

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ANILLOS DE TRANSMISIÓN ÓPTICA SDH

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF OPTICAL TRANSMISION RINGS SDH

Duilio A. Buelvas P.*

Bibiana Galindo**

Hidelbrando Herrera***

Fecha de envío: Junio 2011

Fecha de recepción: Junio 2011

Fecha de aceptación: Octubre 2011

Resumen

La implementación de redes de transmisión en Colombia es una actividad tecnológica donde los proveedores de telecomunicaciones enfrentan nuevos desafíos de crecimiento. En el año 2009, el acceso a Internet presentó un crecimiento del 26% al lograr un total de 2.746.816 suscriptores, 77% de los cuales corresponde a suscriptores de acceso dedicado, distribuidos por tecnologías de la siguiente forma: 64,07% pertenece a conexiones xDSL, 2,11% a conexiones WiMAX e inalámbricos, y 32,3% a tecnologías por cable, contando con altas demandas de soluciones de voz y datos. Se proyecta que para el año 2012 el crecimiento de estos servicios impondrá un incremento del tráfico del 46%. Por tanto, los operadores de telecomunicaciones se verán obligados a incrementar la capacidad de sus redes de transporte, especialmente en aquellas zonas en que dichas redes operan con tecnología PDH (Plesiocronous Digital Hierarchy), pues no es posible responder al tráfico generado por los suscriptores. El presente artículo compara las tecnologías de transmisión, Metro Ethernet, DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) y SDH (Plesiocronous Digital Hierarchy), considerando: método de acceso al medio, velocidad de transmisión, longitud de onda usada, ancho de banda, capacidad y conectividad con el *backbone*. Se concluye que, debido a que SDH se adapta completamente con PDH, es la tecnología de transmisión más versátil para el diseño e implementación de anillos de transmisión óptica en enlaces seleccionados en Bogotá, y debido a la universalidad de la metodología de implementación propuesta, en otros sitios, en el futuro inmediato.

* M.Sc. (c) en Teleinformática, especialista en Soluciones Telemáticas, Universidad Autónoma de Colombia, Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo: dbuelvas@udistrital.edu.com

** Ingeniera en Telecomunicaciones, analista Senior QA – IBM. Correo: chelbib@gmail.com.

***Ingeniero en Telecomunicaciones. Ingeniero de Transmisión Huawei. Correo: bloodomen_h@hotmail.com

Palabras clave

PDH, SDH, DWDM, FAST Ethernet, Metro Ethernet, redes de transporte.

Abstract

The transmission network implementation in Colombia, is a technological activity where telecommunication providers face new growing quests. In 2009, access to internet showed an increase of 26% to a total subscriber 2'746 .816 of which 77% is dedicated access subscribers, distributed by technologies as follows: 64.07% belongs to xDSL connections, 2.11% to WiMAX and Wireless connections, and 32.3% to Cable Technologies, counting with high demands for voice and data solutions. It is projected that by 2012, these services and its growth impose a traffic increasing of 46%. Therefore, telecommunications operators will be forced to increase the capacity of their transport networks, especially in areas in which these networks operate with PDH technology (Plesiocronous Digital Hierarchy), because it is not possible to respond to traffic generated by subscribers. This article compares the transmission technologies, Metro Ethernet, DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) and SDH (Synchronous Digital Hierarchy), considering: medium access method, transmission speed, wavelength used, bandwidth, capacity and connectivity to the backbone, concluded that, because SDH is fully adapted to PDH, is the most versatile transmission technology for the design and implementation of optical transmission ring in selected links in Bogota and because of the universality of the proposed implementation methodology, elsewhere in the immediate future.

Key Words

PDH, SDH, DWDM, Fast Ethernet, Metro Ethernet, Transport Networks.

Introducción

El documento describe el diseño e implementación de dos anillos de transmisión óptica sobre tecnología SDH (Synchronous Digital Hierarchy) para los cuales se consideran cuatro fases secuenciales:

1. Análisis comparativo de la tecnología SDH con otras tecnologías, destacando su importancia de selección e implementación.
2. Diseño de los anillos de transmisión calculando y proyectando la infraestructura a utilizar; relacionando variables de capacidad en tráfico, cobertura de la red e interconexión con la red metropolitana ya implementada manteniendo la relación costo beneficio de la infraestructura tecnológica.
3. Simulación del entorno y gestión de la red en cada enlace, utilizando herramientas de gestión gráfica para presentar un protocolo de medidas del diseño de la red.
4. Implementación y comisión de las pruebas de calidad, levantamiento y gestión de los equipos de la red, con el fin de preparar los anillos para la migración de todos los servicios actuales; tales como PDH (Plesiocronous Digital Hierarchy), Ethernet y xDSL2 (xDigital Subscriber Line2).

Los enlaces seleccionados se encuentran en la Tabla 1, cada uno de ellos une los equipos de transmisión instalados en las centrales de datos que tiene el proveedor de telecomunicaciones en la ciudad de Bogotá (Colombia), y copa el área de cobertura solicita por el proveedor.

El esquema de los enlaces para cada anillo se encuentra en las Figuras 1 y 2 y la ubicación geográfica de las centrales se encuentra en la Figura 3.

Tabla 1. Enlaces bidireccionales de los anillos de transmisión es Salitre y Morato.

| Anillo | Enlace bidireccional |
|---------|--|
| Morato | Morato 21000 - Alcázares 23106 |
| Morato | Alcázares 23106 – Villa María 23000 |
| Morato | Villa María 23000 – Polo Club 21101 |
| Morato | Polo Club 21101 – Rionegro 22020 |
| Morato | Rionegro 22020 – Cabrera 22000 |
| Morato | Cabrera 22000 - Morato 21000 |
| Salitre | Salitre 41000 - Cafam Chapinero 41007 |
| Salitre | Cafam chapinero 41007 - Colgas 41025 |
| Salitre | Colgas 41025 - Alpina 41065 |
| Salitre | Alpina 41065 - La Palestina I 42072 |
| Salitre | La Palestina i 42072 - Soacha 61000 |
| Salitre | Soacha 61000 - Las Luces 42020 |
| Salitre | Las luces 42020 - Salitre 41000 |
| Salitre | Salitre 41000 - Quintas Sta. Cecilia 42003 |
| Salitre | Quintas Sta. Cecilia 42003 - Alpina 41065 |

Figura 1. Enlaces y centrales del anillo Morato.

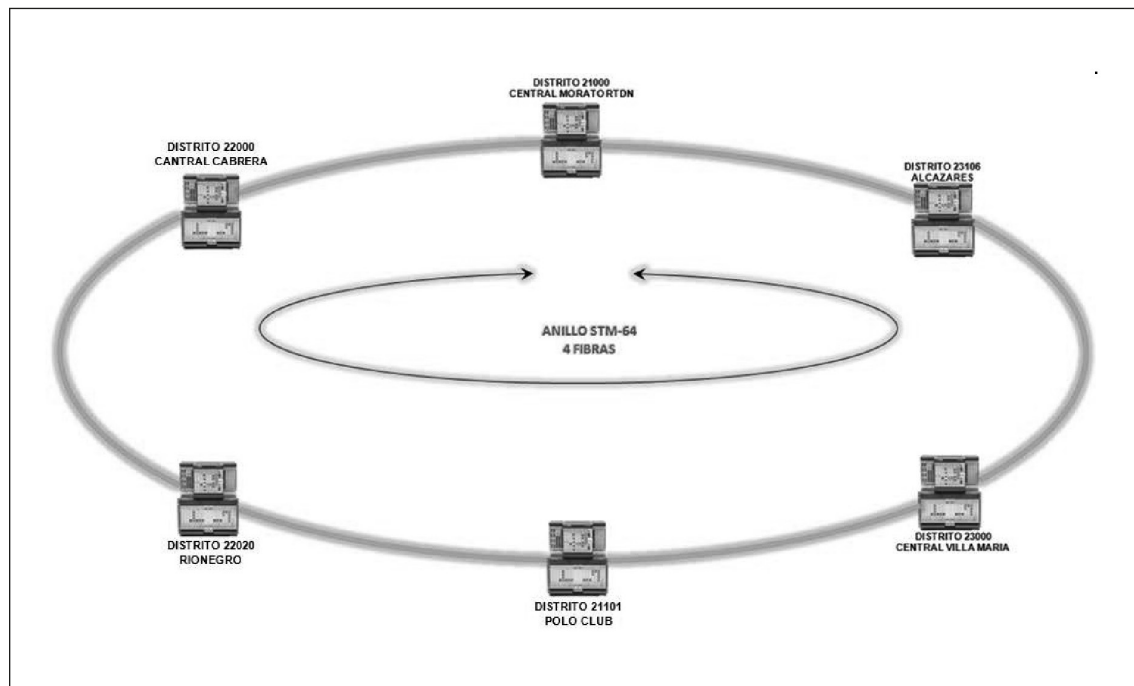


Figura 2. Enlaces y centrales del anillo Salitre.

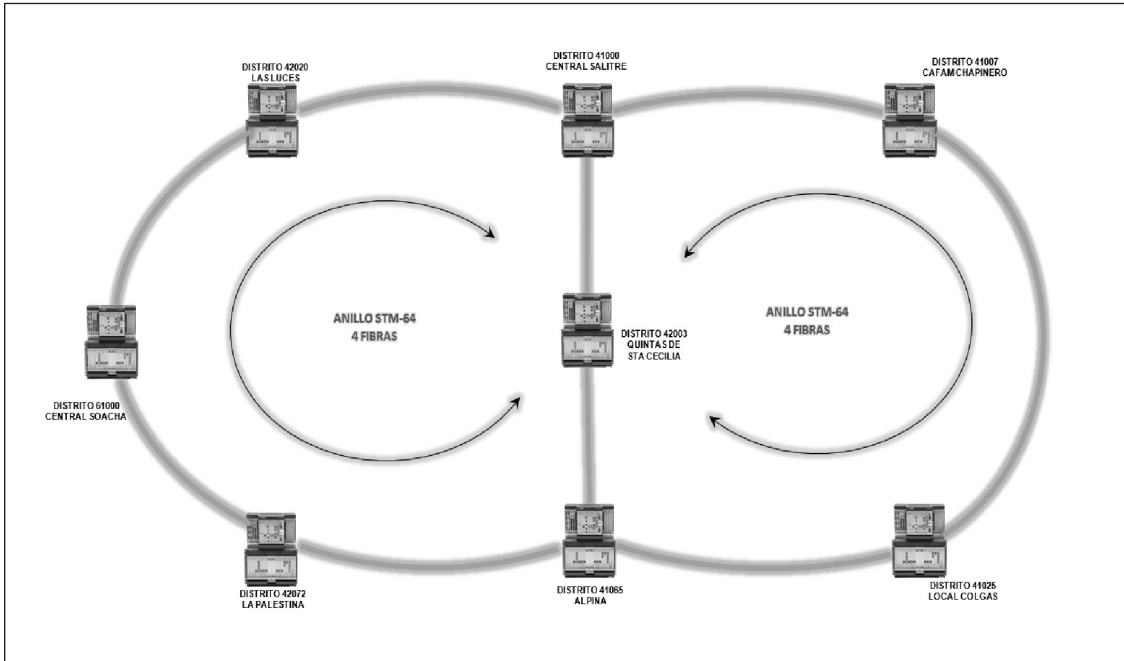
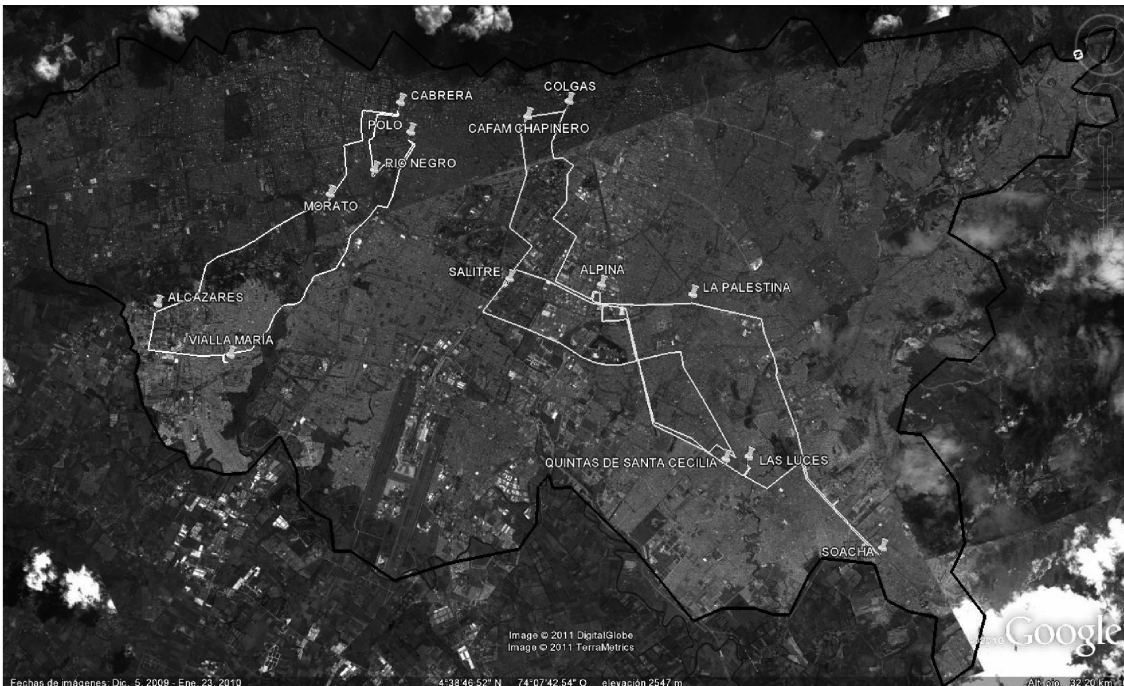


Figura 3. Ubicación geográfica de los anillos de transmisión.



Comparación entre tecnologías Metro Ethernet-DWDM-SDH

El cuadro comparativo de las tecnologías Metro Ethernet y DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) con SDH establece las diferencias en ancho de banda, escalabilidad y facilidad de conexión con el *backbone* (red principal) o con la red de transmisión principal del operador. Con el fin de seleccionar la mejor tecnología para el diseño e implementación de anillos de transmisión se deben comparar las diferentes opciones disponibles para este fin, de tal manera que se pueda decidir la implementación de la tecnología que más se acople a las necesidades del operador.

Cuadro comparativo

Los aspectos a comparar entre las tecnologías SDH, Metro Ethernet y DWDM son:

- Método de acceso al medio.
- Velocidad de transmisión.
- Longitudes de onda usadas.
- Ancho de banda.
- Capacidad.
- Conectividad con el *backbone*.

Cada tecnología es diferente, y de acuerdo con las prioridades del cliente se puede establecer la más adecuada. En la Tabla 2 se comparan las características más sobresalientes de estas tres tecnologías de transmisión.

Análisis de resultados

- SDH ofrece velocidades superiores a los 10 Gbp y permite un nivel de granularidad de hasta 2 Mbps, por lo que es ideal para

redes metropolitanas, y por su facilidad de crecimiento en cuanto a capacidades y número de nodos de interconexión.

- Con Metro Ethernet existe la posibilidad de configurar más variables en la red, con lo que se puede ofrecer una amplia gama de servicios y lograr un mejor aprovechamiento del medio. La asignación de capacidades es flexible y permite niveles de granularidad adecuados para su implementación en redes de acceso y en redes metropolitanas.

SDH y Metro Ethernet son protocolos ideales para la implementación de redes de transmisión metropolitana, mientras que DWDM es un protocolo que requiere de otros protocolos para lograr el nivel de granularidad y escalabilidad requerida en las redes metropolitanas. En consecuencia, se decide implementar la tecnología SDH, debido a que la mayoría de operadores cuentan con redes de esta tecnología, a nivel metropolitano y nacional, con una gran cobertura y un número considerable de nodos.

Diseño

El diseño contempla tres etapas de desarrollo: la primera es el estudio de sitio, con el cual se garantiza la disponibilidad de los recursos y espacio en la central de instalación o nodo del anillo; la segunda es el diseño a nivel de potencia, y la tercera es el diseño de tráfico.

Estudio de sitio

El estudio de sitio es la investigación en cada nodo o central de instalación previa al diseño e implementación de la red. Aquí se confirma la disponibilidad de espacio para cada equipo y

Tabla 2. Cuadro comparativo de tecnologías SDH, Metro Ethernet y DWDM

| Características | SDH | Metro Ethernet | DWDM |
|------------------------------|--|--|--|
| Método de acceso al medio | TDMA (acceso por multiplexación de división de tiempo) | CDMA/CD (acceso por multiplexación de división de portadora) | FDMA/O (acceso por multiplexación de división de frecuencia) |
| Velocidad de transmisión | STM-1 = 155 Mbps STM-4 = 622 Mbps STM-16 = 2,5 Gbps STM-64 = 10 Gbps STM-256 = 40 Gbps | 10 Mbps 100 Mbps 1 Gbps 10 Gbps | Mínima: 2,5 Gbps Máxima: 1,6 Tbps |
| Longitudes de onda usadas | Una única longitud de onda | Una única longitud de onda | 640 x 2,5 Gbps c/u 160 x 10 Gbps c/u 80 x 40 Gbps c/u |
| Ancho de banda | STM-1 = 155 MHz STM-4 = 622 MHz STM-16 = 2,5 GHz STM-64 = 10 GHz STM-256 = 40 GHz | | 2,5 Gbps = 2,5 GHz 10 Gbps = 10 GHz 40 Gbps = 40 GHz |
| Capacidad | STM-1 = 155 Mbps STM-4 = 622 Mbps STM-16 = 2,5 Gbps STM-64 = 10 Gbps STM-256 = 40 Gbps | | Mínima = 2,5Gbps Máxima 1,6 Tbps |
| Conectividad con el backbone | Versátil en interfaces de conexión y facilidad de integración de protocolos de capa 3. En el caso de una red SDH ya existente, la conectividad al backbone es sencilla. | La integración de Metro Ethernet como protocolo de transmisión, dentro de una red SDH, genera reprocesos innecesarios, al tener que definir los parámetros de transmisión, que solo se utilizarían en el dominio Ethernet; es decir, de igual forma se requeriría integrar la información del segmento Metro Ethernet en tramas SDH para poder integrar las redes nuevas al resto de la red metropolitana. | La implementación DWDM como protocolo de transmisión en redes metropolitanas requeriría el uso obligatorio de otro protocolo de transmisión para agregar o desagregar de la red DWDM la información transmitida, lo que generaría costos innecesarios al tener que implementar tecnología SDH solo para subir la información a la longitud de onda asignada. |

se toman las medidas del espacio con base en las dimensiones del equipo. Se validan condiciones eléctricas, disponibilidad de puertos en el ODF y distancia entre el ODF y el equipo de transmisión. Como resultado de la visita, se obtiene la lista de materiales necesarios para la instalación; el plano de cuarto de equipos con sus dimensiones, la ruta del tendido eléctrico y de la fibra, y la ubicación de los equipos nuevos y existentes.

Diseño de potencia

Con el diseño de potencia se busca garantizar que la calidad de la señal transmitida a través de los anillos cumpla con las condiciones de potencia mínimas en cada uno de los tramos de red para ser entendida por el receptor. El análisis de potencia se realizó bajo las siguientes premisas:

- El cálculo se hizo para cada uno de los 30 enlaces.
- El valor para las potencias del transmisor y el rango dinámico del receptor son los especificados en el manual técnico de los equipos de transmisión.
- La atenuación causada por la fibra óptica se calcula con base en las especificaciones técnicas de la fibra óptica utilizada.
- El margen de diseño de potencia se escoge de 3 dB para asegurar que la señal será entendible para el receptor, así su potencia haya caído a la mitad.

Para el diseño e implementación de la red se debe determinar el presupuesto de potencia, con el cual se definen los puntos en los que se debe regenerar la señal para obtener un nivel de potencia entendible para el receptor. El primer paso es establecer la potencia de

entrada del receptor, el cual se define con la ecuación de margen:

$$Prx[dBm] = Ptx[dBm] - \sum P_{\text{perdidas}} [dB] + \sum G_{\text{ganacias}} [dB] \quad (1)$$

En donde:

- P_{rx}** Es la potencia de la señal que debe entregar el enlace al receptor, unidades dBm.
- P_{tx}** Es la potencia de la señal cuando sale del transmisor, unidades dBm.
- P** Corresponde a las pérdidas del enlace entre transmisor y el receptor, unidades dB.
- G** Son las ganancias de potencia que tenga el enlace entre transmisor y receptor. Sus unidades son dB.

El presupuesto de potencia lo da la siguiente ecuación:

$$P_b = P_{tx} - \sum P_{\text{perdidas}} [dB] \quad (2)$$

Esta nos indica las máximas pérdidas que puede soportar el enlace, dependiendo del nivel de potencia del transmisor, el valor de P_b se compara con el valor de P_{rx} para determinar el valor y la ubicación de los regeneradores de señal. Las pérdidas deben modelarse considerando los siguientes aspectos:

| | |
|--|-----------|
| N_c Número de conectores | 2 |
| P_c Pérdidas del conector | 0,5 dB |
| N_e Número de empalmes | 2 |
| P_e Pérdidas por empalme | 0,1 dB |
| P_{of} Pérdida de la fibra óptica | 0,2 dB/km |
| L_c Longitud del carrete | 30 km |
| MD Margen de diseño | 3 dB |
| PA Pérdidas adicionales (inserción) | 2 dB |

El número de empalmes corresponde a la distancia del enlace dividida por la longitud de un carrete de fibra óptica menos uno.

$$N_e = \frac{L}{L_c} + 1 \quad (3)$$

La ecuación de pérdidas quedaría:

$$\Sigma P_{\text{perdidas}} = (N_c * P_c) + (N_e * P_e) + P_{of} + MD + P_a \quad (4)$$

Remplazando 3 en 4, se obtiene:

$$\Sigma P_{\text{perdidas}} = (N_c * P_c) + \left[\left[\frac{L}{L_c} - 1 \right] * P_e \right] + (P_{of} * L) + MD + P_a \quad (5)$$

Conociendo las características de potencia de transmisión y el rango dinámico del receptor,

se deben determinar las pérdidas de potencia en el enlace, tomando valores de atenuación total para cada enlace de los seleccionados en la ciudad de Bogotá (Tabla 3).

Y los valores de potencia óptica del transmisor y receptor, definidos en el manual técnico de los equipos, son:

| | | |
|------------|--|---------|
| P_{tx} | Potencia de transmisión | 1,9 dBm |
| P_{rmax} | Potencia óptica máxima de recepción (saturación) | -1 dBm |
| P_{rmin} | Potencia óptica mínima de recepción (sensibilidad) | -14 dBm |

Tabla 3. Atenuación total para cada enlace.

| Anillo | Enlace bidireccional | Atenuación total (db) |
|---------|--|-----------------------|
| Morato | Morato 21000 - Alcázares 23106 | 7,67114664 |
| Morato | Alcázares 23106 - Villa María 23000 | 6,8414964 |
| Morato | Villa María 23000 - Polo Club 21101 | 8,6007 |
| Morato | Polo Club 21101 - Rionegro 22020 | 6,65952662 |
| Morato | Rionegro 22020 - Cabrera 22000 | 6,77085046 |
| Morato | Cabrera 22000 - Morato 21000 | 7,06683502 |
| Salitre | Salitre 41000 - Cafam Chapinero 41007 | 7,363444484 |
| Salitre | Cafam Chapinero 41007 - Colgás 41025 | 6,59663142 |
| Salitre | Colgas 41025 - Alpina 41065 | 7,55062014 |
| Salitre | Alpina 41065 - La Palestina I 42072 | 6,77085046 |
| Salitre | La Palestina I 42072 - Soacha 61000 | 8,03320312 |
| Salitre | Soacha 61000 - Las Luces 42020 | 7,52656366 |
| Salitre | Las Luces 42020 - Salitre 41000 | 8,70960962 |
| Salitre | Salitre 41000 - Quintas Sta. Cecilia 42003 | 8,38634482 |
| Salitre | Quintas Sta. Cecilia 42003 - Alpina 41065 | 7,91816168 |

Tabla 4. Potencia de recepción para todos los enlaces.

| Anillo | Enlace bidireccional | Prx (dBm) |
|---------|--|--------------|
| Morato | Morato 21000 - Alcazares 23106 | -5,77114664 |
| Morato | Alcázares 23106 – Villa María 23000 | -4,9414964 |
| Morato | Villa María 23000 – polo club 21101 | -6,7007 |
| Morato | Polo club 21101 – Rionegro 22020 | -4,75952662 |
| Morato | Rionegro 22020 – Cabrera 22000 | -4,87085046 |
| Morato | Cabrera 22000 - Morato 21000 | -5,16683502 |
| Salitre | Salitre 41000 - Cafam Chapinero 41007 | -5,463444484 |
| Salitre | Cafam chapinero 41007 - Colgás 41025 | -4,69663142 |
| Salitre | Colgás 41025 - Alpina 41065 | -5,65062014 |
| Salitre | Alpina 41065 - La Palestina I 42072 | -4,87085046 |
| Salitre | La Palestina i 42072 - Soacha 61000 | -6,13320312 |
| Salitre | Soacha 61000 - Las Luces 42020 | -5,62656366 |
| Salitre | Las Luces 42020 - Salitre 41000 | -6,80960962 |
| Salitre | Salitre 41000 - Quintas Sta. Cecilia 42003 | -6,48634482 |
| Salitre | Quintas Sta. Cecilia 42003 - Alpina 41065 | -6,01816168 |

El valor de la potencia de recepción para los enlaces de los dos anillos se muestra en la Tabla 4.

Simulaciones

Con el fin de realizar un análisis óptimo de la red, se determinó que debía simularse el desempeño de la misma utilizando un método para predecir posibles fallas o inconsistencias entre los cálculos realizados y el ambiente simulado. Para esto se analizaron dos herramientas de software especializadas en el diseño y simulación de redes ópticas. A continuación se presenta una tabla comparativa de las herramientas evaluadas para el desarrollo de la simulación (Tabla 5).

Se decide, entonces, usar el software Optisystem 7.0 debido a que sí está orientado al diseño de anillos SDH. Se rechaza el software VPI Transmisión Maker debido a su orientación casi exclusiva a redes WDM y a la falta de módulos para diseño y simulación de anillos SDH.

Esquema de la red en el simulador

A continuación se presentan las imágenes de los montajes para cada uno de los anillos en OptiSystem.

La simulación se corrió en tiempos diferentes para determinar los cambios del valor de potencia después de cada elemento del en-

Tabla 5. Comparación entre simuladores ópticos.

| Software | Características | Aplicaciones | Aplica/ No aplica | Razón |
|--|---|---|----------------------|---|
| Optisystem 7.0 (Optiwave Inc.) ¹ | <ul style="list-style-type: none"> • Librería de componentes extensa y cosimulación con Matlab y Spice • Integración con herramientas de software de OptiWave OptiSpice, OptiBPM, OptiGrating y OptiFiber • Representación de señal mezclada • Aplicación de algoritmos de calidad y desempeño • Herramientas avanzadas de visualización tales como OSA, Signal Chirp, diagramas de ojo, estado de polarización y diagramas de constelación • Monitores de datos –se puede asociar un número arbitrario de visualizadores al mismo puerto • Simulación jerárquica con subsistemas lenguaje de script poderoso • Áreas de trabajo múltiples | <ul style="list-style-type: none"> • Diseño de redes WDM/TDM o CATV • Diseño de anillos Sonet/SDH • Diseño de transmisores, canales, amplificadores y receptores • Diseño de mapas de dispersión • Estimación del BER y fallas de sistema con diferentes modelos de receptores • Calculo de BER en sistemas amplificados y de presupuesto de potencia | APLICA | <ul style="list-style-type: none"> • Se pueden simular anillos SDH • Huawei Technologies posee la licencia para uso corporativo |
| VPI Transmisión Maker (VPI Systems) ² | <ul style="list-style-type: none"> • Diseño de sistemas de transmisión óptica y comparación de estrategias de actualización • Evalúa el impacto de un equipo real y adición de componentes en el diseño de sistemas • Analiza métricas de desempeño tales como OSNR, Q, BER, EOP, EVM, IP3, y SFDR • Ejecuta análisis de crosstalk óptico e investiga el impacto de transientes de red • Compensa errores en la transmisión usando técnicas ópticas o electrónicas | <ul style="list-style-type: none"> • Técnicas PON y distribución FTTx • Redes de agregación y metropolitanas • Sistemas WDM Core y transoceánicos • Sistemas de alta capacidad y alta velocidad • ROADM y redes ópticas • Conexiones de corto alcance y enlaces en espacio libre • Servicios de distribución de video analoga y digital • RF-Over-Fiber, microondas fotónicas • Técnicas de modulación y detección • Mitigación de CD, PMD, ruido de fase, IMD • Transientes de potencia y redes dinámicas | NO APLICA | <ul style="list-style-type: none"> • Está orientado a redes WDM, PON, FTTx, Metro Ethernet, pero no incluye SDH ni SONET • El costo del software licenciado es demasiado elevado y, en general, no puede ser cubierto por las compañías existentes (mayor a U\$25.000.00) |

1 Optisystem Optical Communication System and Amplifier Design Software <www.optiwave.com/pdf/brochure/OptiSystem_2009.pdf>

2 VPIphotonics DS TM-OpticalSystems. <www.vpi-photonics.com/downloads/VPIphotonics%20DS%20TM-OpticalSystems.pdf>

Figura 4. Anillo 1 Morato.

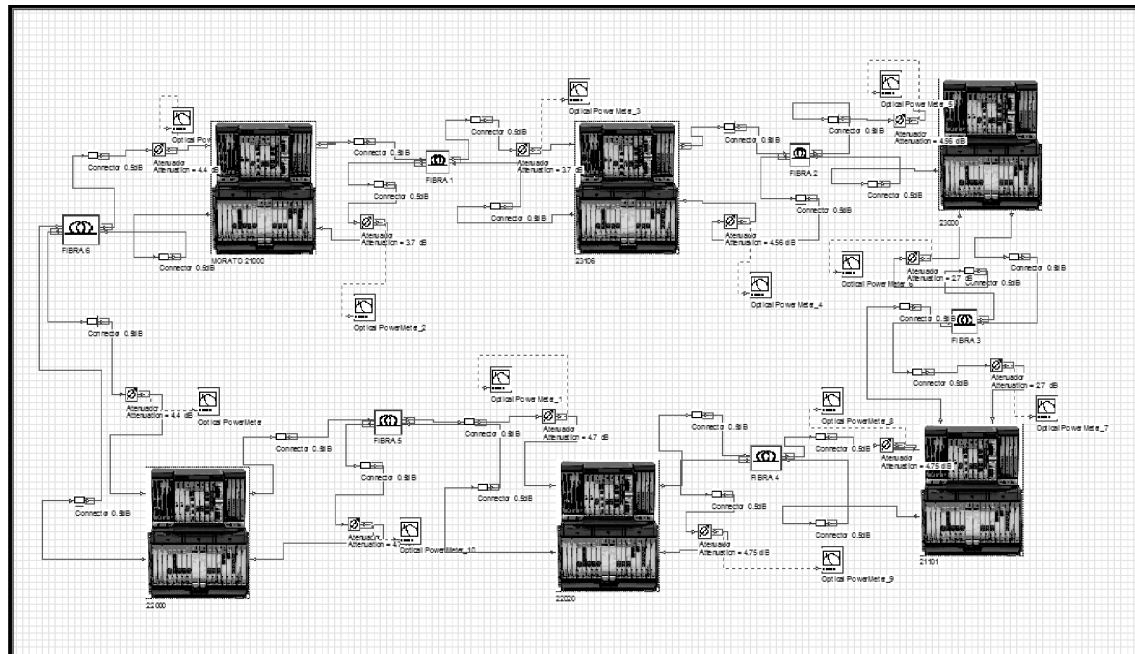


Figura 5. Anillo 2 Salitre.

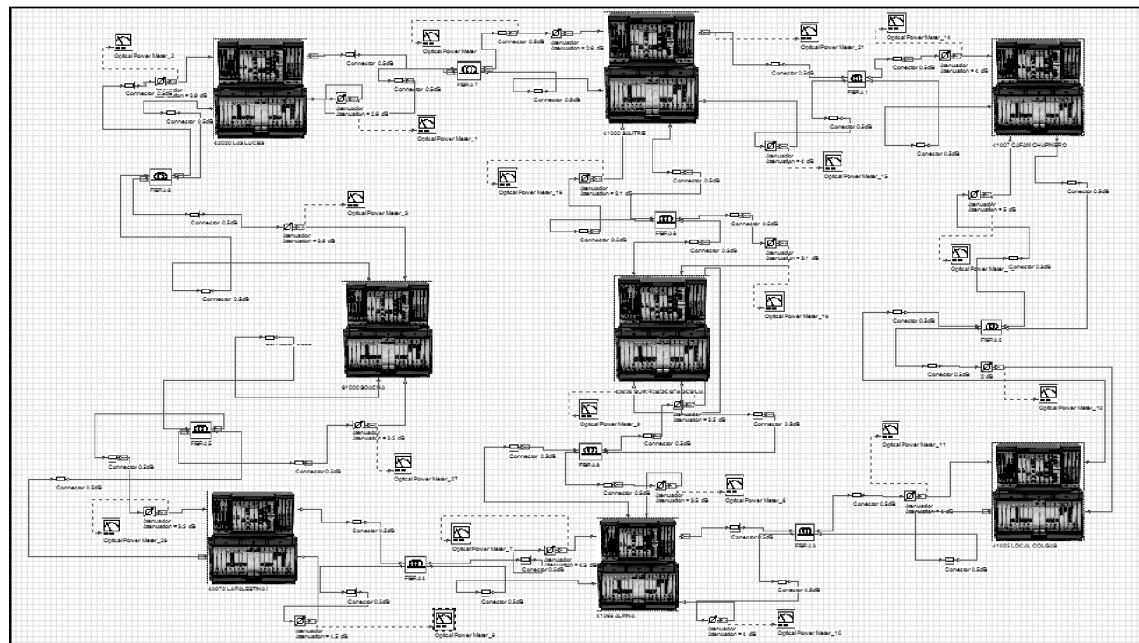
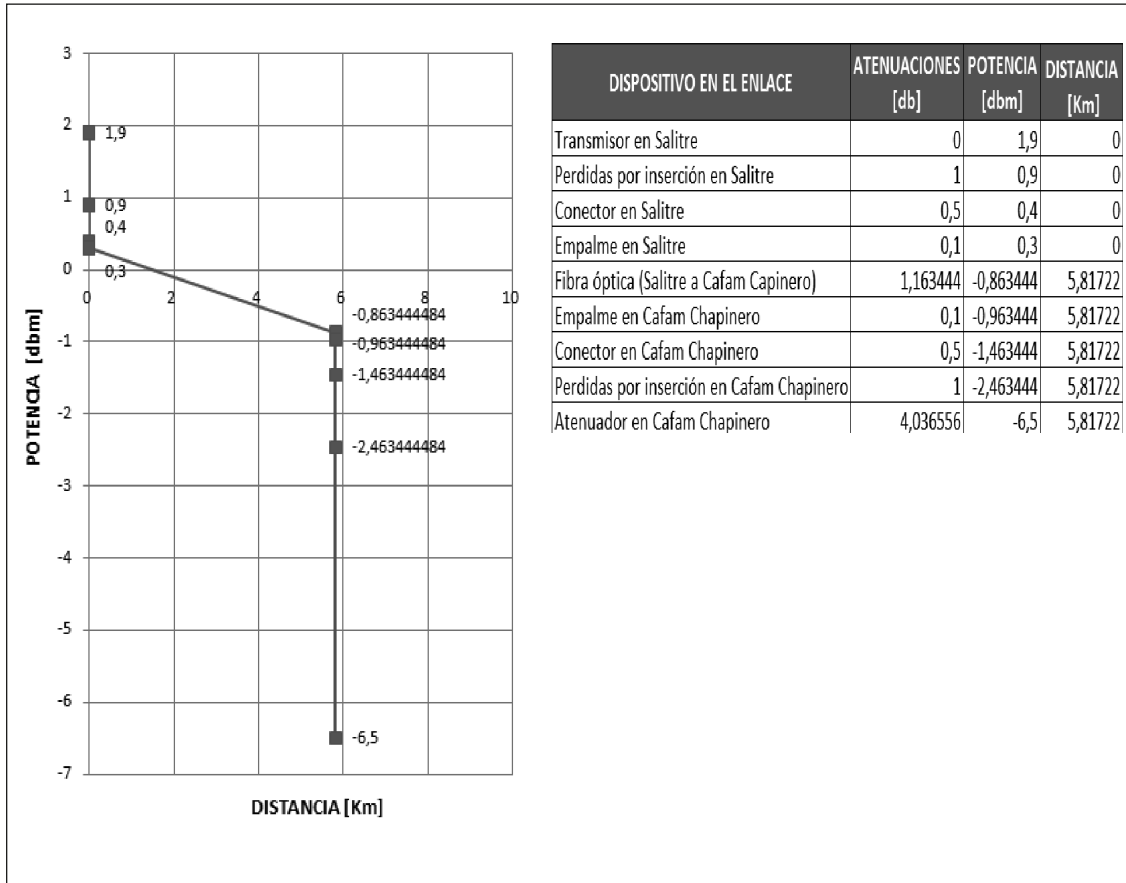


Figura 6. Atenuación de potencia en relación con la distancia y los elementos del enlace Salitre – Cafam Chapinero.



lace, ya que a medida que la señal lumínica pasa por un dispositivo sufre cambios de potencia que deben ser tenidos en cuenta en el diseño.

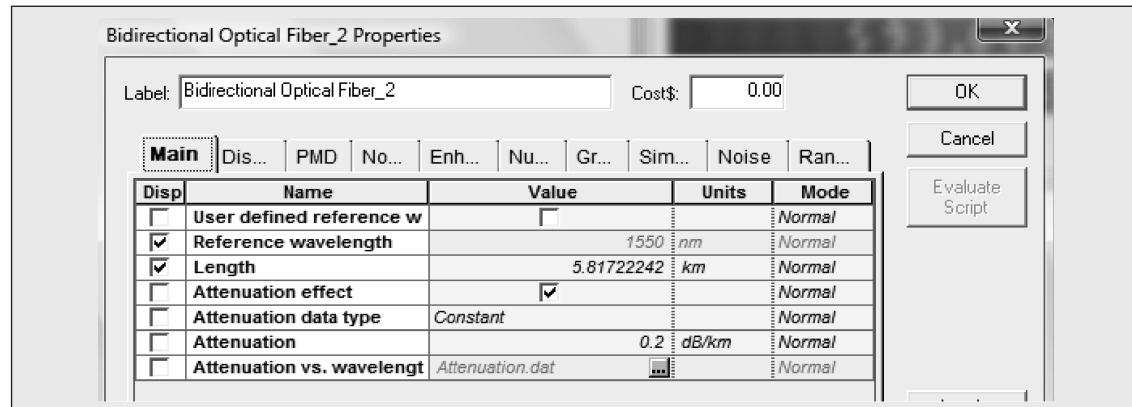
En la simulación se hicieron las mediciones de potencia para cada dispositivo con el fin de asegurar que los valores del diseño se cumplieran de acuerdo con la gráfica (Figura 6). Las pruebas de simulación se realizaron para todos los enlaces, pero, para documentar la metodología de simulación, la descripción se realizará únicamente para uno de los enlaces del anillo 2, enlace Salitre – Cafam Chapinero.

Medición 1: Potencia de recepción sin atenuadores

En OptiSystem se hace la conexión la fibra y del conector, lo que garantiza la potencia de transmisión de 1,9 dBm (recomendada por Huawei Technologies Co.™ para el equipo Optix OSN 7500®). Se conecta un medidor de potencia en el puerto de transmisión y otro en el extremo remoto de la fibra óptica. La configuración de la fibra óptica se muestra en la Figura 7:

Las atenuaciones que se incluyen en esta medición corresponden a las pérdidas en los

Figura 7. Configuración de fibra óptica en OptiSystem.



conectores: por inserción, en la fibra y por empalme; es decir, que el valor esperado de potencia corresponde al penúltimo más bajo de la gráfica (Figura 6) que es -2,463444484. El resultado de la medición en OptiSystema es consistente con el valor esperado; como se puede ver en la Figura 8.

Medición 2: Nivel de P_{rx} con atenuador

El atenuador se conecta entre el conector de la fibra óptica y el puerto de recepción del equipo en la central Cafam Chapinero y se configura el valor de atenuación definido en el

diseño de potencia, que es de 4,03 db; igualmente, se conecta el medidor de potencia entre el atenuador y el puerto de recepción. El valor obtenido de potencia de recepción es de -6.45 dBm, como se muestra en la Figura 9, el cual es consistente con el nivel de potencia de recepción recomendado de 6,5 dBm.

Análisis de resultados

En la Tabla 6 se resumen los resultados de las mediciones de potencia en los receptores de cada uno de los enlaces simulados:

Figura 8. Resultados de medición 1: Potencia de recepción sin atenuador.

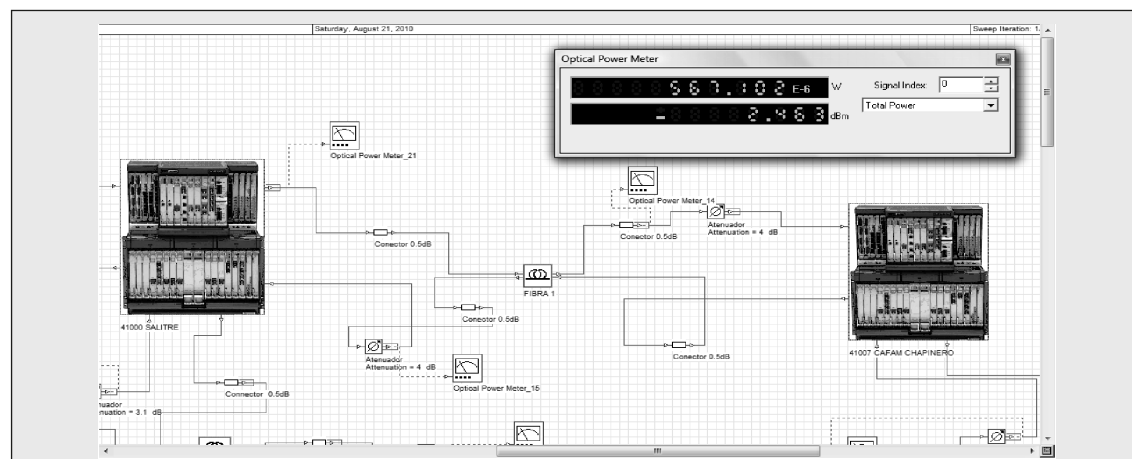


Figura 9. Resultados de medición 2: Potencia de recepción con atenuador.

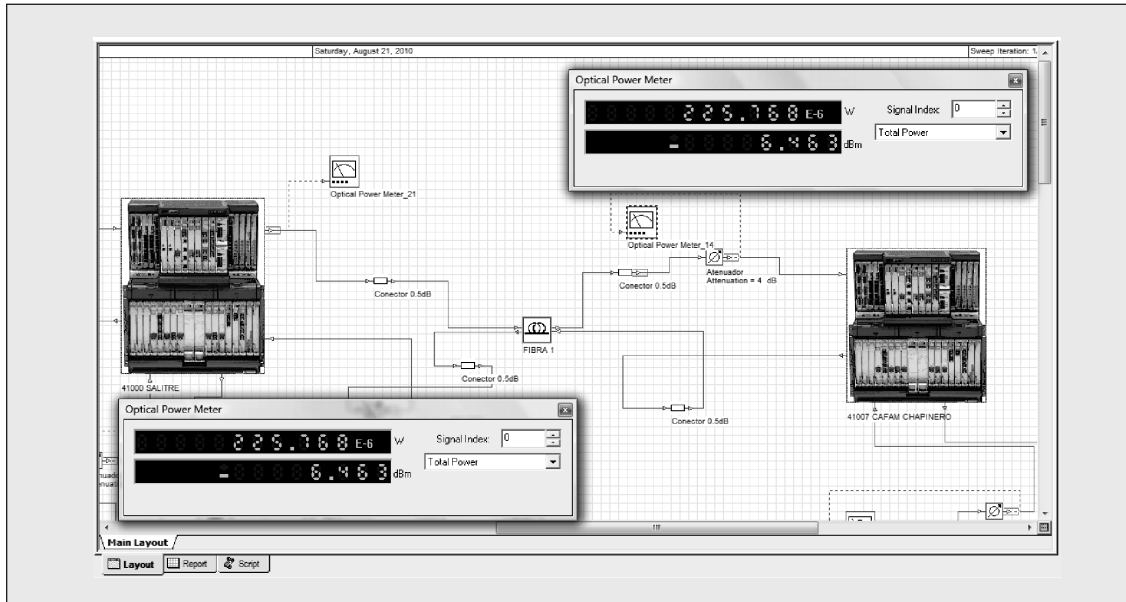


Tabla 6. Resultados de medición de potencia de recepción en todos los enlaces simulados.

| Anillo | Enlace bidireccional | Potencia de recepción P_{rx} en simulación (dBm) | Potencia de recepción P_{rx} recomendada (dBm) |
|---------|--|--|--|
| Salitre | Salitre 41000 - Cafam Chapinero 41007 | -6,463 | -6,5 |
| Salitre | Cafam Chapinero 41007 - Colgas 41025 | -6,697 | -6,5 |
| Salitre | Colgas 41025 - Alpina 41065 | -6,5 | -6,5 |
| Salitre | Alpina 41065 - La Palestina I 42072 | -6,481 | -6,5 |
| Salitre | La Palestina I 42072 - Soacha 61000 | -6,43 | -6,5 |
| Salitre | Soacha 61000 - Las Luces 42020 | -6,526 | -6,5 |
| Salitre | Las Luces 42020 - Salitre 41000 | -6,41 | -6,5 |
| Salitre | Salitre 41000 - Quintas Sta. Cecilia 42003 | -6,586 | -6,5 |
| Salitre | Quintas Sta. Cecilia 42003 - Alpina 41065 | -6,518 | -6,5 |
| Morato | Morato 21000 - 23106 | -6,471 | -6,5 |
| Morato | 23106 - 23000 | -6,501 | -6,5 |
| Morato | 23000 - 21101 | -6,4 | -6,5 |
| Morato | 21101 - 22020 | -6,509 | -6,5 |
| Morato | 22020 - 22000 | -6,57 | -6,5 |
| Morato | 22000 - Morato 21000 | -6,567 | -6,5 |

Instalación y comisionamiento

El proceso de instalación y las pruebas de comisionamiento de la infraestructura de la red de transmisión SDH están divididos en tres etapas: instalación de los equipos y el cableado; pruebas de aseguramiento de calidad del servicio; y entrega final.

Instalación

Los equipos OptiX OSN 7500® se instalaron según los planos y las listas de materiales elaborados en los estudios de sitio. El gabinete en el cual se instala el equipo se divide en tres secciones: indicadores de alarmas, distribuidor de energía y espacio para el *subrack*. La sección de alarmas se encuentra en la parte externa y superior del gabinete y su función es brindar información del estado eléctrico y funcional del equipo. El distribuidor de energía se ubica en la parte superior dentro del gabinete y está conformado por una entrada y dos salidas.

En la entrada del distribuidor de entrada se conecta el cableado de red eléctrica que viene del rectificador DC de -48V. Las salidas se conectan a las Unidades de Interfaz de Poder o PIU (Power Interface Unit), ubicadas en los *slots* 32 y 33 del *subrack*. El equipo está formado por el *subrack* y tarjetas funcionales. El *subrack* del OptiX OSN 7500® tiene dos niveles: el nivel superior contiene 10 *slots* para tarjetas de interfaces y 10 *slots* para tarjetas de procesamiento; y el nivel inferior contiene 18 *slots* para tarjetas de procesamiento. En medio de los dos niveles se ubican los ventiladores; debajo de nivel inferior existe un filtro de aire. Las tarjetas instaladas en los equipos son:

SL 64A: Interconecta cada uno de los nodos del anillo. Esta tarjeta procesa señales ópticas STM-64.

IXCSA: Administra y redirecciona la información de una tarjeta a otra.

EOW: Con esta se hace la programación y gestión del equipo.

GSCC: Controla el sistema y la comunicación.

AUX: Proporciona al sistema varias interfaces auxiliares; entre ellas, la interfaz de gestión y la función de copia de seguridad central de la fuente de 3,3 V de potencia.

PIU: Reciben y distribuyen la energía.

La instalación del tendido de fibra óptica y cableado eléctrico cumple con las normas estandarizadas por el fabricante. El tendido de fibra óptica va protegido con mangueras desde el equipo de transmisión hasta el armario del ODF, en donde se conservó el orden de distribución de fibra. En el gabinete del equipo de transmisión la distribución del cableado se hizo a los costados. Se incluyeron marquillas en cada extremo de la fibra identificando el anillo y el puerto y el enlace al cual pertenece.

Pruebas de comisionamiento

Se realizaron tres pruebas de comisionamiento: de potencia de transmisión, de sensibilidad del receptor y de *jitter* o fluctuación de fase. La prueba de potencia de transmisión consiste en medir, en el puerto transmisor, la potencia de la señal óptica. Se debe hacer conectando uno de los extremos de un *patch cord* de fibra óptica en el puerto de salida de la tarjeta SL 64 y conectar el extremo contrario al medidor de potencia y tomar el valor de potencia de la señal que muestra el medidor. Los valores para cada puerto transmisor del enlace se encuentran en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de mediciones de potencia de transmisión.

| Anillo | Centrales Salitre | West | East | Rango de potencia de P_{tx} del fabricante (dBm) ³ |
|---------|---------------------------|----------------|----------------|---|
| | | P_{tx} (dBm) | P_{tx} (dBm) | |
| Salitre | Salitre 41000 | 0,34 | 0,39 | -1 a 2 |
| Salitre | Cafam Chapinero 41007 | 0,4 | 0,47 | -1 a 2 |
| Salitre | Colgás 41025 | 0,28 | 0,32 | -1 a 2 |
| Salitre | Alpina 41065 | 0,5 | 0,54 | -1 a 2 |
| Salitre | La Palestina I 42072 | 0,37 | 0,22 | -1 a 2 |
| Salitre | Soacha 61000 | 0,43 | 0,49 | -1 a 2 |
| Salitre | Las Luces 42020 | 0,52 | 0,4 | -1 a 2 |
| Salitre | Salitre 41000 | 0,45 | 0,52 | -1 a 2 |
| Salitre | Quintas Sta. Cecilia 2003 | 0,55 | 0,49 | -1 a 2 |
| Morato | Morato 21000 | 0,6 | 0,58 | -1 a 2 |
| Morato | Alcázares 23106 | 0,33 | 0,46 | -1 a 2 |
| Morato | Villa María 23000 | 0,48 | 0,5 | -1 a 2 |
| Morato | Polo Club 21101 | 0,39 | 0,41 | -1 a 2 |
| Morato | Rionegro 22020 | 0,42 | 0,32 | -1 a 2 |
| Morato | Cabrera 22000 | 0,53 | 0,4 | -1 a 2 |

3 Hardware Description Manual OptiX OSN 7500 Intelligent Optical Switching System Technical Specifications Reference (V100R009_04), Huawei Technologies Company Ltd. China, Chapter 3.1.20.

La prueba de potencia de recepción consiste en conectar los puertos de la tarjeta SL64 a un analizador SDH, conectando un atenuador variable entre el puerto de recepción de la tarjeta y el analizador SDH. Se aumenta el valor del atenuador hasta obtener bits de error en la medición del analizador. Se desconecta el atenuador y se mide el nivel de potencia en el mismo. Los valores obtenidos para cada tarjeta de los anillos se encuentran en la Tabla 8.

La prueba de *jitter* o fluctuación de fase generada o intrínseca en los anillos de transmisión se hizo para cada una de las interfaces de los equipos de transmisión aplicando a su entrada una señal libre de *jitter* (generada por el analizador SDH) y midiendo el *jitter* en la señal de salida. Los resultados de las pruebas se encuentran en la Tabla 9.

Entrega final

La entrega final al operador de la red se hace configurando la red en el software de gestión llamado T2000 NM Networking Management®. El proceso para configurar cada equipo es conectarlo a la red de gestión a través de la cual se le asignan un nombre y una dirección. Una vez creada la red en el software, se configuran las tarjetas y se asignan las capacidades a cada servicio.

Conclusiones

Al implementar SDH como tecnología de transmisión se incrementa la capacidad de transmisión de tráfico que los suscriptores exigen a su operador. En resumen, se puede

Tabla 8. Potencia de sensibilidad del puerto del receptor.

| Anillo | Centrales salitre | West | East | Rango de potencia de P_{tx} del fabricante (dBm) ⁴ |
|---------|---------------------------|----------------|----------------|---|
| | | P_{tx} (dBm) | P_{tx} (dBm) | |
| Salitre | Salitre 41000 | 0,34 | 0,39 | -1 a 2 |
| Salitre | Cafam Chapinero 41007 | 0,4 | 0,47 | -1 a 2 |
| Salitre | Colgás 41025 | 0,28 | 0,32 | -1 a 2 |
| Salitre | Alpina 41065 | 0,5 | 0,54 | -1 a 2 |
| Salitre | La Palestina I 42072 | 0,37 | 0,22 | -1 a 2 |
| Salitre | Soacha 61000 | 0,43 | 0,49 | -1 a 2 |
| Salitre | Las Luces 42020 | 0,52 | 0,4 | -1 a 2 |
| Salitre | Salitre 41000 | 0,45 | 0,52 | -1 a 2 |
| Salitre | Quintas Sta. Cecilia 2003 | 0,55 | 0,49 | -1 a 2 |
| Morato | Morato 21000 | 0,6 | 0,58 | -1 a 2 |
| Morato | Alcázares 23106 | 0,33 | 0,46 | -1 a 2 |
| Morato | Villa María 23000 | 0,48 | 0,5 | -1 a 2 |
| Morato | Polo Club 21101 | 0,39 | 0,41 | -1 a 2 |
| Morato | Rionegro 22020 | 0,42 | 0,32 | -1 a 2 |
| Morato | Cabrera 22000 | 0,53 | 0,4 | -1 a 2 |

4 Hardware Description Manual OptiX OSN 7500 Intelligent Optical Switching System Technical Specifications Reference (V100R009_04), Huawei Technologies Company Ltd. China, Chapter 3.1.20.

Tabla 9. Medición de generación del jitter.

| Anillo | Centrales Salitre | Oeste | | Este | | Máxima fluctuación de fase permisible ⁵ | |
|---------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|-----------|
| | | B1 (UIpp) | B2 (UIpp) | B1 (UIpp) | B2 (UIpp) | B1 (UIpp) | B2 (UIpp) |
| Salitre | Salitre 41000 | 0,041 | 0,032 | 0,043 | 0,032 | 1,5 | 0,15 |
| Salitre | Cafam Chapinero 41007 | 0,043 | 0,032 | 0,041 | 0,034 | 1,5 | 0,15 |
| Salitre | Colgas 41025 | 0,044 | 0,031 | 0,041 | 0,038 | 1,5 | 0,15 |
| Salitre | Alpina 41065 | 0,045 | 0,032 | 0,042 | 0,032 | 1,5 | 0,15 |
| Salitre | La Palestina I 42072 | 0,041 | 0,032 | 0,043 | 0,032 | 1,5 | 0,15 |
| Salitre | Soacha 61000 | 0,042 | 0,034 | 0,04 | 0,031 | 1,5 | 0,15 |
| Salitre | Las Luces 42020 | 0,045 | 0,032 | 0,043 | 0,032 | 1,5 | 0,15 |
| Salitre | Quintas Sta. Cecilia 42003 | 0,043 | 0,037 | 0,041 | 0,034 | 1,5 | 0,15 |
| Morato | Morato 21000 | 0,043 | 0,032 | 0,04 | 0,038 | 1,5 | 0,15 |
| Morato | Alcázares 23106 | 0,044 | 0,038 | 0,043 | 0,032 | 1,5 | 0,15 |
| Morato | Villa María 23000 | 0,04 | 0,032 | 0,041 | 0,031 | 1,5 | 0,15 |
| Morato | Polo Club 21101 | 0,041 | 0,031 | 0,042 | 0,038 | 1,5 | 0,15 |
| Morato | Rionegro 22020 | 0,04 | 0,032 | 0,043 | 0,032 | 1,5 | 0,15 |
| Morato | Cabrera 22000 | 0,043 | 0,032 | 0,042 | 0,033 | 1,5 | 0,15 |

5 UIT - Recomendación G.825: Digital line systems based on the synchronous digital hierarchy for use on optical fibre cable

obtener un incremento inicial de aproximadamente 2.000% en la capacidad de agregación y desagregación de tráfico, escalable hasta 16.000% de la capacidad inicial; por ejemplo: si el tráfico inicial soportado en PDH era de 450 Mbps, al implementar un anillo SDH STM-64 esta capacidad es de 10 Gbps, y, dada la escalabilidad de esta tecnología, dicha capacidad se podría incrementar hasta en 80 Gbps.

SDH es un protocolo ideal para redes de transmisión de área metropolitanas, con el cual se puede ofrecer al cliente la capacidad contratada y cumplir con los niveles de calidad de servicio y tiempos de recuperación. Metro Ethernet, en comparación con SDH, es un protocolo que demanda mayor capacidad de procesamiento debido a la cantidad de diferenciadores y parámetros que maneja en los campos de su trama. DWDM no es una tecnología viable para este tipo de redes, porque el nivel de granularidad no es suficiente, es decir, que no es posible dividir la capacidad de cada canal en capacidades más pequeñas, por lo que se hace necesaria la implementación combinada de dicho protocolo con otros, como SDH o Metro Ethernet, que permiten mayor escalabilidad y aprovechamiento de los recursos de red.

Durante la etapa de diseño a nivel de tráfico se dedujo que el porcentaje de utilización inicial de cada enlace no supera el 8%, quedando de esta manera un 92% de capacidad libre para futuras expansiones de red y/o nuevos servicios que se quiera transportar por estos anillos, sin necesidad de realizar ninguna adición de hardware en los equipos implementados.

Se obtuvieron resultados muy satisfactorios al realizar las simulaciones a nivel óptico de cada enlace, lo que garantiza un margen de diseño de 3 dB y con esto se asegura que aunque la potencia óptica de cualquier enlace caiga

a la mitad, dicho enlace seguirá operativo y no se presentarán cortes ni degradaciones en la calidad del servicio prestado.

La metodología de implementación de la red permitió la detección de problemas en etapas tempranas, lo que evita contratiempos y re-trabajo en la instalación y comisionamiento de la red. Las mediciones de potencia en las pruebas de comisionamiento arrojaron resultados muy cercanos a los establecidos por el fabricante en el manual técnico del equipo. El valor promedio de sensibilidad obtenido en las mediciones es de -15,38 dBm y el especificado en el manual del fabricante es de -14dBm. El valor promedio de la potencia de transferencia es de 0,43 dBm, el cual se encuentra en un valor medio entre el rango de potencias establecido por el fabricante, que se encuentra entre -1dBm y 2dBm.

Perspectivas de la implementación

La metodología de diseño e implementación de la red de transmisión se puede emplear en cualquier red metropolitana, considerando la cobertura requerida por los usuarios reales y potenciales, la capacidad proyectada de la red y las necesidades del proveedor. Por otra parte, la implementación de la red de transmisión en Bogotá permitió al proveedor mejorar y ampliar su red de acceso en cada una de los nodos instalados.

Referencias

- [1] W. U. Kumara, "Optical Network Technical Support Dep., Huawei Technologies Company Ltda". China, SDH Fundamentals.
- [2] M. Whalley (Agilen Technologies - Australia), D. Mohan (Nortel Networks - Canada).

- da) - Metro Ethernet Forum, Metro Ethernet Networks. *A Technical Overview*.
- [3] Unión Internacional de Telecomunicaciones [ITU-T]. Recomendación G.825: Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital síncrona. 2000.
- [4] International Telecommunication Union [ITU-T]. Recommendation G.958: Digital line systems based on the synchronous digital hierarchy for use on optical fibre cable. 1994.
- [5] R. Santitoro. "Metro Ethernet Services – A technical Overview" (04-2003). Metro Ethernet Forum.
- [6] Hardware Description Manual OptiX OSN 7500 Intelligent Optical Switching System Technical Specifications Reference (V100R009_04). Huawei Technologies Company Ltd. China, Chapter 3.1.20.
- [7] W. Tomasi. "Sistemas de comunicaciones electrónicas", 4 ed., cap. 11. Prentice Hall, 2001.
- [8] T. Szingeti. *End-to-end QoS Network Design*. Cisco Press, 2005.
- [9] R. Yan F. et al. *Carleton P802.17/D3.0 RPR OPNET Model, User Guide*. Revisión 2004-03-17. Carleton University.
- [10] OptiSystem. *Getting Started, Version 4.1 for Windows 2000/XP*. Optiwave Systems, 2005.
- [11] OptiSystem Component Library. *Version 4.1 for Windows 2000/XP*. Optiwave Systems, 2005.
- [12] OptiSystem User Reference. *Version 4.1 for Windows 2000/XP*. Optiwave Systems, 2005.
- [13] Optiwave Products. *Optisystem Key Features and Functionality*. Optiwave Systems, 2005. [En línea]. Disponible en: <http://www.optiwave.com/2006/products/optisystem/keyfeatures.htm>
- [14] T. E. Stern y K. Bala, "Multiwavelength Optical Networks: A Layered Approach", Prentice Hall, 1999.
- [15] J. Hecht, "Optical Networking: What's Really Out There?" *Laser Focus World*, febrero 2003.
- [16] A. Neukermans y R. Ramaswami. "MEMS Technology for Optical Networking Applications". *IEEE Communications Magazine*, 39(1), junio 2001