

Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x

(GPON networks certification, standard ITU G.984.x)

Edison Quisnancela¹, Nikolai Espinosa¹

Resumen:

El presente artículo describe la metodología para certificar redes FTTH GPON con el objetivo de minimizar los errores que se evidencian durante la ejecución de este proceso dentro de una red óptica. La certificación se basa en estándares y normas técnicas nacionales e internacionales, lo cual garantiza el óptimo funcionamiento de la red. El trabajo se realiza con métodos empíricos en el campo mediante procesos de caracterización, medición y análisis de resultados, factores que permitirán identificar que las mediciones estén dentro del rango establecido con el uso de herramientas y equipos debidamente configurados y actualizados. Se establece la necesidad de una regulación efectiva en certificación de una red FTTH GPON que traiga máximos beneficios para las empresas proveedoras de servicio del país y satisfaga la demanda de ancho de banda del cliente final. Se busca garantizar la aplicación de nuevas tecnologías que ayuden a optimizar el uso de la infraestructura orientada hacia la convergencia de servicios, a la implementación de Redes de Nueva Generación y hacia la inversión en sectores estratégicos.

Palabras clave: FTTH; GPON; certificación; caracterización; medición, análisis.

Abstract:

This article describes the methodology to certify a FTTH GPON network, in order to minimize the errors that tend to show up during the execution of this process within an optical network. The work is based on national and international technical standards, ensuring optimal performance of the network. Empirical methods are used in the field through processes characterization, measurement and analysis of results, which will identify the factors allowing that measurements are within the range set with the use of tools and equipment properly configured and updated. The need for an effective regulation is established in the certification of a FTTH GPON network to bring maximum benefits for companies providing service in the country and meeting the demand for bandwidth of the end customer, ensuring the application of new technologies helping to optimize the use of convergence oriented service, the implementation of Next Generation Networks and towards infrastructure investment in strategic sectors.

Keywords: FTTH; GPON; certification; characterization; measurement, analysis.

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Sangolquí – Ecuador ({efquisnancela, ndespinosa}@espe.edu.ec).

1. Introducción

Ecuador en los últimos años evidencia una revolución en las telecomunicaciones, el MINTEL (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información) ha desarrollado importantes acciones para fomentar la diversificación y universalización de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación), (MINTEL, 2016). El país cuenta aproximadamente con 60 mil kilómetros de fibra óptica, el despliegue en el 2016 se incrementó en el 30%, lo que permitió que la mitad de la población ecuatoriana acceda a las TIC. (Ecuador Inmediato, 2015).

A fin de posibilitar el acceso a servicios de gran ancho de banda a usuarios localizados a distancias que no es posible llegar con tecnologías xDSL, (x línea de suscripción digital) por sus limitaciones técnicas en cuanto a sus condiciones de funcionamiento (Abreu, 2009), se vuelven atractivas las tecnologías disponibles y topologías implementables de redes FTTH (fibra óptica hasta el hogar por su traducción en español) (CNT EP, 2015).

Una red de arquitectura FTTH con tecnología GPON (Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit por su traducción en español) permite soluciones con mayor eficacia en transporte de información, mayor ancho de banda, tecnologías en servicios de internet, voz, televisión IP entre otras. Comparado con las redes de cobre, la fibra óptica ofrece mayor seguridad de la información, mayor estabilidad, resistencia a las interferencias electromagnéticas, menor degradación de la señal, permitiéndole trabajar con altos niveles de tráfico de datos, contenidos multimedia y otros, de manera confiable y rápida, a través de una red certificada bajo normas y estándares establecidos.

La expansión de las Redes Ópticas metropolitanas a niveles de red troncal, distribución y dispersión, generan un nuevo reto para los diseños, técnicas de implementación y mantenimiento de redes de acceso. Una vez superadas las dificultades de los costos de diseño, implementación y certificación, las nuevas redes ópticas pasivas PON son el nuevo escenario para las redes de acceso, de esta manera se resuelven los problemas de ancho de banda, fiabilidad, operación, mantenimiento y cobertura que se presentan en las redes de cobre.

La presente investigación tiene como objetivo describir la metodología para la certificación de redes ópticas, con el fin de minimizar los errores que se evidencian en el proceso de certificación de una red FTTH GPON y que impactan en la caracterización de toda la red a nivel general; por lo que es necesario explicar el proceso para realizar los diferentes tipos de pruebas aplicando los estándares y especificaciones definidos en la norma ITU G.984, finalmente determinar la calidad y capacidad de transmisión en una red ODN (red de distribución óptica por su equivalencia en español), mediante un conjunto de mediciones en cada uno de los elementos que conforman los segmentos de red.

2. Marco Teórico

En esta sección se describen las características generales y los componentes principales de una red FTTH GPON, así como también de cada uno de los equipos de certificación de una red de fibra óptica.

2.1. Arquitectura FTTH GPON

La *Figura 1* muestra los elementos que forman la arquitectura de una red FTTH GPON la cual consiste de:

- **OLT:** Terminal de Línea Óptico (optical line terminal) ubicado en la oficina central.
- **ODN:** Red de distribución óptica (optical distribution network) se compone de la red troncal o feeder, red de distribución y red de dispersión.
- **ONT:** Terminales de Red Ópticos (optical network terminals) también conocidas como **ONU** (optical network unit), se encuentran en las instalaciones del usuario final y presentan las interfaces hacia los dispositivos.

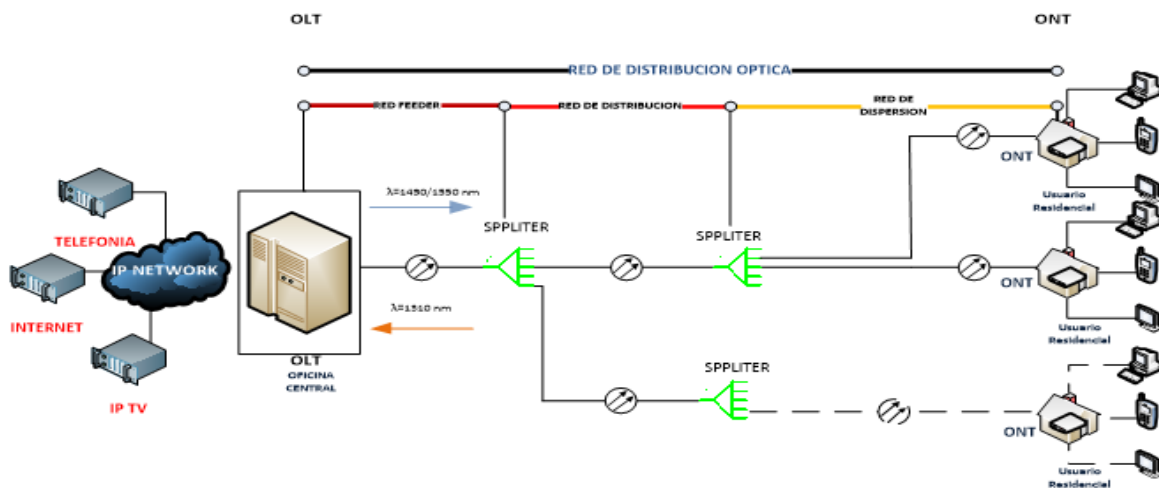


Figura 1. Arquitectura FTTH GPON.

2.2. Norma ITU-T G.984

La norma ITU-T G.984.x (x = 1, 2, 3, 4, 5, 6) (ITU-T, 2011) es una recomendación extensa y muy compleja que no solo ayuda a tomar bases en el diseño y certificación de topologías GPON, sino también proporciona un criterio amplio que busca optimizar los recursos como elementos pasivos, además de proyectar diseños ideales para evitar trabajos después de la construcción. A continuación la *Tabla 1* detalla los parámetros más importantes para certificar una red FTTH GPON.

Tabla 1. Parámetros para certificar una red FTTH GPON (ITU-T G.984.x)

| Norma ITU-T G 984.x | | | | |
|--------------------------------|--|--|---|---|
| ITU-T G.984.1 (ITU-T, 2011) | Características generales. | Arquitectura del sistema OAM. Tipos de interfaz: servicio, usuario. Alcance lógico. | Tipos de servicio. Tasa física de transmisión y recepción. Rendimiento del sistema. | |
| ITU-T G.984.2 (ITU-T, 2012) | Medios físicos dependientes. | Parámetros Class B+ Potencia óptica máxima Potencia óptica mínima Sensibilidad mínima Potencia óptica mínima de sobrecarga | ONT + 5 dBm +0,5 dBm -27 dBm - 8 dBm | OLT + 5 dBm +1,5 dBm -28 dBm - 8 dBm |
| ITU-T G.984.3 (ITU-T, 2014) | Convergencia de transmisión | Sub capas GPON TC Rango | Formato de trama Seguridad Ancho de Banda Dinámico. Operaciones, administración y mantenimiento. | |
| ITU-T G.984.4 (ITU-T, 2011) | Gestión ONT, especificación de la interfaz de control. | Interoperabilidad entre OLTs y ONTs de diferentes proveedores. | | |
| ITU-T G.984.5 (ITU-T, 2014) | Mejoramiento de banda. | Define longitudes de onda reservados para las señales de servicio adicionales utilizando WDM en la futura red GPON. Especifica los requisitos técnicos para la aplicación del filtro de longitud de onda en la ONT. | | |
| ITU-T G.984.6 (ITU-T, 2012) | Mayor alcance. | Describe los parámetros de la arquitectura y la interfaz para los sistemas GPON con mayor alcance. | | |

2.3. Medios físicos dependientes

La certificación de la ODN implica verificar la continuidad y los niveles de atenuación en los diferentes elementos de la red. La *Tabla 2* indica los valores de referencia de los elementos de la ODN a certificar.






Tabla 2. Valores de referencia de los medios físicos dependientes (ITU-T G 984.x)

| Medios físicos dependientes. | |
|---------------------------------------|---------------|
| Máxima velocidad Downstream: | 2,488 Gbit/s. |
| Máxima velocidad Upstream: | 1,244 Gbit/s. |
| Máximo alcance físico | 20 Km |
| Máximo alcance lógico | 60 Km |
| Atenuación en puntos de fusión. | ≤ 0,30 dB |
| Atenuación en conectores mecánicos. | ≤ 0,50 dB |
| Atenuación en conectores. | ≤ 0,75 dB |
| Atenuación en mangas. | ≤ 0,15 dB |
| Margen de seguridad | +3 dB |
| Atenuación $\lambda = 1310$ nm | 0,35 dB/Km |
| Atenuación $\lambda = 1550 / 1490$ nm | 0,22 dB/Km |
| Divisor óptico (splitter) | |
| 1:64 | ≤ 20,5 dB |
| 1:32 | ≤ 17,5 dB |
| 1:16 | ≤ 13,8 dB |
| 1:8 | ≤ 10,6 dB |
| 1:4 | ≤ 7,5 dB |
| 1:2 | ≤ 3,8 dB |

2.3.1. Especificaciones técnicas de elementos pasivos

En la *Tabla 3* se detallan las principales características de los elementos que son parte de una red FTTH GPON.






Tabla 3. Especificaciones técnicas de elementos pasivos.

| Especificaciones de elementos pasivos. | | |
|---|---|--|
| Elemento | Descripción | Figura |
| Fibra óptica (ITU-T, 2010) | Hilo de vidrio, flexible y frágil, cada hilo está compuesto por un núcleo, un revestimiento y un recubrimiento. |  |
| Splitter (Orion, 2012) | Elemento pasivo que permite dividir la señal óptica en varios canales. |  |
| Manga de empalme (Optronics, 2016) | Elemento utilizado para sellar herméticamente los empalmes aéreos y canalizados. |  |
| Caja de distribución óptica (NAP). (FURUKAWA, 2014) | Es un punto de conexión entre la red de distribución y las conexiones individuales de cada abonado. |  |
| Roseta óptica, caja terminal óptica. (DESCA, 2015) | Punto terminal óptico que se acopla al cable óptico de acometida que accede al domicilio del cliente. |  |

2.3.2. Especificaciones técnicas de los equipos de certificación

En la *Tabla 4* se detallan las características de cada uno de los equipos de certificación de una red FTTH GPON.

Tabla 4. Especificaciones técnicas de equipos de certificación.

| Especificaciones de equipos de certificación. | | |
|---|---|---|
| Equipo | Descripción | Figura |
| Localizador visual de fallas (VFL). (Viavi solutions, 2016) | Permite inyectar luz en un extremo de la fibra para localizar las posibles fallas de la dispersión de la misma. |  |
| Microscopio óptico | Permite observar el estado de la sección transversal del conjunto: núcleo revestimiento de un conector de fibra óptica. |  |
| Fusionadora | Permite unir dos hilos de fibra del mismo tipo. |  |
| OTDR (reflectómetro) | Equipo que Permite obtener la traza de atenuación total con su respectivo cuadro de resultados |  |
| Power Meter | Permite transmitir y medir niveles de potencia. |  |

2.4. Cálculo del presupuesto de atenuación óptica

Uno de los principales elementos en el diseño de una red óptica es el cálculo teórico del presupuesto de pérdidas ópticas. La *Ecuación 1* indica los elementos que se deben considerar en el cálculo de la atenuación óptica en todo el trayecto de la ODN. En otras palabras, el presupuesto de pérdida óptica es una indicación de cómo se utilizará la potencia óptica disponible. (Corning Optical Communications, 2015)

$$x = (a + b) + (c * d) + (e * f) + (g * h) \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

- x: Atenuación total teórica [dB].
- a y b: Atenuación del splitter 1 y splitter 2 [dB].
- c: Atenuación de la longitud de onda [dB/Km].
- d: Distancia del enlace a diseñar [Km].
- e: Atenuación del punto de empalme [dB].
- f: Cantidad total de puntos de empalme en el enlace [u].
- g: Atenuación de los conectores [dB].
- h: Cantidad total conectores en el enlace [u].

3. Metodología

La presente investigación se realizó a través de la aplicación de métodos empíricos en el campo, para, después de revisar la normativa ITU-T G.984 y la “Norma técnica despliegue y tendido redes físicas telecomunicaciones” del ARCOTEL vigentes, realizar un análisis comparativo entre los valores teóricos y las mediciones obtenidas en una red FTTH GPON implementada, con el fin de garantizar que los valores medidos se encuentren dentro de los parámetros de certificación indicados en la *Tabla 2*.

La metodología para el proceso de medición y certificación de las redes de acceso GPON se ha dividido en tres fases, las mismas que se describen a continuación.

En la primera fase, con la ayuda del VFL y el microscopio óptico, se realizarán las mediciones de caracterización de los elementos pasivos de la red que tienen conectores (splitters, ODFs, NAPs, rosetas ópticas y otros), para garantizar su óptimo funcionamiento antes de ser instalados en la red y evitar futuros contratiempos. Además en este punto se realiza el cálculo del presupuesto óptico teórico del enlace con el fin de tener un valor de referencia, y también se hace la revisión de las fechas de actualización del software de los equipos de medición.

Una vez conectados estos elementos a los segmentos de red, en la segunda fase se realiza las mediciones con el OTDR (reflectómetro) para comprobar que los parámetros de atenuación de los elementos estén dentro de los valores definidos para fusiones, conectores, distancia del cable y

otros. En el caso de las fusiones de fibra, el equipo muestra un valor de referencia de atenuación al momento de alinear los núcleos de la fibra, factor que permite identificar que este dentro del rango establecido.

En la tercera fase, una vez finalizada la implementación de la red de acceso ODN, se procede a certificar en los extremos de los segmentos de red mediante pruebas reflectométricas con el OTDR y pruebas de potencia con el Power Meter, con el fin de detectar posibles fallas de atenuación, reflexión, inserción y pérdida de retorno de luz (ORL) en todo el segmento. Esto permitirá realizar un análisis entre los valores de referencia (valores calculados) y los resultados obtenidos en las mediciones.

Finalmente se realiza un cuadro de los resultados obtenidos tanto de los valores teóricos como de los valores medidos para verificar que estos estén dentro de los márgenes establecidos por la norma, a la vez que servirá como un soporte documentado de la certificación de red de fibra óptica.

4. Resultados

Con referencia a la fase 1 de la metodología se realizaron las siguientes actividades: cálculo óptico, Inspección visual con microscopio óptico JDSU P5000i y localizador visual de fallas.

4.1. Cálculo óptico

La *Figura 5* presenta un diagrama unifilar de una ODN con los elementos constructivos de la red de acceso, a fin de determinar la atenuación teórica de extremo a extremo utilizando la ecuación 1.

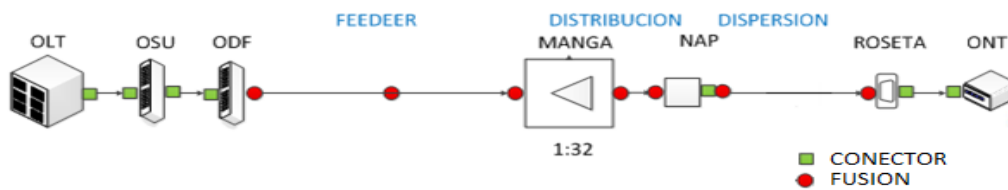


Figura 5. Diagrama, presupuesto óptico (Norma técnica de diseño de ODN, CNT, 2012).

En la *Tabla 5* se realiza el cálculo óptico del diagrama propuesto en la *Figura 5*.

Tabla 5. Presupuesto Óptico de un enlace FTTH GPON

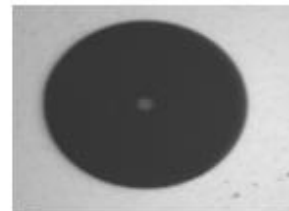
| Cálculo del presupuesto óptico | | | |
|--|-----------------|--|---------------------------------|
| Elemento | Cantidad | Valor de atenuación definido en la norma G 984.2 [dB] | Valor teórico total [dB] |
| Fusiones | 7 u | 0.1 | 0.7 |
| Conectores | 7 u | 0.5 | 3.5 |
| Splitters | 1x32 | 17.5 | 17.5 |
| Longitudes de onda | 1310nm | - | 0 |
| | 1490nm | - | 0 |
| | 1550nm | 2.07 Km | 0.22 |
| Presupuesto óptico teórico total [dB] | | | 22.22 |
| Cálculo con Máxima distancia DROOP*. * Estos valores corresponden al usuario más alejado de la red. | | Feeder | 0.46 Km |
| | | Distribución | 1.29 Km |
| | | Dispersión | 0.32 Km |
| | | TOTAL DISTANCIA [Km] | 2.07 Km |

4.2. Inspección visual con microscopio óptico JDSU P5000i

En la caracterización de los elementos pasivos de la red que tienen conectores (splitters, ODFs, NAPs y rosetas) es importante identificar su estado físico con el uso del microscopio óptico por ser elementos que fácilmente se acoplan, desacoplan y están en continua manipulación del usuario para garantizar su limpieza y óptimo estado inicial. La *Figura 6.a* muestra un conector sucio, mientras que la *Figura 6.b* muestra el estado ideal del conector limpio y aceptable.



a) Conector defectuoso



b) Conector aceptable

Figura 6. Estados de los conectores

En la *Tabla 6* se indican las características técnicas del microscopio óptico JDSU P5000i utilizando para la verificación de los conectores (Viavi solutions, 2016).

Tabla 6. Características técnicas del microscopio óptico JDSU P5000i.

| Microscopio óptico JDSU P5000i | |
|---------------------------------------|------------|
| Marca | JDSU |
| Modelo | P5000i |
| Fecha de calibración | 23/02/2016 |
| Versión | 1.9.1.4578 |
| Release | 2 |



4.3. Inspección visual con VFL

Antes de utilizar el VFL, se debe considerar la seguridad ocular, la luz que emite este equipo tiene altos niveles de potencia, en consecuencia, no se debe ver directamente a la luz. Es importante identificar la continuidad de los elementos pasivos (splitters, pigtails, cable) desde un extremo al otro. La *Figura 7* muestra los diferentes escenarios de este tipo de pruebas.

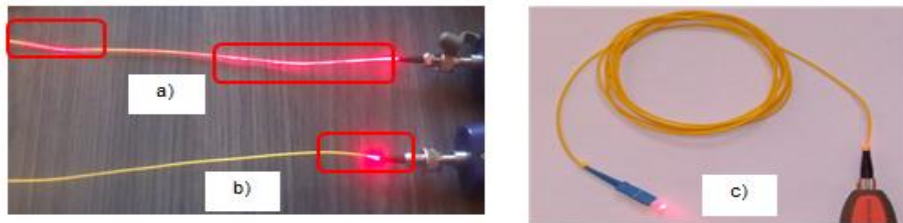


Figura 7. a) Fallas en diferentes tramos del pigtail, b) Fallas en el inicio del pigtail, c) Pigtail en buen estado

Con referencia a la fase 2 de la metodología, antes de la entrega del enlace, es necesario comprobar los parámetros de atenuación de la red definidos en *Tabla 2* del escenario indicado en la *Figura 5*. Para las fusiones en todo el trayecto de la red se utilizó la fusionadora Sumitomo (Sumitomo Electric, 2016), cuyas características técnicas se muestran en la *Tabla 7*.

Tabla 7. Características técnicas de la Fusionadora Sumitomo Tipo Q-101 CA+
Fusionadora Sumitomo Tipo Q-101 CA+

| | |
|---------------------------|----------------------|
| Marca | Sumitomo |
| Modelo | Tipo Q-101 CA+ |
| Tipos de empalmes | MMF/DSF/NZDS/BIF/SPF |
| Calibración de electrodos | 23/03/2016 |



Una vez finalizada la implementación de la red, se realiza lo especificado en la fase 3 de la metodología. La comprobación final de la red se realiza mediante pruebas reflectométricas (OTDR) y pruebas de potencia con el Power Meter (Viavi solutions, 2016). La *Tabla 8* muestra las características técnicas del medidor de potencia.

Tabla 8. Características técnicas del Power Meter JDSU.

| Power Meter JDSU | | |
|----------------------|-------------------|-----------------|
| Marca | JDSU | JDSU |
| Modelo | OLP-34 Transmisor | OLP-35 Receptor |
| Longitud de onda | 780 a 1600 nm | 780 a 1600 nm |
| Unidades de medida | dB/dBm/W | dB/dBm/W |
| Fecha de calibración | 01/02/2016 | 01/02/2016 |
| Rango de medición | de -5 a -50 dBm | |



Finalmente se presenta un cuadro de resultados con el resumen de los valores obtenidos en cada tipo de prueba como un soporte para la entrega de una red certificada y en óptimas condiciones.

4.4. Prueba reflectométrica óptica

Para la realización de estas pruebas se utilizó un reflectómetro (OTDR) cuyas características técnicas se indican en la *Tabla 9* (Viavi solutions, 2016).

Tabla 9. Características técnicas del OTDR T-BERD/MTS-2000.

| Reflectómetro JDSU T-BERD/MTS2000 | |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Marca | JDSU |
| Modelo | T-BERD/MTS2000 |
| Medidor de potencia óptico | Incorporado |
| Longitudes de onda calibradas | 850/1310/1490/1550/1625/1650 nm |
| Precisión | ±0.2 dB |
| Rango de medición | de 5 a -50 dBm |
| Actualización del software | 15.08 23/02/2016 |



Las medidas reflectométricas pueden ser eficazmente analizables solo cuando la configuración del equipo (ancho de impulso, tiempo de muestreo, longitud de onda, umbrales, etc.) es la adecuada. En la *Figura 8* se presenta la configuración de los principales parámetros correspondientes a pruebas reflectométricas en base a la *Tabla 2*.

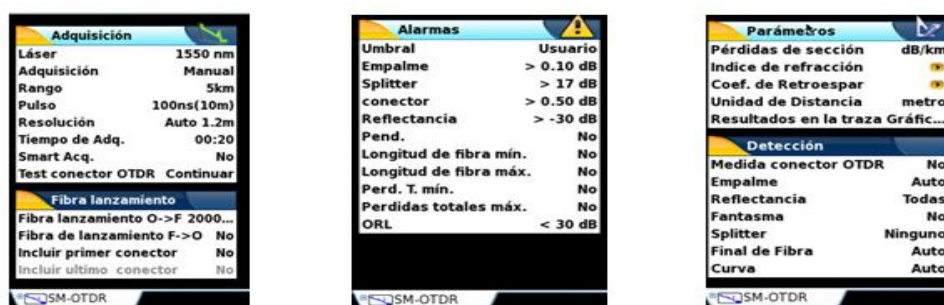


Figura 8. Parámetros de configuración OTDR T-BERD/ MTS-2000

Al realizar el trabajo técnico, una vez que los parámetros del equipo de medición fueron configurados con base a la *Tabla 2*, se realizan las pruebas respectivas en el conector de la roseta óptica obteniendo la gráfica que se encuentran en la *Figura 9*, la cual hace referencia a los resultados de la presente investigación.

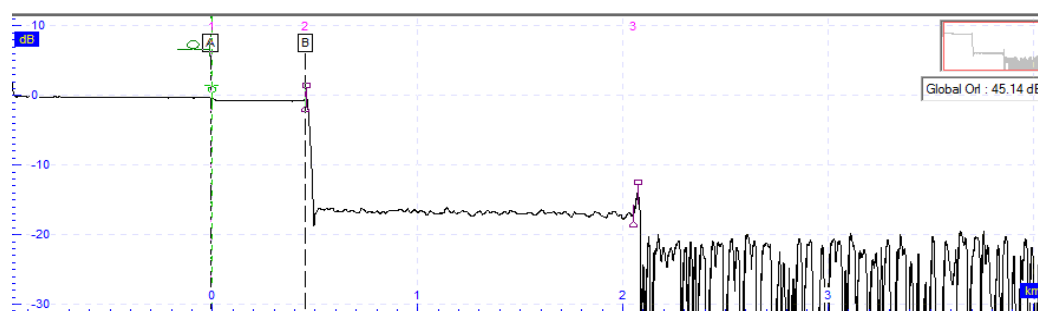


Figura 9. Resultado prueba reflectométrica.

Las pruebas reflectométricas en la *Tabla 10* muestran resultados en base al presupuesto óptico teórico calculado en la ventana de transmisión de 1550 nm.

Tabla 10. Resultados, prueba reflectométrica.

| FiberFIBERHOME 96H012_1550_OE.msor | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|-----------|---------------|----------------|-------------------|------------------------|
| Event (3) | Distance (m) | Loss (dB) | Slope (dB/km) | Rel. Dist. (m) | Section loss (dB) | Total loss (OTDR) (dB) |
| 1 | 0.00 | 0.388 | 0.189 | 1007.05 | | |
| 2 | 450.56 | 15.878 | 0.133 | 450.56 | 0.059 | 0.447 |
| 3 | 2049.84 | | | 1599.28 | 0.319 | 16.643 |

Evento 1, en la columna Rel. Dist. se observa la medida de la bobina de lanzamiento de 1007.05 metros, conectada antes del enlace de fibra a certificar para conocer la pérdida real en el conector de la roseta, en la columna Loss (dB) presenta el valor de atenuación de este elemento (0.388 dB).

Evento 2, en la columna Rel. Dist. se observa una distancia de 450.56 metros con un Slope (pendiente) de 0.133 dB/Km se obtiene la atenuación de acuerdo a la distancia del cable hasta este evento (0.059 dB). La columna Loss dB presenta la atenuación real en el divisor óptico (15.878 dB). En la columna Total loss se presenta el resultado de la suma entre 0.388 dB y 0.059 dB con un total de atenuación hasta este evento de 0.447 dB, cabe recalcar que el valor de atenuación del divisor óptico no se considera en el Total loss ya que la señal aún no pasa de este elemento.

Evento 3, en la columna Rel. Dist. se observa una distancia de 1599.28 metros se obtiene una atenuación de segmento de 0.319 dB. La columna Loss dB no muestra ningún valor ya que estamos en el extremo del enlace, conocido como fin de fibra. En la columna Total loss se presenta el resultado de la suma entre 15.878 dB; 0.447 dB y 0.319 dB con una atenuación del enlace de 16.643 dB.

Tabla 11. Comparación valores teóricos y medidos.

| Comparación valores teóricos y medidos | | | | |
|--|----------------------|---|--------------------------|-----------------------------|
| Elemento | Cantidad | Valor de atenuación definido en la norma G 984.2 [dB] | Valor teórico total [dB] | Medición OTDR MTS 2000 [dB] |
| Fusiones | 7 u | 0.1 | 0.7 | 0.0 |
| Conectores | 7 u | 0.5 | 3.5 | 0.388 |
| Splitters | 1x32 | 1 u | 17.5 | 15.878 |
| Longitudes de onda | 1310nm | - | 0.35 | 0 |
| | 1490nm | - | 0.22 | 0 |
| | 1550nm | 2.07 Km | 0.22 | 0.4554 |
| Presupuesto óptico teórico total [dB] | | | 22.22 | 16.648 |
| Cálculo con Máxima distancia DROOP*. * Estos valores corresponden al usuario más alejado de la red. | Feeder [Km] | | 0.46 | 0.449 |
| | Distribución [Km] | | 1.29 | 1.285 |
| | Dispersión [Km] | | 0.32 | 0.315 |
| | TOTAL DISTANCIA [Km] | | 2.07 | 2.049 |

Una vez realizado el cálculo teórico y la prueba técnica en campo, en la *Tabla 11* (previa) se comprobó que el valor de atenuación total medido es menor al valor de atenuación teórico calculado, determinando así que la red diseñada e implementada cumple con la normativa ITU-T G 984.2 (ITU-T, 2012), garantizando el correcto funcionamiento de los servicios de acuerdo al escenario de la *Figura 5*.

En la *Tabla 12*, se muestran las posibles fallas comunes en los diferentes tipos de prueba realizadas en la red.

Tabla 12. Discusión de resultados.

| Discusión de resultados. | | |
|--|---|---|
| Causa | Criterio | Solución |
| La cara terminal del conector de la fibra óptica está sucia, rayada o dañada. | La atenuación del conector de fibra óptica es mayor que la atenuación teórica, valores de ORL fuera de rango. *OTDR | Comprobar el estado de los elementos con conectores antes de ser implementados con el uso del microscopio óptico. Limpiar o cambiar el elemento de ser necesario. |
| El conector de fibra óptica esta: demasiado apretado o flojo. | Los valores de potencia del enlace no son adecuados. *Power Meter. | Asegurar que el elemento esté acoplado correctamente. Identificar y realizar el correcto acople entre conectores PC (azul) y conectores APC (verde), en los elementos de la red y equipos de medición. |
| Acople de conectores de fibras ópticas de diferentes pulidos. | | |
| La fibra óptica está doblada en exceso o rota. | La reflexión y el ORL de la ODN son anormales. *OTDR La fibra óptica tiene fugas de luz. *VFL (distancia menor a 1000 m). | Identificar la distancia del evento, en caso de ser una reserva de fibra óptica, realizar los trabajos respectivos. Si el daño es considerable, reemplazar la fibra óptica. |
| El divisor óptico esta defectuoso o el adaptador de fibra óptica del divisor El divisor óptico esta defectuoso o el adaptador de fibra óptica del divisor no está limpio. | La atenuación del divisor óptico es mayor que la atenuación teórica. *OTDR | Limpiar el adaptador de fibra del divisor óptico. Reemplazar el divisor óptico si está defectuoso. |
| La atenuación y potencia óptica del enlace no se encuentran en los rangos establecidos. | La potencia óptica recibida en la ONT es mayor que -8 dBm según las pruebas realizadas. *Power Meter La atenuación óptica del enlace entre la OLT y la ONT es excesivamente pequeña. El rango de atenuación normal es de 15 a 25 dB de acuerdo al presupuesto óptico. *OTDR | Añadir un atenuador óptico entre la OLT y ONT. |
| La ODN no se planifica adecuadamente. | El ODN no cumple con los requisitos del plan de enlace ODN o GPON Clase B +. | |
| NOTA: La relación de división del enlace de la ODN no está determinada por el número de terminales ONT conectados sino por la relación de división de los divisores ópticos. | La cobertura de la red de la ODN es muy superior a 20 km. | Optimizar la ODN para cumplir con los requisitos de planificación de la ODN. |

5. Conclusiones y Recomendaciones

El diseño de una red de distribución óptica, debe ser cuidadosamente revisado antes de la implementación y configuración. Entre los factores que influyen para lograr un buen diseño se deben señalar: los costos, la vida útil, el tamaño del sitio, la cantidad de usuarios, la flexibilidad con los servicios soportados, así como también se debe revisar la Resolución 568, Registro Oficial 615 de 26-oct.-2015.-ARCOTEL.

En las redes FTTH GPON, se recomienda realizar las pruebas reflectométricas desde la ONT hasta la OLT. Las distancias del cable en la red son importantes para detectar puntos de fusión, eventos de curvatura, conectores y splitters instalados en la red de distribución óptica; la información de la distancia tiene que ser precisa para determinar la atenuación de la fibra. Las reflectancias tienen un gran impacto en la calidad del enlace, si la pérdida es muy alta y sobrepasa el presupuesto óptico teórico el receptor no podría recibir la potencia suficiente para recuperar la señal, afectando al ORL, este causará interferencia inter simbólica (ISI) y reducirá la Relación Señal a Ruido (OSNR) lo que puede ocasionar un incremento en la tasa de errores de bits.

Para redes PON las longitudes de onda mínimas son de 1310/1550 nm. Para mediciones, es importante contar con equipos que contemplen la banda de 1650 nm para ser utilizada cuando una fibra óptica este trabajando con bajo tráfico en tiempo real.

Los contratistas deben considerar los resultados indicados en la tabla 8 ya que la misma se obtuvo después de realizar varias mediciones puesto que certificar una ODN que cumple los estándares y normas técnicas nacionales e internacionales de funcionamiento, garantiza la correcta instalación, inversión, la fiabilidad de la estructura, mayor rendimiento, seguridad y disponibilidad. Además de ser una documentación indispensable, pues diagnostica exactamente los fallos, además de identificar si la causa es una instalación incorrecta, si los materiales cumplen con lo dispuesto en las normas técnicas, y facilitar su posible mantenimiento y reparación.

Es recomendable abrir el debate para establecer modelos de certificación de la arquitectura FTTH con tecnología GPON en base a este estudio realizado, tomando en consideración las indicaciones del ente regulador respectivo, normativas aplicadas por las distintas operadoras y los modelos de diseños implementados, para garantizar "que el país cuente con redes de telecomunicaciones de alta velocidad y capacidad distribuidas en el territorio nacional, que permitan a la población entre otros servicios, el acceso al servicio de Internet de banda ancha." (ARCOTEL, 2015).

Bibliografía

- Abreu, M. (2009). CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA AL HOGAR (FTTH). *Memoria de trabajos de difusión científica y técnica*(7), 38-46.
- ARCOTEL. (26 de octubre de 2015). *NORMA TECNICA DESPLIEGUE Y TENDIDO REDES FISICAS TELECOMUNICACIONES*. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec>
- CNT EP. (26 de febrero de 2015). *CNT LLEGA CON TECNOLOGÍA GPON A VARIOS SECTORES DEL TERRITORIO NACIONAL*. Obtenido de <https://www.cnt.gob.ec/>
- Corning Optical Communications. (2015). *Calculadora de presupuesto de pérdida*. Obtenido de <http://www.corning.com/>
- DESCA. (2015). *Roseta para fibra óptica*. Obtenido de Desca Grupo Amper: <http://www.desca.com/amper>
- Ecuador Inmediato. (09 de mayo de 2015). *45 mil kilómetros de fibra óptica masifican acceso a Internet en Ecuador*. Obtenido de <http://www.ecuadorinmediato.com/>
- FURUKAWA. (2014). *Solución FTTx – GUÍA DE APLICACIÓN FURUKAWA*. Obtenido de Corporación Furukawa: <http://www.furukawa.com.br/ni/>
- ITU-T. (07 de mayo de 2010). *G.652 : Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*. Obtenido de <https://www.itu.int>
- ITU-T. (14 de marzo de 2011). *GPON G.984.1: Physical Media Dependent (PMD) layer specification*. Obtenido de <https://www.itu.int>
- ITU-T. (14 de marzo de 2011). *GPON G.984.4: ONT management and control interface specification*. Obtenido de <https://www.itu.int>
- ITU-T. (25 de octubre de 2012). *GPON G.984.2: General characteristics*. Obtenido de <https://www.itu.int>
- ITU-T. (23 de noviembre de 2012). *GPON G.984.6: Reach extension*. Obtenido de <https://www.itu.int>
- ITU-T. (17 de julio de 2014). *GPON G.984.3: Transmission convergence layer specification*. Obtenido de <https://www.itu.int>
- ITU-T. (07 de noviembre de 2014). *GPON G.984.5: Enhancement band*. Obtenido de <https://www.itu.int>
- MINTEL. (16 de Mayo de 2016). *Ecuador cuenta con aproximadamente 60.000 km de fibra óptica*. Obtenido de Ministerio de las Telecomunicaciones y Sociedad de la Información: <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/>
- Optronics. (1 de abril de 2016). *Manga de emplame*. Obtenido de <http://optronics.com.mx/modulos/eCommerce/fotos/MANGASDEEMP.pdf>
- Orion. (2012). *Optical Splitter*. Obtenido de Orion Telecom Networks: <http://www.oriontelecom.com/>

Sumitomo Electric. (2 de abril de 2016). *Quantum Type-Q101-CA+™ Core Alignment Fusion Splicer*. Obtenido de <https://www.sumitomoelectric.com/product/q101-ca/>

Viavi solutions. (3 de abril de 2016). *FFL-050/-100 Visual Fault Locators*. Obtenido de <http://www.viavisolutions.com/en-us/products/ffl-050-100-visual-fault-locators>

Viavi solutions. (1 de abril de 2016). *P5000i Fiber Microscope*. Obtenido de <http://www.viavisolutions.com/en-us/products/p5000i-fiber-microscope>

Viavi solutions. (10 de enero de 2016). *PowerChek OP-1 Optical Power Meter*. Obtenido de <http://www.viavisolutions.com/en-us/products/powerchek-op-1-optical-power-meter>

Viavi solutions. (21 de marzo de 2016). *T-BERD 2000 Handheld Modular Test Set*. Obtenido de <http://www.viavisolutions.com/en-us/products/t-berd-2000-handheld-modular-test-set>