

## Red DWDM como Conexión de Respaldo en Centros de Datos

**Yunior Avila Vázquez, José Raúl Machado Fernández, Alejandro Pérez González**

*Dirección de Tecnología y Sistemas (DTS), MININT, Habana, Cuba. Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica,  
[dcomones@mail.mn.co.cu](mailto:dcomones@mail.mn.co.cu)*

### RESUMEN

Los centros de datos del Ministerio del Interior cubano intentan emplear técnicas de replicación para asegurar la información que almacenan. Desafortunadamente, las técnicas no pueden aplicarse porque la red que conecta a los centros es común a otros nodos y se satura rápidamente con la nueva carga introducida. Como solución, se propone la implementación de una red dedicada DWDM con tres dispositivos HUAWEI OptiX OSN 3800. La variante fue desplegada satisfactoriamente y proporciona 1GB de bajada y subida en cada conexión, además de ser fácilmente escalable y de aprovechar el tendido de fibra existente.

*Palabras claves: Centro de Datos, DWDM, OptiX OSN 3800, Redes de Respaldo.*

### ABSTRACT

Data centers from the Cuban Interior Ministry attempt to use replication techniques to ensure the safety of the stored information. Unfortunately, the techniques can't be applied because the network connecting the centers is common to other nodes and quickly gets saturated with the new introduced load. As a solution, the implementation of a dedicated network with three DWDM OptiX OSN HUAWEI 3800 devices is proposed. The variant was deployed successfully and provides 1GB both for download and upload for each connection, besides being scalable and taking advantage of the existing deployed fiber.

*Key Words: Data Centers, DWDM, OptiX OSN 3800, Back-Up Networks.*

# INTRODUCCIÓN

El aumento del tráfico en las redes de telecomunicaciones actuales ha estado condicionado fundamentalmente por la amplia variedad en los servicios que se brindan y el creciente número de usuarios que los utilizan. El reconocido fabricante Cisco publicó en su informe anual *Cisco Visual Networking Index (2012-2017)* las claves de la evolución de la conectividad de internet en los próximos años.

El crecimiento del tráfico de datos se apoyará fundamentalmente en el aumento del tráfico de video en la red, el aumento de usuarios conectados así como los dispositivos para hacerlo y, en la parte técnica, en un aumento de la calidad de las conexiones que verán incrementadas en cuatro veces su velocidad actual. Según el informe, la demanda de nuevas conexiones móviles por parte de los consumidores va en aumento y al parecer no hay signos de que vaya a cambiar la tendencia. Para el año 2017, Cisco prevé que existirán más de 10.000 millones de dispositivos móviles en el mundo, una vertiginosa cifra a la que hay que añadir el incremento previsto de la velocidad de las redes móviles, que será 7 veces mayor a la de las actuales (Cisco 2013).

En la figura 1 se muestra el comportamiento esperado en el tráfico global IP según el tipo de dispositivo para el periodo 2012-2017. Para el 2015, el tráfico del Protocolo de Internet (IP, Internet Protocol) global podría alcanzar los 83.8 Exabytes por mes ( $83.8 \cdot 10^{18}$  bytes/mes). El tráfico global IP se incrementó cuatro veces desde el 2007 hasta el 2012 y se espera que se incremente tres veces en el actual periodo 2012-2017, llegando a 121 Exabytes/mes.

## MOTIVACIÓN Y APORTES

Además del reto impuesto por la gran demanda de ancho de banda, los proveedores de servicio deben garantizar la alta disponibilidad en sus redes. Ante un fallo en una porción de la red o en alguno de los servidores, los usuarios deben ver afectados sus servicios en la menor medida posible. En consecuencia, se hace visible la necesidad del diseño de topologías de redes robustas que empleen conexiones redundantes entre los principales nodos, habilitándose así la posibilidad de salvar la información alojada (Jinxing 2014).

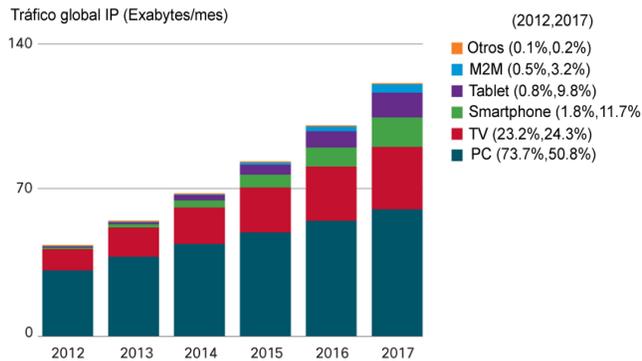


Figura 1. Tráfico global IP de acuerdo al tipo de dispositivo para el periodo 2012-2017.

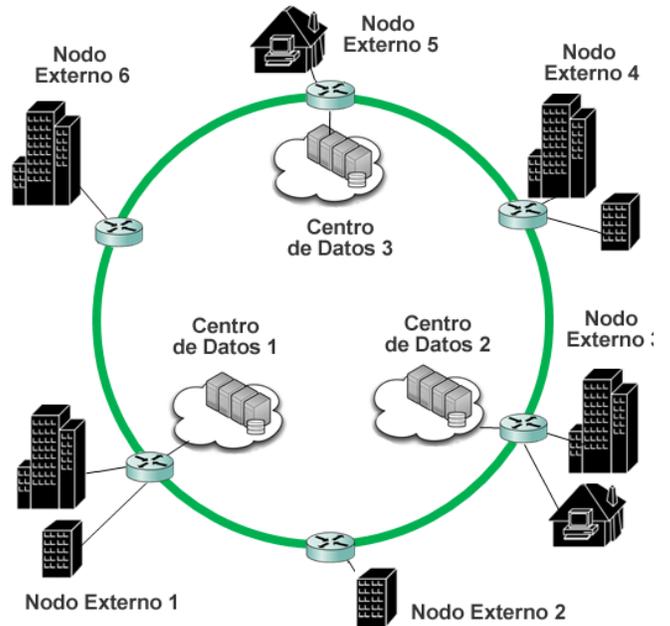


Figura 2. Centros de datos conectados a una red común.

Los centros de datos son uno de los entornos en los que se diseñan topologías de redes robustas. La misión de estos centros ha ido evolucionando desde ofrecer servicios de almacenamiento básicos hasta proporcionar conectividad a gran escala, almacenamiento y recuperación ante desastres. El método clásico actual para la obtención de copias de seguridad planificadas y la reanudación de los servicios consiste en desplegar una red de respaldo. Los servidores de la red deben ser capaces de proporcionar las mismas facilidades originales, o un subconjunto de ellas que permitan reanudar las funcionalidades como si se tratase de la instalación primaria (Systems 2009).

La presente investigación se enfoca en un conjunto de centros de datos del Ministerio del Interior cubano que intenta implementar técnicas de recuperación ante fallos. Ante el mal funcionamiento de las técnicas aplicadas, se ha detectado que el principal problema que impide la ejecución cabal reside en la topología de red. Un boceto de ella se muestra en la figura 2.

La red que interconecta los centros de datos es compartida con alrededor de otros diez nodos que generan una alta cantidad de tráfico. Por ello, el canal se satura rápidamente cuando el flujo de información a cursar aumenta. Como solución, los autores proponen la implementación de una red de Multiplexación por División en Longitud de Onda del tipo Densa (DWDM, Dense WaveLengh Division Multiplexing) que aproveche algunas facilidades disponibles en despliegues previos de fibra óptica, evitando realizar nuevos tendidos al multiplexar varios flujos en un solo hilo de fibra. La red se compone de tres equipos OptiX OSN 3800.

El presente documento se desarrolla como sigue. Primeramente, se describen las tecnologías y el equipamiento empleados en la sección dos denominada “Materiales y Métodos”. Se particulariza en la técnica DWDM y en como resuelve las necesidades del cliente en el 2.1, presentando los dispositivos encargados de la comunicación que son los OptiX OSN 3800 del fabricante HUAWEI en el 2.2. Se concluye la sección explicando algunos rasgos de la herramienta informática de administración Web LCT en el 2.3 con la que se configura el equipamiento. Posteriormente, se describe la solución propuesta para los centros de datos en la sección tres bajo el nombre de “Resultados y Discusión”. El esquema tiene éxito en la separación de dos flujos de información independientes que cursan a través de los tres centros de datos existentes. De esta manera, puede interpretarse como que se interconectan seis redes en lugar de tres, en una decisión definida totalmente por los requerimientos del cliente.

La solución planteada es robusta, escalable y da respuesta de forma plena a las necesidades de la institución a la que tributa, lo que ha podido ser comprobado con la implementación y puesta en práctica de la misma. Una vez desplegada, la red ha tenido éxito en la garantía de la alta disponibilidad que requieren los centros de datos. Además, salvas de información son realizadas con frecuencia a través de ella.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

La tecnología de banda ancha ha ido evolucionando desde las variantes: Modo de Transferencia Asíncronico (ATM, Asynchronous Transfer Mode), Relevo de Trama (FR, Frame Relay) y Jerarquía Digital Síncronica (SDH, Synchronous Digital Hierarchy) hasta llegar hoy al estándar DWDM. La principal ventaja del esquema sobre sus predecesores es que emplea una multiplexación por división de longitud de onda, aprovechando así las capacidades de los modernos medios de transmisión (Ramaswami et al. 2010).

### **LA TECNOLOGÍA DEL DWDM COMO SATISFACCIÓN A LAS NECESIDADES DEL CLIENTE**

Con DWDM se consigue un mayor número de canales ópticos reduciendo la dispersión cromática de cada canal con respecto a la dañina multiplexación en el tiempo de sistemas como SDH (Systems 2009). A lo anterior se une el efecto beneficioso de láseres de mayor calidad y fibras ópticas de baja dispersión. De esta manera es posible combinar más canales reduciendo el espacio entre ellos. Actualmente se pueden conseguir 40, 80 o 160 canales ópticos separados entre sí 100 GHz, 50 GHz o 25 GHz respectivamente (Machado Fernández and Gómez Ortega 2012).

La selección de DWDM se fundamenta en las tres principales necesidades del cliente: escalabilidad, seguridad y uso del tendido de fibra legado. Con respecto a la primera de ellas, DWDM es sin duda la tecnología más escalable cuando se compara con sus competidores. La multiplexación en el tiempo, que comenzando con ATM y FR alcanzó su máxima velocidad con SDH, tiene limitaciones inherentes al esquema. En el presente caso, el cliente desea implementar una red dedicada con conexiones iniciales de 1Gbps y planea un crecimiento de la red de respaldo de hasta 10 Gbps en cinco años, y posiblemente hasta 20 Gbps en un plazo de 10 a 15 años. Estas necesidades pueden ser cubiertas con DWDM en esquemas que escalen poco a poco con inversiones sucesivas que emplean bloques comunes de equipamiento.

Debido a que la aplicación responde a intereses del Ministerio del Interior, la seguridad puede considerarse como otro requerimiento fundamental. En este sentido, la variante DWDM opera por

debajo del nivel de enlace (capa 2) siendo invisible a los dispositivos conmutadores y enrutadores. Además, los dispositivos comúnmente permiten gestión en banda. Así, en adición a la clásica encriptación, se puede desplegar un sistema donde el usuario no cuenta con ninguna interfaz de acceso a la información. Esto quiere decir que aunque sea mal configurada una dirección IP u omitida una regla de acceso en un corta-fuego, el acercamiento a la información es imposible si no es a través de la única interfaz disponible. Dicha interfaz, va conectada a uno de los dispositivos DWDM desde donde se accede al resto con administración en banda. La única interfaz es fácil de colocar dentro de un cuarto cerrado en las oficinas principales, lográndose igualmente la protección física.

El tercer requerimiento del cliente es el uso de la fibra legada de tendidos anteriores, pues no hay presupuesto concebido para realizar nuevos tendidos. Entonces, los medios de transporte digitales disponibles deben ser aprovechados al máximo lo que se logra con DWDM que es la alternativa que más información puede poner en un solo pelo de fibra.

Existe aún un cuarto elemento que valida la implementación de DWDM: el factor económico. En negociaciones iniciales con el fabricante HUAWEI fue notado el bajo precio del equipamiento DWDM con respecto a sus competidores. Primeramente, dentro de la misma tecnología, es más barato comprar la alternativa Densa que la Ruda (CWDM, Coarse Wavelength Division Multiplexing), si bien la última coloca menos canales de datos. En segundo lugar, aún fuera de la tecnología, variantes como SDH son ligeramente más costosas aunque alcanzan velocidades inferiores. También, el fabricante facilita una oferta de conexión de tres DWDM similar al esquema que se desea diseñar, lo que contribuye a reducir el precio total.

Por último, otro requerimiento del cliente que es necesario mencionar es el de la separación de dos flujos de información que provienen de cada uno de los centros de datos. El usuario del diseño de red desea que estos flujos de información se traten como si fuesen de dos empresas diferentes, estando la interconexión prohibida. Los detalles de cómo se cumple esta demanda son ofrecidos en la sección tres puesto que se corresponden con el diseño topológico de la red.

### **DISPOSITIVO HUAWEI OPTIX OSN 3800**

Una vez escogida la técnica DWDM, la mejor oferta del fabricante fue con la Plataforma de Transporte Óptico Inteligente Comparto 3800 (OptiX OSN 3800, Compact Intelligent Optical Transport Platform) que es parte de la plataforma de transporte óptico inteligente de nueva generación del fabricante HUAWEI. Desde el punto de vista tecnológico, el dispositivo se ubica en la cuarta generación de WDM pues permite establecer comunicación por 80 diferentes longitudes de onda espaciadas en 50 GHz. El 3800 está orientado a satisfacer la demanda de tráfico de red en el futuro conforme a las tendencias en las Redes de Área Metropolitana (MAN, Metropolitan Area Networks) con el IP como núcleo (Co 2010). Además, trabajan en la capa física de la pila de protocolos OSI (Open System Interconnection), por lo que son invisibles para cualquier conmutador o enrutador conectado a ellos, adquiriendo por consiguiente la propiedad de transparencia (García Tomás et al. 1997). Las alternativas 6800 y 8800, evoluciones del 3800, fueron consideradas demasiado grandes y costosas para la solución que se deseaba implementar.

El dispositivo, como muchos de la familia de HUAWEI, se compone de una unidad central, o chasis, y de varios módulos o tarjetas que se agregan según las necesidades del cliente. Así se garantiza que se pueda realizar una actualización rápida cuando sea necesaria.

El OSN 3800 tiene espacio para introducir un total de seis tarjetas. De las ranuras habilitadas, dos son para introducir multiplexores y cuatro para introducir transpondedores. Los multiplexores reciben señales independientes por cada uno de sus puertos y envían a la salida una sola señal multiplexada en longitud de onda. Antes de que la señal pueda entrar al multiplexor, ella debe pasar por un transpondedor que desplaza el contenido de la entrada hacia una longitud de onda definida previamente en un estándar internacional.

En la figura 3 se muestra la vista frontal de un OSN 3800. Los dos espacios superiores sirven para colocar multiplexores y los inferiores (y más alargados) son para colocar transpondedores. Aunque el dispositivo permite la interconexión de varias clases de tarjetas, los autores consideraron que bastaba para el despliegue planificado con dos tarjetas multiplexoras del tipo MR4 y dos transpondedoras del tipo LDGS en cada equipo.

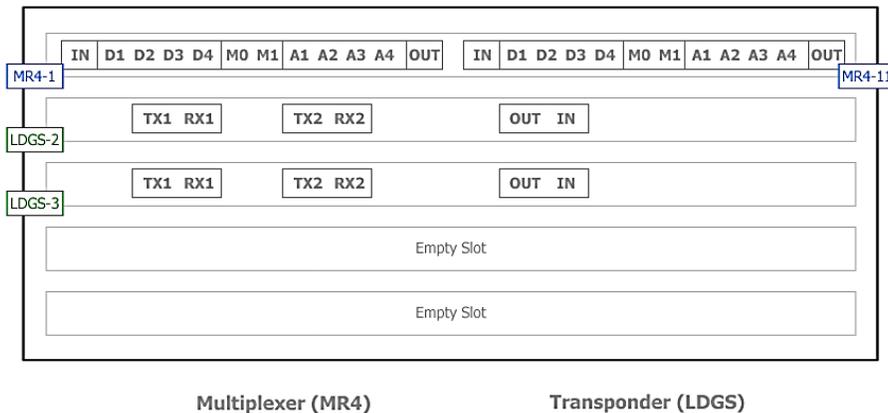


Figura 3. Puertos Resaltados en la Vista Frontal del OptiX OSN 3800.

### PLACA TRANSPONDEDORA LDGS

Las Unidades Transpondedoras Ópticas (OTU, Optical Transponder Unit) convierten la señal a su salida en una longitud de onda del estándar DWDM de acuerdo con la recomendación ITU-T G.694.1 o del estándar CWDM de acuerdo con la recomendación ITU-T G.694.2. De esta forma, la Unidad Gigabit Ethernet de Una Alimentación y Una Recepción (LDGS, 2 x Gigabit Ethernet unit, single fed and single receiving) ayuda a la unidad multiplexora a trabajar con señales de diferentes longitudes de onda.

En la tabla II se resumen las funciones y características de la placa LDGS. Entre los servicios que soportan los transpondedores LDGS está el acondicionamiento (grooming), que es una técnica usada para combinar flujos de tráfico de baja velocidad dentro de longitudes de onda a altas velocidades. El objetivo es minimizar el costo de la red en cuanto a equipos terminales de línea y/o conmutación electrónica (Barr et al. 2005).

Tabla I. Funciones y Características de las placas LDGS.

Funciones y características	Descripción
Función básica	Multiplexa dos señales ópticas GE en una señal OTU1/STM-16 a 2.5 Gbit/s y convierte la señal a una longitud de onda de los estándares DWDM o CWDM
Capacidad de Cross-conexión	Soporta el acondicionamiento de dos señales GE de una de las placas LDGS a otra placa LDGS en un mismo OSN 3800.
Funciones de Red de Transporte Óptico (OTN, Optical Transport Network)	<p>Provee la interface OTU1 en el lado WDM.</p> <p>Soporta el formato de la trama OTN y el procesamiento de la cabecera OTN de acuerdo con la recomendación ITU-T G.709.</p> <p>Soporta el mapeo de señales GE en señales OTU1. El proceso de mapeo cumple con la recomendación ITU-T G.709.</p>

#### MULTIPLEXOR ÓPTICO FIJO DE INSERCIÓN/EXTRACCIÓN MR4

Otra de las tarjetas que pueden ser insertadas en el chasis del OptiX OSN es el multiplexor óptico fijo de inserción/extracción. En ella se extraen los canales ópticos provenientes de la señal multiplexada y posteriormente enviarlos a una placa OTU. Igualmente, los canales ópticos provenientes de una placa OTU pueden ser agregados a una señal multiplexada.

La Unidad Óptica Multiplexora de Inserción/Extracción de Cuatro Canales (MR4, 4-channel optical add drop multiplexing unit) brinda al usuario cuatro canales de entrada/salida que proporcionan al lado del cliente servicios de hasta 2 Gbps en cada canal. En la tabla III se resumen las funciones y características del MR4.

Tabla II. Funciones y Características de las placas MR4.

Función y característica	Descripción
Función básica	Insertar/Extraer cuatro canales consecutivos de señales hacia/desde la señal multiplexada.
Especificación WDM	Soporta la especificación DWDM.
Interface para conexión en cascada	Provee una interfaz para conectar en cascada otra placa Multiplexora de Inserción/Extracción Óptica (OADM, Optic Add/Drop Multiplexer) para lograr la expansión.

#### HERRAMIENTA DE GESTIÓN WEB LCT

Aunque existen otras alternativas, una de las formas clásicas para configurar un dispositivo OptiX OSN 3800 junto a sus tarjetas multiplexoras y transpondedoras es usando el Terminal de Administración Inteligente Local Web T2000 (Web LCT, iManager T2000 Web Local Craft Terminal(Co 2006). Entre las

facilidades más útiles que proporciona la interfaz visual está la configuración de los puertos lógicos del LDGS.

Para comprender la funcionalidad anterior, obsérvese la figura 4 donde se grafica un flujo de operación común entre las tarjetas que se insertan en el Optix OSN 3800. El transpondedor LDGS puede recibir conexiones Gigabit Ethernet por cada uno de sus puertos TX1/RX1 y TX2/RX2 y enviarlas hacia el multiplexor por el puerto OUT/IN. El multiplexor del equipo local se comunica con el del equipo remoto transmitiendo la señal que es pasada luego al transpondedor remoto por su puerto OUT/IN, siendo ofrecida al destino a través de la interfaz correspondiente TX/RX.



**Figura 4. Recorrido de la información por el ambiente DWDM.**

Al configurar los puertos lógicos del LDGS se puede variar el funcionamiento del esquema de operación común. Por ejemplo, se puede intercambiar señales entre los puertos locales TX1/RX1 y TX2/RX2 de un mismo LDGS. También puede elegirse entre dirigir la señal que se recibe por el puerto TX1/RX1 del LDGS local hacia el puerto TX1/RX1 o hacia el TX2/RX2 del LDGS remoto.

En adición a la facilidad antes descrita, Web LCT ofrece la potencia transmitida y la recibida por el LDGS, junto a los umbrales permitidos. También muestra un conjunto de alarmas que se corresponden con estados que interfieren o amenazan la comunicación. En este sentido, al probar el equipamiento en un ambiente de laboratorio, fue necesario añadir atenuadores pasivos de 7 dB para evitar disparar alarmas que indicaban que el nivel de la señal estaba por encima del umbral permitido de recepción.

Otra opción de configuración es la del cambio de la longitud de onda de operación en cada uno de los cuatro canales disponibles del multiplexor MR4. Ellos son A1/D1, A2/D2, A3/D3 y A4/D4. La selección se realiza entre 80 frecuencias/longitudes de onda posibles que van desde la variante 80 en 1560.61 nm (192.100 GHz) hasta la variante 1 en 1529.55 nm (196.000 GHz).

Optical Interface/Channel	Optical Interface Name	Actual Wavelength No./Add-	Actual Band Type	Configure Wavelength No./Add-Drop Wavelength (nm)
OSN3800-5tab-1-21MR4-1(A1/D1)-1	A1/D1	80/1560.61/192.100	C	80/1560.61/192.100
OSN3800-5tab-1-21MR4-2(A2/D2)-1	A2/D2	78/1559.79/192.200	C	78/1559.79/192.200
OSN3800-5tab-1-21MR4-3(A3/D3)-1	A3/D3	76/1558.98/192.300	C	76/1558.98/192.300
OSN3800-5tab-1-21MR4-4(A4/D4)-1	A4/D4	74/1558.17/192.400	C	74/1558.17/192.400
OSN3800-5tab-1-21MR4-5(MI/MO)-1	MI/MO	-	-	-
OSN3800-5tab-1-21MR4-6(IN/OUT)-1	IN/OUT	-	-	-

**Figura 5. Interfaz visual para la elección de la longitud de onda de operación.**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La solución propuesta se muestra en la figura 6 donde aparecen tres dispositivos OSN 3800 conectados a tres centros de datos. A su vez, cada centro de datos aporta dos flujos de información independientes, que provienen de redes entre las que el intercambio no está permitido según los requerimientos del cliente. Entonces, puede interpretarse como que se interconectan seis tramos de red.

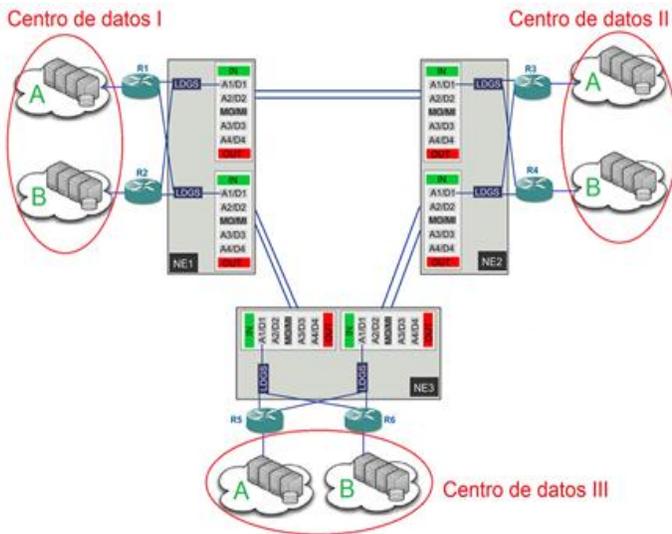


Figura 6. Red de respaldo de los centros de datos conformada por tres OptiX OSN 3800.

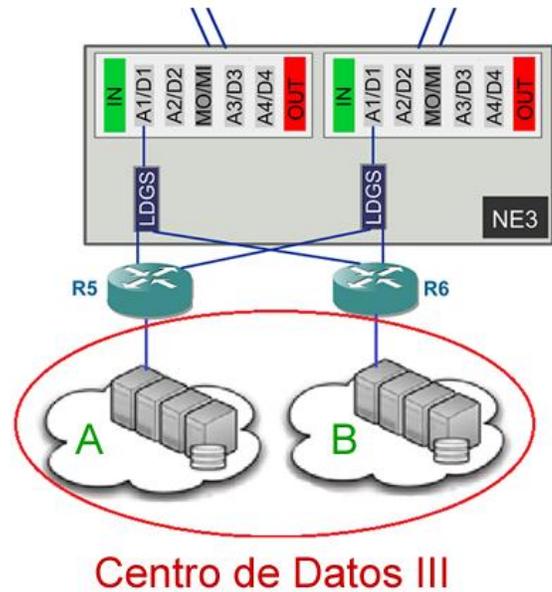


Figura 7. Vista Cercana de las conexiones del Centro de Datos III.

Nótese que en la figura 6 aparecen numerados los centros de datos del I al III. Asimismo, dentro de cada centro de datos son identificadas dos conexiones independientes que se denominan A y B. También son numerados los tres dispositivos OSN empleados que son denominados como NE1, NE2 y NE3 haciendo referencia al nombre que obtienen por defecto el software Web LCT: Elemento de Red (NE, Network Element).

La figura 7 representa una vista ampliada de la conexión del centro de datos III. Comprendiendo lo sucedido en ella, puede entenderse completamente la solución porque los esquemas de interconexión de las tarjetas multiplexoras y transpondedoras son semejantes en los tres dispositivos.

Particularizando en el caso del NE3, obsérvese primero el enrutador 5 (R5) que conecta la red A con ambos transpondedores LDGS mediante flujos de 1Gbps. Cada transpondedor ofrece una salida hacia cada uno de los equipos remotos (NE1 y NE2). El LDGS de la izquierda sale por el puerto A1/D1 del MR4 de la izquierda hacia NE1 y el LDGS de la derecha sale por el puerto A1/D1 del MR4 de la derecha hacia el NE2. De esta forma, hay un camino directo hacia cada nodo, lo que implica una doble protección, pues si cae uno de los dos caminos directos hay aún una conexión por el indirecto.

El enrutador 6 (R6) aprovecha la propiedad de multiplexación en el tiempo que ofrecen los transpondedores. Se conecta igualmente a los dos LDGS en los que su señal es colocada en el tiempo

junto a la ofrecida por el enrutador 5 conformándose una trama OTU1 de 2.5Gbps (de los que 2Gbps corresponden a datos). Al igual que el enrutador 5, R6 sale hacia N1 por el MR4 de la izquierda y hacia N2 por el de la derecha, en una conexión que popularmente se refiere como de puente norte y puente sur.

El lector podrá notar que las dos redes independientes (A y B) se unen en la trama OTU1. Sin embargo, ningún usuario de una de las redes puede acceder a la información que reside en la otra, pues los dispositivos DWDM operan por debajo de capa dos. Consecuentemente, los enrutadores o conmutadores interconectados a los OptiX OSN 3800 no tienen conciencia de la existencia de la red de multiplexación por longitud de onda; simplemente interpretan que alcanzan por una interfaz a los enrutadores o conmutadores del otro extremo con una demora y ancho de banda determinados.

La arquitectura presentada satisface los requerimientos del cliente empleando un mínimo de recursos, siendo a la vez escalable. El correcto funcionamiento del esquema propuesto ha podido ser validado en la práctica pues la arquitectura fue implementada satisfactoriamente. Así, las conexiones funcionan a la velocidad esperada y los dos flujos de información provenientes de cada centro de dato están separados bajo cualquier condición. No obstante, en la actualidad la red no opera al 100% de su capacidad pues los servicios planificados para ella se encuentran en fase de despliegue.

De los cuatro canales del MR4 solo uno es ocupado, y aunque las dos tarjetas LDGS son empleadas completamente quedan dos espacios vacíos donde pueden agregarse nuevos transpondedores. Adviértase que además del LDGS existen otras tarjetas con mayor cantidad de puertos disponibles. De hecho, el LDGS es una de las placas con menores prestaciones de su familia.

Comprendido lo anterior, una forma visible de potenciar el esquema es añadiendo dos nuevos transpondedores y guiándolos por los canales A2/D2 de los MR4. Siguiendo la misma lógica, deben ser conectados dos puertos de cada red independiente que se desee intercomunicar, en lugar de uno solo. Si las redes independientes están logradas sobre equipamiento HUAWEI, puede emplearse la funcionalidad de Agregación de Enlaces (Link Aggregation) que permite que un enrutador asocie más de una interfaz a una dirección IP, dividiéndose el tráfico a cursar entre las facilidades disponibles de una forma aproximadamente equitativa.

## **CONCLUSIONES.**

Se propone una solución para realizar el respaldo de la información de tres centros de datos con la tecnología DWDM empleando dispositivos OptiX OSN 3800 del fabricante HUAWEI. El esquema ofrecido cumple los requerimientos del cliente al proporcionar alta disponibilidad manteniendo dos redes, que salen de cada uno de los centros de datos, inaccesibles entre sí. Además, la escalabilidad es tenida en cuenta ya que se dejan espacios disponibles para añadir nuevas tarjetas transpondedoras, así como canales vacíos en los multiplexores.

## REFERENCIAS

BARR, R. S., M. S. KINGSLEY AND R. A. PATTERSON *Grooming Telecommunications Networks: Optimization Models and Methods* 2005.

CISCO Cisco Visual Networking Index (VNI) Forecast: The Zettabyte Era—Trends and Analysis, 2012-2017 2013.

CO, H. T. *OptiX OSN 6800 Web LCT Operación y Mantenimiento* 2006.

CO, H. T. *OptiX OSN 3800 Product Documentation* 2010.

GARCÍA TOMÁS, J., S. FERNANDO GIRÓN AND M. PIATTINI VELTHUIS *Redes de Alta Velocidad*. Edtion ed. Mexico DF, 1997. ISBN 970-15-0340-G.

JINXING, S. *The Design and Implementation of intelligent high-speed disk storage protocols* 2014.

MACHADO FERNÁNDEZ, J. R. AND A. GÓMEZ ORTEGA *Manual de Instalación OSN 3800A* 2012.

RAMASWAMI, R., K. N. SIVARAJAN AND G. H. SASAKI *Optical Networks: A Practical Perspective*. edited by E. INC. Edtion ed., 2010.

SYSTEMS, C. *Cisco Data Center Interconnect Design and Implementation Guide*. Edtion ed., 2009.