



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

CARACTERIZACIÓN DE UN SPLITTER ÓPTICO PLANAR LIGHTWARE
CIRCUITS (PLC) EN UN BANCO DE PRUEBAS MONOMODO

Autora

María Dalila Encalada Andrade

Año
2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

CARACTERIZACIÓN DE UN SPLITTER ÓPTICO PLANAR LIGHTWARE
CIRCUITS (PLC) EN UN BANCO DE PRUEBAS MONOMODO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera en Redes y
Telecomunicaciones

Profesor Guía

Mg. Pablo Geovanny Palacios Játiva

Autora

María Dalila Encalada Andrade

Año

2018

DECLARATORIA PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, CARACTERIZACIÓN DE UN SPLITTER ÓPTICO PLANAR LIGHTWARE CIRCUITS (PLC) EN UN BANCO DE PRUEBAS MONOMODO, a través de reuniones periódicas con el estudiante María Dalila Encalada Andrade, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación."

Pablo Geovanny Palacios Játiva
Magíster en Ingeniería de Redes de Comunicaciones
C.C: 0927864454

DECLARATORIA PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, CARACTERIZACIÓN DE UN SPLITTER ÓPTICO PLANAR LIGHTWARE CIRCUITS (PLC) EN UN BANCO DE PRUEBAS MONOMODO, del María Dalila Encalada Andrade, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Johanna Rafaela Ortega Briones
Magister en Telecomunicaciones
C.C: 1714578984

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

María Dalila Encalada Andrade
C.C:1718361114

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por sus bendiciones y la fortaleza que me da cada día.

A mi padre e hija que me dan ánimos, amor, cariño y comprensión día a día.

A familia que siempre me están apoyando y me brindan todo su cariño.

Al Magister Pablo Palacios por su ayuda en la elaboración de este proyecto.

A mis amigas que siempre están en las buenas y en las malas dándome consejos.

A mis compañeros con los que siempre nos hemos apoyado para culminar la carrera.

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mi Padre que ha sido un gran apoyo toda mi vida, que me ha guiado con su amor y ejemplo para cumplir mis metas. A mi hija, mi negra bella, que es el motor de mi vida y a mi abuelita que sé que siempre está cuidándome desde el cielo.

RESUMEN

Con el rápido desarrollo de las redes ópticas, cada vez más expertos coinciden en dar gran importancia a un elemento de esta red, como es el divisor óptico (splitter óptico), y tratan de optimizar su función tanto como sea posible. Como resultado, los divisores ópticos se vuelven, es decir, diversosiformes con diferentes objetivos de diseño, que pueden usarse en diferentes aplicaciones. En el mercado existe una variedad de divisores de fibra óptica que se adaptan a muchas aplicaciones, y que deben ser probados por el proveedor antes del envío para garantizar que llegarán al usuario en perfectas condiciones físicas y de trabajo.

Dado que los divisores ópticos son elementos clave en las implementaciones de redes ópticas pasivas, los acopladores basados en diseños convencionales pueden no ser adecuados para ambientes agresivos externos. Por tanto, deben hacerse pruebas en un banco experimental para evitar fallas en el campo real basadas en el modelado a diferentes distancias usando bobinas o sin ellas para un entorno local. En el presente trabajo se realiza la caracterización de un splitter óptico en un banco de pruebas monomodo del laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad de Las Américas permitiendo entender el funcionamiento de un splitter PLC (Planar Lightwave Circuits) y como la señal óptica se divide utilizando estructuras ópticas específicas.

Se analiza la división de potencia en el splitter en un banco de pruebas monomodo para comprobar su capacidad verificando mediante la variación de la longitud de onda y distancia, que las señales de salida que se obtengan sean de niveles óptimos para que la transmisión sea estable y sin pérdida de datos. Se compara la variación en potencia y atenuación de los splitters fabricados comercialmente frente a los certificados utilizados en empresas que proveen el servicio de internet y datos. La metodología usada para la investigación fue un estudio experimental y de aplicación de campo ya que se basó en pruebas reales para la caracterización de dos tipos de divisores ópticos o splitter, el de 4

pinos y el de 8 pines, obteniéndose como resultado que el splitter 1x4 resultó ser más estable y consistente en las mediciones, a diferencia del splitter 1x8 que resultó ser más inestable en cada uno de los puntos medidos.

ABSTRACT

With the rapid development of optical networks, more and more experts agree in giving great importance to an element of this network, such as the optical splitter, and try to optimize its function as much as possible. As a result, optical splitters become diversiform with different design objectives, which can be used in different applications. In the market there is a variety of fiber optic dividers that adapt to many applications, and that must be provided by the instant messaging service provider so that they can access the user in perfect physical condition and work.

Since optical splitters are key elements in passive optical network implementations, couplers are available in designs not suitable for aggressive external environments. Therefore, tests should be done in an experimental bank to predict faults in the real field based on modeling at different distances using coils or without them for a local environment. In the present work, the characteristic of an optical splitter and a single-mode test bank of the telecommunications laboratory of the University of The Americas can be used. The division of power in the divider and in the test, bench is analyzed to verify the ability to verify the variation of the wavelength and the level of the output signals that are obtained from the optimum levels for the transmission of data loss.

The variation in the power and attenuation of the dividers of the commercially available book manufacturers in the companies that provide the Internet and data service is compared. The methodology used for the investigation was an experimental and field application study that was based on real tests for the characterization of the optical divisor types or divisors, the one of 4 pines and the one of 8 pines, obtaining as a result that the 1x4 divisor was to be more stable and consistent in the measurements, a difference of the 1x8 divisor that turned out to be more unstable in each one of the measured points.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Fibra óptica.....	1
1.2. Historia de la Fibra óptica.....	1
1.3. Definición de la Fibra óptica	2
1.4. Funcionamiento	3
1.5. Elementos de la Fibra óptica	5
1.6. Clasificación de la Fibra óptica	6
1.7. Propiedades de la Fibra óptica	8
1.8. Tipos de Redes de Fibra óptica	11
1.9. GPON (Gigabit Passive Optical Network)	15
2. CAPÍTULO II. CONSTRUCCIÓN Y ARMADO DEL BANCO DE PRUEBAS MONOMODO	23
2.1. Conceptualización de los elementos del Banco de Pruebas Monomodo	23
2.1.1. Fuente de luz (Wave Source /Optical Source).....	30
2.1.2. Wave Tester / Optical Meter	35
2.1.3. Bobina de lanzamiento de 500 m.	38
2.1.4. Bobina de lanzamiento de 10 km.....	39
2.1.5. Patch cord de fibra SC/APC	41
3. CAPÍTULO III. EXPERIMENTACIÓN.....	43
4.1. Fotografías y datos tomados.....	43
4.1.1. Splitter 1x4 sin bobina con señal continua con longitud de onda de 1310 nm/1550 nm	43
4.1.2. Splitter 1x4 sin bobina con señal pulso con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm	44

4.1.3. Splitter 1x8 sin bobina con señal continua con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm	45
4.1.4. Splitter 1x8 sin bobina con señal pulso con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm	46
4.1.5. Splitter 1x4 bobina de 500 m con señal continua con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm	47
4.1.6. Splitter 1x4 bobina de 500 m con señal pulso con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm	48
4.1.7. Splitter 1x8 bobina de 500 m con señal continua con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm	49
4.1.8. Splitter 1x8 bobina de 500 m con señal pulso con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm	50
4.1.9. Splitter 1x4 bobina de 10 km con señal continua con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm	51
4.1.10. Splitter 1x4 bobina de 10 km con señal pulso con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm	52
4.1.11. Splitter 1x8 bobina de 10 km con señal continua con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm	53
4.1.12. Splitter 1x8 bobina de 10 km con señal continua con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm	54
4.2. Análisis y comparación de los datos obtenidos con el splitter 1x4	55
4.2.1. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal continua (1310 nm).....	55
4.2.2. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal continua (1550 nm).....	56
4.2.3. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal continua (1310 nm)	57
4.2.4. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal continua (1550 nm)	58
4.2.5. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal pulso (1310 nm).....	59

4.2.6. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal pulso (1550 nm).....	60
4.2.7. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal pulso (1310 nm)	61
4.2.8. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal pulso (1550 nm)	62
4.3. Análisis y comparación de los datos obtenidos con el splitter 1x8	63
4.3.1. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal continua (1310 nm).....	64
4.3.2. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal continua (1550 nm).....	65
4.3.3. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal continua (1310 nm)	66
4.3.4. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal continua (1550 nm)	67
4.3.5. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal pulso (1310 nm).....	68
4.3.6. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal pulso (1550 nm).....	69
4.3.7. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal pulso (1310 nm)	69
4.3.8. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal pulso (1550nm).....	70
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
4.1. Conclusiones.....	72
4.2. Recomendaciones	73
REFERENCIAS	74

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Cable de Fibra Óptica	3
<i>Figura 2.</i> Representación de la ley de Snell.....	4
<i>Figura 3.</i> Refracción de la luz.....	5
<i>Figura 4.</i> Reflexión de la luz.....	5
<i>Figura 5.</i> Componentes de la fibra óptica.....	6
<i>Figura 6.</i> Fibra óptica monomodo.....	7
<i>Figura 7.</i> Propagación de los rayos ópticos en una fibra multimodo de índice gradual.....	7
<i>Figura 8.</i> Propagación de los rayos ópticos en una fibra multimodo de índice escalón.	8
<i>Figura 9.</i> Esquema básico del funcionamiento de un sistema de WDM.....	13
<i>Figura 10.</i> Sistema DWDM y sus componentes	14
<i>Figura 11.</i> Red de GPON típica.....	20
<i>Figura 12.</i> Splitter óptico FBT.....	22
<i>Figura 13.</i> Splitter óptico PLC.....	23
<i>Figura 14.</i> Elementos del banco de pruebas.....	24
<i>Figura 15.</i> Logo de la empresa fabricante de los equipos de certificación de fibra óptica Optical Wavelength I Laboratories.	29
<i>Figura 16.</i> Fuente de luz óptica.	31
<i>Figura 17.</i> Partes de un WaveTester.....	33
<i>Figura 18.</i> Combinaciones posibles que se pueden obtener.....	34
<i>Figura 19.</i> Medidor de potencia / Power Meter.....	35
<i>Figura 20.</i> Partes de un WaveTester.....	37
<i>Figura 21.</i> Bobina de lanzamiento de 500 m.....	39
<i>Figura 22.</i> Bobina de lanzamiento de 10Km.....	40
<i>Figura 23.</i> Patch cord de fibra SC/APC.....	41
<i>Figura 24.</i> Adaptador SC.....	42
<i>Figura 25.</i> Splitter 1x4 sin bobina señal continua	43
<i>Figura 26.</i> Splitter 1x4 sin bobina señal pulso	44
<i>Figura 27.</i> Splitter 1x8 sin bobina señal continua.	45
<i>Figura 28.</i> Splitter 1x8 sin bobina señal pulso.	46

<i>Figura 29.</i> Splitter 1x4 bobina 500 m señal continua.....	47
<i>Figura 30.</i> Splitter 1x4 bobina 500 m señal pulso.....	48
<i>Figura 31.</i> Splitter 1x8 bobina 500 m señal continua.....	49
<i>Figura 32.</i> Splitter 1x8 bobina 500 m señal pulso.....	50
<i>Figura 33.</i> Splitter 1x4 bobina 10 Km señal continua	51
<i>Figura 34.</i> Splitter 1x4 bobina 10 Km señal pulso.	52
<i>Figura 35.</i> Splitter 1x8 bobina 10 Km señal continua.	53
<i>Figura 36.</i> Splitter 1x8 bobina 10 Km señal pulso.	54
<i>Figura 37.</i> Comparación de medidas de atenuación Splitter 1x4 con 1310 nm entre las tomas: Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).	56
<i>Figura 38.</i> Comparación de medidas de atenuación Splitter 1x4 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).	57
<i>Figura 39.</i> Comparación de medidas de potencia Splitter 1x4 con 1310 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).	58
<i>Figura 40.</i> Comparación de medidas de potencia Splitter 1x4 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C)	59
<i>Figura 41.</i> Comparación de medidas de atenuación Splitter 1x4 con 1310 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SP).	60
<i>Figura 42.</i> Comparación de medidas de atenuación Splitter 1x4 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SP).	61
<i>Figura 43.</i> Comparación de medidas de potencia del Splitter 1x4 con 1310 nm entre las tomas Sinbobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SP).	62
<i>Figura 44.</i> Comparación de medidas de potencia del Splitter 1x4 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SP).	63

<i>Figura 45.</i> Comparación de medidas de atenuación del Splitter 1x8 con 1310 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).	64
<i>Figura 46.</i> Comparación de medidas de atenuación del Splitter 1x8 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).	65
<i>Figura 47.</i> Comparación de medidas de potencia del Splitter 1x8 con 1310 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).	66
<i>Figura 48.</i> Comparación de medidas de potencia del Splitter 1x8 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).	67
<i>Figura 49.</i> Comparación de medidas de atenuación del Splitter 1x8 con 1310 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SB).	68
<i>Figura 50.</i> Comparación de medidas de atenuación del Splitter 1x8 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SB).	69
<i>Figura 51.</i> Comparación de medidas de la potencia del Splitter 1x8 con 1310 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SB).	70
<i>Figura 52.</i> Comparación de medidas de la potencia del Splitter 1x8 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SB).	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Atenuaciones de la fibra óptica	2
Tabla 2. Comparación de distintos parámetros entre CWDM y DWDM	15
Tabla 3. Características de las principales tecnologías PON	17
Tabla 4. Especificaciones de la fuente de luz y medidor de potencia óptico FIS.	25
Tabla 5. Especificaciones de la fuente de luz y medidor de potencia óptico TTI.	27
Tabla 6. Especificaciones de la fuente de luz y medidor de potencia óptico OWL.....	28
Tabla 7 Estándares de cableado admitidos por WaveSource/WaveTester.....	29
Tabla 8. Características de la fuente de luz de fibra óptica WaveSource	31
Tabla 9. Combinaciones posibles que se pueden obtener	34
Tabla 10. Características del medidor de potencia óptica WaveTester.....	35
Tabla 11. Características de la bobina de 500 m	39
Tabla 12. Características de la bobina de 10 Km.....	40
Tabla 13. Características de la bobina de 10 Km.....	41
Tabla 14. Datos obtenidos mediciones splitter 1x4 con señal continua	43
Tabla 15. Medidas splitter 1x4 sin bobina señal pulso	44
Tabla 16. Medidas splitter 1x8 sin bobina señal continua	45
Tabla 17. Medidas splitter 1x8 sin bobina señal pulso	46
Tabla 18. Medidas splitter 1x4 bobina 500 m señal continua	47
Tabla 19. Medidas splitter 1x4 bobina 500 m señal pulso	48
Tabla 20. Medidas splitter 1x8 bobina 500 m señal continua	49
Tabla 21. Medidas splitter 1x8 bobina 500 m señal continua	50
Tabla 22. Medidas splitter 1x4 bobina 10 Km señal continua	51
Tabla 23. Medidas splitter 1x4 bobina 10 Km señal pulso	52
Tabla 24. Medidas splitter 1x8 bobina 10 Km señal continua	53
Tabla 25. Medidas splitter 1x8 bobina 10 Km señal pulso	54

1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Fibra óptica

En la actualidad, se cuenta con avances tecnológicos que permiten seguir evolucionando a las tecnologías y equipos de medición de telecomunicaciones, lo que se ve reflejado en nuevas velocidades de transmisión y seguridades en cuanto a envío y recepción de datos. Con la fibra óptica se puede asegurar ancho de banda y altas tasas de transmisión de datos.

1.2. Historia de la Fibra óptica

A través de la historia, las necesidades de las personas han ido incrementando, de la misma forma ha ido evolucionando la fibra óptica a lo largo del tiempo. A continuación, se mencionan algunos de los acontecimientos más importantes que se han desarrollado alrededor de la fibra óptica.

En el año 1870 Tyndall demuestra que, por un chorro de agua se puede conducir luz, siendo el inicio de las investigaciones para encontrar altas capacidades de transmisión por medios de transmisión físicos. (Joskowicz, 2012, pág. 23)

En 1880, Alexander Ghaham Bell realiza el estudio para la trasmisión de información a través de un rayo de luz, dando como resultado que las ondas de luz sufren atenuación y son absorbidas por las distintas partículas que se encuentran en la atmósfera, por tanto, desde ese momento se han ido buscando medios físicos de transmisión que permitan el envío de información de manera rápida y segura. (Grosvenor & Wesson, 2016, pág. 63)

Para el año de 1934, Norman French construye un teléfono óptico con el propósito de transmitir audio a muy cortas distancias. (Ibañez, 2011, pág. 7)

Se puede decir que la fibra óptica fue obtenida en el año 1951, con una atenuación de 1000 dB/Km, pero al querer utilizarla para la transmisión de información sufrió algunas variaciones, hasta que, en el año de 1970 en Estados Unidos, la compañía CORNING GLASS, crea un prototipo de fibra óptica con una atenuación de 20 dB/Km. (Vargas, 2014)

En 1971 se crea el láser de onda continua. Desde esta época se crearon fibras ópticas con menores atenuaciones, como se observa en la Tabla 1. (Vargas, 2014)

Tabla 1.
Atenuaciones de la fibra óptica

Año	Atenuación dB/km
1972	4
1973	2
1979	0,2
1989	0,16

En el año de 1989 se crea una fibra con índices de refracción muy buenos, lo que se ven reflejados en anchos de banda muy grandes. (Joskowicz, 2012)

Con todos estos avances la fibra óptica ha permitido que los distintos fabricantes puedan desarrollar equipos que cumplan con todos los requerimientos de confiabilidad actuales de las telecomunicaciones.

1.3. Definición de la Fibra óptica

La fibra óptica posee uno o varios filamentos, fabricados por materiales transparentes y flexibles a base de vidrio o plástico. Este medio de transmisión se usa en redes de datos y telecomunicaciones ya que permite transmitir una gran cantidad de información, a través de señales luminosas a largas distancias y altas velocidades. Los dispositivos que envían las señales pueden ser de tipo láser o diodo led.

La fibra óptica es un medio físico avanzado, debido a que no sufre interferencia electromagnética y cubre mayores distancias a diferencia del cobre y las tecnologías inalámbricas. A pesar de ello, cabe mencionar que la fibra óptica presenta aspectos negativos como es el costo de los equipos transmisores y receptores, así como de la fragilidad de sus filamentos. (Chomycz, 1998, p. 25) La fibra óptica además se lo puede encontrar en aplicaciones, tales como: medicina o en instrumentación, para la transmisión de datos de los sensores de presión, temperatura, humedad, concentración, etc. (Chomycz, 1998, p. 21). Se puede visualizar la fibra en la Figura 1.



Figura 1. Cable de Fibra Óptica

Tomado de: (TELECOCABLE, 2018)

1.4. Funcionamiento

La fibra está compuesta por un núcleo transparente de vidrio (Figura 1), el cual se encuentra cubierto por un revestimiento con un menor índice de refracción, lo que permite que las señales luminosas no se dispersen quedándose en el núcleo y puedan viajar grandes distancias (Chomycz, 1998, p. 31).

El transporte de información mediante estos cables se lo puede conseguir gracias a las leyes de la óptica geométrica, en especial a la ley de refracción y reflexión, denominado “Ley de Snell”, con la cual se logra que el haz de luz no atraviese el revestimiento, sino que por el contrario se refleje y se siga propagando.

En la Figura 2, se observar el comportamiento de un rayo de luz, al pasar de un material a otro.

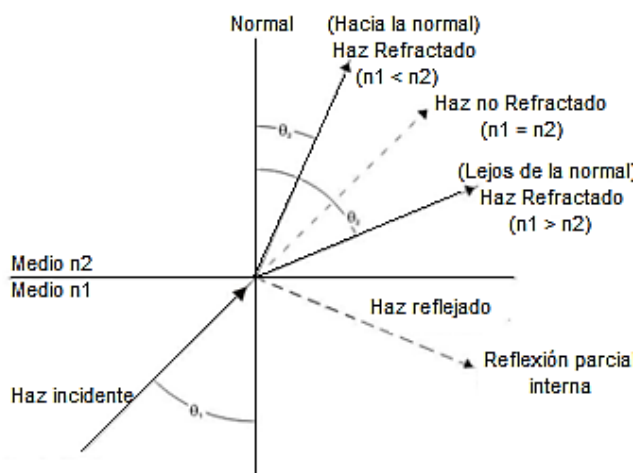


Figura 2. Representación de la ley de Snell

Tomado de: (Sangucho & Morocho, 2009, p. 3).

A continuación se representa la ley de Snell, que es basado en la ley de senos. (Cheng, 1998).

$$\sin\theta_1/\sin\theta_2 = n_2/n_1 \quad (\text{Ecuación 1})$$

De donde al despejar se obtiene:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

- n_1 = índice de refracción del primer material
- n_2 = índice de refracción del segundo material
- θ_1 = ángulo de incidencia (en grados)
- θ_2 = ángulo de refracción (en grados)

El evento de la refracción se produce cuando la luz va de un elemento de transmisión rápido a otro más lento, es decir la luz se propaga de un medio menos denso hacia uno de densidad mayor. Al ingresar el rayo de luz toma otro rumbo ocasionando un cambio de dirección que se observa en la superficie de contacto entre ambos medios.

En la Figura 3 se puede observar la refracción de la luz. (Tomasi, 2003, p. 93).

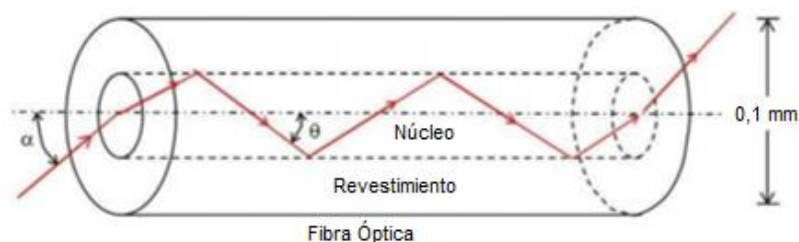


Figura 3. Refracción de la luz

Tomado de: (Fernández, 2015)

En cambio, la reflexión de una onda se refiere a que todo rayo de luz que incide en una superficie reflectante y lisa se refleja con un ángulo igual al de incidencia, de manera que el rayo incidente, reflejado y perpendicular a la superficie reflectante en el punto de incidencia, están sobre el mismo plano. En la Figura 4, se puede observar la reflexión de la luz que pasa a través de una fibra óptica. (Tomasi, 2003)

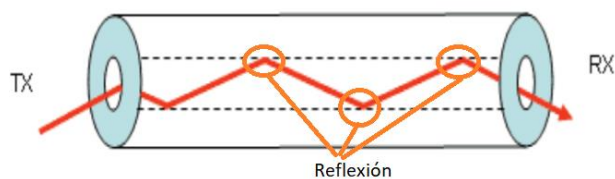


Figura 4. Reflexión de la luz

Tomado de: (Román, 2010, p. 5)

De manera general cuando un haz de luz llega a una superficie cuyo índice de refracción es menor, se reflejará a gran medida. Se puede hablar de reflexión interna total, mientras mayor sea la diferencia entre los índices y el ángulo de incidencia.

1.5. Elementos de la Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión, cada filamento tiene tres partes fundamentales: el núcleo, el manto y el revestimiento.

Se pueden observar las partes de la fibra óptica en la Figura 5. S (Chomycz, 1998, p. 110).

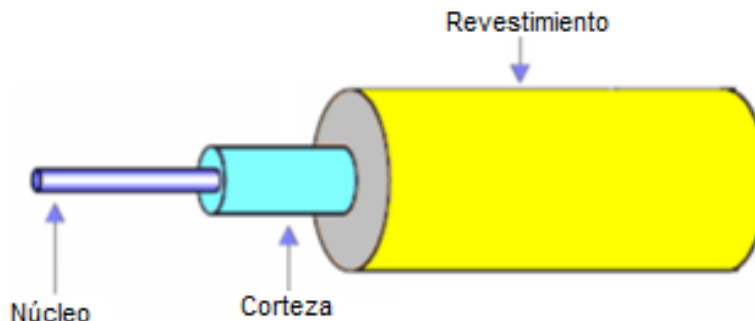


Figura 5. Componentes de la fibra óptica

Tomado de: (Calle, 2010, p. 22)

- El núcleo, llamado también núcleo central está formado de plástico o cristal, construido con óxido de silicio y germanio, el cual tiene un alto índice de refracción.
- El manto o corteza, rodea al núcleo y está compuesto con un material parecido al núcleo, pero con un índice de refracción menor.
- El revestimiento es una capa de nylon o plástico que protege a la fibra.

1.6. Clasificación de la Fibra óptica

A las fibras ópticas se las puede clasificar tomando en cuenta el modo de propagación, que es la trayectoria por la cual sigue un haz de luz al interior de la fibra. Las fibras pueden ser: monomodo y multimodo. (Calle, 2010, p. 120)

• Fibra Monomodo

Este tipo de fibra óptica permite propagar un solo modo de luz. Esto se logra debido a que el diámetro de núcleo va aproximadamente de 8,3 a 10 μm , permitiendo que la transmisión de información se logre de manera paralela al eje de la fibra. Con estas condiciones la fibra monomodo junto con un láser de

alta intensidad puede y cubrir largas distancias (hasta 400Km), además permite transmitir altas tasas de información (10 Gbit/s).

El diámetro del revestimiento en estas fibras es de 125 μm , como se indica en la Figura 6.

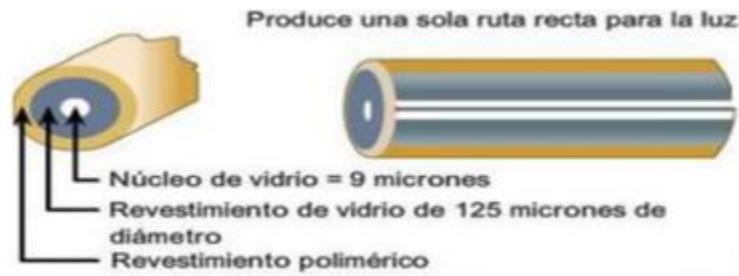


Figura 6. Fibra óptica monomodo

Tomado de: (Ramos & Paredes, 2016, p. 9)

- **Fibra Multimodo**

En este tipo de fibra óptica los haces de luz pueden transmitirse a través de varios caminos o modos (pueden llegar a ser más de mil), es por esta razón que al receptor no llegan al mismo tiempo, son usadas para aplicaciones de corta distancia (menos de 2 Km).

En la Figura 7 se muestra una fibra multimodo de índice gradual, y la propagación de los rayos ópticos dentro de la misma.

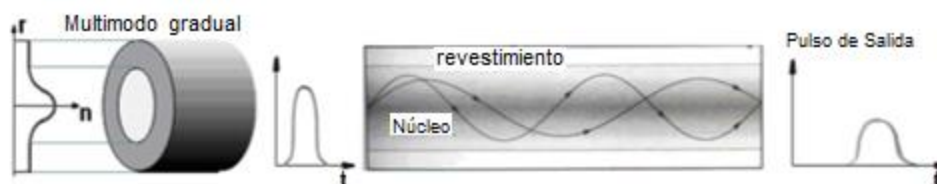


Figura 7. Propagación de los rayos ópticos en una fibra multimodo de índice gradual

Tomado de: (Sangucho & Morocho, 2009, p. 8)

Este tipo de fibras es más fácil de manipular, debido a que el núcleo es más grande. El diámetro del núcleo de este tipo de fibras va entre los 50 y 62,5 μm , mientras que su revestimiento llega a los 125 μm .

En estas fibras se produce la dispersión modal, que es un retardo relativo y generando así un ensanchamiento en el pulso de entrada. (Morocho, 2009). Las fibras multimodo además pueden subdividirse de acuerdo al tipo de índice de refracción del núcleo en: fibra multimodo de índice escalonado y fibra multimodo de índice gradual.

- **Índice gradual:** en este tipo de fibras el índice de refracción va variando, el núcleo de estas fibras está compuesto de varios materiales y su dispersión modal es baja, como se puede observar en la Figura 7.
- **Índice escalonado:** en estas fibras se tiene una dispersión modal alta, con un núcleo que tiene un índice de refracción constante en toda el área cilíndrica, como se observa en la Figura 8.

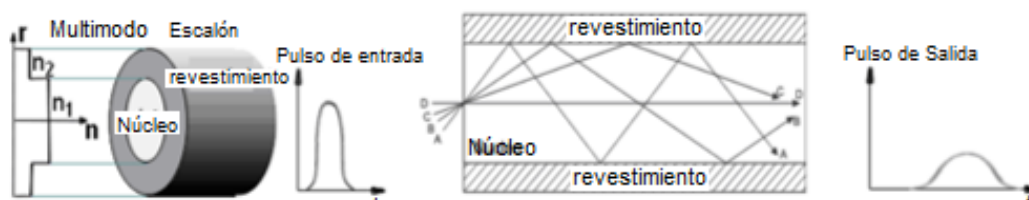


Figura 8. Propagación de los rayos ópticos en una fibra multimodo de índice escalón.

Tomado de: (Sangucho & Morocho, 2009, p. 8).

1.7. Propiedades de la Fibra óptica

La fibra óptica permite tener velocidades de transmisión y anchos de bandas que no se consiguen con ningún otro medio de transmisión, por lo que se volvió muy popular, teniendo un diámetro aproximado al de un cabello humano. Es más liviana en comparación del cable coaxial. La información se transmite a manera de pulsos de luz, la fibra actúa como una guía de onda, teniendo una

perdida mínima en la señal, y siendo inmune al EMI (Interferencia Electromagnética) y RFI (Interferencia de Radio Frecuencia). Todas las ventajas de la fibra se presentan debido a que tiene muchas propiedades las cuales pueden ser divididas en cuatro grupos que son: ópticas, de transmisión, físicas y geométricas.

- **Propiedades ópticas:** En estas propiedades se encuentran el índice de refracción y la apertura numérica.
 - El índice de refracción es la variación de dicho índice según se mueve por la sección transversal. Existen dos tipos de índices: escalón y gradual.
 - La apertura numérica (NA) es un parámetro que determina la cantidad de rayos de luz externos que pueden ser enviados a través de la fibra, si mayor es la apertura numérica, mayor cantidad de luz recepta el núcleo de la fibra. La apertura numérica está determinada por la siguiente fórmula:

$$AN = \sin\theta_{ent} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$AN = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- n_1 = índice de refracción del primer material
- n_2 = índice de refracción del segundo material
- θ_{ent} = ángulo de aceptación (en grados)

Como se puede observar, la apertura numérica es el seno del ángulo de aceptación, es decir, el seno del ángulo máximo que se forma entre el eje de la fibra y el rayo de luz. Además, en la Ecuación 4 se observa que la apertura numérica depende del tipo de material, constituido por el núcleo y revestimiento. (Jardón & Linares, 1995).

- **Propiedades de transmisión**

Entre las propiedades de transmisión de la fibra óptica tenemos: la atenuación, el ancho de banda, el diámetro del campo modal y la longitud de onda de corte.

- **La atenuación:** es la disminución de la potencia de la señal a lo largo del medio de transmisión. Se lo puede calcular con la ayuda de la ecuación 5.

$$A(\lambda) = 10 \log(P_{sal}/P_{ent}) \text{ [dB]} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

- λ = longitud de onda
- P_{sal} = potencia de salida
- P_{ent} = potencia de entrada

La clasificación más sobresaliente de las atenuaciones es en pérdidas: intrínsecas y extrínsecas, a partir de estas, se tiene una amplia gama de clasificaciones. Las pérdidas intrínsecas pueden ser por absorción (debido a rayos ultravioletas e infrarrojos) o ser por esparcimiento (lineal o no lineal). Mientras que las pérdidas extrínsecas pueden ser por absorción de impurezas o por pérdidas debido a microcurvaturas. (Pereda, 2004, pág. 26).

- **El ancho de banda:** es la capacidad que tiene un medio para transportar información. A pesar de ser una buena opción la fibra óptica, tiene limitaciones, en las fibras monomodo por la dispersión cromática y por el ensanchamiento de pulso en la fibra multimodo.
- **Diámetro del campo modal:** se lo puede definir como el tamaño efectivo del núcleo de la fibra óptica, es conocido también como dimensión del tamaño del núcleo de una fibra monomodo.
- **La longitud de onda de corte:** se considera en las fibras monomodo, debido a que estas fibras solo pueden actuar de este modo para ciertas longitudes de onda dependiendo de la onda de corte.

- **Propiedades físicas**

Como propiedades físicas se tiene las propiedades mecánicas que tiene la fibra óptica:

- **Módulo de Young:** mejor conocido como el módulo de elasticidad que tiene un material, dependiendo de la fuerza que se le aplique a una determinada dirección. Para la fibra óptica es 700 kp/mm^2 .
- **Carga de rotura:** se lo define como el esfuerzo necesario para romper un material, este valor para la fibra óptica es 700 kp/mm^2 .
- **Alargamiento en el punto de rotura:** Es la máxima cantidad que un material puede estirarse antes de romperse se lo da en porcentaje. Para la fibra es de 5%.
- **Coefficiente de dilatación:** es el valor que mide el cambio de la longitud de un cuerpo, cuando ha sido sometido a una determinada temperatura. El coeficiente de dilatación de la fibra es aproximadamente de $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}$.

- **Propiedades geométricas**

Como propiedades geométricas de una fibra óptica se pueden considerar: el diámetro núcleo y del revestimiento, la concentricidad núcleo-revestimiento, no circularidad del núcleo y del revestimiento. Estos aspectos dependen del tipo de fibra óptica que se use, algunos de estos factores dependen directamente de los fabricantes. (UIT-T, 2002)

1.8. Tipos de Redes de Fibra óptica

Las fibras ópticas por sus múltiples propiedades han sido utilizadas especialmente en las telecomunicaciones, logrando encontrarlas en distintos sectores como:

- **Redes submarinas:** para este tipo de redes se cuenta con cables de fibra óptica especiales, debido a que estos deben soportar el entorno submarino en distancias extremadamente largas, además estos representan soluciones confiables de alta capacidad y velocidad.
- **Redes de largo alcance:** existen fibras ópticas terrestres no tan largas como las transoceánicas, pero que unen países y ciudades (decenas a miles de Km), generalmente son usados por proveedores de servicios establecidos en sistemas de hasta 10 Gb/s.
- **Redes de acceso:** ya se cuenta con conexiones de fibra hasta el hogar, los mismos que brindan a diferentes domicilios y pequeñas empresas conexiones de banda ancha a precios accesibles.
- **Redes empresariales:** hoy en día la fibra óptica es utilizada para conectar dispositivos de infraestructura entre sí, además se lo puede encontrar en cableado de backbone.

1.8.1. Técnicas de Multiplexación

Existen varias técnicas de multiplexación:

- TDM (Time Division Multiplexing)
- FDM (Frequency Division Multiplexing)
- CDMA (Code Division Multiple Access)
- WDM (Wavelength Division Multiplexing)

En este caso se mencionarán las características de WDM, técnica que se usa para la multiplexación en fibras ópticas.

- **WDM**

Multiplexación por división de longitud de onda o WDM por sus siglas en inglés, esta técnica ayuda a que la capacidad de las redes ópticas aumente, con

ayuda de multiplexores y demultiplexores, siendo una solución eficiente y de bajo costo.

Esta técnica permite que señales con diferentes longitudes de onda se combinen y sean transmitidas por una única fibra óptica al mismo tiempo. Usando esta técnica se pueden enviar hasta más de ochenta longitudes de onda, las cuales pueden ser originadas por diferentes fuentes, además tener tasas de bits y protocolos distintos.

En la Figura 9 se muestra el esquema básico del funcionamiento de un sistema WDM.

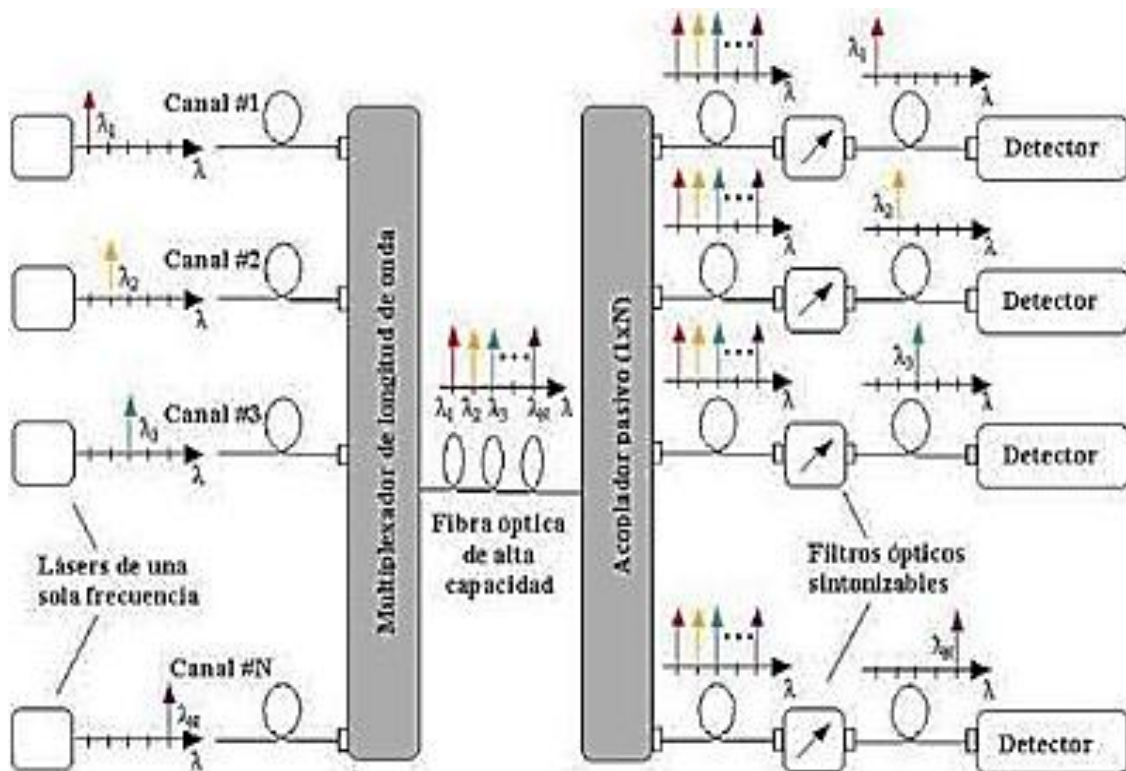


Figura 9. Esquema básico del funcionamiento de un sistema de WDM.

Tomado de: (Sangucho & Morocho, 2009, p. 42).

Cada una de estas longitudes de onda tiene la capacidad de llevar gran cantidad de información, que con la ayuda de un multiplexor ingresan a la fibra, llegando hasta su destino, donde se encontrará un demultiplexor que separará las frecuencias. Existen dos tipos de sistemas WDM: DWDM (Dense

Wavelength Division Multiplexing) y CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing).

- **DWDM**

Esta técnica es una evolución de WDM, que permite introducir más longitudes de onda en la fibra óptica debido a que el espaciado entre ellas es más pequeño, lo que permite obtener velocidades de transmisión de hasta Tbps.

La Figura 10 muestra la multiplexación y demultiplexación de un sistema DWDM con sus componentes.

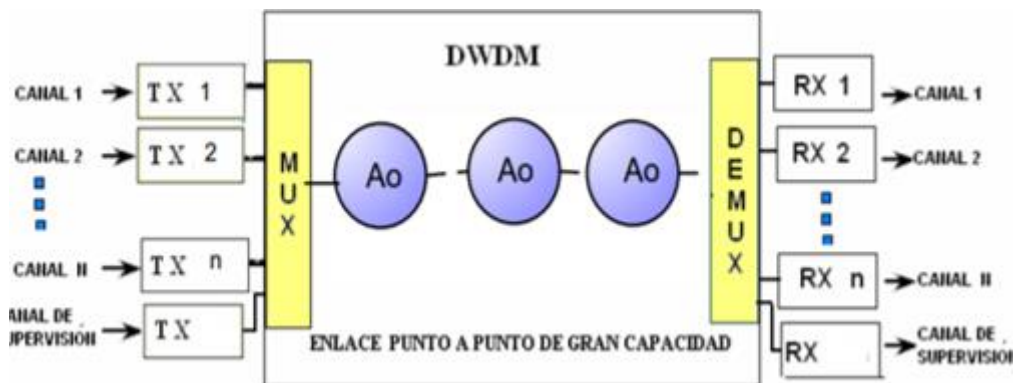


Figura 10. Sistema DWDM y sus componentes

Tomado de: (Calle, 2010, p. 27)

En este grupo entran las fibras que pueden transportar desde 10 longitudes de onda. Con el desarrollo de la tecnología este tipo de fibras han mejorado su precio siendo accesibles. Se ha podido comprobar que con fibras monomodo se han transportado hasta 160 canales a velocidades de 40 Gbps. Este tipo de redes se usa en áreas metropolitanas.

- **CWDM**

Este es un tipo de WDM con separación entre canales 10 veces mayor en comparación de los sistemas DWDM, además los aparatos usados en este tipo de sistemas son más económicos que los que se utilizan con DWDM. Al tener

una mayor separación entre canales sus tasas de transmisión son más altas y resulta útil para cortas distancias ya que no necesita el uso de amplificadores. CWDM es más conveniente que DWDM debido a que usa transmisores ópticos menos costosos, ya que el láser que se utilice para el envío de la información no necesita tener una alta estabilidad térmica. La comparación con mayor precisión se indica en la Tabla 2.

Tabla 2.

Comparación de distintos parámetros entre CWDM y DWDM

Parámetros	CWDM		DWDM
	Acceso/MAN	MAN/WAN	Largo alcance
Canales por fibra	4 – 16	32 – 80	80 – 160
Espaciado entre canales	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
Capacidad por canal	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10-40 Gbit/s
Capacidad de la fibra	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	> 1 Tbit/s
Distancia	Hasta 80 km	Cientos de km	Miles de km
Costo	Bajo	Medio	Alto

Tomado de: (Calle, 2010, p. 28)

1.9. GPON (Gigabit Passive Optical Network)

Con el tiempo las necesidades de las personas han ido aumentando, es por esta razón que los proveedores ofrecen más servicios, utilizando la misma infraestructura y a menores precios, es así como se crean las redes PON, las cuales irán evolucionando hasta llegar a las redes GPON.

1.9.1. Evolución

Las redes PON (Red óptica pasiva), empezaron a tener gran importancia para las operadoras y suministradores de servicios de internet a finales de los años 90, siendo una opción para llegar a los usuarios finales. Con estas redes se

ahorra en el sistema al momento de la instalación de la fibra óptica e interfaces ópticos, debido a que tiene una estructura punto-multipunto. Otra ventaja que ofrece este tipo de redes es que para la conexión entre el operador y el abonado no necesitan aparatos electrónicos u opto electrónicos activos.

Con el paso de los años los distintos países fueron interesándose en las redes ópticas, y mientras la fibra iba bajando de costo, las tecnologías PON fueron desarrolladas por los distintos fabricantes. Para el año 1995 se establecieron un conjunto de requerimientos que mejoraban la interoperabilidad entre los equipos de diferentes fabricantes abaratando así los costos de los mismos. FSAN (Full Service Access Network) conformado por los principales fabricantes de equipos de telecomunicaciones de esta época, crearon las especificaciones de PON, las cuales cumplían con todos los requerimientos de los miembros. (Millán, 2007).

La primera especificación presentada por FSAN fue APON (ATM PON) en el año de 1998, aunque tuvo una gran acogida comercialmente no tenía la capacidad de brindar video. Llegaron a tener velocidades de hasta 622 Mbps, con ATM como protocolo de transmisión, generando una baja eficiencia. Para el año 2001 se crea BPON (Broadband PON), que tiene dificultades debido a sus costos y complejidad ya que se basa en tecnología ATM, pero introduce una nueva longitud de onda que permite el transporte de video RF. (Millán, 2007).

En el 2004, un nuevo grupo aparece EFM (Ethernet First Mile) del IEEE, el cual presenta EPON (Ethernet PON), la cual permitió que los fabricantes creen equipos con mayores anchos de banda, por lo que se consideraba la técnica PON de nueva generación. Esta tecnología tuvo gran acogida en Corea del Sur, Japón y Taiwán, aunque tenía una codificación de línea con sobrecarga lo que se veía reflejado en una línea altamente deficiente. (Samudio, 2013, pág. 40).

En el mismo año (2004), la ITU-T lanzó el estándar GPON (Gigabit Passive Optical Network) que incluye velocidades de línea simétricas y asimétricas que llegan hasta de 2,488 Gbps. El ancho de banda de GPON es mayor en comparación a EPON, debido a que su codificación representa una sobrecarga menor al igual de sus tiempos de guarda. (Samudio, 2013, pág. 40).

Al inicio GPON no tenía gran acogida debido a que los equipos necesarios para esta tecnología, no se desarrollaban con gran rapidez por su complejidad en comparación a EPON, para el año 2006 este inconveniente fue superado por lo comenzó el crecimiento de las redes GPON.

Para el año 2001 IEEE crea la norma IEEE 802.3ah que habilita al Ethernet en redes de acceso. Que años más tarde, para el 2004, incluye el estándar Ethernet en la primera milla, el cual permite enviar tráfico de internet, en donde la primera milla será IP y Ethernet, es ahí donde se origina las redes GEPON, siendo una evolución de las redes GPON. En la Tabla 3 se puede observar las principales características de las redes PON. (Rodríguez Molino, 2017)

Tabla 3.

Características de las principales tecnologías PON

Características	BPON	GPON	EPON
Tasa de bits (Mbps)	<i>down</i> : 1.244, 622, 155 <i>up</i> : 622, 155	<i>down</i> : 2.488, 1.244 <i>up</i> : 2.488, 1.244, 622, 155	<i>down</i> : 1.250 <i>up</i> : 1.250
Codificación de línea	NRZ (+ <i>scrambling</i>)	NRZ (+ <i>scrambling</i>)	8b/10b
Ratio de división máximo	1:32	1:128 (1:64 en la práctica)	1:32
Alcance máximo	20 km	60 km (con 20 km de distancia entre ONTs)	20 km
Estándares	Serie ITU-T	Serie ITU-T	IEEE 802.3ah

	G.983.x	G.984.x	
Soporte TDM	TDM sobre ATM	TDM nativo, TDM sobre ATM, TDM sobre paquetes	TDM sobre paquetes
Soporte vídeo RF	No	Sí	No
Eficiencia típica (depende del servicio)	83% <i>downstrea</i> <i>m</i>	93% <i>downstrea</i> <i>m</i>	61% <i>upstream</i> 73% <i>downstrea</i> <i>m</i>
OAM	PLOAM+OMCI	PLOAM+OMCI	Ethernet OAM (+SNMP opcional)
Seguridad <i>downstrea</i> <i>m</i>	<i>Churning</i> o AES	AE S	No definida

Tomado de: (Millán, 2007)

1.9.2. Definición de las redes GPON

Red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit o GPON por sus siglas en inglés, esta tecnología permite transmitir información a través de fibras ópticas hasta llegar al usuario final, es decir se tiene la última milla de fibra óptica. Lo que permite tener mayores velocidades de transmisión y recepción de datos por medio de una misma fibra. Estas redes pueden ser:

- FTTB: Fibra hasta el edificio
- FTTC: Fibra hasta la caja de distribución por cobre
- FTTH: Fibra hasta el hogar

Con esta tecnología se puede obtener anchos de banda superiores a 1GBs por cada fibra óptica, se puede integrar la Calidad de Servicio (QoS), se puede tener además control sobre la red de acceso a los suscriptores y administrar el ancho de banda. Con estas tecnologías se acepta hasta 32 suscriptores por

cada trayectoria de fibra óptica. Además de las características ya mencionadas a continuación se mencionan algunos datos adicionales de los estándares GPON:

Capa física:

- Máximo 32 usuarios por fibra.
- Llega a distancias hasta de 20 Km (física).
- Llega a una distancia de 60 Km (lógica)

Capa MAC:

- Permite la asignación dinámica del ancho de banda
- Tiene un protocolo de control multipunto.
- Proporciona seguridad a nivel de protocolo

La característica más sobresaliente es que ofrece un ancho de banda mayor y optimiza el tráfico ATM e IP. Las velocidades en esta tecnología son: 2,4 Gbps (downstream) y 1,2 Gbps (upstream). (Recommendation, ITUT, 2003).

1.9.3. Funcionamiento de GPON

La red GPON está basado en un equipo distribuidor (OLT), que se conecta a la red principal por el un lado, mientras que por el otro salen múltiples trayectorias, las cuales salen por un hilo de fibra óptica, cada una con capacidad de 1 Gbps. Al final este ancho de banda será dividido entre los equipos terminales, los cuales estarán unidos a un equipo ubicado en el suscriptor (ONU).

Estos equipos pueden tener diferentes características, algunos permiten tener hasta 24 puertos Ethernet, o estar instalados al aire libre e incluso tener diferentes puertos para conectarse directamente a TVs. El ancho de banda es

compartido y puede ser ajustable según el proveedor, cabe mencionar que los splitters son los equipos pasivos que permiten compartir la fibra óptica. Además, se pueden configurar VLANs las cuales permiten tener el tráfico de cada usuario totalmente aislado.

1.9.4. Estructuras y componentes

En la Figura 11 se puede observar una red GPON típica.

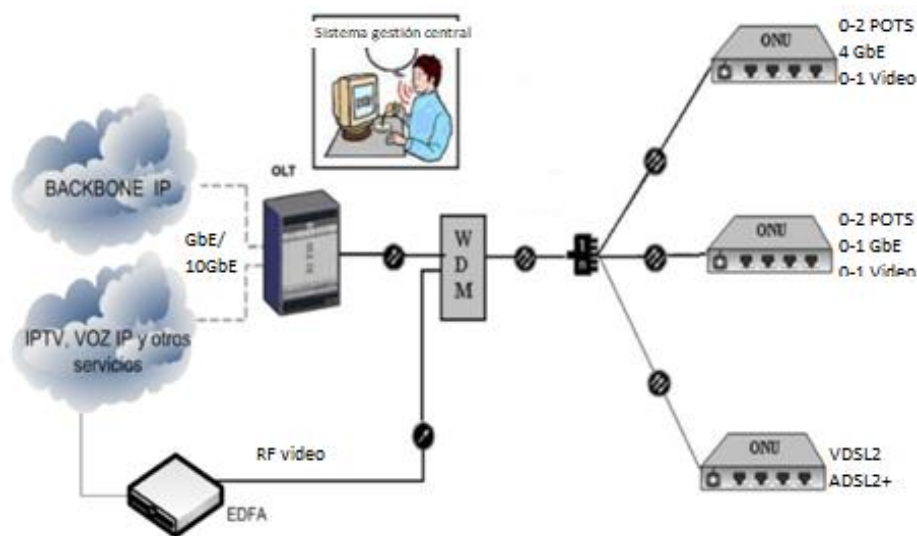


Figura 11. Red de GPON típica.

Tomado de: (Calle, 2010, p. 36)

Los principales componentes de una red GPON son:

- ODN (Optimizar Distribution Network): Es la red constante que se mantiene entre el OLT y los usuarios.
- OLT (Optical Line Terminal): es el que permite que los servicios lleguen al usuario.
- ONT (Optical Network Termination): ubicadas al final de la fibra óptica, por lo que se encuentran cercanas al usuario final.
- ONU (Optical Network Unit): Es el equipo que tiene como función ser nudo entre la red de acceso óptico y el usuario final.
- MDU (Multi-Dwelling Unit): otro dispositivo que permite usar de la manera óptima la red de cobre.

- Splitters (Divisores ópticos pasivos): Es un equipo que se encuentra entre el OLT y el ONT.

1.9.5. Clasificación y características de los splitters ópticos

Los splitter ópticos o llamados también divisores ópticos, permiten dividir las señales ópticas en varias salidas, las cuales tendrán una potencia y velocidad menor en comparación de la señal original, pero la información será la misma. Se pueden clasificar en:

- **FBT (Fused Biconical Taper)**

Son Splitters en los cuales las fibras se fusionan estrechamente por medio del calor, los revestimientos de cada fibra se sueldan en una región pequeña, generando mediante el acoplamiento la transferencia de energía. Está compuesto por acero, fibra óptica, entre otros materiales comunes. Algunas de las características más sobresalientes de los splitters FBT son:

- Las longitudes de onda a las que funcionan los divisores de fibra FBT son: 850 nm, 1310 nm y 1550 nm.
- En los aparatos ópticos el rendimiento se ve alterado por la temperatura, por lo cual se debe tener muy en cuenta los rangos de operación; los splitters FBT pueden funcionar correctamente a temperaturas comprendidas entre los -5 °C a 75 °C.
- Este tipo de splitters se los encuentra en el mercado para fibras ópticas monomodo y multimodo, tiene configuración estrella hasta de 1(2) x2 y 1(32) x32.

- Cabe mencionar que este tipo de splitters se los utiliza para configuraciones pequeñas (1x2, 1x4, 2x2, etc.), aunque no se pueden tener señales uniformes muy precisas. (Silex Fiber Telecom, 2017).

Un splitter óptico FBT se indica en la Figura 12.

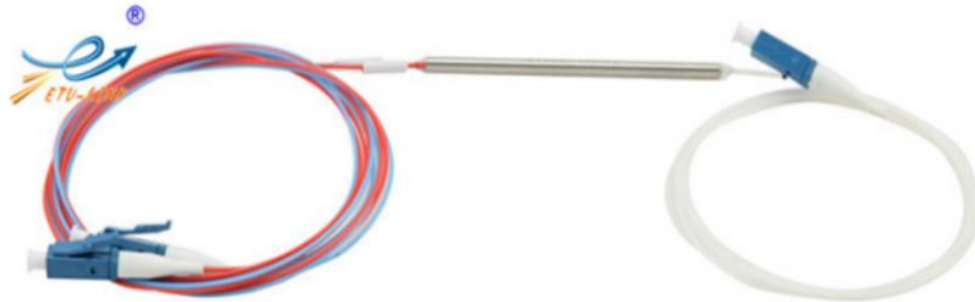


Figura 12. Splitter óptico FBT

Tomado de: (ETU, 2017)

- **PLC (Planar Lightwave circuit)**

Estos splitter están formados por guías de ondas creados en sustrato de silicio. Físicamente es una pieza encapsulada, la cual aloja el chip del divisor óptico y en los extremos dos tapas, con esta tecnología se puede trabajar en longitudes de onda de 1260 nm a 1650 nm. (Silex Fiber Telecom, 2017).

Algunas características generales de este tipo de splitter son:

- Un splitter PLC puede operar con normalidad en un rango de temperatura de -40 °C a 85 °C, lo que se refleja en una estabilidad ambiental a condiciones extremas.
- Su tamaño es más compacto por lo que es más confiable para trabajos de alta densidad.
- Además, estos splitters tiene una configuración de fábrica de: 1x2 y 1(2)x4 hasta llegar a 1(2)x64.
- Es importante mencionar que debido a esta tecnología las señales pueden ser divididas por igual, por lo que son utilizadas para elevadas relaciones de división.
- Además, tiene una pérdida de inserción baja

- Buena uniformidad y mecánica excelente.
- Además, son más confiables que los FBT aunque más costosos por ser más difíciles de construir.

Las características específicas como: pérdida de inserción, uniformidad, pérdida de retorno, sensibilidad de polarización, directividad, entre otros, dependen netamente de cada fabricante, y se las puede consultar a través de sus hojas de especificaciones. A continuación en la Figura 13, se indica un splitter óptico PLC.



Figura 13. Splitter óptico PLC

Tomado de: (ETU, 2017)

2. CAPÍTULO II. CONSTRUCCIÓN Y ARMADO DEL BANCO DE PRUEBAS MONOMODO

2.1. Conceptualización de los elementos del Banco de Pruebas Monomodo

En el presente proyecto se construirá un banco de pruebas monomodo que estará compuesto por:

- Wave Source
- Power Meter
- Bobina de 500 m.
- Bobina de 10 Km.

- Patch cord de fibra SC/APC
- Adaptadores SC
- Splitter PLC 1x4
- Splitter PLC 1x8

Los elementos estarán dispuestos como se muestra en la Figura 14:

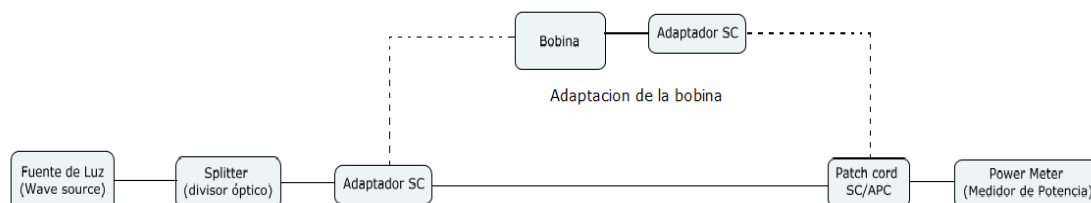


Figura 14. Elementos del banco de pruebas.

Como se observa, el banco de pruebas monomodo se utilizará sin bobina en los primeros experimentos, luego se adaptará respectivamente las bobinas de 500 m. y 10 Km.

Como se ha mencionado el avance tecnológico ha permitido que se vayan desarrollando estándares que tienen como objetivo garantizar la calidad de la instalación y el buen funcionamiento de redes de fibra óptica. El proceso de probar una instalación de red para garantizar el cumplimiento de los estándares especificados se denomina certificación, esto se realiza con la ayuda de equipos especializados.

Los equipos pueden ser hallados en el mercado de manera rápida según su número de parte como, por ejemplo: KIT-WT-WSSDxx, KIT-WT-WSVSDxx, KIT-WT-WSMDSxx, entre otros.

A continuación se mencionarán de manera general algunas características de las fuentes de luz y medidores de potencia ópticos, de distintos fabricantes.

- **FIS Power Meter & Light Source**

Fiber Instrument Sales, es una empresa dedicada a la comercialización de instrumentos que permiten trabajar con fibra óptica, entre ellos se puede encontrar a el medidor de potencia y la fuente de luz ópticos.

El medidor de potencia FIS está diseñado para cumplir con las altas exigencias de las pruebas de fibra óptica. Se puede usar para la medición de potencia absoluta y la medición relativa de la pérdida de enlace en dB. Su tamaño compacto, interfaz fácil de usar, amplio rango de medición de potencia y precisión lo convierten en un dispositivo de prueba de alto rendimiento ideal para pruebas de red.

Las fuentes de luz FIS incluyen una fuente de luz multimodo de doble longitud de onda o modo único. Cuando se utilizan con el medidor de potencia FIS, juntos proporcionan soluciones de prueba precisas para redes de fibra óptica.

En la Tabla 4 se mencionan algunas de las características del medidor y fuente óptico fabricado por FIS.

Tabla 4.

Especificaciones de la fuente de luz y medidor de potencia óptico FIS.

Especificaciones	
Medidor de Potencia óptica	
Longitudes de onda	850 nm, 1300 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, 1625 nm
Detector	InGaAs Dynamic
Rango dinámico	-70 dBm to +6 dBm
Exactitud	±5%
Temperatura de operación	-10° to 60 °C
Batería	Alcalina, 3xAA, 1.5v
Fuente de luz óptico	
Led	850 nm & 1300 nm

Laser	1310 nm & 1550 nm
Potencia de salida	-7 dBm
Modos de modulación	Onda Continua, 270, 1kHz, 2kHz
Temperatura de operación	-10° to 56°C
Batería	Alcalina, 3xAA, 1.5v

Tomado de: (Fiber Instrument Sales , 2017)

- **TTI Power Meter and Light Source**

Terahertz Technologies Inc., es una empresa que cuenta con una gran variedad de equipos que permiten realizar trabajos con fibra óptica, entre ellos tenemos al medidor de potencia de fibra óptica y la fuente de luz.

El medidor de potencia de fibra óptica de la serie PM-1500 y la fuente de luz láser son instrumentos de mano convenientes que cuando se combinan entre sí realizan mediciones automáticas de pérdida hasta en tres longitudes de onda simultáneamente. El Power Meter incorpora un detector InGaAs para máxima sensibilidad y estabilidad.

Además cabe mencionar que el medidor de potencia emparejado con la fuente de luz también funciona como un identificador de fibra que permite la detección de la fuente modulada en tres frecuencias, 270 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz. Cada instrumento está equipado con adaptadores intercambiables para acomodar conectores FC, ST o SC.

En la Tabla 5 se observa algunas de las características del medidor de potencia y fuente de luz óptica marca TTI.

Tabla 5.
Especificaciones de la fuente de luz y medidor de potencia óptico TTI.

Especificaciones	
Medidor de Potencia óptica	
Longitudes de onda	850 nm, 1300 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, 1625 nm
Detector	InGaAs
Rango dinámico	+5 dBm to - 77 dBm
Incertidumbre de medición de potencia	± 0,18 dB en condiciones de referencia
Temperatura de operación	0 to 5 C
Batería	Polímero de Li recargable / Aproximadamente veinte horas después de una carga completa
Fuente de luz óptica	
Led	No
Laser	850nm, 1300nm, 1310 nm, 1490, 1550nm (±20 nm)
Potencia de salida de laser	≥-1.00 dBm
Modos de modulación	Onda Continua, 270, 1kHz, 2kHz
Temperatura de operación	0 to 40 C
Batería	Polímero de Li recargable

Tomado de: (Terahertz Technologies Inc., 2016)

- **OWL WaveSource & WaveTester**

OPTICAL WAVELENGTH LABORATORIES, es una empresa que produce productos de alta calidad por más de 18 años. OWL ha establecido una reputación mundial por la calidad, produciendo consistentemente equipos de prueba precisos, fáciles de usar, pero asequibles. La línea de equipos de prueba de fibra óptica de OWL incluye OTDRs, OSA, PON, medidores de

potencia óptica, medidores ORL, kits de prueba, fuentes de luz, juegos Talk y VFL, así como una gama de accesorios para limpieza y conectividad.

El kit de prueba WaveTester / WaveSource contiene las herramientas necesarias para certificar enlaces de fibra óptica con una gran cantidad de estándares de cableado populares en redes multimodo y monomodo.

Tabla 6.

Especificaciones de la fuente de luz y medidor de potencia óptico OWL.

Especificaciones	
Medidor de Potencia óptica	
Longitudes de onda	850 nm, 1300 nm, 1310 nm, 1550 nm
Detector	InGaAs
Rango dinámico	+5 a -60 dBm
Exactitud	± 0.15 dB
Temperatura de operación	-10 a 55 °C
Batería	250 h (9 v alcalino)
Fuente de luz óptica	
Led	Multimodo
Laser	Monomodo
Potencia de salida de laser	-10 dBm
Potencia de salida de led	-20 dBm
Modos de modulación	Onda continua (CW) o modo modulado
Temperatura de operación	0 a 55 °C
Batería	30 h (9 v alcalina)

Tomado de: (Optical Wavelength Laboratories, 2012)

Al comparar los tres fabricantes de equipos que trabajan con fibra óptica, se ha elegido OWL, con su kit completo, debido a que trabaja en las longitudes de onda deseadas, y puede operar con señales monomodo y multimodo. Además estos equipos se encuentran disponibles en el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad de Las Américas, evitando costos de

adquisición de equipos. En la Figura 15 se muestra el logo de la empresa elegida.



Figura 15. Logo de la empresa fabricante de los equipos de certificación de fibra óptica Optical Wavelength Laboratories.

Tomado de: (MAYFLEX, 2018).

A continuación, se realizará una breve descripción de los elementos que constituyen el Banco de Pruebas Monomodo para entender su función dentro del mismo.

Kit de prueba WaveTester/WaveSource

Los estándares de cableado admitidos por estos equipos según la información obtenida en las hojas de especificaciones del fabricante son los que se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Estándares de cableado admitidos por WaveSource/WaveTester

Estándares de cableado			
1	EIA / TIA568-B	8	ISO / IEC 11801
2	10-Gigabit Ethernet	9	1000Base-SX
3	1000Base-LX	10	100Base-FX
4	10Base-FB	11	10Base-FL
5	FDDI	12	ATM-155
6	ATM-622	13	Fibre Channel
7	Token Ring		

Las siguientes son algunas de las características generales de los equipos de prueba para fibras ópticas.

- Permite realizar la certificación de enlaces de fibra multimodo a 850 nm / 1300 nm, y enlaces de fibra monomodo a 1310 nm / 1550 nm.
- Las funciones de auto-test almacenan referencias y puntos de datos automáticamente.
- Se puede almacenar datos para hasta 200 puntos de datos.
- Cuenta con una interfaz USB para el registro continuo de datos, impresión de informes o descarga de archivos.
- Este equipo consta de un software OWL Reporter para imprimir informes de certificación de fibra formateados.
- Se tiene varios modos de medición que incluyen: absoluta (para potencia óptica) o relativa (para pérdida óptica).
- Además, con estos equipos se pueden seleccionar, eliminar o volver a muestrear selectivamente los puntos de datos.

2.1.1. Fuente de luz (Wave Source /Optical Source)

Esta es una fuente de luz combinada multimodo / monomodo. Sus salidas de longitud de onda (850 nm & 1300 nm para multimodo, y 1310 nm & 1550 nm para monomodo) están estabilizadas por temperatura para mediciones precisas. En estos dispositivos se encuentran disponibles tres opciones de conectores disponibles que son: ST, SC o FC. En este caso en particular se tiene disponible en el laboratorio de la Universidad de Las Américas un power meter con conector SC.

La Figura 16 muestra el gráfico de una fuente de luz óptica, con la que se trabajará.



Figura 16. Fuente de luz óptica.

En la Tabla 8 se muestra algunas de las características más significativas de las fuentes de luz óptica Wave Source, que cumplen con las normas europeas EN 61326-1 y EN 61010-1.

Tabla 8.

Características de la fuente de luz de fibra óptica WaveSource

Fuente de luz de fibra óptica WaveSource	
Método de lanzamiento (multimodo)	Led
Método de lanzamiento (monomodo)	laser FP
Conector	ST, SC o FC
Longitud de onda central (850 nm)	850 +30/-10 nm
Longitud de onda central (1300 nm)	1300 ±50 nm
Longitud de onda central (1310 nm)	1310 ±30 nm
Longitud de onda central (1550 nm)	1550 ±30 nm





Potencia de salida (multimodo)	-20 dBm
Potencia de salida (monomodo)	-10 dBm
Exactitud inicial	0.1 dB
Duración de batería	30 h (9 v alcalina)
Temperatura de funcionamiento	0 a 55 °C
Temperatura de almacenamiento	0 a 70 °C
Ancho	2.75 "
Altura	4.94 "
Profundidad	1,28 "
Peso	154 g

Tomado de: (Optical Wavelength Laboratories, 2012).

2.1.1.1. Funcionalidad de los Botones de Fuente de luz

A continuación, se detalla las características de los componentes de una fuente de luz, uno por uno cada botón será descrito brevemente.

1. **Puerto A:** este puerto depende del modelo que se utilice, puede ser un puerto de conector SC o ST.
2. **Puerto de carga:** permite la carga de baterías recargables de 9 voltios, así como la operación de alimentación eléctrica.
3. **Puerto B:** este puerto también depende del modelo del equipo como el puerto A, puede ser un puerto de conector SC o ST.
4. **Indicador Led del puerto A:** indica el estado de la alimentación de la fuente de luz en el puerto A.
5. **Indicador Led del puerto B:** indica el estado de la alimentación de la fuente de luz en el puerto B.
6. **Indicador Led del cargador:** cuando la fuente está apagada, indica el estado de carga; cuando la fuente está encendida, indica la duración de la batería. La duración de la batería oscila entre verde (lleno)> amarillo> naranja> rojo (casi vacío).

7.  **(Tecla CW/MOD):** alterna la longitud de onda seleccionada a CW (onda continua) o MOD (modulada). La mayoría de las aplicaciones requerirán el modo CW.
8.  **(Tecla λ/AUTO):** al presionar este botón una sola vez se puede cambiar la longitud de onda de salida para el puerto seleccionado; si se lo mantiene presionado se configura el WaveTester en el modo AUTO (si hay dos longitudes de onda presentes, la fuente se alternará entre estas dos longitudes de onda).
9.  **(Tecla ON/OFF):** este botón permite encender y apagar el WaveSource.
10.  **(Tecla de Selección):** cambia la unidad entre puerto A y puerto B.
11. **Pantalla LED de siete segmentos:** muestra la longitud de onda seleccionada actualmente o cualquier cambio en el estado de la fuente de luz. La existencia de esta pantalla puede variar según el modelo de WaveSource que se utilice.

En la Figura 17 se observa un WaveTester con todas sus partes numeradas.



Figura 17. Partes de un WaveTester.

Tomado de: (Optical Wavelength Laboratories, 2012, p. 12).

Al combinar las opciones de los botones port y auto se tiene las siguientes combinaciones posibles, como se observa en la Figura 18.



Figura 18. Combinaciones posibles que se pueden obtener.

De manera más detallada en la Tabla 9 se muestra las combinaciones que se pueden conseguir variando las opciones en los botones port y auto.

Tabla 9.

Combinaciones posibles que se pueden obtener

Descripción	MM PORT	SM PORT
Multimodo/850 nm	Encendido color rojo	Apagado
Multimodo/1300 nm	Encendido color verde	Apagado
Monomodo/1310 nm	Apagado	Encendido color rojo
Monomodo/1550 nm	Apagado	Encendido color verde

Es importante recalcar que para la toma de medidas correctas es necesario que tanto el Power meter como el Wave Source deben estar configurados en los mismos parámetros de longitud de onda y tipo de fibra.

2.1.2. Wave Tester / Optical Meter

En la Figura 19 se puede observar un medidor de potencia.



Figura 19. Medidor de potencia / Power Meter.

Este medidor de potencia óptica se los puede utilizar en multimodo o monomodo, puede almacenar valores de referencia para todas las longitudes de onda utilizadas para las mediciones de pérdida óptica.

A continuación, en la Tabla 10 se muestran algunas características del medidor de potencia, los cuales permiten verificar que cumplen con las normas europeas EN 61326-1 y EN 61010-1.

Tabla 10.

Características del medidor de potencia óptica WaveTester

Medidor de potencia óptica WaveTester	
Tipo de detector	InGaAs
Longitudes de onda detectables	850 nm, 1300 nm, 1310 nm, 1550 nm
Rango de medición	+5 a -60 dBm
Precisión	± 0.15 dB
Resolución	0.01 dB
Tipo de conector	2.5 mm Universal
Unidades de potencia visualizadas	dBm, dB, μ W

Duración de la batería	250 h (9 v alcalino)
Luz de fondo	Si
Apagado automático	Si
Temperatura de funcionamiento	-10 a 55 °C
Temperatura de almacenamiento	-30 a 70 °C
Ancho	2.75 "
Altura	4.94 "
Profundidad	1,28 "
Peso	154 g

Tomado de: (Optical Wavelength Laboratories, 2012).

A continuación, se mencionan algunas de las aplicaciones de prueba y medición que se pueden realizar con la ayuda del medidor de potencia óptica WaveTester.

- Prueba de continuidad de fibra. La continuidad de la fibra se puede medir con el WaveTester, si se coloca una fuente de luz calibrada en un extremo de la fibra y por el otro lado el WaveTester. De esta manera también se mide la atenuación de la fibra.
- Prueba de cable de conexión. Los enlaces de fibra que producen resultados incorrectos pueden tener cables de conexión defectuosos. El WaveTester se puede usar para probar la atenuación de un cable de conexión y así determinar si es necesario reemplazarlo por un cable nuevo.
- Medidas de atenuación (pérdida óptica). Después de que un cable de fibra ha sido instalado y terminado, debe ser probado para determinar si la fibra está instalada de acuerdo con los estándares y especificaciones. La comparación de la medición de potencia real y el valor de referencia determina si la instalación pasa o no la certificación.

- Mediciones de potencia óptica en un equipo activo. Un equipo activo debe medirse periódicamente para niveles de potencia correctos. Los transmisores en este equipo tienen un valor de potencia conocido. El WaveTester se puede conectar directamente a cualquier equipo a través de un cable de conexión para verificar si el transmisor se encuentra dentro del rango de potencia especificado por el fabricante.

2.1.2.1. Funcionalidad de los Botones del WaveTester

A continuación, se describirán los botones que conforman un WaveTester, con una breve descripción se hará a conocer la funcionalidad de cada uno de ellos.





En la Figura 20 se observa las partes numeradas del WaveTester.



Figura 20. Partes de un WaveTester.

Tomado de: (Optical Wavelength Laboratories, 2012, p. 4).

1. **Puerto de cargador / puerto VFL opcional:** este puerto permite cargar baterías recargables de 9 voltios, así como la operación de alimentación eléctrica. Como opción, se puede instalar un Visual Fault Locator (VFL) en lugar del puerto del cargador.

2. **Puerto de descarga USB:** con este puerto se puede descargar los datos almacenados en una PC con la ayuda del cable de descarga USB suministrado.
3. **Puerto de conector universal de 2,5 mm:** este puerto acepta muchos conectores de férula populares de 2.5 mm, incluidos ST, SC y FC.
4. **Pantalla LCD:** muestra los niveles ópticos de potencia / pérdida, unidades de potencia, longitud de onda y estado de la batería.
5.  **(Tecla SAVE):** si se presiona una sola vez este botón se guarda la medición actual; si se lo mantiene presionado, se descarga los datos al programa del terminal que se use como por ejemplo Hyperterminal.
6.  **(Tecla ON/OFF):** este botón permite encender y apagar el WaveTester; además tiene como función adicional encender y apagar la luz de fondo.
7.  **(Tecla λ /AUTO):** al presionar este botón una sola vez se puede cambiar la longitud de onda de medición; si se lo mantiene presionado se configura el WaveTester en el modo AUTO (habilita la conmutación de longitud de onda automática cuando se utiliza con una fuente de luz OWLWaveSource).
8.  **(UNITS/ZERO):** al pulsar una sola vez este botón, se van alterando las unidades de medida entre dBm, dB y microvatios; si se mantiene presionado este botón se establece la referencia óptica (también conocida como "puesta a cero").

2.1.3. Bobina de lanzamiento de 500 m.

Las bobinas son elementos pasivos de un circuito, de manera específica las bobinas de lanzamiento son carretes en los cuales se enrolla fibra óptica, se usa para certificaciones y mediciones mediante reflectores ópticos.

Una bobina de lanzamiento es usada para corregir la zona muerta al realizar las mediciones con el OTDR.

La bobina que se utilizará en el banco de pruebas tiene las siguientes características, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11.

Características de la bobina de 500 m

CARACTERÍSTICAS BOBINA 500 M	
Atenuación	0,21 dB
Tipo de fibra	Monomodo
Conectores	SC/APC - SC/APC

En la Figura 21 se muestra una bobina de lanzamiento de 500m, la cual será utilizada para las pruebas.



Figura 21. Bobina de lanzamiento de 500 m.

2.1.4. Bobina de lanzamiento de 10 km.

Las bobinas de lanzamiento de 10Km, son carretes en los cuales se enrolla fibra óptica de longitud igual a 10Km, se usa para las pruebas de certificación.

En la Tabla 12 se muestra las principales características de una bobina de 10 Km.

Tabla 12.

Características de la bobina de 10 Km

CARACTERÍSTICAS BOBINA 10 Km	
Atenuación	3 dB (valor calculado)
Tipo de fibra	Monomodo
Conectores	SC/APC - SC/APC

- **Atenuación de la fibra**

Para el cálculo de la atenuación de la bobina de 10 km se utilizó la ecuación (6), donde reemplazando valores nos da como resultado 3dB (Textos Científicos, 2006).

$$A = a_f * d \text{ [dB]} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

$$A = 3 \frac{dB}{Km} * 10Km \text{ [dB]}$$

$$A = 3 \frac{dB}{Km}$$

Donde:

- A = atenuación de la bobina de 10 Km
- d = distancia de la fibra en Km
- a_f = atenuación de la fibra en dB/Km.

En la figura 22 se puede observar una bobina de lanzamiento de 10 Km.



Figura 22. Bobina de lanzamiento de 10Km

2.1.5. Patch cord de fibra SC/APC

Los Patch cords de fibra óptica no son más que cables de fibra óptica de pequeña longitud, que son utilizados para conexiones interiores, dependiendo de las necesidades se escoge el tipo de conector en sus extremos, para este caso se usa un patch cord con conectores SC/APC. El patch cord de fibra permite cambiar de tipo de conector de acuerdo a las necesidades, en este caso en particular permite el cambio de SC a ST que es el conector del Power Meter.

En la Figura 23 se muestra un patch cord de fibra con conectores SC/APC.



Figura 23. Patch cord de fibra SC/APC

En la Tabla 13 se muestran las características más importantes de una bobina de 10 Km.

Tabla 13.

Características de la bobina de 10 Km

CARACTERÍSTICAS PATCH CORD SC/APC	
Atenuación	0.3 dB
Tipo de fibra	Monomodo
Conectores	SC/APC

2.1.6. Adaptadores SC

Los adaptadores SC (Standard Connector) son conectores que van instalados al final de la fibra, para permitir la conexión entre dispositivos. Estos conectores pueden soportar un promedio de 1000 ciclos de conexión y desconexión, además tienen una pérdida de inserción aproximada de 0,25 dB.

Son utilizados para sistemas de CATV y telefonía, estos conectores tienen un sistema push y pull que permite alinear las fibras con precisión gracias a sus férulas de cerámica. El adaptador SC se utiliza para cambiar de tipo de patch cord. En la Figura 24 muestra un adaptador SC.



Figura 24. Adaptador SC

3. CAPÍTULO III. EXPERIMENTACIÓN

4.1. Fotografías y datos tomados

4.1.1. Splitter 1x4 sin bobina con señal continua con longitud de onda de 1310 nm/1550 nm

Se puede observar el armado del banco de pruebas sin bobina con el splitter 1x4 en la imagen 25:

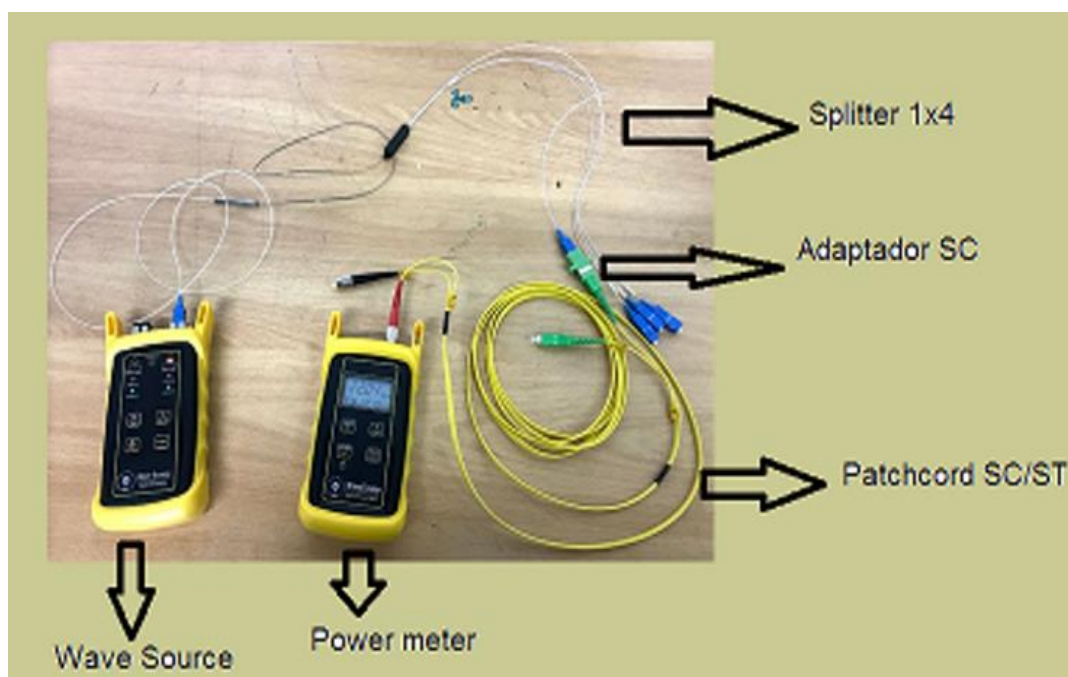


Figura 25. Splitter 1x4 sin bobina señal continua

Los datos obtenidos de la experimentación se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14.

Datos obtenidos mediciones splitter 1x4 con señal continúa.

SPLITTER 1X4 SIN BOBINA SEÑAL CONTINUA					
# HILO	1310 nm		1550 nm		
	Atenuación (dB)	Potencia(uW)	Atenuación (dB)	Potencia(uW)	
1	-22,03	6,249	-21,79	6,624	
2	-21,93	6,391	-21,71	6,874	
3	-21,66	6,818	-21,55	6,999	
4	-22,04	6,249	-21,63	6,999	

4.1.2. Splitter 1x4 sin bobina con señal pulso con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm

Se puede observar el armado del banco de pruebas sin bobina con el splitter 1x4 en la imagen 26:

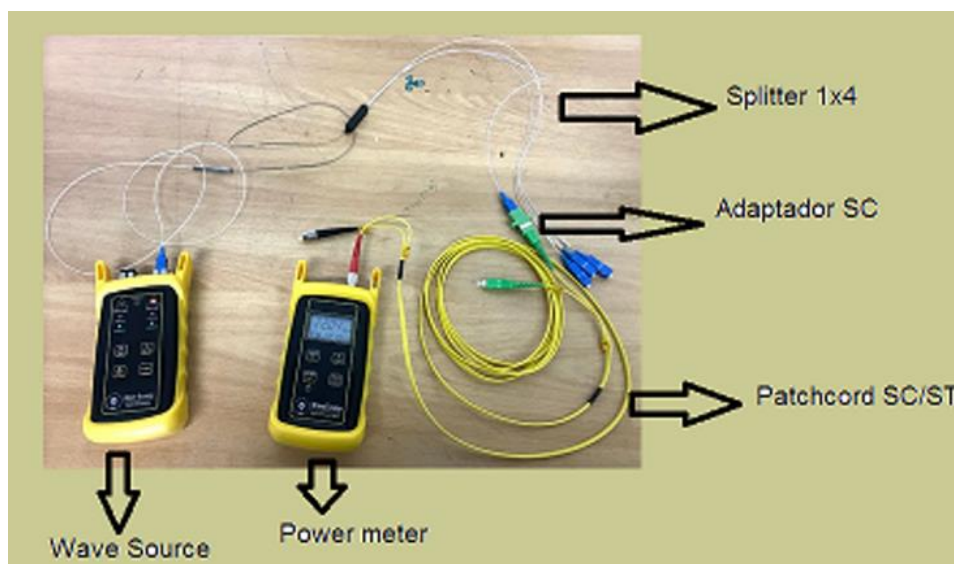


Figura 26. Splitter 1x4 sin bobina señal pulso

Los datos obtenidos de la experimentación se muestran en la Tabla 15:

Tabla 15.

Medidas splitter 1x4 sin bobina señal pulso

SPLITTER 1X4 SIN BOBINA SEÑAL PULSO									
# HILO	1310 nm				1550 nm				
	Atenuación (dB)		Potencia(uW)		Atenuación (dB)		Potencia(uW)		
	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Minima
1	-25,01	-25,25	3,124	2,982	-24,53	-24,87	3,249	3,179	
2	-25,05	-25,33	3,124	2,982	-24,62	-24,95	3,257	3,249	
3	-24,85	-25,00	3,550	3,409	-24,13	-24,56	3,499	3,406	
4	-25,05	-25,42	3,266	3,124	-24,61	-24,88	3,374	3,304	

4.1.3. Splitter 1x8 sin bobina con señal continua con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm

Se puede observar el armado del banco de pruebas sin bobina con el splitter 1x8 en la imagen 27:

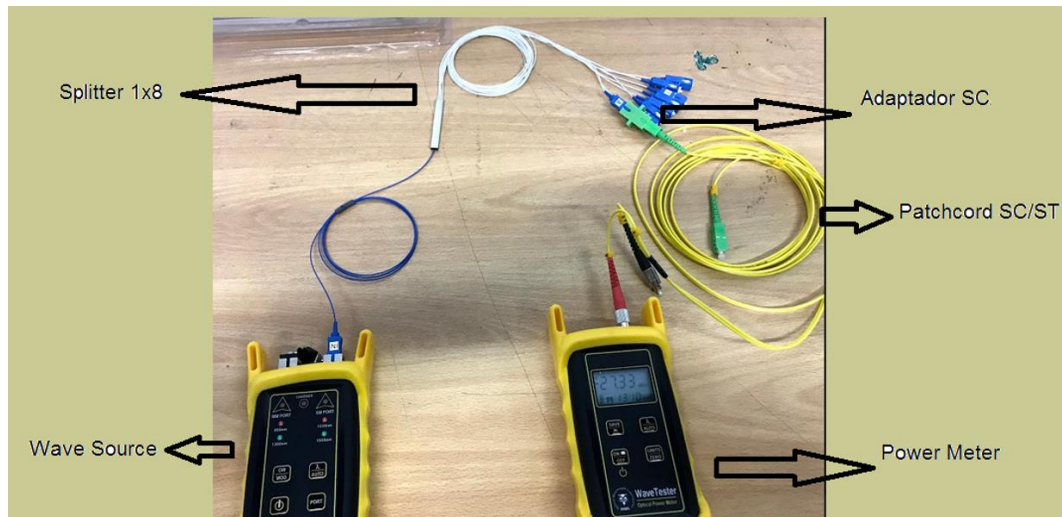


Figura 27. Splitter 1x8 sin bobina señal continua.

Los datos obtenidos de la experimentación se muestran en la Tabla 16:

Tabla 16.

Medidas splitter 1x8 sin bobina señal continua

SPLITTER 1X8 SIN BOBINA SEÑAL CONTINUA					
# HILO	1310 nm		1550 nm		
	Atenuación (dB)	Potencia(uW)	Atenuación (dB)	Potencia(uW)	
1	-24,03	3,941	-24,24	3,962	
2	-24,19	3,355	-25,15	3,163	
3	-23,99	4,048	-24,19	4,056	
4	-24,05	3,998	-23,95	4,281	
5	-23,83	4,110	-23,83	4,273	
6	-24,09	3,550	-24,37	3,382	
7	-25,37	3,900	-25,01	3,507	
8	-24,01	3,959	-24,17	3,812	

4.1.4. Splitter 1x8 sin bobina con señal pulso con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm

Se puede observar el armado del banco de pruebas sin bobina con el splitter 1x8 en la imagen 28:

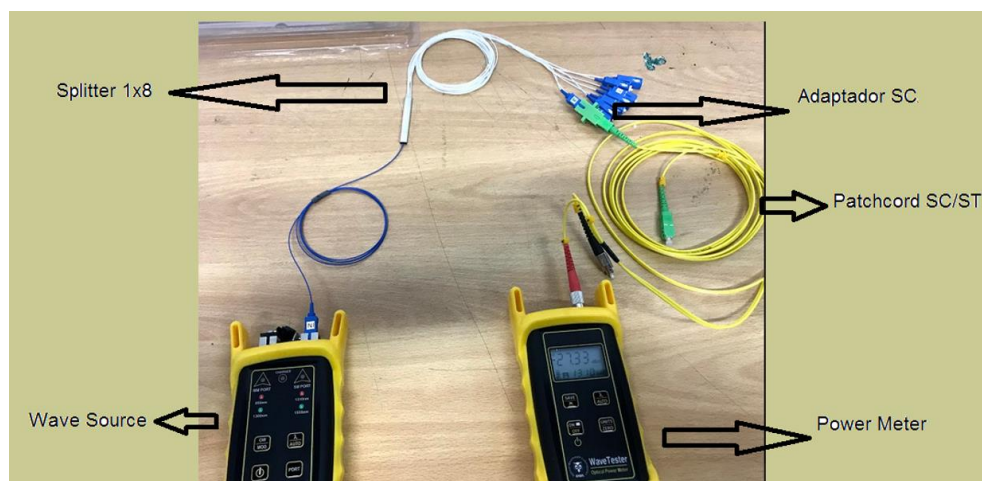


Figura 28. Splitter 1x8 sin bobina señal pulso.

Los datos obtenidos de la experimentación se muestran en la Tabla 17:

Tabla 17.

Medidas splitter 1x8 sin bobina señal pulso

SPLITTER 1X8 SIN BOBINA SEÑAL PULSO									
# HILO	1310 nm				1550 nm				
	Atenuación (dB)		Potencia(uW)		Atenuación (dB)		Potencia(uW)		
	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima
1	-27,21	-26,95	2,130	1,988	-27,40	-27,28	1,999	1,968	
2	-27,68	-27,67	1,704	1,651	-28,27	-28,24	1,554	1,507	
3	-27,68	-27,33	1,988	1,811	-27,09	-26,99	1,999	1,945	
4	-27,15	-26,98	2,130	1,988	-27,09	-26,99	2,019	2,085	
5	-27,25	-27,01	1,988	1,944	-27,00	-26,97	2,101	2,062	
6	-27,93	-27,68	1,846	1,633	-27,75	-27,57	1,726	1,695	
7	-28,31	-28,06	1,562	1,473	-27,82	-27,57	1,790	1,640	
8	-27,41	-27,53	1,820	1,757	-27,51	-27,40	1,874	1,843	

4.1.5. Splitter 1x4 bobina de 500 m con señal continua con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm

Se puede observar el armado del banco de pruebas sin bobina con el splitter 1x4 en la imagen 29:

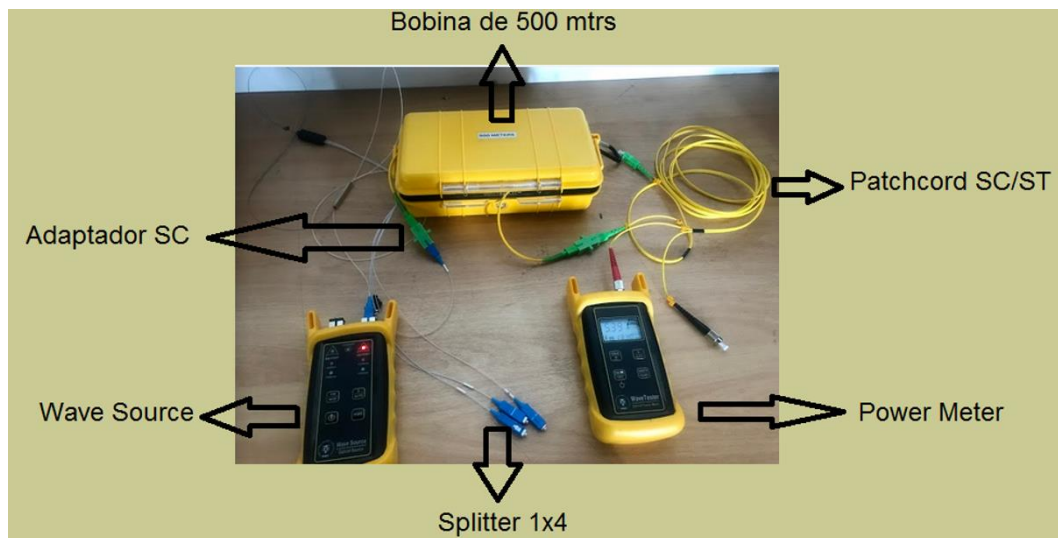


Figura 29. Splitter 1x4 bobina 500 m señal continua

Los datos obtenidos de la experimentación se muestran en la Tabla 18:

Tabla 18.

Medidas splitter 1x4 bobina 500 m señal continua

SPLITTER 1X4 BOBINA 500 MTRS SEÑAL CONTINUA					
# HILO	1310 nm		1550 nm		
	Atenuación (dB)	Potencia(uW)	Atenuación (dB)	Potencia(uW)	
1	-22,34	5,823	-21,79	6,624	
2	-22,34	5,823	-21,71	6,499	
3	-22,34	5,823	-21,79	6,624	
4	-22,62	5,459	-21,95	6,274	

4.1.6. Splitter 1x4 bobina de 500 m con señal pulso con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm

Se puede observar el armado del banco de pruebas sin bobina con el splitter 1x4 en la imagen 30:

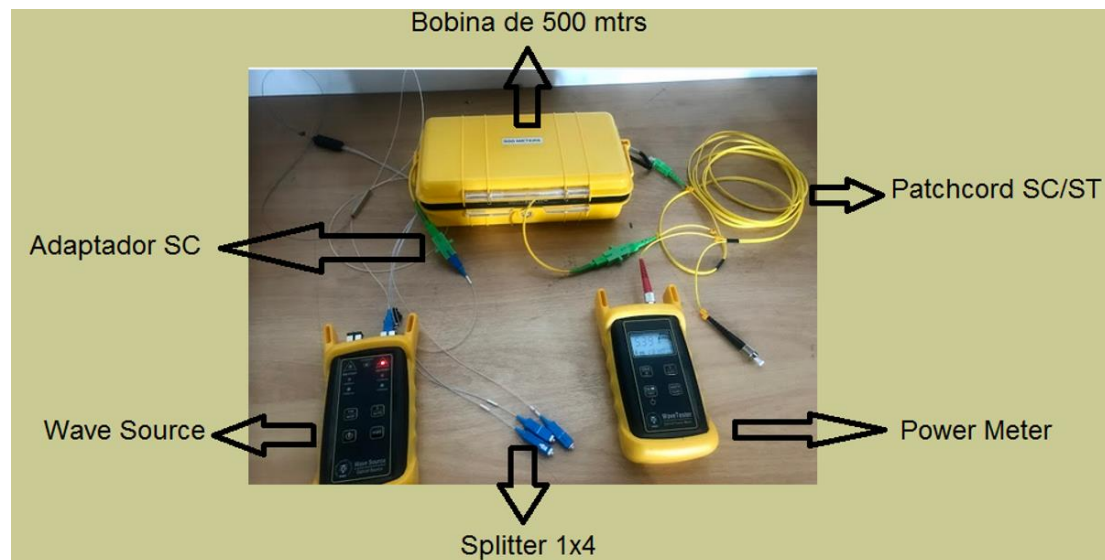


Figura 30. Splitter 1x4 bobina 500 m señal pulso

Los datos obtenidos de la experimentación se muestran en la Tabla 19:

Tabla 19.

Medidas splitter 1x4 bobina 500 m señal pulso

SPLITTER 1X4 BOBINA 500 SEÑAL PULSO									
# HILO	1310 nm				1550 nm				
	Atenuación (dB)		Potencia(uW)		Atenuación (dB)		Potencia(uW)		
	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima
1	-25,25	-25,68	2,982	2,698	-24,88	-25,05	3,249	3,124	
2	-25,25	-25,68	2,929	2,840	-24,88	-24,98	3,241	3,179	
3	-25,25	-25,46	2,982	2,698	-24,88	-25,00	3,249	3,124	
4	-25,61	-25,95	2,716	2,556	-25,05	-25,12	3,124	3,085	

4.1.7. Splitter 1x8 bobina de 500 m con señal continua con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm

Se puede observar el armado del banco de pruebas sin bobina con el splitter 1x4 en la imagen 31.

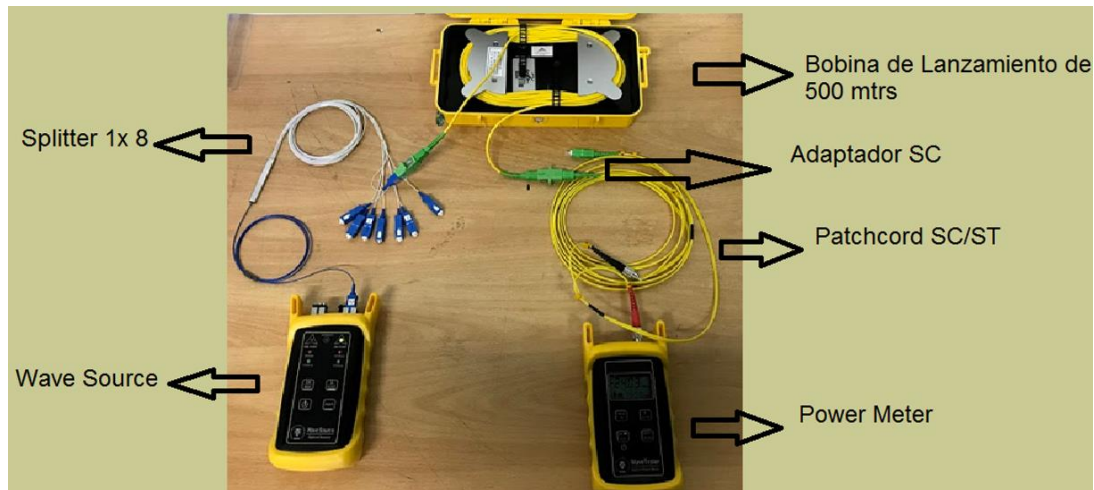


Figura 31. Splitter 1x8 bobina 500 m señal continua

Los datos obtenidos de la experimentación se muestran en la tabla 17:

Tabla 20.

Medidas splitter 1x8 bobina 500 m señal continua

SPLITTER 1X8 BOBINA 500 MTRS SEÑAL CONTINUA					
# HILO	1310 nm		1550		
	Atenuación (dB)	Potencia(uW)	Atenuación (dB)	Potencia(uW)	
1	✓ -24,90	✓ 4,021	✓ -24,99	✓ 3,843	
2	✓ -24,72	✓ 3,364	✓ -25,02	✓ 3,070	
3	✓ -24,19	✓ 3,990	✓ -24,94	✓ 3,812	
4	✓ -24,68	✓ 4,102	✓ -23,70	✓ 4,015	
5	✓ -23,95	✓ 4,110	✓ -24,71	✓ 4,078	
6	✓ -24,91	✓ 3,195	✓ -24,74	✓ 3,656	
7	✓ -24,83	✓ 3,284	✓ -24,51	✓ 3,156	
8	✓ -24,40	✓ 3,595	✓ -24,21	✓ 3,835	

4.1.8. Splitter 1x8 bobina de 500 m con señal pulso con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm

Se puede observar el armado del banco de pruebas sin bobina con el splitter 1x4 en la imagen 32:

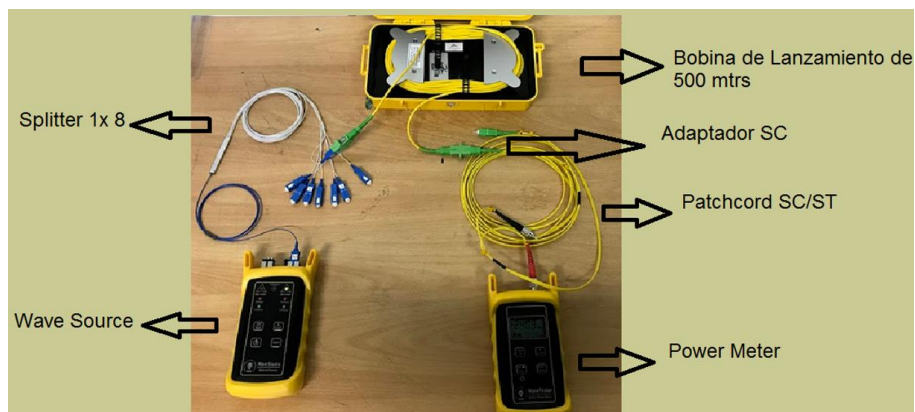


Figura 32. Splitter 1x8 bobina 500 m señal pulso

Los datos obtenidos de la experimentación se muestran en la tabla 18:

Tabla 21.

Medidas splitter 1x8 bobina 500 m señal continua

SPLITTER 1X8 BOBINA 500 MTRS SEÑAL PULSO									
# HILO	1310 nm				1550 nm				
	Atenuación (dB)		Potencia(uW)		Atenuación (dB)		Potencia(uW)		
	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	
1	-27,01	-27,33	1,988	1,935	-26,99	-27,00	1,874	1,812	
2	-27,79	-28,01	1,642	1,589	-27,89	-28,19	1,499	1,476	
3	-27,86	-27,43	1,849	1,784	-26,99	-27,01	2,015	1,968	
4	-26,93	-27,45	2,130	1,988	-26,78	-26,88	1,913	1,882	
5	-26,95	-27,09	2,041	1,970	-26,73	-26,81	1,999	1,968	
6	-27,68	-28,06	1,562	1,544	-27,57	-27,71	1,749	1,679	
7	-27,95	-28,06	1,562	1,581	-27,57	-27,82	1,624	1,609	
8	-27,33	27,68	1,846	1,739	-27,27	-27,34	1,804	1,788	

4.1.9. Splitter 1x4 bobina de 10 km con señal continua con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm

Se puede observar el armado del banco de pruebas sin bobina con el splitter 1x4 en la imagen 33.

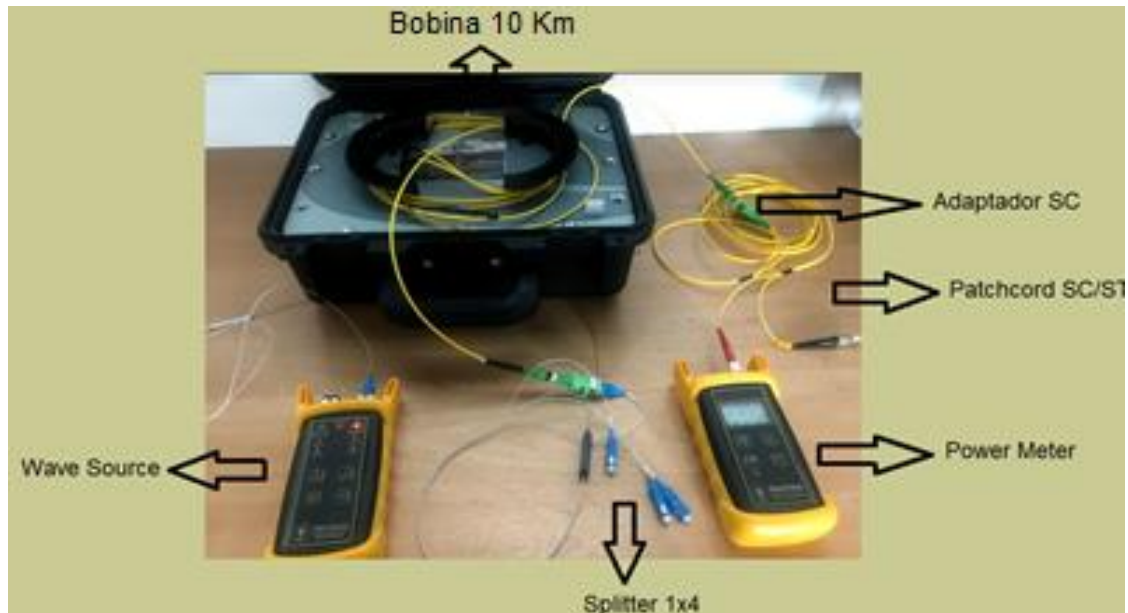


Figura 33. Splitter 1x4 bobina 10 Km señal continua

Los datos obtenidos de la experimentación se muestran en la Tabla 22:

Tabla 22.

Medidas splitter 1x4 bobina 10 Km señal continua

SPLITTER 1X4 BOBINA 10km SEÑAL CONTINUA					
# HILO	1310 nm		1550 nm		
	Atenuación(dB)	Potencia(uW)	Atenuación(dB)	Potencia(uW)	
1	-25.63	2.752	-23.60	4.374	
2	-25.59	2.796	-23.55	4.476	
3	-25.15	3.071	-23.28	4.679	
4	-25.34	2.902	-23.36	4.624	

4.1.10. Splitter 1x4 bobina de 10 km con señal pulso con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm

Se puede observar el armado del banco de pruebas sin bobina con el splitter 1x4 en la imagen 34.

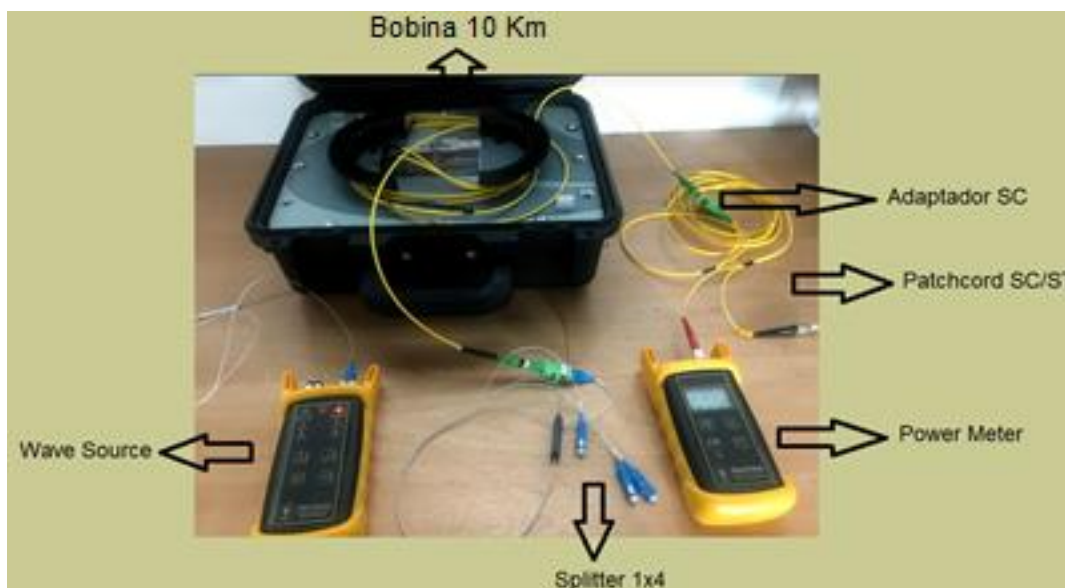


Figura 34. Splitter 1x4 bobina 10 Km señal pulso.

Los datos obtenidos de la experimentación se muestran en la Tabla 23:

Tabla 23.

Medidas splitter 1x4 bobina 10 Km señal pulso

# HILO	SPLITTER 1X4 BOBINA 10 Km SEÑAL PULSO							
	1310 nm				1550 nm			
	Atenuación(dB)		Potencia(uW)		Atenuación(dB)		Potencia(uW)	
	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima
1	-28.61	-28,93	1.420	1.313	-26.48	-26.70	2.163	2.124
2	-28.47	-28,71	1.402	1.278	-26.62	-26.74	2.187	2.140
3	-28.06	-28,34	1.509	1.464	-26.24	-26.40	2.328	2.281
4	-28.06	-28,47	1.420	1.384	-26.46	-26.54	2.288	2.249

4.1.11. Splitter 1x8 bobina de 10 km con señal continua con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm

Se puede observar el armado del banco de pruebas sin bobina con el splitter 1x4 en la imagen 35.

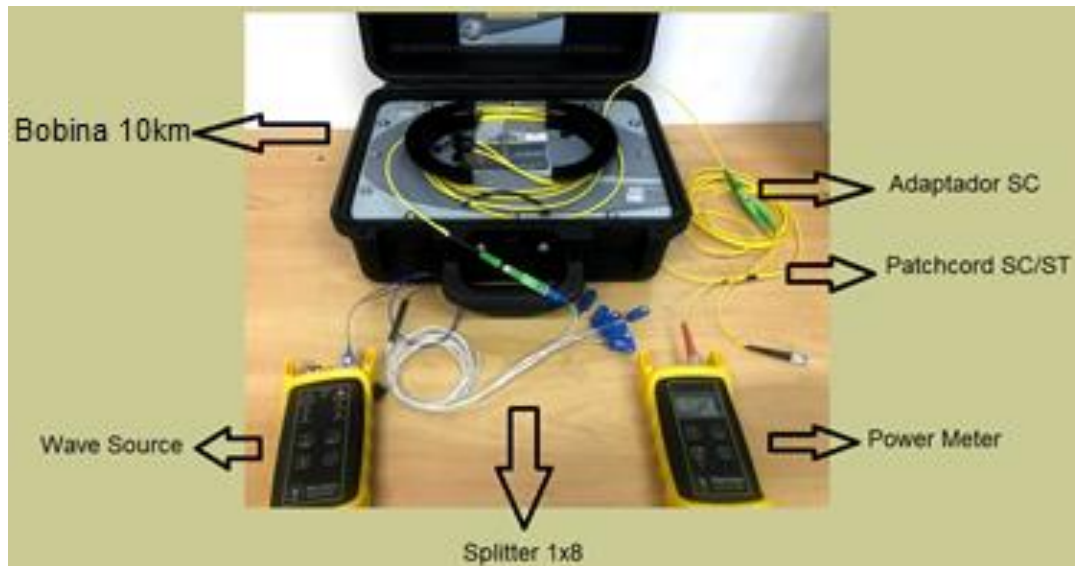


Figura 35. Splitter 1x8 bobina 10 Km señal continua.

Los datos obtenidos de la experimentación se muestran en la Tabla 24:

Tabla 24.

Medidas splitter 1x8 bobina 10 Km señal continua

SPLITTER 1X8 BOBINA 10KM SEÑAL CONTINUA					
# HILO	1310 nm		1550		
	Atenuación(dB)	Potencia(uW)	Atenuación(dB)	Potencia(uW)	
1	-27.35	1.820	-25.89	2.593	
2	-27.91	1.615	-27.28	2.070	
3	-27.17	1.917	-25.54	2.781	
4	-27.25	1.882	-25.73	2.703	
5	-27.39	1.811	-25.66	2.695	
6	-28.21	1.755	-26.42	2.296	
7	-27.99	1.810	-26.33	2.359	
8	-27.54	1.766	-25.99	2.515	

4.1.12. Splitter 1x8 bobina de 10 km con señal continua con longitud de onda de 1310 nm /1550 nm

Se puede observar el armado del banco de pruebas sin bobina con el splitter 1x4 en la imagen 36.

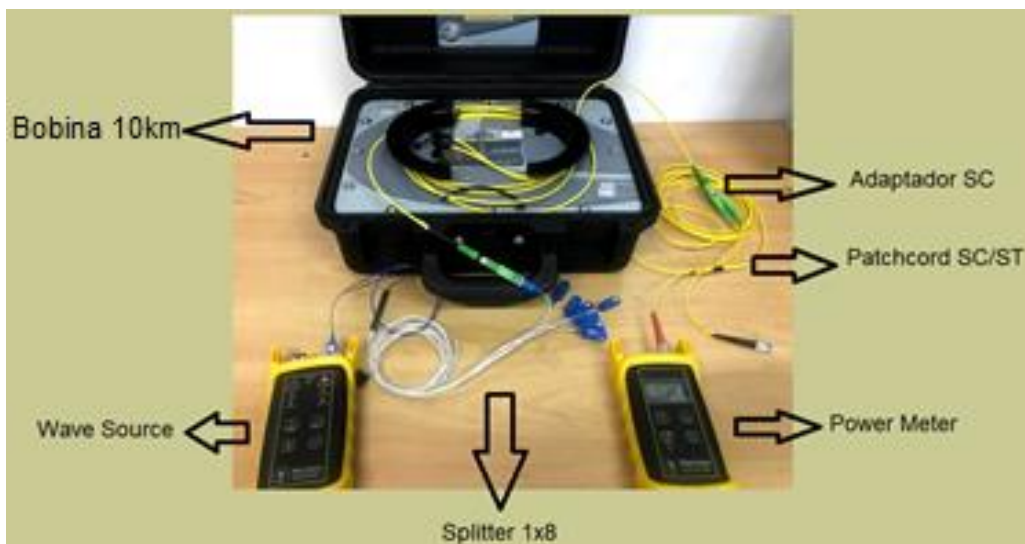


Figura 36. Splitter 1x8 bobina 10 Km señal pulso.

Los datos obtenidos de la experimentación se muestran en la Tabla 25:

Tabla 25.

Medidas splitter 1x8 bobina 10 Km señal pulso

SPLITTER 1X8 BOBINA 10 Km SEÑAL PULSO								
# HILO	1310 nm				1550 nm			
	Atenuación(dB)		Potencia(uW)		Atenuación(dB)		Potencia(uW)	
	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima
1	-30.02	-30.69	0.9231	0.8577	-28.96	-29.06	1.273	1.249
2	-30.69	-31.69	0.8521	0.7545	-30.00	-30.43	0.9998	0.9061
3	-30.02	-30.30	0.9676	0.9055	-28.62	-28.74	1.374	1.351
4	-30.02	-30.47	0.9942	0.8788	-28.62	-28.92	1.374	1.288
5	-30.02	-30.60	0.9942	0.8521	-28.62	-28.87	1.374	1.304
6	-30.69	-31.27	0.7545	0.7132	-29.49	-29.61	1.124	1.093
7	-30.69	-31.17	0.8521	0.7545	-29.37	-29.49	1.156	1.124
8	-30.02	-30.48	0.8966	0.8345	-29.03	-29.20	1.249	1.210

4.2. Análisis y comparación de los datos obtenidos con el splitter 1x4

A continuación, se muestran resultados obtenidos de la experimentación con el splitter 1x4 con señales de onda continua y de pulso, con onda 1310nm y 1550 nm en las variables atenuación y potencia.

4.2.1. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal continua (1310 nm)

En la Figura 37 se observan los resultados de la atenuación obtenidos en las cuatro salidas del splitter 1x4 con 1310 nm y señal continua, evidenciándose que en la prueba sin bobina la atenuación es oscilante entre un mínimo de -21.66 dB y un máximo de -22.04 dB, también se refleja que las medidas obtenidas en la prueba con bobina a 500 m las cuales oscilan entre -22.34 dB y -22.62 dB lo que indica una mayor atenuación que en la prueba anterior, y en las medidas de la prueba con bobina a 10 km se presentó una atenuación que oscila entre un mínimo de -25.15 dB y un máximo de -25.63 dB, en base a los resultados obtenidos se puede inferir que la atenuación del Splitter (PLC) 1x4 con una longitud de onda de 1310 nm se incrementa en función a la distancia. Es decir, mientras más distancia se abarca, mayor será la pérdida, también se encontró que la variación entre las 4 salidas es mínima; lo que se podría deber a que este splitter es certificado.

En la Figura 37 se muestran los resultados de la comparación del experimento del splitter 1x4 con señal continua a 1310 nm en la variable atenuación, como se refleja a continuación:

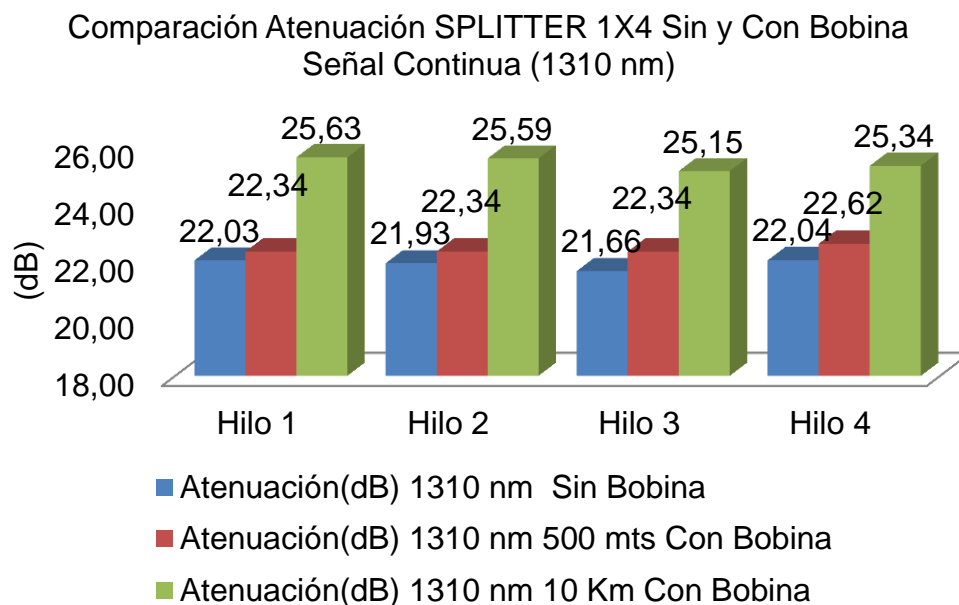


Figura 37. Comparación de medidas de atenuación Splitter 1x4 con 1310 nm entre las tomas: Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).

4.2.2. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal continua (1550 nm)

En la Figura 38 se muestran los resultados de la atenuación obtenidos en el splitter (PLC) 1x4 con señal continua y 1550 nm de longitud de onda, evidenciando que en la prueba sin bobina se presentó una baja variación entre las medidas arrojadas en cada salida, las cuales oscilaron entre -21.55 dB y -21.79 dB, seguidamente en la prueba con bobina a 500 m se obtuvo decibeles con baja dispersión con un mínimo de -21.71 dB y un máximo de -21.95 dB, por su parte en la prueba con 10 km se obtuvo incremento la atenuación en comparación con las dos pruebas anteriores, ya que las medidas oscilaron entre -23.28 dB y -23.60 dB; estos resultados permiten inferir que mientras mayor sea la distancia se incrementara la atenuación del splitter (PLC).

En la Figura 38 se muestran los resultados de las medidas de la prueba del splitter de 1x4 con una longitud de onda de 1550 nm.

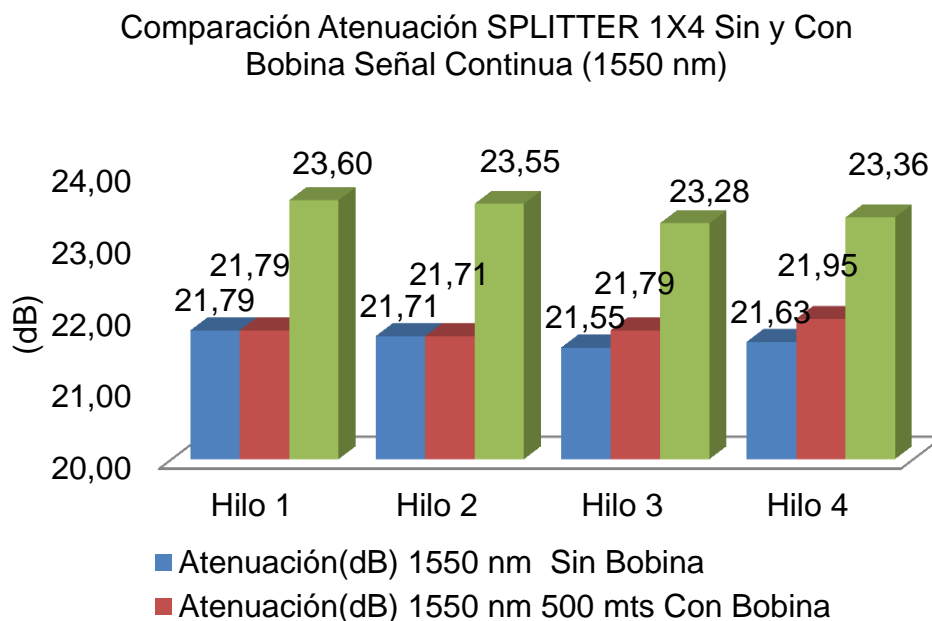


Figura 38. Comparación de medidas de atenuación Splitter 1x4 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).

4.2.3. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal continua (1310 nm)

Se puede apreciar en la Figura 39 los resultados de las medidas de potencia obtenidas en las cuatro salidas del splitter (PLC) con longitud de 1310 nm y señal continua, donde se evidencio que en la prueba sin bobina se presentaron las mayores potencias reflejadas entre un mínimo de 6.818 uW y un máximo de 6.249 uW, seguidamente se encuentran las medidas obtenidas en la prueba con bobina a 500 m arrojando potencias entre 5.823 uW y 5.459 uW lo que las ubica por debajo de la prueba anterior y por último se observan las medidas de la prueba con bobina a 10 km las cuales oscilan entre 3.071 uW y 2.752 uW lo que indica que fueron las potencias más bajas de las tres pruebas, estos resultados permiten inferir que mientras mayor sea la distancia

de la prueba menor será la potencia del splitter 1x4 con longitud de onda de 1310 nm.

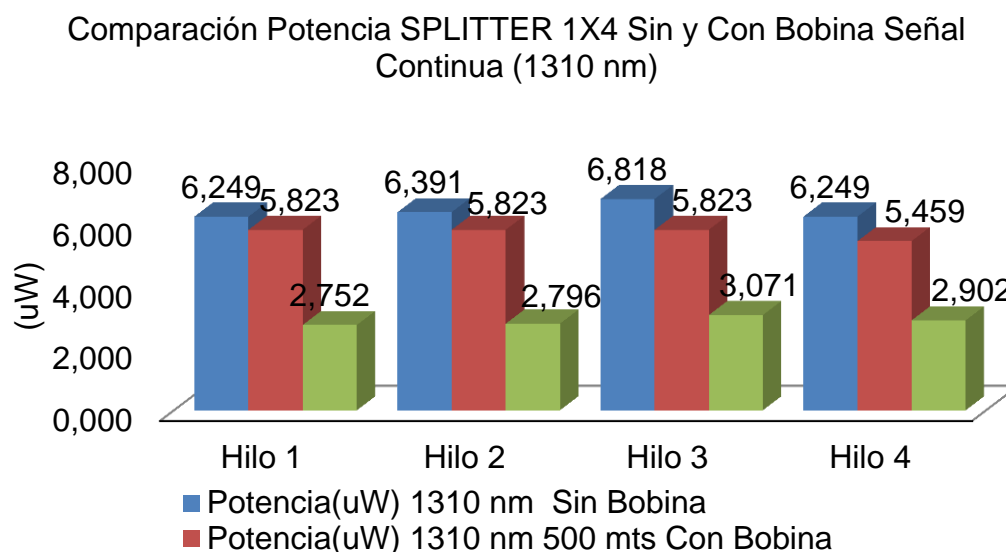


Figura 39. Comparación de medidas de potencia Splitter 1x4 con 1310 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).

4.2.4. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal continua (1550 nm)

En la Figura 40 se observa que las medidas de la potencia en el splitter (PLC) 1x4 con 1550 nm tienen el siguiente comportamiento, se presenta potencias iguales en la primera salida con 6.624 uW entre la prueba sin bobina y con bobina a 500 m, en cuanto a la medición con bobina a 10 km arrojó 4.374 uW) lo que indica una disminución en comparación con las otras pruebas; en lo que respecta a las tres salidas restantes se evidencia que las potencias tienden a disminuir entre cada prueba, ya que en la experimentación sin bobina oscila entre 6.874 uW – 6.999 uW y con bobina a 500 m bajo a 6.274 uW – 6.624 uW, en cuanto a la medida con bobina a 10 km se observa una disminución aproximada de 2 uW. Lo que permite inferir que mientras mayor sea la distancia menor será la potencia de la salida.

En la Figura 40 se muestran los resultados de las medidas de la prueba del splitter de 1x4 con una longitud de onda de 1550 nm.

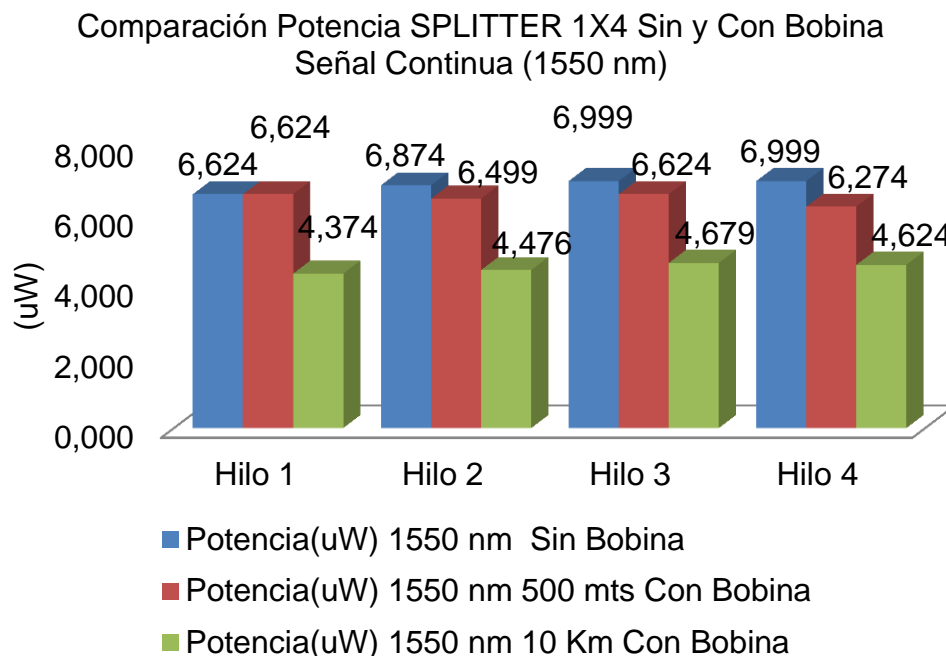


Figura 40. Comparación de medidas de potencia Splitter 1x4 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C)

4.2.5. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal pulso (1310 nm)

Se evidencia en la Figura 41 los promedios de la atenuación obtenidos en las medidas de la prueba con señal de pulso en la splitter (PLC) 1x4 con 1310 nm resultando que las mayores atenuaciones se presentan en la prueba con bobina a 10 km de distancia, la cual oscila entre un mínimo de -28.20 dB y un máximo de -28.77 dB, seguidamente se tienen las medidas resultantes en la prueba con bobina a 500 m las cuales oscilan entre -25.36 dB y -25.78 dB y por último con menores atenuaciones que la prueba anterior se observan las medidas arrojadas en la prueba sin bobina con un mínimo de -24.93 dB y máximo de -25.24 dB; lo expresado permite deducir que a mayor distancia

aumenta la atenuación o pérdida de señal y que existen aproximaciones en los decibeles de las salidas sin bobina y con bobina a 500 m.

A continuación, se muestran los resultados de la atenuación del splitter 1x4 con 1310 nm y señal de pulso en la Figura 41.

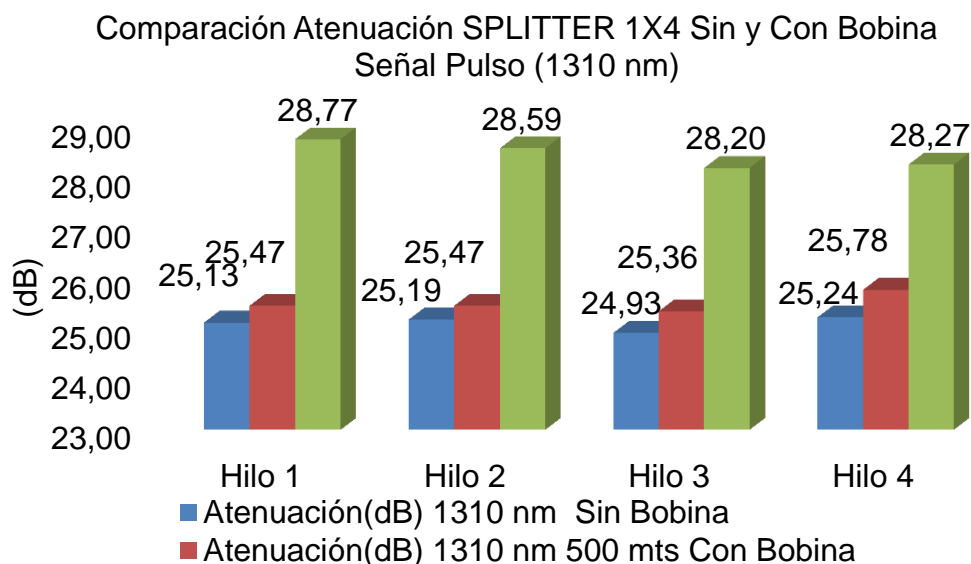


Figura 41. Comparación de medidas de atenuación Splitter 1x4 con 1310 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SP).

4.2.6. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal pulso (1550 nm)

En la Figura 42 se muestran los resultados de la atenuación del splitter (PLC) 1x4 con 1550 nm con señal de pulso, evidenciando que las medidas obtenidas en la prueba sin bobina presentan las menores atenuaciones oscilante entre un mínimo de -24.35 dB y un máximo de -24.79 dB, seguidamente con una atenuación mayor se presentan las medidas de la prueba con bobina y 500 m con mínimo de -24.93 dB y máximo de -25.09 dB, por ultimo con la mayor atenuación de las tres pruebas se presentan las medidas del experimento con bobina y 10 km de distancia la cual tiene decibeles oscilantes entre -26.32 dB y -26.68 dB; los resultados mencionados permiten deducir que mientras mayor sea la distancia aumentara la atenuación de la señal de pulso.

En la Figura 42 se muestran los resultados de las medidas de la prueba del splitter de 1x4 con una longitud de onda de 1550 nm señal Pulso:

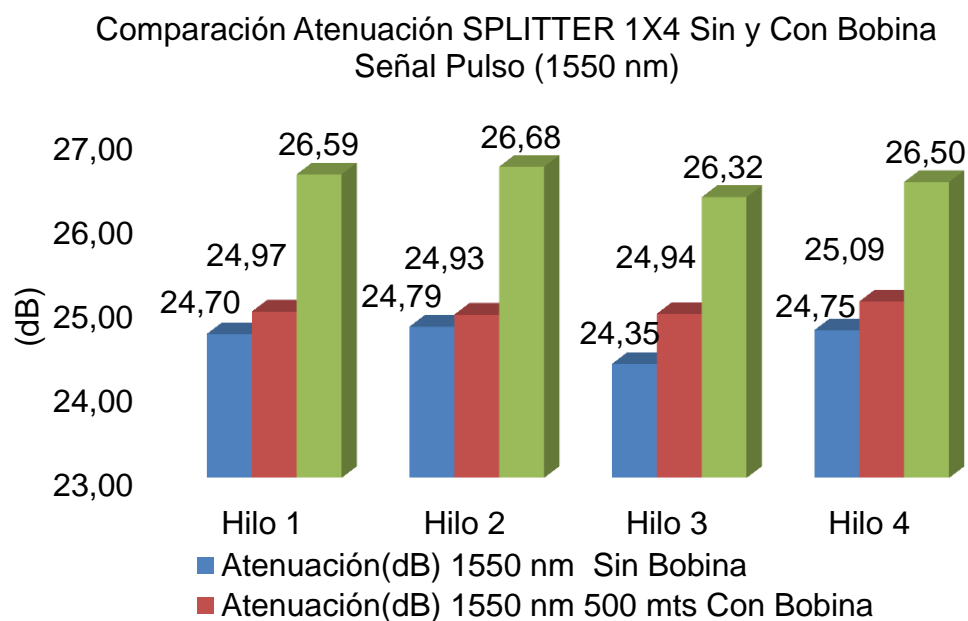


Figura 42. Comparación de medidas de atenuación Splitter 1x4 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SP).

4.2.7. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal pulso (1310 nm)

En la Figura 43 se observa el comportamiento de los promedios obtenidos en las medidas de las pruebas de potencia para el splitter (PLC) 1x4 con 1310 nm y señal de pulso, resultando que mayor potencia se obtuvo en la prueba sin bobina con un mínimo de 3.053 uW y un máximo de 3.480 uW, seguidamente con valores menores se tienen los resultados de la prueba con bobina y 500 m arrojando potencias oscilantes entre 2.636 uW y 2.885 uW, por ultimo con la potencia menor se presentan los resultados de la prueba con bobina y 10 km la cual arrojó medidas por debajo de 1.487 uW; estos resultados evidencian que mientras mayor sea la distancia menor será la potencia de la señal del splitter.

En la Figura 38 se muestran los resultados de las medidas de la prueba del splitter de 1x4 con una longitud de onda de 1310 nm.

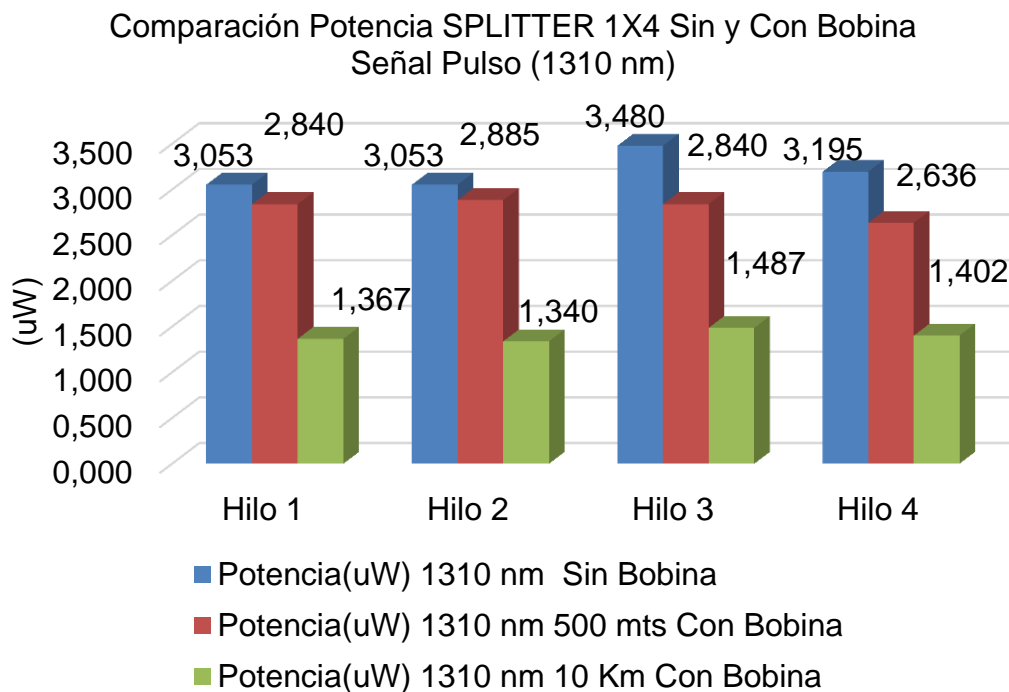


Figura 43. Comparación de medidas de potencia del Splitter 1x4 con 1310 nm entre las tomas Sinbobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SP).

4.2.8. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x4 sin y con bobina, Señal pulso (1550 nm)

Asimismo, se muestra en la Figura 44 los resultados de la potencia del splitter 1x4 con longitud de onda 1550 nm y señal de pulso.

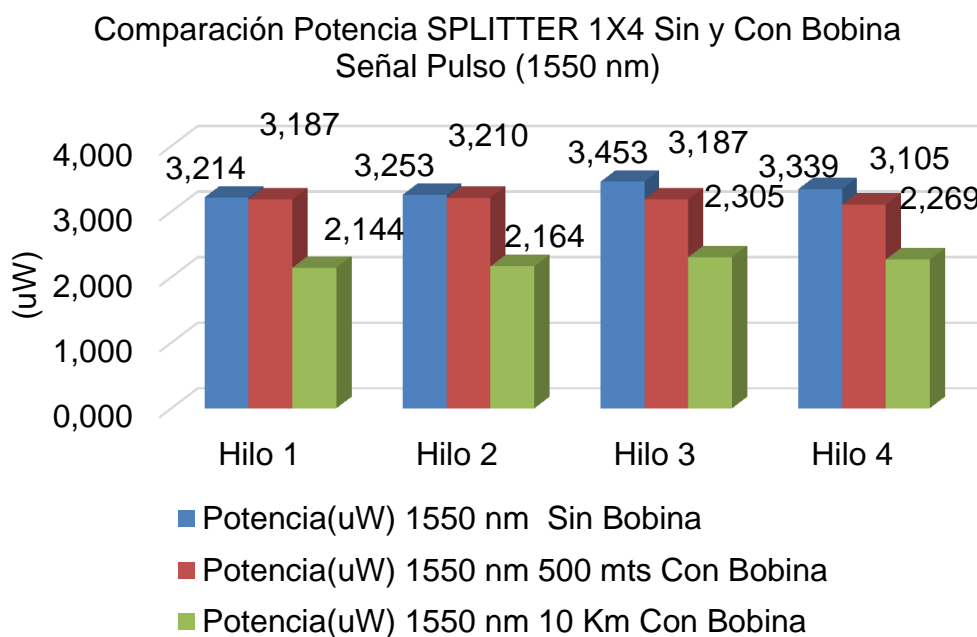


Figura 44. Comparación de medidas de potencia del Splitter 1x4 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SP).

Como se puede apreciar en la Figura 44 que la mayor potencia que se obtuvo en la prueba con señal de pulso en el splitter (PLC) 1x4 y longitud de onda de 1550 fue en la prueba sin bobina la cual oscilo entre 3.214 uW – 3.453 uW, por su parte la prueba con bobina y 500 m arrojó que potencias menores a la prueba anterior con valores entre 3.105 uW y 3.210 uW y por ultimo con la menor potencia se encuentran las medidas con bobina y 10 km de distancia oscilante entre 2.144 uW y 2.305 uW; los resultados analizados demuestran que la potencia del splitter 1x4 con longitud de onda 1550 es inversamente proporcional a la distancia.

4.3. Análisis y comparación de los datos obtenidos con el splitter 1x8

A continuación se presentan los resultados de la comparación entre las medidas obtenidas en las pruebas con el splitter (PLC) 1x8

4.3.1. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal continua (1310 nm)

Los resultados de la prueba del splitter 1x8 para la variable atenuación con longitud de onda 1310 nm y señal continua puede observar en la Figura 45.

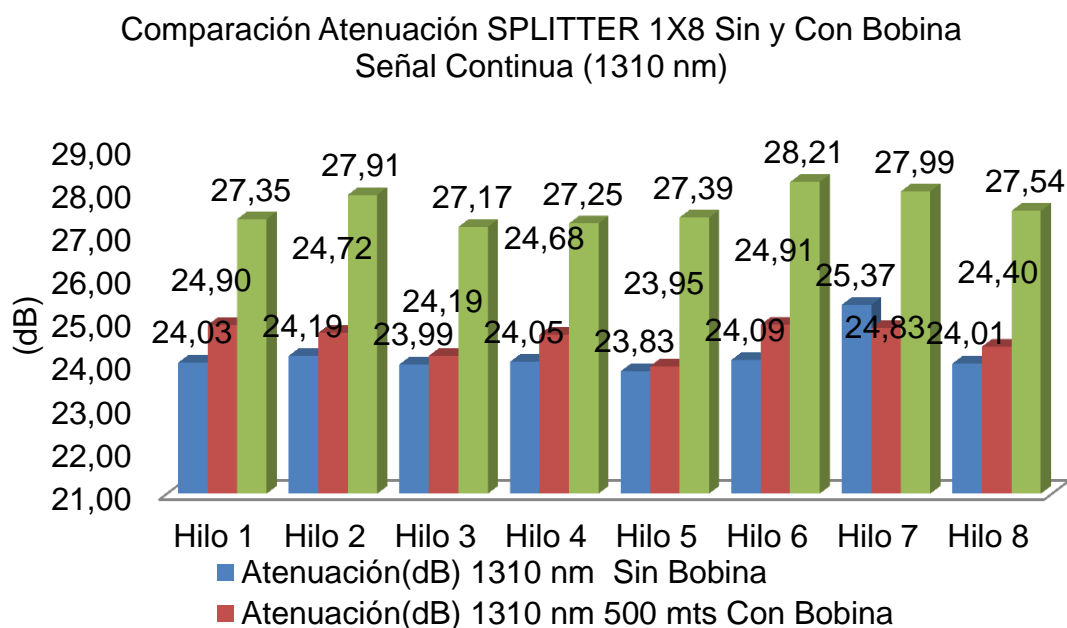


Figura 45. Comparación de medidas de atenuación del Splitter 1x8 con 1310 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).

Además en la Figura 45 se observan los resultados de las pruebas del splitter (PLC) 1x8 con 1310 nm y señal continua arrojando que de las 8 salidas del splitter en la prueba sin bobina, 7 arrojaron valores oscilantes entre -23.83 dB y -24.19 dB lo que representan atenuaciones menores que la prueba con bobina a 500 m y solo la salida número 7 presento mayor atenuación, en la prueba con bobina y 10 km se obtuvo que todas las salidas presentaron atenuaciones superiores en comparación con las pruebas anteriores, evidenciadas por medidas oscilantes entre un mínimo de -27.17 dB y un máximo de -28.21 dB. Esto permite deducir que los resultados de las pruebas varían para cada salida del splitter, es decir no son homogéneos, pero se mantiene el aumento de la atenuación en función al incremento de la distancia.

4.3.2. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal continua (1550 nm)

En la Figura 46 se muestran los resultados de la prueba del splitter 1x8 con 1550 nm y señal continua.

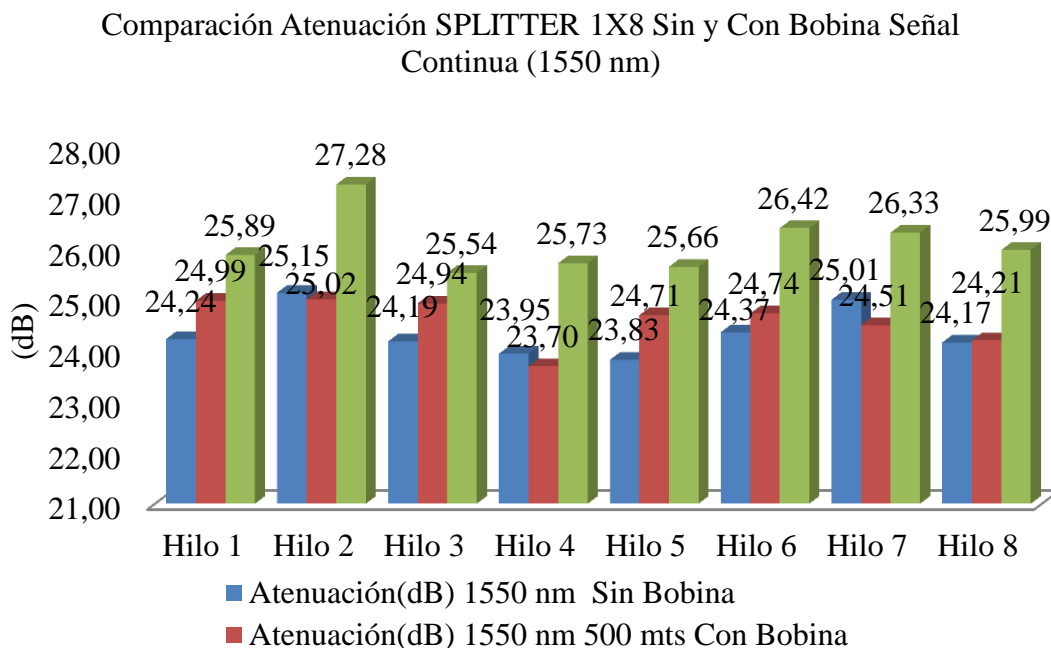


Figura 46. Comparación de medidas de atenuación del Splitter 1x8 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).

En la Figura 46 se evidencia que las pruebas del splitter (PLC) 1x8 con 1550 nm y señal continua presentaron las menores atenuaciones en la prueba con bobina y 500 m como es el caso de las salidas 2, 4, 7 (-23.70 dB y -25.02 dB) el resto de las salidas tienen atenuación mayores con respecto a la prueba sin bobina, asimismo en esta última prueba se observa las menores atenuaciones se reflejan en las salidas 1, 3, 5, 6, 8; por último connota la mayoría de los resultados de la prueba con bobina y 10 km presenta la mayor atenuación de las tres pruebas con decibeles entre -25.54 dB y -27.28 dB, del comportamiento de los resultados obtenidos entre las medidas de la prueba sin bobina y con bobina con 500 m permiten inferir que por encima de esta distancia la tendencia de la atenuación es al incremento.

4.3.3. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal continua (1310 nm)

En la Figura 47 se observan las potencias obtenidas en las pruebas sin bobina y con bobina a 500 m resultando variaciones entre las medidas de cada salida, ya que en las numero 1, 2, 4, los resultados de la prueba con bobina y 500 m tienen mayores potencias que la prueba sin bobina, por su parte en las salidas número 3, 6, 7 y 8 de la prueba sin bobina pasa lo contrario, por su parte en la salida número 5 los valores obtenidos son iguales, lo que no evidencia una tendencia constante entre las potencias obtenidas, pero con respecto a la prueba con bobina y 10 km de distancia se puede inferir que las potencias resultantes son menores en todas las salidas, ya que arrojaron valores por debajo de 2 uW, lo que permite inferir que mientras mayor sea la distancia que se utilice en las pruebas por encima de 500 m la potencia disminuye.

En lo concerniente a la Figura 47 se muestran los resultados de las potencias obtenidas en las pruebas del splitter 1x8 con señal continua y longitud de onda de 1310 nm.

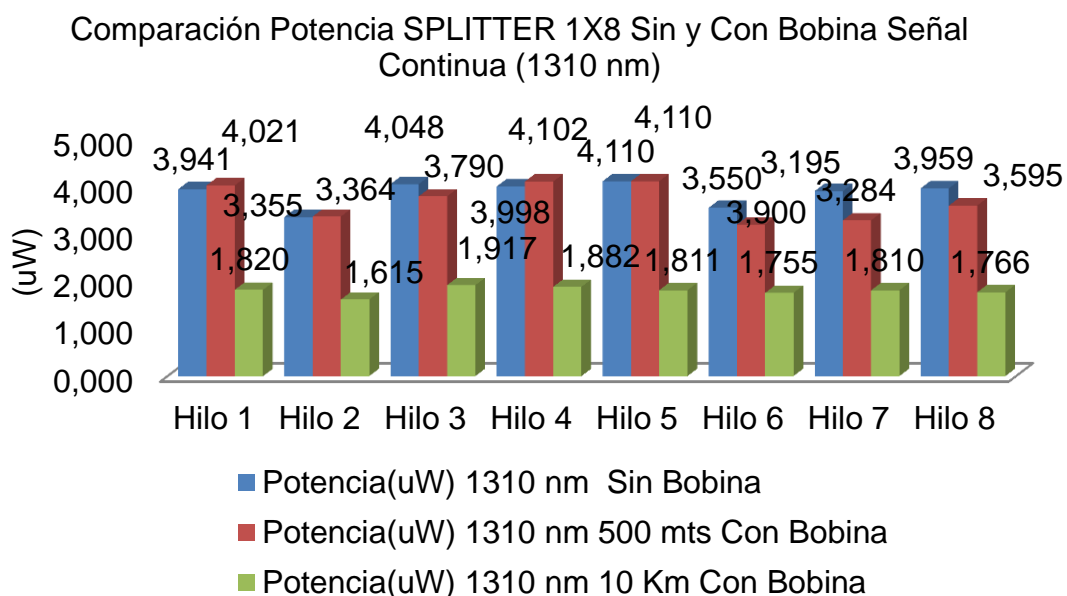


Figura 47. Comparación de medidas de potencia del Splitter 1x8 con 1310 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).

4.3.4. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal continua (1550 nm)

Como se puede apreciar en la Figura 48 las pruebas con el splitter (PLC) 1x8 con 1550 nm y señal continua que presentaron menor potencia fueron las realizadas con bobina y 10 km, ya que estas arrojaron valores oscilante entre 2.070 uW – 2.781 uW, lo que indica que la distancia influye negativamente en la potencia del splitter 1x8 con 1550 nm, con respecto a la prueba con bobina 500 m se obtuvieron potencias mayores que en la anterior, reflejadas por un mínimo de 3.070 uW y un máximo de 4.078 uw, a su vez estos resultados son menores al experimento sin bobina el cual presento las mayores potencias de las tres pruebas realizadas arrojando valores entre 3.163 uW y 4.281 uW, cabe destacar que en la salida 6 y 8 que es mayor la potencia en la prueba con bobina y 500 m, de lo anterior se infiere que el splitter 1x8 es más potente sin bobina.

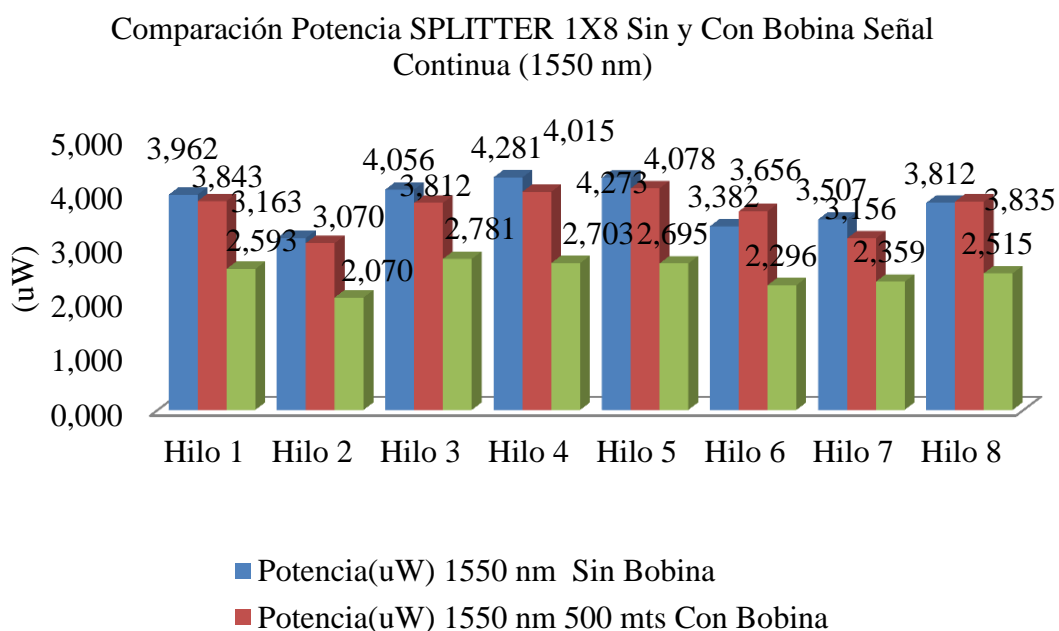


Figura 48. Comparación de medidas de potencia del Splitter 1x8 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal continua (C).

4.3.5. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal pulso (1310 nm)

En lo concerniente a la figura 49 se observan los resultados de la atenuación obtenida en las prueba del splitter (PLC) 1x8 con 1310 nm con señal de pulso demostrando que las mayores atenuaciones las presentaron las medidas de la prueba con bobina y 10 km de distancia con valores oscilantes entre un mínimo de -30.16 dB y un máximo -31.98 dB, lo que indica que la atenuación es proporcional a la distancia, por su parte en la prueba con bobina y 500 m se obtuvo que de las ocho salidas solo cinco presentaron mayor atenuación en contraste con la prueba sin bobina, siendo estas las numero 1, 2, 3, 6 y 8 las salidas restantes tienen menores decibeles 4, 5, y 7; asimismo las medidas de la prueba sin bobina tienen las mayores atenuación en las tres salidas antes mencionadas coincidiendo con los menores decibeles.

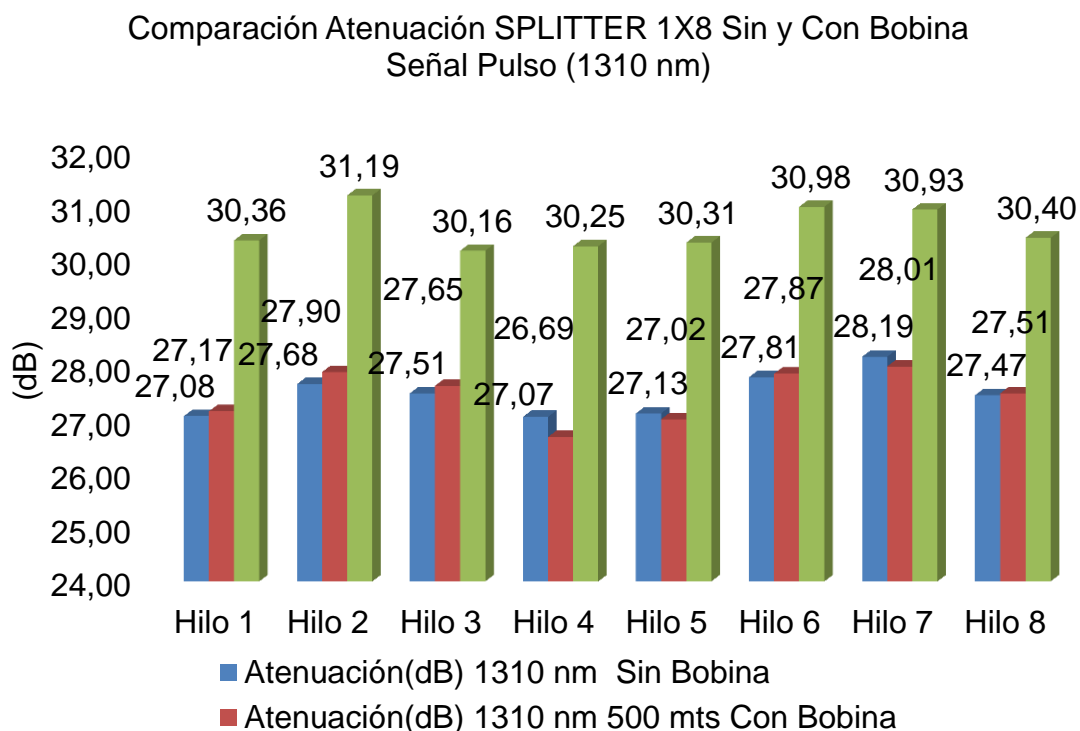


Figura 49. Comparación de medidas de atenuación del Splitter 1x8 con 1310 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SB).

4.3.6. Comparación de medidas de atenuación del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal pulso (1550 nm)

En la Figura 50 se observan los resultados de la atenuación del splitter (PLC) 1x8 con 1550 nm y señal de pulso, obteniéndose que la menor atenuación se reflejó en la prueba con bobina y 500 m (-26.77 dB y -28.04 dB), seguidamente en las pruebas sin bobina se obtuvo valores mayores oscilantes entre (27,04 dB y 28,26) por último en la prueba con bobina a 10 km se obtuvieron las mayores atenuaciones (28,68 dB y 30,22 dB) de las tres pruebas, la tendencia de los resultados de la pruebas ratifican que mientras mayor es la distancia se incrementara la atenuación.

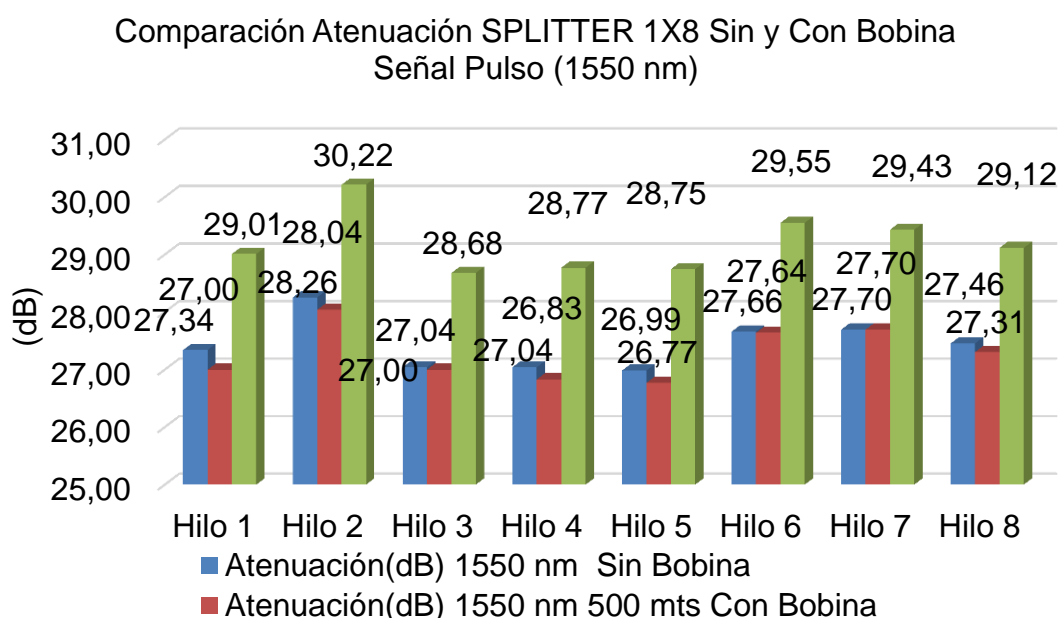


Figura 50. Comparación de medidas de atenuación del Splitter 1x8 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SB).

4.3.7. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal pulso (1310 nm)

Se evidencia en la Figura 51 que los resultados de la potencia para el splitter (PLC) 1x8 con 1310 nm y señal de pulso, se obtuvo que la menor potencia se encontró en la prueba con bobina y 10 km de distancia (0.734 uW – 0.937 uW),

lo que implica que las potencia del splitter objeto de estudio es proporcionalmente inversa a la distancia, seguidamente en la prueba con bobina y 500 m arrojo potencias mayores a la anterior pero menor a la sin bobina, cabe destacar que las salidas 5, 7, y 8 presentaron mayor potencia que las sin bobina, estas últimas en la mayoría de las salidas presentaron las potencias más altas (1.518 uW – 2.059 uW). Lo resultados permiten inferir que el splitter 1x8 pierde potencia con la distancia.

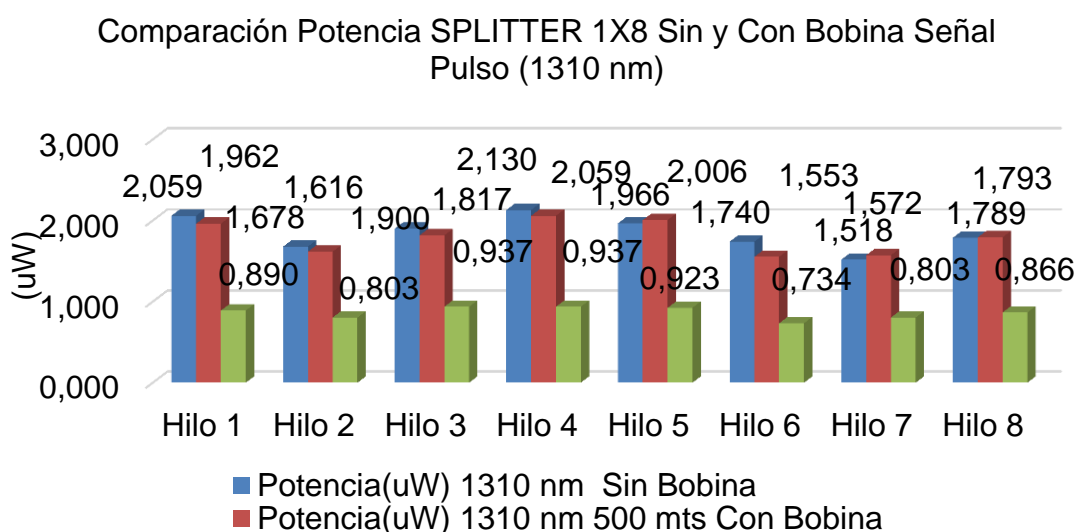


Figura 51. Comparación de medidas de la potencia del Splitter 1x8 con 1310 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SB).

4.3.8. Comparación de medidas de potencia del splitter 1x8 sin y con bobina, Señal pulso (1550nm)

En la Figura 52 se muestran los resultados de la pruebas aplicadas al splitter 1x8 con 1550 nm y señal de pulso obteniéndose que las menores potencias se presentaron en la prueba con bobina y 10 km de distancia reflejadas con un mínimo de 0.953 uW y un máximo de 1.339 uW, seguidamente se encuentra las potencias obtenidas de la prueba con bobina y 500 m con potencias entre 1.617 uW y 1.984 uW; por último se evidencia que la mayores potencias se reflejan en los resultados de la prueba sin bobina los cuales oscilaron entre un mínimo de 1.531 uW y un máximo de 2.082 uW, menos en la salidas número 3

y 6. Los resultados obtenidos permiten deducir que al incrementar la distancia de la prueba disminuirá la potencia del splitter (PLC) 1x8.

A continuación en la Figura 52 se muestra la comparación de las medidas de potencia del splitter 1x8 sin y con bobina, con señal pulso en 1550nm.

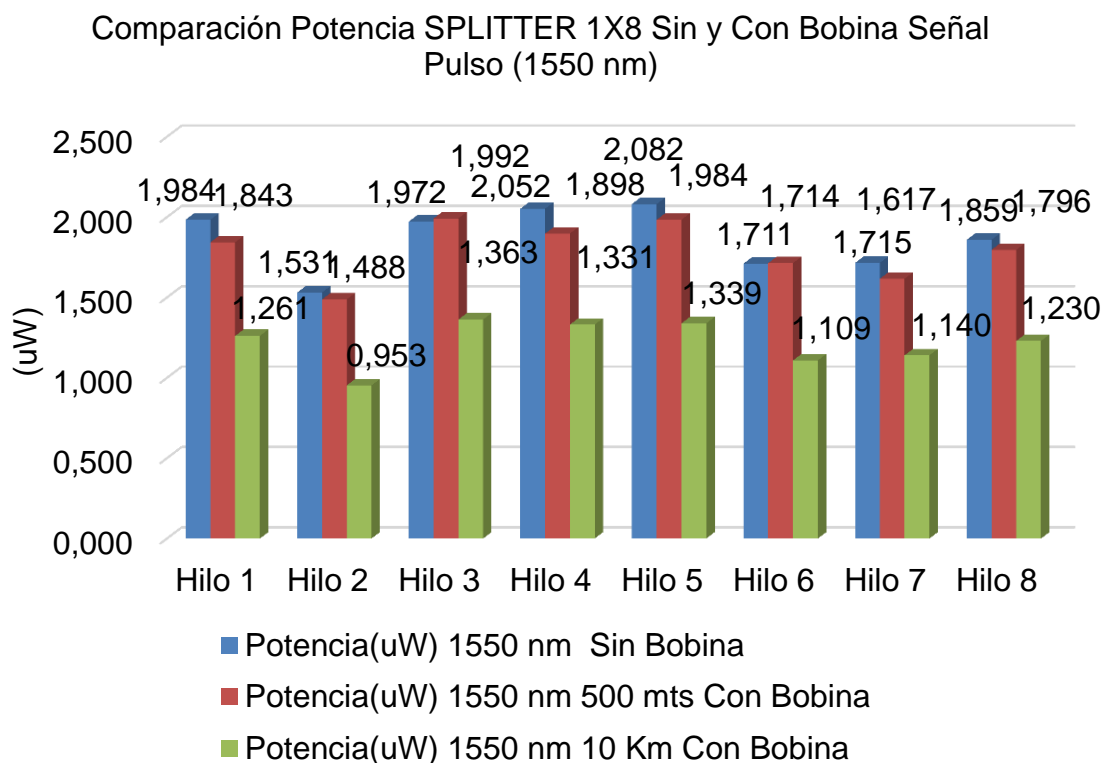


Figura 52. Comparación de medidas de la potencia del Splitter 1x8 con 1550 nm entre las tomas Sin bobina (SB), Bobina de 500 m (CB500M) y Bobina de 10 Km (CB10Km) señal de pulso (SB).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

El uso de un banco de pruebas monomodo sirvió para caracterizar de la manera más eficiente el splitter PLC, ya que se pudo proyectar su alcance real en la práctica. Esto gracias que sólo una fibra óptica monomodo puede cubrir largas distancias y permite transmitir altas tasas de información (10 Gigabyte / segundo).

En la caracterización del splitter de 4 pines en cuanto a la medición de potencia, los valores obtenidos para el splitter PLC 1x4x1550 fueron mayores tanto en el caso sin bobina y con bobina, que para el splitter PLC 1x4x1310.

En la medición de los splitter de 8 pines, el splitter PLC 1x8x1550 presentó la mayor atenuación y la menor potencia a la distancia de 10 km.

Se observó que durante la caracterización de los splitter de 4 y 8 pines, de ambos espesores 1310 nm y 1550 nm, los PLC 1x4 presentaron un patrón consistente de aumento o disminución de atenuación o potencia, según los casos de influencia de la distancia, con o sin bobina. En cuanto a los PLC 1x8 se presentó un comportamiento inconsistente en los valores obtenidos por cada pin medido para cualquiera de las variantes de distancia con o sin bobina.

En base a los resultados obtenidos se pudo comprobar que la atenuación del Splitter (PLC) se incrementa en función a la distancia, es decir, mientras más distancia se abarca, mayor será la pérdida, ya sea un splitter de 1x4 o un splitter de 1x8.

Con los valores encontrados se comprobó que la variación de potencia entre las 4 salidas del splitter es mínima, debido a que el splitter utilizado cumple con los estándares de certificación.

Mediante los resultados de las pruebas se pudo observar que en el splitter 1x8, la potencia en cada salida varía, por lo tanto no se tiene salidas homogéneas.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda el uso de fibra tipo monomodo para un mayor alcance de la señal y capacidad de transmisión de datos. La razón se debe a que el uso de fibra multimodo representa menor eficiencia al momento de la transmisión de la información, esto sustentado en la bibliografía consultada.

Los resultados de la caracterización del splitter PLC 1x4 y el splitter 1x8, tanto de 1310 nm y 1550 nm en el banco de pruebas son confiables y sirven de referencia válida para la toma de decisiones al momento de su posible instalación para la configuración de redes de comunicaciones.

Dado que en cualquiera de los casos de la caracterización del PLC 1x4x1550 y el PLC 1x4x1310 los que no tenían bobina presentaron una menor atenuación y una mayor potencia respectivamente, se recomienda el uso de los splitter PLC 1x4x1550 sin bobina.

Según los resultados obtenidos durante la caracterización de los splitter PLC 1x8x1310 y PLC 1x8x1550, en cuya verificación se observó una inconsistencia y patrones no congruentes en las mediciones de un pin a otro, no se recomienda su uso debido a esta particularidad, lo que hace dudar de la calidad de estos dispositivos y de la escasa veracidad de test de prueba hechos previamente por el fabricante.

En caso de necesidad de uso de splitter de 8 pines por la versatilidad que la mayor cantidad de puntos de conexión pueda brindar, debe asegurarse que sea de calidad comprobada y acompañado de certificados de prueba del fabricante.

REFERENCIAS

- Cheng, D. (1998). Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería. México: Addison Wesley Longman.
- Chomycz, B. (1998). Instalaciones de fibra óptica. España: McGraw-Hill.
- Comunicaciones Electrónicas (2011). Las Redes Ópticas. Recuperado el 19 de mayo del 2018 de <http://comunicacioneselectronicas.com/downloads/lbanez/lbanez.pptx>
- EPN (2009). Diseño de la red de Backhaul para una nueva salida de cable submarino, utilizando la fibra óptica del oleoducto de crudos pesados a disposición del estado ecuatoriano. Recuperado el 30 de mayo del 2018 de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1506>
- EPN (2010). Diseño de la ampliación de la red de comunicación de Emelnorte utilizando fibra óptica y tecnología inalámbrica. Recuperado el 24 de mayo del 2018 <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1583/1/CD-2723.pdf>
- ETU. (2017). Link Technology. Recuperado el 25 de mayo del 2018 de http://es.etulinktechnology.com/blog/what-are-the-differences-between-fbt-fiber-splitter-and-plc-fiber-splitter_b197
- Fernández, J. (2015). Óptica geométrica. Recuperado el 19 de mayo del 2018 de <https://sites.google.com/site/geometricaoptica/home>
- Fiber Instrument Sales . (2017). FIS-PMLS-Series. Recuperado el 21 de mayo del 2018 de <https://www.fiberinstrumentsales.com/specs/FIS-PMLS-Eseries.pdf>
- Grosvenor, E., & Wesson, M. (2016). Alexander Graham Bell. New Word City.
- Jardón, H., & Linares, R. (1995). Sistemas de comunicaciones por fibras ópticas. México DF, México: Alfaomega.
- Joskowicz, J. (2012). Historia de las Telecomunicaciones. Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República Montevideo, Uruguay.
- MAYFLEX. (2018). Optical Wavelength Laboratories. Recuperado el 23 de mayo del 2018 de <https://www.mayflex.com/brands/optical-wavelength-laboratories>

- Millán, R. (2007). Consultoría Estratégica en Tecnologías de la Información y Comunicaciones GPON (Gigabit Passive Optical Network): Recuperado el 22 de mayo del 2018 de <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/gpon.php>
- Optical Wavelength Laboratories. (2012). Operations Guide. WaveTester Optical Power Meter: Recuperado el 21 de mayo del 2018 de https://assets.tequipment.net/assets/1/26/OWLWaveTester_Operations_Guide.pdf
- Optical Wavelength Laboratories. (2012). TEquipment. Recuperado el 25 de mayo del 2018 de <http://www.owl-inc.com/literature/sub/pdf/datasheets/wavesourceds.pdf>
- Optical Wavelength Laboratories. (2012). WaveTester optical power meter. Recuperado el 05 de junio del 2018 de <http://www.owl-inc.com/products/sub/powermeter/htm/wavetester.htm>
- Pereda, J. A. (2004). Sistemas y redes ópticas de comunicaciones. Pearson Educación.
- Recommendation, ITUT. (2003). G. 984.2". Obtenido de Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics: Recuperado el 29 de mayo del 2018 de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-200303-l/en>
- Silex Fiber Telecom. (2017). Diferencias Divisores Splitters FBT & PLC. Recuperado el 19 de mayo del 2018 de <http://silexfiber.com/diferencias-divisores-splitters-fbt-plc/>
- TELECOCABLE. (2018). Conexión Profesional. Recuperado el 19 de mayo del 2018 de https://www.telecocable.com/tienda/producto/CABLE-FIBRA-OPTICA-MULTIMODO-62.5_125-OM1-EXTERIOR_INTERIOR-LSZH/98
- Terahertz Technologies Inc. (2016). Teratec. Power Meter and Light Source. Recuperado el 25 de mayo del 2018 de <http://www.teratec.us/documents/26.pdf>

- Textos Científicos. (2006). Cálculo de enlace Fibra Óptica. Recuperado el 19 de mayo del 2018 de <https://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/calculo-enlace>
- Tomasi, W. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas. México: Prentice Hall.
- UADE (2013). Fibra óptica domiciliaria FTTH para barrio preferencial en la ciudad autónoma de Buenos Aires. Recuperado el 29 de mayo del 2018 de <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/handle/123456789/3862>
- UDLA (2016). Diseño de una red de acceso fith-gpon para una urbanización en la parroquia Cumbaya con servicios triple play. Recuperado el 19 de mayo del 2018 de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/5095>
- UIT-T. (2002). Unión Internacional de Telecomunicaciones G.654. Recuperado el 27 de mayo del 2018 de <file:///D:/Descargas/T-REC-G.654-200206-S!!PDF-S.pdf>
- UNICAN (2017). Estudio, evaluación y diseño de una red multiservicios GPON en un entorno hospitalario. Recuperado el 25 de mayo del 2018 <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/12170?show=full>
- UPS (2010). "Diseño de un Red GEPON para la implementación en la ciudad de Guayaquil, estudio de viabilidad Técnico, Económico y Legal". Recuperado el 19 de mayo del 2018 de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2368>
- Vargas, I. A. (2014). Sistemas de fibra óptica. Lima.

