



## INTERCONEXIÓN DE DATOS DE TECNOLOGÍA DE RED ÓPTICA PASIVA CON CAPACIDAD DE GIGABIT EN COLEGIOS DISTRITALES

(INTERCONNECTION OF DATA FROM PASSIVE OPTICAL NETWORK TECHNOLOGY WITH  
GIGABIT CAPACITY IN DISTRICT SCHOOLS)

**Adrián Marino**

Institución Sofía Camargo de Lleras, Colegio estatal, atlántico, Barranquilla. Colombia

[adrian\\_ivan\\_m@hotmail.com](mailto:adrian_ivan_m@hotmail.com)

### RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal proponer una red de interconexión de datos de tecnología de red óptica pasiva con capacidad de gigabit en los colegios distritales. La delimitación del estudio se abordó en los colegios distritales de la ciudad de Barranquilla, Colombia. La misma estuvo sustentada teóricamente por Gutiérrez (2010), Novoa (2012), Camisón, Cruz y González (2007). La metodología utilizada en la investigación fue proyectiva, descriptiva con un diseño no experimental transeccional. La investigación estuvo conformada por cinco (5) fases. Estas implicaron la evaluación de la situación actual de los colegios distritales, luego determinar la topología de red más adecuada, posteriormente, se establecieron los requerimientos para luego pasar al diseño de la red para finalizar con la factibilidad del proyecto mismo. El resultado de la presente investigación, se centra en el diseño de una arquitectura de una etapa de splitters, con lo cual se satisface el número de usuarios finales (instituciones educativas) con la prioridad del ancho de banda para los servicios.

**Palabras clave:** Interconexión de datos, Red óptica pasiva, Colegios Distritales.

### INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial de internet se ha convertido en una pieza fundamental para la Educación. No obstante, en Barranquilla aun no alcanza su máximo punto de ebullición, presentando como problema principal la velocidad de conexión. En este sentido, la problemática es enfocada hacia las conexiones de internet de los colegios distritales de la ciudad de Barranquilla. Por otro lado, la tecnología GPON llega a Bogotá, gracias al esfuerzo de la empresa insignia de Bogotá desde hace 129 años ETB y de su proveedor, la firma internacional Alcatel-Lucent, firma que desde hace 50 años se ha caracterizado por traer los más importantes adelantos en materia de telecomunicaciones al país, anunciaron el



inicio de trabajos para reemplazar la red de cobre con la que el operador llega a todos los rincones de la ciudad, por una Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit, más conocida como GPON, por sus siglas en inglés. De esta forma se da un salto de calidad ante los avances tecnológicos que han sucedido en el país, y a pasos agigantados, desde hace 5 años.

Sin embargo, muchas de las ciudades del país tienen sus conexiones de banda ancha basadas en cables de cobre o combinaciones entre coaxial y cobre. La conexión a internet según el más reciente informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2015), establece que el 92% de las suscripciones del país tienen velocidades inferiores a los 4 Mbps. Tal es el caso de la ciudad de Barranquilla, ubicada en el departamento del Atlántico, donde este tipo de velocidades y conexiones afectan a toda la comunidad, tanto a las áreas residenciales, como las empresariales e institucionales, dentro de la cual, se encuentran los colegios públicos o distritales cuyas velocidades de navegación son muy bajas, inestable y algunos casos ni siquiera cuentan con el servicio de internet. Las instituciones ubicadas en estratos sociales 1 y 2 son las más afectadas por este tipo de problemática.

Es por ello, que el Gobierno Nacional, por medio de Entes Territoriales de cada ciudad vincula a los colegios a un programa para conectarles internet. En Barranquilla dicho proceso es manejado por una empresa privada, aun así, las conexiones siguen sin superar las expectativas de los usuarios en los colegios, donde hay alrededor de 200 computadoras y no es un canal de conexión dedicada sino en reuso. Conexiones nefastas, costos excesivos, mal servicio, lentitud y pérdida de información sería el resumen de este servicio.

La deficiencia de Internet en los colegios distritales es evidente, por encontrar en las escuelas planes de área anuales contando con temas que se apoyan de manera directa con las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). Teniendo estas deficiencias muchos profesores prefieren cambiar sus temáticas y no utilizar las salas de internet de sus instituciones pues la lentitud que se evidencia en la conexión no colabora a un buen desarrollo de clases. Se pierde tiempo valioso.

La falta de inversión económica por parte de la empresa privada en su arquitectura de red y obsolescencia de su tecnología no permite cubrir de manera satisfactoria la ciudad ocasionando, como se mencionó anteriormente, que las instituciones de estratos sociales bajos sean las más afectadas sin poder beneficiarse de las bondades de enseñar a través del uso de las TIC. Estos colegios afectados por la falta de internet exigen a los entes territoriales una banda ancha digna.

De continuar esta situación, podría traer como consecuencias, que las evaluaciones mensuales presentadas de forma online para evaluar el rendimiento de los estudiantes en los colegios no se pueden dar de manera efectiva y con mediciones reales, debido a la deficiencia de información. De igual forma, a futuro las pruebas realizadas por el Instituto Colombiano Para la Evaluación de la



Educación (ICFES) serán todas por computador y no podrán ser confiables obligando así nuevamente al gobierno a realizar pruebas de forma escrita.

De lo anterior, resulta que se gastarían alrededor de mil ochocientos millones de pesos colombianos (\$1.000.000.000) en papelería, cifra que se extrae de la resolución 000001 del 2 de enero de 2017 donde se muestran los gastos de inversión anual del ICFES. Retrasaría la creación de proyectos de mejoras en el proceso de aprendizaje por no tener los datos reales de cada colegio que los necesitase.

En base a lo expuesto anteriormente, la reestructuración de las redes de comunicación con el fin de brindar mejores servicios dirigidos a los procedimientos académicos y administrativos de los colegios distritales en la ciudad de Barranquilla necesitan ser reforzados a través de las arquitecturas presentes, con el fin de mejorar el servicio percibido del sector objeto de estudio.

Actualmente, para mejorar las opciones para los servicios de internet que serán utilizados por los colegios debe iniciarse una transformación en las comunicaciones actuales. El soporte de líneas telefónicas y puntos de acceso ya operativo pero insuficiente, deben ser mejorados en esquemas más efectivos de transmisión. Caicedo (2013) considera que la introducción de la fibra óptica en el nodo de acceso va a permitir el disponer de un medio de transmisión de gran ancho de banda para el soporte de servicios de banda ancha, tanto actual como futuro.

En otro punto, la incursión de la fibra óptica a una alternativa de solución se puede tomar desde varios enfoques. Una atención inmediata, creando redes de acceso híbridas como son los casos de HFC, permite el acceso a internet de banda ancha utilizando las redes existentes, por tanto, de una red de telecomunicaciones que combina la fibra óptica con el cable coaxial. Incluso combinación de un punto de fibra hasta el armario de comunicaciones y una extensión de par de cobre hasta el usuario. Todo esto, son factores para disminuir costos reutilizando los sistemas preestablecidos, pero ampliando su transmisión para más servicios.

En otro punto, tomar como una inversión a más largo plazo de una fibra óptica dirigida hacia un punto más cercana del usuario. Una red de acceso cuyas ventajas permitan las condiciones de mayor velocidad de transmisión, menos interferencia y la oportunidad de incluir oportunidades de servicios para ser útiles en los procesos académicos y administrativos en la ciudad de Barranquilla.

Por lo tanto, cambiar tecnologías por modelos más efectivos teniendo a la fibra óptica como protagonista, suponen una transmisión de banda ancha en forma efectiva en los colegios distritales en la ciudad de Barranquilla, con lo cual los servicios cada vez más demandantes, utilizando la tecnología de redes ópticas pasivas, para el ahorro de elementos activos y un esquema de conectividad de vanguardia.

En base a lo expuesto anteriormente, con la finalidad de sustituir tecnologías por redes ópticas pasivas de alta velocidad, que ofrezcan características que soporten servicios cada vez más exigentes en los procedimientos de las instituciones educativas, esta investigación hará la propuesta de una red en ese orden y los lineamientos operativos que colaboren para su desarrollo.



Como objetivo principal de la investigación se estableció el proponer una red de interconexión de datos de tecnología de red óptica pasiva con capacidad de gigabit en los colegios distritales. Este objetivo, se alcanzaría con el desarrollo de los siguientes objetivos específicos: Diagnosticar la situación actual de la red de interconexión de datos en colegios distritales de la ciudad de Barranquilla; determinar la topología idónea para el diseño de una red de interconexión de datos bajo tecnología óptica en colegios distritales de la ciudad de Barranquilla.

Complementariamente, se tendrían que definir los requerimientos funcionales para el diseño de una red de interconexión de datos bajo tecnología de red óptico pasiva en los colegios distritales de la ciudad de Barranquilla; diseñar una red de interconexión de datos bajo tecnología de red óptico pasiva en los colegios distritales de la ciudad de Barranquilla y por último, evaluar la factibilidad de red de interconexión de datos bajo tecnología óptica pasiva en colegios distritales de la ciudad de Barranquilla.

Tomando en consideración lo mencionado anteriormente, surgió la interrogante que daría pie a la formulación, propiamente, de la problemática de estudio: ¿Cómo mejorar la interconexión de datos de tecnología de red óptica pasiva en los colegios distritales de la ciudad de Barranquilla?

## METODOLOGÍA

Según Hernandez, Fernandez y Baptista (2006) La investigación se trató de un estudio del tipo proyectivo, ya que se intenta elaborar el diseño de un sistema integrado que proporcione la facilidad de conectar los diversos sistemas de seguridad electrónica para optimizar el envío de datos a través de líneas de red óptica pasiva con capacidad de gigabit. Así mismo, el estudio resulta descriptivo, debido al propósito del mismo, que no es más que exponer el evento estudiado, haciendo una enumeración detallada de sus características, de modo tal que en los resultados se pueden obtener dos niveles de análisis, dependiendo del fenómeno y el propósito del investigador.

De lo anterior, resulta que el diseño bajo el cual se llevó a cabo el estudio fue no experimental transeccional, ya que el investigador observa los fenómenos tal y como ocurren naturalmente, sin intervenir en su desarrollo. Asimismo, el diseño es transversal o transeccional, pues los criterios u opiniones de los grupos estudiados son tomados en un momento dado. Hurtado (2008)

En el mismo orden de ideas, se procedió a definir las unidades de análisis (personas, organizaciones, entre otros), y una vez que se ha definido la unidad de análisis se procede a delimitar la población que va a ser estudiada y sobre la cual se pretende generalizar los resultados. Bajo esa óptica los colegios distritales de Barranquilla representan como el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones.

Se utiliza la técnica de observación documental, ya que, se realizó la acción de

observar y mirar detenidamente, teniendo como sentido del investigador la experiencia. Asimismo, el instrumento de recolección de datos e información que se aplicó en esta investigación fue el cuaderno de notas, el cual, es un instrumento que permite recolectar y obtener información relacionada con las variables seleccionadas después de ser observadas, conllevando, al investigador, a indagar acerca de aquellos aspectos que pueden develar la teoría recabada, aplicable en este caso a instituciones adscritas a la administración pública. Hurtado (2008)

A su vez, el instrumento de recolección de datos fue alimentado con las observaciones documentales realizadas por el investigador el cual llevó imágenes, datos técnicos, viabilidad económica, entre otros que, permitieron alterar y adecuarse a la investigación para así poder crear un diseño de red óptica pasiva que se ajuste a las condiciones anotadas y observadas.

Por último, se han empleado cinco (5) fases para definir los objetivos específicos establecidos en la investigación. Siendo la Fase I la de evaluación, la Fase II la determinación de la topología de red a implementar, la Fase III la de establecer los requerimientos, la Fase IV la correspondiente al diseño de la red y la Fase V la de establecer la factibilidad del proyecto. Estas fases se describen a continuación:

## RESULTADOS

Para obtener resultados, se realizó una recopilación de datos a partir de la observación, en forma de entrevistas informales y una revisión documental, con el fin de analizar y recoger datos de la unidad de análisis, según las fases de la investigación propuestas, correspondientes a los objetivos específicos del estudio, por lo tanto, generar la argumentación de la propuesta de una red de interconexión para los colegios distritales de la ciudad de Barranquilla. Los resultados obtenidos se describen según la fase a la cual corresponden.

### **Fase I. Evaluación de la situación actual.**

Lo más resaltante en esta fase permitió inferir que los colegios distritales presentan un servicio de interconexión insuficiente para los servicios y procesos demandados. Además, cuentan con dispositivos de interconexión, switches y routers; para la distribución desde un nodo de red de datos para ser distribuida en la institución, entonces, así poder mejorar los servicios de internet. Además, considerando la red de fibra óptica presente en la ciudad, se planteó en la investigación una red de fibra óptica en la ciudad para plantear una red óptica pasiva de gigabits (GPON).

## Fase II. Determinar topología.

La creciente demanda de servicios tales como datos, video y acceso a Internet de alta velocidad por parte de los usuarios del área educativa, tanto en los procesos académicos como en los administrativos, hace que los proveedores de dichos servicios tengan que proponer nuevas estrategias en las tecnologías de acceso para satisfacer las exigencias de los clientes. Por ejemplo, el video sobre demanda (VoD) requiere una demanda de ancho de banda de 15 Mbps, una videoconferencia y navegación en internet, 1 y 1,5 Mbps, respectivamente; estos son aplicaciones que forman parte de la actividad cotidiana en las actividades de las instituciones educativas.

Las instituciones educativas para este momento, utilizan los servicios de internet para cumplir sus procesos académicos y administrativos, procesos como navegación para investigación a través de la red, pruebas en línea, videoconferencias en temas de interés con la población, así como el respaldo de los archivos y datos de las personas que integran la comunidad educativa, todos estos casos actividades que requieren un mayor ancho de banda que el otorgado en estos momentos por las redes xDSL que comunican actualmente.

Lo anterior, infiere una creciente demanda por lo cual se propone un soporte en una red basada en la fibra óptica, para aplicaciones de mayor velocidad, en consecuencia, la percepción de un mejor servicio para la comunidad. Tal cosa, se evidencia en la figura 1, donde la comparación con otras formas de acceso determina la arquitectura a aplicar, cuya finalidad es presentar el ancho de banda suficiente para realizar con fluidez los procedimientos requeridos.

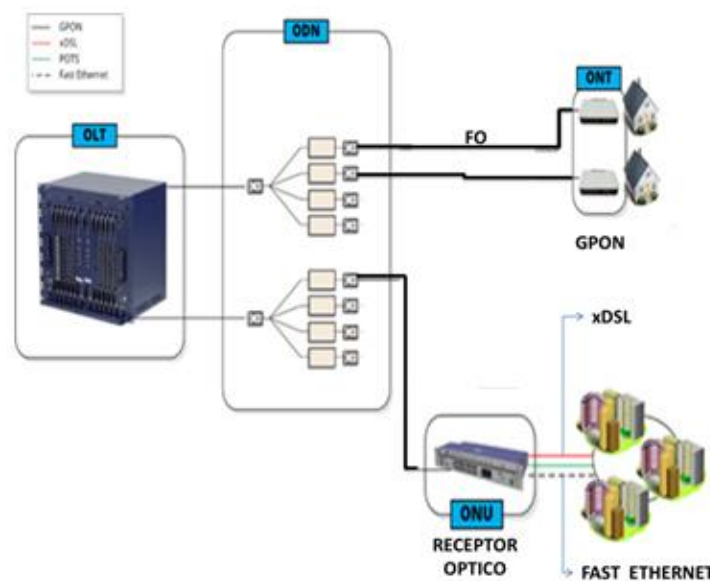


Figura 1. Topologías para conexión GPON, xdsl, pots, fast ethernet  
Fuente: Elaboración propia (2017)

A partir de este gráfico se compara una red GPON, la cual, con el uso único de fibra óptica para llegar a los usuarios finales, alcanzando la velocidad de gigabits en toda la longitud de Barranquilla. Sin embargo, cuando se agregan otras tecnologías como xDSL, adecuada para voz, pero muy limitada para la transmisión de datos, debido a su ancho de banda más reducido y que los puntos de enlace tienen una longitud máxima de 5 Km. Cuando el ancho de banda disponible, forma un cuello de botella en la última milla de la red, como son los casos de xDSL y HFC, deben ser sustentadas en una única red mediante el uso de fibras ópticas para aumentar el flujo de datos. En el caso de HFC y Fast Ethernet, ideal para múltiples usuarios, pero sus canales están limitados en el ancho de banda, contrario a la prioridad de esta investigación.

Entonces, haciendo una analogía entre las tecnologías de acceso, la búsqueda de este trabajo será una arquitectura que permita la reutilización de canales para que colabore en el reuso del canal para el sistema, con el fin de la reutilización del canal y tener prioridad de la velocidad de los paquetes utilizados en el servicio de datos. Novoa (2012)

### **Arquitectura de Red**

Para determinar la arquitectura de la red de interconexión para el distrito en Barranquilla, se toma en cuenta cuáles son los elementos de consideración a la hora de plantear el diseño. Se hace la comparación en el cuadro siguiente:

**Cuadro 1.**  
**Comparación de topologías para una red GPON de interconexión de datos para el distrito de Barranquilla**

| Topología en Estrella  | Topología en Árbol   | Topología en Bus   |
|--|--|--|
| <p>La topología estrella, se caracteriza por el rápido flujo de datos en la distribución.</p> <p>El nodo central OLT estaría conectado en ese punto central a 20 Km entre la OLT y el armario de distribución para el usuario final.</p> <p>En realidad, es una forma árbol, de una rama que pueda llevar la información punto-punto. Con una red de una sola etapa de splitter.</p> | <p>La topología árbol, específicamente árbol-rama, es la subdivisión de etapas de splitter como divisor óptico, lo cual implica mayor pérdida en cada etapa, pero crea más usuarios por puerto GPON.</p> | <p>La topología de bus envía en formato CDMA, creando un cuello de botella en la última milla de la red, por lo cual en servicios de alta velocidad no es recomendable, ya que estas colisiones aumentan latencia en el proceso.</p> |

**Fuente:** elaboración propia (2017)

Para la red objeto de estudio, se encuentra distribuida a través de una topología estrella, es decir, un árbol para una rama, como se evidencia en la figura 2. La red de distribución, constituida por la fibra óptica, lleva la información de múltiples usuarios, ya que cada puerto GPON soporta hasta 64 clientes, hasta la caja de comunicaciones para hacer la separación de cada puerto destino; todo lo cual, se enfoca a usuarios con mayor ancho de banda. Además, se conecta al divisor óptico (primera etapa del splitter) para ramificarse hacia los usuarios con un ont/onu con menor pérdida.

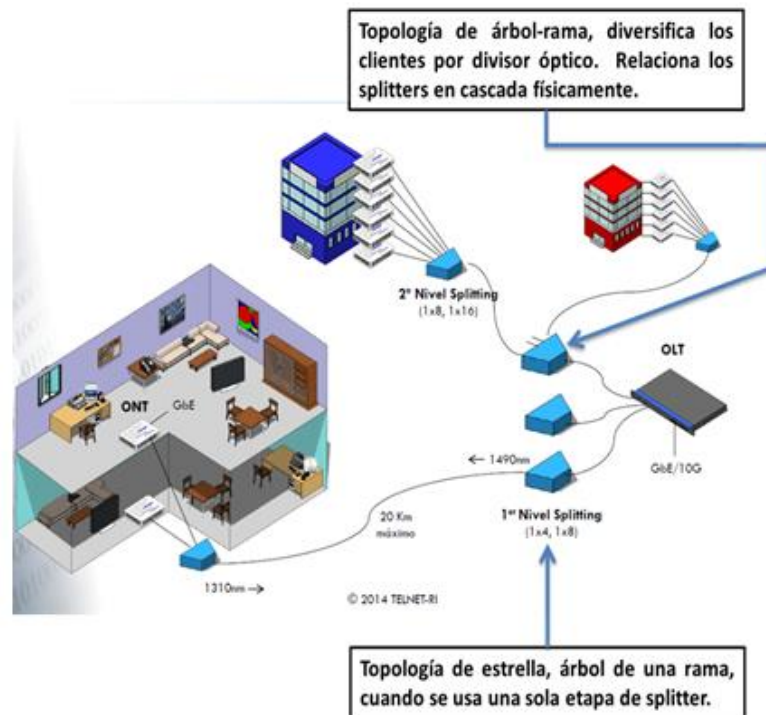


Figura 2. Topología de una red GPON  
Fuente: García (2014)

### Protocolo de Comunicación

Con el fin de determinar el protocolo de comunicación adecuado para la reutilización de canal pertinente con servicios de alta demanda en la red de interconexión de colegios distritales, aplicando tecnología GPON, con la estructura de gestionar tramas en forma efectiva. El método de encapsulamiento de la información que utiliza GPON se llama GEM (GPON Encapsulation Method) que permite soportar cualquier tipo de servicio, lo que le permite amplitud de usar protocolos como Ethernet, ATM, TDM, entre otros; incluso campos industriales donde se ubican profibus y modbus. La comparación se realiza en el cuadro 2.



**Cuadro 2.**  
**Comparación de protocolos de comunicación para una red GPON de interconexión de datos para el distrito de Barranquilla**

| Profibus   | Modbus  | Ethernet  |
|--|---|---|
| <p>Sistema de bus para la comunicación de proceso con pocas estaciones y con dispositivos de campo, en contra de un diseño escalable para integrar más colegios.</p> | <p>La red GPON no requiere una gestión centralizada de respuesta modelo maestro/esclavo de modo que sea una red controlada, sino que la mayor conexión deberá provenir del reuso del canal.</p> | <p>Con el objetivo de transmitir varios paquetes de información simultáneamente. Las redes Ethernet se consideran redes de difusión amplia, debido a que los paquetes son transmitidos a todos los miembros de la red, a esto se le llama Broadcast, es decir, integrando todos los clientes (colegios del distrito) para comunicarse y brindar un servicio de upsream.</p> |

Fuente: Elaboración propia (2017)

Con lo anterior, profibus y modbus, tienen aplicaciones de uso industrial, mientras que para los paquetes de servicio la Ethernet tiene mayores ventajas para las redes ópticas, aplicando a la tecnología GPON. La red GPON consiste en múltiples redes de la capa 2 sobre la misma capa física, en el cual cada red tiene un protocolo diferente, pero que existe un predeterminado antecedente en el uso de Ethernet, por lo cual permite una adaptabilidad a los nuevos formatos.

Ethernet en los enlaces desde el nodo central hacia los colegios que tienen como prioridad en el promedio de tiempo de acceso a los diversos tipos de servicios que llevan a cabo los usuarios y a su vez, el poder garantizar a través del operador de servicios una adecuada capacidad de transporte de los datos en la red de fibra óptica, soportando una arquitectura hacia el usuario más conveniente con la plataforma existente.

### Fase III. Requerimientos

Esta fase, se referencia a la definición de los requerimientos funcionales para el diseño de una red de interconexión de datos bajo tecnología de red óptico pasiva en los colegios distritales de la ciudad de Barranquilla; de los cuales se puede determinar el contexto para el diseño de esta red, visto desde los

requerimientos eléctricos: Frecuencia eléctrica, Corriente, Voltaje, además, de los requerimientos funcionales.

### Requerimientos eléctricos.

La red a diseñar fue una red óptica pasiva con velocidad en gigabits por segundo, para su funcionamiento se establecieron en la sub-área requerimientos eléctricos: Frecuencia eléctrica, Corriente, Voltaje; los cuales precisan las condiciones de alimentación de energía de los equipos de comunicación de los colegios del distrito, así como de los receptores ópticos aplicados. Cabe destacar que, en las redes ópticas pasivas, sus componentes son enteramente pasivos en la red de distribución, no en la central, ni en el destino. Estas características se presentan en la tabla 1.

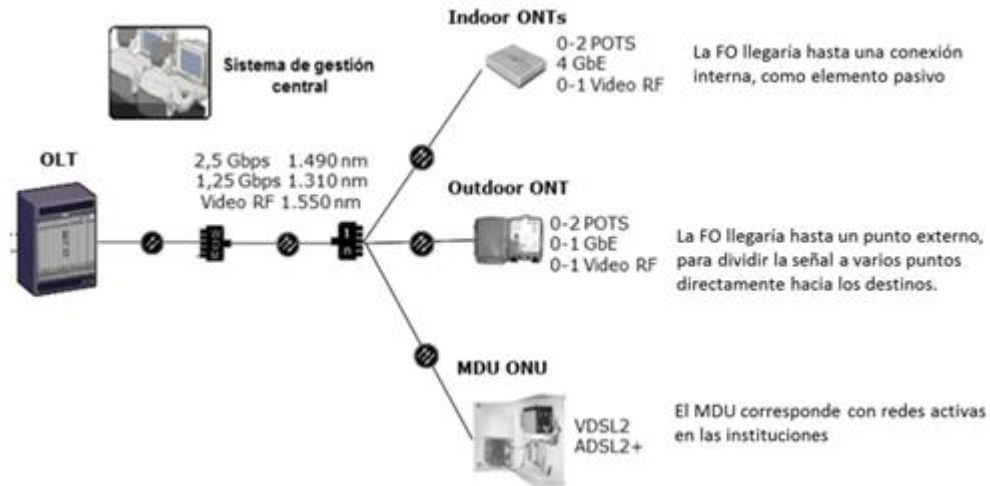
Según la información observada, se pudo considerar para la verificación en el funcionamiento de los componentes de la intranet y dispositivos finales de la red de acceso, para los cuales un 100% de las instituciones observadas cuentan con un sistema de energía eléctrica (corriente). Además, en cuanto a un sistema de regulación de corriente (frecuencia eléctrica), un 80% manifiesta que Sí y un 20% que NO. También, para el voltaje, se expresa que un 60% tiene una sub-estación de energía eléctrica para regular el voltaje, y el 40% no cuentan con una.

**Tabla 1**  
**Requerimientos eléctricos**

| Items 5 ¿La institución posee energía eléctrica estable para sus salas de computo? |                                 |      |    |     |
|--|---------------------------------|------|----|-----|
| UBICACIÓN DE LOS SUJETOS ENCUESTADOS   | RESPUESTAS OBTENIDAS            |      |    |     |
|  | SI                              |      | NO |     |
|  | FA                              | FR   | FA | FR  |
| Sub Total  | 25                              | 100% | 0  | 0%  |
| Total, Encuestados   | Usuarios encargados de sistemas |      |    |     |
| Items 6 La institución posee un sistema de regulación de corriente                 |                                 |      |    |     |
| UBICACIÓN DE LOS SUJETOS ENCUESTADOS   | RESPUESTAS OBTENIDAS            |      |    |     |
|  | SI                              |      | NO |     |
|  | FA                              | FR   | FA | FR  |
| Sub Total  | 20                              | 80%  | 5  | 20% |
| Items 7 ¿La institución posee una sub-estacion de energía eléctrica?               |                                 |      |    |     |
| UBICACIÓN DE LOS SUJETOS ENCUESTADOS   | RESPUESTAS OBTENIDAS            |      |    |     |
|  | SI                              |      | NO |     |
|  | FA                              | FR   | FA | FR  |
| Sub Total  | 15                              | 60%  | 10 | 40% |
| Total, de Indicador  | 60                              | 80%  | 15 | 20% |

Fuente: elaboración propia (2017)

Por lo tanto, la totalidad de las instituciones observadas respondió en un 80% de manera positiva, corroborando la existencia de este tipo de requerimientos en las instituciones de la ciudad de Barranquilla. En consecuencia, los colegios distritales cuentan con la disposición eléctrica para la operación de una red GPON, utilizando un elemento activo en el destino para integrarse con la estructura de las instituciones.



**Figura 3. Elementos finales red GPON**  
Fuente: Elaboración propia (2017)

Considerando que, las instituciones de la unidad de análisis cuentan con un sistema eléctrico estable, la red óptica es pasiva y no tiene consumo eléctrico, sin embargo, se considera el uso del MDU para la entrada de los datos a las instituciones, así se utilizan switches y routers presentes en las instituciones como punto de distribución en el destino, brindando mayor adaptabilidad a la red a diseñar.

### Requerimientos funcionales

Con respecto a los requerimientos funcionales dispuestos para la red objeto de estudio utilizando el diseño de una red de interconexión de datos con tecnología GPON para los colegios distritales de Barranquilla incluye: ancho de banda, prioridad en este diseño para responder satisfactoriamente a los servicios de los procesos académicos y administrativos; la fibra óptica a utilizar en el diseño, internet e ISP.

### Ancho de banda

La tecnología de GPON ha tomado un punto límite de 2,5 Gbps para 64 usuarios por puerto, velocidad que distribuye a través de los divisores ópticos hasta cada ONU. Según López y cols (2009), la tasa de transmisión en Downstream: 1.2 Gbps/2.4 Gbps; además, la tasa de transmisión en Upstream: 1.2 Gbps/2.4 Gbps, para lo cual se utiliza en el diseño una velocidad máxima de 2,4 Gbps. Por lo tanto, asumiendo que se utiliza una red de una sola etapa de splitter, para garantizar no el número de usuarios sino un ancho de banda suficientemente amplio para la demanda de servicios, se resume en la siguiente expresión:

$$V_{\text{máx}} = \frac{2,4 \text{ Gbps}}{64 \text{ puertos}} = 37,5 \text{ Mbps en cada puerto, como condición máxima}$$

Es decir, en esta red como tecnología GPON tiene una velocidad máxima de transmisión para cada ONU de 37,5 Mbps, lo que brinda un ancho de banda mucho mayor a los estándares actuales para la calidad de los servicios demandados. La reutilización de canales en la descarga y subida de información permite aventajar esta tecnología para los servicios propuestos.

### Fibra óptica

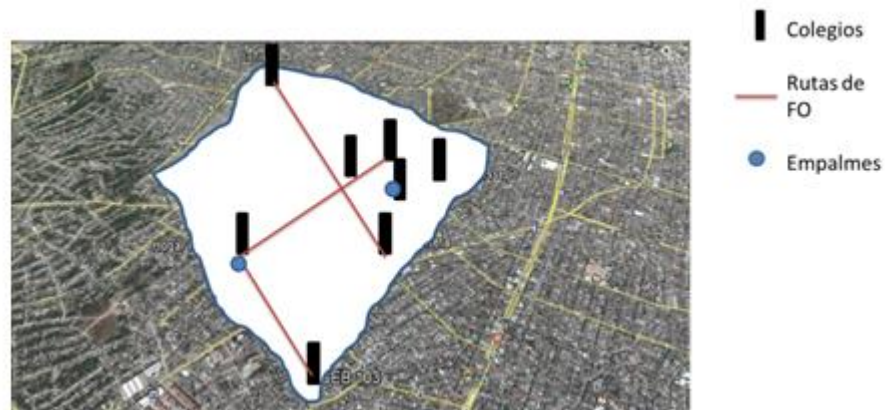


Figura 4. Líneas de FO recomendados  
Fuente: Elaboración propia (2017)

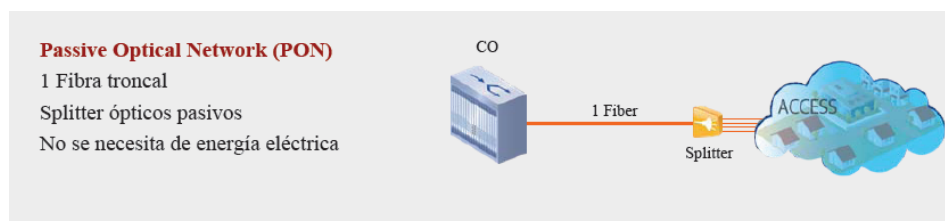
El diseño realizado para la siguiente fase utilizará una fibra óptica monomodo de un solo hilo, modelo PKP3000, recomendado para el uso en redes FTTH para tendido por conducto, fachada y aéreo. Este cable es autosoportado e instalable en vanos aéreos cortos. Puede contener un máximo de 128 fibras y utiliza fibra óptica G.652.D, que no representa ninguna fibra especial. Se utilizarán puntos de empalme si hay la necesidad de crear rutas de seguimiento más complejas. Se aproxima una distribución como sugiere la figura 4.

### Internet e ISP

Para la red de los colegios distritales de Barranquilla no se utilizaron enlaces dedicados, sino se continuó con los proveedores para el momento del estudio, sin embargo, se espera una franca mejora en los servicios demandados debido al soporte de la tecnología GPON. Además, para el diseño que se presentó, la tecnología GPON ha sido adoptada por múltiples proveedores de servicios, lo cual sugiere un operador neutral según los anteriores esquemas previstos en las instituciones.

### Fase IV. Diseño

Esta fase, se orientó al diseño de una red de interconexión de datos bajo tecnología de red óptico pasiva en los colegios distritales de la ciudad de Barranquilla, lo que sugiere un diseño cuyo fin principal es la robustez de su arquitectura para los servicios de red demandados.



**Figura 5. PON de una sola etapa**  
Fuente: Lattanzi y Graf (2014)

Para tal fin, se ha diseñado una arquitectura de una etapa de splitters, como se describe en la figura 5. Para Lattanzi y Graf (2014), un modelo centralizado tiene: (1) gran eficiencia en el uso de puertos PON, (2) Flexibilidad en el despliegue de fibra óptica, (3) Fácil acceso de mantenimiento, finalmente, (4) Resultados óptimos al realizar testing con OTDR-Mayores costos de despliegue por abonado.

Este diagrama es solo para un solo hilo de fibra óptica, con el cual se satisface el número de usuarios finales (instituciones educativas) dando la prioridad del ancho de banda para los servicios. Entonces, la arquitectura propuesta se compone de un tramo inicial de fibra óptica desde la central hasta el edificio donde se encuentran los clientes, siendo estos los colegios distritales de la ciudad; luego del cual se encuentra una única etapa de splitter. Afirma López y cols (2009), que la relación de división debida a los splitters será para GPON de 1:64, pero se tomar  1:8 para generar gran flexibilidad en la red hacia otros usos. Desde éste éste se tiene un cable de acometida de fibra óptica hasta el nodo de cada cliente.

Las consideraciones principales relacionados con esta alternativa son:

- Se tienen 8 clientes por puerto GPON, y dado que, cada nodo cuenta con 8 puertos GPON se tendrán 64 clientes por nodo. Por otra parte, cada nodo cuenta con 4 interfaces de 1GE en su uplink hacia el núcleo de la red, por lo que se podrá soportar un tr fico de pico promedio por abonado (simultáneos) de hasta 63 Mbps.
- El siguiente diagrama muestra un esquema de la arquitectura planteada, con un splitter de 1:8.

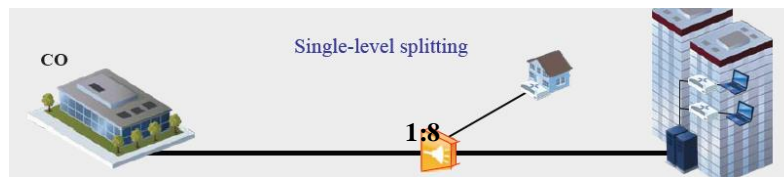


Figura 6. Red diseñada con una sola etapa de splitter  
Fuente: Lattanzi y Graf (2014),

En lo operativo, Para Lattanzi y Graf (2014), un solo nivel de Splitter facilita el mantenimiento y las pruebas de campo. Este diagrama es solo para un solo hilo de fibra óptica, pero que puede llegar hasta un usuario (FTTX) o a un edificio (FTTB), que puede disponer de varios usuarios.

Bajo esta perspectiva el diseño de fibra óptica, para la interconexión de voz y datos, aplicando la topología de árbol (una estrella de una etapa), donde se cubre en líneas generales la red de colegios distritales de la ciudad de Barranquilla, como lo expresa la figura 7.

Para la integración de esta red se consideran los elementos conformados por una red GPON. López y cols (2009), sugiere que para una red óptica solo se requiere una Terminación de Línea  ptica (OLT) que será instalada y administrada por la empresa proveedora del servicio. Asimismo, a cada una de las sedes de las instituciones distritales se le debe asignar una Unidad de Red  ptica (ONU).

Considerando el cliente más lejano, o separaciones del diseño se suponen cajas de empalmes con 200 m de fibra para llegar a todos los clientes.

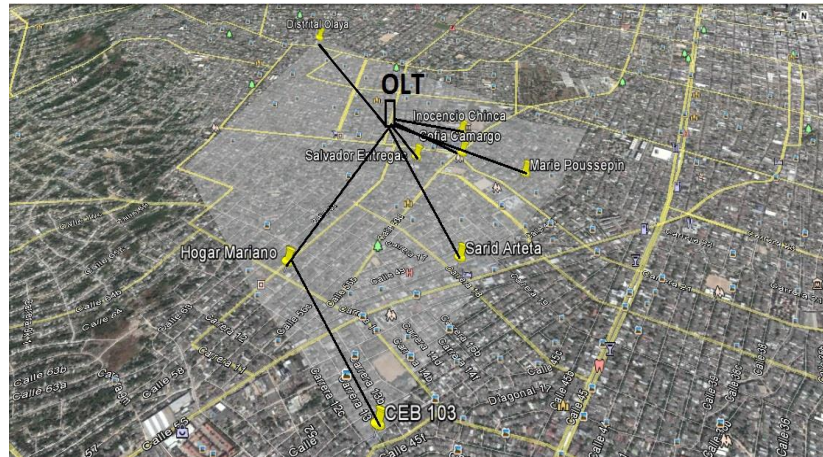


Figura 7. Topología estrella red GPON  
Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla 2  
Elementos de la red del diseño

| INSTITUCION             | LOCALIDAD    | CANTIDAD DE (OLT) | CANTIDAD DE (ONU) |
|-------------------------|--------------|-------------------|-------------------|
| Proveedor de servicio   |              | 1                 | 0                 |
| Salvador entregas       | Suroccidente | 0                 | 1                 |
| Sofia Camargo de lleras | Suroccidente | 0                 | 2                 |
| Inocencio chinca        | Suroccidente | 0                 | 1                 |
| Distrital olaya         | Suroccidente | 0                 | 1                 |
| Hogar mariano           | Suroccidente | 0                 | 2                 |
| sarid arteta            | Suroccidente | 0                 | 2                 |
| Marie poussepin         | Suroccidente | 0                 | 1                 |
| Jorge n. abello         | Suroccidente | 0                 | 2                 |
| Cruzada social          | Suroccidente | 0                 | 1                 |
| Ceb 103                 | Suroccidente | 0                 | 1                 |
| <b>Total</b>            |              | <b>1</b>          | <b>14</b>         |

Fuente: Elaboración Propia (2017)

La figura 8, presenta un diagrama con los elementos constructivos de la red de acceso, a fin de identificarlos y determinar la atenuación o pérdida de inserción introducida por cada uno de ellos, y de esta manera determinar la atenuación extremo a extremo, la cual determinará si el enlace es posible o no y con qué margen. El esquema muestra las distancias correspondientes al cliente más lejano, a fin de establecer un peor caso, el cual sería el cliente más lejano de la OLT, en

este caso a 16,2 km el Hogar Mariano.

Bajo esta premisa, del peor caso se integraron en un puerto GPON, como lo describe la figura 8, para estudiar todas las pérdidas bajo la descripción general, lo cual suma total de 12,04 dB, pérdida que es menor a 20 dB por lo cual se demuestra que el diseño es efectivo, este valor proviene de considerar todos los elementos del enlace, expresado en detalle en el cuadro 3, donde se resumen las operaciones:

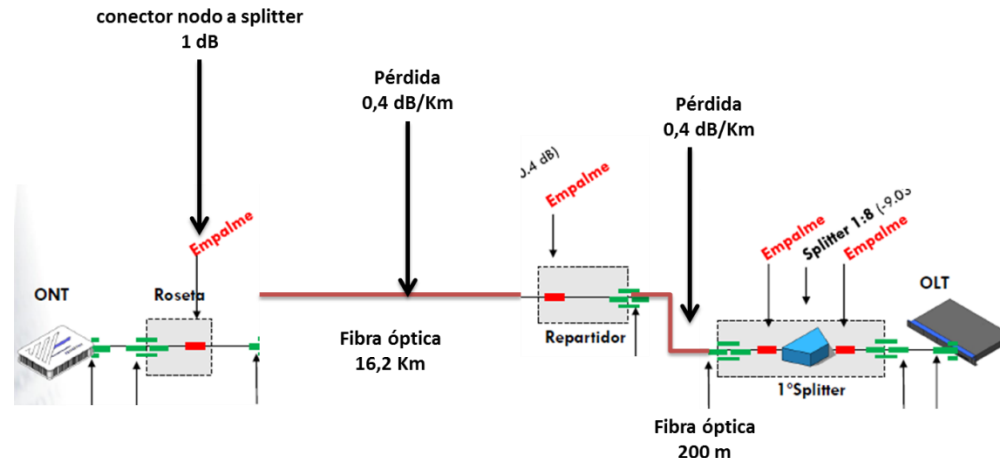


Figura 8. Elementos en la red GPON para interconexión del diseño  
Fuente: elaboración propia (2017)

Cuadro 3  
Pérdidas de los elementos del diseño

| Elemento                       | Cantidad                  | Unidad   | Operación         | Total (dB) |
|--------------------------------|---------------------------|----------|-------------------|------------|
| Fibra óptica                   | 16,2<br>200m<br>(empalme) | km       | $16,6 \times 0,4$ | 6,64       |
| Conectores                     | 2                         | unidades | $1 + 0,5$         | 1,5        |
| Empalmes (caja)                | 4                         | Unidades | $4 \times 0,1$    | 0,4        |
| Splitter (divisor óptico)      | 1                         | unidad   | $1 \times 3,5$    | 3,5        |
| <b>TOTAL GENERAL: 12,04 DB</b> |                           |          |                   |            |

Fuente: Elaboración propia (2017)

De lo anterior, la atenuación de extremo a extremo con el cliente más lejano es 12,04 dB. Sin embargo, este diseño está presentado en un esquema escalable, por lo cual se pueden ampliar las distancias de los tramos de fibra óptica dentro del distrito incrementando, aumentar el número de empalmes, por lo cual se pueden sumar otras instituciones a la red de interconexión.



Otro punto para el diseño es elegir la infraestructura del diseño, en cuanto a dónde se ubica el terminal final de la red de fibra óptica pasiva, es decir, cuál tipo de tecnología FTTX. Tomando como referencia la figura 9, para la red de conexión de la ciudad de Barranquilla se utilizará un modelo FTTB (Fiber To The Building/Fibra hasta el edificio), que consiste en que la fibra óptica llega hasta una caja de comunicación en el edificio, de tal forma que sea un sistema outdoor junto al par de cobre hacia el destino, es decir, la fibra óptica llega hasta afuera de la institución desde el nodo hasta la caja de distribución.

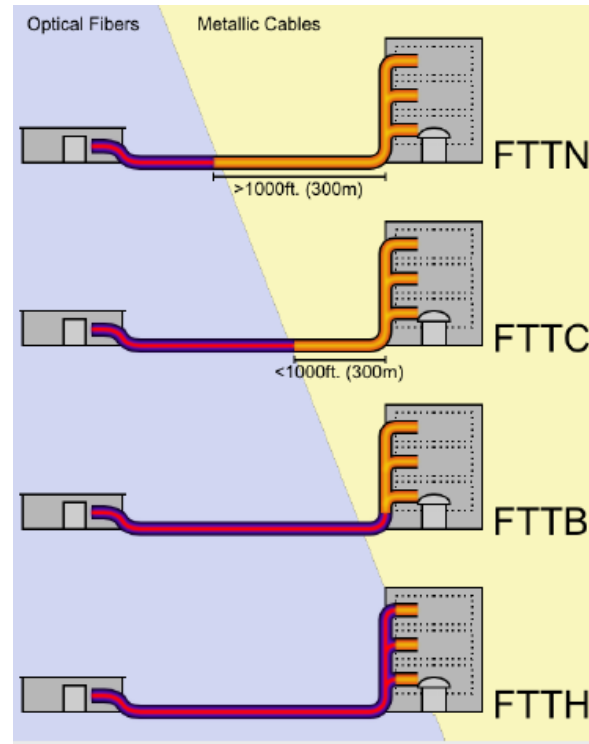
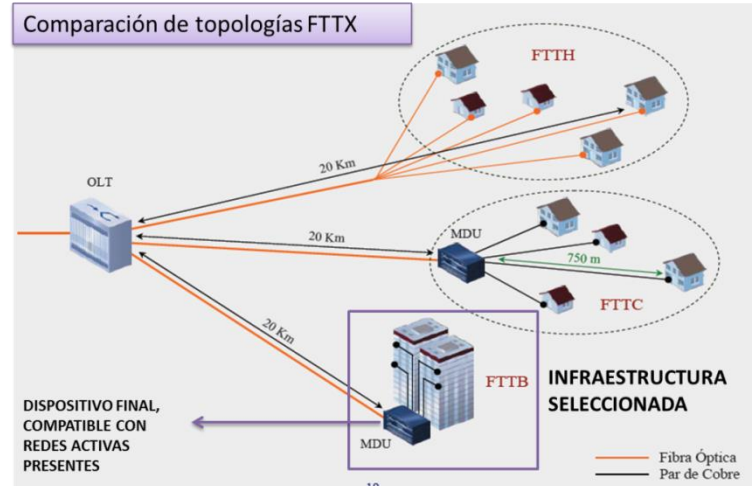


Figura 9. Tecnologías FTTX.  
Fuente: Cortés (2016)

La topología estrella aplicada a FTTB es apropiada ya que permite distribuir un solo cable de fibra óptica en varios nodos hacia la institución. La configuración planteada es 1:8 el divisor óptico, y cada puerto GPON admite hasta 64 clientes por puerto presentando un modelo basta expandible. Esta cantidad de clientes por puerto le da un gran interés para redes de comunicación.

Sin embargo, el interior del edificio (la sede de cada colegio), está soportada por un hardware preexistente. Con la infraestructura descrita en la figura 10, la topología FTTB, utiliza una MDU como elemento de interconexión. También se considera que las tecnologías FTTB, soporta 20 Km de distribución de fibra óptica llega hasta un MDU, el cual es un elemento activo. Otra ventaja de este diseño, es que los enlaces de fibra óptica tienen como dispositivo terminal dispositivos MDU, por lo cual se utiliza la red activa presente posterior a la ONU del punto terminal

hasta el edificio del cliente. Esta configuración optimiza los recursos presentes en los colegios distritales de la ciudad de Barranquilla, que pueden favorecer en la disminución de costos y equipos.



**Figura 10. Infraestructura FTTX seleccionada.**  
Fuente: elaboración propia (2017)

Para las redes de área indoor en cada una de las instituciones distritales se implementó la tecnología cableada e inalámbrica (ya preexistente) debido a que su costo es relativamente bajo y muchas instituciones están dotadas de computadores portátiles y Tablets suministrados por el Ministerio de Educación que, ofrece el máximo ahorro en espacio, una mayor velocidad y la oportunidad de trasladarse a múltiples lugares dentro de cada institución.

Finalmente, el diseño de la red supone colocar la OLT en el distrito de los colegios dentro de la ciudad de Barranquilla, en forma concéntrica. Los splitter se dispusieron para hacer una red de distribución de un solo hilo, en una sola etapa, ya que se encuentran geográficamente menor a los 20 Km, buscando no el mayor número de usuarios sino un mayor ancho de banda. La topología resultante es flexible y escalable, ya que la distribución está diseñada para 14 instituciones con servicios de internet con un gran ancho de banda y queda disponibilidad de recursos en el nudo para nuevas arquitecturas. La tecnología GPON de 63 Mbps en una tecnología FTTB,

## Fase V. Factibilidad

### Hardware

Al realizar la sumatoria de los elementos necesarios para la red de interconexión de datos bajo tecnología óptica pasiva para las instituciones distritales, se obtuvo que se necesitan una Terminal de línea Óptica (OLT), 14 unidades de red óptica (ONU/ONT), 4 divisores ópticos, en la tabla 3.

**Tabla 3**  
**Equipos necesarios para la red de interconexión de Datos**

| Equipos                        | Empresas |                              |       |
|--------------------------------|----------|------------------------------|-------|
|                                | ISP      | INSTITUCIONES<br>DISTRITALES | TOTAL |
| OLT TELLABS 1150               | 1        | 0                            | 1     |
| ONT TELLABS 709GP              | 0        | 14                           | 14    |
| DIVISORES OPTICOS<br>TE FSASA2 | 4        | 0                            | 4     |

Fuente: Elaboración Propia (2017)

En este orden, cuando se compara la cantidad de elementos en un análisis económico, se obtiene la siguiente tabla:

**Tabla 4.**  
**Costo de Equipos**

| Cantidad     | Equipo                      | Precio           |
|--------------|-----------------------------|------------------|
|              |                             | (US\$)           |
| 1            | OLT Tellabs 1150            | 25.000,00        |
| 14           | ONT Tellabs 709GP           | 1.540,00         |
| 4            | Divisores ópticos TE FSASA2 | 9.000,00         |
| <b>TOTAL</b> |                             | <b>35.540,00</b> |

Fuente: Elaboración propia (2017)

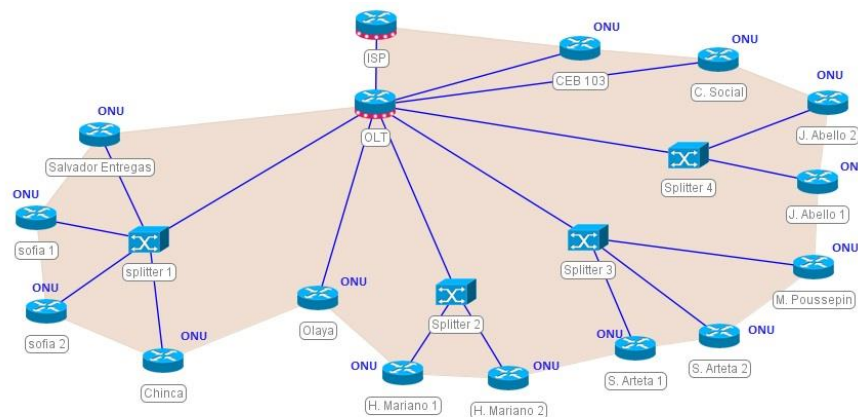
Analizando el costo del proyecto, la inversión de \$35.540, es una inversión apoyada en las ventajas de su diseño. Considerando, que en Barranquilla ya se utiliza la fibra óptica a lo largo de la ciudad, fue la construcción desde el núcleo hacia los abonados. Asimismo, el servicio de internet tiene una tasa de transmisión mucho mayor por lo propuesto según la tecnología, 2,5 Gbps para este caso. También, con esta solución se toma con un cable de 120 FO alrededor de 840

servicios, número de servicios similar al usado para dimensionar un cable de cobre de 1400; la inversión para mejorar las telecomunicaciones serían 1 a 1, pero con una mejor calidad de servicio.

En otro orden, el planteamiento de la red GPON, como sugiere López y cols (2009), la red de interconexión puede XG-PON y seguir utilizando la misma, como un modelo flexible que puede seguir creciendo según la demanda cambiante de la sociedad.

## Software

En este sentido, se utilizó un simulador multiplataforma para redes GPON, cuya herramienta brinda un recurso interactivo de investigación y análisis simulado, sobre las redes de datos y su diseño para redes GPON. El simulador multiplataforma para redes utilizado es OpenSimMPLS del ingeniero español Manuel Domínguez Dorado, programa, código fuente y manuales originales pueden ser obtenidos en la página de su autor.



**Figura 11. Topología de la Red.**  
Fuente: Elaboración propia (2017)

Por lo descrito, se verifica la conectividad de una red interconexión de datos de tecnología de red óptico pasiva en los colegios distritales de la ciudad de Barranquilla, desde el proveedor de servicio hasta la OLT, representando el núcleo de la red, hasta los diferentes colegios para cumplir con los servicios de datos previstos para el cumplimiento de sus objetivos como sector educativo en las actividades escolares y administrativos.

Para la descripción de la cobertura de esta red, se realizó el establecimiento de las direcciones IP a utilizar, utilizando la fórmula para las direcciones IP como las

direcciones MAC respectivas para cada uno de los dispositivos, como lo expresa la siguiente tabla:

**Tabla 5.**  
**Direcciones IP y MAC de la red.**

| Direcciones        | Base            | Conversión a binario                |
|--------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Dirección Base     | 160.168.0.0     | 10100000.10101000.00000000.00000000 |
| Mascara de Subred. | 255.255.0.0     | 11111111.11111111.00000000.00000000 |
| Red IP             | 160.168.0.0     | 10100000.10101000.00000000.00000000 |
| Broadcast          | 160.168.255.255 | 10101100.10101000.11111111.11111111 |

Fuente: Elaboración propia (2017)

Para el cálculo de Sub red se toman los bits utilizados para la cantidad de redes que se requieren en este caso de estudio seria  $24=16$  por lo cual la dirección base IP de las sub redes es 160.168.0.0/16. A continuación se muestra en la tabla 6 las direcciones IP a utilizar en cada una de las subredes establecidas en el diseño propuesto.

**Tabla 6.**  
**Sub Redes Direcciones IP y Direcciones MAC asignadas al nodo principal (provisto por ISP)**

| Nro. |                         | ONU | Dirección IP                 | Broadcast                        |
|------|-------------------------|-----|------------------------------|----------------------------------|
| 1    | SALVADOR ENTREGAS       | 1   | 160.168.1.0                  | 160.168.1.255                    |
| 2    | SOFIA CAMARGO DE LLERAS | 2   | 160.168.8.0<br>160.168.16.0  | 160.168.8.255<br>160.18.16.255   |
| 3    | INOCENCIO CHINCA        | 1   | 160.168.24.0                 | 160.168.24.255                   |
| 4    | DISTRITAL OLAYA         | 1   | 160.168.32.0                 | 160.168.32.255                   |
| 5    | HOGAR MARIANO           | 2   | 160.168.40.0<br>160.168.48.0 | 160.168.40.255<br>160.168.48.255 |
| 6    | SARID ARTETA            | 2   | 160.168.56.0<br>160.168.64.0 | 160.168.56.255<br>160.168.64.255 |
| 7    | MARIE POUSSEPIN         | 1   | 160.168.72.0                 | 160.168.72.255                   |
| 8    | JORGE N. ABELLO         | 2   | 160.168.80.0<br>160.168.88.0 | 160.168.80.255<br>160.168.88.255 |
| 9    | CRUZADA SOCIAL          | 1   | 160.168.96.0                 | 160.168.96.255                   |
| 10   | CEB 103                 | 1   | 160.168.104.0                | 160.168.104.255                  |

Fuente: Elaboración propia (2017)



La tabla 6 se presenta los dominios (broadcasts) de la red de interconexión para colegios distritales de la ciudad de Barranquilla, que representan las ONUS de la red GPON diseñada, asignando a cada uno de los clientes con una dirección IP con una velocidad de 63 Mbps, ancho de banda que sea aplicable a los procesos inherentes al entorno institucional. Además, se presenta un modelo escalable con el espacio de integrar otras a estas instituciones que promuevan un trabajo en colaborativo funcional y exitoso.

## CONCLUSIONES

Todo lo anterior, incluyendo el análisis de resultados de la investigación, permite inferir las siguientes conclusiones, las cuales representan los aspectos más significativos con respecto a la red de interconexión de datos de tecnología de red óptica pasiva con capacidad de gigabit en los colegios distritales, en cada uno de los objetivos específicos presentados en esta investigación.

Con respecto al primer objetivo específico 1, sobre diagnosticar la situación actual de la red de interconexión de datos en colegios distritales de la ciudad de Barranquilla, con el argumento de que en estos momentos el apoyo para las instituciones educativas son las telecomunicaciones y las ciencias informáticas, éstos son sistemas capaces de transmitir audio, video, imágenes y documentos por medio de diversos sistemas de telecomunicaciones en tiempo real, por lo tanto la red presente no cumplen con la demanda de estos servicios sean automatizados totalmente y la información sea distribuida en el momento y lugar exacto. Bajo esta exigencia es necesario plantear una red cuya prioridad sea aspectos como la velocidad, por lo cual la red a diseñar requiere una tecnología con esa característica.

Esta misma red actual, para los procesos académicos y administrativos, cuenta con 100% de los colegios distritales observados cuentan con dispositivos de interconexión para redes inalámbricas y el 88% también alámbricas, lo cual brinda un soporte a una estructura de red en el lado interno del edificio.

Seguidamente, para el objetivo específico 2, sobre Determinar la topología idónea para el diseño de una red de interconexión de datos bajo tecnología óptica en colegios distritales de la ciudad de Barranquilla; se estudiaron la arquitectura y el protocolo de comunicación, respondiendo como árbol y Ethernet, respectivamente. En cuanto la arquitectura, desde el núcleo de red distribuido en forma de árbol, como una forma de estrella modificada. En cuanto al protocolo, modbus y profibus fueron descartados por su disposición a las aplicaciones industriales, seleccionando Ethernet debido a su aplicación IP para voz y datos.

Además, debido a las necesidades planteadas para la red se eligió el estándar de redes ópticas en gigabits por segundo (GPON), siendo compatible con Ethernet para un proceso efectivo en la red de la ciudad, características requerido para



responder a la demanda creciente de servicios. Se puede decir que la tecnología GPON, por brindar servicios de internet a gran velocidad, siendo una tecnología nueva, en consecuencia, está ganando mucho terreno en el segmento de las redes de acceso por fibra óptica.

Para el objetivo 3, referente a definir los requerimientos funcionales para el diseño de una red de interconexión de datos bajo tecnología de red óptico pasiva en los colegios distritales de la ciudad de Barranquilla, se estudiaron los requerimientos eléctricos y funcionales, los cuales describen una red activa operativa dentro de las instituciones que pueden ser receptoras de líneas con mayor flujo de datos, a través de la fibra óptica como medio para subir las tasas de descarga en servicios. Específicamente, el uso del estándar GPON que expone una velocidad de transmisión de 2,5 Gbps para 64 usuarios por puerto, elemento favorable al diseño de la red objeto de estudio.

La tecnología GPON ha sido adoptada por múltiples proveedores de servicios, lo cual permite una comparación en la Calidad de Servicios (QoS) en escenarios con múltiples servicios. Este nuevo estándar aparece como una tendencia para ofertar redes más flexibles y escalables.

En cuanto al objetivo 4, referente a Diseñar una red de interconexión de datos bajo tecnología de red óptica pasiva en los colegios distritales de la ciudad de Barranquilla; se plantea una red GPON con el área de cobertura del circuito estudiado, compuesta de 1 OLT, 4 splitter, y 14 onus/ont. Además, estos elementos finales se incluyen los mdu, elementos activos que se empalman con las redes preexistentes en los colegios.

También, se determinó una topología FTTB, para definir que el punto de conexión entre la fibra óptica y la red cableada que llega hasta el usuario, esto le permite la distribución hacia el edificio en forma de un diseño protegido que tome las mejores condiciones del entorno propuesto.

Por tanto, el diseño de la red es flexible en toda su arquitectura, ya que la topología elegida es abierta a modificaciones, además en las etapas de distribución se utilizó cables con un número de fibras mayor al necesario dejando así fibras de respaldo, las cuales se pueden utilizar para expandir la red.

En cuanto al objetivo 5, referente a evaluar la factibilidad de red de interconexión de datos bajo tecnología óptica pasiva en colegios distritales de la ciudad de Barranquilla, bajo el enfoque del hardware en lo económico, y lo operativo en el software. En el primer caso, un análisis de costos sugiere una inversión de \$35.540, lo cual cuando se compara en una inversión con xDSL, bajo la premisa de que ya está funcionando una red de fibra óptica principal y las oportunidades otorgadas, es un riesgo aceptable. En el caso del software, la simulación respondió a determinar que el modelo es operativo con un modelo de comunicación para todos los clientes.

## RECOMENDACIONES

Cumpliendo con las conclusiones establecidas en la investigación, se generan las siguientes recomendaciones:

Con respecto al *objetivo 1*, verificar constantemente el requerimiento de la demanda de los servicios de internet para los procesos académicos y administrativos de los colegios distritales. Con respecto al *objetivo 2*, la topología GPON satisface un gran ancho de banda pero menos cantidad de usuarios, por lo cual se deben plantear arquitecturas con mayor extensión. Con respecto al *objetivo 3*, los proveedores de servicios deben crear nuevas estrategias de difusión de nodos de distribución para crear nuevos canales de servicios para los usuarios. Con respecto al *objetivo 4*, para una red óptica la norma establece una distancia máxima de 20 km, para extender su cobertura deben considerarse más etapas de splitters. Además, como es una tecnología emergente, al realizar técnicas híbridas entre la nueva y la actual plataforma, para disminuir costos y flexibilizar su diseño.

Con respecto al *objetivo 5*, acordar para un plan de inversiones un abordaje en conjunto para la implantación de la red, entre el proveedor de servicios y los usuarios, ya que el proveedor es responsable de las líneas de múltiples usuarios, pero el usuario debe invertir en su punto de conexión. Es necesario resaltar que es una tecnología nueva y requiere un mayor esfuerzo de capacitación y adaptación de las estructuras operativas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Caicedo, F (2013) Manual para la Instalación y reparación de acometidas de fibra óptica red GPON. Cuenca Ecuador.
- Camisón, C., Cruz, S., Gonzales, T. (2007). Gestión de la calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas. Madrid: Pearson Educación.
- Cortés, A. (2016). Planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios. Revista Prisma Tecnológico. Universidad Tecnológica de Panamá Vol. 7, Núm. 1
- Instituto Colombiano Para la Evaluación de la Educación (2017)  
<http://www.icfes.gov.co/>
- García, A. (2014). Introducción y Conceptos Generales sobre fibra óptica. Universidad Central de Venezuela. Editorial UCV fondo editorial.
- Gonzalez, H (2008) Instalaciones de Redes. Vía para fortalecer el aprendizaje de las Redes Informáticas EduSol, vol. 12, núm. 39, abril-junio, 2012, pp. 26-32 Centro Universitario de Guantánamo Guantánamo, Cuba. EduSol E-ISSN: 1789-8091





- Gutiérrez, J (2010) Revolución informática, nuevo ciclo industrial e industria electrónica en México. México: Instituto de Investigaciones Económicas/unam/Juan Pablos
- Hernández et al (2006), metodología de la investigación. McGraw-Hill. Distrito federal. México.
- Hurtado, J (2008), el proyecto de investigación. Comprensión holística de la metodología y la investigación. Quirón. Caracas. Venezuela.
- Lattanzi, M. y Graf, A. (2014). Redes FTTX, conceptos y aplicaciones IEEE Argentina.
- López, E (2009). Estudio comparativo de redes GPON y EPON. Scientia et Technica Año XV, No 41, mayo de 2009. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- Novoa, R. y otros (2012). Diseño de una red óptica pasiva de acceso para una urbanización ubicada en la vía Samborondón. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Guayaquil, Ecuador.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2015). <https://www.oecd.org/centrodemexico/laocde/>