

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



**XVIII Simposio Internacional de Ingeniería Eléctrica. "SIE 2019"**

***Red acceso óptica para la modernización de la planta externa en el  
municipio Varadero***

***Access network for the modernization of the external plant in the  
municipality of Varadero***

**Oscar Lara Sánchez**

1-Oscar Lara Sánchez. ETECSA VIPV, Cuba. E-mail: [oscar.lara@etecsa.cu](mailto:oscar.lara@etecsa.cu)

2- Erik Ortiz. Universidad Marta Abreu, Cuba. E-mail: [erik@uclv.edu.cu](mailto:erik@uclv.edu.cu)

**Resumen:**

El desarrollo de las redes ópticas pasivas ha permitido el surgimiento de nuevos servicios de banda ancha que requieren cada día mayor velocidad de transmisión. El objetivo de este trabajo consiste en el diseño de una red de acceso óptica que garantice los requerimientos de los servicios de banda ancha en el municipio Varadero en la provincia de Matanzas.

El despliegue de soluciones de acceso ópticas que soporten altas velocidades posibilita un rápido desarrollo de la red de cobre. La red óptica pasiva pudiera constituir una solución para la actualización de la planta externa; permite la migración de la red basada en cobre por fibra óptica en la red de alimentación y de distribución, eleva el rendimiento de la red para garantizar el acceso a los servicios de banda ancha.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



En el método de investigación se analizan las distintas tecnologías de fibra óptica a utilizar de forma que se reduzcan o se eliminen las limitaciones de las redes sobre el par de cobre.

Se demostró la factibilidad municipio Varadero donde existen importantes instituciones de turismo, educación, salud, empresas, comercios y hogares que pueden utilizar los servicios de banda ancha sobre redes de acceso fijas.

***Abstract:***

*The development of passive optical networks has allowed the emergence of new broadband services that require a higher transmission speed every day. This work consists in the design of an optical access network that guarantees the requirements of broadband services in the municipality of Varadero in the province of Matanzas. The deployment of optical access solutions that support high speeds enables a rapid development of the copper network. The passive optical network could be a solution for updating the external plant; allows the migration of the copper-based network by optical fiber in the power and distribution network, raises the performance of the network to guarantee access to broadband services. In the research, the different optical fiber technologies to be used in order to reduce or eliminate the limitations of the copper pair networks are analyzed. The municipality Varadero feasibility was demonstrated. There are important institutions of tourism, education, health, businesses, businesses and homes that can use broadband services over fixed access networks.*

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**Palabras Clave:** APON (Redes Ópticas Pasivas ATM; EPON (Redes Ópticas Pasivas Ethernet); GPON (Redes Ópticas Pasivas con Capacidad Gigabit); OLT (Terminal de Línea Óptico); TDM (Multiplexación por División de Tiempo); TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo)

**Keywords:** *APON (Redes Ópticas Pasivas ATM; EPON (Redes Ópticas Pasivas Ethernet); GPON (Redes Ópticas Pasivas con Capacidad Gigabit); OLT (Terminal de Línea Óptico); TDM (Multiplexación por División de Tiempo); TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo)*

### DESARROLLO

La red de acceso en la región de estudio todavía presenta conexiones de una red rígida, lo que trae consigo mayor probabilidad de fallos y dificultad en su localización; también es insuficiente la capacidad del equipamiento en explotación; por tanto, se limitan las posibilidades para alcanzar los objetivos propuestos por la UIT en el programa “Conectar 2020”

El auge de las redes de acceso ha posibilitado la evolución de los servicios brindados por los operadores de telecomunicaciones a una arquitectura de servicios integrados de voz, video y datos, llamados triple *play*, estas constituyen el último nivel funcional dentro de una red de telecomunicaciones y en este se engloban todos los elementos encargados de llevar los contenidos multimedia hasta el usuario y atender sus peticiones. En los últimos años se han ido desarrollando los estándares y las tecnologías con las que se implementan estas redes para brindar cada vez más velocidad y ancho de banda al usuario final, según la demanda de servicio del mismo.

La comisión de banda ancha para el desarrollo digital, creado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT (*International Telecommunication Union*), considera que los países deben usar estrategias y políticas para que la banda ancha sea costeable y esté

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



disponible como herramienta vital para el avance sostenido de la sociedad moderna del conocimiento. Su uso en la vida diaria permitirá el acceso a los servicios de educación, cultura, entretenimientos, salud, servicios comerciales y financieros en formato digital.

Aunque inicialmente las redes de acceso estuvieron basadas en el par de cobre para la transmisión de voz y datos sobre la red telefónica pública conmutada (RTPC), las familias de tecnologías de línea de abonado digital (xDSL, *Digital Subscriber Line*) posibilitaron la extensión de la vida útil de la red de cobre y todavía tiene predominio para soportar la banda ancha. El principal inconveniente de las xDSL está dado por la disminución de la velocidad de transmisión con el aumento de la distancia entre el equipo del abonado y la central telefónica.

Para el acceso también se han utilizado los cables coaxiales, los cuales soportan un mayor flujo de información. Este medio de transmisión ha tenido su aplicación en la red de distribución para la transmisión de televisión y acceso a Internet a través de la red híbrida de fibra coaxial HFC (*Hybrid Fiber-Coaxial*), con lo que se obtiene una relación costo-beneficio superior. A pesar de sus posibilidades, los medios anteriores se han visto superados por las ventajas del uso de la fibra óptica en las redes de telecomunicaciones.

En la actualidad, los requerimientos de los servicios de banda ancha y la infraestructura de las redes FTTH deben ser garantizados por las redes de acceso ópticas de próxima generación NGOA (*Next Generation Optical Access*) que utilizan la fibra óptica como medio de transmisión en la última milla. A partir de sus posibilidades, ellas se han convertido en una opción tecnológica viable para el acceso. Estas alcanzan largas distancias, reducen los problemas de ruido, atenuación e interferencias, al emplear como fuente de energía los emisores de luz y permiten atender a una mayor cantidad de usuarios al utilizar la multiplexación por división de longitud de onda.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



De todo lo expuesto anteriormente, se deduce que es necesaria la modernización de la red de acceso para brindar los servicios de telecomunicaciones acordes a estándares internacionales, así como satisfacer los requerimientos de crecimiento y diversificación de los servicios de banda ancha en la región; además de lograr la optimización de recursos y una productividad superior en los diferentes sectores de la sociedad.

Por tales razones se plantea el siguiente problema científico: ¿Cómo dar solución a la problemática existente para lograr acceso a través de la red fija de banda ancha en el municipio de Varadero?

En correspondencia con el problema planteado, se formuló como objetivo general del trabajo.

- Proponer una red de acceso que dé solución a los problemas de conectividad existentes en Varadero de forma que se garanticen los requerimientos de los servicios de banda ancha en este territorio.

Para dar cumplimiento al objetivo general, se plantean como objetivos específicos:

1. Analizar las principales tecnologías existentes en el mercado para el despliegue de redes de acceso fija de banda ancha.
2. Diagnosticar la situación actual de la infraestructura de Telecomunicaciones en Varadero.
3. Diseñar alternativas de una red de acceso fija de banda ancha.
4. Evaluar los costos económicos y simulación.

Capítulo 1: Es este capítulo se analizan las principales características de las redes de acceso PON, los elementos que la componen así como su clasificación según su topología. Se abordan los elementos fundamentales del medio de transmisión así como la multiplexación utilizada en el canal de ascenso y descenso.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



En el Capítulo 2: Selección de la tecnología y su descripción, se realiza un estudio de las principales características, principios de funcionamiento y variantes disponibles de la tecnología de redes ópticas pasivas y se selecciona la variante más adecuada.

Capítulo 3: Se analizan propuestas de diseño así como su simulación teniendo en cuenta los costos para su implementación con los proveedores estratégicos de la Empresa ETECSA.

### **1. Clasificación de las redes de acceso PON**

#### **1.1. APON (Redes Ópticas Pasivas ATM)**

Está definida en la revisión del estándar de la ITU-T G.983, el cual fue el primer estándar desarrollado para las redes PON. Las red APON fue la primera red que definió la FSAN, un grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones con el objetivo de unificar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas. Tuvo un notable éxito en cuanto a despliegue comercial, pero carecía de la capacidad requerida para ofrecer vídeo. Sus velocidades iniciales eran de 155 Mbps, aunque se mejoró posteriormente para soportar hasta 622 Mbps.[1]

#### **1.2 BPON (Redes Ópticas Pasivas de Banda Ancha)**

Se basan en las redes APON pero con la diferencia que pueden dar soporte a otros estándares de banda ancha, brindando servicios Ethernet, distribución de video y multiplexación por longitud de onda (WDM). Esta red también se encuentra definida en la revisión del estándar de la ITU-T G.983, en la cual la especificación G.983.1 de la BPON define una arquitectura de forma simétrica a 155 Mbps.

Esta norma fue modificada en el 2001 para lograr un aumento en las velocidades de transmisión y así permitir arquitecturas asimétricas (155 Mbps de subida y 622 Mbps de bajada).

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



Las otras revisiones relacionadas con el estándar son las siguientes: G.983.2 para la capa de gestión y mantenimiento, G.983.3 para QoS, G.983.4 para la asignación de ancho de banda dinámico, G.983.5 para mecanismos de protección, G.983.6 para la capa de control de red OTN (redes de transporte óptico), G.983.7 para la capa de gestión de red para el ancho de banda dinámico, G.983.8 para dar soporte al protocolo IP, Video, VALN y VC  
BPON introduce una longitud de onda adicional para transportar vídeo RF.

### 1.3 EPON (Redes Ópticas Pasivas Ethernet)

La red EPON está definido en el estándar de la IEEE 802.3 y funciona con velocidades de Gigabit, por lo cual la velocidad con la que dispone cada usuario final depende del número de ONU's que se interconecten a cada OLT. Es un sistema desarrollado por un grupo de estudio de la IEEE de Ethernet en la última milla (EFM). La principal característica de la red EPON es que transporta tráfico nativo de red Ethernet en lugar del clásico tráfico ATM. EPON carecía de muchas funcionalidades necesarias para el transporte de otros servicios con calidad de operador que daban lugar a soluciones propietarias. Así mismo, la eficiencia de línea es baja debido a una codificación de línea con gran sobrecarga. Aun así, es una tecnología con un notable éxito en Corea del Sur, Japón y Taiwán.

### 1.4 GPON (Redes Ópticas Pasivas con Capacidad Gigabit)

Un mes antes que se definiera EPON en el 2004, se terminaba de definir GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) por parte del ITU-T en 4 recomendaciones, la G.984.1, G.984.2, G.984.3 y G.984.4.

Esta tecnología no solo ofrece mayores velocidades sino que también da la posibilidad a los proveedores de servicios de continuar brindando sus servicios tradicionales sin necesidad de tener que cambiar los equipos para que sean compatibles con esta tecnología. Esto se da gracias a que GPON usa su propio método de encapsulamiento (GEM o Método de

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Encapsulamiento GPON), el cual permite el soporte de todo tipo de servicios (Ethernet, TDM, ATM, etc.) en un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125µs.[2]

El único problema en el momento de su definición era la mayor complejidad de esta tecnología y de los componentes, que hacían imposible tener productos comerciales en tan poco tiempo como en EPON. Sin embargo, desde el año 2006 este problema está resuelto y ya hay muchos operadores que han comenzado su despliegue.

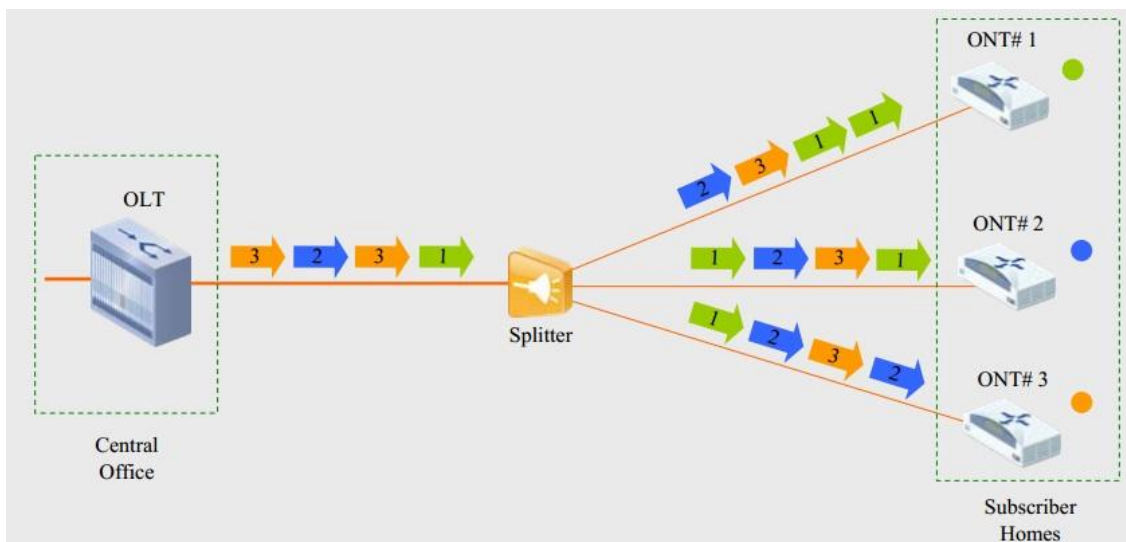


Figura 1: Topología punto multipunto (fuente internet)

En una red GPON, se asigna una longitud de onda para el tráfico de datos (Internet, VoIP, IPTV, etc.) *downstream* (1.490 nm) y otra para el tráfico *upstream* (1.310 nm). Además, a través del uso de WDM (*Wavelength División Multiplexing*), se asigna una tercera longitud de onda (1.550 nm) que está dedicada para el *broadcast* de vídeo RF (*broadcast* analógico, *broadcast* digital, y HDTV, y vídeo bajo demanda). De este modo, el vídeo/TV puede ser ofrecido mediante dos métodos distintos simultáneamente: RF (radio frecuencia) e IPTV. Mediante RF las operadoras de cable pueden hacer una migración gradual hacia IPTV. En

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)



PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



este caso, las ONT dispondrán de una salida para vídeo RF coaxial que irá conectada al STB tradicional. Con IPTV la señal de vídeo, que es transformada por la cabecera en una cadena de datos IP se transmite sobre el mismo enlace IP como datos para acceso a Internet de banda ancha. El STB conectado mediante Gigabit Ethernet al ONT, convertirá de nuevo la cadena de datos en una señal de vídeo.[3]

## 2. Clasificación de las redes GPON según sus topologías

Redes FTT-x son redes que indican hasta el punto en donde se usará fibra óptica. La fibra llega a un equipo activo que realiza la conversión óptica-eléctrica, dependiendo del lugar de este equipo se clasifican en las siguientes topologías de red.

2.1 FTTN (*Fiber to the node*). Fibra óptica hasta el nodo es una topología mixta, la fibra óptica llega hasta un nodo designado y a partir de ese punto recorre con cobre. Como se visualiza en la Figura 2. [4]

2.2 FTTc (*Fiber to the curb*).

Fibra óptica hasta la esquina, es una topología mixta. La fibra óptica llega hasta un poste y continúa con cobre o cable coaxial hasta los hogares, como se observa en la Figura 2 donde la fibra llega hasta el poste.

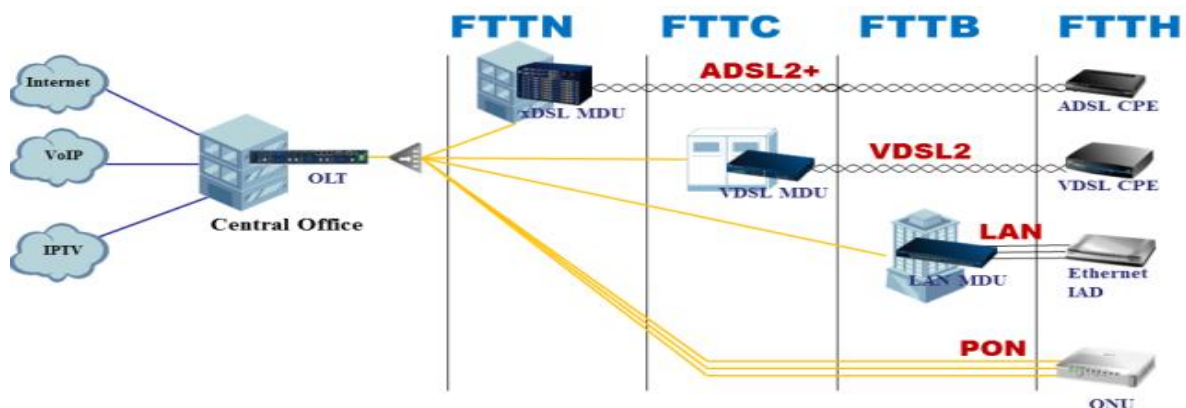


Figura 2: Topología FTTx(fuente internet)

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Estos puntos de conexión, también llamados armarios o cabinas de telecomunicaciones, generalmente se encuentran a una distancia de 300 o 500 metros de los destinos finales.

2.3 FTTB (*Fiber to the building*). Fibra óptica hasta el edificio, es una topología mixta. La fibra óptica llega hasta la fachada del edificio y a partir de ese punto recorre el edificio con cobre.

De esta manera este tipo de redes permiten reutilizar parte de las infraestructuras existentes (la correspondiente al interior de los edificios) pudiendo a través de la misma ofrecer servicios xDSL con la calidad que permite ofrecer un tendido de par de cobre de tan corta distancia.

2.4 FTTH (*Fiber to the home*). Fibra óptica hasta la casa, cuenta con fibra en toda su arquitectura con una topología tipo árbol. Con la ayuda de splitters llega fibra óptica hasta la casa, contando con una sola fibra por hogar y con velocidades de transmisión superiores a 100 Mbps.

### 3. Fibra óptica

#### 3.1 Composición de la fibra óptica

La fibra óptica básica está compuesta de tres capas concéntricas que difieren en propiedades.

Núcleo ó Core: La parte interna que conduce la luz.

Revestimiento ó *Cladding*: la capa media que sirve para confinar la luz en el centro.

Buffer ó Recubrimiento: la capa exterior que sirve como un "amortiguador" para proteger al núcleo y al revestimiento de algún daño.

#### 3.2 Propagación de la información (luz).

La fibra óptica está compuesta por dos capas de vidrio, cada una con distinto índice de refracción. El índice de refracción del núcleo es mayor que el del revestimiento, razón por

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



la cual, y debido a la diferencia de índices de refracción, la luz introducida al interior de la fibra se mantiene y propaga a través del núcleo. Se produce por ende el efecto denominado de reflexión total, tal como se ilustra en la figura 3. La luz inyectada en el núcleo choca en las interfaces núcleo-revestimiento con un ángulo mayor que el ángulo crítico reflejándose hacia el núcleo. Desde que los ángulos de incidencia y reflexión son iguales, el rayo de luz continúa en zigzag sobre toda la longitud de la fibra. Los rayos de luz que van golpeando las interfaces núcleo-revestimiento con un grado menor al ángulo crítico se pierden en el revestimiento.[5]

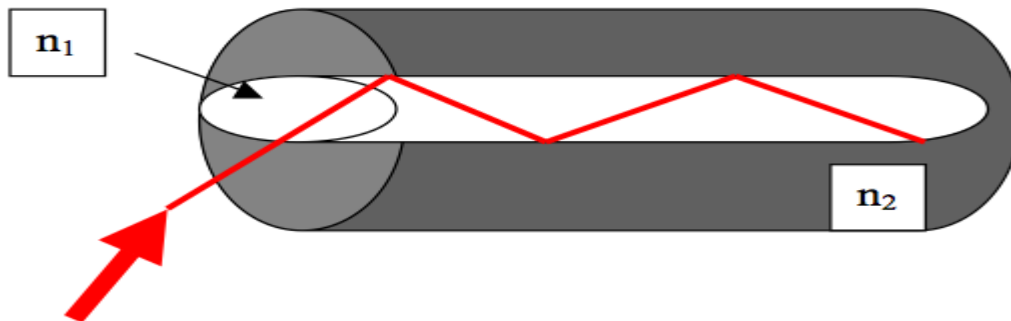


Figura 3: Reflexión total (fuente internet)

Los rayos de luz que al entrar a la fibra lo hacen fuera de un cierto ángulo denominado cono de aceptación pueden perfectamente no ser transportado por la fibra óptica si no cumple con el requisito del cono de aceptación. El cono de aceptación está directamente asociado a los materiales con los cuales la fibra óptica ha sido construida. La figura 4 ilustra todo lo dicho.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

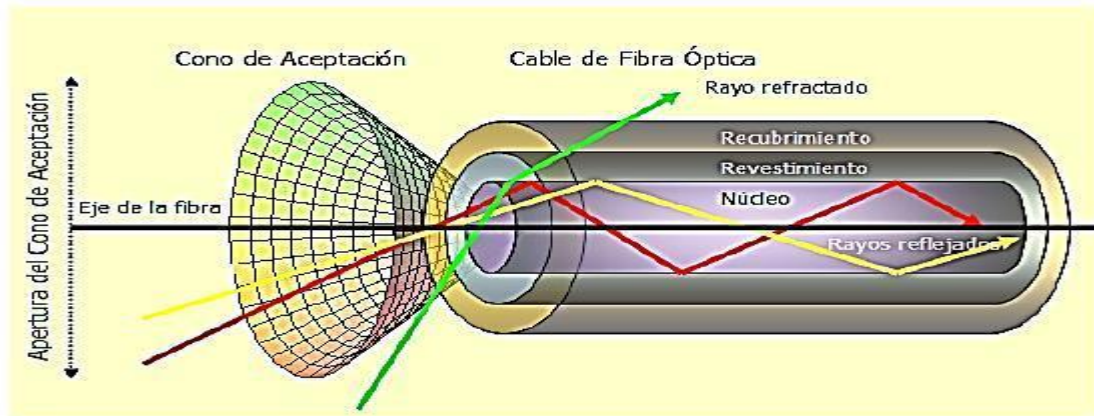


Figura 4: Cono de aceptación (Fuente internet)

### 3.2.1 Reflexión total de la luz en la fibra

Reflexión: La reflexión de un haz de luz se produce cuando éste incide sobre una superficie de separación de dos medios y se produce el cambio de dirección de la onda que la lleva a tomar una dirección con un ángulo igual al de incidencia. El ángulo que se forma entre el rayo incidente y una línea perpendicular a la superficie del vidrio, en el punto donde el rayo incidente toca la superficie del vidrio, recibe el nombre de ángulo de incidencia. Esta línea perpendicular recibe el nombre de normal. Ver figura 5.

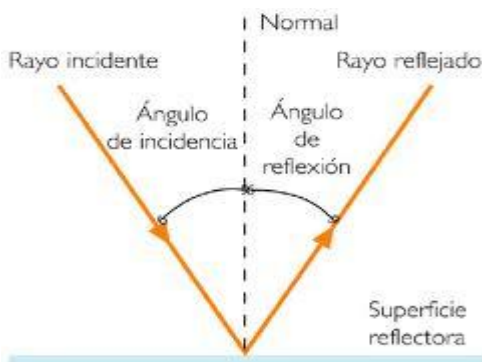


Figura 5: Angulo de incidencia y reflejado (fuente Internet)

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



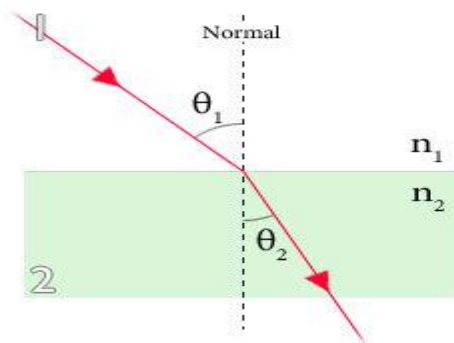
El ángulo que se forma entre el rayo reflejado y la normal recibe el nombre de ángulo de reflexión. La Ley de la Reflexión establece que el ángulo de reflexión de un rayo de luz es equivalente al ángulo de incidencia.

### 3.2.2 Refracción de la luz en la fibra

Refracción: en este caso es cuando se produce un cambio de dirección y velocidad en una onda al pasar de un medio a otro.

#### 3.2.2.1 Ley de Snell

Cuando la luz atraviesa una frontera entre dos medios homogéneos con distinto índice de refracción se produce una variación del ángulo con el que ésta pasa de un medio al otro. Este fenómeno se conoce como refracción y queda perfectamente descrito en la Ley de Snell. [6]



### Ley de Snell

$$n_1 \sen \theta_1 = n_2 \sen \theta_2$$

Donde:

$n_1$  : Índice de refracción del medio 1

$n_2$  : Índice de refracción del medio 2

Figura 6: Ley de Snell (fuente internet)

De esta ecuación podemos deducir que el ángulo con el que la luz se propaga por el medio "2" depende del ángulo con el que se propagaba por el medio "1" y de los índices de

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



refracción (densidades) de cada uno de los medios. Sin embargo, no siempre se produce este efecto, en ciertas circunstancias el haz de luz no atraviesa la frontera entre los dos medios, en esta situación rebota y vuelve al primer medio. Este fenómeno se conoce como reflexión y es el causante de que la luz se mantenga dentro de la fibra óptica.[7]

### 3.3 Tipos de fibra

#### 3.3.1 Fibras monomodo

Son aquellas fibras ópticas donde se transmite un sólo haz de luz por el interior de la fibra. Tienen un alcance de transmisión de 300 km en condiciones ideales, siendo la fuente de luz láser.

#### 3.3.2 Fibras multimodo

Son aquellas donde se pueden transmitir varios haces de luz por el interior de la fibra. Generalmente su fuente de luz son LEDs de baja intensidad, teniendo distancias cortas de propagación (2 o 3 Km), pero son más baratas y más fáciles de instalar.



Figura 7: Tipos de fibras (fuente internet)

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



### 3.3.3 Características fundamentales de las fibras monomodo

Cuando se analizan las principales características de las fibras ópticas, se establece la diferencia entre fibras multimodo y fibras monomodo. De la misma manera, cuando se consultan las características de las fibras multimodo, se observa que las más utilizadas son las de **62,5/125** y las de **50/125**, siendo estos números los diámetros en micras (milésimas de milímetro) del núcleo y del revestimiento respectivamente.

Sin embargo, al analizar las características de las fibras monomodo se observa que, al contrario que en las fibras multimodo, en ningún momento se indica el diámetro del núcleo o del revestimiento.

No obstante, hay algo que llama poderosamente la atención y es que, al parecer, este supuesto diámetro del núcleo cambia con la longitud de onda utilizada, lo cual da la impresión de ser algo imposible. Y efectivamente es así. El diámetro físico del núcleo es siempre el mismo, ya que es inherente al proceso de fabricación de las propias fibras monomodo, pero cuando la luz circula por el interior de estas fibras monomodo no lo hace solamente por el núcleo, sino que una parte significativa lo hace por el revestimiento o cladding. Por lo tanto, a efectos de acoples entre fibras no importa tanto el diámetro físico del núcleo como el diámetro efectivo ocupado por la luz al propagarse por la fibra óptica. Esto es lo que se conoce como diámetro de campo modal, el cual incluye al núcleo y a una pequeña parte del revestimiento. En estos casos, la energía transmitida toma un valor máximo en el centro de la fibra y va disminuyendo de forma gradual hacia el exterior, siguiendo una curva aproximadamente de perfil gaussiano.[8]

Cuando se analiza la propagación de la luz en una fibra monomodo es preciso acudir a la teoría ondulatoria, aplicando para ello las Ecuaciones de Maxwell.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



#### 4. Redes PON

##### 4.1 Elementos de las redes PON

El Terminal de Línea Óptico (*Optical Line Terminal*) OLT ubicado en la central, elementos pasivos de ramificación óptica, denominados Splitter, terminales de Red Ópticos (*Optical Network Terminals*) ONTs también denominados ONU (*Optical Network Unit*), los que se encuentran en la casa del usuario y presentan las interfaces hacia los dispositivos que con los cuales se hace uso del servicio.

##### 4.1.1 Funcionamiento de las redes PON

Desde el equipo OLT salen cables de fibra donde cada hilo es capaz de transportar el tráfico de hasta 64 abonados y corresponde a un puerto PON en el equipo de la central. Estas fibras pueden tener una o varias etapas de splitters. La primera etapa presenta una relación 1:n; luego desde allí salen n fibras por cada fibra “primaria” o Feeder. Desde allí se tiene una etapa de cableado denominada Distribución, la cual finaliza en un segundo splitter, el cual realiza la segunda etapa de splitter, de este último sale el cableado *Drop Box*, es decir directamente hacia el cliente.

##### 4.2 Topologías de transmisión de las redes PON.

Para el tráfico de bajada (downstream) se realiza un broadcast óptico, aunque cada ONT sólo será capaz de procesar el tráfico que le corresponde o para el que tiene acceso por parte del operador, gracias a las técnicas de seguridad AES (*Advanced Encryption Standard*).

Para el tráfico de subida (*upstream*) los protocolos basados en TDMA (*Time Division Multiple Access*) aseguran la transmisión sin colisiones desde la ONT hasta la OLT. Además, mediante TDMA sólo se transmite cuando sea necesario, por lo cual, no sufre de

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)



PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



la ineficiencia de las tecnologías TDM donde el período temporal para transmitir es fijo e independiente de que se tengan datos o no disponibles.[9]

Una de las características clave de PON es la capacidad de sobresuscripción. Esto permite a los operadores ofrecer a los abonados más tráfico cuando lo necesiten y la red esté con capacidad ociosa, es decir, cuando no haya otros abonados en el mismo PON que están empleando todo su ancho de banda disponible. Esta funcionalidad es denominada ubicación dinámica del ancho de banda o DBA (*Dynamic Bandwidth Allocation*) del PON punto a multipunto.

En una red GPON, se asigna una longitud de onda para el tráfico de datos (Internet, VoIP, IPTV, etc.) *downstream* (1.490 nm) y otra para el tráfico *upstream* (1.310 nm). Además, a través del uso de WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), se asigna una tercera longitud de onda (1.550 nm) que está dedicada para el broadcast de vídeo RF (*broadcast* analógico, *broadcast* digital, *broadcast* digital y HDTV, y vídeo bajo demanda).

#### 4.2.1 Multiplexación TDM.

TDM. Esta técnica (Multiplexación por División del Tiempo, del inglés *Time Division Multiplexing*), se utiliza en sentido descendente. En la figura 10 se muestra el proceso donde la OLT envía el tráfico de *broadcast* (difusión), hacia todas las ONUs, los *splitters* únicamente replican los datos hasta el suscriptor final, cada ONU filtra los datos recibidos y verifica su dirección en el encabezado de las tramas. [10]

Debido a que las ONUs reciben todo el tráfico de todos los suscriptores, en el canal descendente es necesario utilizar encriptación, de tal forma que cada ONT sea capaz de procesar el tráfico que le corresponde, o para el que tiene acceso por parte del operador, la encriptación empleada es AES

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

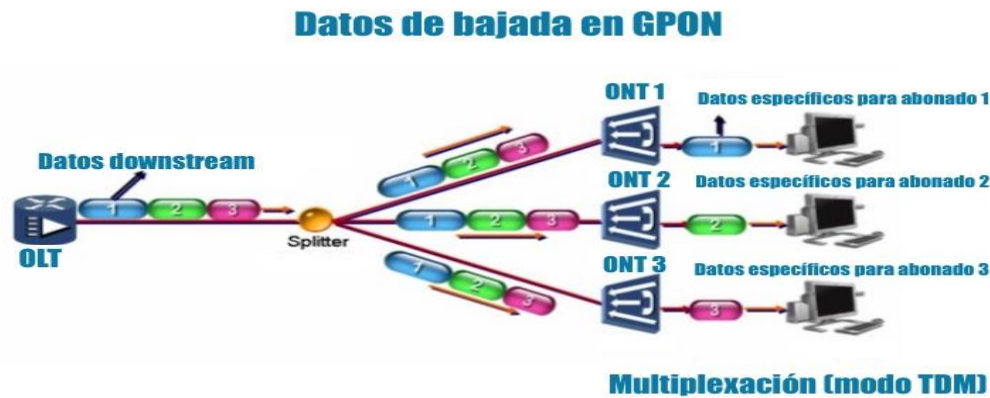


Figura 8: Canal descendente (fuente internet)

#### 4.2.2 Multiplexación TDMA.

TDMA. Esta técnica TDMA (Acceso Múltiple por División del Tiempo, proveniente del inglés *Time Division Multiple Access*), se utiliza en sentido ascendente, donde la OLT controla el canal de subida, asignando ventanas de tiempo de transmisión a cada ONT. Se requiere un control de acceso al medio para evitar colisiones y para distribuir el ancho de banda entre los usuarios. Es necesaria la perfecta sincronización de los paquetes ascendentes para que la OLT sea capaz de reconstruir la trama GPON. Por esta razón resulta vital que la OLT conozca la distancia a la que se encuentra cada ONT para tener en cuenta el retardo que sufre la información desde que parte del usuario. Además, mediante TDMA sólo se transmite cuando sea pertinente, por lo cual, no sufre de la ineficiencia de las tecnologías TDM donde el período temporal para transmitir es fijo e independiente de que se tengan datos o no disponibles. [10]

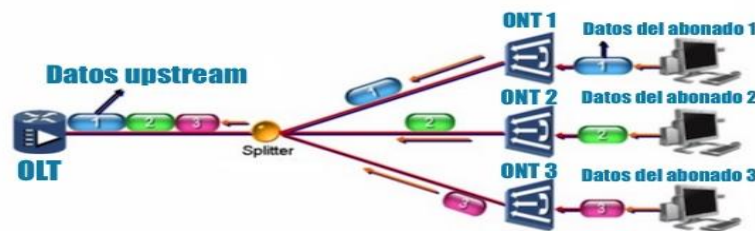
Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



### Datos de subida en GPON



### Multiplexación (modo TDMA)

Figura 9: Canal ascendente (fuente internet)

#### 4.2.3 Encapsulación GEN

GEM El método de encapsulación que emplea GPON es GEM (Método de Encapsulación GPON, del inglés *GPON Encapsulation Method*), que permite soportar cualquier tipo de servicio *Ethernet*, TDM, etc. En un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125µs. GEM resulta de una adaptación del estándar definido en la recomendación ITU-T G.7041. Este procedimiento proporciona un mecanismo genérico para adaptar el tráfico de señales cliente de nivel superior en una red de transporte.[11]

#### 4.2.4 Criptografía AES

AES El método AES (Estándar de Criptografía Simétrica, estipulado en inglés *Advanced Encryption Estándar*), tiene un tamaño de bloque fijo de 128 bits y un tamaño de clave de 128, 192, o 256 bits. Este sistema opera en una matriz de 4 x 4 bytes, denominado matriz de estados o *state*. La mayoría de los cálculos se realizan en un campo finito. El cifrado se especifica en términos de repeticiones de los pasos de procesamiento que se aplican para

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



compensar las rondas en función de las transformaciones entre la entrada de texto y el resultado final del cifrado. Una serie de rutinas se aplican para transformar el sistema de cifrado de texto final al original, utilizando la misma clave de cifrado.[9]

#### 5. Conclusiones del capítulo

El despliegue de fibra óptica en la red de alimentación y distribución para reducir la distancia del lazo de abonado de cobre, así como su inserción en la red de acometida para garantizar los altos requerimientos de velocidad de transmisión de los servicios de telecomunicaciones que se pueden ofrecer en la actualidad.

La red GPON es la opción elegida para ofrecer los servicios de banda ancha sobre fibra óptica hasta el hogar, comercios e industrias, para garantizar velocidades superiores en la última milla.

La tecnología FTTH es una buena opción para la modernización de las redes de acceso debido que usa como medio de transmisión de extremo a extremo la fibra óptica, se reduce considerablemente el consumo de energía al no tener elementos activos. Es una red que se mantendrá vigente tecnológicamente debido que la fibra óptica es un medio de transmisión que hasta la fecha no tiene remplazo.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- [1] María Carmen España, *Comunicaciones ópticas: conceptos esenciales y resolución de ejercicios*. Ediciones Díaz de Santos, 2005.
- [2] “web\_descarga\_179\_CaractersticageneralesredfibrapticaalhogarFTTH.-VVAA.pdf.” .
- [3] Jesús Millán, Ramón, “GPON (Gigabit Passive Optical Network),” 2007. [Online]. Available: <https://www.ramonmillan.com/tutoriales/gpon.php>.
- [4] Antonio Cortes, “Vista de Planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios | Prisma Tecnológico.”
- [5] J. M. H. Moya and J. M. Huidobro, *Redes y servicios de telecomunicaciones*. Editorial Paraninfo, 2006.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



- [6] J. R. García and J. M. V. Rovira, *Fundamentos de óptica ondulatoria*. Universidad de Oviedo, 1998.
- [7] F. J. Bueche, *Ciencias físicas*. Reverte, 1977.
- [8] fernandez Santiago, *Diametro de campo modal: Un dato fundamental en las fibras ópticas monomodo* / *Blog de Fibra Óptica y Redes del CIFP Tartanga*. .
- [9] J. G. Vacaflor, “GPON (Gigabit Passive Optical Network.”
- [10] J. M. H. Moya, *Telecomunicaciones. Tecnologías, Redes y Servicios. 2ª edición actualizada*. Grupo Editorial RA-MA, 2014.
- [11] J. Bedon, “Maestria en Sistemas de Telecomunicaciones Fundamentos de Telecomunicaciones Redes DWDM, SDH Y GPON Integrantes,” 2016.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)