

PRUEBA N°2: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN REDES ÓPTICAS

Manosalvas Dayanna, Zuña Bryan
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Escuela Politécnica Nacional
REDES DE COMUNICACIONES ÓPTICAS

dayanna.manosalvas@epn.edu.ec bryan.zuna@epn.edu.ec

Resumen. - El presente documento, muestra el Informe correspondiente a la prueba número 2 de la materia de Redes de Comunicaciones Ópticas sobre: *Eficiencia Energética en Redes Ópticas*. Este trabajo pretende mostrar las características y técnicas que se aplican para conseguir eficiencia energética en las redes ópticas, así como los beneficios que esto trae.

Palabras Clave. - xPON, GPON, PON, ITU-T, ONU, ONT, SIN, EEE.

I. INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética se define como el consumo de la energía de manera óptima con el fin de alcanzar un nivel determinado tanto de confort como de servicio [1]. La eficiencia energética también puede ser considerada como la relación que existe entre los resultados obtenidos y los recursos que se utilizaron para conseguirlos [2].

El aumento de la demanda de mayor capacidad en las redes de telecomunicaciones, conlleva a su vez a un aumento en la demanda energética. Estudios han demostrado que los segmentos que forman las redes de acceso de banda ancha consumen aproximadamente el 75% de la energía que se suministra a todos los equipos de telecomunicaciones [3]. Las redes ópticas actualmente conforman la mayor parte de la infraestructura de Internet. Es por eso que las investigaciones sobre formas para el consumo eficiente de energía en estas redes han sido de gran importancia en los últimos tiempos [4].

II. INFORME

A. Estándares aplicados para la eficiencia energética en redes de acceso.

Es posible construir redes de acceso óptico con mejoras y entre ellas se logra un menor consumo de potencia y así poder realizar un ahorro de energía, se plantean algunos de los estándares con los cuales se puede generar un ahorro energético.

- **Estándar ITU-T 987.3**

En este estándar se puede estudiar como las ONU que tienen un potencial consumo de energía. Para reducir el consumo de energía o al menos producir un consumo medio, aplicando el método *modo de suspensión*, el cual trata de un enfoque básico y eficaz ya que las ONU no van a enviar ni producir tráfico continuamente. [5]

El mayor problema que se presenta al implementar este método es que la suspensión que provoca, pues el sistema luego de suspenderse va a tardar en recuperarse, aunque la conexión y estabilización del transporte de la información va a tardar, los paquetes no se van a perder lo cual garantiza un tráfico entrante importante provenientes de las OLT. Este método es más conocido como sueño cíclico, pues las ONU despiertan periódicamente para comprobar la existencia o inexistencia de tráfico.

Para la aplicación de este protocolo se describe cuatro métodos básicos de ahorro de energía de la ONU, los cuales se detallan a continuación:

- **El corte de energía:** Es la capacidad de una ONU para reducir el consumo de energía durante cortes de energía de CA en los que se apagan funciones y servicios no esenciales. [5]
- **Modo dormido:** la función de envío de la ONU está configurada para dormir mientras que su función de recepción se mantiene activa. Una implementación típica del modo dormido configura los controladores láser del transmisor y las funciones eléctricas asociadas para que entren en suspensión. [5]
- **Modo de reposo cíclico:** las funciones de envío y recepción de la ONU se desactivan periódicamente. Por lo tanto, el modo de suspensión cíclico puede ahorrar más energía que el modo de suspensión. [5]
- **Sueño profundo:** las funciones de envío y recepción de la ONU están desactivadas. Debido a que una ONU en el modo de reposo profundo no negocia con un OLT. [5]

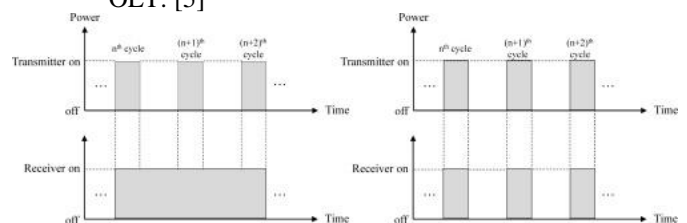


Ilustración 1: ONU en estado de sueño cíclico.

Las regiones grises corresponden a una duración activa que consume energía eléctrica. Los modos de sueño cíclico y dormido se incluyen en G.987.3 como un método de ahorro de energía en el XG-PON. Sin embargo, el modo de sueño profundo no está incluido ya que pueden ocurrir algunas pérdidas de datos en sentido descendente. [5]

Estándar IEEE 802.3az

El grupo de trabajo IEEE 802.3 ha simplemente EEE estandarizado para reducir el consumo de energía de varios tipos de interfaces Ethernet eléctricas incluyendo 1000BASE-T y 10GBASE-T. Esto proporciona ahorros de energía adicionales de la ONU. [6]

Energy Efficient Ethernet definido en el IEEE 802.3az es un estándar que permite que los transmisores de capa física consuman menos energía durante los periodos con poca actividad de datos. [6]

- EEE siempre está activado en los switches no gestionables de NETGEAR que están equipados con dicha función.
- EEE está desactivado de forma predeterminada en los switches gestionables por web, smart switches gestionables y los switches totalmente gestionables de NETGEAR equipados con EEE.

Agregación de enlaces avanzada IEEE Std 802.3ad

En muchos casos, agregación de enlaces IEEE Std 802.3ad se utiliza en el lado SNI de los sistemas PON. Por tanto, es una idea interesante controlar el número de enlaces activos con el objetivo de reducir la potencia total en función de la agregación de enlaces estándar mecanismo. Además, EEE se puede aplicar al SNI de OLT si es una interfaz eléctrica. [7]

De forma predeterminada, los enlaces Ethernet no intercambian PDU, que contienen información sobre el estado del enlace. Puede configurar un enlace Ethernet para transmitir PDU activa o pasivamente enviando PDU LACP solo cuando recibe las PDU de otro enlace. El enlace de transmisión se conoce como Actor y el enlace de recepción se conoce como Socio [7]

B. Consumo de energía en redes ópticas pasivas

Las redes PON se encuentran conformadas por varios elementos que permiten que la transmisión y recepción de datos se lleve a cabo exitosamente. El conjunto de estos elementos implica un consumo de energía considerable, en la Tabla 1 se presentan los diferentes elementos que constituyen las principales redes xPON, así como el consumo de energía que implica cada uno de estos [8].

Tabla 1: Consumo de energía en mW de los principales elementos de las diferentes redes PON

Receiver front-end component	EPON		GPON		10G-EPON		XG-PON	
	Avg	Range	Avg	Range	Avg	Range	Avg	Range
APD	2.6	2-3.75	2.6	2-3.75	2.6	2-3.75	2.05	0.5-3.75
TIA	83.4	56-112	83.4	56-112	123	105-160	123	105-160
LA	121	89-140	126	100-165	145	110-165	154	125-180
CDR	545	540-580	520	260-790	356	NA	356	NA
SERDES	550	530-660	560	530-660	NA		NA	
Total receiver front-end	1302		1292		NA		NA	
Transceiver	1350	1100-2500	1500	1040-2250	1600	1300-2300	1800	1800-1800
Back-end circuit	2700		3150		5850		6750	
Whole ONU (services)	6000 (Ethernet data port+IPTV)		7000 (triple play+multicast video)		13,000 (prediction)		15,000 (PoE on Gigabit Ethernet port)	

C. Soluciones de eficiencia energética en redes PON

• Soluciones a nivel de capa física

Las soluciones que se brindan a nivel de capa física tiene como objetivo la reducción del consumo energético sin comprometer a los protocolos presentes en capas superiores. Estas soluciones se pueden dividir en dos grupos que son [8].

➤ Soluciones orientadas a dispositivos

Estas soluciones pretenden disminuir el consumo de energía de los dispositivos físicos de la red. Mejoran los servicios que proporciona la capa física para que de esta forma sea posible implementar soluciones en capas superiores como, por ejemplo, modo de suspensión.

En Europa autoridades de normalización como el Instituto de Energía del Centro Común de Investigación de la Dirección General de la Comisión Europea, ha publicado el llamado “Código de Conducta sobre el Consumo Energético de Equipos de Banda Ancha” (BBCoC). El BBCoC establece tres estados para el Equipo Local de Cliente (CPE) que son [8]:

- ✓ **On-state:** un equipo se encuentra en *on-state* cuando todos sus componentes se encuentran funcionando plenamente.
- ✓ **Off-state:** un equipo se encuentra en *off-state* cuando sus interfaces no proveen ninguna función.
- ✓ **Idle-state:** un equipo se encuentra en *idle-state* cuando sus interfaces no se encuentran procesando o transmitiendo una cantidad significativa de tráfico.

Una de las soluciones propuestas a nivel de capa física para el ahorro de energía es la llamada Velocidad de Enlace Adaptable conocida como ALR.

- ✓ **ALR:** es un método que se basa en adaptar la velocidad de la línea de las interfaces dependiendo el tráfico que exista en la red; para de esta forma ahorrar energía. Está basada en el hecho de que la transmisión a bajas velocidades requiere menos energía que la transmisión a velocidades altas. Sin embargo, ALR resulta complejo de implementar es por eso que no se encuentra estandarizada aún [8].

➤ Soluciones orientadas a servicios

Estas soluciones se basan en la utilización de diferentes formatos de modulación para obtener una recuperación de reloj más rápida mientras que la ONU sale del modo suspensión [8].

• Soluciones a nivel de capa de enlace de datos

Las soluciones a nivel de capa de enlace de datos trabajan en la capa de control de acceso al medio (MAC) o en la capa de convergencia de transmisión (TC) de las redes GPON y XG-PON.

Las soluciones propuestas se basan en la conmutación de elementos de una red a un modo donde exista bajo consumo de energía, como, por ejemplo, el modo suspensión. Estas soluciones se basan en las extensiones de protocolos como: Protocolo de Operación Multipunto (MPCP), Protocolo de Administración y Gestión de la Capa Física (PLOAM) y algoritmos de asignación de ancho de banda dinámica (DBA).

El estándar ITU-T G.Sup 45 provee de tres mecanismos para el ahorro de energía que difieren en la manera en la que se comportan el transmisor y receptor, estos son [8]:

- **Power Shedding:** este mecanismo apaga o reduce la energía de las funciones o servicios no esenciales, mientras se mantiene un enlace óptico en operación.
- **Dozing:** este mecanismo apaga el transmisor de la ONU cuando esta no tiene tráfico que transmitir. Por otro lado, el receptor de la ONU se encuentra siempre encendido.
- **Sleeping:** este método se clasifica en dos tipos que son:
 - ✓ **Deep Sleep:** este modo se encarga de apagar el transceptor de la ONU, así como todas sus funciones y servicios. En este modo la ONU pierde el tráfico descendente entrante. La ONU se vuelve a activar cuando un estímulo es encendido o un temporizador local expira.
 - ✓ **Easy Sleep:** este modo se basa en periodos de sueños alternados. Este modo se puede activar cuando el transceptor de la ONU se encuentra apagado junto a todas las funciones esenciales.

• Soluciones Híbridas

Este tipo de soluciones, combinan las soluciones propuestas a nivel de capa física con las de capa de datos, esto con el fin de ahorrar energía.

Una de las soluciones híbridas propuestas para 10G-EPON, es la combinación del período de *sleep* y del período *wake-up* (SPW) con la velocidad adaptativa del enlace (ALR). En SPW, la OLT solicita a una ONU que cambie al modo sleep ya que no existe tráfico downstream. La OLT se encarga de establecer el tiempo en que la ONU estará en reposo. Posterior a este tiempo la ONU se vuelve a activar y envía una solicitud a la OLT preguntando si sigue permaneciendo en modo de reposo o no. Por otro lado, en el ALR la velocidad de downstream puede variar entre 1 y 10Gbps dependiendo de la cantidad de tráfico. Para cambiar la velocidad del tráfico downstream la OLT envía un nuevo mensaje a la ONU, la cual responde con un mensaje ACK una vez que ha realizado la conmutación. Se ha demostrado que el uso de mecanismos híbridos permite obtener un mayor ahorro de energía que cuando se usan mecanismos de forma independiente [8].

D. Topologías de red energéticamente eficiente

Generalmente el diseño de diferentes topologías de red es centrado en el mejoramiento de la capacidad o QoS de las redes. Sin embargo, se ha descubierto que para una red con las mismas ubicaciones de nodos el uso de diferentes topologías puede tener como resultado un diferente rendimiento.

En redes ópticas con enrutamiento por longitud de onda, se propone la topología virtual. La topología virtual es un conjunto de lightpaths que permiten mejorar el rendimiento de la red y reducir el número de equipos que consumen energía. El diseño de topologías virtuales para redes ópticas, consiste en elegir los lightpaths que establecerán los nodos requeridos entre un origen y destino. Los lightpaths seleccionados deben dar soluciones al problema de asignación de longitud de onda y enrutamiento (RWA) [9].

Para esto, se ha propuesto algoritmos para RWA, este algoritmo pretende mejorar la eficiencia de una red óptica al maximizar el número de fibra no utilizadas, es decir, agrupando el tráfico solo en unas pocas. Esto con el fin de minimizar el número de equipos como amplificadores, los cuales se mantienen constantemente activos [9].

E. Ventajas de usar eficiencia energética en redes de acceso

- ✓ Dependiendo de su configuración, una red inteligente permite reducir las pérdidas en las redes de distribución, o también reducir la demanda en la hora pico y hacer un mejor uso de los activos de la red, postergando inversiones.
- ✓ La eficiencia permite reducir los costos de suministro.
- ✓ Es la capacidad de conectar generación renovable más allá de los límites de las redes pasivas.
- ✓ En una red pasiva los niveles de inyección de generación están limitados por el diseño de la red.
- ✓ Las redes inteligentes tienen la capacidad de cambiar su configuración, en respuesta a fallas o a las condiciones de distintas zonas de la red.

III. ESQUEMAS DE PROTECCIÓN PARA REDES PON

En la recomendación ITU-T G.983.1 se proponen cuatro arquitecturas para proveer protección a las redes PON. A continuación, se presentan en detalle cada una de estas arquitecturas.

A. Modo de protección para red GPON I

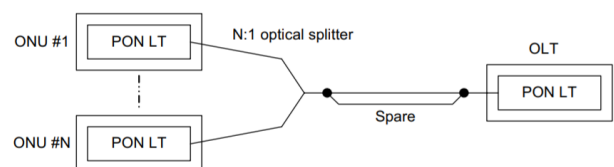


Ilustración 2: Modo de protección para red GPON I. [9]

En la primera red de protección, se propone el uso de una fibra de repuesto entre la OLT y el splitter. En caso de existir algún daño en el tramo de fibra principal la transmisión continuaría por la fibra de repuesto. Los principales elementos para esta arquitectura es un interruptor óptico 1:2 y un splitter 2:N [9].

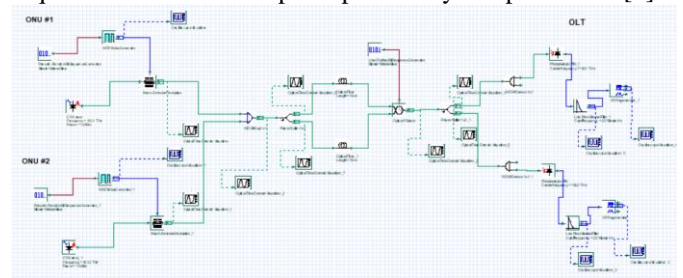


Ilustración 3: Modo de protección para red GPON I

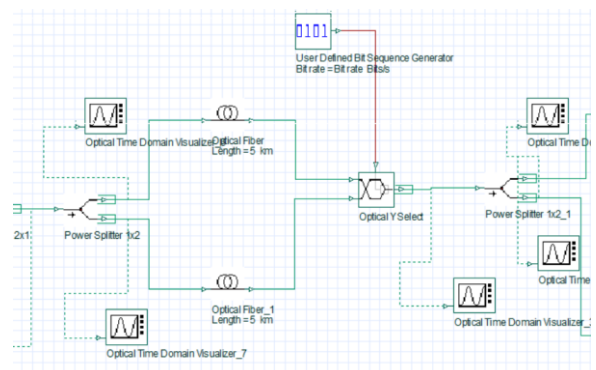


Ilustración 4: Esquema de protección

Para determinar el tramo de fibra por el que viajarán los datos se configura 0 o 1 en el switch óptico.

- **Resultados para la posición 0**

Los resultados obtenidos con la posición 0 en el switch óptico se muestran a continuación.

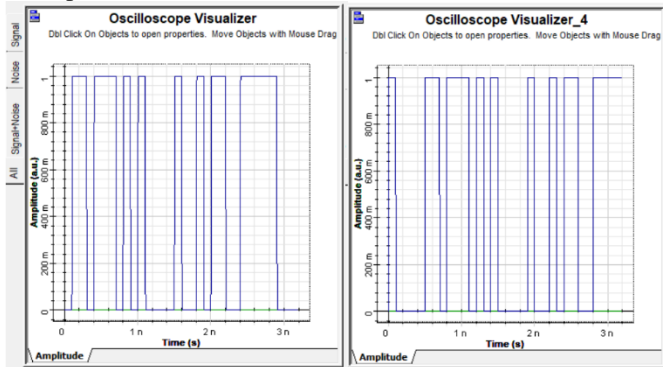


Ilustración 5: Datos enviados por OLT #1 vs datos recibidos por la ONU con la posición 0

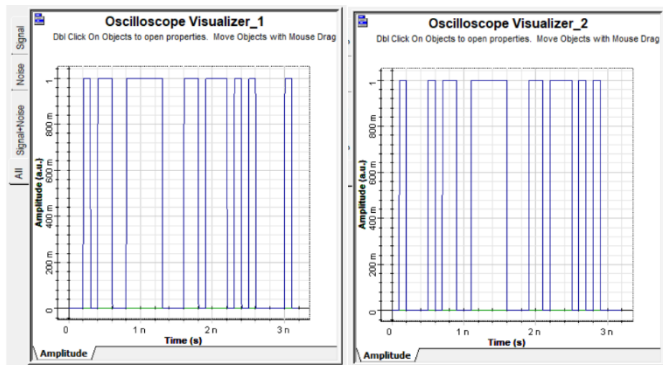


Ilustración 6: Datos enviados por OLT #2 vs datos recibidos por la ONU con la posición 0

- **Resultados para la posición 1**

Los resultados obtenidos con la posición 1 en el switch óptico se muestran a continuación.

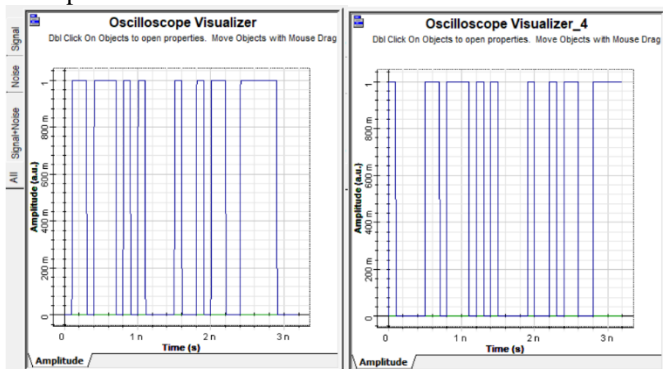


Ilustración 7: Datos enviados por OLT #1 vs datos recibidos por la ONU con la posición 1

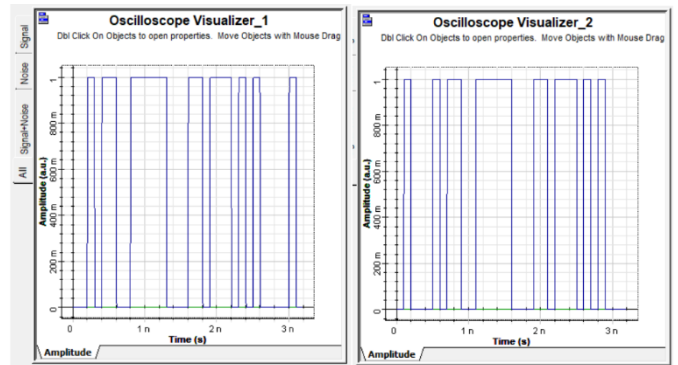


Ilustración 8: Datos enviados por OLT #2 vs datos recibidos por la ONU con la posición 1

Como se puede observar en las Ilustraciones 4, 5, 6 y 7, los datos enviados por los ONU son los mismo que recibe el OLT, sin importar el tramo de fibra que se utilice.

B. Modo de protección para red GPON II

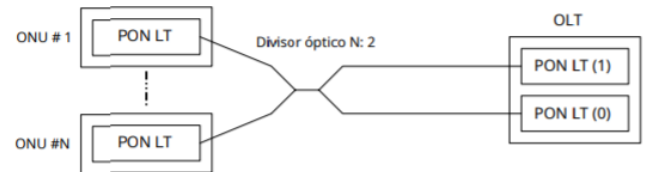


Ilustración 9: Modo de protección para red GPON II. [9]

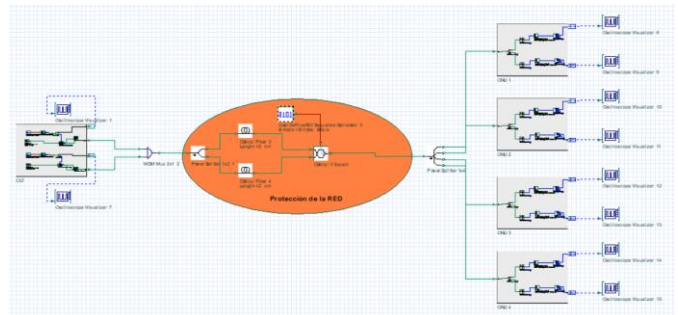


Ilustración 10: Modo de protección para red GPON II optisystem.

Este tipo protege la fibra primaria. cuando la fibra falla, los servicios en la fibra se transfieren a la fibra secundaria. Este tipo protege la fibra primaria.

Cuando la fibra falla, los servicios en la fibra se transfieren a la fibra secundaria. Los objetos protegidos están restringidos a la fibra de la OLT a la ONU y las placas de la OLT. En caso de que se produzcan fallos en las otras partes, no se proporciona protección. Con posibles problemas de seguridad, no puede satisfacer los requisitos de los clientes. falla la ubicación de la falla.

La desventaja que se produce en este tipo de protección es que no existe redundancia al momento de producirse un fallo, a pesar que existe un circuito que repone el circuito en el lado de OLT, no van a existir partes redundantes en las ONU. A causa de estos parámetros en el lado de transmisión es necesario ubicar un selector y así proporcionar el circuito de protección.

Se tiene a disponibilidad de equipos de protección normalmente operativos, y los equipos de respaldo mantendrían inactivos hasta el momento de la detección de un fallo.

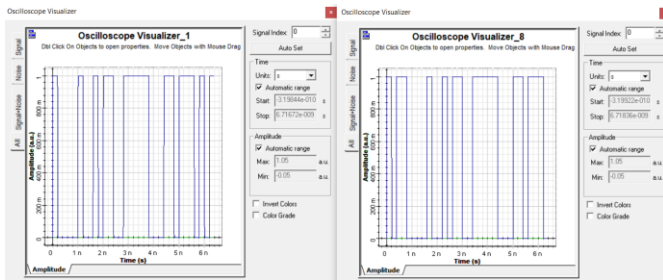


Ilustración 11: Datos enviados por OLT vs datos recibidos por el primer puerto en la primera ONU (vía uno)

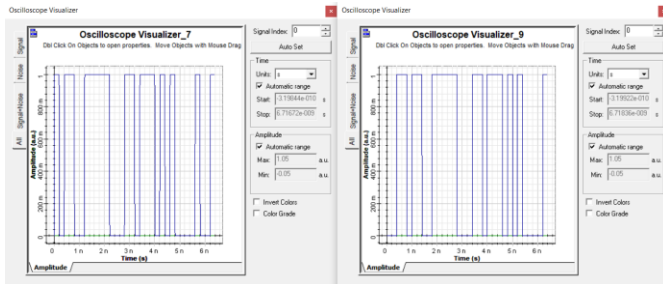


Ilustración 12: Datos enviados por OLT vs datos recibidos por el segundo puerto en la primera ONU (vía uno)

Las anteriores gráficas, muestran el resultado luego a de haber realizado el envío de los datos mediante la fibra primaria. Como se puede ver los datos llegan de manera correcta, aunque por la posición y recuperación se puede distinguir claramente que se pudo recuperar la señal.

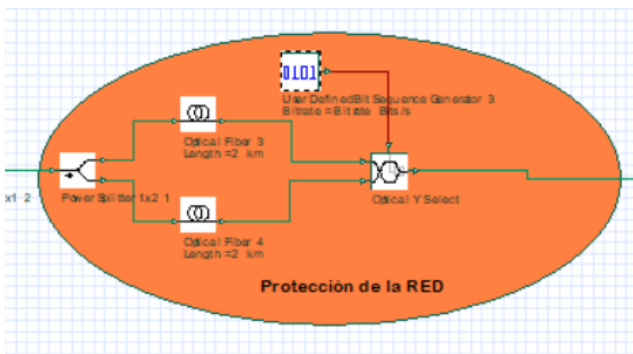


Ilustración 13: Esquema de protección. Fibra Primaria y fibra secundaria.

En este pequeño esquema se puede representar la protección para las fibras ópticas. En caso de producirse algún fallo se procede a enviar por el segundo tramo de fibra para no perder la información y no perder la comunicación ni la comunicación del enlace.

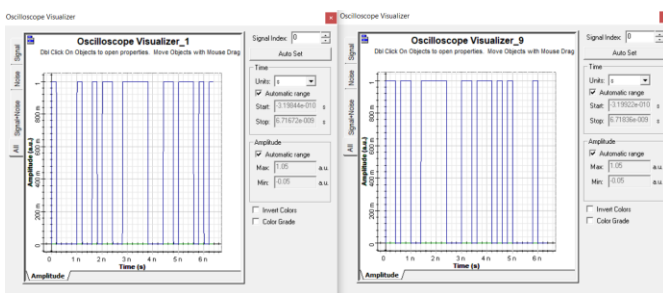


Ilustración 14: Datos enviados por OLT vs datos recibidos por el primer puerto en la primera ONU (vía dos)

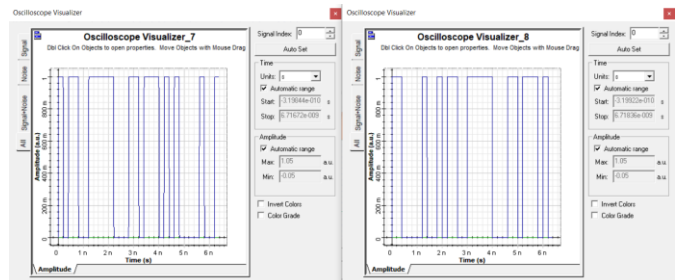


Ilustración 15: Datos enviados por OLT vs datos recibidos por el segundo puerto en la primera ONU (vía dos)

Una vez que se produce el fallo en la fibra óptica primaria, se pasa toda la transmisión de datos a la fibra secundaria y con esto se puede recuperar los datos en recepción aunque con este método se puede receiptar los datos de manera invertida al cambiar el orden de transmisión al implementar el switch

C. Modo de protección para red GPON III

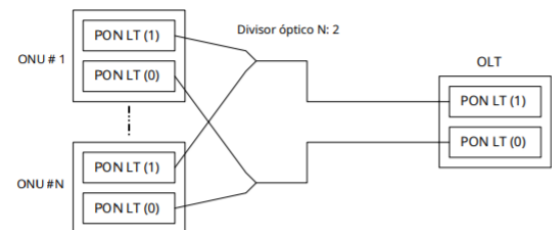


Ilustración 16: Modo de protección para red GPON III. [9]

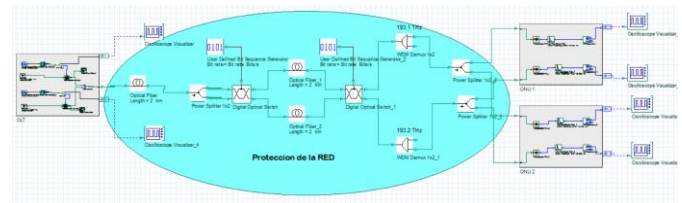


Ilustración 17: Modo de protección para red GPON III implementado en Optisystem.

En el sistema implementado anteriormente se puede evidenciar que en una arquitectura en específico se puede hacer una duplicación del sistema FTTH. Por lo cual se plantea una conmutación de los paquetes. Si se da una falla o corte de la fibra entre OLT y ONU la división provocará una conmutación del tipo árbol, las cuales harán posible que la información sea recuperada en el ONU correspondiente. Es ventajoso implementar este tipo de sistemas ya que cubren en su gran mayoría las fallas existentes, aunque por otro lado en el lado de los costos surge la desventaja, ya que este tipo de sistemas encarecen el costo de los enlaces. [9]

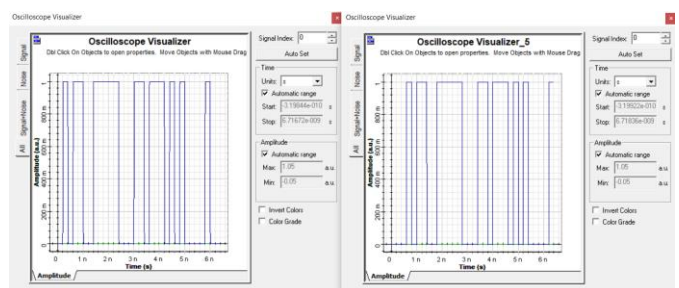


Ilustración 18: Datos enviados por OLT vs datos recibidos por el puerto PON primario.

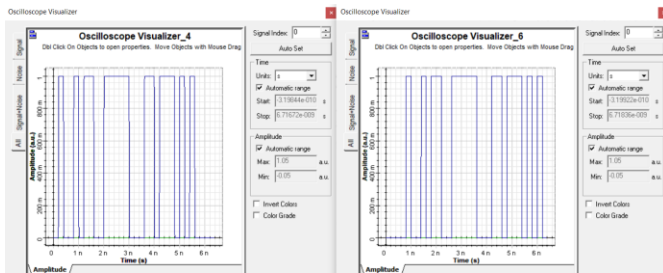


Ilustración 19: Datos enviados por OLT vs datos recibidos por el puerto PON secundario.

La capacidad de transportar la información es más concisa, y se tiene la capacidad de tomar varios tramos de fibra mediante los dispositivos de conmutación. En los resultados se puede ver que se mantiene los resultados. Si al momento de producirse un fallo en la fibra óptica este inmediatamente tomará las vías alternativas para poder establecer el enlace y no perder la comunicación ni los datos. La ventaja de este tipo de protección es que los datos se mantendrán iguales a pesar de existir un cambio de ruta, pues mientras un puerto en la ONU esté operativo, el otro se mantendrá en estado de espera (inactivo), hasta detectar un cambio en la transmisión.

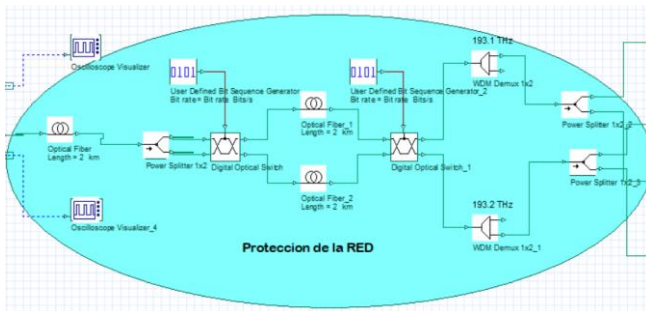


Ilustración 20: Esquema de protección.

En esta gráfica podemos representar el esquema de protección implementado, consta principalmente de componentes de conmutación que nos permiten cambiar el esquema de comunicaciones en caso de fallas.

D. Modo de protección para red GPON IV

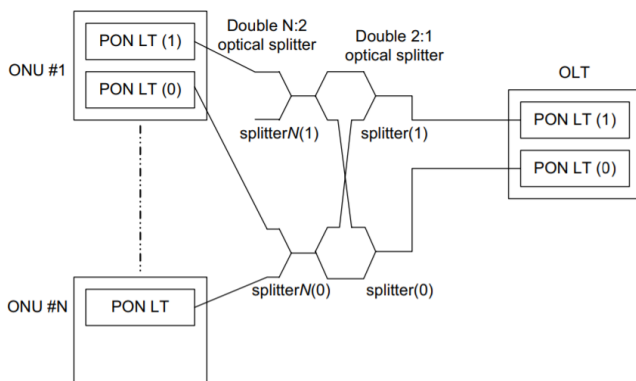


Ilustración 21: Modo de protección para red GPON IV

En la cuarta red de protección se propone duplicar ramales de manera independiente, así como las líneas comunes. Además de usar una PON con protección en la OLT y la ONU, se usa un ODN para introducir redundancia [9].

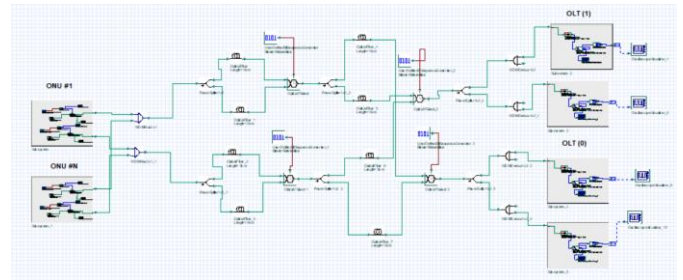


Ilustración 22: Modo de protección para red GPON IV

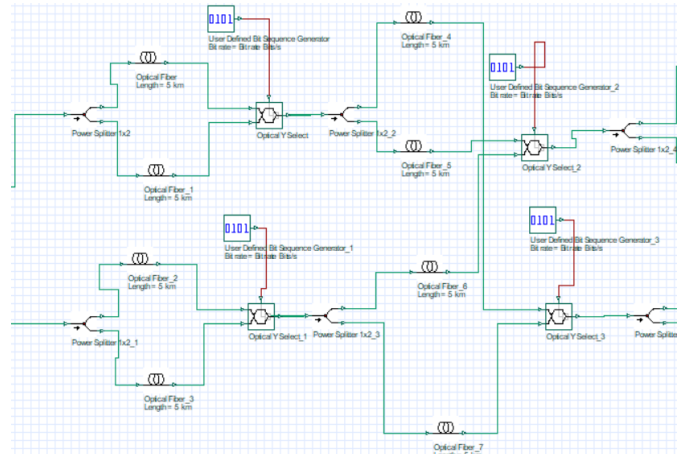


Ilustración 23: Esquema de protección

Resultados para la posición 0

Los resultados obtenidos con la posición 0 en los switches óptico se muestran a continuación.

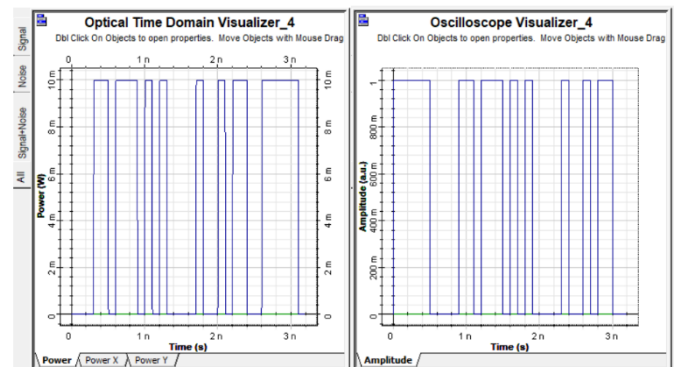


Ilustración 24: Datos enviados por OLT #1 vs datos recibidos por la ONU (1) con la posición 0

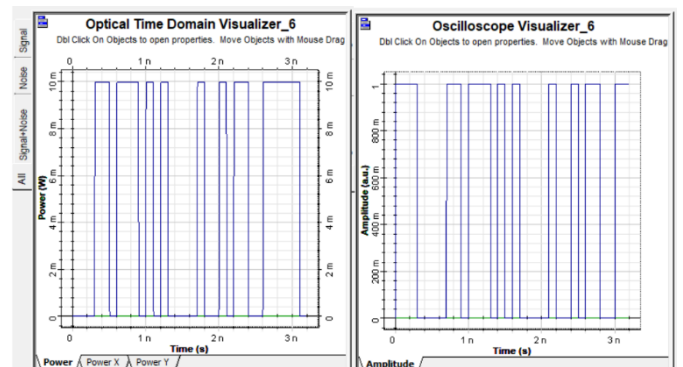


Ilustración 25: Datos enviados por OLT #N vs datos recibidos por la ONU (1) con la posición 0

• Resultados para la posición 1

Los resultados obtenidos con la posición 1 en los switches óptico se muestran a continuación.

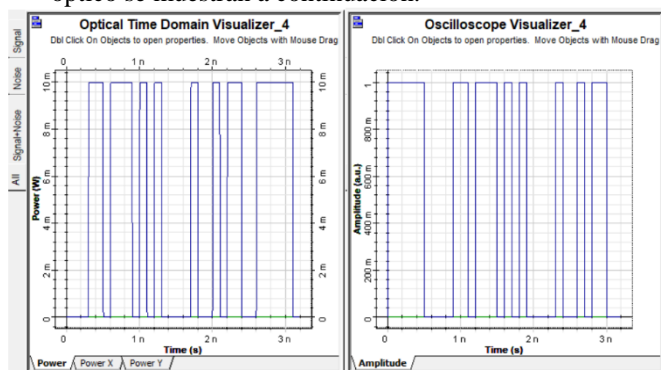


Ilustración 26: Datos enviados por OLT #1 vs datos recibidos por la ONU (1) con la posición 1

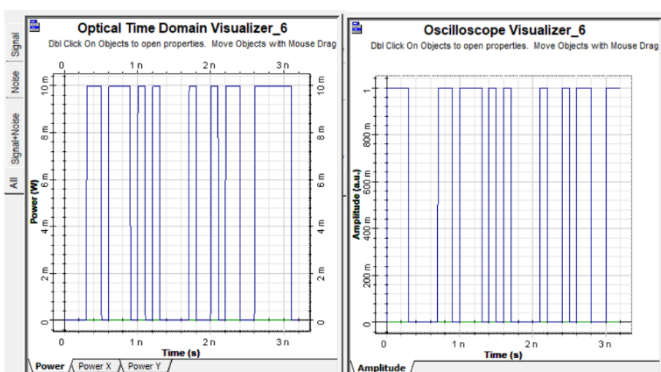


Ilustración 27: Datos enviados por OLT #N vs datos recibidos por la ONU (1) con la posición 1

IV. CONCLUSIONES

A. Conclusiones

• Manosalvas Dayanna

- El aumento de redes de comunicaciones, implica que cada vez se usen mayores cantidades de equipos lo que significa un consumo energético cada vez mayor. Es así que hablar de eficiencia energética para comunicaciones es un tema de interés para nuevos estudios. En este documento se ha tratado de algunas soluciones propuestas para eficiencia energética, específicamente para redes ópticas de acceso PON. Las soluciones que abarcan capa física y capa de enlace de datos, mejor conocidas como híbridas son las que mejores resultados a brindado en cuanto a ahorro de energía.

• Zuñá Bryan

- Implementar los métodos de protección en un enlace de comunicaciones ópticas o en si en alguna red de comunicaciones nos aseguramos que vamos a mantener un respaldo de nuestra información. Ya que gracias a estos sistemas pueden existir fallos en la red y aun así no perderemos la información ni la comunicación. Por otra parte con uso adecuado y la implementación de estándares se garantiza la transmisión de la información de manera ininterrumpida.

V. REFERENCIAS

- [1] «¿Qué es la eficiencia energética y como se calcula?», BBVA, [En línea]. Available: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-eficiencia-energetica-y-como-se-calcula/>. [Último acceso: 26 08 2021].
- [2] «¿QUÉ ES LA EFICIENCIA ENERGÉTICA?», Energía y Sociedad, [En línea]. Available: <https://www.energiaysociedad.es/manenergia/1-1-que-es-la-eficiencia-energetica/>. [Último acceso: 26 08 2021].
- [3] Y. Yan y L. Dittman, «Energy Efficiency in Ethernet Passive Optical Networks (EPONs): Protocol Design and Performance Evaluation», *JOURNAL OF COMMUNICATIONS*, vol. 6, n° 3, 2011.
- [4] R. D. Ahmad y H. Pin-Han, «Toward Green Next-Generation Passive Optical Networks», *IEEE Communication Magazine*, vol. 11, n° 49, pp. 94-11, 2011.
- [5] U. I. Telecomunicaciones, «Union Internacional Telecomunicaciones», Recomendación ITU-T 987.3, 01 enero 2014. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.3/es>. [Último acceso: 29 agosto 2021].
- [6] Latitude, «Ethernet con eficiencia energética», Dell Support KBDOC, 21 febrero 2021. [En línea]. Available: <https://www.dell.com/support/kbdoc/es-pa/000134483/resoluci%C3%B3n-de-problemas-con-ethernet-con-eficiencia-energ%C3%A9tica-eee-o-green-ethernet>. [Último acceso: 29 agosto 2021].
- [7] JUNIPER, «IEEE 802.3ad», Juniper Networks, 14 agosto 2014. [En línea]. Available: https://www.juniper.net/documentation/en_US/junose15.1/topics/concept/802.3ad-link-aggregation-understanding.html. [Último acceso: 29 agosto 2021].
- [8] L. Valcarenghi, D. Campelo, S.-W. Wong, S.-H. Yen, S. Yamashita, D. P. Van, P. Castoldi y L. Kazovsky, «Energy Efficiency in Passive Optical Networks: Where, When, and How?», IEEE Network, 2012.
- [9] S. Khatun y S. Shaari, «A novel protection scheme for Ethernet PON FTTH Access Network», Photonics and Fiber Optic System Laboratory, Malaysia, 2014.
- [10] X. Dong, «Green Optical Networks», The University of Leeds School of Electronic and Electrical Engineering, 2012.