

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE ACCESO EPON (*ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK*) PARA SERVICIOS TRIPLE-PLAY (VIDEO, DATOS Y VOZ) PARA EL SECTOR DE “LA MARISCAL”

Ayala S. Yolanda y Jiménez J. María

Escuela Politécnica Nacional
Quito-Ecuador

Resumen— Las ventajas de la fibra han impulsado el desarrollo de redes ópticas produciendo un abaratamiento de los componentes y han invertido en la implementación de estructuras más efectivas como las pasivas (ej. EPON).

Tras estudiar la teoría de las redes EPON se realizó el análisis de mercado, previo al diseño, para determinar la situación actual y la proyección de las tecnologías en el sector.

El diseño está en función de los requerimientos mencionados considerando las características estandarizadas en la norma. La red tiene la capacidad de soportar 230 ONUs (usuarios corporativos y residenciales). Para los usuarios corporativos se utilizó FTTO, ya que la ONU correspondiente llegó hasta la oficina del cliente, mientras que para los residenciales se trabajó con FTTB porque su ONU llega hasta el edificio de departamentos para satisfacer a todos ellos.

Usando el software Optisystem, se simuló el trabajo de una tarjeta OLT (64 ONUs) para probar conceptos como presupuesto de potencia, espectros de emisión a las longitudes de onda, TDMA, entre otros.

Finalmente se presentan los costos necesarios para la implementación activa y pasiva del sistema. El costo presentado es la inversión referencial inicial para la construcción de la red en el sector escogido.

I. INTRODUCCIÓN A LAS REDES ÓPTICAS PASIVAS

La tecnología EPON forma parte de la nueva generación de redes de acceso mejor conocida

Documento recibido el 20 de Junio de 2011. Este proyecto se realizó en la Escuela Politécnica Nacional (EPN), en el Departamento de Electrónica y Redes de la Información (DETRI).

Y. P. Ayala participó en el proyecto por la Escuela Politécnica Nacional (e-mail: yoly_pao@hotmail.com).

M. S. Jiménez. Profesora a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional en el Departamento de Electrónica y Redes de la Información (e-mail: sjimenez@mailfie.epn.edu.ec).

por sus siglas en inglés NGN (Next Generation Network) ya que logra la congruencia de los nuevos servicios multimedia (voz, datos, video). Dicha tecnología tiene un notable éxito en países asiáticos como Corea del Sur, Japón, Taiwán y China. También su presencia se ve desplegada en Estados Unidos.

II. ESTANDARIZACIÓN

EFM (*Ethernet First Mile*) es el grupo de estudio formado por la IEEE¹ que se focalizó en llevar Ethernet al lazo local del suscriptor, considerando los requerimientos de las redes de acceso comerciales y residenciales.

El estándar para EPON es IEEE 802.3ah que define:

- La topología del acceso del abonado.
- Las especificaciones de la capa física – definición de la PHY (capa física), los protocolos y la PMD (capa dependiente del medio físico) de la conexión.
- Las OAM (operaciones, administración y mantenimiento) comunes de la EFM.

III. CANALES DE TRANSMISIÓN EN EPON

El estándar IEEE 802.3 convencional define dos tipos de operación:

- La red Ethernet es desarrollada sobre un medio compartido usando protocolo CSMA/CD.
- Las estaciones de la red pueden ser conectadas a través de un conmutador usando enlaces punto a punto full-dúplex.

La capa de acceso al medio puede operar en uno de los dos modos, mientras que las propiedades del medio EPON mencionan que no se debe utilizar un modo o el otro, es más utilizada una lógica de acceso al medio diferente.

¹ IEEE.- *Institute of Electrical and Electronic Engineers*. Es una asociación técnico – profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas.

En el enlace descendente se usa la conectividad de un medio compartido y en el enlace ascendente se utiliza un medio punto a punto.

A. Transmisión downstream

Los paquetes son transmitidos, desde la OLT a través de uno o varios divisores ópticos 1 x N, en forma de *broadcast* hacia las ONUs las que selectivamente extraen los paquetes que le corresponden para entregar a los usuarios, como se puede ver en la figura siguiente.

El número de splitters ópticos que se utilicen pueden ser desde 4 hasta 64, todo bajo las limitaciones que dé el power budget.

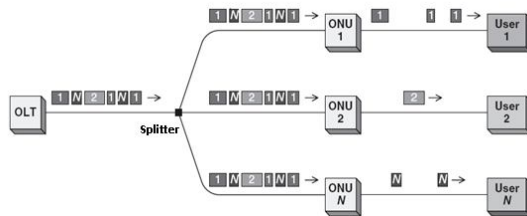


Figura 1 Transmisión downstream en EPON

A. Transmisión upstream

En el enlace ascendente cualquier ONU tratará de comunicarse únicamente con la OLT, no a otras ONUs, lo que hace que se asemeje a una arquitectura punto a punto. Sin embargo a diferencia de una red punto a punto real, en EPON, todas las ONUs pertenecen a un solo dominio de colisión lo que podría permitir que los paquetes de datos colisionen; para resolver este problema es necesario tener un mecanismo de arbitraje.

Estos mecanismos se basan en TDMA (no en CSMA/CD como es habitual en 802.3), a cada ONU se le asigna un slot de tiempo en el que puede transmitir sus paquetes, siendo ésta una solución centralizada porque todas las ONUs deben estar sincronizadas con un tiempo de referencia. Cada slot de tiempo es determinado por la distancia que tiene la ONU con la OLT, es decir, que cada unidad óptica transmitirá en un slot diferente. En la Fig. 1.25 muestra cómo cada ONU tiene su propio espacio de tiempo en el canal ascendente.

Las ONUs deben tener un búfer para almacenar las tramas que serán transmitidas en el slot de tiempo correspondiente, si no hay tramas en el búfer para completar el slot de

tiempo, se transmiten caracteres libres como marca.

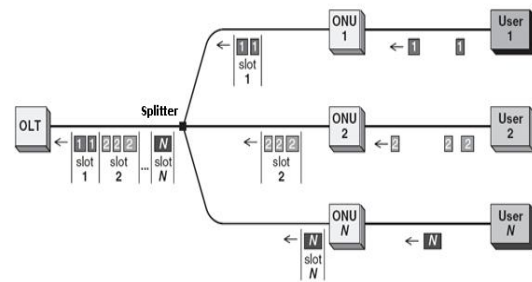


Figura 2 Transmisión upstream en EPON

IV. PROCESOS IMPORTANTES EN EPON

A. Autodescubrimiento de ONU

Este proceso permite el registro e ingreso de una ONU a la red después del encendido de la misma. La OLT asigna una MAC virtual y los LLIDs para las ONUs.

Durante el auto - descubrimiento se intercambia el tiempo de sincronización que es requerido por la OLT después de recibir un burst de datos, para almacenar el reloj de la ONU e identificar los diferentes niveles de potencia de cada una de las ONUs para realizar posteriormente AGC.

Para el auto - descubrimiento, la OLT envía periódicamente tramas GATE. Se reserva un espacio de tiempo en el cual la ONU debe responder con un mensaje REGISTER REQUEST tras esperar un retardo aleatorio. Al recibir la OLT esta última trama asigna a la ONU un LLID y envía nuevamente una trama GATE para iniciar el proceso de ranging. Previamente se envió una trama REGISTER a la cual la ONU responde con un mensaje de REGISTER ACK.

Durante el auto - descubrimiento, varias ONUs pueden intentar registrarse al mismo tiempo, a lo que el mecanismo de contención resuelve el problema poniendo el retardo aleatorio del que se habló anteriormente.

B. Ranging

La figura siguiente muestra el proceso de ranqueo donde cada ONU recibe un mensaje GATE de la OLT, a lo que la unidad de red

responde con una trama REPORT en su slot de tiempo específico.

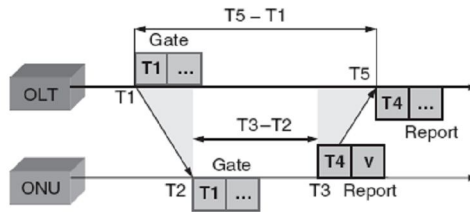


Figura 3 Ranqueo en una red EPON

El proceso de ranqueo sirve para medir el tiempo que se tarda una trama GATE en llegar a la ONU sumado al tiempo que se tarda en llegar a la OLT un mensaje REPORT, sin considerar el tiempo de procesamiento en la ONU.

Para medir este tiempo, conocido como RTT (Round Trip Time), la OLT envía un mensaje GATE con una marca de tiempo T1 que representa el tiempo absoluto, como muestra la Fig. 1.29. La ONU recibe este mensaje en un tiempo T2 después del retraso de la transmisión y resetea su timer a T1. Después del retardo por procesamiento, la ONU envía un mensaje REPORT a un tiempo T3, con una marca de tiempo T4 cuyo valor es igual a T1+T3-T2. La OLT recibe este mensaje a un tiempo absoluto T5. El valor medido puede ser simplificado con el siguiente análisis.

Si:

$$T4 - T1 = T3 - T2$$

y

$$RTT = T5 - T1 - (T3 - T2)$$

Entonces se tiene que:

$$RTT = T5 - T1 - (T4 - T1)$$

$$RTT = T5 - T1 - T4 + T1$$

$$RTT = T5 - T4$$

Con este análisis la OLT puede especificar los slots de tiempo en los que las ONUs transmitirán.

C. Asignación de ancho de banda

Para la asignación del ancho de banda es necesario realizar previamente el proceso de ranging descrito. Cabe mencionar que en el siguiente mensaje GATE que se envía posteriormente al proceso de ranging, se

incluye el tiempo de inicio de la transmisión y la longitud de la ventana de tiempo que se determina a la ONU. Estos valores son decididos por el agente DBA (Dinamic Bandwidth Assignment).

Se puede trabajar en EPON con dos modelos de asignación de ventana, un slot de tiempo fijo utilizando solamente TDM o una determinación dinámica utilizando además el algoritmo DBA.

V. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Los potenciales clientes se muestran en las tablas siguientes.

BANCOS	
Institución	Número de sucursales
Banco del Pichincha	6
Banco del Pacífico	3
Banco de Guayaquil	2
Produbanco	2
Banco Promérica	2
Banco Internacional	1
COFIEC	1
Banco Bolivariano	2
Mutualista Pichincha	1
Banco Territorial	1
Banco del Bank	1
Cooperativa San Francisco de Asís	1
Cooperativa 29 de Octubre	1
TOTAL	24

Tabla 1 Potenciales clientes – Instituciones bancarias

CENTROS DE HOSPEDAJE	
Hoteles 5 estrellas	3
Hoteles 4 estrellas	12

Hoteles 3 estrellas	4
Hoteles 2 estrellas	3
TOTAL	22

Tabla 2 Potenciales clientes – Centros de hospedaje

<u>CENTROS EJECUTIVOS</u>	
Embajadas	2
Edificios empresariales	23
Centros comerciales	1
TOTAL	26

Tabla 3 Potenciales clientes – Centros ejecutivos

<u>CENTROS EDUCATIVOS</u>	
Universidades	4
Colegios	5
Institutos	2
TOTAL	11

Tabla 4 Potenciales clientes – Centros educativos

<u>EDIFICIOS RESIDENCIALES</u>	
Edificio Altos del Girón	1
Edificio Los lares	1
Edificio La nueva castellana	1
Edificio Tuncahuan	1
Edificio Swiss Plaza	1
Edificio Almont	1
TOTAL	6

Tabla 5 Potenciales clientes – Edificios Residenciales

A. Establecimiento de requerimientos y proyecciones

Se realizó un estudio de mercado tomando en cuenta una muestra de los usuarios descritos en el numeral anterior y mediante el uso de las estadísticas se determinó la viabilidad del proyecto. Adicionalmente las encuestas que se realizaron dieron el punto de

partida para el diseño de la red EPON, permitiendo conocer el porcentaje de clientes que adoptarían la tecnología y la capacidad del enlace a contratar por cada uno de ellos.

De los ochenta y nueve clientes potenciales, el 83% adoptaría un sistema EPON que le ofrezca servicios triple play, según los resultados de las encuestas realizadas a cuarenta y seis clientes (valor de la muestra).

Además del porcentaje de clientes arrojado por el estudio de mercado, fue necesario dimensionar la red para que soporte un crecimiento a un tiempo determinado que fue de 5 años.

Para saber la capacidad que los usuarios van a requerir se tomó la calculada en función de los servicios que contratarían. Este modelo de análisis se lo hizo para el 83% de los clientes encuestados, mientras que para los clientes que resultan de la proyección y los no considerados de los clientes potenciales, se ofrecerá una capacidad promedio de 15 Mbps, valor que fue obtenido de la promediación de los valores arrojados por las encuestas. Se tomaron en cuenta solamente los valores del enlace de bajada, ya que la capacidad que EPON ofrece es simétrica, es decir, el mismo valor para el canal ascendente y descendente.

Utilizando la ecuación $clientes_t = clientes_0 e^{0,2267t}$, se determinó la proyección a los 5 años preestablecidos. Para tal efecto, se usó el 83% de los potenciales clientes como valor en el tiempo $t=0$, entonces se tiene:

VI. DISEÑO

A. Sectorización

Utilizando el número de clientes totales proyectados (230 clientes) y el área total del diseño (0.83 Km²) se calculó la densidad de usuarios por m² lo que sirvió para determinar el número de usuarios por zona. En la figura siguiente se indican las zonas y sus usuarios.



Figura 4 Sectorización del área de diseño

B. Niveles de división

Para determinar los niveles de división se calculó el valor máximo que la OLT ofrecería a un usuario si ésta trabajara con 64 ONUs (valor máximo que soporta EPON). Esta velocidad de transmisión máxima para cada cliente sería igual a 15.625 Mbps, valor obtenido de la división de la capacidad nominal en EPON para las 64 ONUs.

Utilizando este valor máximo por cliente y el número de usuarios se verificó que cada OLT soporte un máximo de 64 ONUs y no sobrepase los 1000 Mbps (capacidad máxima en EPON por OLT).

En la tabla siguiente se indica esta relación por zona y los cambios realizados para que la OLT soporte lo requerido.

Zona	# calc. ONUs	# sug. ONUs	Capacidad calculada	Capacidad sugerida	OLT
A	40	40	596 Mbps	596 Mbps	OLT 1
B	36	35	534 Mbps	519 Mbps	OLT 2
G	29	29	443 Mbps	443 Mbps	
C	31	31	486 Mbps	486 Mbps	OLT 3
F	36	33	543 Mbps	498 Mbps	
D	28	28	403 Mbps	403 Mbps	OLT 4
E	30	30	456 Mbps	456 Mbps	

Tabla 6 Límites de capacidad y usuarios por OLT

Considerando los valores de atenuación de los splitters se decidió que la división debe ser con dos niveles ya que tan solo consume 20 dB a diferencia de las demás combinaciones de splitters que tienen pérdidas superiores a los 21.3 dB.

C. Tendido del cable

Se escogió como alternativa de instalación, la aérea, ya que representa menores costos de implementación y está dentro de los reglamentos vigentes de telecomunicaciones del Ecuador. Tras esta decisión se hizo indispensable el definir la alternativa de cable, la cual recayó en la elección del cable ADSS porque su simplicidad de instalación permite reducir los tiempos de puesta en marcha de la infraestructura de red, además que su utilización evita el instalar tierras. Este cable es ampliamente utilizado en vanos urbanos.

Adicionalmente tras decidir utilizar el cable ADSS es necesario definir si será cable concéntrico o figura en 8. Comparando los características principales se escogió el cable ADSS concéntrico porque es de fácil instalación, fácil mantenimiento y posee mayor resistencia a daños.

D. Determinación de equipos pasivos y accesorios

En los cuadros siguientes se describen los equipos pasivos y accesorios que se requieren por nivel de división y las características que éstos deben tener.

Ítem	Cantidad	Equipo	Requerimientos
1	1	ODF ²	Mínimo 6 puertos
2	4	Patch cords de un hilo de fibra	Fibra monomodo G.652.D Conector SC/APC Longitud de 3 m

² ODF (Optical Distribution Frame): usado para el empalme de cables de fibra, distribución, terminación, conexión de patchcords, almacenamiento y manejo de la fibra, todo en una unidad

3	4	Pigtails de un hilo de fibra	Fibra monomodo G.652.D Conector SC/APC Longitud de 1 m
4	8	Conectores	Para fibra monomodo Tipo SC/APC

Tabla 7 Materiales para la oficina central

Ítem	Cantidad	Equipo	Características
1	830 m	Fibra monomodo de 3 hilos	ADSS concéntrico <i>Stranded Loose Tube</i> Norma G.652.D
2	48	Herrajes preformados ³ (61)	Para cable ADSS De paso o suspensión
3	4	Cajas de empalme	3 puertos

Tabla 8 Materiales para el backbone óptico

Ítem	Cantidad	Equipo	Características
1	36	<i>Splitters</i> pasivos	Razón de división 1:8 Tecnología planar Atenuación máxima 10 dB
2	16200 m	Fibra monomodo de 2 hilos	ADSS concéntrico Norma G.652.D
3	2700	Tensores plásticos ⁴	Sin características especiales

³ Herrajes preformados: herrajes constituidos por láminas metálicas reviradas, cuya función es sujetar al cable.

Tabla 9 Materiales para la red óptica de distribución

La red fue diseñada para un pronóstico a 5 años, pero se adquirirían los equipos ONU solamente para el 60% de los clientes, caso contrario resultaría un gasto inicial no requerido, ya que no todos los usuarios pronosticados requerirán el servicio desde el momento de la implementación de la red.

Entonces los únicos equipos necesarios para esta sección son 138 ONUs que son requeridas en el apartado siguiente, junto con sus respectivas características.

E. Determinación de equipos activos

En la tabla siguiente se determinan las características que deben tener los equipos activos para la red diseñada.

Ítem	#	Equipo	Características básicas a cumplir
1	4	Tarjetas OLT EPON	Estándar IEEE 802.3ah Operación para datos downstream a 1490 nm Operación para datos upstream a 1310 nm Soporte FEC para divisiones de 64 ONUs Con 2 o más puertos Gigabit Ethernet Soporte para calidad de servicio Interfaces para trabajo con fibra G.652.D Montable en chasis Manejo de la frecuencia a nivel nacional (60 Hz) Voltaje de 110 Vac
2	138	Equipos ONU EPON	Estándar IEEE 802.3ah 1 puerto EPON 1 puerto RJ-45 para redes que operan a 10/100/1000 Mbps

⁴ Tensores plásticos: Elementos de plástico que actúan como grapas para sujetar al cable.

			Del mismo fabricante que la OLT.
--	--	--	----------------------------------

Tabla 10 Requerimientos mínimos de los equipos activos

VII. PRESUPUESTO DE POTENCIA

Utilizando la figura siguiente se calculó el presupuesto de potencia para todos los tramos de la red diseñada. Cabe mencionar que además de considerar los puntos indicados en la figura se deben calcular el número de empalmes que se deben realizar a lo largo del trayecto de fibra.

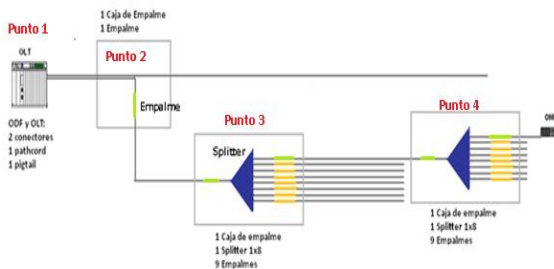


Figura 5 Puntos de atenuación del sistema

Para verificar que la red cumple con las condiciones de potencia para los casos extremos (ONU más lejano y ONU más cercano) se utiliza la siguiente ecuación.

$$Valor_{sup} \geq P_{Tx} - a_{total} + G \geq Sensibilidad_{Rx} + margen\ de\ seguridad$$

Todas las OLTs y sus casos extremos cumplen con esta ecuación lo cual indica que el diseño está bien realizado.

VIII. SIMULACIÓN

Para la simulación se utilizó la alternativa que ofrece el software para crear subsistemas y módulos para la creación de equipos específicos como la OLT y la ONU, como se indica en la figura siguiente.

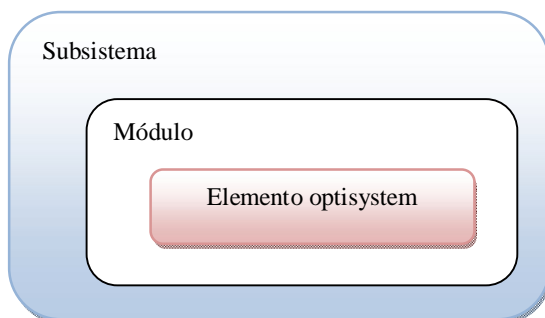
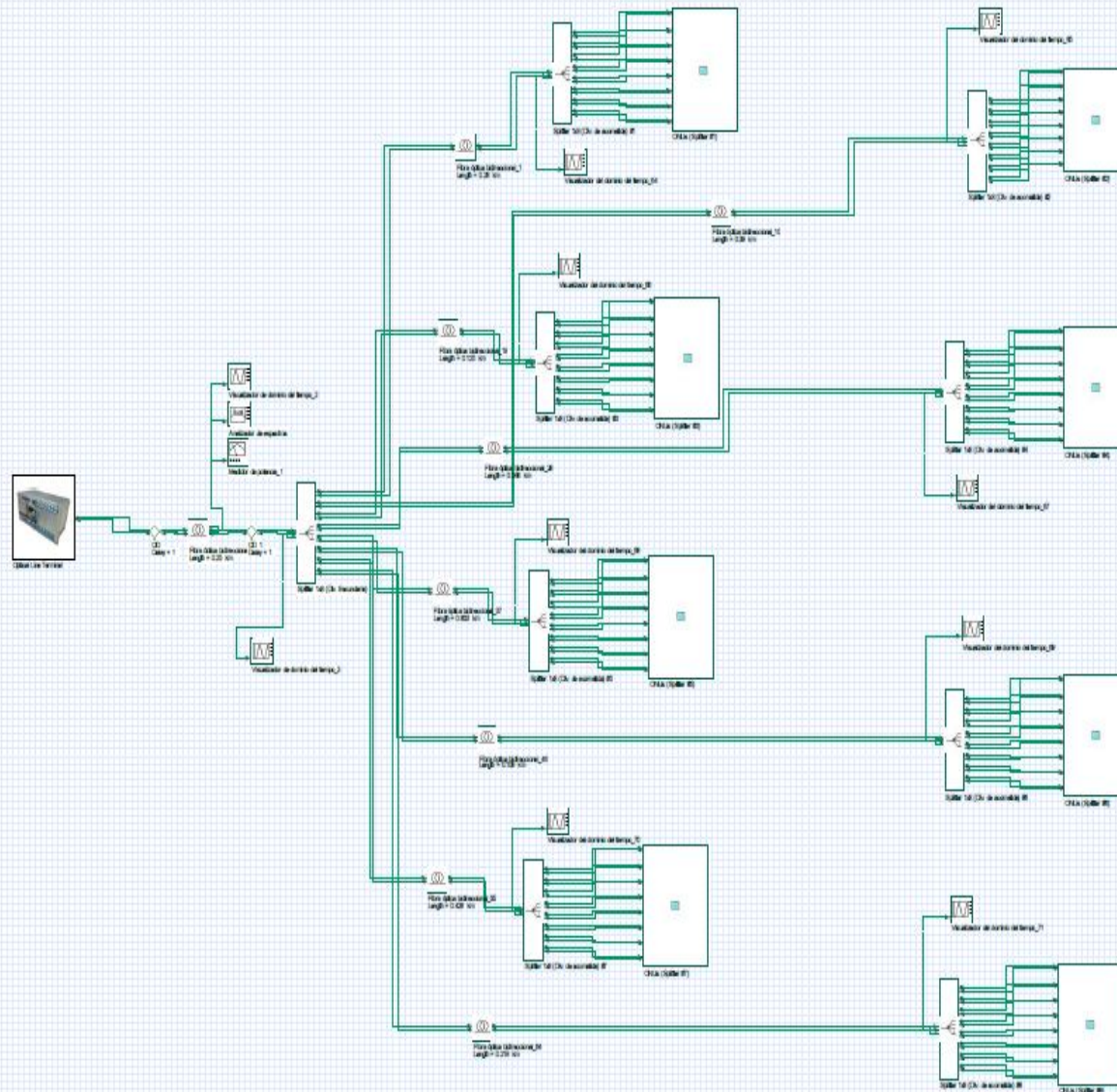


Figura 6 Estructura de subsistema

Tras la creación de los subsistemas se obtiene el esquema general que se presenta a continuación y con el cual se corroboraron los resultados obtenidos en el diseño, como por ejemplo, el presupuesto de potencia.

Enlace upstream

- Características estándar:
Velocidad de transmisión = 1 Gbps
Código de línea = 8B10B
- Características simulación:
Velocidad de transmisión = 1.25 Gbps
Código de línea = NRZ
- Longitud de onda = 1550 nm



Enlace downstream

- Características estándar:
Velocidad de transmisión = 1 Gbps
Código de línea = 8B10B
- Características simulación:
Velocidad de transmisión = 1.25 Gbps
Código de línea = NRZ
- Longitud de onda = 1550 nm

IX. COSTOS

Tras el escogimiento de los equipos y accesorios necesarios se determina que El costo mínimo referencial total que se requeriría para la adquisición de los elementos pasivos de la red sería de \$ 66421,11 sin IVA. Cabe mencionar que en este análisis no se consideró la instalación de la fibra, gastos por mano de obra, gastos administrativos y demás.

Como se puede apreciar la inversión en equipos es significativamente alto. En total se requeriría como mínimo un capital de \$ 508534.91, sin considerar los impuestos que genere la adquisición de todos los elementos para el sistema.

Los costos de arrendamiento de los postes de la red eléctrica no se incluyeron en el costo referencial, ya que el costo depende del proyecto a implementar, tiempo de operación y empresa que va a realizar la instalación.

Para que el proyecto pueda ser analizado y posteriormente aprobado, un ejemplar del mismo debe ser presentado a la Dirección de Distribución de la Empresa Eléctrica Quito ubicada en el Edificio Álvarez entre las avenidas 10 de Agosto y Cuero y Caicedo, dirigido al Ing. Roberto Aguirre.

REFERENCIAS

GREEN Paul. Fiberto the home: The New Empowerment. Primera edición. New Jersey: Wiley-Interscience publication, 2006.

MAIER, Martin. Optical Switching Networks. Primera edición. s.l. : Cambridge University Press, 2008.

KRAMER, Glen. Professional Ethernet Optical Passive Networks. Primera edición. s.l. : McGraw-Hill, 2005.

María Soledad Jiménez



Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional (EPN) Actualmente es docente de la EPN, en el Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información.

Yolanda Ayala Santacruz



Nació en Quito el 25 de Febrero de 1986. Realizó sus estudios en la Unidad Educativa Experimental "Manuela Cañizares" y los finalizó en el año 2004. En 2004 ingresó a la Escuela Politécnica Nacional; actualmente se encuentra culminando su carrera en Ingeniería Electrónica y Redes de la Información.