

XXIII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ESTUDIO PARA LA INTEGRACIÓN DE LA TÉCNICA DE MULTIPLEXACIÓN DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) DENTRO DE UN ENLACE QUITO – GUAYAQUIL QUE UTILICE SDH COMO TÉCNICA DE TRANSMISIÓN PARA UNA MEDIANA EMPRESA PORTADORA.

Caizaluisa Palma Jorge Luis, Ing
Director: Ing. Carlos Herrera
Escuela Politécnica Nacional

Resumen. –

El proyecto estudia un enlace de fibra óptica, de una mediana empresa portadora, al cual se integrará las técnicas de multiplexación DWDM y SDH, con la finalidad de que SDH pueda ser transportada sobre DWDM, y de esta forma seguir usando una infraestructura que está actualmente en funcionamiento.

Se realiza un estudio de la red actual, plasmando un esquemático de la ruta de la fibra óptica en el cual conste la ubicación de los nodos, se especifican las ciudades que se encuentran dentro del trayecto y el ancho de banda consumido por cada ciudad, con esta información se obtiene la capacidad actual del Backbone y se hace una proyección del tráfico estimada en unos 10 años.

Por último se propone un diseño de la nueva red DWDM y se realiza un plan de integración de equipos.

Abstract. —

The project studied a fiber optic link, of a medium company carrier, which will integrate techniques of multiplexing DWDM and SDH, so that it can be transported SDH over DWDM, and so continue using an infrastructure that is currently operation.

It realizes a study of the network, capturing a schematic of the optical fiber path in which to show the location of the nodes, is specified the cities that are within the route and the bandwidth consumed by each city, with this information is obtained the backbone capacity and realize a projection of traffic estimated at 10 years.

Finally is proposed a design of the new DWDM network and is realized a plan for the integration of equipment.

1 COMPONENTES DE UNA RED DWDM.

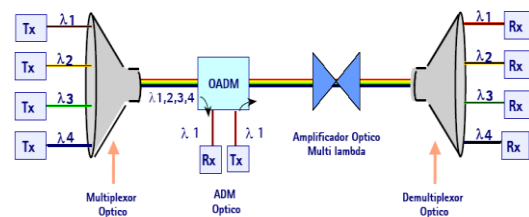


Figura 1 Componentes de un enlace DWDM.

1.1 FIBRA ÓPTICA.

La función principal de las fibras ópticas es guiar ondas luminosas con un mínimo de atenuación, está compuesta principalmente por un núcleo (core) y un revestimiento (cladding), que pueden transmitir la luz aproximadamente a 2/3 de la velocidad de luz en el vacío.

1.2 FUENTES Y DETECTORES DE LUZ.

Las fuentes y detectores de luz son dispositivos activos que están opuestos extremo a extremo en un sistema de transmisión óptica, estos dispositivos activos convierten las señales eléctricas en pulsos de luz y viceversa.

1.3 MULTIPLEXORES Y DEMULTIPLEXORES WDM.

Un multiplexor toma longitudes de ondas ópticas de las fibras múltiples y los converge en un solo medio. Los demultiplexores separan los componentes de la luz en sus componentes de longitud de onda y acoplándolos a las fibras individualmente.

XXIII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

1.4 MULTIPLEXOR ÓPTICO DE INSERCIÓN Y EXTRACCIÓN (OADM).

Un multiplexor óptico de inserción y extracción (OADM), es un dispositivo que permite en puntos intermedios entre los extremos de un enlace DWDM, quitar e insertar una o más longitudes de onda de una gama de longitudes de onda, dejando que el resto de longitudes de onda no extraídas pasen directamente.

1.5 AMPLIFICADOR ÓPTICO EDFA.

Un amplificador EDFA consta de algunos metros de fibra óptica que ha sido dopada internamente con átomos de Erblio (Er). Una señal óptica en un enlace de fibra, junto con una luz adicional de una bomba láser chocan, producto de este proceso resulta la amplificación. La bomba laser es diseñada para estimular los iones del erbio y modificar la señal de datos.

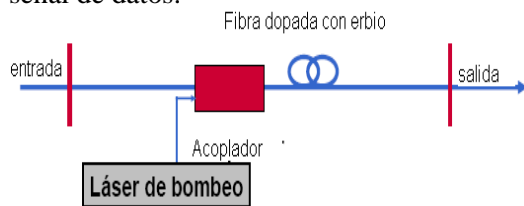


Figura 2 EDFA.¹

2. RED ACTUAL

La red de fibra óptica actual consta de dos enlaces Quito – Guayaquil (principal y redundante). El recorrido de fibra óptica del enlace principal es por la costa, vía Santo Domingo, las principales ciudades por las cuales la fibra óptica pasa son: Quito, Santo Domingo de los Colorados, Quevedo, Babahoyo, Milagro y Guayaquil. El enlace redundante Quito – Guayaquil vía Cuenca pasa por las ciudades de Latacunga, Ambato, Riobamba y Cuenca. El tendido de ambos trayectos es aéreo. Consta de dos tecnologías de transmisión, SDH para la ruta por la Costa y Gigabit Ethernet para la ruta por la Sierra.

¹ SAAVEDRA Fideromo, OLIVARES Ricardo, Proyecto Fondef DOO11026: Fibra óptica para internet del futuro, Sistemas de transmisión WDM.pdf, 2004.

En el backbone todavía hay enlaces de radio, éstos fueron los primeros enlaces que conectaron las ciudades de Quito y Guayaquil, y se han mantenido desde su instalación.

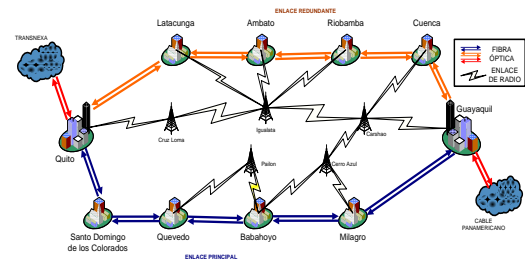


Figura 3 Red Actual.²

2.1 FIBRA ÓPTICA INSTALADA

Corresponde a la recomendación G.655, este tipo es usado para la transmisión en la tercera ventana, 1550nm, en esta ventana la dispersión es casi nula, esto ayuda a transmitir a mayores distancia y a altas velocidades.

² LLUMIQUINGA GUAYASAMIN Dany Santiago, MULLO AIMACAÑA Christian David, "Análisis y Diseño del sistema redundante de F.O. Quito-Guayaquil para la red TELCONET S.A.

XXIII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR
Atenuación		
Atenuación a 1550 nm	dB/Km	≤0.35
Atenuación a 1625 nm	dB/Km	≤0.4
Dispersión cromática		
Dispersión cromática entre 1530 y 1565 nm	ps/nm.Km	1,0 a 10,0 (típico 8 a 1550nm)
Dispersión cromática entre 1565 y 1625 nm	ps/nm.Km	7.5 a 13.4 (típico 12 a 1625nm)
Longitud de onda de dispersión nula	nm	≤1425
Medidas Físicas		
Diámetro del campo modal a 1550 nm	μm	9.2±0.5
Diámetro de la cubierta	μm	125±1
No circularidad de la cubierta	%	≤1
Error de concentricidad núcleo/cubierta a 1550 nm	μm	≤0.6
Valores típicos		
Índice de refracción a 1550 nm		1.4692
Longitud de onda de corte	nm	1450

Tabla 1 Características de la fibra óptica monomodo de dispersión desplazada no nula.³

2.2 ESQUEMÁTICO DE UN ENLACE QUITO – GUAYAQUIL

En el presente Proyecto enfocará el enlace Quito – Guayaquil vía Santo Domingo, el cual permitirá establecer los parámetros necesarios para realizar la integración.

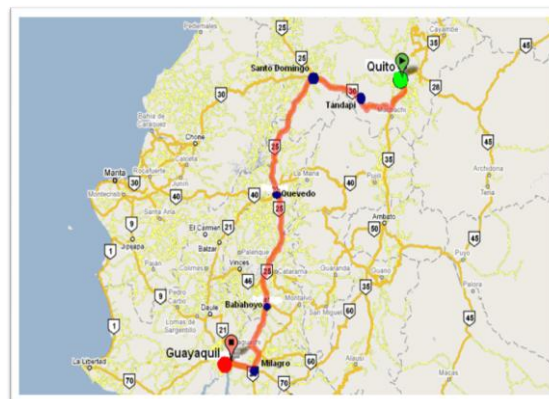


Figura 4 Recorrido de la fibra óptica, Quito – Guayaquil, ruta Santo Domingo.

Dentro de la ruta de fibra óptica se encuentran en total 7 nodos SDH, los cuales constan en la tabla 2.

Nodo	Provincia	Ciudad
Quito	Pichincha	Quito
Tandapi	Pichincha	Tandapi
Santo Domingo	Santo Domingo de los Tsáchilas	Santo Domingo de los Colorados
Quevedo	Los Ríos	Quevedo
Babahoyo	Los Ríos	Babahoyo
Milagro	Guayas	Milagro
Guayaquil	Guayas	Guayaquil

Tabla 2 Ubicación de nodos SDH dentro del enlace Quito – Guayaquil, vía Santo Domingo.

3. PROYECCIÓN DE TRÁFICO.

3.1 CONSUMO 2008.

A continuación el resumen de los consumos de ancho de banda de cada ciudad en el 2008.

³ Recomendación UIT-T G.655, Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula

XXIII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Ciudad	AB (Mbps)
Quito	300,28
Santo Domingo	41,34
Quevedo	40,96
Babahoyo	19,84
Milagro	40,45
Latacunga	4,22
Ambato	39,04
Riobamba	40,32
Cuenca	70,32
Guayaquil	704,34

Tabla 3 Resumen de consumos de ancho de banda.⁴

Con los datos descritos en la tabla 3, se puede estimar la capacidad de la red por la costa,

$$\begin{aligned}
 AB_{COSTA} &= AB_{QUITO} + AB_{GUAYAQUIL} + \\
 &AB_{SANTODOMINGO} + AB_{QUEVEDO} + \\
 &AB_{BABAHOYO} + AB_{MILAGRO} \\
 AB_{COSTA} &= [300.28 + 704.34 + 41.34 + \\
 &40.96 + 19.84 + 40.45]Mbps \\
 AB_{COSTA} &= 1147.21Mbps
 \end{aligned}$$

De igual forma para el enlace de fibra óptica vía Cuenca,

$$\begin{aligned}
 AB_{SIERRA} &= AB_{LATACUNGA} + AB_{AMBATO} + \\
 &AB_{RIOBAMBA} + AB_{CUENCA} \\
 AB_{SIERRA} &= [4.22 + 39.04 + 40.32 + \\
 &70.32]Mbps \\
 AB_{SIERRA} &= 153.90Mbps
 \end{aligned}$$

En caso de que falle el enlace por la Sierra, todo el tráfico de este enlace debe pasar por la red SDH, entonces el cálculo de todo el consumo será la suma de los ancho de banda de la Sierra y de la Costa;

Así tenemos la siguiente ecuación,

$$AB_{TOTAL} = AB_{SIERRA} + AB_{COSTA}$$

reemplazando los datos,

$$AB_{TOTAL} = 153.90Mbps + 1147.21Mbps$$

⁴ <http://nmsbackbone2.uio.telconet.net>

como resultado tenemos:

$$AB_{TOTAL} = 1301.11Mbps$$

Y este valor del AB TOTAL, vendría a ser la capacidad actual del backbone, a la cual opera la red SDH en la actualidad.

3.2 PROYECCIÓN DE TRÁFICO.

De acuerdo a datos estadísticos proporcionados por la mediana empresa, que relacionan el consumo de ancho de banda anual, se indica como creció el consumo de ancho de banda en forma general en los últimos años.

AÑOS	CONSUMO DE ANCHO DE BANDA (Mbps)	LÍMITE DE CAPACIDAD (Mbps)	ÍNDICE DE CRECIMIENTO /AÑO
2006	546,31	1000	
2007	655,30	1000	19,95%
2008	1301,11	10000	98.55%

Tabla 4 Consumo de ancho de banda desde el 2006 hasta el 2008⁵.

Una vez conocido los datos necesarios, procederemos a estimar en base a esta información, el índice o tasa de crecimiento y los valores de AB que se estarían manejando en unos 10 años a futuro.

Utilizaremos la ecuación de crecimiento geométrico.⁶

$$C_{final} = C_{inicial}(1 + x)^n$$

Donde:

C_{final} → Capacidad al final de n años

$C_{inicial}$ → Capacidad inicial o referencial

x → Índice de crecimiento anual del servicios de telecomunicaciones

n → Tiempo en años

Para encontrar la tasa de crecimiento geométrico, usaremos la ecuación anterior. Este índice añade un incremento al final de cada año, con una proporción fija al valor de inicio de cada año.

Tenemos la ecuación;

⁵ <http://nmsbackbone2.uio.telconet.net>

⁶ LLUMIQUINGA GUAYASAMIN Dany Santiago, MULLO AIMACAÑA Christian David, "Análisis y Diseño del sistema redundante de F.O. Quito-Guayaquil para la red TELCONET S.A., Tesis EPN, Pág. 104

XXIII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

$$C_{final} = C_{inicial}(1 + x)^n$$

En la tabla 4, contamos con los valores de ancho de banda de los últimos tres años, al 2008, contando con los valores al principio y final de un período.

Si x (tasa de crecimiento) es desconocido, resulta evidente que de la ecuación anterior despejando, tenemos;

$$x = \left(\frac{C_{final}}{C_{inicial}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Por lo que reemplazando estos valores tenemos

$$x = \left(\frac{1301.11}{546.31} \right)^{\frac{1}{2}} - 1$$

$$x = 0.5433$$

Como resultado tenemos que el índice de crecimiento anual es del 54.33%.

Tenemos que la máxima capacidad que soportan los equipos es de 10Gbps y que la capacidad consumida en el 2008 es de 1.30111 Gbps. Si consideramos las condiciones ya presentadas, podemos calcular el tiempo en el cual el backbone se saturará.

Una vez esclarecido el escenario, podemos formular la ecuación:

$$10Gbps = 1.30111Gbps(1 + 0.5433)^n$$

Donde;

$$n = 4.69 \text{ años}$$

Esto quiere decir que si se mantendría el índice de crecimiento en 54.33% anual, en 4.69 años, el backbone podría saturarse

Con el valor del índice de crecimiento calculado anteriormente, la capacidad inicial ($C_{inicial}$) al 2008 y n es el período de años a proyectarse, podemos ahora calcular la proyección a n años.

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$C_{final} = 1.30111(1 + 0.5433)^n \text{ [Gbps]}$$

En la tabla 5 se indica los valores de AB que se presentaría en los próximos años, según un índice de crecimiento producto de la demanda de ancho de banda estimada en unos 54.33 % anuales, y también se muestra la capacidad permitida cada año, según la técnica empleada en sus equipos, incluyendo DWDM como una solución.

AÑOS	CONSUMO DE ANCHO DE BANDA (Gbps)	LIMITE DE CAPACIDAD (Gbps)	ÍNDICE DE CRECIMIENTO
2008	1,30	10Gbps (SDH)	
2009	2,01	10Gbps (SDH)	54,33%
2010	3,10	10Gbps (SDH)	54,33%
2011	4,78	10Gbps (SDH)	54,33%
2012	7,38	10Gbps (SDH)	54,33%
2013	11,39	>10Gbps (DWDM)	54,33%
2014	17,58	>10Gbps (DWDM)	54,33%
2015	27,13	>10Gbps (DWDM)	54,33%
2016	41,87	>10Gbps (DWDM)	54,33%
2017	64,62	>10Gbps (DWDM)	54,33%
2018	99,73	>10Gbps (DWDM)	54,33%

Tabla 5 Proyección de ancho de banda desde el 2008 hasta el 2018.

4. DISEÑO DE LA NUEVA RED DWDM E INTEGRACIÓN CON UNA RED SDH.

4.1 DISPONIBILIDAD DE FIBRAS

El cable de fibras, contiene 12 hilos de fibra óptica monomodo, de los 12 hilos, se están usando 2 para la conexión SDH, 2 para la conexión Gigabit Ethernet que conectan ciudades próximas a los nodos SDH, quedándonos 8 hilos disponibles, que podrían ser usados como respaldo de los hilos anteriores y como fibra oscura.

Algo que debemos tener en cuenta, es que una vez integrado los equipos DWDM y después de haber migrado los equipos hacia el canal DWDM, vamos a poder recuperar varios de los hilos de fibra óptica antes utilizados.

Para la conexión DWDM al igual que las anteriores requiere de dos hilos para la conexión principal y dos para protección.

4.2 UBICACIÓN DE LOS NODOS

Para lograr la completa integración de la red SDH con DWDM, se necesita tener el mismo número de nodos que la red anterior, esto se justifica, porque para integrar todos los equipos SDH, se necesita ubicar los nuevos

XXIII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

equipos DWDM en todos los nodos donde exista un equipos SDH.

SEGMENTO	LONGITUD DE LA FIBRA ÓPTICA (Km.)
Quito – Tandapi	49
Tandapi - Santo Domingo	63
Santo Domingo – Quevedo	100
Quevedo – Babahoyo	103
Babahoyo – Milagro	40
Milagro – Guayaquil	33
TOTAL	388

Tabla 6 Distancia entre nodos por la costa.

No olvidemos que existe otro cable de fibra óptica que conecta Quito con Guayaquil por la región Sierra. Este cable servirá para de alguna manera tener un tipo de protección para el sistema DWDM, en caso de fallas (corte de fibra) en la región Costa.

SEGMENTO	LONGITUD DE LA FIBRA ÓPTICA (Km.)
Quito – Ambato	159
Ambato – Riobamba	73
Riobamba – Zhud	153
Zhud – Cuenca	98
Cuenca - Santa Isabel	82
Santa Isabel - Machala	99
Machala – Naranjal	79
Naranjal – Guayaquil	112
TOTAL	855

Tabla 7 Distancia entre nodos por la sierra.

En la ciudad de Cuenca se ubicará un repetidor ya que la distancia máxima entre repetidores es de 640 Km.⁷

⁷ Redes Ópticas : SDH / WDM, curso de actualización, Recopilación y Redacción, Ing. Msc. Fabián Corral C., Abril 2009

4.3 CARACTERÍSTICA DE PROTECCIÓN

La confiabilidad del enlace DWDM, debe permitir circular todo el tráfico del enlace vía Costa en caso de cortes, por la fibra vía Sierra. Para lograrlo se utiliza el protocolo OSPF (Open Shortest Path First), el cual se encarga de dar a cada nodo una visión completa de la topología de la red. En caso de fallo de algún enlace, OSPF restaura el servicio por un camino alternativo. Por ejemplo, en la Figura 5, tenemos conectados 6 nodos, con topología en anillo, enlazados con dos hilos, uno como enlace activo y otro de reserva, en caso de fallas de un enlace, éste conmuta hacia la ruta alternativa.

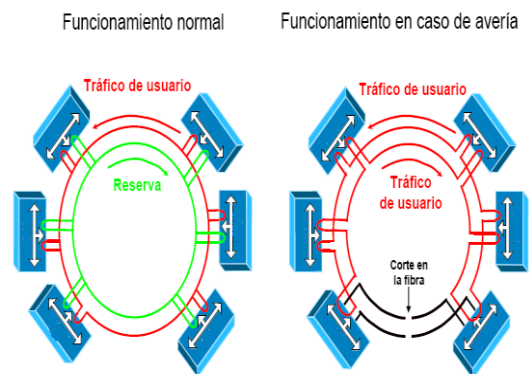


Figura 5 Funcionamiento de OSPF.

4.4 ADMINISTRACIÓN

El Sistema tiene una administración completamente local a través de un PC y una interface RS-232. Por medio del canal de supervisión óptico, se tiene una administración remota, que permite la comunicación entre los elementos de red vecinos. De igual forma se puede tener una administración centralizada, en cualquiera de los puntos terminales sea en Quito o Guayaquil.

4.5 FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO

Los factores más importantes a considerarse en el diseño de un enlace de fibra óptica son:

La atenuación, y la dispersión

Por lo que a continuación se realizará el cálculo de cada uno de estos factores.

La **Atenuación** es la pérdida de potencia que sufre la señal en el trayecto de un enlace, de la

XXIII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

atenuación depende que tan lejos podemos llegar con la fibra óptica.

Para su cálculo usaremos la siguiente ecuación:

$$A_{enlace}(dB) = L * \alpha + N * \alpha_e + M$$

Donde:

- A_{enlace} Atenuación del enlace en dB
- L Longitud del enlace en kilómetros (Km)
- α Atenuación del cable en dB/Km
- α_e Atenuación por empalme en dB
- N Número de empalmes
- M Margen de seguridad en dB

Considerando los datos de la tabla 6 y 7, se puede obtener la longitud que tiene cada enlace.

El número de empalmes se calcula dividiendo la longitud del enlace para la longitud de cada bobina, a éste resultado se suma 1, porque se debe considerar los empalmes que se hacen en cada extremo del enlace. El número total de empalmes es un número entero, de no serlo se aproxima el número al inmediato superior. En la tabla 8 se indica el resumen del cálculo de atenuación para el enlace Quito – Tandapi.

Parámetro	
Distancia	49 Km
Atenuación de la fibra óptica	0,25 dB/Km
Atenuación de cada empalme	0,1 dB
Número de empalmes	14
Margen de seguridad	3 dB
ATENUACION DEL ENLACE	17,6 dB

Tabla 8 Atenuación enlace Quito – Tandapi.

A continuación se presenta un resumen de todas las ciudades.

ENLACE	ATENUACIÓN (dB)
Quito – Tandapi	17.6
Tandapi – Santo Domingo	20.4
Santo Domingo – Quevedo	30.6
Quevedo – Babahoyo	31.4
Babahoyo – Milagro	14.1
Milagro – Guayaquil	11.2
Guayaquil - Naranjal	33.9
Naranjal – Machala	24.8
Machala – Santa Isabel	30.3
Santa Isabel – Cuenca	25.7
Cuenca – Zhud	30.1
Zhud – Riobamba	45.2
Riobamba – Ambato	23.2
Ambato – Quito	46.8

Tabla 9 Resumen de Atenuaciones.

La **Dispersión total cromática** se refiere a la máxima dispersión que se puede tolerar en una distancia límite.

Una fuente de luz, emite varias longitudes de onda dentro de un rango. Así, cuando este rango de longitudes de ondas viaja a través de un medio, cada longitud de onda individual llega en tiempos diferentes.

La mayoría de equipos tolera un máximo de 12800 (ps/nm). De la recomendación de la UIT-T G 655, tenemos que por lo general el coeficiente de dispersión es de 6 ps/nm.Km. Por lo que:

$$L_{\text{limitedisersión}}(Km) = \frac{12800(ps / nm)}{6(ps / nm.Km)}$$

$$L_{\text{limitedisersión}}(Km) = 2133Km$$

El resultado nos dice que para distancias superiores a 2133.33 Km, necesitaremos un módulo compensador de dispersión (DCM).

4.6 ASIGNACIÓN DE LONGITUDES DE ONDA

Para poder realizar la asignación de canales, se toma en cuenta la recomendación UIT-T G.694.1.

En la Tabla 10, se indica el número de canales que se usarían para los servicios de transmisión de datos y de Internet:

XXIII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

λ (nm)	Capacidad	Técnica	Servicio
1563.86	STM-64	SDH	DATOS
1563.05	STM-64	SDH	DATOS
1562.23	STM-64	SDH	DATOS
1561.42	STM-64	SDH	DATOS
1560.61	STM-64	SDH	DATOS
1559.79	STM-64	SDH	DATOS
1558.98	1Gbps	GE	DATOS
1558.17	1Gbps	GE	DATOS
1557.36	1Gbps	GE	DATOS
1556.55	1Gbps	GE	DATOS
1555.75	1Gbps	GE	DATOS
1554.94	1Gbps	GE	DATOS
1554.13	STM-64	LIBRES	DATOS
1553.33	STM-64	LIBRES	DATOS
1552.52	STM-64	LIBRES	DATOS
1551.72	STM-64	LIBRES	DATOS
1550.92	STM-64	LIBRES	DATOS
1550.12	STM-64	LIBRES	DATOS
1549.32	1Gbps	LIBRES	DATOS
1548.51	1Gbps	LIBRES	DATOS
1547.72	1Gbps	LIBRES	DATOS
1546.92	1Gbps	LIBRES	DATOS
1546.12	1Gbps	LIBRES	DATOS
1545.32	1Gbps	LIBRES	DATOS
1544.53	1Gbps	LIBRES	DATOS
1543.73	1Gbps	GE	INTERNET
1542.94	1Gbps	GE	INTERNET
1542.14	1Gbps	GE	INTERNET
1541.35	1Gbps	GE	INTERNET
1540.56	1Gbps	GE	INTERNET
1539.77	1Gbps	GE	INTERNET
1538.98	STM-64	LIBRES	INTERNET
1538.19	STM-64	LIBRES	INTERNET
1537.40	STM-64	LIBRES	INTERNET
1536.61	STM-64	LIBRES	INTERNET
1535.82	STM-64	LIBRES	INTERNET
1535.04	STM-64	LIBRES	INTERNET
1534.25	STM-64	LIBRES	INTERNET
1533.47	STM-64	LIBRES	INTERNET

Tabla 10 Asignación de longitudes de ondas.

4.7 DESCRIPCIÓN DE NODOS

La red DWDM a la cual se va integrar la tecnología SDH, consta principalmente de equipos como:

- Laseres emisores
- Fotodetectores
- Multiplexores/Demultiplexores Ópticos (MUX/DEMUX)
- Amplificadores Ópticos (AO)
- Multiplexores Ópticos de Inserción/Extracción (OADM)

Nodo Quito y Nodo Guayaquil.- Éstos son los nodos terminales, los cuales se integran a la red SDH, usando los siguientes equipos:

- Interfaces ópticas, láseres y fotodetectores.
- Un Multiplexor/Demultiplexor óptico,
- Un amplificador óptico para amplificar la señal multiplexada o demultiplexada.

Adicionalmente ubicaremos un equipo central de monitoreo en el nodo Quito.

La infraestructura anterior tiene ciertos equipos de la antigua red con tecnología SDH, rack de comunicación completamente equipado, ODFs para los puntos terminales de la fibra, equipos de respaldo eléctrico, equipos de control de temperatura (aire acondicionado).

Nodo Cuenca.- A éste Nodo se le ubicará un repetidor, el mismo que tendrá que regenerar a la señal óptica, recordemos que la distancia que recorre la fibra óptica por la Sierra supera los 640 Km permitidos entre equipos terminales o regeneradores.

Nodo Santo Domingo, Nodo Quevedo, Nodo Babahoyo y Nodo Milagro.- Éstos nodos integran la tecnología SDH con DWDM, usando: multiplexores ópticos de inserción y extracción (OADM), en el cual se conecta el equipo SDH, con las interfaces ópticas, disponibles en cada OADM. Los OADMs tienen en su interior amplificadores ópticos, con la función de amplificar la señal multiplexada o demultiplexada. Transmitidas hacia nodos vecinos.

XXIII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Nodo Tandapi, Nodo Latacunga, Nodo Ambato, Nodo Riobamba, Nodo Zhud, Nodo Santa Isabel, Nodo Machala y Nodo Naranjal.- Estos Nodos servirán para ubicar amplificadores ópticos EDFA, con los cuales se podrá amplificar la señal, y poder dar la ganancia necesaria para que pueda ser transmitida en el gran anillo.

4.8 DIAGRAMA DE RED

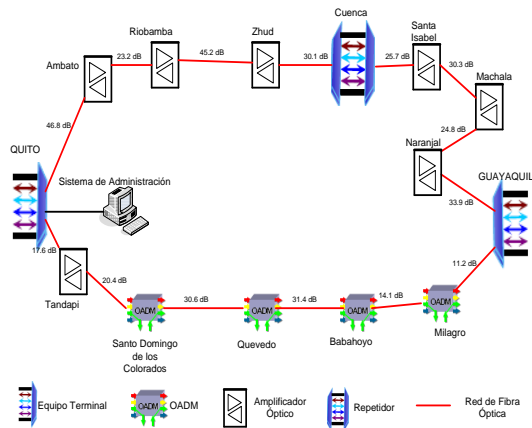


Figura 6 Red de Fibra Óptica con tecnología DWDM.

4.9 PLAN DE INTEGRACIÓN

Los Equipos deberán ubicarse en las mismas instalaciones donde se encuentran los equipos SDH. El equipo de gestión deberá ubicarse en un lugar cerca de los equipos DWDM, que se ubicarán en Quito.

Una vez instalados los equipos DWDM e integrados los equipos SDH, se debe hacer algunas mediciones, entre las principales están la atenuación, nivel de potencia, relación señal a ruido óptico (OSNR) y la tasa de error (BER). Para lo cual se usará el canal óptico de supervisión y equipos como un Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR), el analizador de espectros ópticos (OSA), un medidor de potencia. Y un analizador de tasa de error.

CONCLUSIONES

El desarrollo de las redes ópticas depende del uso de técnicas que permitan hacer herencia de infraestructuras de fibras ya instaladas, por tal razón este tipo de multiplexación óptica DWDM es una solución para explotar la capacidad de la fibra óptica.

La tecnología DWDM, es capaz de llevar a cabo muchas operaciones en la capa física, el hecho de asignar una longitud de onda y transmitirla simultáneamente con otras sin que éstas se interrumpan, califica a DWDM como una tecnología de gran rendimiento frente a otros tipos de multiplexación.

Los amplificadores ópticos, en sistemas DWDM, son una parte fundamental en las transmisiones de larga distancia, estos equipos reducen el uso de regeneradores eléctricos.

La tecnología DWDM da una solución de gran capacidad a los requisitos de banda ancha que están por venir y la tecnología SDH proporciona la sincronización adecuada de los datos, garantizando calidad y entrega de datos.

Para que se pueda hacer uso de la máxima capacidad de los equipos SDH, DWDM da una solución para el transporte, las longitudes de onda reemplazan a los hilos de fibra óptica que necesita los equipos SDH para transmitir la información.

La tecnología DWDM permite a proveedores de servicios, transmitir tráfico en cualquier formato, esta propiedad resalta la flexibilidad de la multiplexación en aceptar cualquier tipo de datos, ya sea provenientes de equipos SDH, IP, Ethernet y más, esta característica permite ofrecer servicios de banda ancha, a cualquier empresa que requiera el transporte de información.

Para una mediana empresa portadora, que tenga tendido de fibra óptica que conecte ciudades, y requiera ampliar su capacidad, además de la fibra óptica necesita la tecnología capaz de explotar este medio, con DWDM puede logra alcanzar los límites de capacidad deseados.

DWDM permite tener muchas longitudes de onda disponibles sobre un mismo hilo de fibra, esto permite ofrecer no una fibra oscura sino una longitud de onda capaz de llevar una comunicación entre las ciudades de Quito y Guayaquil.

El uso de multiplexores ópticos de inserción y extracción (OADM), dentro de un enlace permite a la mediana empresa administrar las

XXIII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

longitudes de onda, de tal forma que se las pueda extraer, modificarlas y volverlas a insertar en el medio óptico, estos equipos permiten a nuestro proyecto dar una conexión a ciudades que se encuentran dentro del enlace Quito- Guayaquil.

Se debe tener en consideración el tipo de fibra óptica instalado, ya sea de la recomendación UIT-T G.652, G.653 o G.655, pues sobre esta fibra se va a llevar a cabo el transporte de las longitudes de onda, depende del tipo de fibra el uso de equipos que reduzcan los efectos de no linealidades, dispersión y ruido óptico,

RECOMENDACIONES

Es muy importante tener en cuenta los nodos que involucran el funcionamiento de la red antigua, pues en estos nodos se van integrar los equipos DWDM.

Al lograr una completa integración, estaremos explotando al máximo el recurso de DWDM, haciendo uso de fibras anteriores sin necesidad de reducir el número de hilos disponibles que pueden servir para cualquier expansión de red y cualquier aplicación.

Se debe tener bien claro el tipo de fibra usado, para de esta manera realizar una investigación y conocer características que distinguen a los tipos de fibra, una vez conocido estos parámetros se debe investigar que equipos son compatibles con la fibra en cuestión, de esta forma se puede ayudar a tener óptimos resultados del sistema.

El monitoreo constante de la red es un factor primordial para el rendimiento de DWDM, con equipos como un analizador de espectro óptico y un OTDR, podemos llevar a cabo lecturas tanto de fallos de conexión, atenuación, niveles de OSNR y dispersión, que nos da información de que tan bien está respondiendo una longitud de onda, previendo así posibles malos funcionamientos y dar periódicamente mantenimientos para tener un sistema totalmente confiable.

Se recomienda tener un mecanismo que permitan dar confianza a los cliente, para lo cual la protección tanto por fibra como por longitud de onda es primordial en una integración.

Como una última recomendación está el hecho de contar con el personal totalmente capacitado en esta tecnología, para de esta forma poder lograr la explotación y mantenimiento del recurso óptico, tanto en equipos como en restauración de enlaces en caso de fallos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

1. ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.
2. GUMASTE, Ashwin; ANTHONY, Tony, DWDM Network Designs and Engineering, solutions, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2002.
3. ELSENPETE Robert C., VELTE Toby J., Optical Networking: A Beginner`s Guide, McGraw-Hill, EE. UU. 2002
4. HERRERA, Enrique, Introducción a las Telecomunicaciones Modernas, 4ta Edición, Editorial Limusa, Mexico DF, 2003.
5. MARTIN, José, Sistemas y Redes Ópticas de Comunicaciones, Prentice Hall, España, 2004
6. STALLINGS, William, Comunicaciones y redes de computadores, 6ta. Edición,
7. Prentice Hall, 2000.

FOLLETOS

8. FUERTES, Walter, Folleto: Diseño de redes de fibra óptica, CEC, 2004.
9. SAAVEDRA Fideromo, OLIVARES Ricardo, Proyecto Fondef DOO11026: Fibra óptica para internet del futuro, Sistemas de transmisión WDM.pdf
10. RODRIGUEZ, Yurisay, "Fibra óptica".
11. TUTORIAL DWDM, Fujitsu, Noviembre 15, 2002

XXIII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PAGINAS DE INTERNET

12. <http://www.digitalengineeringlibrary.com>, Optical Communications Essentials, McGraw-Hill, EE.UU. 2004.
13. <http://nmsbackbone2.uio.telconet.net/>
14. www.acterna.com, ACTERNA, "Dense Wavelength Division Multiplexing Pocket Guide".
15. BTWSA, "WDM. Multiplexación por división de onda".
16. www.fujitsu.com/downloads/TEL/fnc/pdf/services/dwdm-prerequisite.pdf, FUJITSU, "Prerequisite Training, Tutorial DWDM".
17. <http://www.idg.es/comunicaciones/articulo.asp?id=130589>
18. <http://huawei.com/es/catalog.do?id=561>
19. <http://www.alactel-lucent.com/>
20. <http://www.nortel.com>
21. <http://www.idg.es/comunicaciones/articulo.asp?id=130589>
22. <http://www.cybertesis.uach.cl/tesis/uach/tesis/uach/2006/bmfcig216a/doc/bnfcig216a.pdf>

TESIS

23. FUERTES RIVERA Pablo Segundo, "Estudio y diseño de un backbone de fibra óptica para un carrier con tecnología DWDM y soporte GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching)
24. LLUMIQUINGA GUAYASAMIN Dany Santiago, MULLO AIMACAÑA Christian David, "Análisis y Diseño del sistema redundante de F.O. Quito-Guayaquil para la red TELCONET S.A.

BIOGRAFÍAS:

Ing. Jorge Luis Caizaluisa Palma.

Nació el 6 de Diciembre de 1981 en la ciudad de El Carmen, Manabí. Los estudios primarios los realizó en la escuela de hermanos maristas "PIO XII".

Los estudios secundarios los realizó en el Colegio Nacional Técnico "Julio Moreno Espinosa" donde obtuvo el título de Bachiller en Ciencias especialización Físico Matemático.

Posteriormente obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la "Escuela Politécnica Nacional" en Julio del 2009.

Ing. Carlos Herrera Muñoz.

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. EPN 1999
Postgrado en Conectividad y Redes de Telecomunicaciones. EPN 2002
Instructor CCNP, CCNA, CCAI
Cursos de Capacitación en USA, México, Brasil, Argentina y Colombia
Profesor de la Facultad (desde 1990 hasta la fecha)
Jefe de Laboratorio de Informática (Enero 2000 hasta la fecha)
Miembro del Consejo de Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información (2005-2007 y 2007-2009)
Consejero de la Rama Estudiantil IEEE – Comunicaciones (2008 hasta la fecha)
Jefe del Laboratorio de Sistemas Digitales (1995 – 1999)
Subdecano Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (junio 2010 hasta la fecha)