

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 Mejías¹

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; así como de los traslados pendientes de este servicio. Debido a sus ventajas y sus propias características, la propuesta de cambiar la red de acceso de cobre, y utilizar Redes Ópticas Pasivas, PON se vuelve una solución muy atractiva y favorable. Mediante este trabajo, se propone una alternativa de solución al problema de accesibilidad, a servicios que van orientados más allá de los tradicionales, 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 viable la implementación de redes PON de nueva generación. Luego de exponer las distintas tecnologías se escogerá la GPON por su adecuación a las características tanto económicas como tecnológicas que ajustan a las necesidades de la localidad.

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

Esta tecnología presenta además 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 neighborhood, there is a low level of satisfaction of the telephone service, by the Telecommunications Company of Cuba, ETECSA; as well as the pending transfers of this service.

Due to its advantages and its own characteristics, the proposal to change the copper access network, and to use Passive Optical Networks, PON becomes a very attractive and favorable solution. Through this work, a solution alternative to the problem of accessibility is proposed, to services that are oriented beyond the traditional, opting for high-speed data services, including multimedia. These proposals will be supported by 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[2]. Existieron familias de tecnologías de línea de abonado digital (xDSL, *Digital Subscriber Line*)[3, 4] y DOCSIS[5], que 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]. Así como el elevado CAPEX.

Siendo palpables estas consideraciones, es que las nuevas tendencias se orientan hacia arquitecturas de Redes de Banda Ancha, dentro de la cual se pone de manifiesto una nueva filosofía basada en acceso por fibra óptica, es decir Red de Acceso de Nueva Generación; NGAN, *Next Generation Access Networks*[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

2.1 Banda ancha

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[1].

2.1.1 Red óptica pasiva

Una red óptica pasiva, Redes PON (*Passive Optical Network*), 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.

2.1.2 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, en los epígrafes siguientes se mencionará cada una de ellas.

- **APON** (*ATM PON*). **UIT-T-G.983**[3].
- **BPON** (*Broadband PON*). **ITU-T G.983**.
- **EPON** (*Ethernet PON*). **802.3ah**[4].
- **GPON** (*Gigabit-Capable PON*). **UIT-T-G.984**.
 - **Escalabilidad.** Hoy hablamos de GPON, mañana podremos evolucionar a NG PON1 y NG PON2 y seguir utilizando la misma red de distribución[5].
- **NG PON** (*Next Generation Passive Optical Network*)

NGPON presenta dos fases, NGPON1 y NGPON2. La primera fase con el estándar XGPON o 10GPON[6], ITU- G.987, mientras que la segunda se encuentra en etapa de maduración[7].

⇒ **XGPON**

La creación del estándar XGPON se normalizó con la serie ITU-T G.987. Esta permitió maximizar la velocidad de transmisión para poder ser utilizado en la red móvil 4G[7]. La recomendación XGPON ha definido dos opciones distintas de velocidad de transmisión: para XGPON1 con enlace descendente (10 Gb/s) con longitud de onda 1575-1580 nm para enlace ascendente (2.5 Gb/s) con longitud de onda 1260-1280 nm [7][8]. Para XGPON2 valores asimétricos de 10 Gb/s. XGPON1 debe admitir una distancia máxima de fibra de al menos 20 km y una segunda variante opcional de 40 km[8]. La relación de división llegan a alcanzar de 1:128 o incluso 1:256[8].

⇒ **NGPON2**

Dos tecnologías han sido asignadas al estándar NGPON2:

- TWDM PON[9] (Time and Wavelength Division Multiplexing PON). Longitudes de onda entre 1524 y 1603 nm[11].
- PtP WDM PON (Point to Point Wavelength Division Multiplexing PON)[10]. Longitudes de onda entre 1524 y 1625 nm[11].

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[7]. 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[12]. La relación de división de al menos 1:256 para poder igualar al parámetro en XGPON[12].

2.2 Selección de la tecnología xPON a utilizar

La variante GPON es la que destaca como la más prometedora, ya que brinda múltiples ventajas como: proporcionar escalabilidad en su trama de transmisión permitiendo velocidades de distribución de 2,5 Gbps en sentido descendente y de 1,25 Gbps en sentido ascendente. Soporta hasta 64 con el uso de divisores ópticos. Presenta una alta eficiencia al utilizar el método de encapsulamiento GEM que permite a los operadores continuar utilizando los servicios de telecomunicaciones tradicionales (voz basada en TDM). Presenta escalabilidad tecnológica hacia tecnologías como XG PON y NG PON2.

2.3 Tecnología GPON.

GPON 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*). En el transporte de datos, se ha optado por la aplicación de protocolos usados en estándares previos a GPON como lo es GEM (*GPON Encapsulation Method*), que resulta de una adaptación del estándar GFP (*Generic Frame Procedure*) definido en la recomendación ITU-T G.7041[13]. El protocolo OMCI (*ONU Management and Control Interface*) es para el control y gestión por parte de la OLT de las ONT[14].

2.3.1 Transmisión y longitudes de onda GPON

Para transmitir los datos en sentido descendente se asigna la longitud de onda (1.490 nm) usando la tecnología de difusión desde la OLT hacia la ONU/ONT 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, figura 1-1.

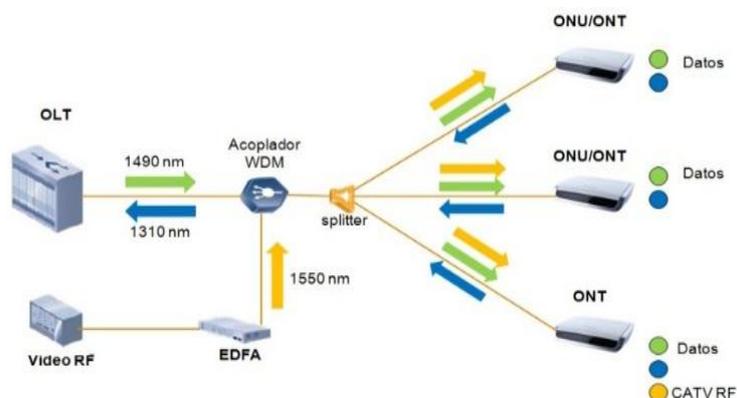


Figura 1-1. Esquema de transmisión bidireccional en GPON[15]

2.3.2 Selección de la Clase GPON a utilizar en el diseño

La selección de la clase determina, para futuros cálculos del presupuesto del enlace óptico, parámetros fundamentales como los balances de atenuación en el sistema GPON [17-19] [16].

2.4 Elementos de la red GPON del diseño

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

2.4.1 Nodo óptico y sus elementos

- **Equipo OLT:** La selección debe cubrir, que posea mayor despliegue en nuestra red territorial, 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.

2.4.2 Diseño de la red ODN y elementos que la conforman:

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

- **Divisores ópticos:** Mediante un relevamiento en la zona de estudio se determinaron los puntos en los cuales se debe prever la instalación de los divisores ópticos. Las principales características necesarias para un buen diseño y futuros cálculos, se muestra en[17]
- **Tipo de fibra óptica:** UIT-T G.652[22] y el G.655[23]. Para el análisis de los dos estándares se tiene en cuenta: Ancho de banda máximo que puede ofrecer, el cual fue calculado según la siguiente fórmula empírica [42], y mostrados en la tabla 1-6. Entre las subcategorías del estándar, la clase G.652D[22] es la más versátil ya que es LWP (*Low Water Peak*), permite trabajar con longitudes de onda en un rango extendido[38].

2.4.3 ONU

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

2.5 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. Para ello se debe cumplir la siguiente relación[24]:

$$P_T - n_c * \alpha_c - \alpha_{fo} * D - \alpha_e * n_e - M_G \geq P_R$$

Donde:

P_T : Potencia de transmisión [dBm]

n_c : Cantidad de conectores

n_e : Cantidad de empalmes

α_c : Coeficiente de atenuación debida al conector (según el tipo de conector a usar) [dB]

α_e : Coeficiente de atenuación debida al empalme (según el tipo de empalme a usar) [dB]

D : Distancia del enlace [Km]

M_G : Margen de guarda [dB]

α_{fo} : Coeficiente de atenuación de la fibra óptica (según el tipo de fibra a usar) [dB/Km]

α_{fo_env} : Coeficiente de atenuación de la fibra por envejecimiento [dB/km]

Todos los elementos de la red se muestran a continuación, figura 1-2 considerando el peor de los casos.

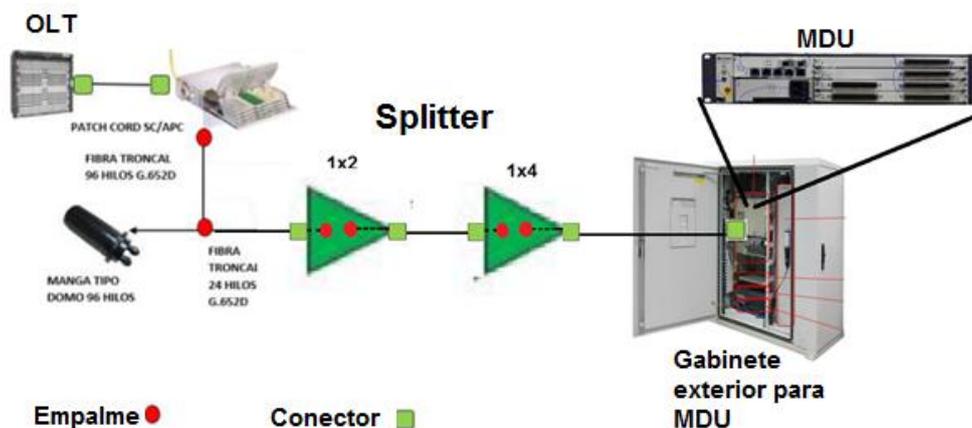


Figura 1-2. Elementos de la red GPON[25]

2.5.1 Longitud máxima de la fibra óptica

Distancia máxima a la que se puede tener el 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)

α_e : Coeficiente de atenuación debida al empalme (Fusión).....(0,1 – 0,2 dB)

n_e : Cantidad de empalmes.....(6)

α_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)

α_{fo} : Coeficiente de atenuación de la fibra óptica G.652D [26](0,35 dB/Km)

$\alpha_{fo_{env}}$: Coeficiente de atenuación de la fibra por envejecimiento [27]... (0.05 dB/km)

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

$$D \leq 26,62 \text{ Km}$$

Es decir debe procurarse de no sobrepasar nunca tal distancia en el despliegue de fibra

2.5.2 Atenuación de la Fibra Óptica

Aquí 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.

$$A_T = At_{s1} + At_{s2} + (D * At_{fo}) + (n_c * At_c) + (n_e * At_e) + M_G$$

- Para la ONU más lejana, ubicada a 2 Km y en el enlace ascendente (1310nm) tenemos un valor de atenuación de 18.3 dB. Para el enlace descendente (1550nm) = 18.04 dB
- Para la ONU más cercana, ubicada a 1.30 Km y en el enlace ascendente (1310nm) tenemos un valor de atenuación de = 18.05 dB. Para el enlace descendente (1550nm) = 17.88 dB

2.5.3 Cálculo de potencias

Para este análisis se utilizará la siguiente ecuación y los resultados en la tabla 1-1:

$$P_r = P_{tx} - \alpha_{total} [28]$$

Donde:

P_r : Potencia recibida [dBm]

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

α_{total} : Atenuación total [dB]

Tabla 1-1. Calculo de Potencias según el enlace y la distancia de la ONU

Distancia a la ONU	Tipo de enlace/ Long. Onda	Potencia Rx (dBm)
2 Km	Descendente/1550nm	-16.54
	Ascendente/1310nm	-13.3
1.30 Km	Descendente/1550nm	-16.38
	Ascendente/1310nm	-13.05

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.

2.6 Simulación del diseño

De los Simuladores que se encuentran disponibles en nuestro medio se eligió el optisystem disponible en www.optiwave.com.

Dicho software, figura 1-3, permite la evaluación de los indicadores de calidad y desempeño 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^{-10} . [18]. También, el factor Q ofrece una medida de la calidad en la transmisión de una señal analógica en términos de su relación señal a ruido. Toma en consideración las limitaciones físicas de la señal, tales como ruido, dispersión cromática y cualquier efecto no lineal o de polarización, los cuales pueden degradar la señal y en último caso ser causa de errores en bit. 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 [29]

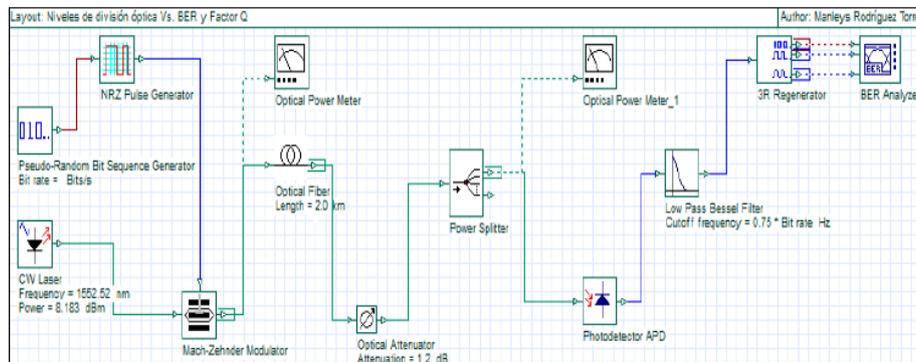


Figura 1-3. Esquema de simulación del segmento óptico en Optisystem V.7.0

La OLT se simula utilizando de un generador de secuencias pseudoaleatorias, un generador de pulsos NRZ, una fuente de láser de onda continua y un modulador Mach-Zehnder, para generar una señal óptica de longitud de onda 1577 nm y 5 dBm de potencia. La ODN se simula usando un tramo de fibra 2 km de longitud y 0.3 dB/km de atenuación, El receptor de la ONU se implementa mediante un fotodiodo de avalancha (APD, *Avalanche Photo Diode*), un filtro pasabajos de Bessel y un regenerador 3R.

En la tabla 1-2 se presenta la relación entre la razón de división óptica, VER y el factor Q a la entrada del receptor de la ONU que se implementa. La razón de división óptica se varía desde 1:2 hasta 1:512, aunque para razones de división de 1:128 y superiores los valores que se obtiene para BER y para la potencia óptica recibida no cumplen con la recomendación G.984.2 de la UIT.

Tabla 1-2. 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 1-4 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.

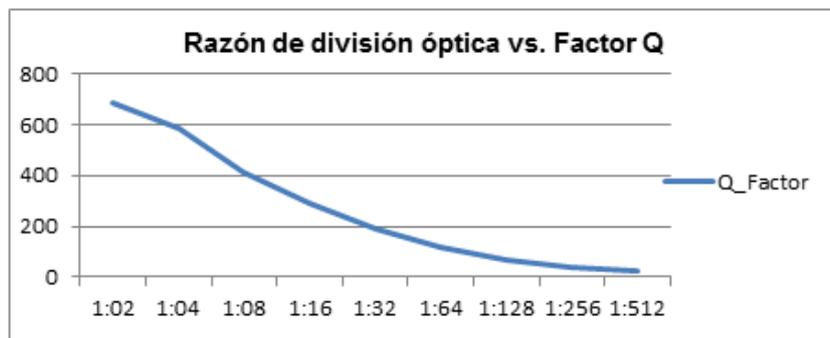


Figura 1-4. Razón de división óptica Vs. Factor Q

En la figura 1-5 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.

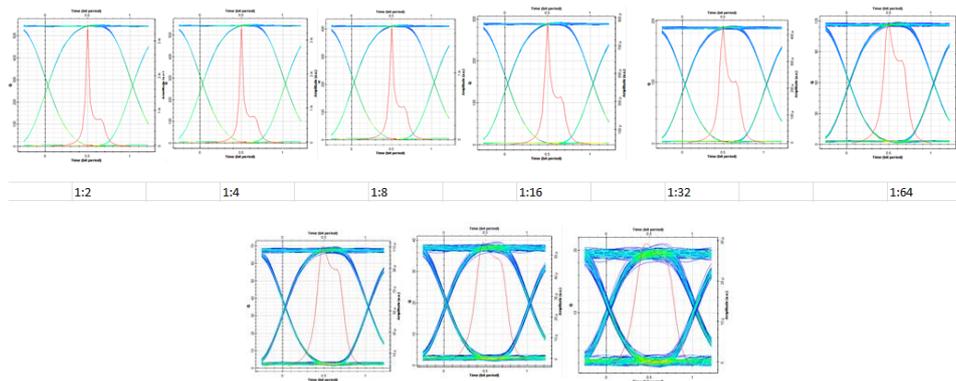


Figura 1-5 Diagramas de ojos para razones de división óptica desde 1:2 hasta 1:512

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 mostrado en cada uno de los diagramas. Por lo que se recomienda usar razones de división óptica iguales o inferiores a 1:64.

3. Conclusiones

La tecnología GPON disminuye su efecto perjudicial sobre el medio ambiente y ahorra energía eléctrica, al utilizar componentes ópticos pasivos en la red de distribución, 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*) como motor impulsor de la gestión de los gobiernos locales para lograr una administración pública ágil y eficiente[11]. 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[12].

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] L. G. Kruger, "Defining Broadband: Minimum Threshold Speeds and Broadband Policy. Disponible en <https://fas.org/sgp/crs/misc/R45039.pdf>," 2017.

- [2] I. G. M. D. Alonso, "GPON. Escenarios FTTX Planeamiento de la Red ODN," presented at the GPON Fundamentos. ETECSA Training, Bayamo, Granma, Cuba, 2018.
- [3] 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.
- [4] *IEEE Access Standards, 802.3ah GE-PON Status. Disponible en <https://www.itu.int/itudoc/itu-t/workshop/optical/s3amp03.pdf>*, 2002.
- [5] R. Z. José Salgado, Nuno Monteiro, "New FTTH-based Technologies and Applications," in *A White Paper by the Deployment & Operations Committee*, ed, 2013.
- [6] 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.
- [7] J. M. M. Manzanares, "Estudio tecno-económico del despliegue del estándar NG-PON2 sobre infraestructura óptica heredada," *Oberta de Catalunya*, 2018.
- [8] *G.987.1 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements*, 2016.
- [9] D. Nettet, "NG-PON2 Technology and Standards. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/272640999>," *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, 2016.
- [10] 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.
- [11] *G.989.2 40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification*, 2014.
- [12] *G.989.1 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements*, 2013.
- [13] *G.7041. Generic framing procedure (GFP)*, 2001.
- [14] *G.984.4 Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): ONT management and control interface specification Amendment 3: Clarification of scope of application*, 2010.

- [15] I. G. M. D. Alonso, "GPON Fundamentos," presented at the GPON Fundamentos. ETECSA Training, Bayamo, Granma, Cuba, 2018.
- [16] UIT-T, "G.984.2 Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification Amendment 2," 2008.
- [17] 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.
- [18] *G.984.2. Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos.*, 2006.
- [19] *G.987.2 10-Gigabit-capable passive optical networks (XGPON): Physical media dependent (PMD) layer specification Amendment 1*, 2017.
- [20] I. G. M. D. Alonso, "Redes de Nueva Generación. Nodos de Acceso Multiservicios. MSAN MA56XX," presented at the GPON Fundamentos. ETECSA Training, Bayamo, Granma, Cuba, 2018.
- [21] I. G. M. D. Alonso, "GPON FAMILIA MSAN MA56XX HUAWEI," presented at the GPON Fundamentos. ETECSA Training, Bayamo, Granma, Cuba, 2018.
- [22] *G.652. Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*, 2016.
- [23] *G.655 Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula*, 2006.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.

- [27] I. M. R. Torres, "Red FiWi para el Centro Histórico de Manzanillo," Universidad de Oriente, 2018.
- [28] 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.
- [29] K. Willox. (2003) Q factor: the wrong answer for service providers and equipment manufacturers. *IEEE Communications Magazine*