



XVIII SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA  
ELÉCTRICA. "SIE 2019"

**Título**

**Migración a redes de acceso de banda ancha en reparto Abel Santamaría. Isla de la Juventud**

*Title*

*Migration to broadband access networks in Abel Santamaria neighborhood. Isle of Youth*

**Enrique Moreno Mejías<sup>1</sup>, Miguel Arturo Mendoza Reyes<sup>2</sup>**

**Resumen**

Actualmente en el reparto Abel Santamaría, existe un bajo nivel de satisfacción del servicio telefónico, por parte de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, ETECSA; Debido a sus ventajas y sus propias características, la propuesta de cambiar la red de acceso de cobre, y utilizar PON (*Redes Ópticas Pasivas*), se vuelve una solución muy atractiva y favorable. Mediante este trabajo, se propone una alternativa de solución al problema de accesibilidad, optando por servicios de datos de alta velocidad, incluidos multimedia. Estas propuestas se apoyarán mediante el diseño de una red óptica pasiva, siguiendo el principio de FTTC.

**Problemática:** No existencia de una red de acceso capaz de satisfacer la alta demanda de servicios de telefonía básica y servicios de banda ancha.

- **Objetivo(s):** Contribuir a la informatización de la sociedad, satisfacer a los usuarios con servicios de telecomunicaciones de banda ancha y alta calidad.
- **Metodología:** Investigación.
- **Conclusiones:** Existe en la actualidad una serie de propuestas de nuevos dispositivos, formatos de transmisión, técnicas de asignación de canal, soluciones de optimización y arquitecturas de red, que buscan hacer óptima y

---

<sup>1</sup> Ing. Enrique Moreno Mejías. Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, ETECSA, Cuba.  
enrique.moreno@cubacel.cu

<sup>2</sup> Dr. C. Miguel Arturo Mendoza Reyes. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Cuba. mmendoza@uclv.edu.cu



viable la implementación de redes xPON. Luego de exponer las distintas tecnologías se escogerá la GPON (*Gigabit Pasive Optical Network*) por su adecuación a las características tanto económicas como tecnológicas que ajustan a las necesidades de la localidad. Además por las condiciones de escalabilidad hacia todas las otras superiores.

**Palabras Clave:** Red de Acceso; Fibra Óptica, diseño de red; GPON.

### **Abstract**

*Currently in the Abel Santamaria division, there is a low level of satisfaction of the telephone service, by the Telecommunications Company of Cuba, ETECSA; Due to its advantages and its own characteristics, the proposal to change the copper access network, and to use PON (Passive Optical Networks), becomes a very attractive and favorable solution. Through this work, a solution alternative to the accessibility problem is proposed, opting for high speed data services, including multimedia. These proposals will be supported through the design of a passive optical network, following the FTTC principle.*

**Keywords:** Access Network; Fiber Optics, network design; GPON.

### **1. Introducción**

La comisión de banda ancha para el desarrollo digital, creada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*ITU, International Telecommunication Union*), considera que los países deben usar estrategias y políticas para que la banda ancha sea costeable y esté disponible como herramienta vital para el avance sostenido de la sociedad moderna del conocimiento[1].

Inicialmente las redes de acceso estuvieron basadas en el par de cobre para la transmisión de voz y datos sobre *PSTN, Public Switched Telephone Network*[2]. Existieron familias de tecnologías de línea de abonado digital (xDSL, *Digital Subscriber Line*)[3, 4] y DOCSIS[5], las cuales por su evolución posibilitaron la extensión de la vida útil de la red de cobre. No obstante uno de los principales inconvenientes de estas tecnologías reside en la disminución de la velocidad de transmisión con el aumento de la distancia entre el equipo del abonado y la central telefónica[6].

Siendo palpables estas consideraciones es que las nuevas tendencias se orientan hacia arquitecturas de redes de banda ancha basada en acceso por fibra óptica[7].



La situación problemática en este caso de estudio sería la no existencia de una red de acceso capaz de satisfacer la alta demanda de servicios de telefonía básica y servicios de banda ancha.

De acuerdo al problema identificado, se declara como objeto de investigación: La red de acceso de banda ancha. Para dar solución al problema planteado, se define como objetivo general: Migración a redes de acceso de banda ancha en el reparto Abel Santamaría.

## 2. Desarrollo

En su último reporte sobre el avance de implementación de banda ancha, actualizado el 12 de julio de 2018, la FCC (*Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de América*) mantuvo como acuerdo elevar el umbral de velocidad mínima para la banda ancha, para responder a las tecnologías de banda ancha evolucionadas y las aplicaciones y expectativas de los consumidores. En consecuencia, la FCC ahora define el servicio de banda ancha como velocidades descendentes de al menos 25 Mbps y velocidades ascendentes de al menos 3 Mbps[8].

### 2.1 Redes de acceso ópticas

En los primeros estudios se consideraron dos tipos de soluciones tecnológicas: Redes AON (*Active Optical Network*) y Redes PON (*Passive Optical Network*). La primera opción no tuvo gran acogida, fundamentalmente por el elevado costo de los equipos necesarios para distribuir la señal.

Una red óptica pasiva elimina todos los elementos activos existentes entre la oficina central y el cliente, reduciendo los costos de mantenimiento, elimina suministro de energía y administración de elementos activos en la planta externa.

### 2.2 Modelos de aplicación para redes ópticas pasivas

El término FTTx (*Fiber To The x*) denomina las distintas posibilidades de despliegue de fibra óptica de acuerdo al alcance de la fibra y la proximidad al usuario final. Los principales escenarios son:

- **FTTN** (*Fiber To The Node*). Se ubica en las inmediaciones del barrio. Está a 400 metros o más del usuarios.



- **FTTC** (*Fiber To The Curb*). La cabina o armario de telecomunicaciones está a menos de 300 metros de los usuarios.
- **FTTB** (*Fiber To The Building*). La red de bajada termina en la entrada o el interior de un edificio. A partir de este punto el acceso interno a los usuarios es normalmente hecho a través de una red de cobre.
- **FTTH** (*Fiber To The Home*). La fibra se extiende desde la oficina central hasta la casa u oficina del abonado.

### 2.2.1 Variantes de la tecnología xPON

Todas las variantes de la tecnología xPON son utilizadas en redes de banda ancha, teniendo cada una sus particularidades y estándares propios que las definen.

- **BPON** (*Broadband PON*). ITU-T G.983[9].
- **EPON** (*Ethernet PON*). 802.3ah[10].
- **GPON** (*Gigabit-Capable PON*). UIT-T-G.984[11].
- **NG PON** (*Next Generation Passive Optical Network*). Presenta dos fases, NGPON1 y NGPON2. La primera con el estándar XGPON[12], ITU- G.987, la segunda se encuentra en etapa de maduración[13].

#### ➤ Tecnología XGPON

Permitió maximizar la velocidad de transmisión para ser utilizado en la red móvil 4G[13]. Ha definido velocidades de transmisión, de hasta 10 Gb/s[13]. Longitudes de onda: 1575-1580 nm sentido descendente y 1260-1280 nm sentido ascendente[14]. Debe admitir una distancia máxima de fibra de al menos 20 km y una segunda variante opcional de 40 km[14]. Llegan a alcanzar de 1:128 o incluso 1:256 como razón de división[14].

#### ➤ Tecnología NGPON2

Dos tecnologías han sido asignadas al estándar NGPON2, TWDM PON[15] (*Time and Wavelength Division Multiplexing PON*) y PtP WDM PON (*Point to Point Wavelength Division Multiplexing PON*)[16], recogido en la serie ITU-T G.989. Actualmente se está desarrollando una segunda versión de velocidad ampliada que permita converger con el nuevo estándar 100GEPON[13]. Las longitudes de onda vienen reflejadas en[17]. Deben soportar un alcance de fibra de al menos 40 km, y 60 km o más si fuera necesario



mediante el uso de extensores de alcance[18]. Relación de división de al menos 1:256 para poder igualar al parámetro en XGPON[18].

### 2.3 Selección de la tecnología xPON a utilizar

La variante GPON es la que destaca como la más prometedora, ya que proporciona escalabilidad en su trama de transmisión, presenta una alta eficiencia al utilizar el método de encapsulamiento GEM (*GPON Encapsulation Method*), que resulta de una adaptación del estándar GFP (*Generic Frame Procedure*) definido en la recomendación ITU-T G.7041[19] y que permite a los operadores continuar utilizando los servicios de telecomunicaciones tradicionales (voz basada en TDM). Presenta escalabilidad, hoy hablamos de GPON, mañana podremos evolucionar a NG PON1 y NG PON2 y seguir utilizando la misma red de distribución[20]. Utiliza de forma eficiente el ancho de banda al disponer de éste en los instantes en el cual hay tráfico y ampliando la capacidad de los usuarios de forma individual gracias a la técnica conocida como DBA (*Dynamic Bandwidth Allocation*). El protocolo OMCI (*ONU Management and Control Interface*) para el control y gestión por parte de la OLT (*Optical Line Terminal*) de las ONU (*Optical Network Unit*)[21].

#### 2.3.1 Transmisión y longitudes de onda GPON

Por medio de un esquema de multiplexado por longitud de onda se dividen todas las componentes necesarias para realizar una transmisión bidireccional. En sentido descendente se asigna la longitud de onda (1.490 nm) usando la tecnología de difusión desde la OLT hacia la ONU/ONT (*Optical Network Terminal*) y en subida, usando la tecnología TDMA, la longitud de onda (1.310 nm), desde la ONU/ONT, hacia la OLT. Además, a través del uso de WDM, se asigna una tercera longitud de onda (1.550 nm) que está dedicada para el broadcast de vídeo RF.

#### 2.3.2 Selección de la Clase GPON a utilizar en el diseño

Una vez elegido la tecnología GPON para el desarrollo del proyecto, es necesario identificar determinadas clases[22], necesaria para los parámetros de diseño y los equipos a utilizar en la propuesta de la red [23-25].

## 2.4 Situación actual de la zona del reparto Abel Santamaría

La distribución de la red de acceso hacia este reparto se compone por tres corazas de cables de cobre, todos ellos salen del centro telefónico de Nueva Gerona. Una red con capacidad para 810 pares de cobre. Con el objetivo de determinar la demanda que debe satisfacer esta red se realizó un estudio de campo en el área delimitada, estas observaciones permiten establecer el dimensionamiento de nuestra red, 19 viviendas y 900 apartamentos.

## 2.5 Elementos de la red GPON del diseño

- Nodo Óptico OLT y sus elementos.
- Diseño de la Red ODN y elementos que la conforman.
- MDU/ONU

### 2.5.1 Nodo óptico y sus elementos

Debe poseer el mayor despliegue en nuestra red territorial, así como la plataforma de gestión de equipos comunes a esta tecnología. Asistencia técnica completa, responsabilidad de los trámites de importación, sistema completo de administración centralizado de la red GPON, responsabilidad de las licencias de GPON, proporcionar interoperabilidad con varios proveedores, siguiendo las especificaciones UIT-T G.984.

### 2.5.2 Diseño de la red ODN y elementos que la conforman:

Consideraremos en esta etapa la distribución de los elementos pasivos en GPON.

- **Divisores ópticos (SPLITTERS):** Se usaran 3 splitters en el primer nivel 1x2 y 6 splitters en el segundo nivel con razón de división 1x4, con sus respectivas pérdidas 3.5 y 7 dB [23], figura 2-1.



Figura 2-1. Puntos de acometida a abonados con divisores ópticos.

- **Tipo de fibra óptica:** UIT-T G.652D[26] y el G.655[27]. Para el análisis de los dos estándares se tuvieron en cuenta varios parámetros siendo es la más versátil la 1era, ya que es LWP (*Low Water Peak*), permite trabajar con longitudes de onda en un rango extendido[38].

### 2.5.3 MDU/ONU

Debemos determinar los puntos de acometida hacia el abonado final, donde a partir de este se realizará el tramo de última milla, con la instalación de los MDU, figura 2-2.



Figura 2-2. Ubicación de los MDU en la zona Abel Santamaría.

La MDU se conecta al terminal de red del usuario para aprovechar la red de cobre existente, mediante las tecnologías xDSL.

### 2.6 Cálculos del diseño.

Para esto deben ser consideradas todas las pérdidas en la red de manera que se pueda demostrar que la señal que recibe el usuario se encuentre dentro de un rango óptimo de términos de potencia[28]. Todos los elementos de la red se muestran a continuación, figura 2-3.

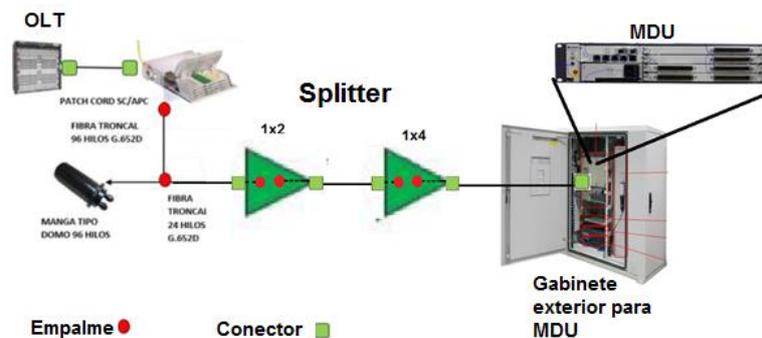


Figura 2-3. Elementos de la red GPON[29]



### 2.6.1 Longitud máxima de la fibra óptica

Distancia máxima del enlace óptico sin necesidad de regeneración. Para el cálculo se utilizará la siguiente ecuación:

$$D \leq \frac{(P_{min} - S_r - M_G) - (At_{S1} + At_{S2}) - (At_e * n_e) - (At_c * n_c)}{(At_{fo} + At_{fo_{env}})}$$

Donde:

- $P_{min}$ : Potencia mínima del transmisor.....(1,5dBm)
- $S$ : Sensibilidad del receptor. Esto es, la mínima potencia necesaria en recepción para hacer posible la comunicación. (MDU).....(-27dBm)
- $At_{S1}$ : Atenuación del splitter1 (1x2).....(3,5 dB)
- $At_{S2}$ : Atenuación del splitter2 (1x4).....(7 dB)
- $\alpha_e$  : Coeficiente de atenuación debida al empalme (Fusión).....(0,1 – **0,2** dB)
- $n_e$ : Cantidad de empalmes.....(6)
- $\alpha_c$  : Coeficiente de atenuación debida al conector (SC).....(0,2 - **0,5** dB)
- $n_c$ : Cantidad de conectores.....(7)
- $M_G$ : Margen de guarda.....(3 dB)
- $\alpha_{fo}$ : Coeficiente de atenuación de la fibra óptica G.652D [30] .....(0,35 dB/Km)
- $\alpha_{fo_{env}}$  : Coeficiente de atenuación de la fibra por envejecimiento [31]... (0.05 dB/km)

$$D \leq \frac{(1,5 - (-27) - 3) - (3,5 + 7) - (0,2 * 6) - (0,45 * 7)}{(0,35 + 0.05)}$$

$D \leq 26,62$  Km. *(Debe procurarse no sobrepasar nunca tal distancia en el despliegue de fibra óptica).*



### 2.6.2 Atenuación de la Fibra Óptica

Según la siguiente ecuación se consideran las pérdidas en el enlace entre la OLT y la ONU, el valor de la suma de todas las pérdidas tienen que estar dentro del rango de atenuación óptica según las recomendaciones de la ITU-T de GPON.

$$A_T = At_{S1} + At_{S2} + (D * At_{fo}) + (n_c * At_c) + (n_e * At_e) + M_G$$

- **ONU más lejana:** Ubicada a 2 Km.

Enlace ascendente (1310nm):  $A_T = 3.5 \text{ dB} + 7 \text{ dB} + (2 \text{ Km} * 0.35 \text{ dB/Km}) + (7 * 0.5 \text{ dB}) + (6 * 0.1 \text{ dB}) + 3 \text{ dB} = 18.3 \text{ dB}$

Enlace descendente (1550nm):  $A_T = 3.5 \text{ dB} + 7 \text{ dB} + (2 \text{ Km} * 0.22 \text{ dB/Km}) + (7 * 0.5 \text{ dB}) + (6 * 0.1 \text{ dB}) + 3 \text{ dB} = 18.04 \text{ dB}$

- **ONU más cercana:** Ubicada a 1.30 Km.

Enlace ascendente (1310nm):  $A_T = 3.5 \text{ dB} + 7 \text{ dB} + (1.3 \text{ Km} * 0.35 \text{ dB/Km}) + (7 * 0.5 \text{ dB}) + (6 * 0.1 \text{ dB}) + 3 \text{ dB} = 18.05 \text{ dB}$

Enlace descendente (1550nm):  $A_T = 3.5 \text{ dB} + 7 \text{ dB} + (1.3 \text{ Km} * 0.22 \text{ dB/Km}) + (7 * 0.5 \text{ dB}) + (6 * 0.1 \text{ dB}) + 3 \text{ dB} = 17.88 \text{ dB}$

### 2.6.3 Cálculo de potencias

Para este análisis se utilizará la siguiente ecuación:

$$P_r = P_{tx} - \alpha_{total} \text{ [32]}$$

Donde:

$P_r$ : Potencia recibida [dBm]

$P_{tx}$ : Potencia máxima del transmisor óptico [dBm]

$\alpha_{total}$ : Atenuación total [dB]

Para el enlace ascendente (1310nm).

- **ONU más lejana:** (2 Km).  $P_r = 5 \text{ dBm} - 18.3 \text{ dB} = 13.3 \text{ dBm}$
- **ONU más cercana:** (1.30 Km).  $P_r = 5 \text{ dBm} - 18.05 \text{ dB} = 13.05 \text{ dBm}$

Para el enlace descendente (1550nm)

- **ONU más lejana:** (2 Km).  $P_r = 1.5 \text{ dBm} - 18.04 \text{ dB} = 16.54 \text{ dBm}$

- **ONU más cercana:** (1.30 Km).  $P_r = 1.5\text{dBm} - 17.88\text{ dB} = 16.38\text{ dBm}$

Los resultados obtenidos tanto para el abonado más cercano como para el más lejano se encuentran dentro del rango de sensibilidad de los equipos que va desde -8 dBm hasta -27 dBm, cabe recalcar que también se está cumpliendo con los 3 dB de guarda.

## 2.7 Simulación del diseño

De los Simuladores que se encuentran disponibles en nuestro medio se eligió el optisystem disponible en [www.optiwave.com](http://www.optiwave.com). Dicho software, figura 2-4, permite la evaluación de los indicadores de calidad y desempeño del tramo óptico de la red diseñada, por medio del análisis de la razón de error de bit (BER, *Bit Error Rate*), La recomendación ITU-T G.984.2 refiere el empleo de la BER inferior a 10<sup>-10</sup>. [24]. También, el factor Q ofrece una medida de la calidad en la transmisión de una señal en términos de su relación señal a ruido. En general, a valores más altos del factor Q mejora la relación señal a ruido y por consiguiente, disminuye la probabilidad de errores en bit [33]

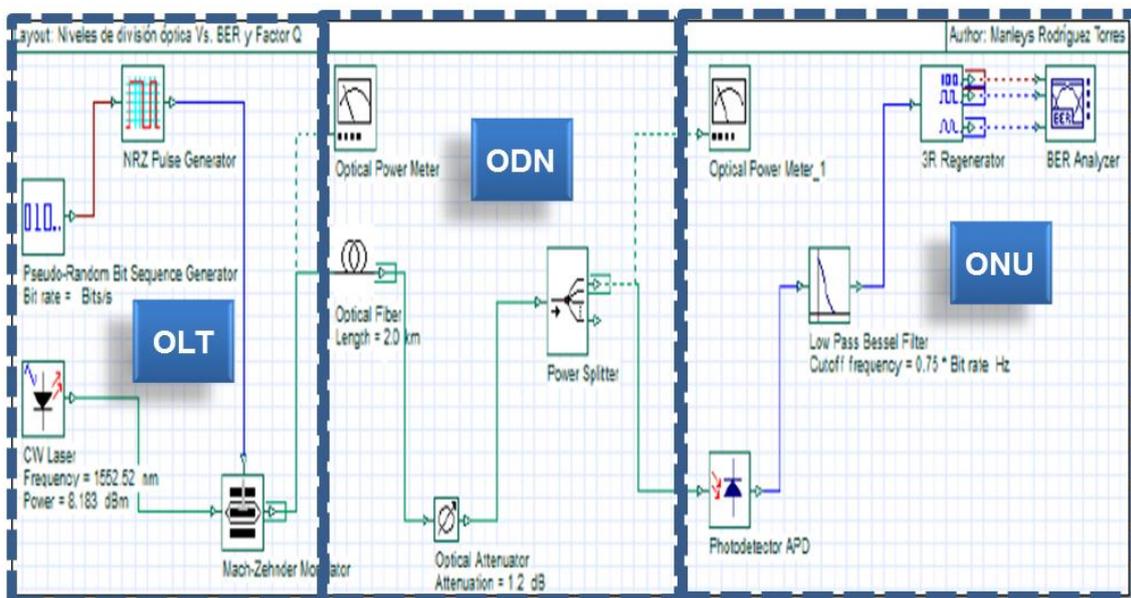


Figura 2-4. Esquema de simulación del segmento óptico en Optisystem V.7.0

En la tabla 2-1 se presenta la relación entre la razón de división óptica, la razón de bits erróneos BER, el factor Q a la entrada del receptor de la ONU que se implementa en la simulación. La razón de división óptica se varía desde 1:2 hasta 1:512, aunque para razones de división de 1:128 o superiores los valores que se obtiene para la razón de bits



erróneos y para la potencia óptica recibida no cumplen con la recomendación G.984.2 de la UIT.

Tabla 2-1. Razón de división óptica vs. BER, Factor Q.

No.	Razón de división óptica	BER	Q_Factor
1	1:02	0	683,878
2	1:04	0	588,664
3	1:08	0	414,458
4	1:16	0	291,892
5	1:32	0	191,892
6	1:64	0	118,684
7	1:128	0	69,4758
8	1:256	0	39,392
9	1:512	9,04376E(-94)	21,06

La figura 2-5 presenta la variación del factor Q respecto a la razón de división óptica. En este gráfico es posible apreciar la disminución, casi lineal, del factor Q con el aumento de la razón de división óptica.

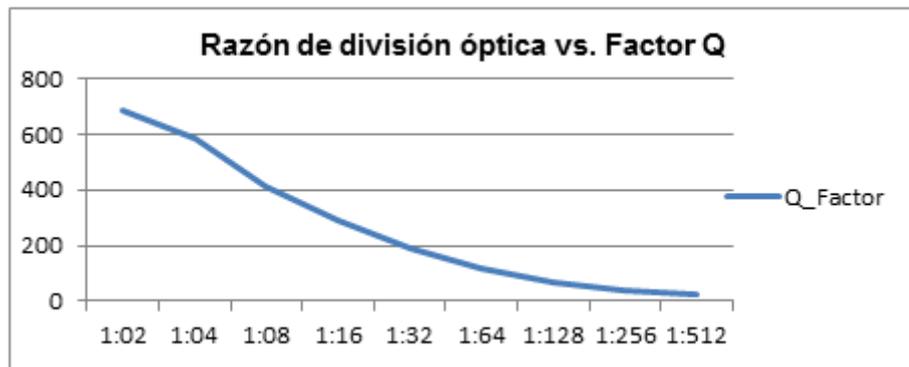


Figura 2-5. Razón de división óptica Vs. Factor Q

En la figura 2-6 aparecen las secuencias de los diagramas de ojos obtenidos en la simulación para los valores de razón de división óptica desde 1:2 hasta 1:512. En la primera fila, donde la razón de división óptica varía desde 1:2 hasta 1:64, se aprecian los ojos suficientemente abiertos en altura y anchura en cada uno de los diagramas.

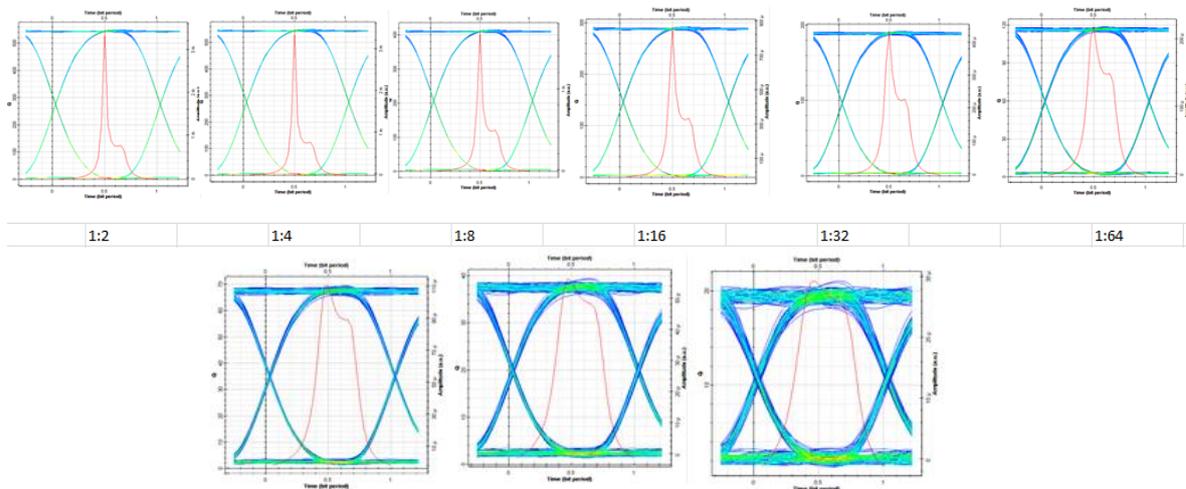


Figura 2-6. Diagramas de ojos para razones de división óptica desde 1:2 hasta 1:512

En la segunda fila, donde la razón de división óptica varía desde 1:128 hasta 1:512, se observa como disminuye progresivamente la apertura del ojo. Por lo que se recomienda usar razones de división óptica iguales o inferiores a 1:64.

### 3. Conclusiones

La tecnología GPON, puede ser descrita como una tecnología verde, pues disminuye su efecto perjudicial sobre el medio ambiente y ahorra energía eléctrica, al utilizar componentes ópticos pasivos en la red de distribución. De esta manera, se eliminan los equipos activos en la planta externa para formar una económica red de acceso hasta el cliente, con la convergencia de los servicios de telecomunicaciones sobre una infraestructura de red única, escenario acorde con el nuevo modelo económico y social que desarrolla el país.

Todo lo anterior, se va a caracterizar por la utilización extensiva de las TIC (*Tecnología de la Informática y las Telecomunicaciones*)[34]. Asimismo, tendrá una fuerte incidencia política, ya que se aprovechan las ventajas de las TIC como herramienta para el desarrollo de la cultura, el conocimiento y la actividad política e ideológica de la población, acceso a redes sociales para defender las conquistas y los intereses de la Revolución cubana[35].

Se mencionan aquellos aspectos que puedan enriquecer y perfeccionar el diseño realizado en futuras investigaciones. Así como la propuesta de seguir con este proyecto y extenderlo a otros repartos, poblados y explotar las ventajas que presenta esta



tecnología y, que sirva de material de capacitación para trabajadores de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, estudiantes y todo el personal interesado.

#### 4. Bibliografía.

- [1] ITU, "The State of Broadband 2014: broadband for all. Disponible en <http://www.broadbandcommission.org/documents/reports/bb-annualreport2014.pdf>," p. 110, 2014.
- [2] *Public Switched Telephone Network (PSTN); Network Termination Point (NTP) analogue interface; Specification of physical and electrical characteristics at a 2-wire analogue presented NTP for short to medium length loop applications. Disponible en [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_eg/201100\\_201199/201188/01.02.01\\_60/eg\\_201188\\_v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_eg/201100_201199/201188/01.02.01_60/eg_201188_v010201p.pdf)*, 2000.
- [3] *L.19. Red de cobre multipar que soporta servicios múltiples compartidos tales como telefonía tradicional, RDSI y xDSL.*, 2003.
- [4] *I.361. Especificación de la capa modo de transferencia asíncrono de la RDSI-BA.*, 1999.
- [5] *J.212. Interfaz externa de capa física en sentido descendente para sistemas modulares de terminación de módem de cable.*, 2006.
- [6] W. F. Rong Zhao, Edgar Aker, Pauline Rigby, "White Paper: Broadband Access Technologies. Disponible en [http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/DandO\\_White\\_Paper\\_2\\_2013\\_Final.pdf](http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/DandO_White_Paper_2_2013_Final.pdf)," p. 18, 2012.
- [7] *Y.2001. Visión general de las redes de próxima generación*, 2004.
- [8] L. G. Kruger, "Defining Broadband: Minimum Threshold Speeds and Broadband Policy. Disponible en <https://fas.org/sgp/crs/misc/R45039.pdf>," 2017.
- [9] A. C. V. VALENCIA, "DISEÑO DE UNA RED 10G-PON PARA EL BARRIO DE CARCELÉN ALTO 3D.," FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. Quito, 2013.
- [10] *IEEE Access Standards, 802.3ah GE-PON Status. Disponible en <https://www.itu.int/itudoc/itu-t/workshop/optical/s3amp03.pdf>*, 2002.
- [11] *G.984.1. Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics*, 2012.
- [12] B. B. Vesna Eržen, "NG-PON1: technology presentation, implementation in practice and coexistence with the GPON system. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/235686309>," *Elektrotehniski Vestnik/Electrotechnical Review* 2014.
- [13] J. M. M. Manzanares, "Estudio tecno-económico del despliegue del estándar NG-PON2 sobre infraestructura óptica heredada," *Oberta de Catalunya*, 2018.
- [14] *G.987.1 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements*, 2016.
- [15] D. Nettet, "NG-PON2 Technology and Standards. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/272640999>," *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, 2016.
- [16] J. S. W. D. N. M. V. K. G. H. R. Y. L. J. Smith, "Physical layer aspects of NG-PON2 standards—Part 1: Optical link design. Disponible en <https://ieeexplore.ieee.org/document/7389581>," *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 8, 2016.
- [17] *G.989.2 40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification*, 2014.



- [18] G.989.1 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements, 2013.
- [19] G.7041. Generic framing procedure (GFP), 2001.
- [20] R. Z. José Salgado, Nuno Monteiro, "New FTTH-based Technologies and Applications," in *A White Paper by the Deployment & Operations Committee*, ed, 2013.
- [21] G.984.4 Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): ONT management and control interface specification Amendment 3: Clarification of scope of application, 2010.
- [22] UIT-T, "G.984.2 Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification Amendment 2," 2008.
- [23] J. C. C. Merlo, "DISEÑO DE UNA RED GPON PARA LOS ROSALES DE ACHUMANI DEL MUNICIPIO DE LA PAZ EN BASE A LOS REQUERIMIENTOS DE ENTEL. Disponible en <http://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/11626/EG-1741-Copa%20Merlo%20Juan%20Carlos.pdf?sequence=1>," 2016.
- [24] G.984.2. Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos., 2006.
- [25] G.987.2 10-Gigabit-capable passive optical networks (XGPON): Physical media dependent (PMD) layer specification Amendment 1, 2017.
- [26] G.652. Characteristics of a single-mode optical fibre and cable, 2016.
- [27] G.655 Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula, 2006.
- [28] E. A. M. Narváez, "Estudio para la implementación del enlace de fibra óptica entre la subestación Jamondino y el Centro locañ de control de Cedenar S.A.E.S.P. Disponible en <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/89728.pdf>," Facultad de Ingeniería, Universidad de Nariño, 2013.
- [29] V. L. D, "Diseño de una red GPON en el nodo Caranqui para el sector 19 de Enero de la ciudad de Ibarra, basado en el estándar ITU-T G.984, para CNT EP," ed. Universidad Técnica del Norte.
- [30] P. S. V. Oñate, "ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA OPTICA UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA GPON PARA BRINDAR SERVICIO DE VOZ, VIDEO Y DATOS (TRIPLE PLAY) A LA CIUDAD DE MACAS DEL CANTÓN MORONA DE LA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO," FACULTAD DE INGENIERÍA, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, 2015.
- [31] I. M. R. Torres, "Red FiWi para el Centro Histórico de Manzanillo," Universidad de Oriente, 2018.
- [32] F. A. R. Yaguache, "DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA (ODN) MULTISERVICIO CON TECNOLOGÍA GPON EN EL SECTOR OCCIDENTAL DE LA CIUDAD DE LOJA PARA LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES E.P.," ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, 2015.
- [33] K. Willox. (2003) Q factor: the wrong answer for service providers and equipment manufacturers. *IEEE Communications Magazine*
- [34] M. d. Comunicaciones, "POLÍTICA INTEGRAL PARA EL PERFECCIONAMIENTO DE LA INFORMATIZACIÓN DE LA SOCIEDAD EN CUBA. Disponible en [http://www.mincom.gob.cu/sites/default/files/Politica%20Integral%20para%20el%20perfeccionamiento%20de%20la%20Informatizacion%20de%20la%20sociedad%20en%20Cuba\\_0\\_0.pdf](http://www.mincom.gob.cu/sites/default/files/Politica%20Integral%20para%20el%20perfeccionamiento%20de%20la%20Informatizacion%20de%20la%20sociedad%20en%20Cuba_0_0.pdf)," ed, 2017.
- [35] M. S. O. M.-F. M. Sc. Dilber Rosabal-Montero, M. Sc. Emiliano Wilfredo Rosabal-Benítez. (2017) LA RED DE ACCESO DE BANDA ANCHA EN FUNCIÓN DEL DESARROLLO



LOCAL. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6210517.pdf>.  
*OLIMPIA. Revista de la Facultad de Cultura Física de la Universidad de Granma.*