

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN

INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL

TEMA:

“ESTUDIO TÉCNICO PARA CAMBIO DE TECNOLOGÍA DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN DE SDH A MPLS EN LAS SUBESTACIONES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR”

Ana Francisca Zurita Zaldumbide

Quito – 2015

AUTORÍA

Yo, Ana Francisca Zurita Zaldumbide, portadora de la cédula de ciudadanía No 171362472-2, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que he respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

Ana Francisca Zurita Zaldumbide

Contenido

1. Introducción	4
2. Justificación	6
3. Antecedentes	7
4. Objetivos	9
5. Desarrollo Caso de Estudio.....	9
6. Conclusiones.....	65
7. Recomendaciones	66
Bibliografía:	66
Referencias:.....	67
Anexos:.....	67

1. Introducción

El Sistema Nacional Interconectado, está formado por Centrales de Generación, donde se crea la energía eléctrica; Subestaciones y Líneas de Transmisión, las cuales permiten transportar dicha energía hacia las Empresas de Distribución, las cuales están encargadas de hacer que la luz llegue a cada uno de los usuarios.

Una Subestación de Transmisión eleva el voltaje con el cual la Central de Generación produce la energía de tal forma que el transporte de dicha energía puede realizarse utilizando cables de menor diámetro. Así mismo, una Subestación disminuye el voltaje de transmisión, para que se pueda entregar la energía a las Empresas de Distribución.

Cada una de las Subestaciones de Transmisión está conformada por equipos de patio, que incluyen transformadores de 230, 138 y 69 kV, seccionadores, interruptores, etc.; salas de control, que son salas en las que se dispone de la información de todos los equipos de patio, y con esta información se puede operar (abrir o cerrar equipos de patio) de manera local (desde la subestación) dichos equipos.

Las Subestaciones de Transmisión también pueden ser operadas de manera remota, para lo cual se utilizan canales de datos dedicados (datos en tiempo real) desde cada Subestación hacia los Centros de Control, el Centro de Control cuenta con la información de todas las Subestaciones de Transmisión y de las Centrales de Generación de capacidad considerable, con esta información se puede controlar qué Central es la que producirá la energía y cuál no, dependiendo de las líneas de transmisión disponibles y qué Central está operativa, y cuyo costo de producción es el menor, entre otras características.

Pero el canal para el envío de la información de operación de una subestación hacia los Centros de Control no es el único servicio de telecomunicaciones que se requiere para operarla y mantenerla. Existen varios servicios utilizados desde hace varias décadas, como son: voz analógica, datos en tiempo real y teleprotección; y también existen servicios nuevos que se utilizan desde el ingreso de las redes IP/Ethernet, entre estos servicios se tienen: voz IP, video IP, envío de información de medidores de energía y de medición fasorial, gestión de

protecciones, Internet, correo, aplicaciones de red corporativa, video conferencia, video vigilancia, etc.

Las redes de telecomunicaciones utilizadas para el envío de información desde las Subestaciones de Transmisión fueron inicialmente de tecnología PLC (*Power Line Carrier*), esta tecnología permite el envío de información a través de los conductores de la línea de transmisión, la capacidad de transmisión es muy baja y no supera los 64 kbps. Pero permite el envío de información mínima para la operación de una Subestación, esto es: voz, datos en tiempo real y teleprotección.

Desde la década de los noventa se cuenta con un nuevo medio de transmisión para el envío de información desde una Subestación, este es el cable OPGW (*Optical Ground Wire*), el cual se instala en la parte superior de las torres de la línea de transmisión, y combina las funciones de conexión a tierra y las telecomunicaciones. Un cable OPGW contiene una estructura tubular con una o más fibras ópticas en el mismo, rodeadas por capas de acero y alambre de aluminio. La parte conductora del cable sirve para unir las torres adyacentes a la conexión a tierra, y ser el escudo de los conductores de alta tensión contra los rayos; y la fibra óptica en su interior permite la transmisión de información con todas las características de la fibra.

Las tecnologías de transporte utilizadas sobre el cable OPGW son SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) y PCM (*Pulse Code Modulation*), estas tecnologías permiten que para cada servicio requerido para una Subestación, se disponga de canales independientes, permitiendo contar con un alto nivel de disponibilidad de estos canales y por ende de las Subestaciones.

Si bien hasta el momento el contar con estas tecnologías no tenía ningún inconveniente, se requiere optimizar el uso de la redes de transporte y también se debe considerar que hacer ante el nuevo modelo del Sistema Nacional Interconectado que se creará con las *Smart Grids* (Redes inteligentes), por lo cual se requiere que la red de transporte sea altamente flexible, ampliamente difundida, de fácil manejo, que mantenga los niveles de seguridad y que disponga uniformidad en todas sus interfaces, etc.

El presente trabajo realiza un estudio de la implementación de la tecnología MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) como una alternativa para la transmisión de información desde las Subestaciones, para esto es necesario tener un conocimiento de la situación actual, cuáles

son los servicios más críticos y determinar si las nuevas características de los canales de telecomunicaciones a través de una red MPLS serán las necesarias para mantener o superar la disponibilidad requerida en dichas localidades.

2. Justificación

Desde la implementación de líneas de transmisión que en su cable de guarda incluyen hilos de fibra óptica se han utilizado tecnologías determinísticas como son SDH, PDH y PCM, esto ha permitido que para cada servicio requerido por cada Subestación se cuente con un canal independiente, a través del cual se envía la información de voz, datos y teleprotección, que son los servicios básicos para la operación y mantenimiento de dicha subestación.

Los servicios básicos como la voz, datos y teleprotección utilizan canales dedicados y con una interfaz independiente, así para los canales de voz se utilizan interfaces FXO, FXS, BNC, para la teleprotección la G.703.1 o G.703.6 codireccional, para el caso de datos en tiempo real se utilizan interfaces V.24 (RS-232).

Con el ingreso de las redes Ethernet/IP, se han establecido nuevos servicios que poco a poco se han convertido en indispensables para la operación y mantenimiento del Sistema Nacional Interconectado, entre los principales se tiene el Internet, acceso a red corporativa, telefonía IP, medición comercial, acceso a información de medición fasorial, gestión de protecciones, etc.

Estos nuevos servicios han requerido que los equipos de transporte de servicios de telecomunicaciones cuenten además con interfaces Ethernet, es así que en una subestación pueden existir equipos multiplexores con granularidad de hasta 1.2 kbps, y otros de 2 Mbps. Es así que instalan equipos PDH y SDH, sin embargo ante cualquier requerimiento adicional es necesario que en cada equipo se instalen nuevas tarjetas, con nuevas interfaces.

Actualmente en el país se está generando una transformación energética, el ingreso de las redes inteligentes (Smart Grids) harán que la demanda de ancho de banda en las redes de distribución y transporte crezca de manera exponencial. Y su conexión requiere que se cuente con un esquema de redes de transporte transparente y estandarizado, de manera que la

información pueda ser enviada desde una casa, por ejemplo hacia los Centros de Control del Sector Eléctrico.

Por esta red de transporte también deberán convivir los servicios tradicionales requeridos para la operación del sistema nacional interconectado, los cuales deben ser habilitados de manera inmediata.

Las redes SDH fueron la solución tecnológica para el transporte de información de una Subestación Eléctrica, sin embargo las condiciones actuales y los nuevos requerimientos hacen que esta tecnología no sea la más óptima, y que se busquen nuevas alternativas para la provisión de servicios de telecomunicaciones.

En este fin, el presente trabajo realiza un estudio de la situación actual de los sistemas de telecomunicaciones en el Sistema Nacional Interconectado, y propone el cambio de tecnología al MPLS como sistema de transmisión sobre el cual los existentes y nuevos requerimientos, y sus particulares características podrán ser implementados de manera rápida y segura.

3. Antecedentes^{1,2}

El Instituto Ecuatoriano de Electrificación, INECEL, se fundó el 23 de mayo de 1961, en el año 1970 se instauró el Fondo Nacional de Electrificación el cual permite al INECEL contar con el 47% de las regalías recibidas de la producción del petróleo.

En 1966 el INECEL elaboró el primer Plan Nacional de Electrificación en el cual se definieron dos temas fundamentales:

- La creación de un Sistema Nacional Interconectado, y;
- La integración eléctrica regional.

El Sistema Nacional Interconectado está constituido por un conjunto de Centrales de Generación hidráulica, térmica y eólica, y de un sistema de transmisión formado por un anillo troncal de 230 kV que circunscribe el territorio nacional y ramales de 138 kV que conectan a todas las provincias.

Para la operación del sistema nacional interconectado se implementaron enlaces de datos con tecnología PLC, estos enlaces estaban constituidos por canales de 1200 bps a través de los cuales se proveían canales de teleprotección, voz y datos en tiempo real.

En el año 2003 se realizó la interconexión eléctrica Colombia – Ecuador, esta interconexión une las subestaciones Pomasqui (Ecuador) y Jamondino (Colombia). En este enlace ya no se habilitaron los servicios a través de enlaces de PLC, si no que se instaló por primera vez en el país cable con fibra óptica del tipo OPGW (*Optical Ground Wire*).

Se instalaron varios enlaces de este tipo de cable, entre estos: Pomasqui – Santa Rosa, Santa Rosa – Vicentina y Vicentina – Edificio TRANSELECTRIC (Quito). Esta interconexión permitió brindar una salida internacional a Internet a través de Colombia.

Con este nuevo medio de transmisión se instalaron equipos multiplexores SDH a través de los cuales se habilitaron los servicios básicos y nuevos, como por ejemplo la red WAN.

Desde el año 2003 hasta la presente fecha CELEC EP – TRANSELECTRIC ha continuado realizando instalaciones de cables de fibra óptica sobre sus líneas de transmisión existentes y nuevas, las tecnologías de transmisión han ido evolucionando, es así que desde el año 2003 hasta el 2009 se contaba con redes PCM y SDH, en el 2009 se instaló una red DWDM y en el año 2013 se habilitó una red OTN. En el año 2014 se instaló una red MPLS en varias subestaciones y en el año 2015, se espera concluir con la instalación de una red MPLS de backbone, estas dos redes MPLS cubren los servicios IP únicamente.

Si bien se implementaron nuevas redes a nivel de transporte las cuales permiten tener una mayor capacidad sobre el cable con fibra óptica, no se ha habilitado una tecnología que optimice la capacidad de la red de transporte para todos los servicios de telecomunicaciones en todas las subestaciones, no se ha avizorado este requerimiento hasta el momento. Sin embargo, el incremento de los requerimientos de redes independientes, mayor capacidad en los enlaces, optimización de las redes de transporte, etc hace necesario que se realicen los estudios para poder contar con una nueva tecnología de transporte que permita cumplir con todos los requerimientos estrictos de la red eléctrica, pero que a su vez sea flexible y actual.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General:

Realizar un estudio que sea la base para un cambio de tecnología de SDH a MPLS en las redes de transporte del Sistema Nacional Interconectado, con al menos la misma disponibilidad y mayor flexibilidad que la de la red actual.

4.2 Objetivos Específicos:

1. Analizar el estado actual de la red de transporte de telecomunicaciones del Sistema Nacional Interconectado.
2. Analizar los servicios actuales y futuros requeridos para ser implementados sobre una nueva red de transporte MPLS.
3. Diseñar una nueva red de transporte MPLS en la cual se puedan soportar todos los servicios de telecomunicaciones requeridos por el Sistema Nacional Interconectado.
4. Realizar un artículo referente al Análisis técnico para el cambio de red de transporte PDH/SDH a MPLS en el Sistema Nacional Interconectado.

5. Desarrollo Caso de Estudio

5.1 Análisis del Sistema Actual de la red de transporte de telecomunicaciones de Sistema Nacional Interconectado

El Sistema Nacional Interconectado está compuesto por la red de Líneas de Transmisión, Subestaciones, Centrales de Generación y Distribución, y permite brindar energía eléctrica a todo el país.

Se encuentra conformado por:

- **Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)**³, Organismo rector del sector eléctrico, de energía renovable y nuclear, responsable de satisfacer las necesidades de energía eléctrica del país, mediante la formulación de normativa pertinente, planes de desarrollo y políticas sectoriales para el aprovechamiento eficiente de sus recursos, garantizando que su provisión responda a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad,

regularidad, continuidad y calidad, estableciendo mecanismos de eficiencia energética, participación social y protección del ambiente, gestionado por sus recursos humanos especializados y de alto desempeño.

- **Agencia de Control y Regulación de Electricidad (ARCONEL)**⁴ su función es regular el sector eléctrico y asegurar el cumplimiento de las disposiciones legales, reglamentarias y demás normas técnicas de electrificación del país.
- **Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)**⁵, administra de manera eficaz y eficiente el funcionamiento técnico y comercial del Sistema Nacional Interconectado y de las Interconexiones Internacionales satisfaciendo a la ciudadanía, con el servicio eléctrico en condiciones seguridad, calidad, economía y sostenibilidad.
- **Empresas de Generación** de energía como: Hidropaute, Hidronación, Enermax, etc.
- **Empresa de Transmisión:** Transelectric
- **Empresas de Distribución:** Empresa Eléctrica Quito, Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil, etc.

La mayoría de Empresas de Generación públicas y la Empresa de Transmisión de energía Transelectric, conforman la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP. Son un total de 14 Unidades de Negocio, 13 de generación y Transelectric.

CELEC EP – TRANSELECTRIC es la única empresa de transmisión de energía a nivel nacional, su función consiste en la operación, mantenimiento y expansión del Sistema Nacional de Transmisión, conformado por subestaciones y líneas de transmisión a través de las cuales se realiza el transporte de la energía eléctrica desde las empresas de generación hasta las de distribución.

Para cumplir con este fin CELEC EP – TRANSELECTRIC cuenta con 2.282,29 km de líneas de transmisión de 230 y 138 kV, 46 subestaciones y 3.800,00 km de cable con fibra óptica instalado a nivel nacional.²

La red de transporte de información de CELEC EP – TRANSELECTRIC está conformada principalmente por cable con fibra óptica del tipo OPGW que está instalado en la mayoría de líneas de transmisión que conforman el Sistema Nacional de Transmisión, así como de equipamiento con tecnologías PCM, PDH, SDH y DWDM/OTN ubicado en las subestaciones.

El equipamiento de transmisión instalado permite contar diversos tipos de interfaces a través de las cuales se habilitan todos los servicios que se requieren para la administración, operación y mantenimiento de CELEC EP – TRANSELECTRIC².

Cabe mencionar que la red de transporte de CELEC EP – TRANSELECTRIC no se limita solo a instalaciones propias de esta Unidad de Negocio².

CELEC EP – TRANSELECTRIC también brinda los servicios de telecomunicaciones a las demás Unidades de Negocio de CELEC EP, así como a varias empresas de distribución y generación públicas y privadas, y a empresas relacionadas con el sector eléctrico².

La red de telecomunicaciones de CELEC EP – TRANSELECTRIC está compuesta por la red de fibra óptica ubicada sobre instalaciones de CELEC EP – TRANSELECTRIC, red de fibra óptica instalada para acceso de las Unidades de Negocio de Generación, red de fibra óptica instalada para conexión de empresas de distribución y enlaces para conexión con clientes del sector eléctrico, público y privado.

5.1.1 Subestaciones, bodegas, oficinas y dependencias de CELEC EP-TRANSELECTRIC²

Las principales dependencias de CELEC EP – TRANSELECTRIC se detallan en la Tabla No.1:

INSTALACIÓN	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Edificio Principal	Quito	Oficinas principales
Edificio Policentro	Guayaquil	Oficinas de Guayaquil
Centro de Operación de Transmisión	Quito – Calderón	Oficinas de Calderón
Subestaciones	A nivel Nacional	46 subestaciones
Bodegas	Calderón	Bodegas de Quito
	Pascuales	Bodegas de Guayaquil
	Santo Domingo	Bodegas de Sto. Domingo
	Samanga	Bodegas de Ambato
	Capulispamba	Bodegas de Cuenca

Tabla No. 1 Instalaciones de CELEC EP – TRANSELECTRIC

5.1.2 Cable con fibra óptica

5.1.2 .1 Cable OPGW

Una línea de transmisión une dos subestaciones y está compuesta por: torres, conductores y el cable de tierra.

Las torres son el soporte de los conductores y del cable de tierra, están constituidas principalmente por acero, y dependiendo del número de conductores que serán instalados sobre éstas tendrá diferentes estructuras.

Los conductores pueden ser de aluminio, cobre o acero, y son el medio de transmisión de la energía eléctrica. Son tres conductores por cada circuito, ya que es necesario el envío de las tres fases que conforman el voltaje y corriente alterna. Existen casos en los que cada circuito está conformado por un haz de conductores, en este caso cada circuito puede estar compuesto por dos, tres o más conductores a la vez.

El cable de tierra es un cable sin tensión que se instala en la parte más alta de las torres de transmisión, se conecta a la estructura metálica en cada torre y sirve para generar un equipotencial de tierra en todo el trazado de la línea, rebajando al mínimo la resistencia de tierra, también sirve para intentar captar el rayo durante las tormentas y conducirlo a tierra.

En la figura No. 1 se muestran las partes de una línea de transmisión, en la cual se puede apreciar la ubicación del cable OPGW.

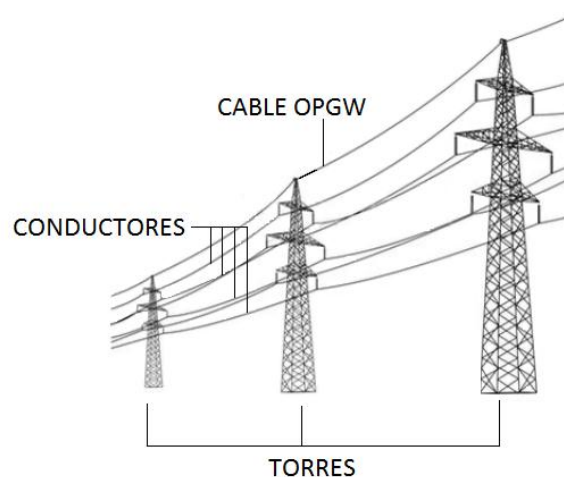


Fig. 1 Partes de una línea de transmisión

Existen varios tipos de cable OPGW, dependiendo de tipo de material que lo compone, así como la ubicación de la fibra óptica dentro de éste, el Sistema Nacional Interconectado cuenta con cables del tipo:

- OPGW con tubo de aluminio y armadura de alambre de acero recubierto de aluminio
- OPGW con tubo polimérico reforzado y armadura de doble capa de alambres de aleación de aluminio y acero recubierto de aluminio⁶

La elección del tipo de cable OPGW depende entre otros factores de la distribución de los hilos de fibra óptica dentro del cable, para que la instalación y los mantenimientos preventivos y

correctivos tomen el menor tiempo posible. De esta forma es preferible contar con un cable de 48 hilos de fibra óptica, en el cual cada 12 hilos se encuentren separados entre sí.

A continuación se presenta la figura No. 2 donde se aprecian varios tipos de cables de fibra óptica OPGW.



Fig. 2 Tipos de cables de fibra óptica OPGW

La diferencia entre uno u otro cable con fibra óptica está dada por el tipo y número de hilos de fibra óptica que puede variar entre 12, 24, 36, 48, etc. También por la carga mecánica requerida del cable. Y por último por la intensidad de corriente de corto circuito calculada para la línea de transmisión.

En la figura No. 2 se observa que existen cables OPGW en los cuales todos los hilos están dentro de un mismo conjunto, y en otros al menos están en dos, se puede encontrar cable OPGW donde se cuenta con cuatro grupos de hilos de fibra óptica. También se puede observar que el diámetro de los hilos de acero es mayor o menor, así como el número total y el número de capas de éstos sobre el núcleo de fibras ópticas, la cantidad de hilos de acero dependerá de la especificación relacionada con la carga mecánica y la intensidad de corriente de corto circuito.

5.1.2.2 Cable ADSS

El cable OPGW es instalado principalmente en líneas de transmisión nuevas o en construcción, sin embargo existen casos en los cuales el reemplazo del cable de guarda de acero por el OPGW en líneas existentes no es tan fácil, considerando que la línea de transmisión debe estar

desenergizada totalmente si tiene un solo circuito, o desenergizada parcialmente si esta línea tiene más de un circuito. También existen casos en que existiendo OPGW en una línea de transmisión es necesario instalar un nuevo cable con fibra óptica, y ya no es necesario que este nuevo cable sea OPGW.

En los casos indicados donde se requiere contar con cable de fibra óptica que no sea OPGW, se instala cable con fibra óptica del tipo ADSS. La instalación del cable ya no se realiza en la parte superior de la torre sino más bien en la parte media de la misma. Es decir bajo los conductores. En la figura No. 3 se observa la ubicación del cable ADSS en una línea de transmisión.

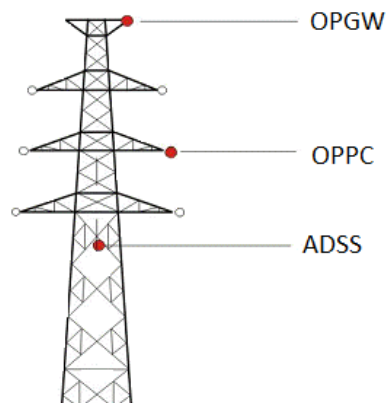


Fig. 3 Ubicación de varios tipos de cables con fibra óptica sobre torres de transmisión

5.1.2.3 Cable OPPC [1]

Optical Phase Conductor (OPPC) es un cable que es utilizado cuando en la línea de transmisión no existe cable de tierra, y por lo tanto el cable OPGW no es una solución técnica válida. El cable OPPC es colocado como parte de una de las fases de las líneas de transmisión, por esta razón sus características mecánicas y eléctricas son diferentes a las del OPGW, ya que el cable OPPC transmite energía continuamente. CELEC EP – TRANSELECTRIC no utiliza este tipo de cable principalmente porque el mantenimiento tiene más dificultades. En la figura No. 3 se señala la ubicación del cable OPPC en la torre de transmisión.

5.1.2.4 Red de fibra óptica de CELEC EP – TRANSELECTRIC ²

CELEC EP – TRANSELECTRIC cuenta al momento con aproximadamente 2300 km de fibra óptica tipo OPGW instalada sobre sus líneas de transmisión, así también con aproximadamente 1450km de fibra óptica tipo ADSS instalada sobre sus líneas de transmisión y sobre redes de distribución de empresas del sector eléctrico.

La estructura de la red de fibra óptica está basada en la estructura del Sistema Nacional Interconectado, es así que se cuenta con interconexión a nivel óptico con Colombia y Perú, así como con un anillo que pasa por las Subestaciones Santa Rosa, Santo Domingo, Quevedo, Pascuales, Milagro, Molino, Riobamba y Totoras. También existen conexiones radiales hacia Manta, Santa Elena, Ibarra, Ambato, Baños, Coca, Tena, Puyo, etc.

Para facilidad de acceso de los usuarios a la red de CELEC EP – TRANSELECTRIC, teniendo en cuenta que las subestaciones de transmisión se encuentran alejadas de las ciudades, también se tiene instalada fibra óptica entre varias subestaciones y oficinas contratadas para que puedan ser el punto de unión entre un usuario y la red, en estos casos se utiliza la red de distribución de las empresas eléctricas.

En el Anexo No. 1 se observa un diagrama general de la red nacional de fibra óptica de CELEC EP – TRANSELECTRIC.

5.1.2.5 Fibras ópticas G.652 y G.655²

CELEC EP – TRANSELECTRIC para su red de fibra óptica utiliza únicamente fibra monomodo, de la norma G.652 [2] o G.555 [3].

Inicialmente se instaló únicamente fibra óptica del tipo G.652 teniendo en cuenta que las capacidades a cursar por esta fibras utilizarían tecnología de transporte PDH y SDH; posteriormente, considerando el incremento de la capacidad y la aparición en el mercado de equipos de transmisión con tecnología DWDM, se realizaron instalaciones de cable con fibra óptica del tipo G.655.

En el Anexo No. 2 se presenta el detalle del tipo de fibra óptica utilizada de acuerdo a la norma del cable con fibra óptica empleado, de los principales enlaces de CELEC EP - TRANSELECTRIC.

5.1.2.6 Características adicionales del cable con fibra óptica²

5.1.2.6.1 Número de hilos de fibra óptica

El cable con fibra óptica instalado en la red de telecomunicaciones de CELEC EP – TRANSELECTRIC dispone de 24 o 48 hilos, sin embargo, en varias ocasiones se hacen derivaciones sobre enlaces existentes para que ingrese un nodo intermedio a la red de tal forma que no se cuenta en todos los casos con los 24 o 48 hilos disponibles punto a punto.

5.1.2.6.2 ODFs y conectores²

Para el acceso a los hilos de fibra óptica en cada nodo se colocan ODFs de 24 o 48 hilos de fibra óptica, estos ODFs tienen diferentes tipos de conectores, entre éstos: E2000, FC, ST, LC, SC, etc. no existe un estándar en el tipo de conector a utilizar, se ha ido utilizando uno u otro tipo dependiendo de las mejores prestaciones técnicas que van teniendo cada tipo de conector, y a las facilidades de obtención en el mercado de uno u otro, por ejemplo: un conector E2000 presentan muy buenas características técnicas, sin embargo, no es de fácil obtención en el mercado.

5.1.2.7. Instalación del cable con fibra óptica OPGW²

Inicialmente, CELEC EP – TRANSELECTRIC realizaba únicamente la fiscalización del tendido del cable con fibra óptica, ya que no se contaba con el personal, ni con el equipamiento para este tipo de trabajo.

Desde el año 2013 las instalaciones del cable de fibra óptica, se realizan con recursos propios, para este fin se cuenta con personal capacitado, así como el equipo de tendido correspondiente.

5.1.2.7.1 Equipo de tendido de fibra óptica²

CELEC EP – TRANSELECTRIC para el tendido de cable con fibra óptica tipos OPGW y ADSS, cuenta con varios equipos destinados para cumplir con este fin.

Los equipos son de marca TESMEC de procedencia italiana y están conformados por:

- 2 Cabrestantes y frenadoras hidráulicas
- 4 Cabrestantes hidráulicos

Los cabrestantes hidráulicos son utilizados para elevar y bajar el cable con fibra óptica hacia y desde las torres de alta tensión.

Las frenadoras hidráulicas sirven para despachar con tensión controlada de cable de fibra óptica a ser instalado.

También se cuenta con una serie de accesorios que permiten realizar el trabajo, poleas, caballete hidráulico levanta bobinas, bobinas, dispositivos de puesta a tierra, entre otros.

Las figuras mostradas a continuación presentan varios de los equipos con los que cuenta CELEC EP – TRANSELECTRIC para la instalación del cable con fibra óptica.

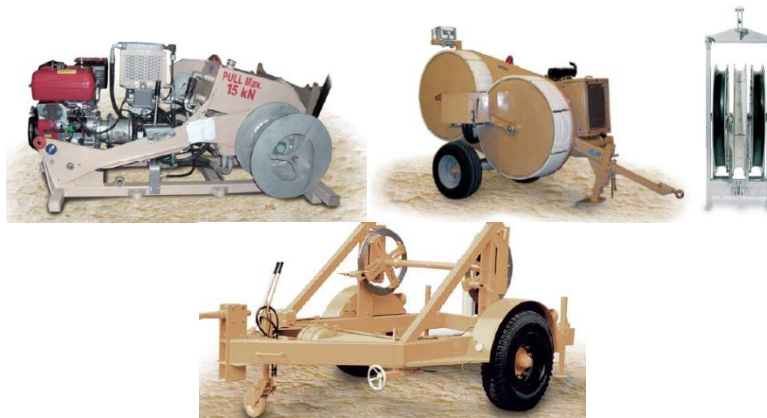


Fig. 4 Equipos de tendido de fibra óptica

5.1.3 Equipos con tecnología PDH

5.1.3.1 Tecnología PDH [4]

El funcionamiento de las redes pliesícronas se basa en la modulación por codificación de pulsos PCM, y en la multiplexación por división de tiempo TDM [3]. PCM permite representar en forma binaria una forma de onda analógica, mediante esta técnica una señal analógica de 4 kHz se puede representar a través de una señal digital de bits con la velocidad de 64 kbps. En cambio TDM permite generar sistemas de transmisión eficientes, mediante la combinación de muchos canales PCM de 64 kbps en una señal digital de más alta velocidad, utilizando el mismo medio de transmisión que anteriormente se utilizó para transmitir una sola señal analógica.

El sistema PCM-TDM hace una combinación de 30 canales de 64 kbps con dos canales adicionales para el control de la información, generando una señal de 2.048 Mbps. Este sistema fue adoptado en Europa y en otras partes del mundo. Al canal de 2 Mbps se lo conoce como E1.

El incremento de la demanda de tráfico digital hizo que se incremente las capacidad de transmisión, así se creó un nivel mayor de multiplexaje europeo conocido como E2, de 8 Mbps.

Posteriormente, se incorporaron nuevos niveles de multiplexaje, de 34 Mbps, 140 Mbps y 565 Mbps, generando una jerarquía de velocidades de transmisión digital.

Estados Unidos generó su propia jerarquía digital, con los mismos principios tecnológicos, pero con diferencias en las velocidades de transmisión. Las velocidades del sistema norteamericano

son 1,5 Mbps, 6 Mbps y 45 Mbps. La diferencia entre las velocidades hizo que la interoperabilidad entre las dos jerarquías fuese costosa.

Esta jerarquía de multiplexaje permite que las señales de 2 Mbps que se multiplexan provengan de diferentes equipos, por lo que cada uno genera una señal de 2 Mbps diferente, es decir no existe una sincronía entre estos. Por esta razón, es necesario adicionar información con el propósito de sincronizarlas. Esta información adicional tiene el nombre de bits de justificación. En el receptor, el proceso de demultiplexaje reconoce y elimina los bits de justificación y se deja sólo la señal original. Este proceso se denomina operación plesiócrona, palabra griega que significa casi síncrono.

La falta de sincronía aparece en todos los niveles de la jerarquía de multiplexaje, por lo que se requiere agregar bits de justificación en cada etapa de multiplexaje, lo que hace que esta tecnología se denomine Jerarquía Digital Plesiócrona.

En la figura No. 5 se muestran los niveles de la Jerarquía Digital Plesiócrona desarrolladas en Europa, Norteamérica y Japón.

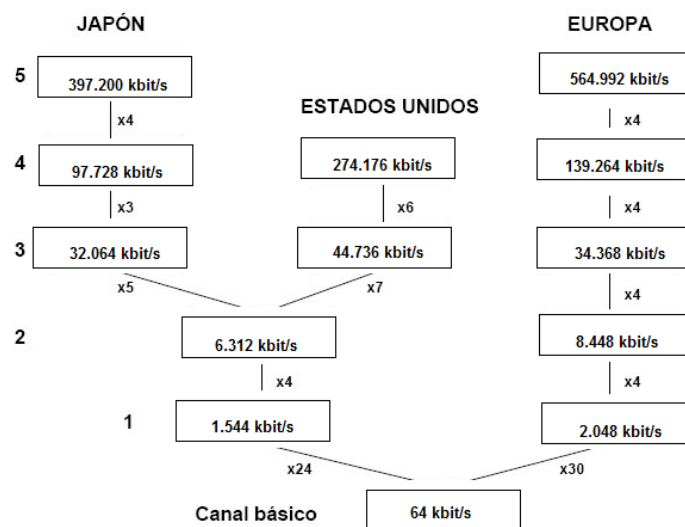


Fig. 5 Niveles de Jerarquía Digital Plesiócrona

5.1.3.2 Equipos Multiplexores PDH²

Un equipo multiplexor tiene como función principal el incorporar varias señales de información de los llamados "tributarios", a una sola señal de salida denominada "interfaz de línea". Para cumplir este fin, el equipo multiplexor está formado por una serie de tarjetas que cumplen con una función específica, que le permite obtener como resultado final la transmisión de varios servicios de datos por una sola conexión de salida.

Un equipo multiplexor está conformado por los siguientes tipos de tarjetas:

- Fuentes de alimentación: de -48 VDC en la mayoría de los casos, excepcionalmente se puede contar con fuentes de alimentación de 110 VAC.
- Tarjetas de conmutación: es la tarjeta que realiza la conexión entre las interfaces de línea y las de tributario. La capacidad de esta tarjeta permitirá determinar cuánta capacidad a nivel de tributario puede ser enviada por el enlace de línea.
- Tarjetas de línea: son las tarjetas que llevan la información de un lugar a otro, contienen la información de todos los interfaces tributarias.
- Tarjetas tributarias: son las tarjetas donde se conectan los equipos de cada usuario, su capacidad es más baja que la capacidad de las interfaces de línea.
- Tarjetas de gestión: son tarjetas que permiten acceder, configurar y administrar alarmas del equipo.
- Tarjetas de sincronismo: son tarjetas que permiten el ingreso y salida de señales de reloj.

Las interfaces de líneas se interconectan entre sí a través de equipos multiplexores de mayor capacidad como SDH o DWDM u OTN, o dependiendo de la distancia e interfaces se pueden hacer conexiones directamente con fibras ópticas.

Las principales interfaces de tributario utilizadas para habilitar los servicios de telecomunicaciones son las siguientes:

FXS: Permiten la conexión de un equipo telefónico para poder llevar una extensión analógica desde una central telefónica ubicada en otra subestación. Es una interfaz RJ-11.

FXO: Permite la conexión de la extensión telefónica para poder enviarla hacia otra subestación. Es una interfaz RJ-11.

V.24: Permite la conexión del para el envío de información con formato de interfaz serial, que tiene una velocidad menor a 64 kbps, puede ser una transmisión síncrona o asíncrona. Dependiendo de los equipos se puede disponer de interfaces DB-9 o DB-25.

G.703.1: Permite la conexión de los equipos que utilicen para el envío de señales la norma G.703 codireccional. Para su conexión se utilizan regletas KRONE con 4 hilos.

En la figura No. 6 se presenta un esquema general de un equipo multiplexor PDH.

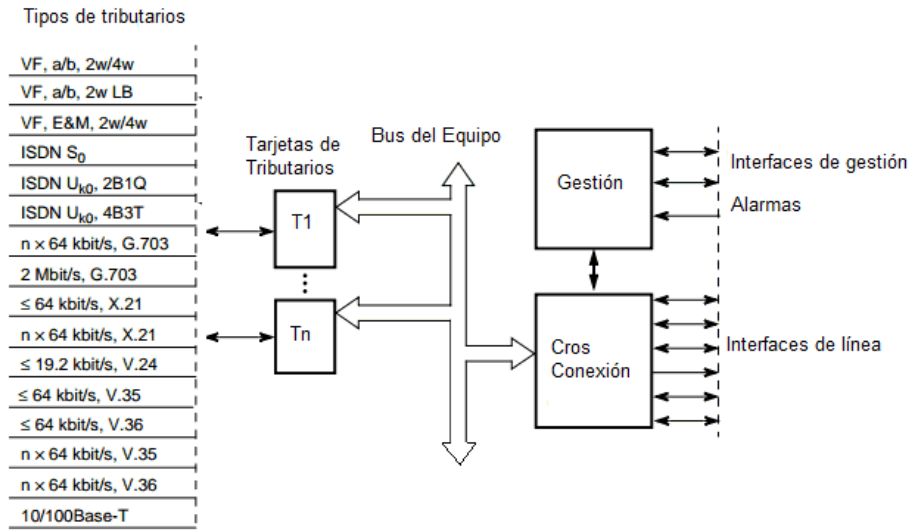


Fig. 6 Esquema general de un equipo multiplexor PDH

5.1.3.3 Red PDH de CELEC EP – TRANSELECTRIC²

CELEC EP – TRANSELECTRIC cuenta con equipos multiplexores de las marcas SIEMENS, ABB, KEYMILE y LOOPTELECOM. Estos equipos tienen sus interfaces de línea a nivel de 2 Mbps y sus conexiones tributarias pueden variar entre 2 Mbps y 8 kbps.

En el Anexo No. 3 se adjunta el esquema de red de equipos multiplexores de CELEC EP – TRANSELECTRIC.

Dependiendo del fabricante los equipos multiplexores pueden ser PDH únicamente o tener una mezcla de tecnologías entre PDH y SDH, es el caso de los equipos multiplexores ABB.

En la figura No. 7 se presenta una gráfica de un equipo multiplexor SDH/PDH ABB modelo FOX 512 [5].

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	SYN4E	SYNAC	SYN4E		SUBH1		NEMCA			COBUX	COBUX		DATAR		DATAS		TEBIT	TEBIT	POSUM	POSUM
	611	167	611		191		311			219	219		076		522		805	805	306	306
	R2	R3	R2		R2		R2			R5	R5		R1		R3		R1	R1	R0	R0

Location: SE BABA State: Not connected Power Usage: 24%

Fig. 7 Tarjetería multiplexor FOX 512 ABB

En esta gráfica se puede destacar que existen las tarjetas:

SYN4E: Tarjeta croscnectora.

SYNAC: Tarjeta que realiza la croscneción a niveles más bajos que 1 E1.

SUBH1: Conexión con equipos de telefonía, teléfono analógico de dos hilos

NEMCA: Conexión con centrales telefónicas

COBUX: Tarjeta de control y gestión

DATAR: Tarjeta de interfaces seriales

DATAS: Tarjeta de interfaces seriales y ethernet

TEBIT: Tarjeta de teleprotección

POSUM: Fuente de alimentación

5.1.4 Equipos multiplexores SDH [6]

SDH (Jerarquía digital sincrónica) es una norma para el transporte de datos desarrollado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

La primera generación de sistemas de fibra óptica en las redes de telefonía pública utilizaba una solución propietaria. Los usuarios de este equipamiento requerían de compatibilidad para poder mezclar y conectar equipos de diferentes vendedores.

SDH se introdujo en las redes de telecomunicaciones en el año 1992 y ha tenido un gran desarrollo desde entonces. Se desplegó en todos los niveles de la infraestructura de las redes, incluyendo redes de acceso y de larga distancia. Está basado en la superposición de una señal multiplexada sincrónica sobre un haz de luz transmitido sobre un cable de fibra óptica. SDH también está definido para funcionar con enlaces de radio, satélite e interfaces eléctricas entre los equipos.

SDH posibilita un importante incremento en la flexibilidad y el ancho de banda disponible que provee grandes ventajas respecto de los viejos sistemas de telecomunicaciones.

Estas ventajas incluyen:

- Reducción en la cantidad de equipamiento y un incremento en la eficiencia de la red.
- La provisión de bytes de overhead y payload – los bytes de overhead permiten la administración de los bytes de payload sobre una base individual.
- La definición de un formato de multiplexación sincrónico para trabajar con señales digitales de bajo nivel (como 2, 34 y 140 Mbps) que simplifica en gran medida la interface a los switches digitales, cross-connects digitales y multiplexores add-drops.
- La disponibilidad de un conjunto de estándares, que permiten interoperabilidad multi-vendedor.
- La definición de una arquitectura flexible, capaz de adaptarse a futuras aplicaciones, con una variedad de tasas de transmisión.

Una de las ventajas fundamentales de SDH es el hecho de que es sincrónico. Los primeros sistemas de fibra y multiplexación fueron plesiócronicos, esto significa que el tiempo puede variar de equipo en equipo debido a que están sincronizados con diferentes relojes.

Como SDH es sincrónico, permite multiplexación y demultiplexación en un nivel simple. Esta multiplexación elimina el hardware complejo, y por lo tanto decreta el costo del equipamiento mientras se mejora la calidad de la señal.

En las redes plesiócronicas, una señal entera debe ser demultiplexada para poder acceder a un canal particular; luego los canales no accedidos tienen que ser multiplexados nuevamente para poder ser enviados a lo largo de las redes a su propio destino. En el formato SDH, solo aquellos canales que son requeridos en un punto particular son demultiplexados, por lo tanto se elimina la necesidad de multiplexar nuevamente. En otras palabras, SDH crea canales individuales "visibles" y pueden ser fácilmente agregados o eliminados.

5.1.4.1 El módulo de transporte síncrono [7]

La información es empaquetada en un módulo de transporte síncrono de modo que este pueda ser transportado y gestionado a través de la red.

Un contenedor es el elemento básico de una señal SDH. Éste está formado por los bits de información de una señal PDH la cual será empaquetada dentro del contenedor. Existen diferentes tipos de contenedores, cada uno de los cuales corresponde con una señal PDH de diferente tasa de transmisión.

La Cabecera de Ruta (Path Overhead - POH): Cada contenedor tiene algún tipo de control sobre la información asociada a él. Esta información es generada en el nodo originario de la ruta y es terminada en el nodo final del camino. Esta información permite al operador etiquetar el tráfico así como trazar la señal a través de la red (envío de trazas) e identificarla para propósitos de protecciones y monitorización de cuentas de errores.

El Contenedor Virtual: Se refiere al conjunto de un contenedor y a su cabecera de ruta asociada.

Hay diferentes tipos de contenedores virtuales (VC). Un VC-12 está construido por un contenedor C-12, el cual contiene una señal PDH de 2 Mbps. Un VC-3 porta un contenedor C-3 que contiene una señal PDH de 34 Mbps y un VC-4 porta una señal PDH de 140 Mbps en un contenedor C-4. Un contenedor virtual puede contener otros contenedores virtuales. Por ejemplo un VC-4 puede ser conformado con 63 VC-12's. Esto simplifica el transporte y gestión de estas señales a través de la red.

El módulo de transporte síncrono: Una señal es introducida en un contenedor virtual. El contenedor virtual es portado sobre la red junto a algunos otros contenedores ubicados en un módulo de transporte síncrono o STM (*Synchronous Transport Module*).

El contenedor virtual está ubicado en el área de carga útil del STM (*Payload Area*).

La unidad básica de SDH es la estructura STM-1. Cuatro STM-1 son concatenados o multiplexados para formar un STM-4 el cual tiene una mayor tasa de transmisión. STM-16 y STM-64 ofrecen mayores tasas de transmisión y soportan un mayor número de señales en su área de carga útil.

La Cabecera de Sección (*Section Overhead*): Los bytes de información son añadidos a la estructura STM provisionando un canal de comunicación entre nodos adyacentes habilitando el control de la transmisión sobre el enlace. Esto permite a los dos nodos "hablar" con el otro cuando aparece un evento de fallo en la sección, como por ejemplo, cuando ocurre una conmutación de protección.

Un STM está dedicado a una única sección, de ahí que la cabecera de sección sea procesada en cada nodo y un nuevo STM con nuevas cabeceras se construye para la siguiente sección. El contenedor virtual, por el contrario, sigue un camino sobre diversas secciones, de modo que la cabecera de camino permanece con el contenedor de extremo a extremo del camino.

La información entrará en la red SDH como un flujo digital de información. La información de estas señales es mapeada en un contenedor, y cada contenedor, por lo tanto, tiene algo de información de control añadida, conocida como cabecera de camino. La combinación de estas señales y la cabecera es conocida como contenedor virtual. Los contenedores virtuales forman el área de carga útil del módulo de transporte síncrono (STM) el cual también tiene información de control llamada cabecera de sección.

La formación de la señal es la siguiente:

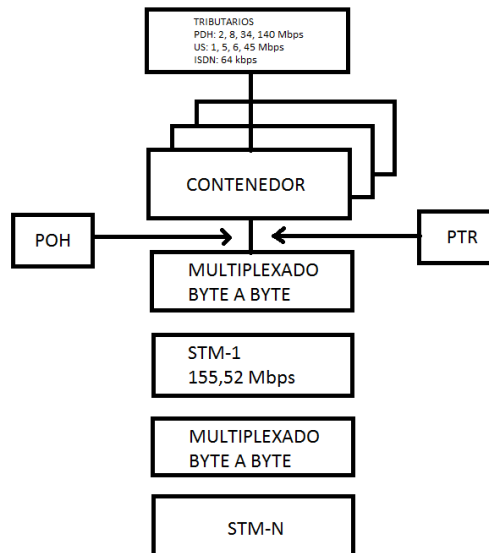


Fig. 8 Estructura de multiplexaje trama SMT-N

La información entra en la red como flujos digitales de 2 Mbps que serán acomodados en contenedores virtuales VC-12. Un elemento de red SDH multiplexará esta señal junto con otras señales de tributario en una señal agregada de mayor tasa de transmisión. En el ejemplo, esto es una señal STM -1 de 155 Mbps. Esto es en la red local SDH. Esta señal puede entonces ser de nuevo multiplexada para dar una señal STM-4 a 622 Mbps en el siguiente nivel, llegando a alcanzar el STM-64 cuando son portadas a 10 Gbps. En este flujo de mayor tasa de transmisión son transportadas muchas señales en una única fibra, en lo que es conocido como red troncal o backbone de la red.

La señal de 2 Mbps puede ser extraída y entregada en su destino o si su destino es un equipo terminal, la señal agregada es demultiplexada descendiendo hasta la señal de 2 Mbps. La estructura de multiplexión SDH define el camino estándar para mapear las señales contenidas en un STM, cuya unidad básica es una estructura STM-1 (155 Mbps). El valor de otras tasas de transmisión básicas es definido mediante el uso de un factor de multiplicación de cuatro. Estos son los 622 Mbps conocido como STM-4, 2.5 Gbps conocidos como STM-16 y los 10 Gbps o STM -64.

5.1.4.2 La trama STM-1 [7]

La tasa de transmisión básica de SDH estándar es 155,520 Mbps (STM-1). La trama STM-1 consiste en 2430 bytes, los cuales corresponden con una duración de 125 us, también están

definidas tres tasas de bits de mayor velocidad como son 622,08 Mbps (STM-4), 2488,32 Mbps (STM-16) y 9953,28 Mbps (STM-64).

La trama STM-1 está estructurada como 270 columnas (bytes) por 9 filas en las que las nueve primeras columnas de la estructura corresponden con la cabecera de sección, y las restantes 261 columnas son el área de *payload*.

La jerarquía digital síncrona elimina la necesidad de un número de niveles menores de multiplexión definido en PDH. Los tributarios de 2 Mbps son multiplexados a nivel de STM-1 en un solo paso. De todos modos, para mantener la compatibilidad con equipos no síncronos, las recomendaciones SDH definen métodos de subdivisión del área de payload de la trama STM-1 de varias formas, de modo que puedan portar diversas combinaciones de señales tributarias, tanto síncronas como asíncronas. Usando este método, los sistemas de transmisión síncrona pueden acomodar señales generadas por equipamiento de varios niveles de jerarquía digital plesiócrona.

Una trama STM-1 consta de 2430 bytes, los cuales pueden dividirse en tres áreas principales:

- Área de payload (2349 bytes).
- Área de puntero de Unidad Administrativa (9 bytes).
- Área de cabecera de sección (72 bytes).

El Área de *Payload*: Señales de todos los niveles de PDH pueden ser acomodadas en SDH empaquetándolas juntas en el área de payload de la trama STM-1. El proceso de empaquetado de señales PDH es un proceso multipaso que involucra un número de diferentes estructuras.

Los tributarios plesiócronicos están mapeados en un contenedor de tamaño apropiado, y un número de bytes conocido como cabecera de camino (*Path Overhead* o POH) es añadido al mismo para formar el contenedor virtual (VC) en el que se basa esta trama. La POH proporciona información para su uso en la gestión extremo a extremo de un camino síncrono. La información de la cabecera de camino asociado con un VC-1/VC-2 difiere a la recogida en la cabecera asociada a los VC-3/VC-4.

5.1.4.3 Elementos de un sistema de transmisión síncrona [7]

Existen tres funciones básicas en los equipos de transmisión SDH: Terminación de línea, multiplexión y crossconexión. En el pasado, estas funciones eran proporcionadas por piezas diferentes e independientes del equipo, pero con la introducción de SDH es posible combinar las funciones en un simple elemento de red.

Funcionalidad de un Elemento de Red:

- **Multiplexación:** Es la combinación de diversas señales de baja velocidad en una única señal de alta velocidad, con lo cual se consigue una máxima utilización de la infraestructura física. Los sistemas de transmisión síncronos emplean la Multiplexación por División en el Tiempo (TDM).
- **Terminación de línea / transmisión:** En una dirección la señal digital tributaria es terminada, multiplexada y transmitida en una señal de mayor velocidad. En la dirección opuesta, la señal de mayor tasa de transmisión es terminada, demultiplexada y reconstruida la señal digital de tributario. Esta es la tarea de terminales de línea. Las redes de transmisión síncrona usan típicamente fibra óptica como enlaces de transporte físico así que esto requiere la terminación y transmisión de señales ópticas.
- **Crossconexiones:** Las crossconexiones en una red síncrona suponen el establecer interconexiones semi permanentes entre diferentes canales en un elemento de red. Esto permite que el tráfico sea enviado a nivel de contenedor virtual. Si el operador necesita cambiar los circuitos de tráfico en la red, el encaminamiento puede conseguirse cambiando conexiones. Esta descripción podría sugerir que una crossconexión es similar a una conmutación de circuito, pero hay diferencias fundamentales entre ellas. La principal diferencia es que una conmutación trabaja como una conexión temporal la cual se realiza bajo el control de un usuario final, mientras que una crossconexión es una técnica de transmisión usada para establecer conexiones semi permanentes bajo el control del operador, a través de su sistema de gestión de red. El operador cambiará esta conexión semi permanente según cambie el patrón del tráfico. La función de crossconexión no significa la necesidad de bloques de equipamiento independientes. La funcionalidad de crossconexión SDH puede residir en casi cualquier elemento de red, siendo el más obvio el multiplexor add-drop.

5.1.4.4 Tipos de Conexiones [7]

En un sistema SDH se pueden establecer diferentes tipos de conexiones entre elementos, como son las siguientes:

- Unidireccional es una conexión de una vía a través de los elementos de red SDH, por ejemplo enviar tráfico únicamente.
- Bidireccional es una conexión de dos vías a través de los elementos de red, teniendo funciones de envío y de recepción de información.
- Extrae y continúa (*Drop & Continue*) es una conexión donde la señal es bajada a un tributario del elemento de red pero ésta también continúa por la señal de agregado hacia otro elemento de red. Este tipo de conexiones pueden ser usadas para difusiones y mecanismos de protección.
- Difusión (*Broadcast*) es una conexión donde un contenedor virtual entrante es llevado a más de un contenedor virtual de salida. En esencia, una señal entrante al elemento de red puede ser transmitida a varios lugares desde el contenedor virtual. Este tipo de conexión puede ser empleado para difusiones de vídeo por ejemplo.

5.1.4.5 Tipos de Multiplexores [7]

Los multiplexores pueden ser clasificados de diferentes maneras, por ejemplo, por el tipo y flexibilidad de conexiones que pueden ser hechas. Los multiplexores son comúnmente clasificados por la tasa de bits de la señal agregada soportada. Por ejemplo, un "Multiplexor STM-4" aceptará tributarios de una variedad de tasas PDH y SDH (2 Mbps, 34 Mbps, 140 Mbps, y STM-1) y multiplexa éstos en una señal agregada de un STM-4.

Los multiplexores pueden ser también clasificados como parciales y completos sistemas de acceso. Un ADM de acceso completo puede acceder a cualquier tráfico contenido en su carga dentro del agregado STM-N. Esto es, todo el tráfico agregado puede ser conectado internamente y pasado a puertos tributarios. En contraste, un multiplexor de acceso parcial únicamente puede acceder y conectar a sus puertos tributarios una porción de su tráfico agregado, siendo el resto de tráfico conectado directamente a través del multiplexor a la señal agregada.

Los multiplexores pueden ser actualizados. Esto típicamente se refiere a reemplazar puertos de línea con puertos de línea que puedan transmitir a una velocidad mayor. Por ejemplo, un multiplexor STM-1 puede reemplazar su tarjeta de línea por una tarjeta STM-4. La velocidad de la señal agregada del multiplexor se incrementará a STM-4, pero sólo una porción del tráfico de línea podrá ser conectado a los puertos tributarios de dicho multiplexor. En este caso, el multiplexor se convertiría en un equipo de acceso parcial.

La capacidad de actualizar los multiplexores con interfaces de línea de mayor capacidad permite a los operadores de red actualizar sus enlaces a mayores velocidades a medida que la capacidad de tráfico demandado se incrementa. La flexibilidad es, de todos modos, parcial, ya que únicamente una porción de tráfico de línea puede ser accedido por el multiplexor. Las conexiones de tráfico entre línea y tributarios están limitadas y se hace más difícil acomodar los cambios de patrones de tráfico. Algunos crossconectores están diseñados para que la capacidad de crossconexión efectiva incrementa, es decir que las conexiones son incrementadas al ser actualizada la velocidad de transmisión del agregado.

5.1.4.6 Red SDH de CELEC EP – TRANSELECTRIC²

CELEC EP – TRANSELECTRIC dispone de una red de tecnología SDH de varios fabricantes, entre estos SIEMENS, HUAWEI y ZTE.

Los equipos multiplexores tienen interfaces de línea desde 1 STM-1 hasta 1 STM-64. Las interfaces tributarias de los equipos son a nivel de E1, DS-3, 1 STM-1, 1 STM-4, 1 STM-16.

La mayoría de los equipos cuentan con una tarjeta crossconectora redundante, así como las fuentes de alimentación de -48 VDC.

En el Anexo No. 4 se muestra el esquema de la red SDH de CELEC EP – TRANSELECTRIC.

En el esquema se puede observar las capacidades de línea habilitadas en cada enlace, así como la capacidad libre por cada uno. No todos los enlaces cuentan con una protección de línea.

Se cuenta con un anillo conformado por los nodos de Quito, Santo Domingo, Quevedo, Policentro, Milagro, Zhoray, Riobamba y Totoras.

Los equipos multiplexores tienen como una de sus características principales la matriz de crossconexión, esto define la capacidad de transmisión en las interfaces de línea y las

interfaces tributarias, considerando que toda la capacidad que se tiene en las interfaces tributarias debe ser canalizada hacia las interfaces de línea. Existen matrices de crossconexión de alto y bajo orden. Una matriz de bajo orden corresponde a las crossconexión a nivel de capacidades menores a 1 STM-1 y la de alto orden es para crossconexiones superiores a 1 SMT-1. Se tiene capacidades entre 20 Gbps y 320 Gbps correspondientemente.

Existen equipos multiplexores cuya tecnología es NG-SDH, estos equipos tienen interfaces Ethernet, pudiendo ser de 10, 100 y 1000 Mbps. Estas interfaces pueden ser eléctricas u ópticas y permiten la conexión al sistema SDH de equipos de networking de manera natural, es decir sin la interconexión adicional de conversores a interfaces SDH.

En la figura No. 9 se muestra el distributivo de las tarjetas en un equipo multiplexores, este caso corresponde a un equipo multiplexor de la familia SIEMENS modelo HIT7070.

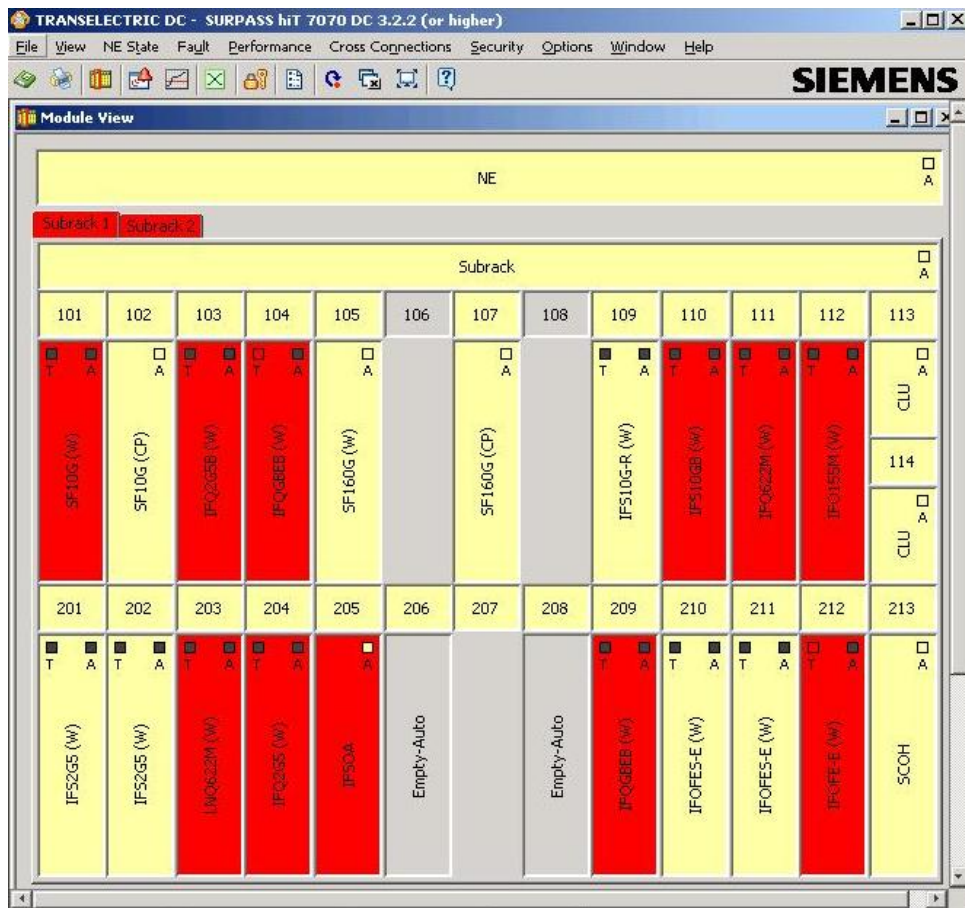


Fig. 9 Esquema de tarjetas de multiplexor SDH HIT 7070 SIEMENS

En la figura se puede observar que las tarjetas SF10G, IFQGBES, IFS10G-R, IFOFEE son interfaces que pueden actuar con línea o tributaria dependiendo de la canalización y conexión que se realicen sobre éstas.

Existen otras tarjetas como la CLU que es la tarjeta de sincronismo y SCOH que es la de la gestión.

5.1.6 Equipos con tecnología DWDM [8, 9,10]

DWDM aumenta el ancho de banda de una fibra óptica mediante la multiplexación de varias longitudes de onda (o colores) en ella. Aunque el costo es mayor que el de CWDM, actualmente es la tecnología WDM más popular, ya que ofrece más capacidad.

Los sistemas DWDM utilizan 40, 80 ó 160 canales ópticos separados entre sí 100 GHz, 50 GHz ó 25 GHz, respectivamente.

La grilla de frecuencias establecida en la norma ITU-T G.694.1 [11] especifica las longitudes de onda utilizadas en DWDM. Se encuentran en la banda C (1525-1565 nm) y la banda L (1565-1620 nm), que es un rango espectral muy atractivo para DWDM. Esto se debe a que permite la amplificación con amplificadores de fibra dopada con erbio (EDFA).

Para sistema WDM ultra denso se está utilizando un espaciamiento de 12,5 GHz y también las bandas en 1490 nm.

5.1.6.1 Funciones del Sistema DWDM [8]

En su base, DWDM implica un número pequeño de las funciones de la capa física. Éstos se representan en la figura No. 10, la cual muestra un diagrama esquemático básico de DWDM para cuatro canales. Cada canal óptico ocupa su propia longitud de onda.

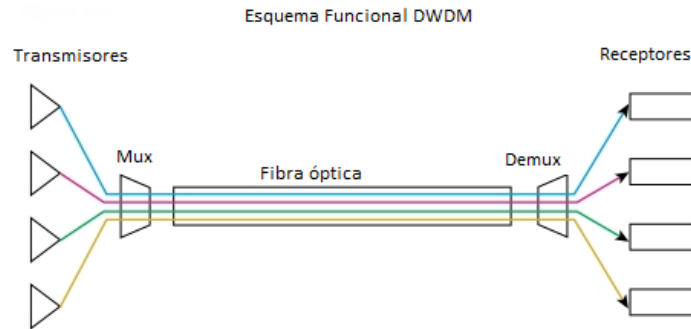


Fig. 10 Esquema básico funcional de DWDM

El sistema realiza las funciones principales siguientes:

5.1.6.1.1 Generación de la señal [12]

La fuente, un láser de estado sólido, proporciona la luz estable dentro de un ancho de banda específico y limitado que transporta los datos digitales, modulado como una señal análoga.

5.1.6.1.2 Combinado de las señales [12]

Los equipos DWDM emplean multiplexores para combinar las señales. Hay una cierta pérdida inherente asociada a la multiplexación y la demultiplexación. Esta pérdida es dependiente sobre el número de canales pero puede ser mitigada con amplificadores ópticos, los cuáles mejoran todas las longitudes de onda inmediatamente sin la conversión eléctrica.

5.1.6.1.3 Transmisión de las señales [12]

Los efectos de la interferencia y de la degradación o de la pérdida de la señal óptica se deben a la transmisión de la señal a través de fibra óptica. Estos efectos pueden ser reducidos al mínimo controlando variables tales como espaciamentos de canal, tolerancia de la longitud de onda, y niveles de la energía del láser. Sobre un enlace de transmisión, la señal puede necesitar ser amplificada ópticamente.

5.1.6.1.4 Separación de las señales recibidas [12]

Al término de la recepción, las señales multiplexadas se deben separar hacia fuera. Aunque esta tarea parecería simple, es más complicada que combinar las señales, es técnicamente más difícil en la actualidad.

5.1.6.1.5 Recepción de las señales [12]

La demultiplexación de las señales es recibida por un fotodetector.

Además de estas funciones, un sistema DWDM cuenta con los interfaces para recibir la señal de entrada. Esta función es realizada por los transponders.

5.1.6.1.6 Transponders [12]

Los transponders permiten la conversión de la longitud de onda de un trasmisor óptico a una longitud de onda de la grilla utilizada en DWDM.

Existen transponders del tipo unidireccional y bidireccional, pudiendo actuar como amplificadores de potencia, preamplificadores, adaptadores de ventana de operación de longitud de onda para funcionamiento conjunto con amplificadores comerciales, conversores multimodo-monomodo o cuando se realiza multiplexación por división de longitud de onda.

5.1.6.2 Tipos de equipos DWDM [12]

Existen principalmente cuatro tipos de equipos en las redes DWDM que son:

OLA (*Optical Line Amplifier*), el cual amplifica la señal multiplexada en longitud de onda, es decir, sin ningún tipo de conversión electroóptica.

El OTM (*Optical Terminal Multiplexer*), se encarga de multiplexar (en transmisión) y demultiplexar (en recepción) los canales ópticos.

La misión de un OADM (*Optical Add and Drop Multiplexers*) es extraer información de un determinado canal óptico e insertar nueva información reutilizando o no dicho canal, sin alterar el resto de canales multiplexados en longitud de onda y sin ningún tipo de conversión electroóptica.

Finalmente, el OXC (*Optical Cross Connects*) es un conmutador de canales entre fibras de entrada y fibras de salida; es, por lo tanto, el elemento que proporciona mayor flexibilidad en

la red y por limitaciones actuales en la tecnología óptica la mayoría de los dispositivos comercialmente disponibles realizan conversión electroóptica limitando su transparencia.

5.1.6.3 Red DWDM de CELEC EP – TRANSELECTRIC²

CELEC EP – TRANSELECTRIC cuenta con una red DWDM desde el año 2009, estos equipos son de marca HUAWEI, y están conformados únicamente por equipos OLAs, OTMs y OADMs, lo que significa que esta red dispone de equipos que realicen crossconexiones de manera automática.

En la figura No. 11 se muestra la red DWDM existente, en este esquema se puede observar la salida hacia Colombia a través de Tulcán y por el Perú a través de Machala, también se nota la conformación de un anillo entre Quito y Guayaquil.

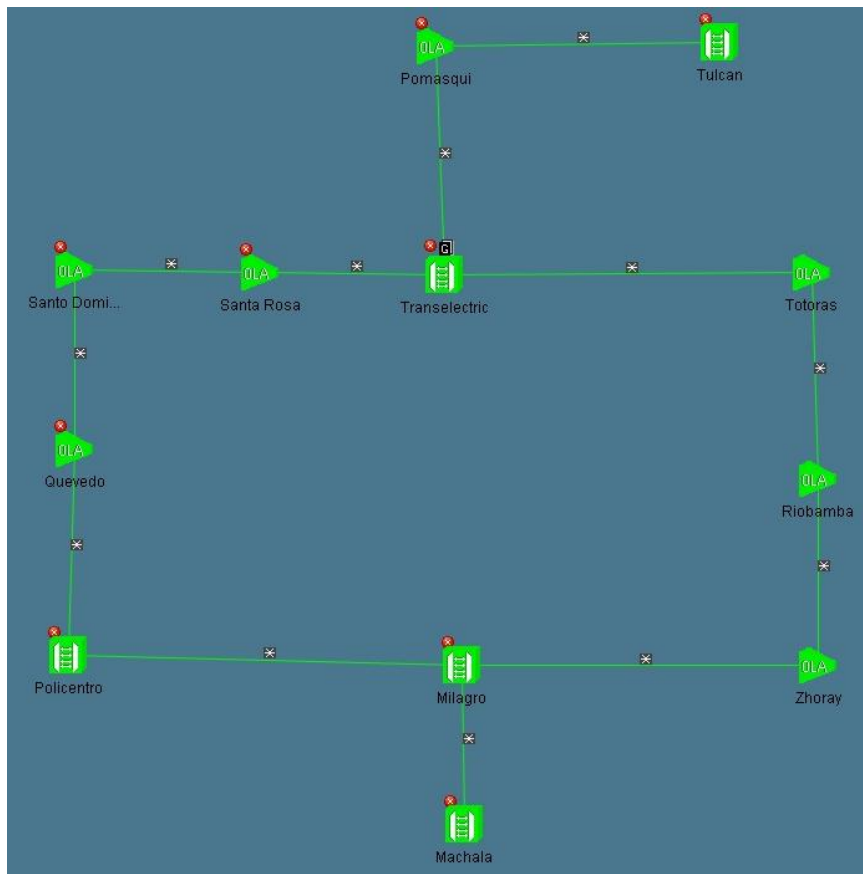


Fig. 11 Esquema de Red DWDM CELEC EP - TRANSELECTRIC

En esta red se pueden habilitar longitudes de onda de 10 Mbps en un número máximo de 40. Al momento se encuentran activas 12 lambdas.

Las interfaces del tipo tributario o de cliente que pueden conectarse en esta red son: 1 Gbps, 10 Gbps, 1 STM-16 y 1 STM-64, todas las conexiones deben realizarse a través de puertos ópticos.

Para el caso de las interfaces de 1 Gbps, la tarjeta transponder realiza la multiplexación de 8 puertos de 1 Gbps más su respectiva cabecera de control, en una señal óptica DWDM de 10 Gbps.

Así mismo, otro tipo de tarjeta transponder multiplexa 4 SMT-16 en una señal de 10 Gbps.

Para las señales de 10 Gbps y 1 STM-64 el transponder cambia la longitud de onda de la señal de cliente y una válida de la grilla designada para los sistemas DWDM.

Al igual que en otros equipos multiplexores los equipos DWDM cuentan con redundancia en las fuentes de alimentación, así como en las tarjetas principales de control.

El disponer de equipos OLAs, OTMs y OADMs restringe las facilidades tecnológicas que puede brindar una red de este tipo, ya que para la ampliación de una longitud de onda adicional en el sistema, se requiere de una conexión manual.

En la figura No. 12 se muestra el detalle de las tarjetas utilizadas en un equipo DWDM.

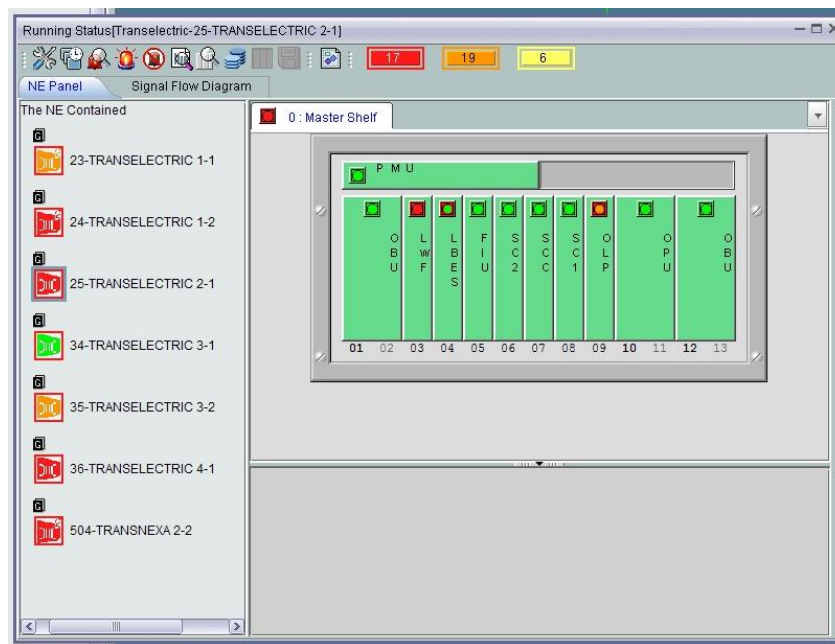


Fig. 12 Tarjetas de equipo DWDM HUAWEI ®

5.1.7 Equipos con tecnología OTN [13]

Las redes OTN unen la tecnología SDH con la DWDM, ya que permite realizar conmutación a través de la creación de contenedores virtuales de mayor capacidad y también realiza la multiplexación de varias longitudes de onda por un mismo par de hilos de fibra óptica.

La tecnología OTN maneja una jerarquía de manera similar al SDH pero con mayores velocidades de conmutación, así: OTU1 (2,5Gbps), OTU2 (10,70 Gbps), OTU3 (40Gbps).

Esta tecnología añade una cabecera a la información del cliente para realizar la gestión y el control de la información. La figura No. 13 muestra el encapsulamiento de una señal OTN.

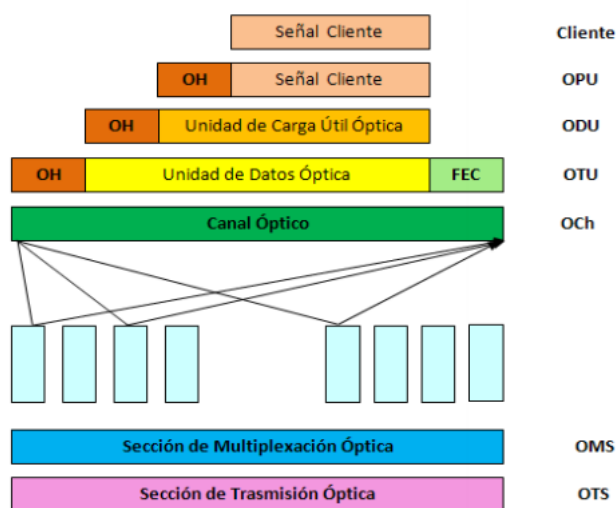


Fig. 13 Encapsulamiento de una señal tipo OTN

Una red OTN tiene tres componentes principales que son: Sección de Transporte Óptico (OTS), Sección de Multiplexación Óptica (OMS) y Canal Óptico (Och)

La Sección de Transporte Óptico, genera un solo camino, sin interrupciones intermedias, no permite el ingreso o salida señal entre sus dos puntos de acceso, define las interfaces físicas y sus parámetros.

La Sección de Multiplexación Óptica, permite el transporte de canales ópticos a través de un camino de multiplexación, entre puntos de acceso, lo que permite la interconexión de una señal óptica con varias longitudes de onda. Esto permite la operación y la gestión de los

sistemas de manera óptima. La figura No. 14 muestra el esquema de multiplexación en una red OTN.

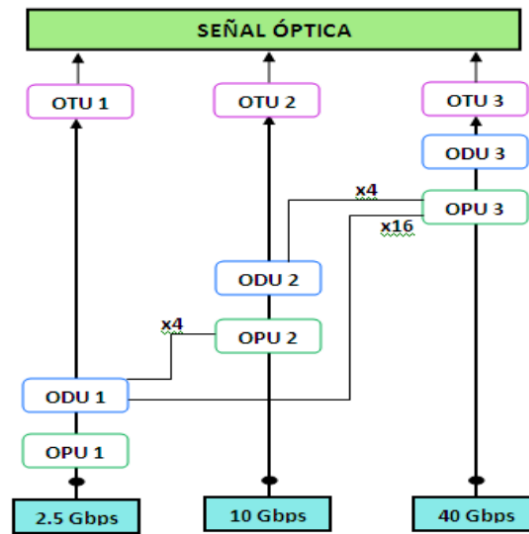


Fig. 14 Esquema de Multiplexación OTN

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.

5.1.7.1 Red OTN de CELEC EP – TRANSELECTRIC²

CELEC EP – TRANSELECTRIC cuenta con una red OTN de marca HUAWEI, se encuentra habilitada sobre los mismos nodos que la red DWDM, y se incluye al nodo de CUENCA y caídas de servicios adicionales a Quito, Guayaquil, Tulcán y Machala, como son Santo Domingo, Quevedo, Riobamba y Totoras.

El número de lambdas de 10 Gbps levantadas sobre esta red es de 51, con sus protecciones correspondientes. Este sistema permite una flexibilidad en las capacidades tributarias, a través de un tipo especial de tarjeta se puede conectar equipos de clientes que tengan capacidades entre 1 SMT-1, pasando por 1 STM-4, 1 Gbps y 1 STM-16.

La red OTN de CELEC EP – TRANSELECTRIC está compuesta por las capas óptica y eléctrica. La capa óptica está compuesta por los equipos OSN 6800, y la eléctrica por los OSN 8800. En la figura No. 15 se muestra el esquema general de la red OTN habilitada.

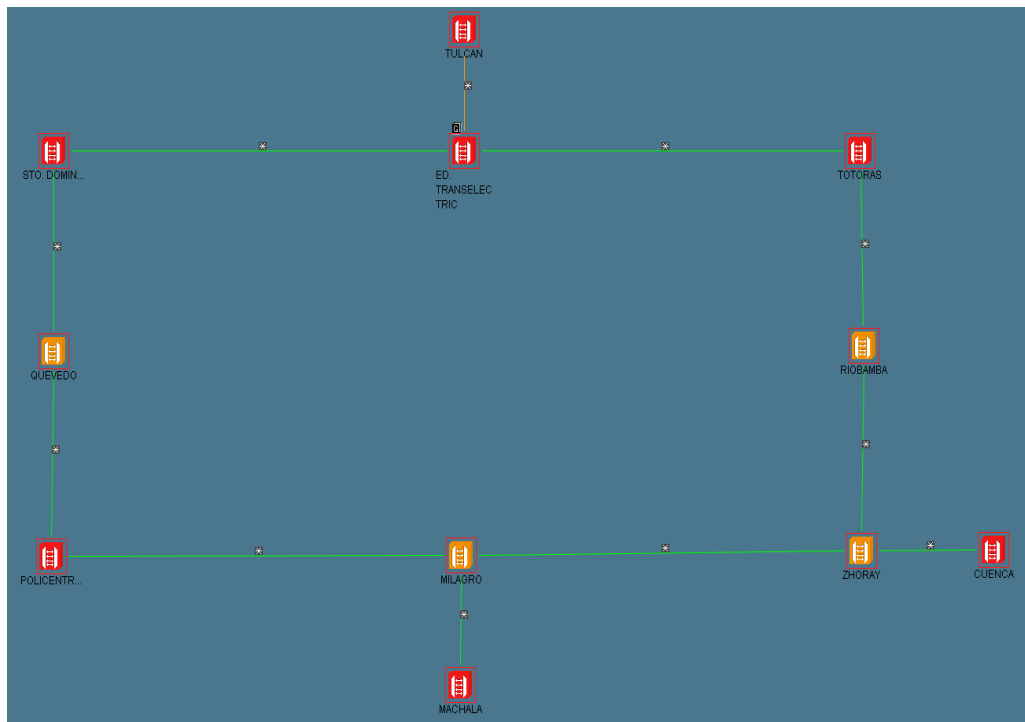


Fig. 15 Topología de la red OTN de CELEC EP - TRANSELECTRIC

5.1.7.1.1 Capa eléctrica

La capa eléctrica cumple con las funciones de acceso y encapsulamiento. Y provee el acceso a las conexiones de los tributarios, pueden ser de puertos Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, STM-N, 10 Gigabit Ethernet, entre las principales. En esta capa se realiza las crossconexiones, y los procesos de detección y corrección de errores.

Las principales tarjetas utilizadas en esta capa son: básicas, tributarias, crossconectoras y de línea, en la figura No. 16 se presenta el esquema de un equipo 8800.

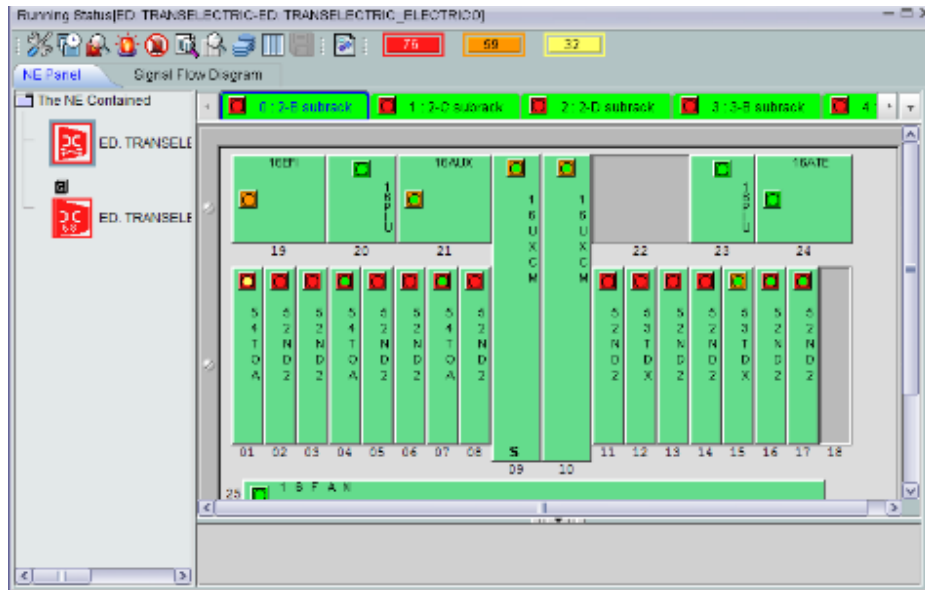


Fig. 16 Esquema del equipo OSN 8800

5.1.7.1.2 Capa óptica

Luego que cada servicio se ha encapsulado en su respectiva lambda se realiza el direccionamiento y transporte hacia su destino, esto se realiza en la capa óptica, en esta capa también se realizan los procesos de amplificación y se disponen de las tarjetas multiplexoras, demultiplexoras, tarjetas para realizar el interleaving cuando se amplíe el sistema a 80 lambdas y tarjetas WSS que hacen la función de enrutamiento óptico. En la figura No. 17 se observa el esquema de un equipo OSN 6800.

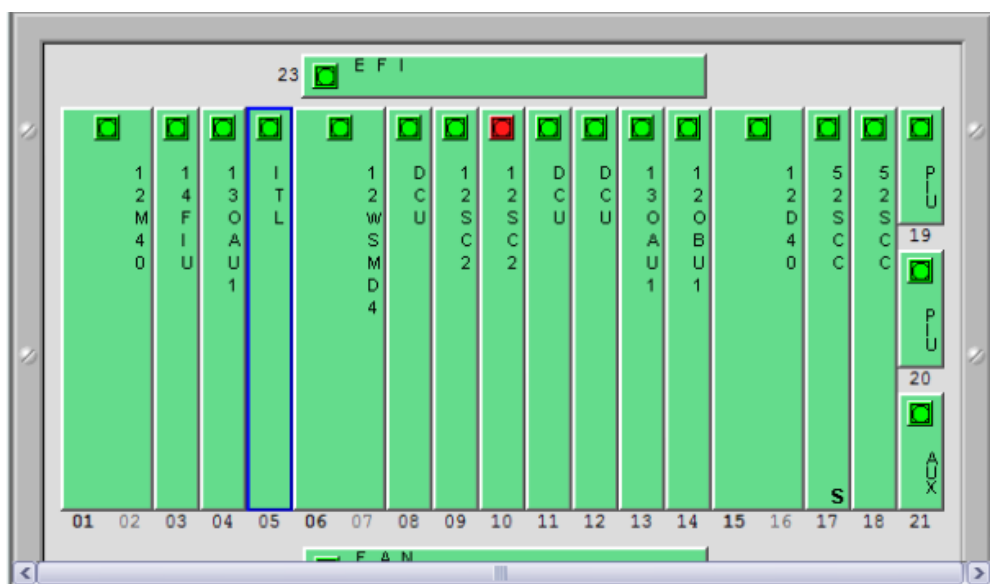


Fig. 17. Hardware del equipo OSN 6800

5.1.8 Sistemas de Gestión de los equipos de Transporte²

Los sistemas de gestión están compuestos por hardware y software a través de los cuales se controlan los equipos de telecomunicaciones, este control se realiza a través del cruce de información entre los equipos y los servidores o computadores que los gestionan.

Dependiendo del fabricante existen desarrollos de software abiertos (cuando se utilizan estándares) o cerrados (cuando se utiliza desarrollo que no sigue ningún estándar, se los denomina también propietarios).

Para cada caso de tecnología y fabricante se dispone de un software de gestión, así también dependiendo del número de equipos a ser gestionados se dispondrá de una versión de software más avanzada que otra. El diseño del software determina las características mínimas que debe soportar el hardware en el que será implementado dicho software.

Existen básicamente dos tipos de softwares para la gestión, el primer grupo es el denominado LCT (*Local Craft Terminal*), el cual permite realizar una gestión local y de un solo equipo, este software es utilizado principalmente cuando se está instalando el equipo, para realizar su primera configuración y también para actividades de mantenimiento correctivo, en los casos que no se cuenta con un enlace que permita realizar su configuración de manera remota.

El segundo tipo de software es el denominado NCT (*Network Craft Terminal*), este software permite un control del equipo de manera remota, se pueden visualizar varios equipos a la vez, cuenta con reporte de alarmas, la interfaz con el usuario es gráfica. A través de este software se realizan las denominadas canalizaciones de los servicios de telecomunicaciones, una canalización es la configuración de los equipos para ir habilitando túneles de servicios entre dos extremos sin la necesidad del traslado del personal. Esto se puede realizar, gracias a que cada equipo que conforma la red de transporte entre los dos puntos, está gestionado remotamente, y puede ser cambiada la configuración casi en tiempo real.

En el caso de la red SDH se utiliza los canales DCC de la trama STM para enviar la información de la gestión.

En el caso de CELEC EP – TRANSELECTRIC se cuenta con un Centro de Gestión de Equipos de Telecomunicaciones ubicado en la ciudad de Quito, es ahí donde se dispone del hardware y software necesarios para el monitoreo, control y configuración de todos los equipos.²

En la tabla adjunta se muestra el tipo de tecnología, la marca de equipos y el software de gestión utilizado para cada uno.

TECNOLOGÍA	MARCA	NOMBRE
PDH	SIEMENS®	Access Integrator®
SDH	HUAWEI®	U2000®
SDH	SIEMENS®	TNMS®
SDH	KEYMILE®	UCST R8C®
SDH	LOOPTELECOM®	SNMPC®
SDH	ZTE®	U31®
DWDM	HUAWEI®	U2000®
OTN	HUAWEI®	U2000®

Tabla 2. Softwares de gestión de equipos de transporte CELEC EP - TRANSELECTRIC

Como se puede observar en la tabla dependiendo del fabricante, un mismo software puede ser utilizado para gestionar equipos de distintas tecnologías, como es el caso del U2000® de HUAWEI, no sucede así en el caso de SIEMENS® que utiliza el Access Integrator® para equipos PDH y el TNMS® para SDH.

El contar con hardware y software distintos dependiendo del fabricante y tecnología puede convertirse en un problema, ya que por cada uno se requiere implementar un nuevo sistema de gestión. En el caso del software se requeriría hacer un desarrollo a medida para incorporar en una sola aplicación todas las utilizadas por todos los equipos. Esto es un trabajo muy costoso que no tiene una relevancia importante en la gestión, no sucede lo mismo en el caso del hardware, en el cual a través de máquinas virtuales se puede disponer de todas las aplicaciones en un mismo servidor, y únicamente contar con el número necesario de clientes para la operación, la implementación de esta solución se encuentra en proceso en CELEC EP – TRANSELECTRIC.

5.1.9 Servicios requeridos sobre la red de CELEC EP – TRANSELECTRIC²

5.1.9.1 Voz

CELEC EP – TRANSELECTRIC dispone de 18 centrales telefónicas marca SIEMENS® modelo HIPATH 3800 y una HIPATH 4000, a través de las cuales se habilitan extensiones analógicas, digitales e IP. La central HIPATH 4000 se encuentra instalada en el Edificio de TRANSELECTRIC y

las 18 restantes están ubicadas en subestaciones principales, desde estas subestaciones se habilitan extensiones remotas hacia las subestaciones restantes.

La interconexión entre las centrales telefónicas se realiza a través de interfaces E1 y fastethernet, el E1 es la conexión principal, dicha conexión se realiza a través de equipos multiplexores SDH y PDH. En el Anexo No. 5 se muestra el esquema general del sistema de voz habilitado. Para las subestaciones que disponen de central telefónica la comunicación se realiza a través de extensiones analógicas o IP de estas centrales. Para subestaciones y demás locaciones que no disponen de central telefónica se utilizan las interfaces FXS y FXO de los equipos multiplexores PDH para poder enviar dichas extensiones a un punto remoto. También se utiliza la red WAN entre Subestaciones para poder realizar la conexión entre centrales telefónicas con interfaces fastethernet y también para el envío de extensiones IP hacia locaciones que no disponen de central telefónica.

5.1.9.2 Datos en tiempo real

Para la operación y control de una subestación es necesario contar con la información de cada una de éstas hacia los centros de control de TRANSELECTRIC y CENACE, para este fin se cuenta con 4 concentradores de datos denominados FRONT ENDS instalados las subestaciones Santa Rosa (Quito), Pascuales (Guayaquil), Quevedo y Zhoray (cerca a Cuenca), estos concentradores se unen a través de routers hablando entre ellos protocolo IP a través de conexiones como se muestra en el Anexo No. 6. Hasta estos cuatro concentradores se habilitan canales asincrónicos desde cada subestación que tienen velocidades entre 1200 hasta 9600 bps. Estos enlaces utilizan los puertos RS-232 de los equipos PDH y la conexión entre los FRONT ENDS utiliza los puertos E1s de los equipos PDH y/o SDH dependiendo de la estructura de la red para cada subestación.

5.1.9.3 Teleprotección

Los canales de teleprotección permiten que ante una falla en una línea de transmisión, se envíe un comando de un extremo al otro para que se abra dicha línea, y que no se difunda la falla hacia más líneas del sistema, esto debe realizarse lo más pronto posible, es por esta razón que se instalan equipos especiales que permiten una alta disponibilidad y que esta transmisión de información no sobre pase los 15 ms. Para habilitar este servicio se pueden utilizar fibras ópticas directamente conectadas entre los equipos de teleprotección o también se utilizan canales habilitados sobre los equipos PDH con puertos G.703 codireccionales o X.21 o sobre los equipos SDH con interfaces E1. La teleprotección es el servicio más sensible del sector

eléctrico, puesto que requiere una alta confiabilidad y disponibilidad. Así como un tiempo de respuesta muy corto. En el Anexo No. 7 se presenta el estado actual de los equipos de teleprotección de la red de CELEC EP – TRANSELECTRIC.

5.1.9.4 Medición comercial

La medición comercial se la realiza a través de medidores de energía de marca ION en su mayor parte, esta medición de energía en el caso del Sistema Nacional Interconectado permite que se conozca cual es la cantidad de energía que produce cada central de generación y se la realiza en una subestación para poder tener el valor que incluya las pérdidas de transmisión, en la línea que une la Central de Generación y la Subestación más cercana. Para este fin se utilizan medidores de energía que tienen una interfaz Ethernet y manejan protocolo IP. Los medidores de energía permiten que se descargue la información de éstos de manera remota, de acuerdo la regulación eléctrica vigente tanto la Central de Generación como el CENACE deben tener acceso a estos medidores Para habilitar estos servicios se pueden utilizar las interfaces Ethernet o E1 de los equipos multiplexores SDH, para el caso de las interface E1 se deben adicionar routers o switches.

5.1.9.5 Medición fasorial

La medición fasorial, consiste en disponer de información de los valores y los ángulos de los voltajes y corrientes en una subestación, al igual que la medición comercial, los equipos utilizados para la medición fasorial, denominados PMUs (*Phasor Measurement Unit*) disponen de un interfaz Ethernet y manejan protocolo IP, este servicio es habilitado de manera similar al de medición comercial, pero con una red independiente, tanto a nivel lógico como físico, considerando que la información enviada requiere de mayor capacidad que otras aplicaciones. A la información de la medición fasorial deben acceder los centros de control del TRANSELECTRIC y CENACE, puesto que en las instalaciones de Calderón y CENACE se dispone de las aplicaciones necesaria para transformar la información recolectada por los PMUs en información que sirva para la operación del Sistema Nacional Interconectado, en el Anexo No. 8 se presenta el esquema de los enlaces habilitados para este servicio.

5.1.9.6 Gestión de protecciones

La gestión de protecciones es un servicio a través del cual se provee de un canal IP para que personal que se encuentra en cualquier parte pueda acceder a los equipos utilizados para la protección y control de las subestaciones. Estos equipos manejan interfaces Ethernet y pueden

ser monitoreados y configurados remotamente, por lo cual se brinda el servicio a través de la habilitación de canales IP. Actualmente el COT y CENACE podrían acceder a esta información.

5.1.9.7 Protección diferencial

La protección diferencial cumple una función similar a la teleprotección, y puede implementarse enlazando directamente los equipos a los hilos de fibra óptica, otra vía todavía no implementada en CELEC EP – TRANSELECTRIC, es contar con equipos multiplexores o conversores que dispongan de la interfaz óptica que utilizan los equipos de protección diferencial, para no utilizar un par de hilos de fibra óptica por cada uno. La interfaz óptica utilizada es la C37.94.

5.1.9.8 Cámaras termográficas y de vigilancia

Estas cámaras utilizan interfaces Ethernet y protocolo IP, pero se debe disponer de canales con la capacidad adecuada que permita que la transmisión de la información en tiempo real hacia los centros de operaciones y el centro de gestión de telecomunicaciones, considerando que la demanda de información tiene dos partes una que es permanente y otra que es aleatoria, es preferible contar con canales independientes para este servicio.

5.1.9.9 Video conferencia

La video conferencia puede ser habilitada sobre una interfaz Ethernet utilizando el protocolo IP, en este caso es necesario contar con canales independientes de otros, considerando que es un servicio que es en tiempo real y que no puede sufrir retardos en el envío de su información.

5.1.9.10 Registradores de falla

Los registradores de falla permiten disponer de una gran información del sistema eléctrico en el momento de una falla, esta información permite realizar análisis de cómo actuó cada equipo en cada milisegundo, y con ésta se puede tomar acciones de mejora para evitarlas. Los registradores de falla utilizan interfaces Ethernet con protocolo IP.

5.1.9.11 Aplicaciones corporativas

Las aplicaciones corporativas corresponden a la habilitación de los servicios comunes como correo, internet, intranet, etc., para estos servicios se implementan canales Ethernet con protocolo IP.

5.1.10 Redes MPLS [14]

Las redes IP están altamente difundidas, un 80% del tráfico que se cursa a nivel mundial es de este tipo, además es el único protocolo utilizado para la red Internet, sin embargo, tiene varias desventajas, por su naturaleza, no maneja calidad de servicio, cada router toma decisiones independientes, tiene un encabezado IP grande, el ruteo es más lento que la conmutación, entre otras.

Las redes ATM si proveen calidad de servicio, tienen un switcheo rápido de paquetes de tamaño fijo, puede realizar la integración de diferentes tipos de tráfico, pero es un sistema complejo, caro y no está ampliamente difundido.

Una buena solución en un inicio fue utilizar IP sobre ATM, esta arquitectura presenta varias limitaciones, en el sentido de operar e integrar una red de dos tecnologías distintas, y los requerimientos de más capacidad que podría ser ofrecida por otros sistemas como los SDH y DWDM.

En 1997 el IETF crea el grupo de trabajo MPLS para generar el estándar que debería unificar las soluciones propietarias de conmutación de nivel 2.

En 1998 se define el estándar MPLS recogido en la RFC 3031.

Este estándar permite operar sobre cualquier tecnología en la capa de enlace, esto incluye redes ATM, SDH, SONETH, DWDM y todas las que utilicen el protocolo PPP.

5.1.10.1 Concepto de MPLS

MPLS es un estándar IP de conmutación de paquetes que trata de incorporar propiedades de redes orientadas a conexión a redes que no lo son. En un ruteo IP sin conexión tradicional la cabecera es examinada en cada equipo. La ruta se adapta en función de las tablas de ruteo de cada nodo, y como la ruta total no puede ser determinada, no se pueden reservar recursos que garanticen la calidad de servicio, así también la búsqueda de las tablas de encaminamiento hace que se pierda tiempo y esta pérdida se incrementa en función de la longitud de la tabla.

MPLS permite a cada nodo, switch o router, asignar una etiqueta a cada uno de los elementos de la tabla, e informarla a sus nodos vecinos.

Esta etiqueta es un valor corto y de tamaño fijo y es transportada en la cabecera del paquete, de esta forma se identifica un FEC Forward Equivalence Class, que es un conjunto de paquetes que son enviados sobre un mismo camino a través de la red, incluso si sus destinos finales son diferentes.

La etiqueta establece una correspondencia entre el tráfico y un FEC específico y tiene un significado local. Considerando en su dirección de destino, el tipo de servicio, etc. se asigna la etiqueta a un paquete.

5.1.10.1.1 Cabecera MPLS [17]

Los campos de la cabecera MPLS de 4 bytes son:

1. Label (20 bits), es la etiqueta que indica el próximo salto y tiene un sentido local únicamente.
2. CoS (3 bits), este campo indica la calidad de servicio del paquete, y permite diferenciar los distintos tipos de tráfico y mejorar el rendimiento de un tipo de tráfico respecto a otros.
3. Stack (1 bit), indica que existen más etiquetas MPLS, en este sentido las cabeceras MPLS actúan como si estuvieran apiladas una sobre otra. Este caso se presenta cuando una red MPLS tiene que atravesar otra red MPLS de un organismo administrativo externo.
4. TTL (8 bits), este campo se copia de la cabecera IP y proporciona la funcionalidad de tiempo de vida del paquete, esta información permite mitigar el efecto de posibles bucles en la red decrementando el valor inicial en una unidad por cada salto o nodo por el que pase el paquete.

5.1.10.1.2 Elementos de una red MPLS [17]

LSP *Label Switch Path*, es un camino de tráfico predeterminado a través de la red MPLS, se crea utilizando los LDPs *Label Distribution Protocols*, éstos pueden ser el *RSVP-TE ReSerVation Protocol – Traffic Engineering* o *CR-LDP Constraint-based Routing- Label Distribution Protocol*.

El LDP establecerá un camino a través de la red MPLS y se reservarán los recursos físicos para los requerimientos de servicio ya establecidos.

Una red MPLS tiene dos tipos de nodos los LER *Label Edge Routers* y los LSR *Label Switching Routers*.

Los routers MPLS al igual que los routers IP normales realizan sus tablas de ruteo utilizando los protocolos como OSPF, RIP y BGP, a partir de estas tablas construyen las tablas de encaminamiento basándose en la alcanzabilidad a las redes IP destinatarias. Y a partir de estas tablas se establecerán las etiquetas MPLS y los LSPs que seguirán los paquetes. No obstante, se pueden establecer LSP que no se correspondan con el camino mínimo indicado por el protocolo de encaminamiento.

Los LERs se ubican al borde de la red MPLS para realizar funciones tradicionales de encaminamiento y proporciona conectividad a los usuarios, que son generalmente routers IP no MPLS. El LER analiza y clasifica el paquete IP entrante considerando hasta el nivel 3, esto incluye la dirección IP destino y la QoS, añade la etiqueta MPLS que identifica en qué LSP está el paquete. A diferencia de un ruteo IP tradicional que identificaría únicamente el siguiente salto que tendría el paquete, el LER identifica el camino completo a través de la red MPLS que debe seguir el paquete. El LER enviará el paquete a un LSR. Los LSR están ubicados en el núcleo de la red MPLS y realizan el encaminamiento de alto rendimiento basado en la conmutación de etiquetas. Un LSR lee el valor de la etiqueta de entrada de la cabecera MPLS, buscan en la tabla de conmutación la etiqueta e interfaz de salida y reenvía el paquete por el camino predefinido escribiendo la nueva cabecera MPLS.

Si un LSR detecta que debe enviar un paquete a un LER, extrae la cabecera MPLS como el último LER no conmuta el paquete, se reduce así cabeceras innecesarias.

5.1.10.1.3 Red MPLS de CELEC EP – TRANSELECTRIC²

CELEC EP – TRANSELECTRIC al momento cuenta con varios equipos de marca JUNIPER para su red MPLS, es una red de baja capacidad y se utiliza al momento para brindar el servicio de red WAN únicamente.

En el año 2014 se firmó un contrato para la provisión de equipos MPLS de marca JUNIPER, estos equipos son de gran capacidad y prestaciones. En el mes de febrero personal de CELEC EP – TRANSELECTRIC realizó las pruebas en fábrica del equipamiento y durante los meses de marzo y abril se realiza la capacitación en dos grupos a 20 funcionarios. En el mes de marzo también se realizó el transporte de los equipos y en el mes de abril se ingresaron dichos equipos a las bodegas del contratista. En el mes de mayo se inicia la instalación en las subestaciones de CELEC EP – TRANSELECTRIC y se espera concluir con dicho contrato en los primeros días de julio de 2015.

Los esquemas de las redes actual y futura se presentan en los Anexos No. 9 y 10.

5.1.11 Diseño de red MPLS para todos los servicios de CELEC EP - TRANSELECTRIC

5.1.11.1 Antecedentes

La red MPLS de CELEC EP – TRANSELECTRIC instalada y por instalarse tiene como fin la implementación de los servicios netamente IP, éstos incluyen Internet, red WAN, telefonía IP, video conferencia, entre otros; sin embargo los demás servicios que no usan el protocolo IP siguen empleando redes PDH y SDH.

El hecho de contar con varios tipos de tecnologías y de diferentes fabricantes, hace que se tengan varios problemas en la operación y en el mantenimiento de la red de telecomunicaciones, entre éstos tenemos:

- Diversidad de software y hardware para la gestión y configuración de las redes
- Requerimiento de repuestos para cada tipo de red
- Relación con varias empresas para soporte técnico, dependiendo del número de marcas de equipos con el que se cuente
- Personal capacitado en todas las marcas y modelos de los equipos
- Mantenimiento preventivo y correctivo diferente para cada tipo de equipo

Estos problemas operativos redundan en costos, que pueden ser eliminados con un diseño general que permita manejar una sola tecnología de transporte y una sola tecnología de acceso para todo el sector eléctrico. En este sentido el diseño de la tecnología de transporte no corresponde al estudio de este trabajo, sin embargo se considera que se dispone de una DWDM con interfaces 10 Gigabitethernet, Gigaethernet y Fastethernet.

Y en el sentido de la tecnología de acceso, este trabajo presenta como solución la red MPLS. Los servicios que se brindan al sector eléctrico son los detallados en la Tabla No. 3, estos servicios para su aplicación utilizan equipamiento PDH, SDH, DWDM e IP, dependiendo de la ruta inclusive pueden llegar a utilizar todas las tecnologías de transmisión y acceso.

SERVICIOS	PROTOCOLO
Voz	SS7, IP
Datos en tiempo real	IEC104
Teleprotección	Propietario
Medición comercial	IP
Medición fasorial	IP
Gestión de protecciones	IP
Protección diferencial	Propietario
Cámaras	IP

Video conferencia	IP
Registradores de falla	IP
Aplicaciones corporativas	IP

Tabla No. 3 Servicios que utiliza el sector eléctrico

Los servicios que utilizan el protocolo IP son considerados servicios que pueden ser implementados sobre la red MPLS.

La transmisión de voz, datos en tiempo real, teleprotección y protección diferencial requiere de un análisis especial considerando para cada servicio el tipo de protocolo utilizado.

La protección diferencial, es un servicio especial, que utiliza un par de hilos de fibra óptica de manera directa para su transmisión, es un servicio que se ofrece entre dos subestaciones, por lo cual se considera que este servicio se mantendrá fuera de la red MPLS a implementarse.

5.1.11.2 Análisis del servicio de teleprotección

El equipo de teleprotección transmite una orden generada por los equipos de protecciones, de una línea de transmisión hacia el extremo contrario, este envío permite el accionamiento sincronizado de las protecciones en ambos extremos de la línea, de esta forma se evita cualquier problema causado por un corto circuito que se haya presentado a lo largo de línea de transmisión. Si bien se puede entender este servicio como el envío de información simple de un extremo a otro, el problema se presenta porque este servicio debe mantener irrestrictamente el concepto de seguridad, es decir que no se produzca una demora en el momento en que se registre un comando, y que llegue el comando de manera íntegra para que pueda ser entendido por su correspondiente.

El hecho de utilizar canales independientes como ocurre en las redes PDH, SDH y con fibras conectadas de manera directa permite cumplir con las características que demanda el servicio, un retardo no mayor a 15 ms y una disponibilidad de al menos 99,99%.

El desarrollo realizado por las compañías que producen equipos de telecomunicaciones y de teleprotección se detalla a continuación:

SIEMENS® ha incluido en su equipo SWT-3000® un sistema MPLS TPop (*Teleprotection over Packets*) el cual utiliza la red WAN para el envío de la información de los comandos de

teleprotección. El sistema TPoP brinda una calidad en la línea Ethernet así como la implementación de estadísticas basadas en la pérdida de paquetes, retrasos y pérdida de conexión, los cuales le dan seguridad y confianza para la identificación eficaz de posibles problemas. Con respecto a la calidad del servicio QoS, las VLAN tienen un acceso prioritario al protocolo IEEE802.1Q, se implementa la clasificación y administración de los encabezados de los paquetes IP en la capa de Red (Capa 3) mediante la utilización de DSCP (*Differentiated Service Code Point*) o ToS (*Time of Service*).

ALCATEL® cuenta con switches que manejan MPLS, el modelo es el SAR 7705 y 7710 con los cuales se han realizado pruebas del funcionamiento del servicio de teleprotección, con buenos resultados, claro que se debe realizar una configuración de calidad de servicio en los equipos, donde la prioridad de cualquier aplicación es la teleprotección.

Las marcas como JUNIPER®, ABB® y RAD® mantienen la filosofía anterior de utilizar las redes con tecnología SDH y PDH para la transmisión de los servicios de teleprotección entre subestaciones.

5.1.11.3 Análisis del servicio de datos en tiempo real

El servicio de datos en tiempo real, puede ser catalogado como el de segunda prioridad, para la operación de una subestación eléctrica, considerando que a través de esta información se puede operar remotamente la subestación y que la pérdida de este servicio puede ser superada mediante la operación local, ya que en una subestación atendida permanentemente, como es el caso de las subestaciones de CELEC EP-TRANSELECTRIC, se cuenta con personal las 24 horas del día².

La solución técnica actual para la implementación de este servicio a través de redes MPLS consiste en el cambio de interfaces y protocolo de comunicación. Es decir que en lugar de utilizar el protocolo IEC-101 cuya interfaz es serial, se debería utilizar el protocolo de comunicaciones IEC-104, que en resumen es el protocolo IEC-101 pero con interfaz Ethernet y con protocolo de comunicación IP.

Bajo estos criterios todos los servicios requeridos en el Sistema Nacional de Transmisión pueden ser provistos a través de una red MPLS.

5.1.11.4 Diseño general de la solución MPLS para CELEC EP – TRANSELECTRIC

5.1.11.4.1 Consideraciones de diseño

CELEC EP – TRANSELECTRIC cuenta con 46 subestaciones distribuidas a nivel nacional. Todas las subestaciones deberán contar con el equipamiento necesario para habilitar todos los servicios de telecomunicaciones requeridos actualmente y se considera una redundancia de puerto para los servicios críticos y al menos 5 puertos de reserva para futuros servicios.

Se procurará en la mayoría de los casos contar con anillos de comunicaciones para incrementar la disponibilidad de los servicios.

El diseño detalla un análisis que no contempla los equipos MPLS existentes.

La capacidad mínima de cada enlace será de 1 Gbps y el equipo tendrá la posibilidad de ampliarse hasta 10 Gbps solo con el cambio de conector SFP.

Para la implementación de los equipos se debe considerar disponibles las capacidades en equipos DWDM y OTN, así como hilos de fibra óptica para conexiones directas.

Para asegurar una alta disponibilidad de los servicios en puntos críticos se contará con la redundancia correspondiente.

Se debe considerar el valor de MTBF del equipamiento, con el fin de asegurar la alta disponibilidad requerida de los servicios.

Todos los equipos se alimentarán a -48 VDC, teniendo en cuenta que todas las subestaciones de CELEC EP – TRANSELECTRIC disponen de un sistema de alimentación de este tipo con doble rectificador y un banco de baterías con una autonomía aproximada de 8 horas.

Todos los equipos dispondrán de fuente de alimentación redundante.

Se debe incluir al como parte de la red adicional a las subestaciones a los Centros de Control del COT y CENACE ya que allí llegan varios servicios, y también al Edificio de TRANSELECTRIC ubicado en Quito, considerando que allí se tiene la salida internacional y la mayor cantidad de personal de CELEC EP – TRANSELECTRIC.

También se deberá hacer el diseño del software y hardware para la gestión y configuración local y remota de la red MPLS.

5.1.11.4.2 Esquema general del diseño

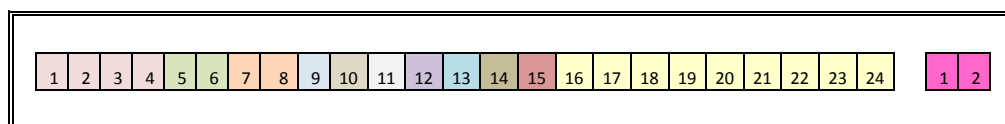
Las subestaciones que forman parte del anillo principal de CELEC EP – TRANSELECTRIC son: Santa Rosa, Santo Domingo, Quevedo, Pascuales, Milagro, Molino, Riobamba y Totoras.

Entre estas subestaciones se puede formar un anillo que será el central al cual se irán interconectando anillos adicionales o conexiones radiales.

5.1.11.4.3 Esquema específico del diseño

Como se mencionó anteriormente para habilitar cada servicio se requiere implementar switches virtuales sobre la red MPLS de tal forma que cada uno disponga su trato independiente y su manejo de tráfico de acuerdo a su importancia. Solo para el caso del servicio principal que es la teleprotección se habilitarán conexiones punto a punto entre dos subestaciones.

Así una subestación tendrá la distribución de puertos de su switch con sus conexiones como se presenta en la figura No. 18.



4	Teleprotección	1-4
2	Datos en tiempo real	5-6
2	Voz	7-8
1	Medición comercial	9
1	Medición fasorial	10
1	Gestión de protecciones	11
1	Cámaras IP	12

1	Video conferencia	13
1	Registradores de fallas	14
1	Aplicaciones corporativas	15
10	Reserva	16-24
2	Conexiones de upgrade 1Gbps	25-26

Fig. 18 Distribución de puertos para cada servicio

A partir de esta de esta distribución entre todos los switches los puertos 5 y 6 serán utilizados únicamente para la conexión del servicio de datos en tiempo real, lo mismo se realiza para todos los demás servicios.

Dependiendo de la capacidad requerida por cada uno de los servicios dentro de las configuraciones de las conexiones MPLS se incluirá esta característica, pudiendo ser cambiada con un simple comando hasta un máximo de 100 Mbps.

Para tener un referente que permita realizar un dimensionamiento cercano, de los equipos a ser utilizados es necesario contar con un análisis del tráfico a ser cursado entre toda la red.

Para lo cual se debe determinar cuál es la capacidad requerida por cada servicio desde cada subestación y hacia donde se dirigirá específicamente el tráfico.

Las consideraciones de cada servicio se presentan en la Tabla No. 4.

#	SERVICIO	DESCRIPCIÓN	ED. TE	COT	CENACE
1	Voz	4 Mbps entre todas las dependencias sitio central Edificio Transelectric	4	0	0
2	Datos en tiempo real	64 kbps desde cada subestación hacia el COT y el CENACE, se estandariza 1 Mbps COT, y 1 Mbps CENACE	0	1	1
3	Teleprotección	4 Mbps entre dos subestaciones	2		
4	Medición comercial	64 kbps desde cada subestación hacia el CENACE, se estandariza 1 Mbps COT y 1 Mbps CENACE	0	1	1
5	Medición fasorial	2 Mbps desde cada subestación hacia el COT y CENACE, se estandariza 2 Mbps COT y 2 Mbps CENACE	0	2	2
6	Gestión de protecciones	2 Mbps desde cada subestación hacia el COT y CENACE, se estandariza 2 Mbps COT y 2 Mbps CENACE	0	2	2
7	Cámaras	2 Mbps por cada cámara hacia el COT (10 cámaras por Subestación), se estandariza 20 Mbps hacia Edificio Transelectric	20	0	0
8	Video conferencia	2 Mbps por cada subestación hacia el Edificio TRANSELECTRIC, se estandariza 2 Mbps hacia el COT y 2 Mbps hacia el CENACE	0	2	2
9	Registradores de falla	2 Mbps por cada subestación hacia el COT y CENACE, se estandariza 2 Mbps hacia el COT y 2 Mbps hacia el CENACE	0	2	2
0	Aplicaciones corporativas	10 Mbps por cada subestación hacia el Edificio de TRANSELECTRIC	10	0	0

Tabla 4. Detalle de la capacidad requerida por cada servicio

Con la información detallada en la tabla No. 4 se procede a realizar la matriz de tráfico para determinar las capacidades de los enlaces de línea mínimos requeridos.

En el Anexo No. 11 se realiza el análisis de tráfico de cada servicio desde cada subestación, encontrándose valores máximos de capacidad en los enlaces detallados en la Tabla No.6:

SITIO A	SITIO B	CAPACIDAD (Mbps)
Edificio TE	Santa Rosa	2068
Santa Rosa	Santo Domingo	2360
Sant Domingo	Quevedo	656
Quevedo	Pascuales	278
Pascuales	Molino	926
Molino	Riobamba	976
Riobamba	Totoras	1362
Totoras	Edificio TE	918
Molino	Milagro	444

Tabla 6. Enlaces con capacidades máximas

Dichos enlaces corresponden a enlaces que forman parte del anillo central. Los enlaces radiales a excepción de los que involucran al COT o al CENACE tienen valores relativamente menores cuyo valor no supera los 400 Mbps.

Analizando los valores obtenidos se pueden generar varias alternativas de diseño:

1. Considerar equipos de mejores características para el anillo central que incluya al menos 6 interfaces de 1 Gbps, ya que en el enlace Edificio TE – Santa Rosa la capacidad supera los 2 Gbps y que se debería tener protección de ruta.
2. Considerar equipos de mejores características para el anillo central que incluya al menos 2 interfaces de 10 Gbps para la protección de ruta.
3. Considerar equipos de más bajas prestaciones con el número necesario de puertos fastethernet de acuerdo a la capacidad de línea requerida, y su protección.
4. Considerar equipos de más bajas prestaciones con el número necesario de puertos gigabitethernet para disponer de capacidad de ampliación futura para cada subestación.
5. Realizar una mezcla entre las opciones 3 y 4 dependiendo de la capacidad, para enlaces que no superen los 100 Mbps utilizar solo puertos fastethernet

como interfaces de línea y para los que superan los 100 Mbps utilizar puertos de 1 Gbps.

De las alternativas propuestas y considerando otros factores como:

- El disponer de equipos de similares características para reducir costos de operación y mantenimiento
- Que la vida útil mínima de los equipos es de 5 años
- Que el crecimiento de las necesidades de los servicios de telecomunicaciones tiene una tendencia exponencial
- Que no existan limitaciones a futuro para cuando se requiera la ampliación de canales o servicios
- Que las adquisiciones en el sector público toman un tiempo considerable

Se ha determinado que la mejor opción para la adquisición de los equipos de la red MPLS son las alternativas 2 y 4.

En el Anexo No. 12 se presenta las subestaciones existentes, si forman parte del anillo y el número de interfaces de línea y de tributario que se requiere por cada servicio.

Todas las interfaces de 10Gbps deben disponer de SFPs Monomodo para interconectarse con los equipos OTN de CELEC EP – TRANSELECTRIC.

Y en el Anexo No. 13 se presenta un esquema general de las conexiones entre todas las subestaciones de los equipos MPLS.

Del diseño realizado se requieren 9 equipos principales para conformar el anillo principal y 41 equipos para enlaces radiales.

Para la conexión de los servicios de datos se cuentan con 24 o 48 puertos fastethernet en los cuales dependiendo de la aplicación se configurará la velocidad y la calidad de servicio.

En los centros de control y en el Edificio de TRANSELECTRIC los equipos tienen 48 puertos fastethernet ya que existen varios servicios que terminan en estas locaciones.

La idea no es realizar conexiones punto a punto para cada servicio sino más bien ir generando switches virtuales independiente para cada aplicación, de tal forma que se genere un bus de comunicación entre todas las localidades.

En el caso de la teleprotección si se deberán generar comunicaciones virtuales predefinidas para que el número de saltos dentro de la nube MPLS sea siempre dos, para asegurar de esta manera el tiempo de respuesta requerido por la aplicación. Para todos los demás servicios es suficiente una configuración adecuada de calidad de servicio e ingeniería de tráfico para lograr los tiempos de respuesta que demanda la aplicación.

En base a estas consideraciones se analizan varias alternativas tecnológicas las cuales se presentan a continuación.

5.1.11.4.4 Análisis técnico de la solución

Para realizar un análisis más próximo a los equipos existente se han analizado las propuestas técnicas que ofrecen varias marcas, entre estas CISCO, JUNIPER y HUAWEI.

5.1.11.4.5 Análisis técnico de la solución de CISCO ® [16]

CISCO® dispone de equipos MPLS cuyos modelos están dentro de la serie ASR9000, de esta serie existen una diversidad de variedades de acuerdo a los requerimientos específicos de cada aplicación. Así por ejemplo, el ASR9001 dispone de dos unidades de rack y el ASR 9922 de 44. En la figura No. 19 se pueden visualizar varios modelos de estos equipos.



Fig. 19 Tipos de equipos MPLS de la marca CISCO®

Para el diseño de la red de CELEC EP – TRANSELECTRIC se han seleccionado los modelos ASR-9010 para las subestaciones que forman parte del anillo, considerando que estos equipos tienen dos tarjetas procesadoras de alta disponibilidad, el modelo de la tarjeta procesadora es el A9K-RSP440-TR que también permite una alta capacidad en agregación de puertos de 10G hasta 100G. El ASR 9010 admite una gran flexibilidad en tarjetas de agregación de puertos, entre éstas se dispone de la A9K-MPA-20X1GE de 20 puertos de 1Gb para módulos SFP. Otros tipos de tarjetas son la A9K-MPA-2X10GE, de dos puertos de 10Gb para módulos XFP, y otra versión de esta tarjeta dispone de 4 módulos de 10Gb para módulos XFP.

Para los nodos radiales se puede contar con equipos de menor tamaño pero de igual disponibilidad por ejemplo se ASR9904 este equipo también dispone de doble procesadora y redundancia en fuente y 2 espacios para tarjetas de línea, el tipo de tarjetas que pueden ser implementadas son las mismas que para el ASR9010. Para la conexión de los puertos tributarios es necesario incluir una tarjeta de 24 o 48 puertos 10/100/1000Mbps eléctricos. Un esquema general del conexionado de los equipos utilizando equipos CISCO se muestra en la figura No. 20.

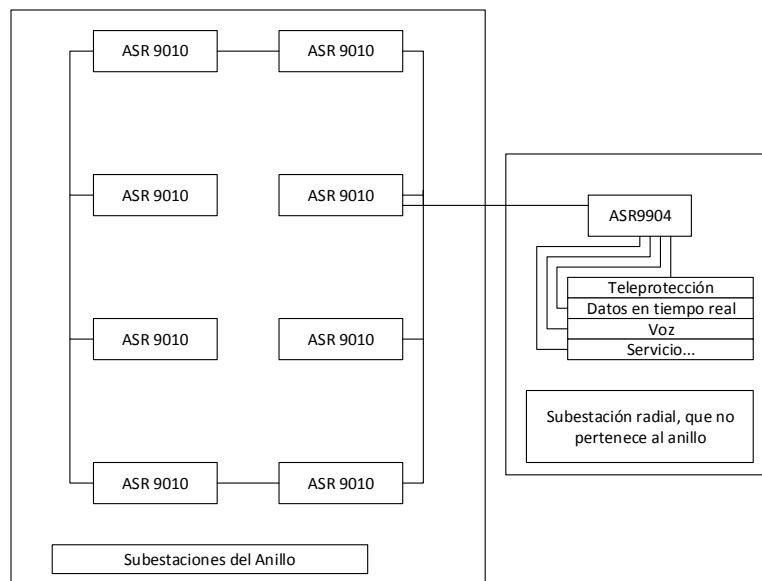


Fig. 20 Conexionado general del diseño MPLS con equipos CISCO

En relación con el sistema de gestión CISCO® cuenta con la plataforma CISCO PRIME® que es una herramienta completa de gestión con la cual se puede sustentar la operación y mantenimiento de la red.

Los elementos del sistema de gestión son Cisco Prime Network®, Cisco Prime Performance® y Cisco Prime Provisioning®. El Cisco Prime Network® permite realizar la operación de los

elementos de la red y el manejo de fallas de forma centralizada, mediante la visualización gráfica de la topología de la red, gestión de inventario centralizado de equipos, estado y reporte de fallas.

El Cisco Prime Performance® provee información sobre las estadísticas del desempeño de la red para facilitar la toma de decisiones de crecimiento y provisionamiento de nuevos servicios. El Cisco Prime Provisioning permite la automatización de provisionamiento y diagnóstico de los servicios de la red, reduciendo así los tiempos de implementación de soluciones.

5.1.11.4.6 Análisis técnico de la solución de HUAWEI®

HUAWEI® tiene igualmente varios modelos de equipos que manejan MPLS, el tipo de routers que pueden ser utilizados son los NE40E-X, exactamente el modelo NE40E-X16 el cual cuenta con 16 slots para instalar tarjetas de línea o tributario. Pueden disponer de interfaces de 20 puertos de 1G o 24 puertos de 1G, también dispone de tarjetas de 6 puertos de 10G. En las subestaciones radiales se podrán instalar modelos inferiores de esta gama como el NE40E-X8.

Para la conexión de los puertos tributarios se puede incluir tarjetas de 48 puertos 10/100/1000Mbps eléctricos en los cuales se pueden conectar los servicios.

El esquema de conexión es muy parecido al de los equipos CISCO®, contando con mayor número de puertos tributarios.

El sistema de gestión que utilizan los equipos HUAWEI® es la plataforma de gestión y administración iManager U2000®, la cual permite realizar el monitoreo de todos sus componentes y servicios en tiempo real, incluye la supervisión de los niveles de potencia, puntos de acceso al servicio, túneles de transporte, túneles de servicios, desempeño, memoria, consumo de CPU, estadísticas de tráfico por servicio, rutas y los LSP.

5.1.11.4.7 Análisis técnico de la solución de JUNIPER®

JUNIPER® cuenta con la línea MX para la provisión de redes MPLS existen varios modelos de esta gama sin embargo para el diseño de la red de CELEC EP – TRANSELECTRIC se han seleccionado los equipos MX960 y MX480.

La arquitectura de estos equipos separa los planos de control, gestión, servicios y reenvío. Y proporciona un alto rendimiento optimizado.

El modelo MX960 cuenta con 14 slots, 2 de los cuales son utilizados para funciones de control. El router MX480 dispone de 8 slot, igualmente con 2 utilizados para funciones de control.

Dentro de sus tarjetas principales cuenta con 4 puertos de 10G, y se puede incluir en este tarjetas de 10 puertos de 1G eléctricos u ópticos.

El software de gestión utilizado para estos equipos es el JUNOS. El cual permite tener una visión en tiempo real del estado de la red. El esquema de conexión es similar a la de los otros fabricantes.

5.1.11.4.8 Análisis de mejoramiento total de la solución con equipos MPLS

La solución presentada permite tener una mejora en varios aspectos de una red de telecomunicaciones, los cuales se analizan a continuación:

5.1.11.4.8.1 Disponibilidad:

La disponibilidad de un sistema depende de varios factores entre estos, el número de equipos que se incluyen en la provisión del servicio, el MTBF y MTTR.

En la solución anterior el servicio debía pasar por al menos 6 equipos intermedios en el peor de los casos, de acuerdo al esquema de la figura No. 21.

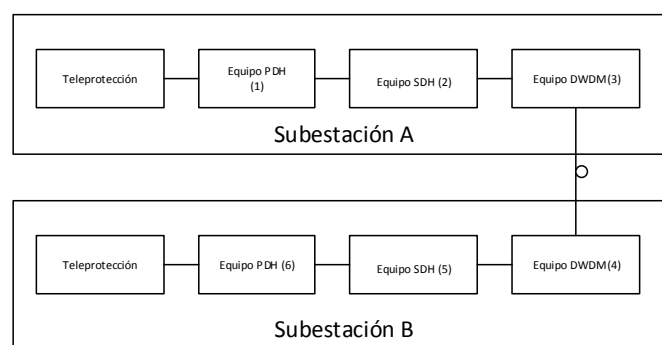


Fig. 21 Esquema de conexión actual del servicio de teleprotección

Con la implementación del diseño propuesto el número de equipos disminuye a 4, por lo que incrementa la disponibilidad notablemente.

En el caso del MTBF, es un dato que depende del fabricante, sin embargo se puede buscar equipos que dispongan de un MTBF de al menos el mismo valor que los PDH, SDH y DWDM, y

considerando que el número de equipos disminuye este factor también influye en un incremento de la disponibilidad.

El valor de MTTR depende del equipamiento, pero también del tiempo de respuesta para solucionar una falla, en este aspecto considerando que el número de equipos disminuye, se puede disponer de un mayor número de repuestos, con lo cual se determina que esto también permitirá contar con incremento en la disponibilidad de los servicios.

Para realizar un análisis cuantitativo comparativo entre las tecnologías SDH y MPLS en relación con el factor de la disponibilidad se deben considerar valores de MTBF y MTTR de los equipos, para disponer de valor global de disponibilidad del sistema.

Para la cuantificación se toman valores referenciales del MTBF y el valor del MTTR⁷ considera un valor promedio de solución de fallas de daño en equipamiento, para la red PDH y SDH el MTTR es de 6 horas, y de 3 horas para el caso de contar con la red MPLS, estos valores se obtienen de la información de los promedios de los tiempos de indisponibilidad de los servicios de telecomunicaciones, cuando la causa de estos fue un daño en el equipamiento.

En las tablas presentadas a continuación se muestran los cálculos realizados que determinan el incremento de la disponibilidad en el momento en que se cuenta con la red MPLS en lugar de la SDH y PDH.

CÁLCULO DISPONIBILIDAD RED SDH/PDH			
EQUIPO	MTBF rango (horas)	MTTR (s)	DISPONIBILIDAD (MTBF/(MTTR+MTBF))
PDH 1	100000	21600	0,99994
SDH 1	100000	21600	0,99994
OTN 1	100000	21600	0,99994
Cable de FO	43800	43200	0,99973
OTN 2	100000	21600	0,99994
SDH 2	100000	21600	0,99994
PDH 2	100000	21600	0,99994
TOTAL			0,99937
TOTAL %			99,93663

CÁLCULO DISPONIBILIDAD RED MPLS			
EQUIPO	MTBF rango (horas)	MTTR (s)	DISPONIBILIDAD (MTBF/(MTTR+MTBF))
MPLS	100000	10800	0,99997
OTN 1	100000	10800	0,99997
Cable de FO	43800	43200	0,99973
OTN 2	100000	10800	0,99997
MPLS	100000	10800	0,99997
TOTAL			0,99961
TOTAL %			99,96061

Tabla 7. Cálculo de disponibilidad redes SDH vs MPLS

5.1.11.4.8.2 Costos de Operación y Mantenimiento:

Dentro de la implementación de una nueva red MPLS se debe considerar la capacitación al personal que realizará la operación y mantenimiento, por ser una tecnología nueva, estos costos iniciales serán altos, sin embargo, posterior a la puesta en servicio, se puede determinar que los costos de O&M disminuirán, por la disminución de equipos, el requerimiento de repuestos no diversos, la capacitación del personal en menor número de tecnologías.

Para contar con un análisis cuantitativo que permita determinar la disminución de costos, se analiza inicialmente los costos de operación. Los costos de operación están relacionados con la capacitación del personal en el manejo del software de gestión de los equipos, y en los recursos de software y hardware de cada aplicación de gestión. La capacitación de un sistema de gestión considerando que el personal tiene conocimiento básico de la tecnología aplicada, toma tres semanas en promedio. También se considera que el número de profesionales que debe ser capacitado en la tecnología es de seis; cinco profesionales que trabajan en horario de turno y la correspondiente jefatura.

Para el cálculo de los recursos de software y hardware se considera el valor del software, un servidor, dos clientes. Para todos los sistemas se toma como referencia un valor promedio, ya que este depende la marca, el modelo de los servidores, etc.

En la tabla No. 8 se muestra un cálculo en el cual se considera valores referenciales para el cálculo de la Operación de las redes PDH, SDH y MPLS. No se toman en cuenta los sueldos de los profesionales, ya que estos son los mismos para los dos casos.

COSTOS DE OPERACIÓN		
CAPACITACIÓN		
VALOR POR PERSONA USD	NÚMERO DE PERSONAS	TOTAL USD
8.000,00	5,00	40.000,00
PDH Y SDH	2 CURSOS	80.000,00
MPLS	1 CURSO	40.000,00
SISTEMA DE GESTIÓN		
PDH	HARDWARE Y SOFTWARE	200.000,00
SDH	HARDWARE Y SOFTWARE	200.000,00
MPLS	HARDWARE Y SOFTWARE	200.000,00
VALOR TOTAL OPERACIÓN PDH SDH	CAPAC + GESTIÓN	480.000,00
VALOR TOTAL OPERACIÓN MPLS	CAPAC + GESTIÓN	240.000,00
AHORO CON RED MPLS		240.000,00

Tabla 8. Cálculo de costos de Operación redes PDH, SDH y MPLS

Para los costos de mantenimiento, se debe considerar la capacitación en mantenimiento de los equipos, el suministro de repuestos y la inclusión de los trabajos de mantenimiento preventivo

y correctivo de las redes. Al menos 8 ingenieros deben ser capacitados para los trabajos de mantenimiento. Los trabajos de mantenimiento preventivo se realizarán en 4 meses para el caso de las redes PDH/SDH y para el caso de las MPLS en 3 y medio, ya que lo más tiempo toma en los mantenimientos es el traslado entre una subestación a otra. Los costos de repuestos están relacionados con los valores de las redes, así por ejemplo un equipo multiplexor PDH tiene un valor promedio de USD 25000 y un SDH de USD 80000. Con estos valores se puede calcular un 10% de repuestos.

El número de mantenimientos correctivos por cada red se establece en ocho al año para cada red. El valor por mantenimiento correctivo está calculado en USD 2000 por mantenimiento.

Con estos lineamientos se procede a realizar el cálculo del costo de mantenimiento de una red PDH/SDH y una MPLS únicamente, los cuales se presentan en la tabla resumen a continuación:

CAPACITACIÓN		
VALOR POR PERSONA USD	NÚMERO DE PERSONAS	TOTAL USD
8.000,00	5,00	40.000,00
PDH Y SDH	2 CURSOS	80.000,00
MPLS	1 CURSO	40.000,00

COSTOS DE TRABAJOS DE MANTENIMIENTO		
VALOR MES 1 INGENIERO		1.800,00
VALOR MES 8 INGENIEROS		14.400,00
VALOR MANTENIMIENTO PREVENTIVO ANUAL PDH/SDH		57.600,00
VALOR MANTENIMIENTO PREVENTIVO ANUAL MPLS		50.400,00
VALOR EQUIPOS PDH	50 LUGARES	1.250.000,00
VALOR EQUIPOS SDH	50 LUGARES	4.000.000,00
VALOR REPUESTOS PDH		125.000,00
VALOR REPUESTOS SDH		400.000,00
VALOR REPUESTOS MPLS		400.000,00
VALOR MANTENIMIENTO CORRECTIVO PDH		16.000,00
VALOR MANTENIMIENTO CORRECTIVO SDH		16.000,00
VALOR MANTENIMIENTO PREVENTIVO MPLS		16.000,00

REDES	PDH/SDH	MPLS
CAPACITACIÓN	80.000,00	40.000,00
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	57.600,00	50.400,00
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	32.000,00	16.000,00
REPUESTOS	525.000,00	400.000,00
TOTAL	694.600,00	506.400,00
DIFERENCIA		188.200,00

Tabla 9. Costos de Mantenimiento de redes PDH, SDH y MPLS

Del análisis realizado se concluye que se cuenta con una disminución anual de los costos de operación y mantenimiento de al menos USD 400.000,00.

5.1.11.4.8.3 Tiempo de implementación de los servicios:

De acuerdo al diseño de red MPLS planteado, todos los servicios pueden ser conectados con el mismo tipo de interfaz, sobre una red ya configurada, por lo que bastará con realizar la conexión, realizar la configuración de la dirección IP del equipo. Si se requiere ampliar la capacidad del enlace es cuestión de cambiar un comando en los equipos y probar.

Para realizar un cálculo de disminución en los tiempos de implementación de los servicios se debe considerar cuatro tipos de habilitaciones:

1. Primera vez, se dispone de la interfaz correspondiente
2. Primera vez, no se cuenta con la interfaz habilitada
3. Se requiere ampliación de la capacidad del servicio, se cuenta con la interfaz
4. Se requiere ampliación de la capacidad del servicio, no se cuenta con la interfaz

Cada uno de los casos tiene sus particularidades que inciden en los tiempos de respuesta de implementación de los servicios, así por ejemplo, para el primer caso, si ya se cuenta con la interfaz habilitada se requiere realizar únicamente la canalización del servicio, realizar el conexiónamiento hacia los equipos del usuario y las pruebas.

Para el caso dos, junto con el trabajo realizado en el punto uno, se requiere adicionar el tiempo de traslado al sitio, instalación, pruebas de la tarjeta previo a los trabajos de canalización y las pruebas del servicio.

Para el tercer caso, solo se requiere realizar la canalización y realizar pruebas. Es en este caso que se encontraría la habilitación de los servicios MPLS.

Y en el último caso, se requiere realizar el traslado al lugar, un cambio de tarjeta, pruebas de la tarjeta, una migración del servicio y pruebas del servicio. Cabe mencionar que en este caso existe una suspensión temporal del servicio.

La diferencia sustancial entre los equipos PDH/SDH y MPLS, en que en el caso de las redes PDH/SDH dependiendo de la capacidad y el tipo de servicio se cuenta con la interfaz y se puede tener una variedad de éstas, por ejemplo para el caso de un equipo PDH se puede tener interfaces: E1, G.703.1, G.703.6, FXS, FXO, E&M, DB-25, DB-39, Winchester, etc. Para el caso de las SDH se tienen E1, STM-1, STM-4, DS-3, Fastethernet, Gigabitethernet, etc. Para cada interfaz en las redes PDH/SDH se tiene una capacidad máxima de transmisión, así por ejemplo para el caso de una red WAN que inicia con 1 E1, si se requiere ampliar la capacidad a una superior a 2 Mbps, se deberá cambiar la interfaz a un DS-3, Fastethernet o STM-1, dependiendo de la disponibilidad de recursos y los puertos de los equipos del clientes al cual se podría conectar. En cambio para las redes MPLS se cuenta únicamente con interfaces Fastethernet o Gigabitethernet, sobre las cuales se puede configurar la capacidad que se requiera e ir ampliando la misma solo con configuración remota. Si bien las redes NG-SDH

cuentan con interfaces Fastethernet sobre las cuales se puede ir canalizando capacidades de 2 Mbps de paso, el costo de éstas es mucho más alto que el disponer de 1 Switch con 24 puertos.

En la tabla No. 10 presentada a continuación se muestra una comparación de los tiempos de habilitación de los servicios de las 4 opciones de implementación descritas, los tiempos utilizados para los cálculos son valores promedio de estas actividades, en varios casos éstos pueden ser menores o mayores dependiendo de la dificultad y problemas que se presenten en cada caso:

CASO 1		Se dispone de la interfaz					
Tiempos	Canalización	Conexionamiento	Pruebas				Total
Horas	0,17	1	1				2,17
CASO 2		Primera vez, no se cuenta con la interfaz habilitada					
Tiempos	Traslado	Instalación	Pruebas tarjeta	Conexionamiento	Canalización	Pruebas del servicio	
Horas	1	1	1	1	0,17	1	5,17
CASO 3		Se requiere ampliación de la capacidad del servicio, se cuenta con la interfaz					
Tiempos	Canalización	Pruebas					
Horas	0,17	1					1,17
CASO 4		Se requiere ampliación de la capacidad del servicio, no se cuenta con la interfaz					
Tiempo	Traslado	Cambio de tarjeta	Conexionado	Pruebas de tarjeta	Migración de Servicio	Pruebas de servicio	
Horas	1	1	1	1	0,5	1	5,5

Tabla 10. Tiempos de implementación de Servicios de telecomunicaciones

De la tabla presentada se puede determinar que el menor tiempo de implementación se tiene cuando en el caso 3 que es el que corresponde a la utilización de la red MPLS. Por lo que se determina la habilitación de una red MPLS permitirá reducir drásticamente el tiempo de habilitación de los servicios, esta reducción de tiempo se evidencia más claramente cuando la implementación de un nuevo servicio requiere un cambio de interfaz.

5.1.12 Presupuesto referencial

Para la implementación de la red MPLS se han analizado valores de equipos de similares características, se ha incluido en este presupuesto los valores de capacitación, instalación, pruebas, configuración, repuestos y gestión. Considerando todos estos ítems y teniendo en cuenta valores totalmente referenciales, se determinó que el presupuesto mínimo para la implementación de esta red es de USD 5.000.0000, 00. En el Anexo No. 14 se muestra el presupuesto de forma detallada.

Si comparamos los costos de implementación de una red PDH con una MPLS y de una SDH con una MPLS, considerando valores referenciales podemos concluir que una red MPLS es más costosa que una PDH y que una SDH. Sin embargo, si se toma en cuenta que los servicios de

telecomunicaciones para el sector eléctrico no pueden habilitarse solo con la red SDH o PDH se debe sumar los costos de las dos tecnologías, para compararlos con los de la red MPLS, en este sentido se puede evidenciar que es más conveniente habilitar una red MPLS, que las SDH y PDH juntas.

El análisis depende mucho de la marca y calidad de los equipos a ser adquiridos y sus resultados podrían ser diferentes si se comparan equipos de diferentes procedencias y estándares de calidad en su fabricación.

Así mismo, existe mucha diferencias en los costos de los equipos dependiendo del tipo de contratación que se aplique, en varios casos los precios de los equipos cuyo proceso de compra fue una licitación, son muy altos en comparación con los que resultan de realizar una subasta o negociación.

6 Conclusiones

- *La tecnología PDH y SDH han sido altamente utilizadas para el envío de información durante varias décadas, sin embargo la dificultad de manipular la capacidad, la calidad de servicio, y otras características ha hecho que el mercados de las telecomunicaciones y actualmente los de energía busquen una alternativa que optimice recursos, esto se logra con las redes MPLS.*
- *El análisis realizado permite determinar que las redes MPLS pueden ser utilizadas para la transmisión de todos los servicios de telecomunicaciones requeridos en una Subestación, sin disminuir la confiabilidad, disponibilidad y tiempo de respuesta.*
- *La implementación del diseño de red MPLS planteado en el presente trabajo, en las Subestaciones y dependencias del sector eléctrico, permitirá disminuir los costos de operación y mantenimiento, así como un incremento en la disponibilidad de los servicios, y una disminución en los tiempos de implementación de los mismos.*
- *La solución planteada permitirá la habilitación de todos los servicios requeridos actualmente desde todas las subestaciones de CELEC EP – TRANSELECTRIC y contará con reservas en puertos y en capacidad para que los requerimientos urgentes puedan ser atendidos a tiempo sin necesidad de gastos adicionales.*
- *Existe todavía una incertidumbre si MPLS será totalmente aplicada como tecnología de transmisión de los servicios de telecomunicaciones para el sector eléctrico, pero se*

espera que con el conocimiento del funcionamiento y la reducción en costos que esta tecnología permite se vaya implementando cada vez más esta solución a nivel mundial.

- En todo caso el servicio más delicado que es el de teleprotección puede mantenerse en su ruta principal con una conexión directa a un par de hilos de fibra óptica y el canal redundante puede ir a través de una conexión con la red MPLS, el ahorro de dos hilos de fibra óptica en un enlace saturado es de mucha ayuda.

7 Recomendaciones

- El caso de estudio no busca realizar un análisis profundo de la tecnología MPLS y sus diferentes variantes, es recomendable realizar una comparación entre utilizar la tecnología IP/MPLS y la MPLS-TP para el servicio de teleprotección.
- Considerando los lineamientos del gobierno en relación a una unificación de los sectores de distribución, transmisión y generación, se debería realizar un análisis global que incluya todos estos sectores y se forme una red global que no implique gastos sectorizados.
- La implementación de esta solución conlleva también a retirar equipos en funcionamiento, se debe realizar un análisis a nivel general de cómo se pueden reutilizar los mismos, no necesariamente en el mismo sector eléctrico, sino más bien en otros, como el educacional o en implementación de soluciones a nivel rural.

Bibliografía:

- [1] <http://www.tgcable.com/manager/Public/UserPhoto/UploadFiles/20130408/1304080454e4955.pdf>
- [2] ITU-T G.652 (2003), *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*, Suiza
- [3] ITU-T G.655 (2009), *Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable*, Suiza.
- [4] Herrera E. (2003), *Tecnologías y redes de transmisión de datos*, México: Limusa.
- [5] ABB, (2009), *FOX512 Technical Description FOX Platform Release R8*, ABB Switzerland Ltd.: Baden, Suiza.
- [6] Rodríguez G. (2010) *Implementación del Sistema de Comunicación vía fibra óptica en la red eléctrica*, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica: México.
- [7] Capmany J. (2006), *Redes ópticas*, Editorial de la UPV: Valencia, España.
- [8] <https://comunicacionsopticas.files.wordpress.com/2007/10/wdm.docx>

- [9] Alzate D. (2011), *Retos en la transmisión de 40/100Gb/s sobre fibra óptica*, Revista en *Telecomunicaciones e Informática*: Medellín, Colombia
- [10]<http://sx-de-tx.wikispaces.com/DWDM+y+CWDM>
- [11]<http://www.ghipsystems.com/Download/DWDM-stdwavelengths.pdf>
- [12]dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4169349.pdf
- [13]repositorio.utn.edu.ec/bitstream/.../4/04%20RED%20025%20TESIS.pdf
- [14]http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/212/LUNA_JAVIER_MEDICION_ANALISIS_TRAFICO_REDES_MPLS.pdf?sequence=2
- [15]<http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11909/PFC%20VPLS-Pablo%20Sesmero.pdf?sequence=1>
- [16]http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/asr-9000-series-aggregation-services-routers/data_sheet_c78-501767.html
- [17]<http://www.tgcable.com/manager/Public/UserPhoto/UploadFiles/20130408/1304080454e4955.pdf>

Referencias:

- ¹ Moya Aracely (2004). Estudio para la implementación de un Sistema de Manejo de Información Técnica para Operación y Mantenimiento de Subestaciones de TRANSELECTRIC SA. *Tesis para la obtención de Ingeniero Eléctrico*, Capítulo I.
- ² Información proporcionada por personal de la Subgerencia de Servicios de CELEC EP – TRANSELECTRIC
- ³ <http://www.energia.gob.ec/el-ministerio/>
- ⁴ <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1372&l=1>
- ⁵ http://www.cenace.org.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=34
- ⁶https://www.hcenergia.com/recursos/doc/Colaboradores/Proveedores/Electricidad/Ingenieria/1477982188_31122008123125.pdf
- ⁷http://cs.nju.edu.cn/wangxiaoliang/dc2013_files/readingList/reliability/network%20failures.pdf

Anexos: