

# Diseño de una Red OTN Soportada en la Red de Transporte DWDM Para CELEC EP - TRANSELECTRIC

Carlos A. Vásquez, Tatiana M. Albán

**Resumen—** El presente documento expone el proceso de diseño de una red de multiplexores para el tráfico nacional de CELEC EP - TRANSELECTRIC con tecnología OTN (Red de Transporte Óptico), cuya base es la actual red de transporte con tecnología DWDM (Multiplexación por división en longitudes de onda densas), con el objetivo de optimizar los recursos existentes de la actual red de transporte.

Se proporciona una solución de transporte, que permita combinar la flexibilidad y la gestionabilidad de SDH, con la transparencia y la capacidad de DWDM, de modo que, además de brindar grandes capacidades transmisión permite conmutar los diferentes canales DWDM en función de las necesidades de tráfico.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, la tecnología es un factor predominante en las telecomunicaciones y una de las principales debilidades que enfrenta es la gran demanda de ancho de banda, lo que ha generado la necesidad de utilizar tecnologías que permitan combinar fácilmente múltiples redes y servicios, que funcionen sobre una infraestructura común, por lo que la fibra óptica es el medio más utilizado en las redes que requieren un amplio ancho de banda para la transmisión de datos debido a la gran capacidad de ancho de banda, inmunidad a interferencias, alta seguridad de la señal.

OTN surge como tecnología de transporte de nueva generación destinada para redes de fibra óptica regionales que manejen grandes capacidades de transmisión, permitiendo una gestión de banda ancha integrada en el núcleo de la red de transporte y conmutando los diferentes canales DWDM en función de las necesidades de tráfico.

Documento recibido el 21 de Marzo de 2013. Esta investigación se realizó como proyecto previo para obtener el título profesional en la carrera de Ingeniería Electrónica y Redes de Comunicación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte.

C.A. Vásquez, trabaja en la Universidad Técnica del Norte, en la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, Av. 17 de Julio sector El Olivo, Ibarra-Ecuador (teléfono: 5936-2955-413; e-mail: cava\_6@hotmail.com).

T.M. Albán, egresada de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Redes de Comunicación (teléfono: 5936-2601-589; e-mail: karitos13@hotmail.com).

## I. RED DE TRANSPORTE ÓPTICO (OTN)

La tecnología OTN es actualmente un componente clave en la infraestructura de las comunicaciones, es conocida como contenedor digital debido a su capacidad para adjuntar servicios en contenedores digitales ópticos, posee capas jerárquicas similares a SDH con pero con mayores velocidades de conmutación, aplicadas directamente sobre las longitudes de onda, manejadas en la tecnología DWDM.

OTN fue diseñado con el objetivo de optimizar los recursos existentes de una red de transporte, para proporcionar soporte a redes ópticas con tecnología DWDM, que permita manejar transmisiones de múltiples longitudes de onda sobre una única fibra para lograr mayores capacidades de transmisión, mejor rendimiento de transporte, gestión y supervisión de los canales ópticos que llevan señales cliente. [1]

### A. Características

- Es una arquitectura basada en la tecnología DWDM, donde la carga de datos es soportada por una longitud de onda, incluyendo canales de supervisión y de administración para establecer la señalización de la red.
- OTN es conocido como un "contenedor digital" debido a su capacidad para adjuntar cualquier servicio en los contenedores digitales ópticos.
- Posee jerarquías similares a la tecnología SDH con la diferencia que maneja mayores velocidades de conmutación como OTU1 (2,5Gbps), OTU2 (10,70 Gbps), OTU3 (40Gbps).
- La tecnología OTN es aplicada en redes regionales o metropolitanas que manejan mediana o grandes capacidades de tráfico.
- Permite utilizar equipamiento ROADM con mayores direcciones de conmutación que la tecnología DWDM.
- Tanto OTN como DWDM trabajan en la misma Grilla de frecuencia asignado por la UIT -T G. G94. Grilla espectral de aplicaciones WDM.

### B. Arquitectura OTN

La arquitectura OTN permite el transporte multiservicio de paquetes basado en el tráfico de datos y gestión de cada canal óptico asignado a una determinada longitud de onda, esto lo realiza mediante la adición de una cabecera (OH) a la señal cliente, que facilita la gestión y el control de la información, además de la utilización de corrección de errores en la recepción de la

señal, para esto se introducen dos capas de red digital como la ODU y OTU, con el propósito de que todas las señales cliente correspondan a un canal óptico. La Figura 1. Muestra el encapsulamiento de una señal OTN durante el transporte de la señal cliente. [3]

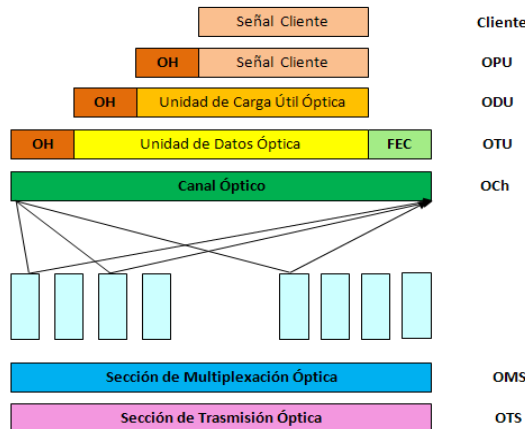


Figura 1. Encapsulamiento de una señal OTN

Para el transporte de una señal cliente dentro de una OTN, esta debe someterse a un proceso de encapsulación de cabeceras (OH), con el fin de asegurar la supervisión de extremo a extremo.

Según la recomendación G.872 de la UIT - T, una red de transporte óptico se descompone en capas de red independientes en la que cada una puede ser dividida por separado de manera que refleje la estructura interna de esa capa de red. Una red OTN básicamente se compone de tres secciones.

- Sección de Transporte Óptico (OTS)
- Sección de Multiplexación Óptica (OMS)
- Canal Óptico (OCh)

• **Sección de Transporte Óptica**

Proporciona el transporte de una sección de multiplexación a través de un camino de transmisión óptica entre puntos de acceso. Una sección de transporte óptica de orden n soporta un solo ejemplar de una sección de multiplexación óptica del mismo orden. La OTS define una interfaz física, con parámetros tales como frecuencia, nivel de potencia y relación señal/ruido.

• **Sección de Multiplexación Óptica**

La capa de red proporciona el transporte de canales ópticos a través de un camino de multiplexación entre puntos de acceso para la interconexión de redes de una señal óptica con múltiples longitudes de onda, estas capacidades de interconexión permiten soportar la operación y la gestión de redes ópticas. La Figura 2. Muestra el proceso de multiplexación de una señal óptica mediante la tecnología OTN.

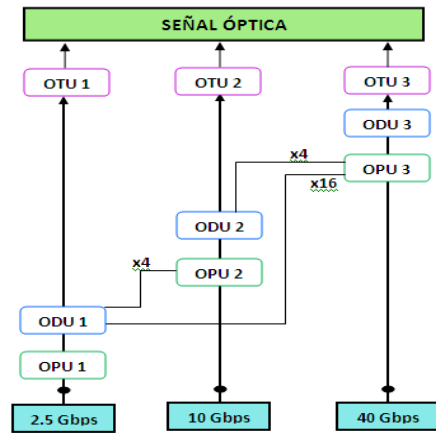


Figura2. Estructura de Multiplexación OTN.

• **Canal Óptico**

Según la recomendación G.709 de la UIT - T, un canal de red de transporte óptico se descompone en dos capas de red, la unidad de datos del canal óptico (ODU), unidad de carga útil de canal óptico (OPU) y capas de transporte independientes como la unidad de transporte del canal óptico (OTU), donde cada capa puede ser dividida por separado de manera que refleje la estructura interna de esa capa de red. Figura 3.

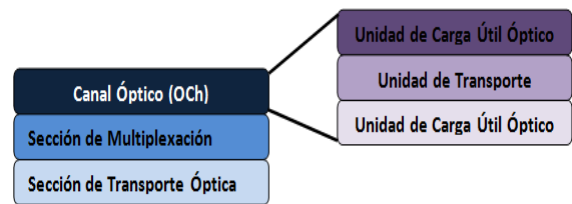


Figura 3. Subestructura OCh

Además el canal óptico OCh está estructurado en capas a fin de soportar la gestión de red, conexiones de red transparentes entre puntos de regeneración 3R de la OTN y las funcionalidades de supervisión definidas en la recomendación G.872 de la UIT - T.

C. **Estructura de Trama**

La trama básica de una red de transporte óptico contiene varios bytes dirigidos a operaciones específicas como la carga útil del canal óptico (OPU) que contiene todos los canales de la trama OTN, la unidad de datos del canal óptico (ODU) que cumple funciones de transporte a nivel de ruta de la OPU, la unidad de transporte óptico (OTU) que proporciona el encabezado a nivel de sección para la ODU y suministra los bytes para el canal de comunicaciones (GCC0). La Figura 4. Muestra la división de bytes dentro de una trama OTN. [2]



Figura 4. Estructura de Trama OTN

• **Unidad de Datos de Canal Óptico (ODU)**

Se encarga del transporte de extremo a extremo de señales de cliente digitales a través de la OTN, está formada como una estructura de trama de bloque basada

en octetos con cuatro filas y 3824 columnas colocadas en los extremos iniciales de la OPU.

- **Unidad de carga útil del canal óptico (OPU)**

Esta trama contiene la carga útil de la señal cliente y la cabecera (OH) para llevarla dentro de la trama OTN, la OPU es la unidad de trama básica de una OTN, la cual puede soportar señales SDH de 2,5Gbps, 10Gbps y 40Gbps.

- **Unidad de Transporte Óptico (OTU)**

La OTU acondiciona la ODU para el transporte por conexiones de red de canal óptico, se basa en la estructura de trama de ODU y la amplía con la corrección de errores (FEC) en la recepción de la señal.

- **Corrección intrínseca de errores (FEC)**

Permite la detección y corrección de errores de bits causados por fallos físicos en el medio de transmisión, en caso de recibir una señal de calidad más baja los errores recibidos son corregidos por el FEC, mejorando el BER a la salida de la señal, además permite extender la distancia de la señal óptica sin regeneración.

- **Ventajas FEC**

El uso del FEC en las redes ópticas mejora potencialmente la calidad de la señal en un enlace óptico ofreciendo varias ventajas:

- Reducción en el uso de regeneradores 3R (Regeneración, Reformación y Resincronización) lo que permite incrementar la distancia entre enlaces.

#### D. Parámetros OTN

Dentro de una red de transporte óptico se deber considerar varios parámetros que son fundamentales para el desarrollo de la red como las velocidades de trabajo de las interfaces, la atenuación, dispersión cromática de los enlaces y amplificación de la señal.

- **Velocidades binarias y periodo de trama OTN**

TABLA I.  
VELOCIDADES BINARIAS Y PERIODO DE TRAMA OTN

VELOCIDADES BINARIAS OTN (K=1,2,3)		
OTUk	Velocidad binaria (Gbps)	Periodo de trama (µs)
OTU1	2,666	48,971
OTU2	10,709	12,191
OTU3	43,018	3,035
ODUk	Velocidad binaria (Gbps)	Periodo de trama (µs)
ODU1	2,498	48,971
ODU2	10,037	12,191
ODU3	40,319	3,035
OPUk	Velocidad binaria (Gbps)	Periodo de trama (µs)
ODU1	2,498	48,971
ODU2	10,037	12,191
ODU3	40,319	3,035

- **Interfaces OTN**

Según la recomendación G.709 de la UIT - T, una red de transporte óptico puede tener interfaces de interdominios y de intradominios cuya estructura de información es soportada por el módulo de transporte óptico n (OTM-n). La Figura 5. Muestra los tipos de interfaces que pueden existir en una red OTN. [2]

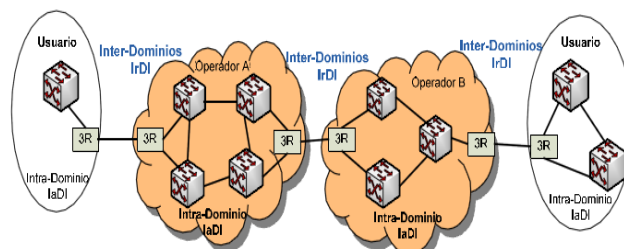


Figura 5. Interfaces OTN

- **Interfaz Interdominios (IrDI)**

La interfaz interdominios define la frontera entre dos dominios administrativos, esta interfaz puede ser de un solo canal o multicanal, son definidas con procesamiento 3R en cada extremo de la interfaz.

- **Interfaz Intradominio (IaDI)**

La interfaz intradominio se define como aquellas interfaces que están dentro de un dominio administrativo.

- **Grilla de Frecuencias**

Los sistemas ópticos se basan en la propiedad de la fibra óptica de transmitir simultáneamente varias longitudes de onda sin interferirse entre ellas por lo que se utiliza un plan de canalización conocido como grilla de frecuencias que hace referencia al conjunto de estas utilizadas para denotar las frecuencias nominales centrales permitidas para definir aplicaciones de transporte óptico, según la ITU -T la recomendación asignada para esta aplicación es la G.694.1 que establece:

$$f_n = f_0 + nD_f$$

Donde:

**f<sub>0</sub>**: Frecuencia central = 193100 GHz

**D<sub>f</sub>**: Espaciamiento entre canales (12,5 : 25 : 50 : 100) GHz

**n**: Entero (positivo, negativo, cero)

Tanto en los sistemas OTN como sistemas DWDM se utiliza la banda C (1550nm), en esta se sustituye una única lambda hasta 96 lambdas, dentro de la recomendación UIT -T G.694.1.

#### E. Ventajas OTN

- Posee la facilidad que trabajar con equipamiento DWDM y SDH dentro de redes anillados o en malla.
- Permite transmitir servicios SDH, sin terminación de la señal en cada elemento de red, el transporte de la señal es transparente incluyendo el reloj y bytes de cabecera.
- Permite combinar fácilmente múltiples redes y servicios sobre una infraestructura común completamente en el dominio óptico y transparente al formato y a la velocidad de la señal cliente que

transportan, lo que permite crear una plataforma multi-cliente.

- Los servicios que ofrece una OTN son totalmente programables por software a través de una sola tarjeta de línea, de forma que los protocolos, la conectividad y funcionalidad se pueden reprogramar de forma remota a medida que cambian los servicios o clientes.

## II. SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA DE CELEC EP – TRANSELECTRIC

CELEC EP a través de su Unidad de Negocio TRANSELECTRIC, es responsable de operar el Sistema Nacional de Transmisión (SNT), cuyo objetivo fundamental es el transporte de energía eléctrica y telecomunicaciones, garantizando el libre acceso a las redes de transmisión a sus clientes. [4]

CELEC EP - TRANSELECTRIC es una de las principales empresas portadora de servicios de telecomunicaciones la cual cuenta con una red de fibra óptica de alta disponibilidad que se extiende por todo el país, brindando capacidades de servicio que parten desde un E1 (2,048 Mbps) hasta capacidades de un STM-64 (equivalente a 4032 E1's = 10 Gbps), lo cual ha permitido hasta el momento cubrir con la demanda de ancho de banda requerido por sus clientes.

### A. Introducción

La red de fibra óptica de CELEC EP - TRANSELECTRIC tiene varios enlaces ópticos a lo largo de todo el país, formando así, un anillo de fibra robusto y de alta disponibilidad que permite brindar el servicio de portador a gran parte de operadores proveedores de servicio de telecomunicaciones dentro del país, la conexión internacional se la realiza a través de la empresa TRANSNEXA la cual opera en forma exclusiva la red de fibra óptica tendida entre Ecuador y Colombia.

Las rutas internas del país tienen una capacidad de STM-16 (red CELEC EP - TRANSELECTRIC) y la ruta de salida internacional tanto hacia Colombia como a Perú es de STM-64 (red TRANSNEXA).

Ofrece sus servicios como portador de portadores en 16 provincias del país, 5 de la región costa, 8 de la región sierra y 3 del oriente ecuatoriano, teniendo sus nodos y puntos de presencia (PDP) en las subestaciones de la red nacional de transmisión SNT y sitios céntricos del país.

### B. Estructura de la red de transporte

CELEC EP - TRANSELECTRIC dispone de una red de transporte de alta disponibilidad cuyos nodos están distribuidos por todo el país.

#### • Red SDH

La red SDH consta de una estructura anillada con radiales de acceso, cuyos equipos multiplexores son distribuidos lo largo del país, conformando la red de transporte óptico con enlaces de línea de STM-1, STM-4, STM-16, STM-64.

Posee una red de core el cual tiene enlaces STM-16 y STM-64 con protecciones de línea tipo (1+1) y (1:N), para equipos de menor capacidad con enlaces a nivel de E1 y Fast Ethernet.

#### • Red DWDM

La red DWDM consta de un anillo central con dos sub anillos de acceso a las interconexiones con Colombia y Perú, está conformada por equipos OADM y OLA, actualmente existen equipos multiplexores OADM en las ciudades de Tulcán, Quito, Guayaquil, Milagro y Machala y la capacidad de transmisión en la red es de 40 longitudes de onda, con capacidad de 40G.

### C. Equipamiento

#### • Huawei OptiX OSN 7500

Es un equipo de transmisión óptica, utilizado principalmente en redes de core para enlaces de largas distancias, soporta enlaces de hasta STM-64 y permite transportar tecnologías SDH, PDH, Ethernet y WDM, pueden ser implementados en la red a nivel de core.

#### • Siemes Surpass HIT7070

Es un equipo multiplexor ADM (Add/Drop Multiplexor) que permite manejar tecnologías como: SDH, Ethernet, WDM. Posee dos núcleos de operación, llamados single y dual core cada una de estas capas maneja sistemas tributarios de alto y bajo orden SDH, poseen una unidad de conmutación para TDM y para paquetes. La unidad de conmutación TDM está orientada a VC4, VC12 y VC3.

#### • OptiX BWS 1600

Es un equipo multiplexor para sistemas DWDM de transmisión multiservicio y multialcance de gran capacidad con un diseño modular que permite incrementar hasta 160 longitudes de onda en una misma fibra, llegando a una transmisión unidireccional total de 1600Gbps sobre la banda C. Provee ROADM basado en multiplexación de longitudes de onda.

### D. Capacidad de Tráfico

Actualmente la red de fibra óptica de CELEC EP - TRANSELECTRIC tiene una cobertura extensa, lo que le permite ofertar sus servicios a gran parte del país, brindando capacidades de transmisión que parten desde un E1 (2,048 Mbps) hasta capacidades de un STM-64 (equivalente a 4032 E1's = 10 Gbps), para lo cual posee una red SDH y DWDM que permiten brindar capacidades de acuerdo a los requerimientos de los clientes. Ver Tabla II.

TABLA II.  
CAPACIDAD DE TRÁFICO ACTUAL

DISTRIBUCIÓN DE INTERFACES DE RED SDH - DWDM						
# PUERTOS/ NODOS	STM64	STM16	STM-4	STM-1	10GBE	GBE
QUITO	2	18	9	17	4	14
GUAYAQUIL	2	10	6	10	1	8
CUENCA	-	5	3	7	-	4
TULCAN	1	-	-	-	1	-
MACHALA	1	3	3	-	-	2

Para el dimensionamiento de la red se ha considerado el tráfico actual tanto SDH como DWDM de los principales nodos de la red de core, con interfaces GBE, 10GBE, STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, se considera el tráfico operativo, disponible y total de cada equipo, determinando de esta manera que los equipos que transportan mayor cantidad de tráfico son los que se encuentran ubicados en los nodos QUITO (Ed. Transelectric), GUAYAQUIL (Policentro), Cuenca (Zhoray), en el caso de Quito y Guayaquil se tiene equipos tanto SDH y DWDM con una capacidad disponible de 64,61Gbps y 46,05Gbps respectivamente, en el caso de Cuenca se tiene equipos únicamente SDH por lo que actualmente se brinda capacidad desde los nodos más cercanos al sitio contando con una capacidad disponible de 0,78Gbps, y para la interconexión de transporte de tráfico entre Colombia y Perú se considera los nodos Tulcán y Machala.

### III. DISEÑO DE RED OTN

La propuesta de este diseño esta soportada en la red de transporte actual DWDM, cuyo objetivo primordial es aumentar la capacidad de transmisión y rendimiento en la red de transporte de la empresa sin perder capacidades de ancho de banda como es el caso de redes DWDM donde la transmisión de señales se las realiza directamente sobre la longitud de onda, sin proporcionar una velocidad de conmutación flexible. Además el proyecto está basado en la red actual DWDM

#### A. Selección de Nodos

Para la selección de los nodos del diseño de red se realizó una evaluación de la capacidad de tráfico actual de los equipos SDH y DWDM que manejan interfaces GBE, 10GBE, STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, se consideró la capacidad total instalada, operativa y disponible de los equipos ubicados en las ciudades de Quito, Guayaquil, Cuenca, Santo Domingo, Machala, Quevedo.

#### B. Interfaces OTN

A continuación se detalla la cantidad de interfaces necesarias para el proyecto. Ver Tabla III.

TABLA III.  
DISTRIBUCIÓN DE INTERFACES ÓPTICAS PARA PROYECTO OTN

DISTRIBUCIÓN DE INTERFACES DE RED OTN						
# PUERTOS/ NODOS	STM64	STM16	STM4	STM1	10GBE	GBE
QUITO	4	55	35	65	6	20
GUAYAQUIL	4	55	30	50	2	16
CUENCA	-	25	15	35	-	8
TULCAN	2	-	-	-	2	-
MACHALA	4	15	10	-	-	4

#### C. Distribución de Lambdas

El transporte de la capacidad transmisión requerida se lo realiza mediante lambdas distribuidas por el anillo OTN.

TABLA IV.  
DISTRIBUCIÓN DE LAMBDA OTN

DISTRIBUCION DE LAMBDA					
NUMERO DE $\lambda$ 's	QUITO	GUAYAQUIL	CUENCA	MACHALA	TULCAN
	14 $\lambda$	10 $\lambda$	4 $\lambda$	4 $\lambda$	2 $\lambda$

#### D. Matriz de Crossconexión

Una vez determinados los nodos de trabajo para la red OTN se determina la máxima capacidad da tráfico que debe soportar cada equipo de la red OTN, considerando interfaces GBE, 10GBE, STM-1, STM-4, STM-16 y STM-64. Ver Tabla V.

TABLA V.  
MATRIZ DE CROSSCONEXIÓN DE LOS NODOS OTN

MATRIZ DE CROSSCONEXIÓN OTN	
Equipos OTN	Capacidad Alto orden (Tbps)
TULCAN	0,12
QUITO	1
GUAYAQUIL	1
MACHALA	0,22
CUENCA	0,20

En base a los requerimientos de tráfico se determina que la red de transporte tendrá un crecimiento aproximadamente de 57,86Gbps anuales, en el caso del nodo Quito que es el nodo de soporte de mayor capacidad de la red determinando que para el año 2017 se podría ocupar aproximadamente 416,56Gbps de la capacidad total del equipo OTN considerando que la máxima capacidad que deberá soportar el equipo es de 1Tbps lo que permite demostrar que la red OTN permitirá cumplir con los requerimientos de tráfico solicitados por la presente demanda. Ver Tabla VI.

TABLA VI.  
CAPACIDAD INICIAL Y PROYECTADA PARA LA RED OTN

CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN OTN					
NODOS / ITEM	QUITO	GYE	CUENCA	MACHALA	TULCAN
CAPACIDAD INICIAL (Gbps)	81,49	68,28	19,44	23,40	20
CAPACIDAD OTN REQUERIDA (Gbps)	289,32	202,40	85,24	87,72	40
CRECIMIENTO ANUAL (Gbps)	57,86	40,48	17,04	17,54	8

### E. Presupuesto Óptico

Para el diseño de red se considera la atenuación total por tramo, dispersión del enlace y amplificación por sitio, estos parámetros son calculados en base a las recomendaciones especificadas por los estándares UIT - T G.655 y G.652.

A continuación se presenta el presupuesto óptico necesario para la ejecución del proyecto donde se especifica el tipo de fibra óptica necesaria, distancia de tramos, atenuación total por tramo, dispersión cromática por enlace, cantidad de compensadores necesarios por cada enlace y la distancia máxima sin amplificación por cada tramo. Ver Tabla VII.

TABLA VII.  
PRESUPUESTO ÓPTICO

PRESUPUESTO ÓPTICO								
SITIO A	SITIO B	TIPO DE FIBRA	DISTANCIA (km)	ATENUACIÓN TOTAL POR TRAMO (dB)	DISPERSIÓN CROMÁTICA (ps/nm)	CANTIDAD DE COMPENSADORES DE DISPERSIÓN	MAX DISTANCIA SIN AMPLIFICACIÓN (km)	AMPLIFICACIÓN POR CANAL (dB)
TULCAN	POMASQUI	G.652	146	44,05	1022	2	163	75
POMASQUI	QUITO	G.652 + G.655	25	8,37	175	1	31	39
QUITO	TOTORAS	G.652 + G.655	141	42,57	987	2	165	74
TOTORAS	RIOBAMBA	G.652	44	13,90	308	1	51	45
RIOBAMBA	ZHORAY	G.652	148	44,70	1036	2	165	76
ZHORAY	MILAGRO	G.652	126	17,77	399	1	66	49
MILAGRO	GUAYAQUIL	G.652	72	38,15	882	2	141	69
MILAGRO	MACHALA	G.652	135	22,20	504	1	82	53
GUAYAQUIL	QUEVEDO	G.652	168	40,82	945	2	157	72
QUEVEDO	STO. DOMINGO	G.652	108	50,60	1176	2	187	82
STO. DOMINGO	STA. ROSA	G.655	84	32,90	756	1	122	64
STA. ROSA	QUITO	G.652 + G.655	26	25,80	588	2	96	57
ZHORAY	CUENCA	G.652	57	8,65	182	1	32	40

Para el diseño de la red se ha tomado como referencia la red DWDM instalada actualmente con capacidad de hasta STM-64 (10Gbps), el sistema OTN utilizará la infraestructura existente en las subestaciones de TRANSELECTRIC..

El sistema de transmisión entregará las interfaces de usuarios requeridas en las siguientes estaciones: Tulcán, Quito, Guayaquil, Machala y Cuenca. Para el tráfico entre Colombia y Perú se ha tomado los equipos ubicados en

los nodos Tulcán y Machala respectivamente. Ver Figura. 6.

Las subestaciones en donde serían instalados los equipos son las siguientes:

- Tulcán: En el nodo Tulcán de Transelectric
- Quito: En el nodo Edificio Transelectric
- Guayaquil: En el nodo Policentro de Transelectric
- Machala: En el nodo Machala de Transelectric
- Cuenca: En el nodo Cuenca de Transelectric

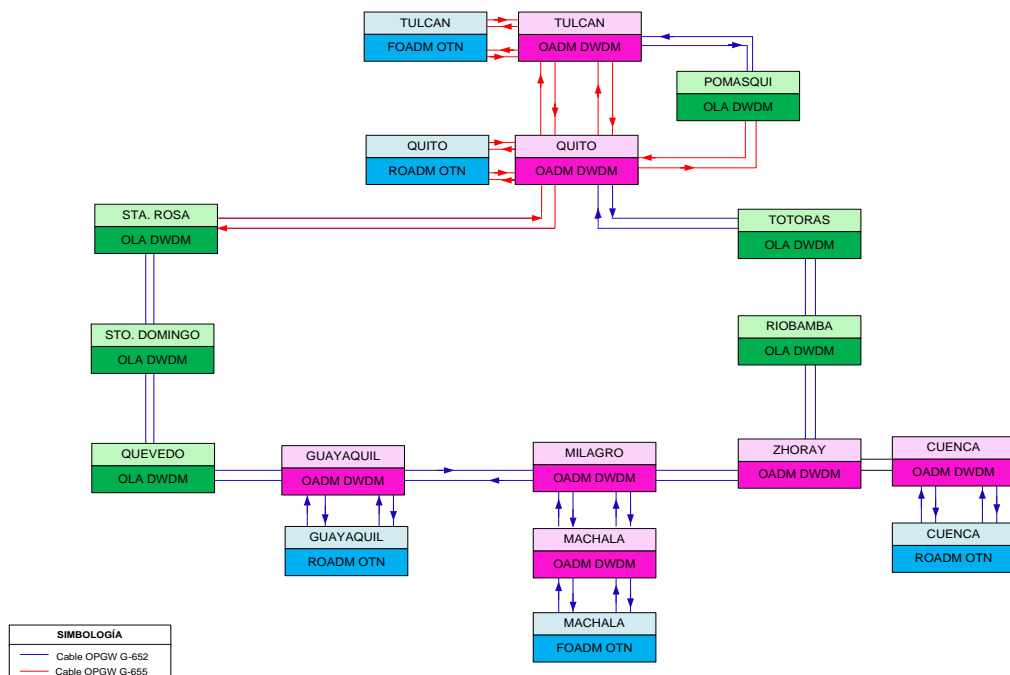


Figura 6. Diseño de la red OTN



### F. Protecciones de Red

El diseño propuesto ha sido dimensionado con redundancia a fin de evitar que existan puntos de falla en la red, Como se muestra en la Figura 37. Se ha establecido una ruta de trabajo y una ruta de protección para cada enlace y así brindar seguridad de ruta a toda la señal WDM, mediante la transmisión doble de la señal a través

de los equipos transponders, utilizando protección de línea 1+1, para esto se utiliza 1 fibra para ruta de trabajo y 1 fibra para protección de la ruta, en caso de falla, rotura del cable o degradación de la señal óptica, el tráfico será conmutado automáticamente al camino de protección, el tiempo de respuesta de conmutación de ruta debe ser menor a 50ms. Ver Figura 7.

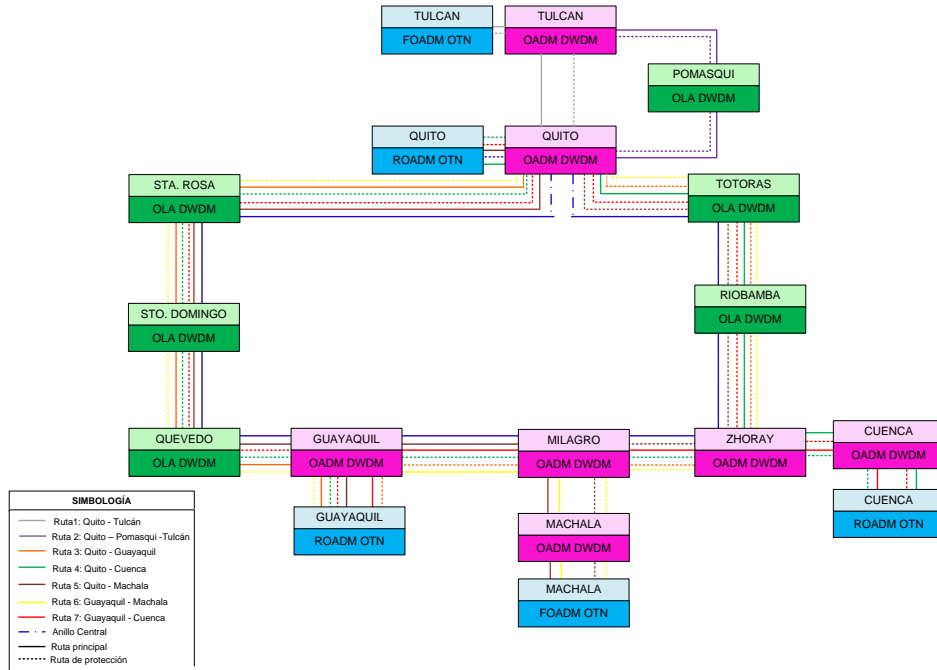


Figura 7. Rutas de Protección de la red OTN

Los tramos definidos como rutas de trabajo y protección se detalla en la Tabla VIII.

TABLA VIII.  
RUTAS DE TRABAJO Y PROTECCIONES OTN

RUTAS DE TRABAJO Y PROTECCIÓN DE LA RED OTN			
RUTA DE TRABAJO	DISTANCIA (km)	RUTA DE PROTECCIÓN	DISTANCIA (km)
Quito - Tulcán	171	Quito - Pomasqui - Tulcán	171
Quito - Guayaquil	386	Guayaquil - Milagro - Zhoray - Quito	531
Quito - Cuenca	390	Quito - Guayaquil - Milagro - Zhoray - Cuenca	641
Quito - Machala	593	Quito - Zhoray - Milagro - Machala	594
Guayaquil - Machala	207	Guayaquil - Quito - Zhoray - Milagro - Machala	980
Guayaquil - Cuenca	255	Guayaquil - Quito - Zhoray - Cuenca	776

### G. Gestión de red

El sistema de gestión se basa en la recomendación M.3010 UIT-T (Administración de una red de Telecomunicaciones) cuyo objetivo es mejorar la disponibilidad y el rendimiento de los elementos del sistema, la red de gestión está compuesta por una pequeña red LAN constituida de un servidor que es el cerebro de la gestión donde se aloja la plataforma de gestión, este sistema debe ser capaz de supervisar y gestionar todos elementos de la red y debe permitir el crecimiento gradual de la red y vincular equipos de red adicionales si es necesario. [5]

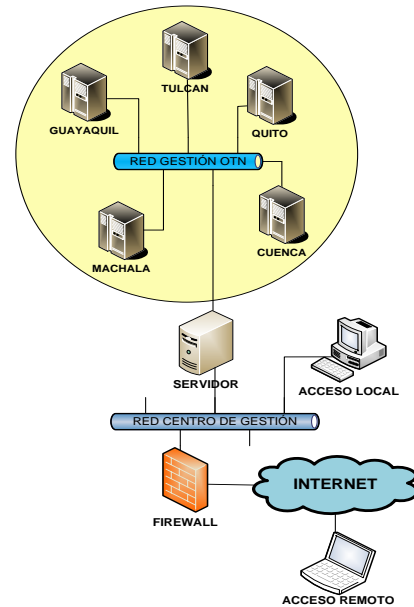


Figura 8. Diagrama de la red de gestión de la red OTN

Como se muestra en la Figura 8, todos los elementos de la red OTN se conectan a una red Ethernet, que le permitirá permanecer comunicada con la red del Centro de Gestión (Quito).

En caso de solicitar información exclusivamente de un equipo multiplexor OTN se conectan mediante la tarjeta auxiliar de gestión local, propia de cada equipo a un computador.

En el centro de gestión se encontrará un servidor que muestre todas las actividades ejecutadas como: información del estado, alarmas y utilización de la capacidad de los equipos. Cabe señalar que el software de gestión debe ser suministrado por la empresa que realice la venta e instalación de los equipos OTN ya que por tratarse de equipamiento de gran capacidad fabricado por proveedores específicos cada red de este tipo debe poseer una red de gestión.

#### IV. ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA

##### A. Inversión inicial

Los costos de implementación de la red OTN propuesta incluyen los costos estimados de equipamiento y el sistema de gestión que son necesarios para la implementación y funcionamiento del sistema de transporte OTN, dando como resultado una cifra aproximada de la inversión del proyecto como se muestra en la Tabla IX.

TABLA IX  
INVERSIÓN INICIAL DE EQUIPAMIENTO

INVERSIÓN INICIAL DE EQUIPAMIENTO				
PARÁMETRO	NODOS	TIPO DE EQUIPO	COSTO UNITARIO (Usd)	COSTO TOTAL (Usd)
<b>EQUIPAMIENTO OTN</b>				
Sistema de Transmisión Óptica OTN	2	FOADM	486,363.63	972,727.27
Stock de Repuestos	3	ROADM	486,363.63	1459,090.91
Software y Hardware de Gestión	5	REPUESTOS	103,969.09	519,845.47
	1	GESTIÓN	20544,06	20544,06
<b>EQUIPAMIENTO DWDM</b>				
Sistema de Transmisión Óptica DWDM	1	ACTUALIZACIÓN DE OLA A OADM	123,370.53	123,370.53
	1	OADM	319,554.28	319,554.28
Stock de Repuestos	1	REPUESTOS	46,933.72	46,933.72
<b>NODOS DE AMPLIFICACIÓN</b>				
EQUIPOS DWDM	6	OLA	86,654.95	519,929.71
<b>COSTOS DE INSTALACIÓN</b>				
INSTALACIÓN DEL SISTEMA (Usd)			<b>266,515.14</b>	
<b>INVERSIÓN TOTAL (Usd)</b>			<b>4268,511.09</b>	

El costo de equipamiento es tomado como un valor promedio entre tres fabricantes de equipos con tecnología OTN, considerados como posibles proveedores para este proyecto ya que los valores reales son reservados por cada fabricante exclusivamente para los clientes directos, por lo que los valores a manejar en este estudio económico son valores estimados.

##### B. Ingresos del proyecto

Para determinar los ingresos que generará el proyecto primero se determina el valor anual que se recaudará en un año por una lambda (10GBE), considerando que CELEC EP - TRANSELECTRIC cobra mensualmente 17,22 dólares por un E1 (155Mbps); cabe señalar que esta cantidad es un valor estimado al real ya que por políticas de la empresa esta información no puede ser de conocimiento público. Ver Tabla X.

TABLA X.  
COSTOS REFERENCIALES DE COBRO POR SERVICIO

COSTOS REFERENCIALES DE COBRO POR SERVICIO		
TIPO DE INTERFAZ	COSTO MENSUAL (Usd)	COSTO ANUAL (Usd)
E1	17,22	206,64
STM-1	1084,86	13.018,32
STM-4	4339,44	52.073,28
STM-16	17.357,76	208.293,12
10GBE	69.431,04	833.172,48

Considerando que para la implementación del proyecto se necesita 34 lambdas de 10GBE y que el ingreso anual por lambda es 833.172,48 dólares se determina que el ingreso total anual será de 33263032,32 dólares.

##### C. Egresos del proyecto

Se considera como egresos del proyecto los costos directos e indirectos que generará la implementación del mismo como son: el consumo de energía eléctrica de los equipos, mantenimiento de la red, costo de la fibra óptica, mano de obra tanto administrativo como técnico, por lo que para determinar los egresos que generará este proyecto se tomará aproximadamente un 60% de la inversión total la cual será considerada por año ya que los ingresos que se generará en el proyecto se los logrará gradualmente dentro de los cinco años de proyección.

##### D. Flujo Neto

Es considerado flujo neto a la utilidad o ganancia que se recibe de una inversión luego de ser descontado los egresos de los ingresos netos que se genera con tal proyecto. Ver XI.

La siguiente tabla detalla la factibilidad económica del proyecto, con los indicadores como VAN, TIR, TMAR.



TABLA XI  
FACTIBILIDAD ECONÓMICA PROYECTO OTN

FACTIBILIDAD ECONÓMICA "PROYECTO OTN"						
Detalle/Año	0	1	2	3	4	5
Inversión (\$)	4.268.511,09					
Crecimiento (%)		20%	40%	60%	80%	100%
Ingresos (34 lambdas) (\$)		5.665.572,86	11.331.145,73	16.996.718,59	22.662.291,46	28.327.864,32
Egresos (60% costo operación)		3.399.343,72	6.798.687,44	10.198.031,16	13.597.374,87	16.996.718,59
Flujo Neto	- 4.268.511,09	2.266.229,15	4.532.458,29	6.798.687,44	9.064.916,58	11.331.145,73
<b>VAN</b>	<b>23.148.109,39</b>					
<b>TMAT</b>	<b>16,15%</b>					
<b>TIR</b>	<b>84%</b>					

TMAR= 16,15%  
TIR > TMAR

Para este estudio de factibilidad económico el valor obtenido del TIR es de 84%, es decir que este valor es la máxima tasa de rentabilidad que el proyecto generará, por lo tanto el proyecto según la TIR es viable considerando que se aplicó una tasa de descuento del 16,15%.

- *Tiempo de recuperación de la inversión*

El periodo de recuperación de la inversión indica el tiempo necesario para recuperar el capital invertido y entre más corto es el tiempo de recuperación la utilidad económica aumentará.

Considerando que la inversión del proyecto es de 4268.511,09 se puede analizar que el periodo de recuperación de la inversión se daría aproximadamente en 1 año, 5 meses y 8 días.

#### V. CONCLUSIONES

- La tecnología OTN es un punto clave en la infraestructura de las telecomunicaciones para las redes regionales. El gran aumento de los servicios de telecomunicaciones es posible debido al gran desarrollo de tecnologías y redes ópticas, donde OTN permite un incremento de ancho de banda sobre las redes existentes.
- La tecnología OTN reduce el uso de regeneradores ya que su equipamiento posee mayores límites de amplificación y de dispersión de la señal, permitiendo incrementar la distancia entre los enlaces ópticos.
- OTN utiliza hasta nueve direcciones de conmutación automática, permitiendo la recepción de señales de un mayor número de equipos multiplexores.
- OTN permite realizar crossconexiones a nivel de Tbps superando las capacidades de tecnologías antecesoras como es el caso de SDH y DWDM que lo hacen a nivel de Gbps.

- Para la implementación de la red OTN se debe actualizar el equipamiento en el nodo Zhoray de un equipo OLA - DWDM a un OADM - DWDM ya que maneja señales entrantes de 3 sitios diferentes, adicionalmente se debe ubicar un equipo OADM en el nodo Cuenca para multiplexar las señales DWDM provenientes del nodo Zhoray y para trabajar conjuntamente con el equipo ROADM OTN situado en el mismo nodo.

#### VI. RECOMENDACIONES

- Para la seguridad de redes ópticas se recomienda emplear protecciones tanto de ruta como de red, ya que ninguna red está exenta de fallas ya sea humanas o técnicas, por lo que en caso de fallas la red debe ser capaz de conmutar en el menor tiempo posible a otro canal donde la información sea transportada hacia su destino de manera imperceptible para el cliente.
- Para la evaluación de equipamiento se recomienda considerar la completa compatibilidad de equipamiento instalado y la gestión de la red DWDM y de la red OTN propuesta en una sola gestión, adicionalmente si los equipos multiplexores utilizan tarjetas de supervisión, gestión y control se debe disponer de una protección 1+1 y en el caso de que el equipo disponga de funciones de supervisión, gestión y control distribuidas, las protecciones deben ser para todas las tarjetas que conforman el equipo multiplexor.
- El incremento de la capacidad en los sistemas de transmisión no resuelve el problema de ancho de banda a largo plazo, por lo que se recomienda operar normalmente los tres primeros años de la implementación de la red, para luego buscar una nuevas alternativas de red que les permita seguir liderando el mercado de las telecomunicaciones del país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Huub H. (2009). The ComSoc guide to Next Generation Optical Transport: SDH/SONET/OTN , Canada, IEEE Press Editorial Board.
- [2] G.709/Y.1331 UIT-T Recommendation (Febrero, 2012) Series G: Transmission Systems and Media Digital Systems and Networks - Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspect and Next-Generation Networks "Interfaces for the optical transport Network"
- [3] G.872 UIT-T Recommendation (Julio, 2010) Series G: Transmission Systems and Media Digital Systems and Networks - Digital Networks - Optical Transport Networks "Architecture of optical transport networks"
- [4] UNIPORTAL WEB CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR (2012). Unidad de negocio Transelectric. Recuperado de: [http://www.celec.com.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=106&Itemid=277&langes](http://www.celec.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=106&Itemid=277&langes)
- [5] M.3010 UIT-T Recommendation (Febrero, 2000) Series M: TMN and network maintenance: International transmission systems, telephone circuits, telegraphy, facsimile and leased circuits "Telecommunications management network"

## RECONOCIMIENTOS

Se expresa un especial reconocimiento al Departamento de Telecomunicaciones de CELEC EP TRANSELECTRIC, en especial al Ing. Alfonso Bastidas, Ing. Ana Zurita e Ing. Alejandro Castillo, por todo el apoyo y colaboración brindada para desarrollar este trabajo.



**Carlos A. Vásquez A.**

Nació en Quito - Ecuador el 19 de Septiembre de 1981. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional en 2008. Actualmente es docente de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador, y es egresado de la Maestría en Redes de Comunicación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador.



**Tatiana M. Albán G.**

Nació en Bolívar - Ecuador el 21 de septiembre de 1987. Hija de Fernando Albán y Lidia García. Realizó sus estudios primarios en la Escuela María Angélica Idrobo. En el año 2005 obtuvo el título de Bachiller en Físico Matemático en el colegio Nacional de Srtas. Ibarra. Actualmente, es egresada de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra.