado a lado); debe abrir al ras del piso y no tener postes centrales.
- Es preciso evitar el polvo y la electricidad estática utilizando piso de concreto, loza o similar (no utilizar alfombra). El suelo debe soportar la carga de los equipos a utilizar. De ser posible, hay que aplicar un tratamiento especial a paredes, pisos y cielos para minimizar el polvo y la electricidad estática.
- La temperatura del cuarto de equipos debe mantenerse continuamente (24 horas al día, 365 días al año), entre 18 y 24 grados centígrados.
- Los cuartos de equipos tienen que estar libres de cualquier amenaza de inundación.
- No puede haber tubería de agua que pase por (sobre o alrededor) el cuarto de telecomunicaciones.
- Los cuartos precisan de una buena iluminación. Se recomienda que esta se encuentre a un mínimo de 2,6 m del suelo. Las paredes y el techo deben estar pintados preferiblemente de colores claros para ob-

tener una mayor luminosidad. También se sugiere tener luces de emergencia por si el foco se daña.

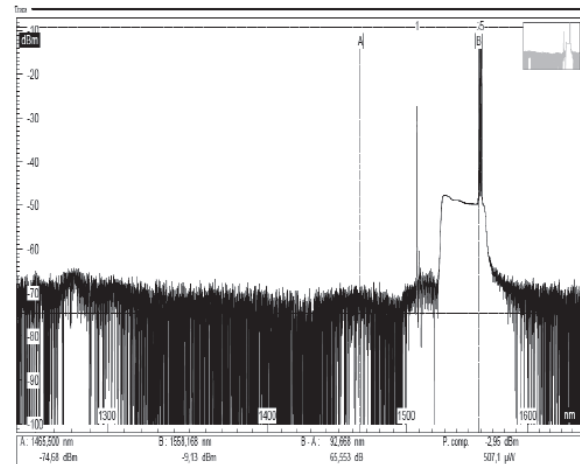
- Los nodos principales pueden estar ubicados en las instalaciones de la empresa proveedora de los servicios de telecomunicaciones o el operador. En ese sitio es donde más puede exigirse el cumplimiento de las recomendaciones de las normas EIA/TIA 569 correspondientes al cuarto de equipos, debido a la gran cantidad de dispositivos que puede ir albergando (servidores, routers, switches, etc.).

La Imagen 1 muestra equipos de la marca Huawei® implementados en un nodo de un operador.



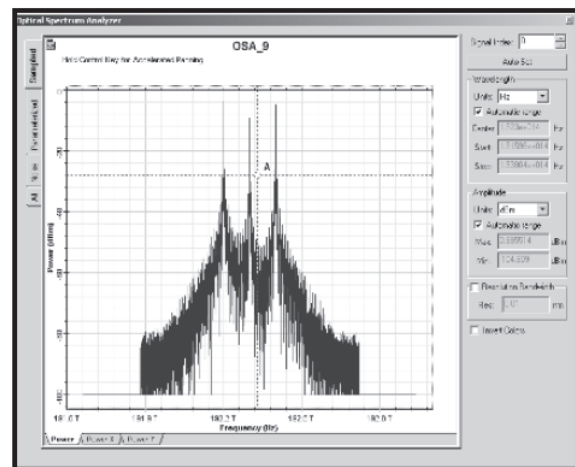
Imagen 1.

Como se observa, se trata de equipos muy robustos y que requieren de pruebas rigurosas, realizadas con equipos de medición de potencia óptica, analizadores SDH y analizadores DWDM. La Gráfica 1 muestra la salida de un analizador DWDM, donde se puede ver la señal completa con el canal de control a la salida de un nodo.



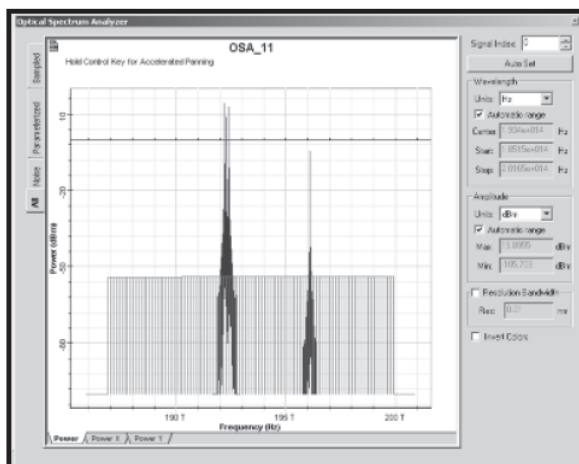
Gráfica 1. Salida de analizador DWDM.

La Gráfica 2 presenta la salida de un nodo de tres lambdas. Se debe realizar la medición de potencia de cada una de las señales y la frecuencia central en la que están trabajando. La potencia debe estar alrededor de la calculada en el diseño.



Gráfica 2. Salida de nodo de tres lambdas.

En la Gráfica 3 se observa la relación del ruido con la señal transmitida. Se puede ver el piso de ruido con referencia a los picos de señal.



Gráfica 3. Relación señal a ruido.

Después de realizar la implementación y las pruebas, se entregan los equipos al operador, el cual puede empezar a insertar lambdas al sistema con las señales que desee transportar entre los nodos.

## 6. CONCLUSIONES

- DWDM no es tan sólo una técnica para ampliar la capacidad de una red de fibra óptica, sino, más bien, una tecnología robusta de *backbone*, que permite satisfacer el crecimiento en volumen y complejidad que presentan los servicios de telecomunicaciones, sin necesidad de hacer nuevos tendidos de fibra. Los sistemas DWDM comerciales han incrementado la velocidad de canal a 40 gbps y el número de canales a 256, alcanzando una eficiencia espectral sin precedentes de 1,28 bps/Hz y utilizando el ancho de banda total de los amplificadores ópticos.
- Los sistemas vigentes de transmisión no fueron pensados para los requerimientos actuales. Por ello DWDM es la tecnología escogida por la mayoría de los proveedores de telecomunicaciones para ampliar su capacidad sin realizar muchos cambios a su

infraestructura ni cubrir altos costos de implementación.

- El crecimiento acelerado de las comunicaciones actuales ha hecho que las empresas fabricantes cada día creen equipos que puedan manejar mayores capacidades y que sean escalables a tecnologías superiores. Los requerimientos de ancho de banda crecen cada día y los retos para el futuro son mayores.

## REFERENCIAS

- [1] Cisco, *Facilities-based carrier simplifies DWDM within national network*. Disponible en (5-2009): <http://www.cisco.com/en/US/products/hw/optical/index.html>
- [2] D. Duque S., J Villa B., *WDM: multiplexación por división de longitud de onda*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, 2001.
- [3] Recomendaciones ITU: G.692, G.850, M.3100, M.3200, G.691, G.957, G.959.1.