



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO DE UN MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LABORATORIO DE
COMUNICACIONES ÓPTICAS UTILIZANDO EL SISTEMA DE PRUEBA DE
APLICACIONES MÚLTIPLES YOKOGAWA SERIE AQ2211**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de ingeniero en telecomunicaciones

AUTOR: EDUARDO FACUNDO SOBARZO BUENAÑO

TUTOR: HOLGER SANTILLAN CARRANZA, M. Sc

Guayaquil - Ecuador

2023

30 de agosto del 2023

I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Soy, Eduardo Facundo Sobarzo Buenaño con documento de identificación N° 0916471170 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 30 de agosto del 2023

Atentamente,



Eduardo Facundo Sobarzo Buenaño

C.I.: 0916471170


II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

Soy, **Eduardo Facundo Sobarzo Buenaño**, con C.I. 0916471170, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la **Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Científico: “**DISEÑO DE UN MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LABORATORIO DE COMUNICACIONES ÓPTICAS UTILIZANDO EL SISTEMA DE PRUEBA DE APLICACIONES MÚLTIPLES YOKOGAWA SERIE AQ2211**”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la institución facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 30 de agosto del 2023

Atentamente,



Eduardo Facundo Sobarzo Buenaño

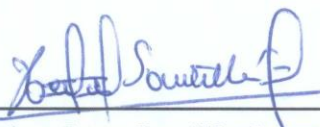
C.I.: 0916471170

III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Holger Jorge Santillán Carranza, con documento de identificación N° 0916303134 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO DE UN MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LABORATORIO DE COMUNICACIONES ÓPTICAS UTILIZANDO EL SISTEMA DE PRUEBA DE APLICACIONES MÚLTIPLES YOKOGAWA SERIE AQ2211:** , realizado por Eduardo Facundo Sobarzo Buenaño con documento de identificación N° 0916471170, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 30 de agosto del 2023

Atentamente,



Holger Jorge Santillán Carranza

C.I.: 0916303134

IV. RESUMEN

Un sistema de comunicación necesita de un medio para que la señal de información se propague de una central transmisora a un usuario receptor. En el año 1910 se utilizó el cable de vidrio como medio de un sistema. Permitía que las señales de información se propaguen a la velocidad de luz aproximadamente. Sin embargo, en ese entonces el cable de vidrio no tenía un buen rendimiento en la transmisión de luz, desarrollaba atenuaciones grandes lo que reducía la velocidad de transmisión y el alcance. En el año 1956 se produjeron mejoras usando otros materiales y reduciendo dimensiones en el cable de vidrio. En el año 1980 se utilizó el cristal de sílice alcanzando 240 km antes que la fibra de atenúa por completo.

El rayo de luz que se propaga en la fibra depende mucho de las características de la fibra, esto permitirá que la fibra llegue a la salida del medio con una potencia considerable, esta práctica consiste en realizar un estudio sobre la potencia que llega a la salida del medio óptico, resaltando todas las pérdidas que desarrolla la propagación de luz en la fibra óptica.

Para lograr estas practica se utilizaron dispositivos como una fuente de luz óptica, medios de fibra óptica de diferentes longitudes, dispositivos de medición de pérdidas en un medio óptica y uso de dispositivos puestos a prueba.

El dispositivo controlador de cuadros de nombre, YOKOGAWA Series AQ2211 es un sistema de pruebas de aplicaciones múltiples. Permite una solución ideal de medición y evaluación para dispositivos y sistemas de transmisión óptica. El dispositivo se caracteriza por tener tres ranuras de instalación de módulos. los módulos serie YOKOGAWA AQ2200 se pueden organizar en varias combinaciones posibles en el dispositivo, algunos de estos módulos se caracterizan por ser fuente laser sintonizables. Para las practicas se usará el módulo AQ2200-131.

Palabras Claves: Fibra óptica, atenuación, potencia, YOKOGAWA AQ2200.

V. ABSTRACT

A communication system needs a means for the information signal to propagate from a transmitting center to a receiving user. In the year 1910 the glass cable was obtained as a means of a system. It allowed information signals to propagate at approximately the speed of light. However, at that time, the glass cable did not have good light transmission performance, it developed large attenuations, which reduced the transmission speed and range. In 1956 improvements were made using other materials and reduced dimensions in the glass cable. In 1980, the silica crystal was obtained, reaching 240 km before the fiber completely attenuates.

The ray of light that propagates in the fiber depends a lot on the characteristics of the fiber, this will allow the fiber to reach the output of the medium with considerable power, this practice consists of carrying out a study on the power that reaches the output of the optical medium, highlighting all the losses that the propagation of light develops in the optical fiber.

To achieve these practices, devices such as an optical light source, optical fiber media of different lengths, loss measurement devices in an optical medium, and use of tested devices were used.

The board controller device named, YOKOGAWA Series AQ2211 is a multi-application test system. It enables an ideal measurement and evaluation solution for optical transmission devices and systems. The device is characterized by having three module installation slots. AQ2200 series modules can be arranged in various possible combinations in the device, some of these modules are characterized by being tunable laser sources. For the practices the AQ2200-131 module will be used.

Keywords: Fiber optic, attenuation, power, YOKOGAWA AQ2200.

VI. INDICE DE CONTENIDO

I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.	3
III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	4
IV. RESUMEN.....	5
V. ABSTRACT	6
VI. INDICE DE CONTENIDO	7
VII. INTRODUCCIÓN.....	9
VII. METODOLOGÍA.....	71
1. Pasos para medir las pérdidas desarrolladas en 3km de fibra óptica mono modo de tres cables de lanzamiento de 1km usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.	71
2. Pasos para medir la potencia recibida generada por el controlador de cuadros AQ2200 en tres cables de lanzamiento de 1 [km] usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.....	74
3. Pasos para medir las pérdidas desarrolladas por el medio óptico Fiber Lab 800 de 20 [km] de fibra mono modo usando el Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.	78
4. Pasos para medir la potencia recibida generada por el controlador de cuadros AQ2200 en el medio óptico Fiber Lab 800 de 20km de fibra mono modo usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.....	79
5. Pasos para medir las pérdidas y potencia de una red de distribución óptica.....	80
IX. RESULTADOS.....	82
1. Cálculos para que un rayo de luz se propague en una fibra óptica mono modo.....	82
2. Medición de pérdidas en un medio óptico de 3 [km] conectando tres cables de lanzamiento de un 1 [km].....	84
3. Medir la potencia de recepción en un sistema óptica de 3 [km] conectando tres cables de lanzamiento de un 1 [km].....	88
4. Cálculos de las perdidas usando la tabla de atenuación total en un medio de óptico de 3 [km] usando cables de lanzamiento de 1 [km].	89
5. Medición de pérdidas en un medio óptico de 20 [km] conectado a un cable de lanzamiento de un 1 [km].....	89
6. Medir la potencia de recepción en un sistema óptica de 20 [km] conectado a un cable de lanzamiento de 1 [km].	94
7. Cálculos de las perdidas usando la tabla de atenuación total en un sistema de comunicación óptico de 20 [km] usando un cable de lanzamiento de 1 [km].	95

8. Cálculos y medición de pérdidas y potencia de la red ODN utilizando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.	96
X. DISCUSIÓN.....	97
XI. CONCLUSIONES.....	98
XII. RECOMENDACIONES.....	99
XIII. REFERENCIAS.....	99
XIV. ANEXOS.....	101

VIII. INTRODUCCIÓN

¿Qué es un sistema de comunicación óptico?

El sistema de comunicación óptica está formado por un transmisor óptico el cual modula la señal y la propaga con un valor de potencia inicial. El medio de comunicación óptico el cual es la fibra óptica que lleva el rayo de luz óptico de un extremo a otro. Finalizar, el receptor que recibe la potencia con pérdidas, la demodula y amplifica la señal [1] [2] [3].

La figura 1 muestra el sistema de comunicación óptico.

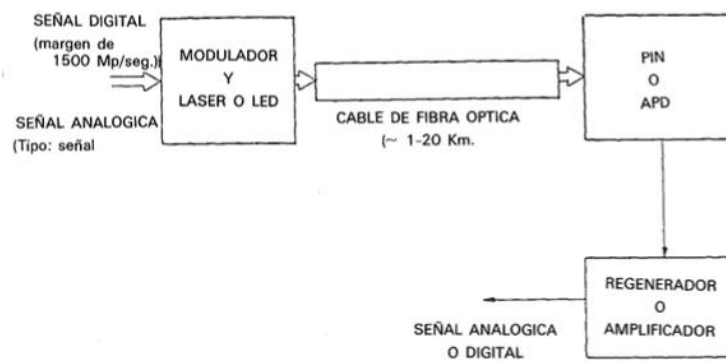


Figura 1. Sistema de comunicación óptico. Fuente: [4].

¿Qué es la fibra óptica y cómo funciona en la transmisión de señales de luz?

La fibra óptica es un medio de transmisión, se encarga de emitir la información. Es un tubo transparente circular muy fino de plástico donde uno o varios rayos de luz pueden propagarse en su interior (reflexión), entrando por un extremo del cable hasta llegar a su extremo opuesto. La luz que se usa en la mayoría de las fuentes laser en la actualidad generan luz infrarroja invisible. Los dispositivos electrónicos usan señales eléctricas para su funcionamiento por eso los transmisores y receptores ópticos deben de convertir las señales eléctricas a ópticas o lo contrario, según lo que se necesite [2].

¿Cómo ha mejorado la capacidad de transmisión de datos de la fibra óptica a lo largo del tiempo y cuáles son las tecnologías o avances que han permitido este aumento en la capacidad?

En el año 1820 Augustine Jane Fresnes sabía como capturar la luz con una placa de cristal lisa, esta aplicación y los estudios del físico John Tyndall de que el agua podía viajar dentro de un material curvándose por reflexión interna, fueron seleccionados por D. Hondros y Peter Debye para crear lo que tuvo el nombre de cables de vidrio, lo que demostró el potencial del cristal como medio efectivo de transmisión a larga distancia. Sin embargo, no tenía un buen rendimiento en su transmisión. En el año 1956 la universidad de Michigan patentó una fibra óptica forrada con materiales de índice de refracción bajo, en ese entonces las fibras comenzaron a producirse de filamentos delgados como el diámetro de un pelo para la transmisión en cortas distancias, el problema era que la luz se atenuaba pasando ciertas distancias. En el año 1980 las fibras alcanzaban distancias más largas, el problema era que en su fabricación usaban métodos contaminantes, hasta que se utilizó el cristal de sílice puro, evitando la contaminación. AT&T empezó a utilizar la fibra para alcanzar kilómetros, con una gran cantidad de canales de voz para conversaciones telefónicas simultáneas.

¿Qué mejoras se han realizado en términos de velocidad, alcance y eficiencia de la fibra óptica a medida que ha avanzado la tecnología, y cómo han contribuido a su adopción en diversas aplicaciones, como las telecomunicaciones y la transmisión de datos a larga distancia?

En el año 1910 se utilizó el cable de vidrio, aplicando el concepto de captura de placa de cristal por Augustine-Jane Fresnes y por la transmisión de agua por reflexión interna de John Tyndall. No permitía un buen rendimiento en la transmisión de luz, tenía atenuaciones grandes lo que reducía la velocidad de transmisión y el alcance.

En el año 1956 la Universidad de Michigan patentó una fibra forrada con materiales de índice de refracción bajo, reemplazando al uso de aceites o ceras. Al mismo tiempo se utilizaron filamentos de fibras más delgado, como el diámetro de un pelo. Tenía atenuación de 99% en distancias de hasta 9 metros, reduciendo su velocidad y rendimiento. Se utilizaban para emplear transmisiones de imágenes en endoscopios médicos, ayudando a la industria de la medicina.

En el año 1980 se empezó a utilizar el cristal de sílice puro que evitó la contaminación por crisol fundido que se usaba en ese entonces para la fabricación de fibra óptica, en la cual la señal de luz alcanza hasta 240 km antes de atenuarse. AT&T presentó un proyecto que alcanzaba 978 km con el cristal de sílice, después de cuatro años el cable de fibra óptica de 25[cm] de diámetro alcanzaba

los 80,000 canales de voz para conversaciones por telefonía simultánea, esta fibra alcanzaba los 400.000 [km] [5].

¿Cuáles son las principales ventajas y aplicaciones de la fibra óptica?

La principales ventajas y aplicaciones de la fibra óptica son las siguientes [1]:

Ventajas:

- Ancho de banda elevado, desarrollada una gran capacidad de transmisión de información, logrando un mayor rendimiento de los sistemas.
- El valor de atenuación sobre las señales que se propagan a través del portador es reducido.
- Las señales de transmisión no son alteradas por los cambios de temperatura.
- Se puede transmitir en zonas eléctricamente ruidosas con bajo índice de error y no tiene susceptibilidad a la interferencia eléctricas.
- No tiene problemas de diafonía ya que no es inducido por campos eléctricos o magnéticos.
- Es imposible extraer información de una fibra óptica sin alterar notoriamente los parámetros de transmisión.
- Libre de peligros de incendios y descargas eléctricas.
- Son disminuidos los problemas de almacenamiento, transporte, instalación. Debido a su reducido tamaño y peso (El peso es la cuarta parte de la del cobre), además tiene alta resistencia mecánica.
- La fabricación de la fibra óptica utiliza como materia prima el dióxido de silicio (SiO_2), el cual es abundante en la superficie terrestre.

Aplicaciones:

- Para aplicaciones de dentro de un local se recomienda un cable menor o igual a 1[km].
- Los servicios de fibra óptica incluyen voz, servicio de datos en la banda vocal, sistemas de control y supervisión privada para generación y distribución de potencia.

- Si puede conectar centrales dentro de una ciudad en distancias de 5 y 10 [km]. Sin repetidores.
- Enlaces submarinos, deben tener gran tiempo de vida útil y con valores de 1 millón de horas para el funcionamiento del láser.

¿Cuáles son las partes que este formado la fibra óptica?

La fibra está formada por tres partes las cuales son: núcleo, revestimiento, aramida, cubierta [1] [6].

La figura 2 muestra las partes de la fibra óptica.

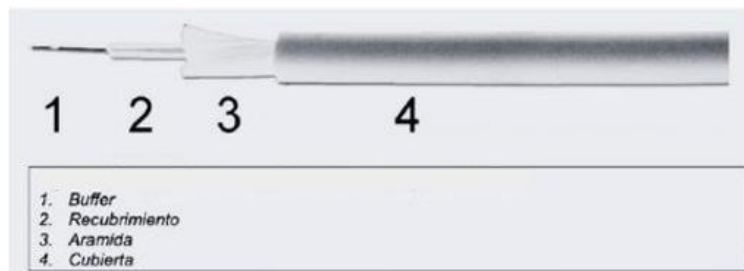


Figura 2. Partes de la fibra óptica. Fuente: [7].

El núcleo, es la parte de la fibra óptica donde se propaga la luz. El revestimiento es la parte de la fibra óptica que protege el núcleo. Se usa fibras de aramida para lograr la necesaria resistencia a la tracción. La cubierta es la parte de la fibra que proporciona protección contra la humedad. Abrasión, y posibles aplastamientos a la fibra.

¿Cuáles son las técnicas de transmisión básicas en el medio óptico?

La señal eléctrica de un dispositivo que quiera transmitir por fibra óptica debe ser convertida a señales ópticas. Ese rayo de luz que se logra propagar en el medio óptico llega al receptor donde hay un detector óptico que recupera la señal eléctrica de información.

La señal óptica debe ser modulada para su transmisión en el medio. Existen tres categorías básicas de modulación en la transmisión por fibra óptica: modulación digital, modulación analógica y modulación digital con conversión A/D (analog/digital - analógica/digital) y D/A (digital/analog - digital/analógica).

La modulación digital cambia los valores secuenciales de ceros y unos a una secuencia de encendido y apagado de la fuente emisora de luz. Se usa para la transmisión de datos entre computadoras. La modulación analógica se usa para variar la intensidad de la fuente emisora de luz. Tiene las limitaciones de ser no lineal. La modulación digital con conversión resuelve las limitaciones que tiene la modulación analógica, convierte la señal sinusoidal en digital usando un convertidor A/D (analog/digital - analógica/digital) en el trasmisor y un convertidor D/A (digital/analog - digital/analógica) en el receptor. Si se usa en dispositivos de multiplexación puede que se tramitan una gran cantidad de señales simultáneamente.

La figura 3 muestra los tipos de modulación se pueden aplicar en el sistema de comunicación óptico.

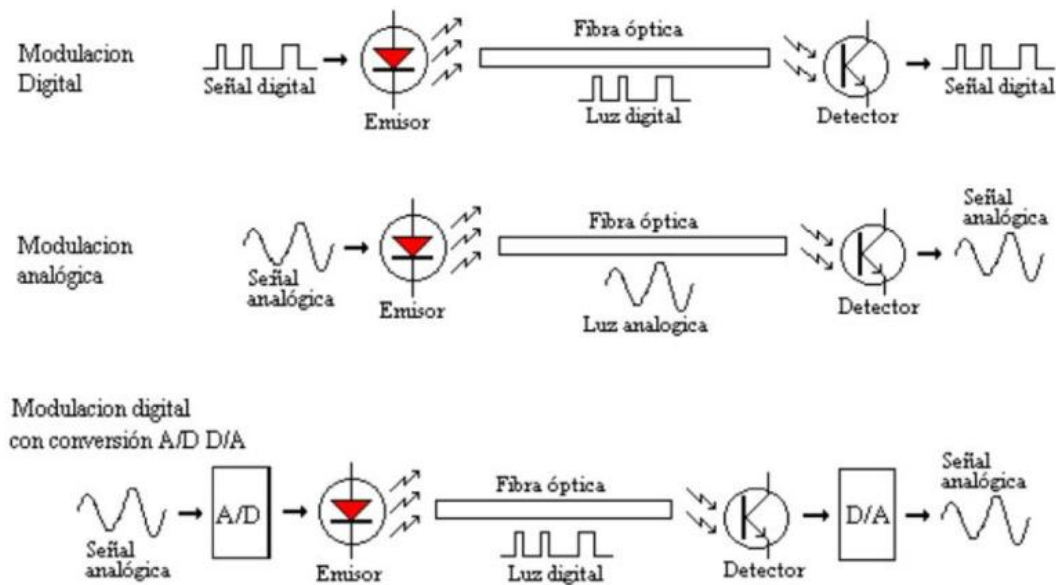


Figura 3. Tipos de modulación para un sistema de comunicaciones ópticas. Fuente: [8].

¿Qué es un sistema dúplex óptico?

Los sistemas de información necesitan de una comunicación simultánea desde transmisor como desde el receptor. La fibra óptica como propiedad puede ser bidireccional o lo contrario, esto quiere decir que los extremos de una fibra pueden usarse como transmisor o receptor, y viceversa. Es común el método de tener dos grupos de dispositivos de modulación y detección en opuesto sentido, además de dos fibras para crear un sistema bidireccional completamente funcional.

La figura 4 muestra un sistema de fibra óptica dúplex.

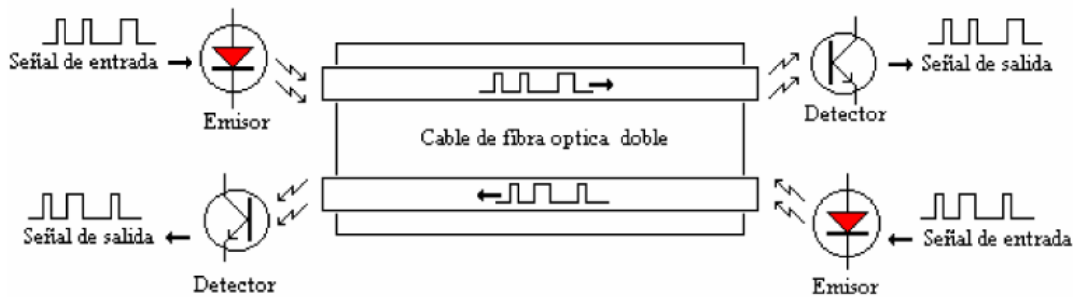


Figura 4. Sistema de fibra óptica dúplex. Fuente: [8].

¿Qué es la multiplexación?

Es un proceso que aumenta el rendimiento de transmisión óptica de una fibra. En la actualidad se puede aplicar la multiplexación WDM (Wavelength Division Multiplexing - Multiplexación por División de Longitud de Onda) [9], permite transmitir datos simultáneamente en una fibra en varias longitudes de onda portadora. La TDM (Time Division Multiple Access - Multiplexación por División de Tiempo) las frecuencias moduladoras comparten la misma portadora en tiempo no superpuestos. La combinación de WDM (Wavelength Division Multiplexing - Multiplexación por División de Longitud de Onda) y TDM (Time Division Multiple Access - Multiplexación por División de Tiempo) incrementan la capacidad de transmisión por fibra óptica.

La figura 5 muestra los tipos de multiplexación WDM (Wavelength Division Multiplexing - Multiplexación por División de Longitud de Onda) Y TDM (Time Division Multiple Access - Multiplexación por División de Tiempo).

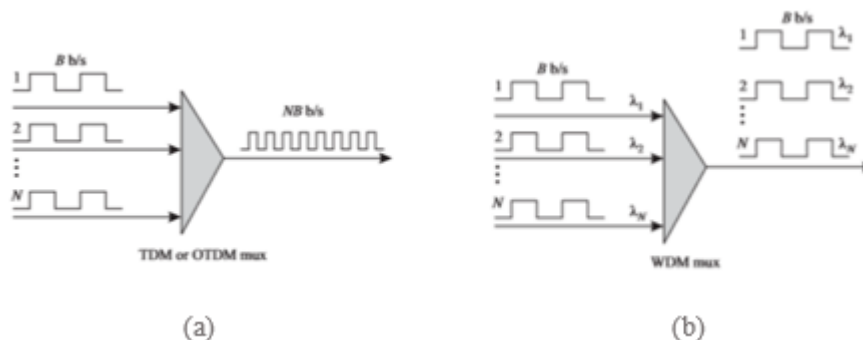


Figura 5. Tipos de multiplexación TDM (Multiplexación por División de Tiempo) (a), y WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda) (b). Fuente: [8].

La ITU (Unión internacional de telecomunicaciones), en la recomendación de código ITU-T G.671, define tres tipos de sistemas WDM (Wavelength division multiplexing - Multiplexación por división de longitud de onda): CWDM (Coarse wavelength Division Multiplexing – Multiplexado grueso por división de longitud de onda), DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing - Multiplexado denso por división en longitudes de onda), WWDM (Wide wavelength division multiplexing - Multiplexado amplio por división en longitudes de onda).

¿Qué es la ley de Snell?

Willebrod Snell en el año de 1591-1626, de manera experimental incidió un rayo de luz en un medio de dos superficies, creando los principios que definirán la reflexión y la refracción [5].

La figura 6 muestra los fundamentos de un rayo de luz que incide en dos medios.

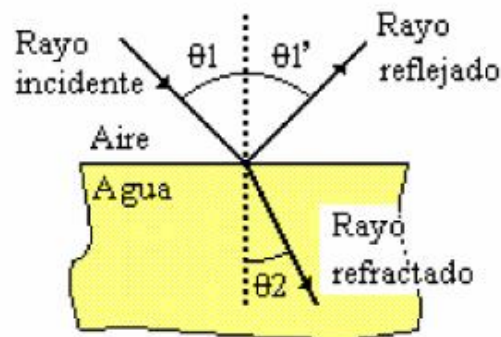


Figura 6. Reflexión y refracción de un rayo de luz al pasar del aire al agua. Fuente: [8].

Donde:

θ_1 = Angulo del rayo de incidencia.

θ_1' = Angulo del rayo reflejado.

θ_2 = Angulo de rayo refractado.

El rayo reflejo y refractado se forman por el rayo incidente en la frontera de dos medios en un punto creando la normal.

Para la reflexión se define que:

$$\theta_1 = \theta_1' \quad (1)$$

Para la refracción se define que:

$$n_1 \cdot \text{sen} \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen} \theta_2 \quad (2)$$

Donde:

n_1 : Índice de refracción del núcleo.

n_2 : Índice de refracción del revestimiento.

¿Que son los índices de refracción?

El índice de refracción se define por le relación entre C_o (Velocidad de propagación de la luz en el vacío, 3×10^8 [m/s]) y C_i (Velocidad de propagación de la luz en el material) [10].

$$n = \frac{C_o}{C_i} \quad (3)$$

Donde:

n : Índice de refracción.

C_o : Velocidad de propagación de la luz en el vacío, 3×10^8 [m/s].

C_i : Velocidad de propagación de la luz en el material.

¿Qué es el ángulo crítico?

El ángulo crítico representa el valor máximo de un rayo que incide en el núcleo y revestimiento. Cuando el ángulo ϕ aumenta haciendo que el ángulo del rayo refractado tengo un valor de 90 grados con relaciona la normal (línea punteada), este ángulo incidente tendrá el nombre de Angulo Crítico.

La figura 7 muestra el aumento del ángulo ϕ para crear el ángulo crítico.

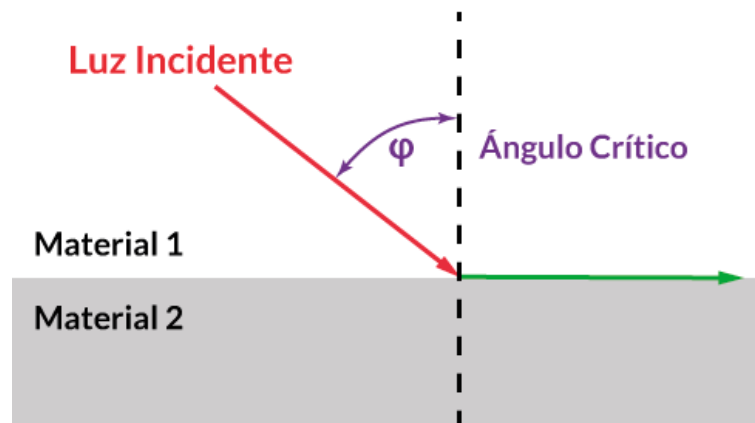


Figura 7. Ángulo crítico con valor de 90 grados respecto a la normal. Fuente: [8].

¿Qué es la Reflexión interna total?

El rayo de luz logra propagarse dentro en el núcleo de la fibra óptica por el fenómeno de nombre reflexión interna total, el cual se desarrolla cuando el rayo de luz incide en los dos medios transparentes de la fibra (núcleo y revestimiento), los cuales tiene diferentes índices de refracción [11] [12].

La figura 8 muestra un rayo de luz que incide en la frontera de dos medios con diferente índice de refracción.

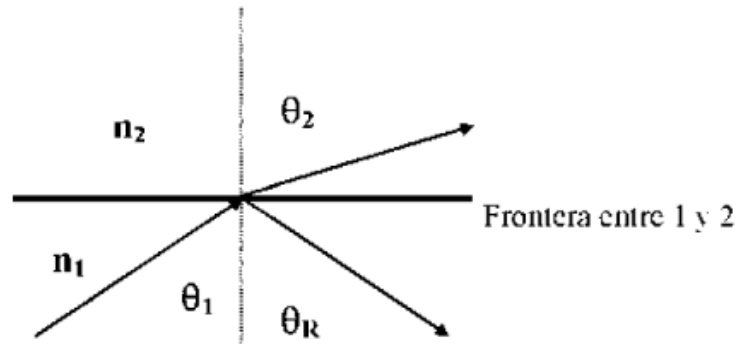


Figura 8. Rayo de luz que incide en la frontera de dos medios con diferente índice de refracción. Fuente: [8].

Usando la ecuación 2. Según la ley de Snell, podemos deducir que.

$$\text{sen}\theta_1 = \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \text{sen}\theta_2 \quad (4)$$

Donde:

n_1 : Índice de refracción del núcleo.

n_2 : Índice de refracción del revestimiento.

θ_1 = Angulo del rayo de incidencia respecto a la normal.

θ_2 = Angulo de rayo refractado respecto a la normal.

θ_R = Angulo de rayo reflejado respecto a la normal.

Si n_1 (índice de refracción del medio 1) es mayor que n_2 (índice de refracción del medio 2), el ángulo θ_2 en la mayoría de las situaciones es mayor que el ángulo θ_1 . Mientras el ángulo θ_1 aumenta, el ángulo θ_2 hará lo mismo más rápido. Cuando el ángulo θ_1 hace que el ángulo θ_2 sea recto respecto a la normal, no va a existir refracción en el medio 2 y el rayo de luz es reflejado vuelta hacia el medio 1, esto ocurre en la frontera entre los dos medios. Este fenómeno se lo nombre Reflexión Interna total.

La figura 9 muestra una tabla resumiendo los pasos del concepto TIR (Total internal reflection - Reflexión interna total).

Cuando:	$n_1 > n_2$	→	Siempre será:	$\theta_2 > \theta_1$
Y en particular si:	$\theta_2 = 90^\circ$	→	Ocurre la TIR, es decir que:	$\theta_1 = \theta_R$
Y como:	$\text{sen } 90^\circ = 1$	→	en este caso:	$\text{sen } \theta_R = (n_2 / n_1)$

Figura 9. El siguiente gráfico muestra el concepto de TIR (Total internal reflection - Reflexión interna total). Fuente: [8].

¿Qué es la apertura numérica?

La figura 10 muestra la incidencia de un rayo de luz en la fibra óptica para definir NA (Numerical aperture - apertura numérica) [5].

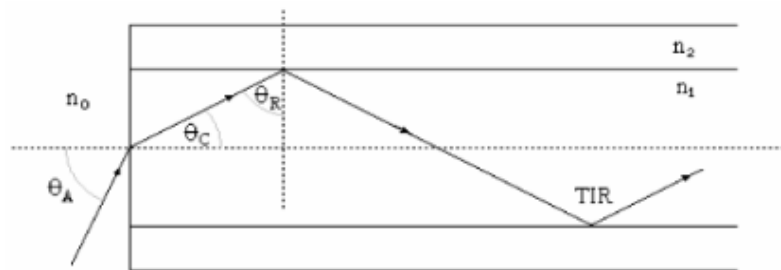


Figura 10. Incidencia de un rayo de luz en la fibra óptica para definir NA (Numerical aperture - Apertura Numérica). Fuente: [8].

En la figura 10 se puede ver el ángulo que inciden en el núcleo de la fibra óptica desarrollando el fenómeno de reflexión interna total. El ángulo tiene el nombre de ángulo de aceptación.

Se puede ver que:

$$\text{sen } \theta_R = \cos \theta_C \quad (5)$$

Donde:

Θ_R : Angulo del rayo de luz refractado por el medio n_1 (núcleo) y n_2 (revestimiento) respecto a la normal (línea punteada).

Θ_C : Angulo del rayo de luz refractado en la frontera entre n_o (aire) y n_1 (núcleo).

De la ley de Snell deducimos.

$$n_o \cdot \text{sen} \theta_A = n_1 \cdot \text{sen} \theta_C \quad (6)$$

Donde:

n_o : Índice de refracción del aire.

n_1 : Índice de refracción del núcleo de la fibra óptica.

Θ_A : Angulo de apertura.

Θ_C : Angulo del rayo de luz refractado por el medio n_o (aire) y n_1 (núcleo) de la fibra óptica.

Por la identidad trigonométrico se sabe qué:

$$\text{sen}^2 \theta + \cos^2 \theta = 1 \rightarrow \text{sen} \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} \rightarrow \text{sen} \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} \quad (7)$$

Reemplazando 6 en 5.

$$n_o \cdot \text{sen} \theta_A = n_1 \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \theta_C} \quad (8)$$

Cuando el ángulo del rayo refractado es igual a 90 en el punto A (ver figura 9), relacionándolo con la normal, el ángulo del rayo se define como crítico y se cumple que:

$$\cos \theta_C = \frac{n_2}{n_1} \quad (9)$$

Reemplazando 9 en 8.

$$n_o \cdot \text{sen}\theta_A = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} \quad (10)$$

Simplificando la ecuación 10, resulta.

$$\text{sen}\theta_A = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_o} \quad (11)$$

La constante n_o es el índice del aire igual a 1. Se define la apertura numérica como:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (12)$$

Donde:

NA: Numero de apertura.

Se puede decir que la apertura numérica es el porcentaje de potencia de luz que a partir de la fuente entra a la fibra óptica. Los valores comunes de la apertura numérica son 0.14 a 0.20, lo que es igual al 14 % al 20 % de la luz transmitida por la fuente que acepta la fibra óptica [5].

¿Qué es el cono de aceptación?

El cono de aceptación es una forma de ver la acción de la entrada de luz a la fibra tridimensionalmente, depende al diámetro del núcleo de la fibra. Mientras el cono sea más grande mejor será el acoplamiento en el núcleo de la fibra óptica.

La figura 11 muestra el cono de aceptación.

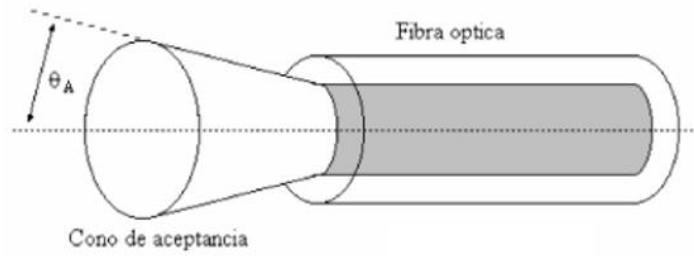


Figura 11. Cono de aceptación. Fuente: [8].

Por lo tanto, se deduce de la ecuación 12.

$$NA = \text{sen}\theta_A \quad (13)$$

La figura 12 muestra dos conos de aceptación con diferente diámetro del núcleo de la fibra óptica.

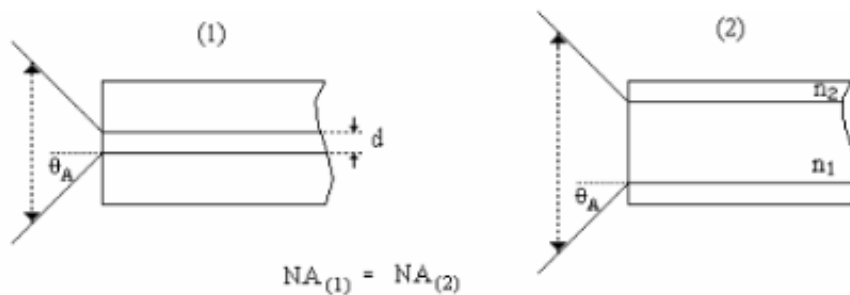


Figura 12. Dos conos de aceptación con diferente diámetro del núcleo de la fibra óptica.

Fuente: [8].

¿Cuáles son los distintos tipos de fibras ópticas de acuerdo con el índice de refracción?

Existen principalmente dos tipos de fibras respecto al índice de refracción [6]. La Fibra de índice escalonado el núcleo como el revestimiento tienen un índice de refracción homogéneo en toda la distancia de la fibra óptica. Los rayos de luz que entran en un extremo de la fibra óptica llegan a la salida en diferente tiempo a razón de que las distancias que recorren también son desiguales debido a la apertura numérica de cada rayo de luz. Lo que desarrolla dispersión, propagando un pulso que se ensancha respecto al tiempo. Por este motivo, en la actualidad, las fibras que se fabrican son de diámetro reducido para que se propague solo un rayo de luz [5].

La figura 13 muestra el índice escalonado.

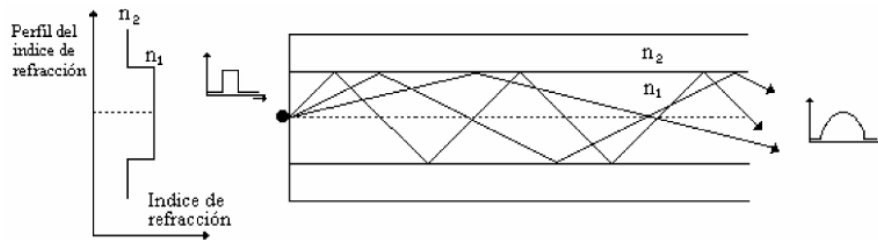


Figura 13. Índice escalonado. Fuente: [8].

En el índice de refracción gradual, el índice que pertenece al núcleo aumenta desde la entrada donde tiene el mismo índice que el revestimiento hasta llegar a la mitad de fibra donde tiene un índice máximo diferente al del revestimiento, luego decrece hasta llegar otra vez al valor del índice del revestimiento. Esto hace que los rayos de luz desarrollen una trayectoria sinuosa. Las trayectorias más largas son de una velocidad mayor, esto ocurre cuando el índice de refracción del núcleo aumenta o decrece en los extremos de la fibra. Las trayectorias son más lentas en el centro de la fibra, donde el índice de refracción del núcleo es más elevado. Para ensanchar el pulso propagado se puede ajustar el perfil para que compense las variaciones de velocidad en la fibra.

La figura 14 muestra el índice gradual.

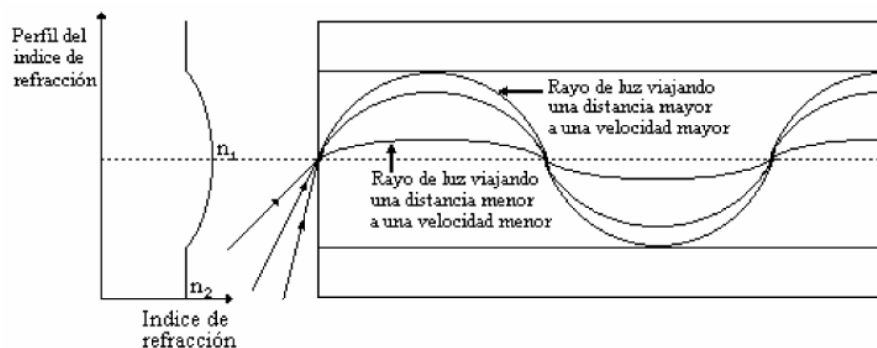


Figura 14. Índice gradual. Fuente: [8].

Las fibras con diámetro reducido tienen perfiles de propagación que no se catalogan dentro del perfil escalonado. Estos perfiles logran mejoras como por ejemplo las pérdidas de curvaturas, aumentar la apertura numérica y la pérdida por dispersión la cual ocurre con una única longitud de onda que se puede propagar en dirección al revestimiento por el efecto túnel.

La figura 15 muestra los perfiles especiales en propagaciones de un rayo de luz.

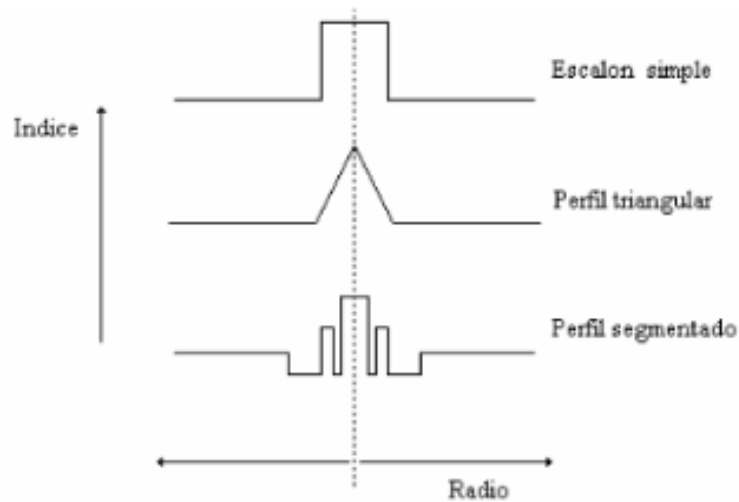


Figura 15. Perfiles especiales. Fuente: [8].

¿Cuáles son los modos de la fibra?

Los rayos de luz se pueden propagar por el medio respetando los límites determinados por la apertura numérica y el diámetro del núcleo. Estas trayectorias tienen el nombre de modo de propagación. Los rayos que se propagan con un ángulo bajo se los nombra modos de bajo orden, los rayos que se propagan con ángulo grande se los nombra modos de orden elevado. Cuando los valores de diámetro son grandes el cono de aceptación puede acoplar a la fibra más cantidad de luz [5].

La figura 16 muestra el modo de un único rayo de luz y el modo de varios rayos de luz.

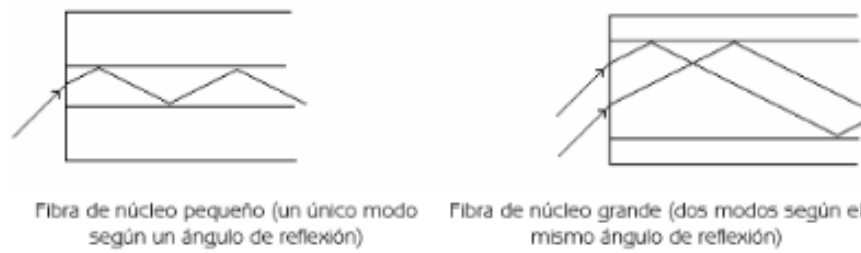


Figura 16. modo de un único rayo de luz (Mono modo) y el modo de varios rayos de luz (Multimodo). Fuente: [8].

El número de modos que se propagar en una fibra óptica se puede calcular aplicando el parámetro de frecuencia normalizada también nombrado número – V de la fibra.

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot (NA)}{\lambda} \quad (14)$$

Donde:

V: Frecuencia normalizada.

d: Diámetro del núcleo [um].

NA: Apertura numérica.

λ : Longitud de onda [nm].

Entonces se puede calcular el número de modos de siguiente manera.

Fibras de índice escalonado

$$N = \frac{V^2}{2} \quad (15)$$

Donde:

N: Numero de modos.

V: Frecuencia normalizada.

Fibras de índice gradual

$$N = \frac{V^2}{4} \quad (16)$$

Donde:

N: Numero de modos.

V: Frecuencia normalizada.

Si V en una fibra de índice escalonado se aproxima a 2,405 de longitud de onda (longitud de onda de corte), se está propagando un solo modo, tiene como características que el diámetro del núcleo y NA son muy pequeños. Esta manera de propagación tiene el nombre mono modo.

¿Cuáles son las pérdidas en las fibras ópticas?

La cantidad de luz que se propaga extremo de salida de la fibra siempre es en cantidades menores que la de la entrada. Esto es porque en la trayectoria de la luz dentro de la fibra se desarrollan una serie de pérdidas.

Las pérdidas pueden clasificarse por factores externos e internos. Las primeras tienen el nombre de pérdidas extrínsecas, se desarrollan por la aplicación de empalmes, conexiones en diferentes tramos de la fibra y curvaturas forzadas en la fibra. Las segundas tienen el nombre de pérdidas intrínsecas son las pérdidas propias del material con que está hecha la fibra como la absorción del vidrio, defectos mecánicos de fabricación y la reflexión de Fresnel que ocurre en los extremos de la fibra.

La figura 17 muestra las pérdidas que puede desarrollar la fibra óptica.

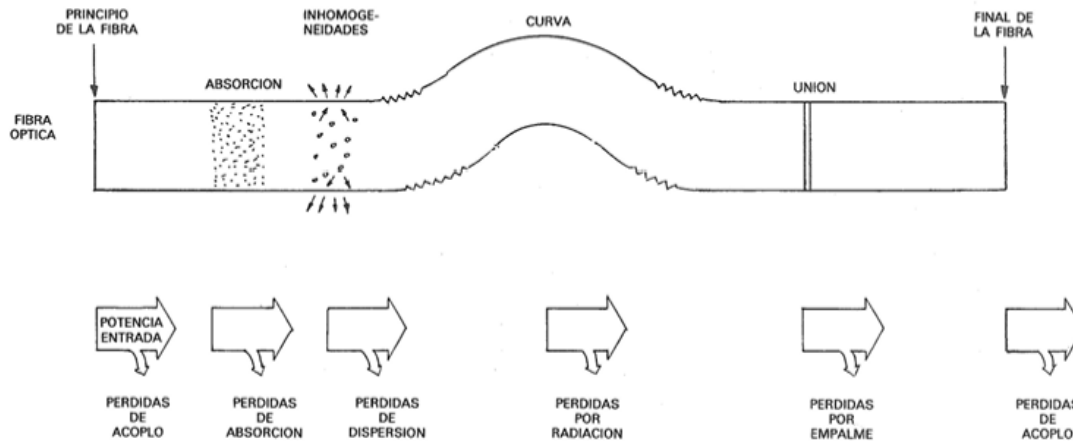


Figura 17. pérdidas que puede desarrollar la fibra óptica. Fuente: [4].

¿Qué es la reflexión de Fresnel?

La reflexión de Fresnel se desarrolla en la frontera entre dos medios que tienen diferente índice de refracción haciendo que una parte de la energía de los rayos de luz se reflejen al origen. La reflexión Fresnel ocurre en la frontera entre la fibra óptica y el aire. La cantidad de energía que se refleja depende de los índices de refracción de los medios. Se define de la siguiente manera [11].

$$Luz\ reflejada(\%) = 100 \cdot \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (17)$$

Donde:

n_1 : Índice de refracción del núcleo.

n_2 : Índice de refracción del revestimiento.

La figura 18 muestra la reflexión de Fresnel.

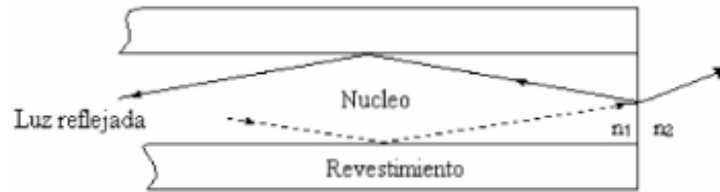


Figura 18. Reflexión de Fresnel. Fuente: [8].

El índice de refracción del aire puede variar por la temperatura, la humedad y presencia de partículas en suspensión. Si los extremos de la fibra no están protegidos lo suficiente puede que adquiera partículas de polvo o condensar humedad. Todas estas características de efectos negativos influyen en el porcentaje de reflexión de Fresnel, por eso es recomendable realizar limpieza y protección a los conectores que se usen para acoplamiento.

¿Como calcular la atenuación total?

La siguiente formula de atenuación total calcula todas las perdidas extrínsecas e intrínsecas de una fibra óptica. Se define de la siguiente manera [3] [13]:

$$TA = (nxC) + (cxJ) + (Lxa) + M \quad (18)$$

Donde:

n = Número de conectores.

C = Atenuación por acoplamiento de conectores [dB].

c = Número de empalmes en la fibra óptica

J = Atenuación de un empalme [dB].

L = Longitud del cable óptico.

a = Atenuación de cable óptico [dB/km].

M = factor de degradación [dB].

Existen valores que siempre se tienen que agregar a las pérdidas, como el factor de degradación con valor constante de 3 [dB]. El otro el factor de degradación ambiental el cual puede ser el valor de 5 [dB] para ambientes externos y 2 [dB] para ambientes internos.

Para calcular la atenuación máxima con la fórmula de atenuación total se tiene que tomar en cuenta la siguiente tabla en valores de longitud de onda de 1550[nm].

La figura 19 muestra la tabla de estándares de atenuación total.

	Atenuación/kilómetro (dB/km)	Atenuación/conector óptico (dB)	Atenuación/junta (dB)	
Min	0,17	0,2	0,01	Las mejores condiciones
Average	0,22	0,35	0,05	Normal
Max	0,4	0,7	0,1	La peor situación

Figura 19. Valores de atenuación. Fuente: [14].

¿Qué es la relación logarítmica de potencia?

Es una relación para medir la ganancia o atenuación de un medio o sistema óptico. Depende la potencia de entrada y la potencia de salida. El logaritmo es en base 10.

Para ganancia:

$$dB = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (19)$$

Donde:

P₁: Potencia de entrada [W].

P₂: Potencia de salida [W].

Para atenuación:

$$dB = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad (20)$$

Donde:

P_1 : Potencia de entrada [W].

P_2 : Potencia de salida [W].

La relación decibelio-miliwatt es una unidad de medida de referencia de 1[mW].

$$dB = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{P}{1mW} \right) \quad (21)$$

Donde:

P: Potencia [W].

¿Qué es diodo laser?

Los diodos laser están formados por juntas semiconductoras, tiene un elemento selectivo de longitud de onda. Generando por una emisión estimulada una única longitud de onda. El resonador óptico, es el tipo más simple de diodo laser. Está formado por un pequeño bloque compuesto por varias capas del semiconductor las cuales forman la junta. Estas capas tienen una hendidura la que se encuentra entre dos superficies paralelas y reflectoras, una de ellas levemente translúcida. El conjunto de estas capas se comporta como una cavidad óptica. El haz de luz emitido es de gran intensidad y muy direccional. Para que se producen estos efectos el mínimo valor de corriente a través de las juntas debe ser de 100 [mA] el cual depende de la temperatura. La potencia de salida del bloque compuesto por las capas es alrededor de 10 [dBm].

La figura 20 muestra el bloque compuesto por las capas que forman la cavidad óptica.

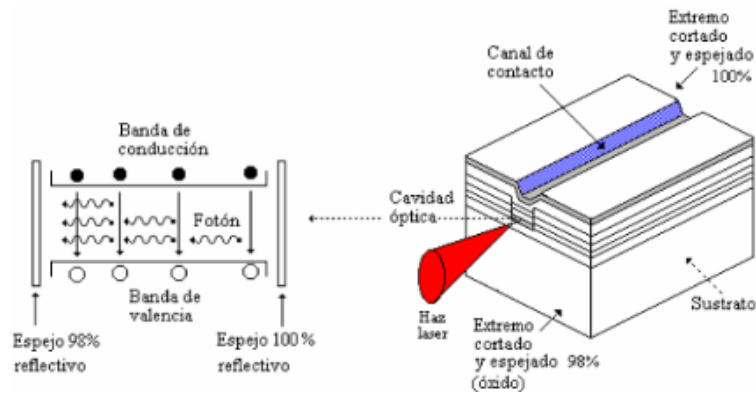


Figura 20. Bloque compuesto por las capas que forman la cavidad óptica. Fuente: [8].

La longitud de onda dependerá del tipo de semiconductor. La transmisión se genera con un valor de ancho espectral determinada, dado por los subniveles de las capas que forman el bloque. no se puede evitar que exista una transmisión espontanea con longitudes de ondas adyacentes. Para esto en las hendiduras, la superficie es corrugada para generar una red de difracción y mejorar el proceso cuando el rayo de luz pase por los espejos de la cavidad. Consiguiendo una única longitud de onda.

La figura 21 muestra los canales de contacto del con superficie lisa y con superficie corrugada del bloque laser, más su análisis en el domino frecuencial.

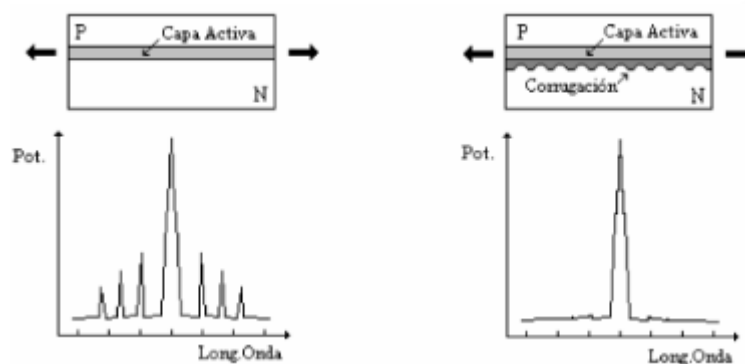


Figura 21. Caneles de contacto del con superficie lisa y con superficie corrugada del bloque laser, más su análisis en el domino frecuencial. Fuente: [8].

¿Qué es un fotodiodo positivo intrínseco negativo?

Un fotodiodo produce una corriente eléctrica por la estimulación generada por los fotones receptados. Se caracteriza por tener tres capas semiconductoras, capa tipo P, Capa de material intrínseco, Capa tipo N. El semiconductor intrínseco no está dopado con impurezas, esta intercalado entre la capa P y la capa N del diodo. Esto consigue incrementar la eficiencia del fotodiodo.

La sensibilidad del fotodiodo se caracteriza por la relación entre la corriente promedio que se estimula en el detector y la potencia promedio de la luz recibida, el resultado es en unidades de A/W. la sensibilidad depende del material que usa para su fabricación, cambia por la longitud de onda incidente y por la temperatura de funcionamiento. El ruido de un fotodiodo se caracteriza porque no siempre la energía creada es por el fotón transmitido sino por la generación de ruido de granalla la consiste en pequeñas corrientes por los pares electrón – hueco generadas de anterioridad que se nombra corriente de oscuridad. El otro ruido común en los fotodiodos es el ruido térmico por la resistencia eléctrica del circuito.

La figura 22 muestra el diodo PIN (Intrinsic positive negative - positivo intrínseco negativo).

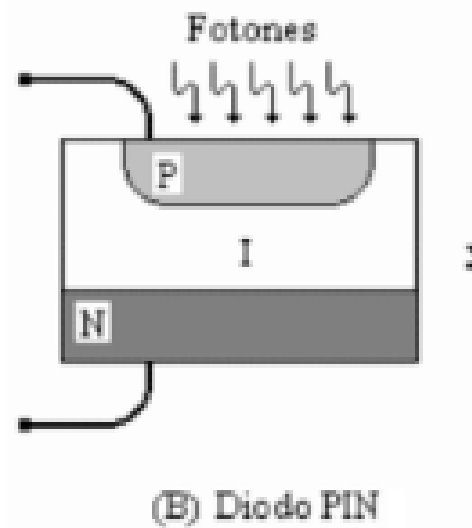


Figura 22. Diodo PIN (Intrinsic positive negative - positivo intrínseco negativo). Fuente: [8]

EL fotodiodo PIN (Intrinsic positive negative - positivo intrínseco negativo) se usa en sistemas de fibra óptica. Esta diseña específicamente para estos sistemas. La capa intrínseca se la seleccionado por medio de las características de eficiencia y velocidad de respuesta.

¿Qué es la tecnología de nombre fibra óptica al hogar?

La aplicación tecnológica fibra óptica al hogar, consiste en usar la fibra óptica para el tráfico de información a una casa, oficina, industria. Utilizando el medio óptico junto con dispositivos transmisores y receptores crean esta aplicación tecnológica también nombrada ultimo milla.

La figura 23 muestra una la función de la aplicación FTTH (Fiber opticto the home - Fibra óptica al hogar) de una red pasiva óptica.

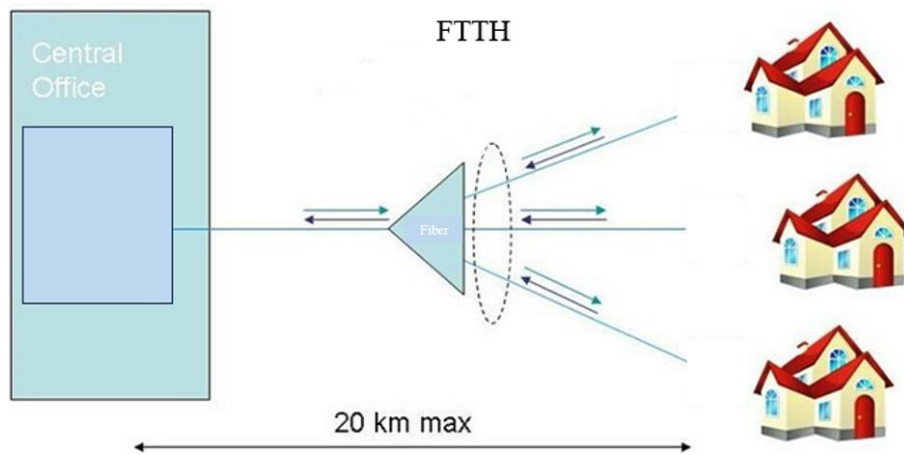


Figura 23. La figura muestra una la función de una red pasiva FTTH (Fiber opticto the home - Fibra óptica al hogar). Fuente: [15].

¿Qué es una red pasiva óptica?

Las redes pasivas ópticas se caracterizan por estar formada por elementos total mente pasivos esto quiere decir que no es la central ni el domicilio de un cliente. Esto quiere decir que es el medio óptico de una red. Se puede compartir una misma fibra entre varios usuarios.

La ODN (Optical Distribution Network - Red de distribución óptica) es el medio óptico que se caracteriza por utilizar componentes ópticos pasivos. Distribuye la información que va desde un elemento trasmisor lo que en términos de redes vendría ser un cliente y un elemento receptor el usuario y viceversa [16].

La figura 24 muestra la posición y función de la red de distribución óptica.

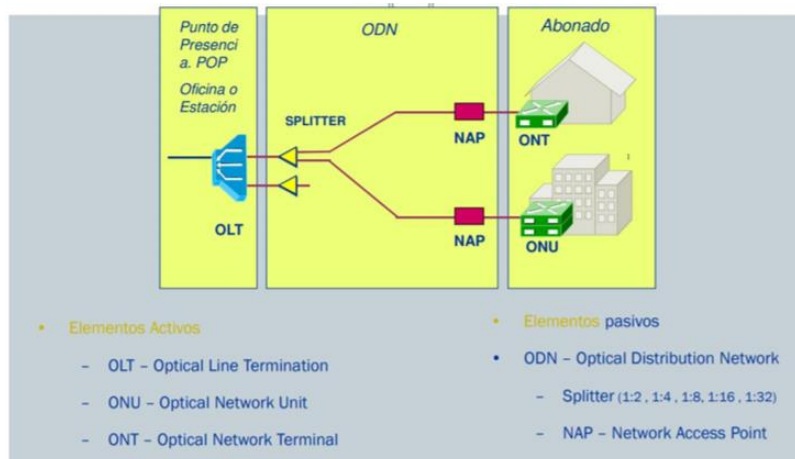


Figura 24. Función del ODN (Optical Distribution Network - Red de distribución óptica).
Fuente: [15].

¿Como se reconoce el tipo de fibra óptica?

El tipo de fibra óptica depende del modo de propagación, si existe un rayo de luz propagándose en la fibra óptica tiene el nombre mono modo, si existe varios rayos de luz propagándose en a la fibra óptica tiene el nombre de multimodo. Al momento de su elaboración, los fabricantes la clasificación mediante colores según el estándar TIA-598-C (Estándar de cableado estructurado).

La Tabla 1 muestra una tabla de los colores según el tipo de fibra óptica.

TIPO DE FIBRA POR COLOR DE CABLE	COLOR
FIBRA MONO MODO	AMARILLO
FIBRA MULTI MODO	NARANJA
FIBRA MULTI MODO OPTIMIZADA PARA LASER	AZUL
FIBRA ÓPTICA MONO MODO DE POLARIZACION MANTENIDA	NEGRO

Tabla 1. Tabla de colores según el tipo de fibra óptica.

La fibra óptica que utilizada para el manual de prácticas es de tipo mono modo, tiene una cubierta de color amarilla. Tiene un diámetro de 2[mm] y un larga de 3[m].

La figura 25 muestra la fibra óptica mono modo.

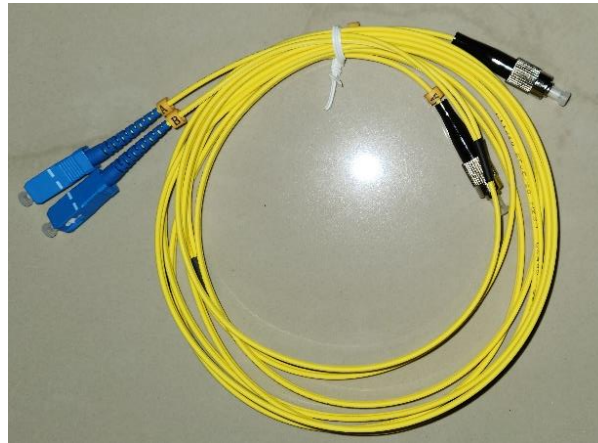


Figura 25. Fibra óptica mono modo. Fuente: [8] [14] [7].

Un tipo de fibra óptica mono modo para instalaciones aéreas es el cable ADSS (All Dielectric Self Supported - Completamente dieléctrico y autoportado). El material de los revestimientos es de acrilato, ubicados en el interior de un tubo holgado, reunidos alrededor del elemento central GFRP (fiberglass reinforced polymer - polímero reforzado con fibra de vidrio). Puede ser aplicada una cubierta interna sobre el núcleo. La fibra es reforzada con hilaturas de aramida y recubierto con una capa externa de polietileno negro como cubierta.

La figura 26 muestra las partes del cable completamente dieléctrico y autoportado.

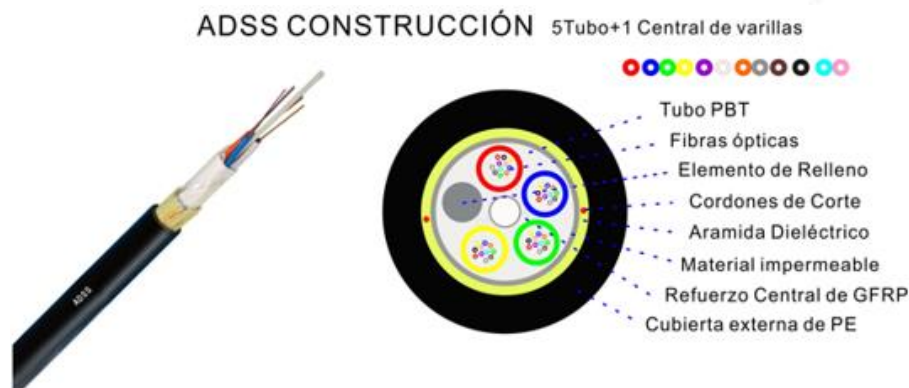


Figura 26. Partes del cable ADDS (All Dielectric Self Supported - Completamente dieléctrico y autoportado). Fuente: [17].

¿Qué es un conector?

Partes de un conector:

- Férula: Alinea y fija la fibra. También nombrado casquillo.
- Capsula: Sistema de encastre o rosca para tener el conector en su sitio. También nombrado cuerpo.
- Refuerzo: Descargas de tensiones mecánicas. También nombrado manguito.

Para la práctica se necesita el uso de férula UPC (Ultra physical contact - Ultra Contacto Físico) y APC (Angular physical contact - Contacto físico angular) más el uso de conectores SC (Subscriber Connector - Conector Suscriptor) y FC (Ferrule Connector - Conector Ferrule). Los conectores como las férulas se encuentran en los extremos de la fibra. Las férulas son de cerámica y plástico, es la característica más importante de los conectores ópticos por que protege y alinea la fibra de vidrio. Además, como ocurren pérdida de reflexión de retorno hacia la fuente en los conectores, lo que puede dañar los dispositivos en el sistema de comunicaciones, se determinó en realizar pulidos en las férulas para disminuir estos efectos.

La figura 27 muestra los rayos de luz de retorno a la fuente de las férulas utilizadas en esta práctica.

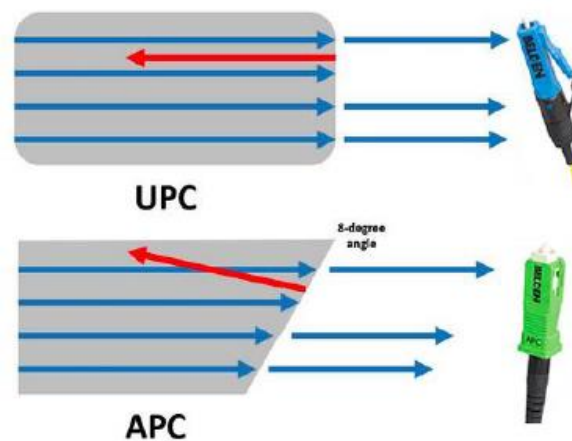


Figura 27. Rayos de luz de retorno a la fuente de las férulas UPC (Ultra physical contact - Ultra Contacto Físico) y APC (Angular physical contact - Contacto físico angular). Fuente: [7].

La férula ultra contacto físico tiene un pulido sin ángulo sin embargo tiene una pequeña curvatura en la cara final. Tiene una pérdida por retorno de -50 [dB]. Estas férulas se usan en equipos de conexión Ethernet, convertidores multimedia y conmutadores ópticos. Estos también son usados en sistemas de data y sistemas telefónicos

La figura 28 muestra el pulido sin ángulo con una pequeña curvatura en la cara final.



Figura 28. Pulido UPC (Ultra physical contact - Ultra Contacto Físico). Fuente: [7].

La férula contacto físico angular tiene un ángulo de pulido de 8 grados. Lo que hace que la reflexión sea en el revestimiento de fibra y no hacia la fuente de luz. Tiene una pérdida de -60 [dB]. Se usan en aplicaciones de radio frecuencia como CATV (Antena Comunitaria de Televisión) o en sistemas de distribución de antenas.

La figura 29 muestra la propiedad de la férula con un ángulo de pulido de 8 grados.

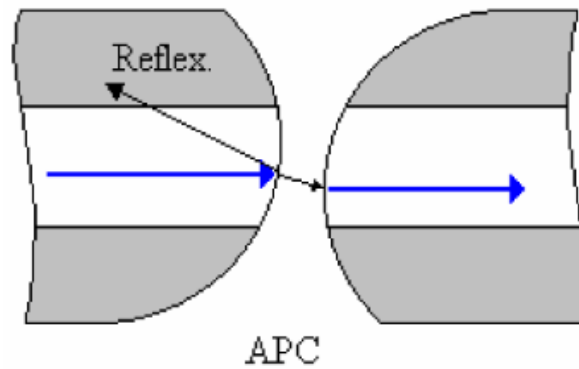


Figura 29. Férula con pulido APC (Angular physical contact - Contacto físico angular).
Fuente: [8].

El conector suscriptor se ajuste a presión. Tiene pérdida de debajo de 0.5 [dB]. El conector es de color azul si tiene una férula con pulido sin ángulo y color verde si es una férula con pulido de 8°.

La figura 30 muestra el conector suscriptor.

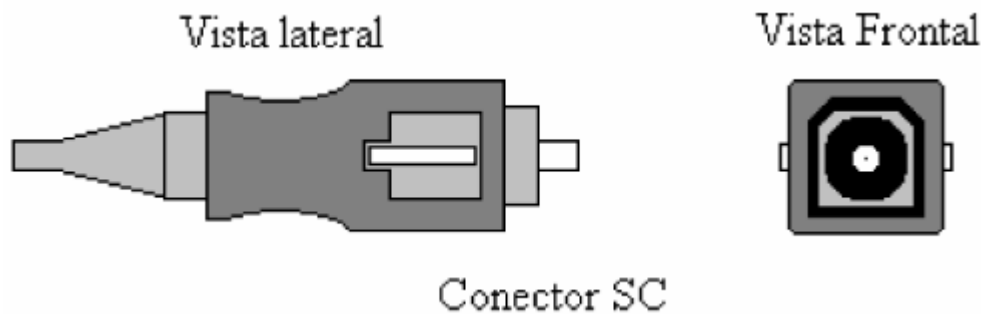


Figura 30. Conector SC (Subscriber Connector - Conector Suscriptor). Fuente: [8].

El conector ferrule es roscado para una fija resistencia a movimientos. Tiene pérdidas por debajo de 0.4 [dB]. El conector es de color negro si tiene una férula sin ángulo o color verde si tiene una férula de 8°.

La figura 31 muestra las partes de un conector ferrule.

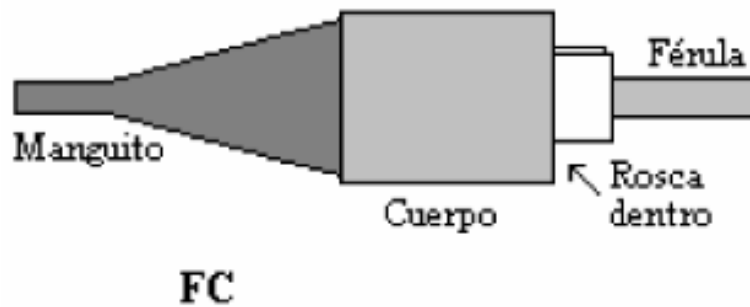


Figura 31. conector FC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Fuente: [8].

¿Qué son los adaptadores ópticos conector suscriptor?

Los adaptadores ópticos es una pieza que permite unir dos conectores SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Existen adaptadores dúplex que se logra conectar cuatro conectores al mismo tiempo.

Un adaptador óptico permite unir dos conectores una misma férula. La característica más importante es que tiene un obturador donde los rayos de luz se propagaran de un conector a otro.

La figura 32 muestra el obturador óptico.

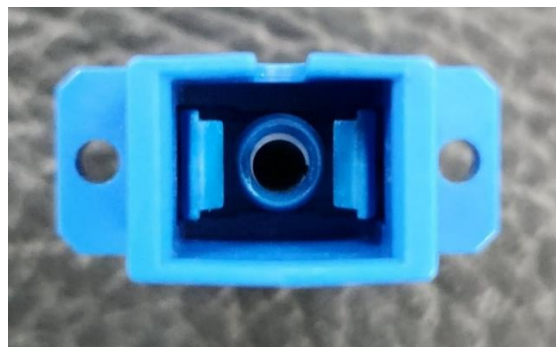


Figura 32. Obturado del adaptador óptico SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Fuente: [8].

La figura 33 muestra las dimensiones de un adaptador óptico [nm].

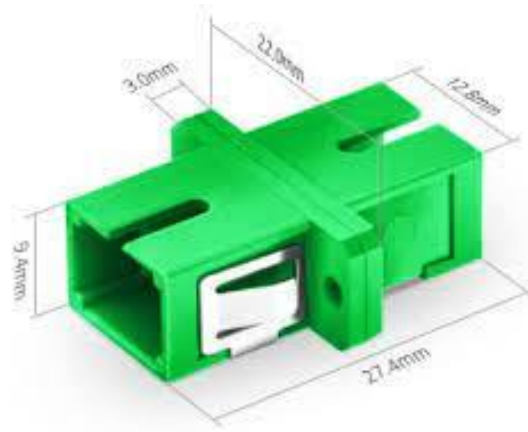


Figura 33. Dimensiones de un adaptador óptico. Fuente: [8].

¿Qué es un divisor óptico?

Es un dispositivo que distribuye un rayo de luz en varios con una determinada proporción. Se lo usa en redes ópticas pasivas, para que una transmisión puede ser compartida a varios puntos de recepción.

El divisor óptico tiene dos estándares más conocidos en un divisor óptico, el primero donde de una fibra se distribuyen a dos puntos receptores, el segundo donde de una fibra se distribuyen a cuatro puntos receptores.

La figura 34 muestra los estándares más conocidos de proporcionalidad en divisor óptico.

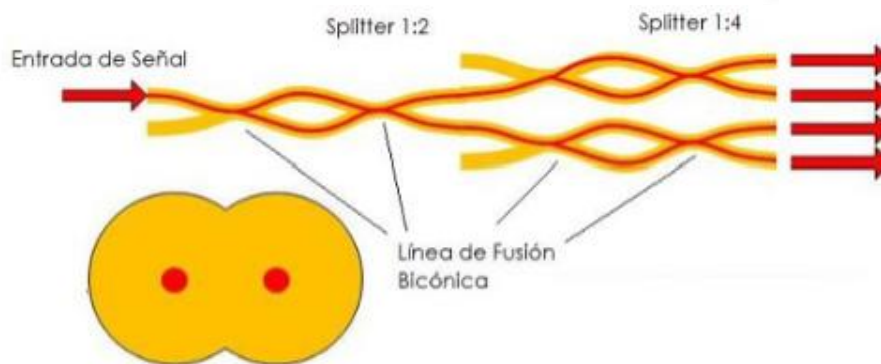


Figura 34. Estándares más conocidos de proporcionalidad en divisor óptico. Fuente: [15].

¿Qué es un cable de lanzamiento OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el Dominio del Tiempo Óptico)?

Es un cable de fibra óptica mono modo con una distancia de 1 [km]. Se lo usa para tener un mejor resultado de las zonas muertas en la entrada de un medio óptico. Tiene dimensión aproximadamente 4 [cm] de largo.

Tiene conectores SC/UPC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor/ Ultra physical contact - Ultra Contacto Físico) en sus extremos. Funciona en las ventanas de trabajo 1310 [nm] con pérdidas de 0.4 [dB/km] y 1550 [nm] con pérdidas de 0.3 [dB/km]. Tiene pérdidas por IL (Insertion loss - Pérdidas por inserción) de 0.25 [dB] y pérdidas por RL (Return loss - Pérdidas por retorno) de 55 [dB]. Se lo utiliza para tener un mejor resultado de zona muerta del primer conector de un medio óptico con el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

La figura 35 muestra el cable con una distancia de 1 [km].



Figura 35. Cable de lanzamiento OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el Dominio del Tiempo Óptico). Fuente: [8].

¿Qué es un embobinado fiber Lab 800?

El embobinado fiber lab 800 está hecho de fibra óptica mono modo. Sirve para aplicaciones de lactancia, simulación de red y para demostraciones.

La figura 36 muestra la parte frontal del Fiber Lab 800.

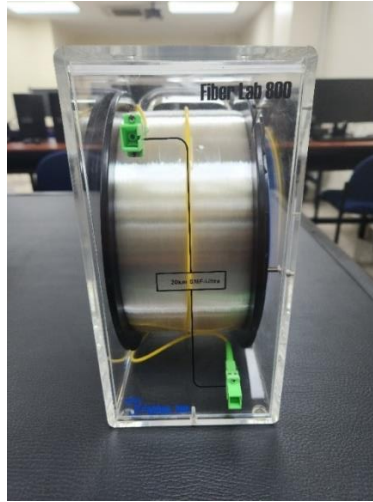


Figura 36. Parte frontal del Fiber Lab 800. Fuente: [8].

¿Qué es un distribuidor de fibra óptica?

El ODF (Optical Distribution Frame - Distribuidor de fibra óptica), se caracteriza por organizar los hilos de fibra de una red ODN (Optical Distribution Network - Red de distribución óptica) para poder distribuir potencia a dispositivos terminales de recepción.

La figura 37 muestra el distribuidor de fibra óptica del laboratorio de comunicaciones ópticas.

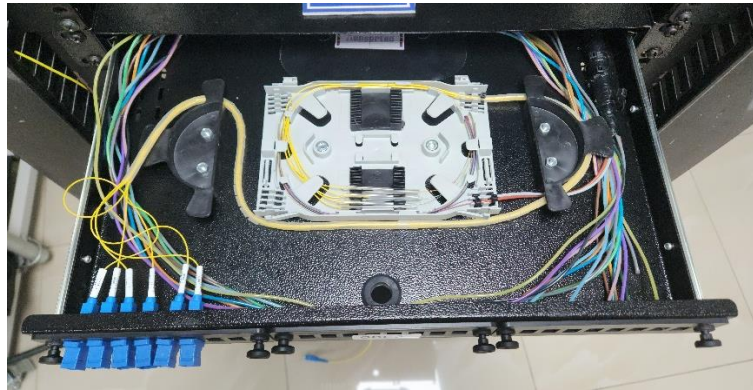


Figura 37. ODF (Optical Distribution Frame - Distribuidor de fibra óptica). Fuente: [8].

¿Qué es la caja de distribución óptica?

Un NAP (Network Access Point - Caja de distribución óptica) es un elemento pasivo que forma parte de una red de distribución óptica. Serve para seleccionar los cables principales del cable ADSS para conectar la red con las conexiones individuales de cada usuario. Se distingue de las mangas porque tiene divisores ópticos.

La figura 38 muestra la caja de distribución óptica del laboratorio de comunicaciones ópticas.



Figura 38. Caja de distribución óptica del laboratorio de comunicaciones ópticas. Fuente: [8].

¿Qué una Manga de empalme?

Una manga de empalmes es un elemento pasivo que forma parte de una red de distribución óptica, se lo usa para instalaciones aéreas, paredes, empalmes restos y empalmes ramificados. Sirve para protección o posicionamiento de soporte de los empalmes de fibra óptica de la red.

La figura 39 muestra la manga de empalme del laboratorio de comunicaciones ópticas.

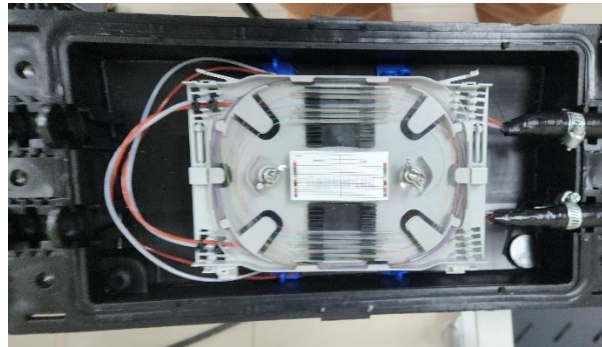


Figura 39. Manga de empalme del laboratorio de comunicaciones ópticas. Fuente: [8].

¿Cuál es el sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211?

El sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211, también nombrado controlador de cuadros. Es un sistema de pruebas de aplicaciones múltiples. Permite una solución ideal de medición y evaluación para dispositivos y sistemas de transmisión óptica. El dispositivo se caracteriza por tener tres ranuras de instalación de módulos. los módulos serie AQ2200 se pueden organizar en varias combinaciones en el dispositivo, algunos de estos módulos tienen las siguientes propiedades: Fuentes de luz de alta estabilidad de nivel de salida, Fuentes laser sintonizables, medidores de potencia óptica, atenuadores ópticos, interruptores ópticos. Aplica una función de programación macro que mide de manera automatizada, establece condiciones de medición, cambio de configuraciones de pruebas en combinación con múltiples módulos y guardar resultados, sin la necesidad de un controlador de PC externo.

El sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211 es un dispositivo que se caracteriza por ser un controlador de cuadros de tres ranuras de instalación donde se puede insertar una cantidad de tres módulos.

La tabla 2 muestra las características principales del controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2211.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL CONTROLADOR DE CUADROS YOKOGAWA AQ2211		
Elementos		Especificaciones
Ambiente de operación	Temperatura ambiente [°C]	5 a 40 Celsius
	Humedad ambiente	20 a 80%
	Altitud [m]	2000
Recomendación del periodo de calibración [años]		1
Voltaje requerido [VAC]		95 +/-5 a 252 +/-12
Frecuencia de suministro dominal [Hz]		50/60
Soporte de voltaje entre la fuente de voltaje y la caja [kVAC]		1.5 por minuto
Resistencia de aislamiento entre la fuente de voltaje y la caja [VDC]		500, 10 MΩ o mayor
Peso [kg]		6

Tabla 2. Características principales del controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2211.

La figura 40 muestra la perspectiva anterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211.



Figura 40. Cara anterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211. Fuente: [17].

La figura 41 muestra la perspectiva posterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211.



Figura 41. Cara posterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211. Fuente: [17].

La figura 42 muestra la perspectiva lateral del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211.



Figura 42. Cara lateral del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211. Fuente: [17].

A continuación, se especifican las dimensiones del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211 en las siguientes ilustraciones:

La figura 43 muestra las dimensiones de la cara anterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211 en milímetros.

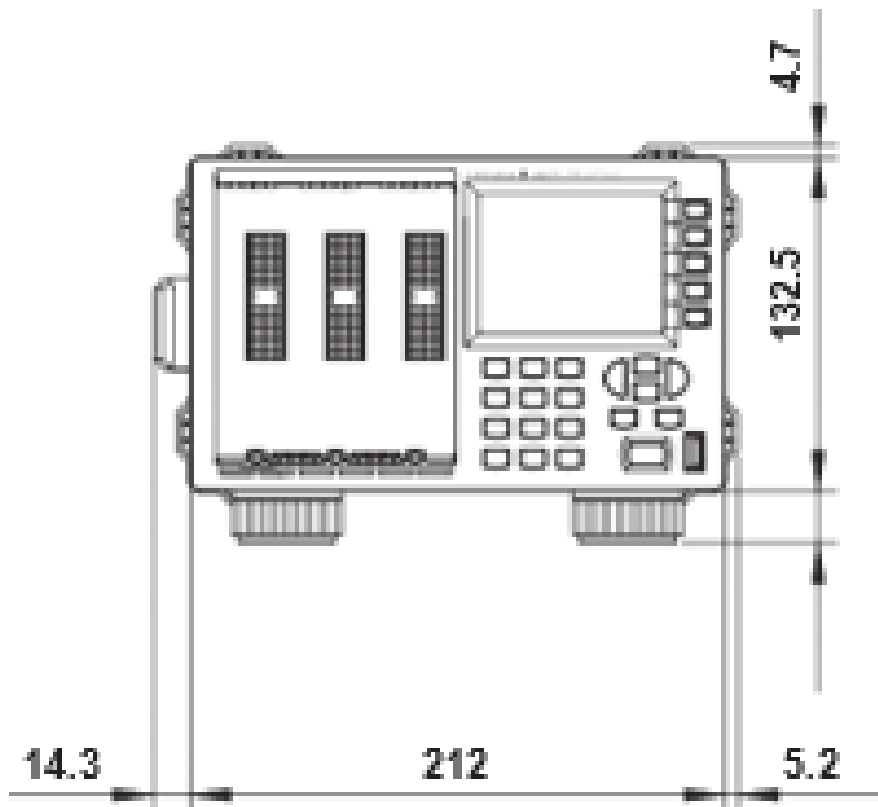


Figura 43. Dimensiones de la parte frontal del controlador de cuadros YOKOGAWA serie AQ2211. Fuente: [17].

La figura 44 muestra las dimensiones de la cara posterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211 en milímetros.

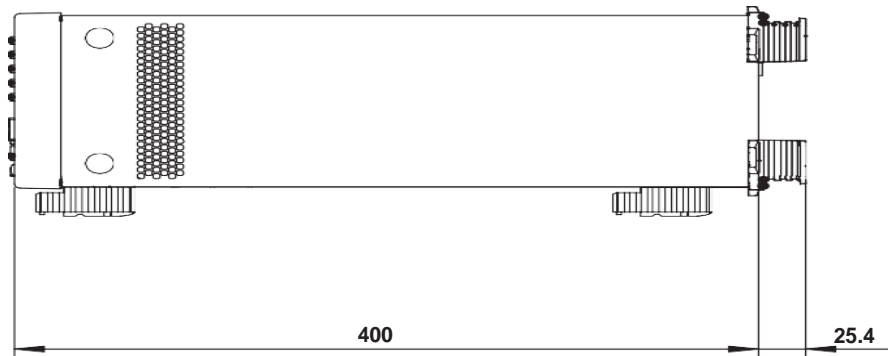


Figura 44. Dimensiones de la parte lateral del sistema del controlador de cuadros YOKOGAWA serie AQ2211. Fuente: [17].

El conector de cierre interno A1288JA sirve para bloquear o desbloquear la salida laser del controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2211, si el conector de cierre interno no se encuentra en el controlador de cuadros, el dispositivo se encuentra abierto y no generara un rayo láser.

La figura 45 muestra la conexión del conector de cierre interno A1288JA.

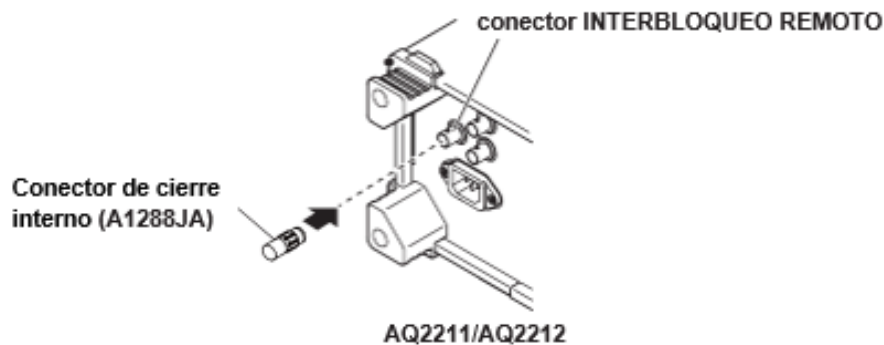


Figura 45. Conexión del conector de cierre interno A1288JA. Fuente: [17].

La figura 46 muestra la parte frontal del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211.

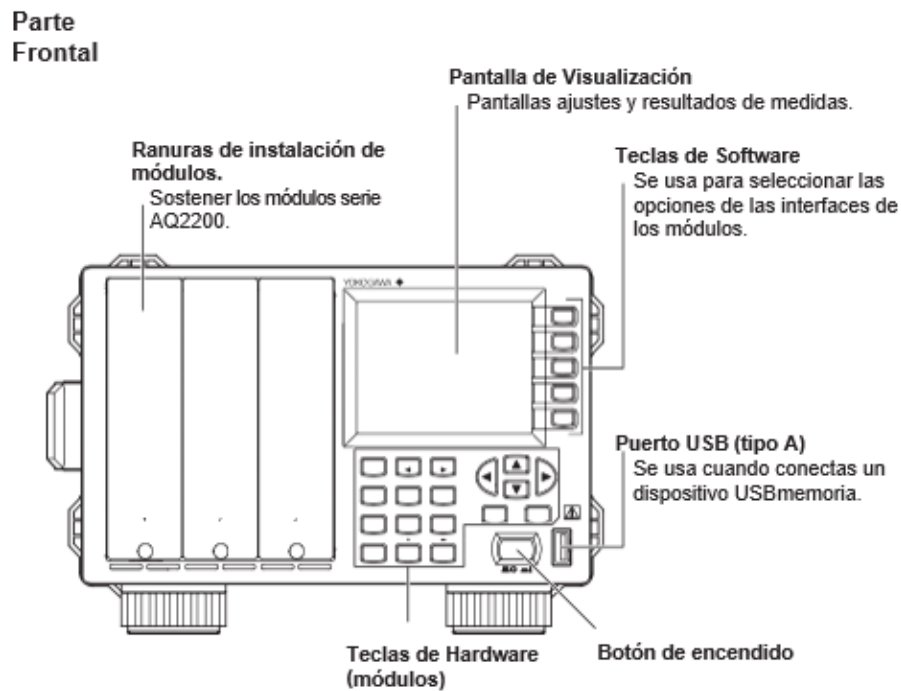


Figura 46. Partes del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211 es su parte frontal. Fuente: [17].

La figura 47 muestra la parte posterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211.

Parte Posterior

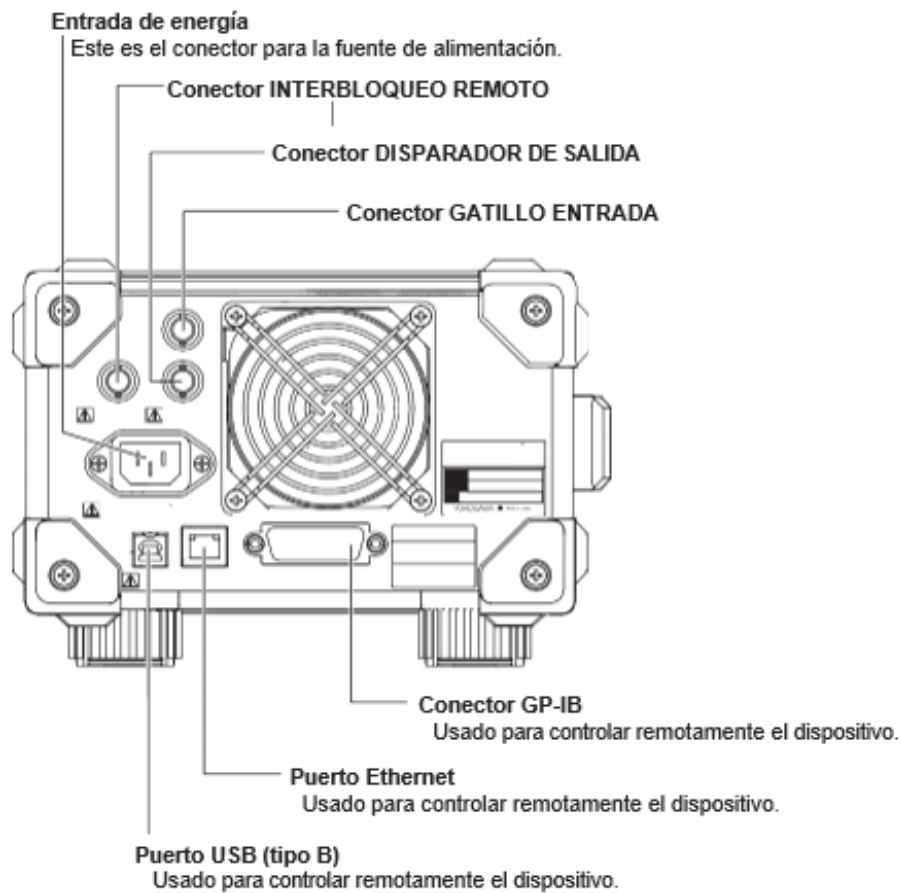


Figura 47. Partes del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211 en su parte posterior. Fuente: [17].

La figura 48 muestra las partes de la pantalla de visualización y teclados.

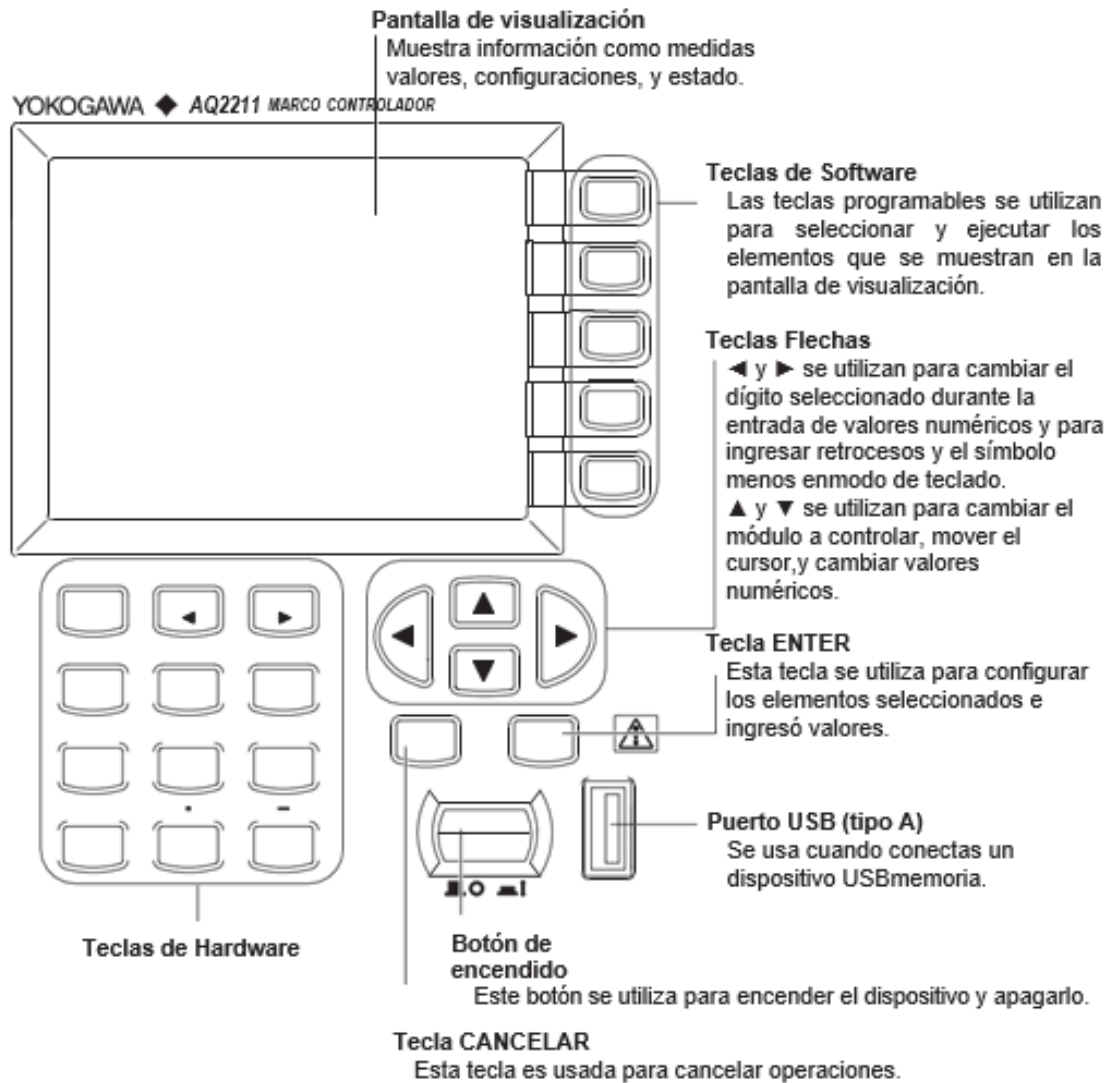


Figura 48. Partes de la pantalla de visualización y teclados. Fuente: [17].

Las teclas de software sirven para seleccionar y ejecutar opciones dentro de una interfaz. Son cinco teclas agrupadas en columna en la parte derecha de la pantalla de visualización. Las teclas de Hardware funcionan como teclado de acceso a las configuraciones de los módulos instalados en el controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2211 y como teclado numérico.

La tabla 3 muestra las teclas de hardware del controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2200.

Teclas de hardware del controlador de cuadros AQ2200-131	
Keys/Teclas	Descripción
Detail / Detalle	Sirve para acceder a la interfaz de nombre “Detalle” de un módulo instalado en el dispositivo AQ2211, también es tecla del número 7.
Slot ◀ / Ranura ◀	Sirve para cambiar a la anterior interfaz de los módulos instalados. Además, es tecla del número 8.
Slot ▶ / Ranura ▶	Sirve para cambiar el control a la siguiente interfaz de los módulos instalados. Además, es tecla del número 9.
Summary / Resumen	Sirve para acceder a la interfaz de nombre “Resumen”, donde se verá un resumen de cada módulo instalado. También es tecla del número 4.
Hold / Sostener	Sirve para detener La visualización de la interfaz en funcionamiento, si vuelve a pulsar esta tecla u otra tecla dura, la visualización comenzará a actualizarse nuevamente, también es tecla del número 5.
Appli	Sirve para acceder a la interfaz de nombre “Aplicación”, también es tecla del número 6.
File / Archivo	Sirve para acceder a la interfaz de nombre “Lista de archivos”, también es tecla del número 1.
Macro	Sirve para acceder a la interfaz de nombre “Macro”, también es tecla del número 2.
System / Sistema	Sirve para acceder a la interfaz de nombre “Sistema”, también es tecla del número 3.

PRTSC	Sirve para guardar una captura de pantalla en la interfaz de nombre “Archivo”, también es tecla del número 0.
Preset / Preestablecido	Sirve para inicializar los parámetros macro y los módulos instalados al dispositivo, también es tecla de “.”.
Shift / Cambio	Sirve para clave de extensión, también es tecla de “-”.

Tabla 3. Teclas de hardware del controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2200.

Es importante reconocer las interfaces del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211, ya que por medio de ellas podemos acceder a las diferentes aplicaciones, funciones e información que tiene este dispositivo.

Interfaz de Resumen

La interfaz de nombre resumen muestra en la pantalla de visualización toda la información de los módulos instalados en el controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2211, la interfaz se organiza en tres partes, debido a que es la cantidad máxima de módulos que se puede instalar en el controlador de cuadros. Tiene las opciones de ver los parámetros principales, confírmalos y cambiarlos. Mientras se está en esta interfaz, el fondo de color azul muestra el módulo actual, el cual puede ser configurado, el fondo de color azul claro muestra el parámetro actual del módulo que se está examinando. El fondo de color gris muestra una etiqueta de nombre “Sin Modulo”, justificando que no hay modulo instalado.

La figura 49 muestra la interfaz de resumen.

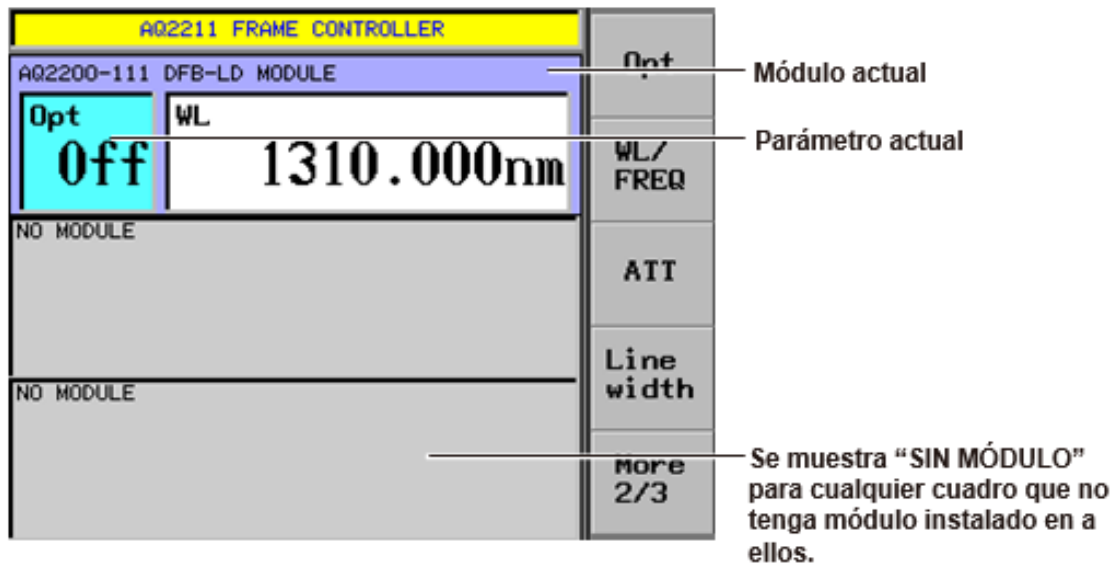


Figura 49. Partes de la interfaz de resumen. Fuente: [17].

Interfaz de detalle

La interfaz de nombre detalle muestra los detalles del módulo seleccionado, se puede ver, confirmar operaciones y cambiar todos los parámetros de un módulo. En la parte superior de la pantalla de visualización se pueden ver tres pestañas las cuales son las interfaces de los módulos instalados. Puedes cambiar de pestañas (interfaces) con la tecla de hardware de nombre “Ranura ◀” para cambiar a la pestaña anterior (modulo anterior), o la tecla de hardware de nombre “Ranura ▶” para cambiar a la siguiente pestana (siguiente modulo).

La figura 50 muestra la interfaz de detalle.

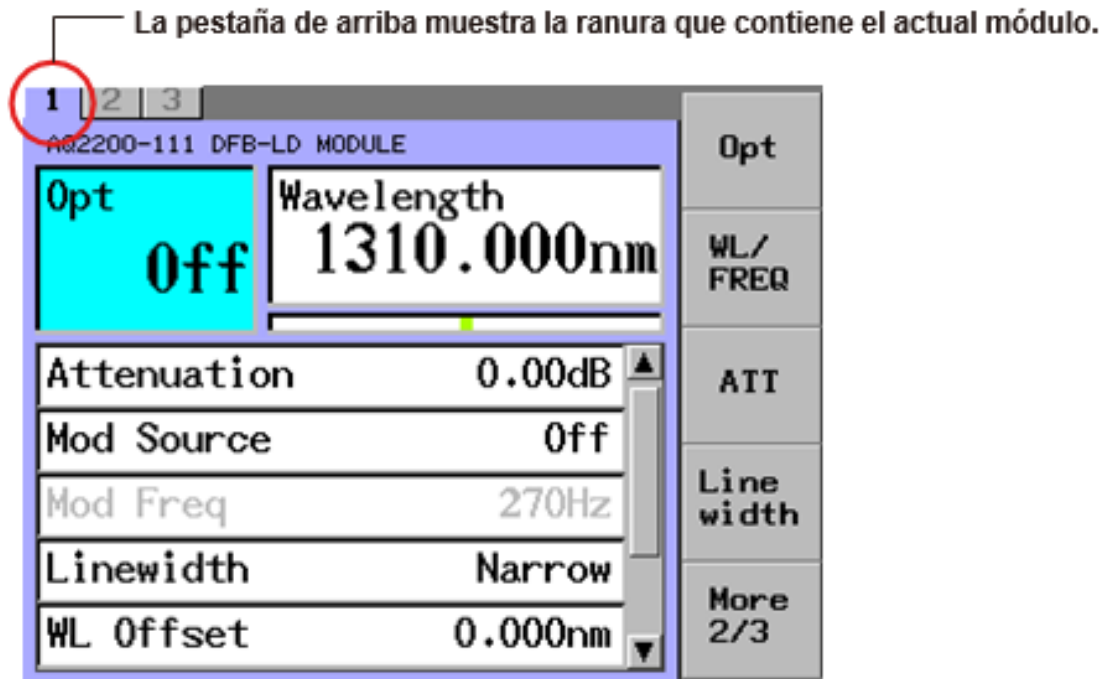


Figura 50. Partes de la interfaz de detalle. Fuente: [17].

¿Qué es un Módulo AQ2200-131 fuente de luz Sintonizable?

El módulo serie AQ2200 es una fuente de luz Sintonizable, dispositivo que tiene la propiedad de generar luz láser. Tiene un puerto de salida FC (Conector Ferrule). Esta defino por IEC 60825-1:2007, **SEGURIDAD DE PRODUCTOS LÁSER — Parte 1: Clasificación de equipos**, como una fuente de luz laser Clase 1M, la cual, al momento de utilizar un instrumento óptico, como por ejemplo una lupa o microscopio para observar el rayo láser generado por este dispositivo a una distancia menores a 100 mm puede causar heridas al ojo. Prohíbe el uso usuarios de binoculares o telescopios. Puede cuásar quemaduras si se expone la piel cerca de abertura salida laser. El módulo YOKOGAWA AQ2200-131 funciona en bandas de comunicaciones ópticas tipo banda - C (convencional) con un rango de longitud de onda 1530-1565[nm] y tipo banda-L (larga) con un rango de 1565-1625[nm].

La tabla 4 muestra las características principales del módulo YOKOGAWA AQ2200-131.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE YOKOGAWA AQ2200-131		
Elementos		Especificaciones
Números de canal	Banda C	1
	Banda L	
Rango de frecuencia [THz]	Banda C	196.25 a 191.50 (1527.60 nm to 1565.50 nm)
	Banda L	190.95 a 186.35 (1570.01 nm to 1608.76 nm)
Espacio entre canales [GHz]	Banda C	100, 50, 25, Manual (min. 0.1)
	Banda L	
Precisión de frecuencia absoluta [GHz]	Banda C	±2.5
	Banda L	
Tiempo de sintonización de frecuencia [s]	Banda C	30 segundos o menos
	Banda L	
Estabilidad de frecuencia en 24 horas [dB]	Banda C	±0.03
	Banda L	
Nivel de salida óptica [dBm]	Banda C	≥ +12.5
	Banda L	
Rango de atenuación [dB]	Banda C	6
	Banda L	
Puerto óptico	Banda C	Seleccionar entre FC/PC o FC/Angular PC
	Banda L	
Peso [kg]		0.8
Clase del laser	Banda C	Class 1M
	Banda L	

Tabla 4. Características principales del módulo YOKOGAWA AQ2200-131.

El módulo YOKOGAWA AQ2200-131, se tiene que ser instalado en controlador de cuadros AQ2211 para su funcionamiento. Tiene la propiedad de generar luz laser.

La figura 51 muestra la parte frontal del módulo AQ2200-131



Figura 51. Parte frontal del módulo AQ2200-131. Fuente: [17]

La figura 52 muestra la parte lateral del módulo AQ2200-131:



Figura 52. Parte lateral del módulo AQ2200-131. Fuente: [17]

La figura 53 muestra las partes de modulo AQ200-131 TSL.

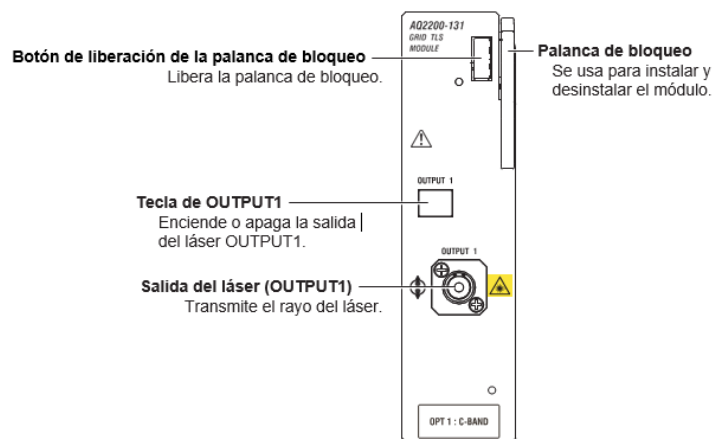


Figura 53. Partes del módulo AQ2200-131 TSL. Fuente: [17]

El módulo AQ2200 – 131 tiene un puerto FC (Conector Ferrule) enroscable, sirve para una fija resistencia a movimientos.

La figura 54 muestra el puerto FC.



Figura 54. Puerto FC (Conector Ferrule). Fuente: [17].

La interfaz del módulo AQ2200-131, muestra las opciones de configuración del dispositivo instalado para transmitir el rayo del láser. Las opciones de configuración son las siguientes: canal(es) del módulo, tono de afinación, espacio entre canales, referencia, potencia, atenuación.

Los parámetros de nombre, canal(es) del módulo, espacio de los canales del módulo y referencia, crean la cantidad de canales que se pueden transmitir. La cantidad de canales dependerá del valor que se dé a la referencia. El valor de espacio entre canales es el ancho de banda del canal, el cual está formado por la frecuencia de guarda para no invadir el ancho de banda de un canal adyacente. La frecuencia central es creada automáticamente por la fuente de luz laser. La potencia de transmisión dependerá del valor de atenuación que se le asigne. El tono de afinación sirve para afinar el valor de la frecuencia.

La figura 55 muestra las primeras opciones de configuración de la fuente de luz (módulo AQ2200-131).

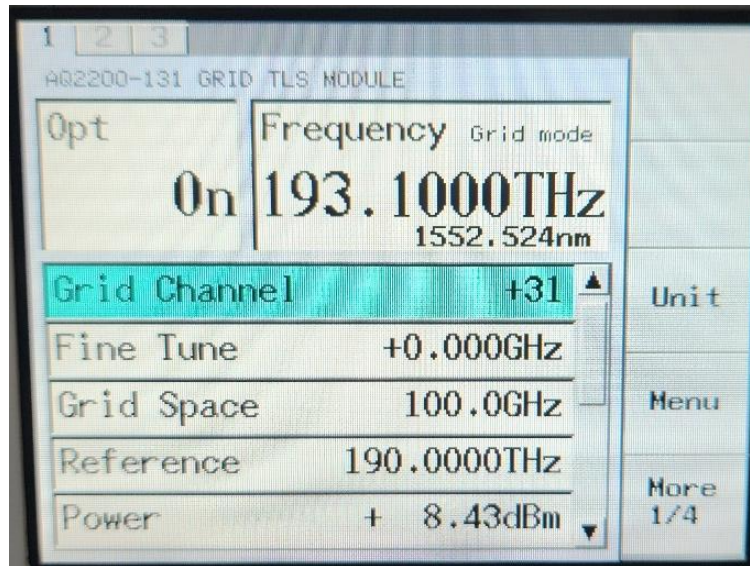


Figura 55. Primeras opciones de configuración de la fuente de luz. Fuente: [17].

La figura 56 muestra las ultimas opciones de configuración de la fuente de luz (módulo AQ2200-131).

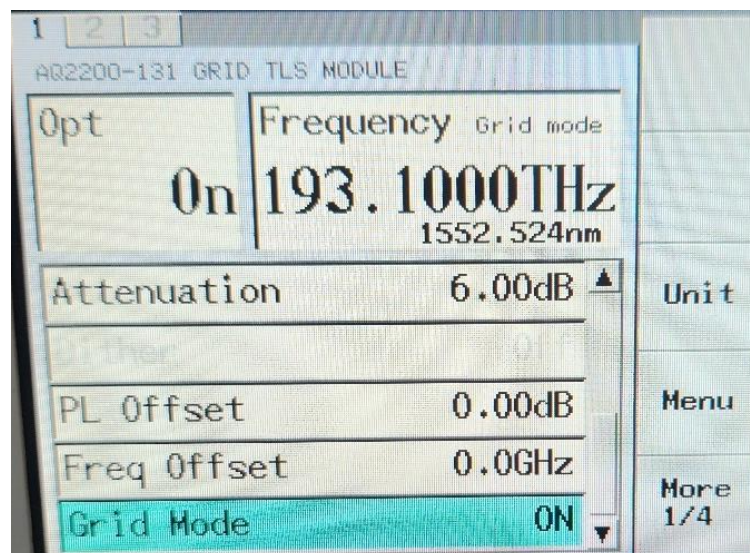


Figura 56. Ultimas opciones de configuración de la fuente de luz. Fuente: [17].

¿Qué es un Reflectómetro en el Dominio del Tiempo Óptico?

El OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico) es una herramienta para la instalación y mantenimiento de un sistema de comunicación óptico. Calcular por medio de un rayo láser las discontinuidades en un medio óptico, como, por ejemplo, pérdidas por empalme, reflexión de retorno, además de calcular la distancia del medio. Crea una gráfica de pérdidas de potencia sobre distancia, donde localiza los eventos que se desarrollan en un medio óptico. Los dispositivos modernos pueden crear un diagrama de bloques de todos los eventos que se llega a detectar en el trayecto, los cuales pueden ser eventos de empalmes, conectores, curvaturas, etc. [5].

La figura 57 muestra el diagrama de bloques de un reflectómetro en el dominio del tiempo Óptico.

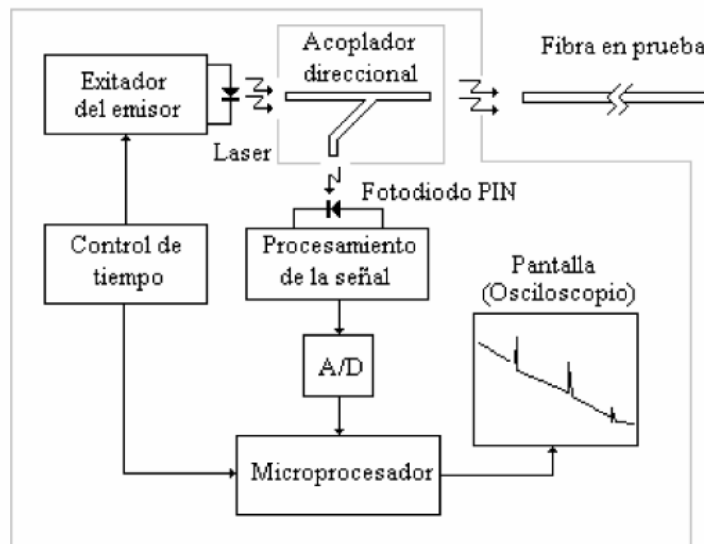


Figura 57. Diagrama de bloques de un OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico). Fuente: [8]

La figura 58 muestra los eventos más comunes que puede localizar un reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

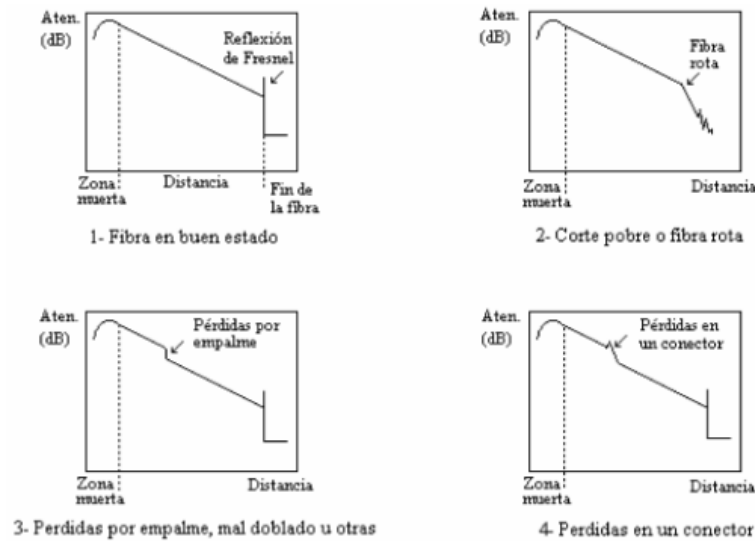


Figura 58. Eventos más comunes que puede localizar un OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico). Fuente: [8]

La figura 59 muestra la gráfica perdida vs longitud de genera un reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

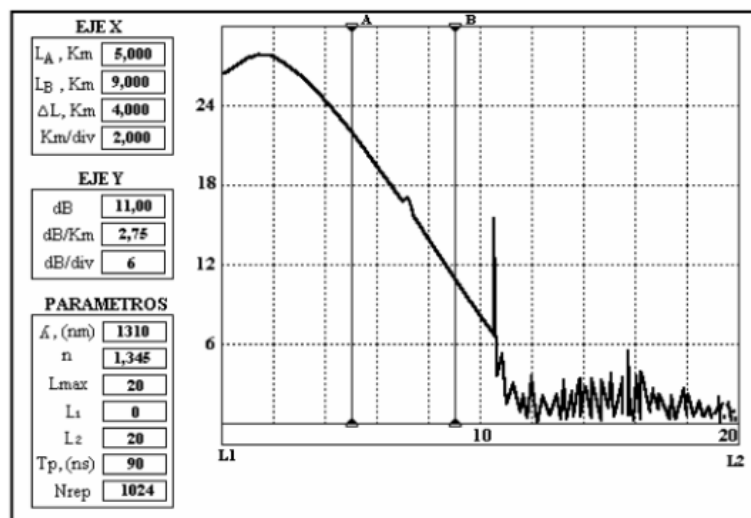


Figura 59. Gráfica perdida vs longitud de genera un OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico). Fuente: [8]

El reflectómetro en el dominio del tiempo óptico mide potencias muy altas, esto es por el desarrollo reflexiones de retorno a la fuente, ver figura 18. Este fenómeno suele crearse en el conector ya que puede ingresar una cierta cantidad de aire dentro de la fibra.

Existen dos tipos de zonas muestras, la primero es la zona muerta de evento, es la distancia en la gráfica en la que no se puede distinguir los eventos de conexiones consecutivos. Empieza desde el primer evento detectado por el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico hasta -1.5 [dB] desde el valor máximo de reflexión.

La figura 60 muestra la zona muestra por evento.

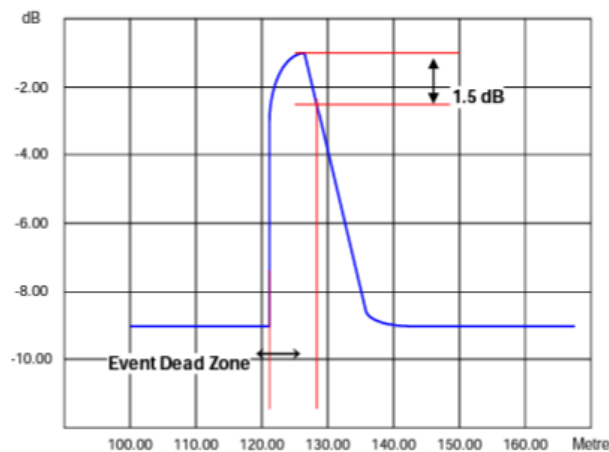


Figura 60. Zona muestra por evento. Fuente: [19].

Si la distancia entre dos eventos de conexión es más corta que la zona muestra de atenuación. Pero es más largo que la zona muerta de evento el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico mostrara dos reflexiones combinadas.

La figura 61 muestra reflexiones combinadas.

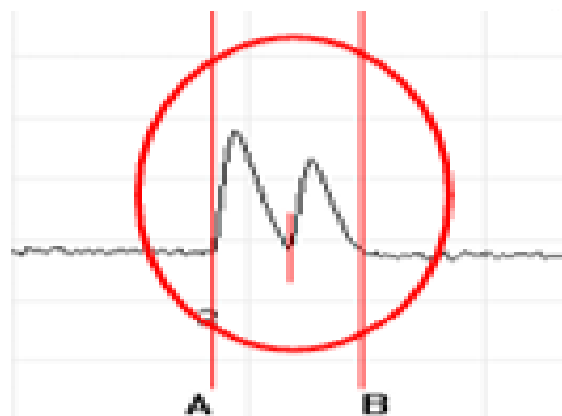


Figura 61. Reflexiones combinadas por distancias cortas de eventos respecto a la zona muestra de atenuación. Fuente: [19].

El segundo es la zona muerta por atenuación. Es la distancia mínima de detección para medir un evento consecutivo no reflectante como por ejemplo un empalme. Tiene un valor de 0.5 [dB], se localiza en el borde final de la reflexión [11].

La figura 62 muestra la zona muerta por atenuación.

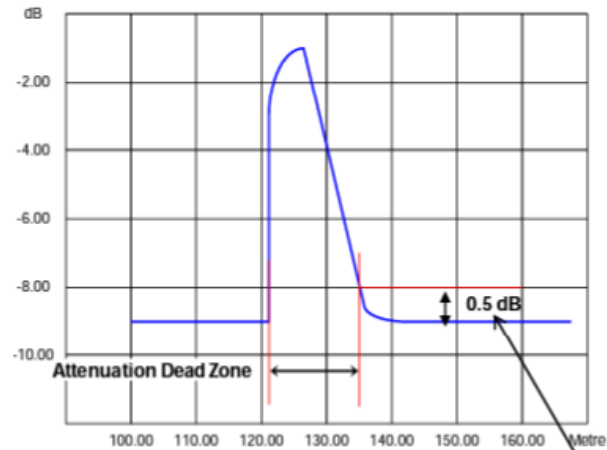


Figura 62. Zona muerta por atenuación. Fuente: [19].

Si los eventos de par de conectores están dentro de la zona muestra de eventos y un empalme está en una distancia corta no se logrará detectar la atenuación. Por ejemplo, se podrá detectar eventos de empalmes si están en distancias largas.

La figura 63 muestra la zona muerta de atenuación antes y después de un evento de empalme.

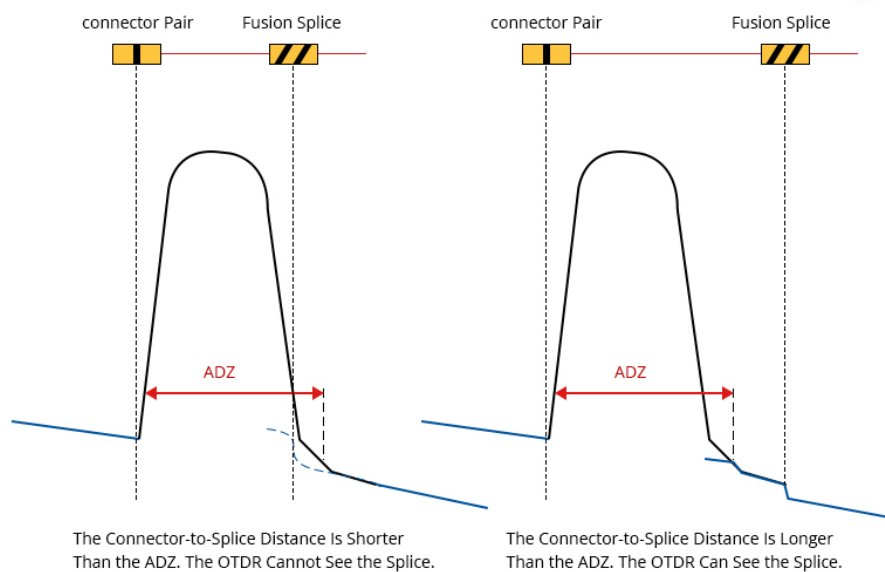


Figura 63. Atenuación por empalme antes y después de la zona muestra por atenuación. Fuente: [19].

Para poder medir la pérdida es necesario adaptar el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico a las características del medio óptico, los parámetros que se configuran para la adaptación son, rango de la distancia del medio, ancho de pulso, duración promedio de las medidas.

La tabla 5 muestra la tabla de posibles configuraciones de los parámetros del reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

Distancia Medida	Ancho del pulso / Tiempo
menos que 1.5 [km]	5 [ns]/30 [s] o 10 [ns]/15 [s]
1.5 a 5 [km]	10 [ns]/30 [s] o 30 [ns]/15 [s]
5 a 10 [km]	10 [ns]/45 [s] o 30 [ns]/30 [s]
10 a 20 [km]	30 [ns]/45 [s] o 100 [ns]/30 [s]
20 a 40 [km]	100 [ns]/60 [s] o 275 [ns]/45 [s]
40 a 80 [km]	275 [ns]/90 [s] o 1 [ns]/60 [s]
80 a 120 [km]	1 [ns]/90 [s] o 2.5 [ns]/60 [s]
120 a 160 [km]	2.5 [ns]/120 [s] o 10 [ns]/90 [s]
160 a 200 [km]	10 [ns]/120 [s] o 20 [ns]/90 [s]
200 a 260 [km]	20 [ns]/120 [s]

Tabla 5. Tabla de configuración del ODTR (Reflectómetro en el Dominio del Tiempo Óptico).

El reflectómetro en el dominio del tiempo óptico YOKOGAWA AQ7280 OTDR. Sirve para medir las pérdidas de un medio óptico, la potencia recibida, realiza los gráficos de las zonas muertas de evento y atenuación.

La tabla 6 muestra las características principales del dispositivo.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL AQ7280 OTDR		
Elementos		Especificaciones
Funciones OTDR	Unidad de distancia	Metros, Kilómetros, millas, Kilofaradios.
	Mediciones	Distancias, pérdidas, pérdidas por retorno, sección de las pérdidas de retorno.
Condiciones ambientales	Tiempo de carga de la batería [°C]	-10 a 50
	Humedad [°C]	-20 a 60
	Altitud [m]	4000
Voltaje requerido [VAC], [Hz]		100 a 240, 50/60
Batería	Tipo	Lithium-oin
	Tiempo de funcionamiento [hrs]	15 horas
	Tiempo de carga [hrs]	6 horas
Peso [kg]		2.2

Tabla 6. Características principales de YOKOGAWA AQ7280 OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico).

Las configuraciones más comunes son la ventana de trabajo [nm], la distancia del medio óptico [m], el ancho de pulso [ns] y el tiempo de duración de la medición [s]. Todos estos parámetros se configuran teniendo en cuenta las características del medio óptico que se quiera medir las pérdidas.

La figura 64 muestra la parte frontal de YOKOGAWA AQ7280 ODTR.



Figura 64. Parte frontal de YOKOGAWA AQ7280 ODTR (Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico). Fuente: [18].

La figura 65 muestra las dimensiones del YOKOGAWA AQ7280 ODTR en [mm].

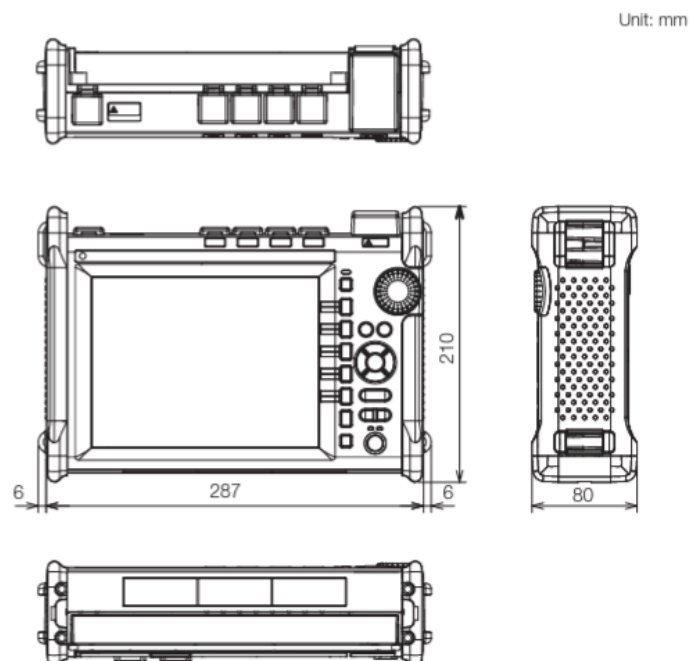


Figura 65. Dimensiones del YOKOGAWA AQ7280 ODTR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico). Fuente: [18].

El YOKOGAWA AQ7283E se encarga de emitir una luz laser para poder medir las perdidas en medio óptico. Se encuentra ubicado en la parte posterior del YOKOGAWA AQ7280 OTDR.

La figura 66 muestra la parte posterior del YOKOGAWA AQ7280 OTDR donde está ubicado el YOKOGAWA AQ7283E.



Figura 66. Parte posterior del YOKOGAWA AQ7280 OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico) donde está ubicado el YOKOGAWA AQ7283E. Fuente: [18].

La tabla 7 muestra las características principales de YOKOGAWA AQ7283E.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL AQ7283E OTDR	
Elementos	Especificaciones
Longitud de onda (nm)	1310 \pm 25/1550 \pm 25, 1625 \pm 10
Cantidad de puertos ópticos	2 (Puerto #2: 1625 nm)
Fibra óptica	SM
Rango de distancia (m)	0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 400, 512
Ancho de pulso (ns)	3, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000
Zona muerta de eventos	0.6
Zona muerta de atenuación	3.5/4, 4
Rango dinámico	42/40, 40

Precisión de medición de pérdidas (dB/dB)	± 0.03
Precisión de medición de pérdidas de retorno (dB)	± 2 Db
Conector Óptico	Adaptador universal SC, FC, LC y SC angulado para PC
Clase de laser	Clase 1M o 1
Peso (g)	420

Tabla 7. Características principales de YOKOGAWA AQ7283E.

La figura 67 muestra las partes del YOKOGAWA AQ7280 OTDR.

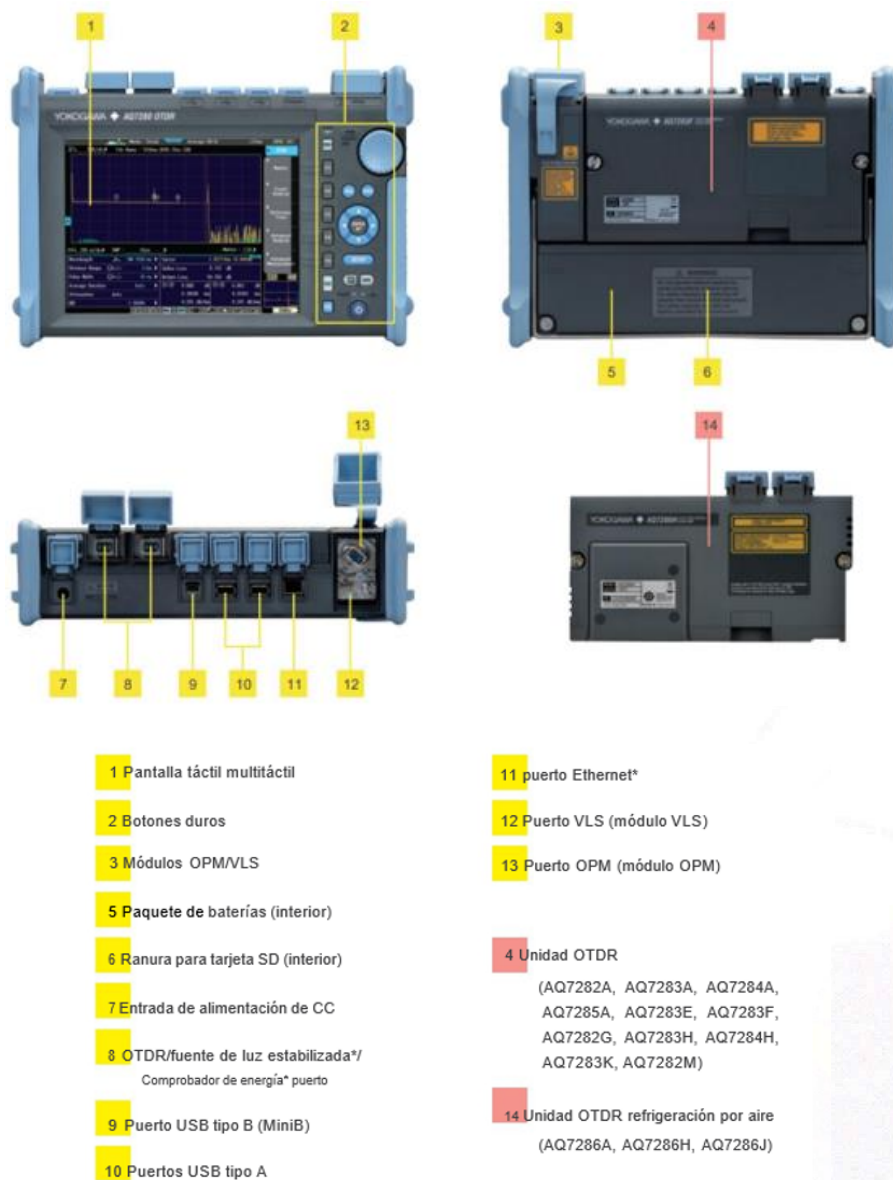


Figura 67. Partes del YOKOGAWA AQ7280 OTDR (Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico. Fuente: [18].

¿Qué es un medidor de potencia de fibra óptica?

El OPM (Optical power meter - Medidor de potencia óptica), es un dispositivo electrónico o un software que se usa para medir la potencia y la pérdida de un sistema de comunicación. OPM está creado por fotodiodos los cuales desarrolla una corriente eléctrica que incrementa o disminuye con los valores de potencia óptica recibidos, lo que da como resultado el valor de potencia de recepción de un sistema de comunicación óptico. Un medidor de potencia óptica funciona mediante el uso de ventanas de trabajo que dependiendo de la longitud de onda con la que se esté transmitiendo medirá la potencia óptica recibida.

La figura 68 muestra el diagrama de bloques de un medidor de potencia óptica.

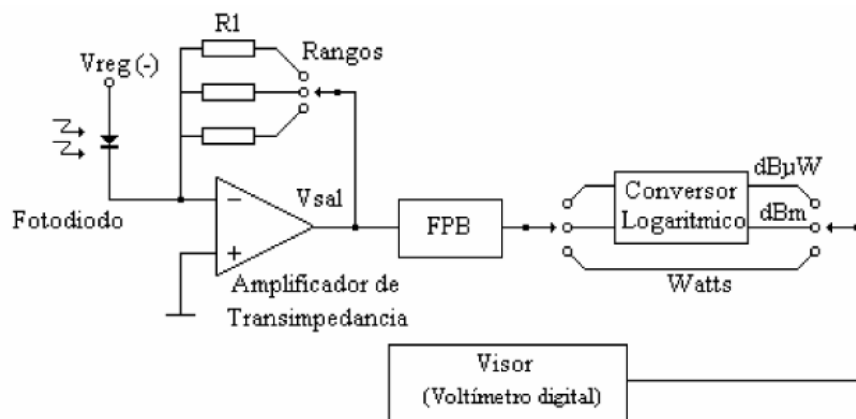


Figura 68. Diagrama de bloques de un OPM (Optical power meter - Medidor de potencia óptica). Fuente: [8].

La aplicación de medición de potencia óptica del OTDR YOKOGAWA AQ2780 puede configurar las ventanas de mediciones. Además de medir las potencias recibida de un medio óptico de largas distancia.

La figura 69 muestra la interfaz del Medidor de potencia óptica.

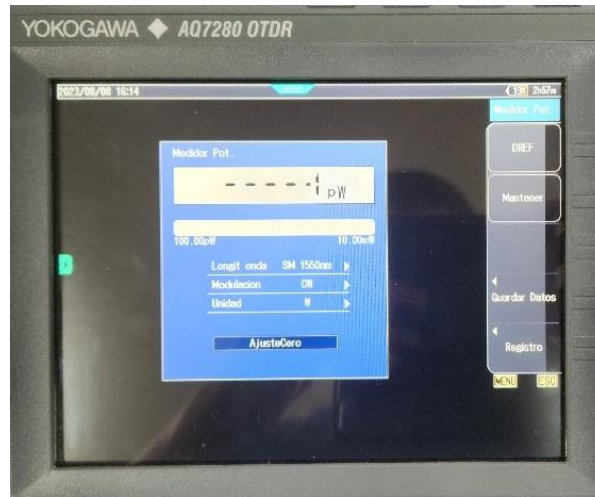


Figura 69. Interfaz del OPM (Optical power meter - Medidor de potencia óptica). Fuente: [18].

IX. METODOLOGÍA

Se realizó cinco prácticas para el diseño de un manual de prácticas para laboratorio de comunicaciones ópticas utilizando el sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211.

Mediante dispositivos transmisores, medios y receptores, se crearon sistemas de comunicaciones ópticos de 3 [km] y 20 [km] para medir las pérdidas del medio óptico como la potencia del sistema. Explicados en los siguientes pasos.

1. Pasos para medir las pérdidas desarrolladas en 3 [km] de fibra óptica mono modo de tres cables de lanzamiento de 1km usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

Conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3 [m] al puerto de nombre 'OTDR fuente de luz estabilizada' del AQ2783E. Ver la figura 67.

La figura 70 muestra la conexión de un extremo de fibra óptica mono modo en el puerto de nombre 'OTDR fuente de luz estabilizada'.



Figura 70. Conexión de un extremo de fibra óptica mono modo al puerto de nombre 'OTDR fuente de luz estabilizada'. Fuente: [8] [18].

Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo al obturador del primer adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor), ver figura 32. Después, conectar la entrada del primer cable de lanzamiento. Ver figura 35. Al mismo adaptador.

Luego, conectar la salida del cable de lanzamiento al obturador del segundo adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC- SC/UPC (Suscriptor Connector with ultra physical contact splint on both sides - Conector Suscriptor con férula contacto ultra físico en ambos lados) de 3 [m] al mismo obturador.

La figura 71 muestra 1 [km] cable de lanzamiento y sus conexiones.



Figura 71. 1km cable de lanzamiento OTDR (Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico) y sus conexiones. Fuente: [8].

Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo al obturador del tercer adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después, conectar la entrada del segundo cable de lanzamiento al otro lado del mismo adaptador.

Luego, conectar la salida del cable de lanzamiento al obturador del cuarto adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC- SC/UPC (Suscriptor Connector with ultra physical contact splint on both sides - Conector Suscriptor con férula contacto ultra físico en ambos lados) de 3 [m] al mismo obturador.

La figura 72 muestra 2 [km] cable de lanzamiento y sus conexiones.



Figura 72. 2 [km] cable de lanzamiento OTDR (Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico) y sus conexiones. Fuente: [8].

Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo al quinto adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después, conectar la entrada del tercer cable de lanzamiento OTDR al mismo adaptador.

Luego, conectar la salida del cable de lanzamiento al obturador del sexto adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3 [m] al mismo adaptador

La figura 73 muestra 3 [km] cable de lanzamiento y sus conexiones.



Figura 73. 3km cable de lanzamiento OTDR (Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico) y sus conexiones. Fuente: [8].

Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo de 3 [m] a un dispositivo puesto a prueba para terminar con el medio óptico. Para finalizar, realizar un registro de pérdidas de potencia [dB] en diez instalaciones del medio de 3 [km] usando el Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico).

2. Pasos para medir la potencia recibida generada por el controlador de cuadros AQ2200 en tres cables de lanzamiento de 1 [km] usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

Ubicar el controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2211. Ver figura 40. En un lugar seguro. Instalar el módulo YOKOGAWA AQ2200-131, ver figura 51.

La figura 74 muestra la instalación del módulo en el controlador de cuadros.



*Figura 74. Instalación del YOKOGAWA módulo AQ2200-131 en el controlador de cuadros.
Fuente: [17].*

Encender el dispositivo el AQ2211 aplastando el botón de encendido.

Al medio óptico ya creado de la primera práctica. Ver figura 73. Conectar al primer adaptador SC ya instalado en la entrada del medio óptico de 3 [km], al extremo SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact - Conector suscriptor/Contacto ultra físico) de una fibra óptica mono modo de 3 [m].

Luego, conectar el extremo FC/UPC (Ferrule Connector/ Ultra physical contact - Conector Ferrule/Contacto ultra físico) de la fibra óptica mono modo de 3 [m] al puerto FC (Ferrule Connector/Conector Ferrule) del módulo AQ2200-131, ver figura 51.

La figura 75 muestra la instalación de la fibra óptica mono modo al puerto FC (Ferrule Connector/Conector Ferrule) del módulo AQ2200-131.



Figura 75. Instalación de la fibra óptica mono modo al puerto FC (Ferrule Connector/Conector Ferrule) del módulo YOKOGAWA AQ2200-131. Fuente: [8] [17].

Conectar al último adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor) ya instalado en la salida del medio óptico de 3 [km], el extremo de una fibra óptica mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3 [m].

Conectar el otro extremo de la fibra óptica mono modo de 3 [m], al puerto de nombre 'OPM' del AQ7280, ver figura 67.

La figura 76 muestra la conexión de la fibra óptica mono modo de 3 [m] en el AQ7280.



Figura 76. Conexión de la fibra óptica mono modo de 3[m] al puerto de nombre 'OPM' del AQ7280E. Fuente: [8] [18].

Verificar que el conector de cierre interno A1288JA este enchufado en el puerto de interbloqueo

remoto del AQ2211 para desbloquear la fuente de luz laser, ver figura 45.

Ir a la interfaz de nombre resumen, ver figura 49. Encender el módulo AQ2200-131.

Para finalizar, Verificar que el módulo OPM AQ7280 este recibiendo la potencia de recepción.

Realizar el registro de diez instalaciones del sistema óptico 3 [km].

La figura 77 muestra la interfaz módulo AQ7280 OPM en funcionamiento.



Figura 77. Interfaz módulo AQ7280 OPM en funcionamiento. Fuente: [18].

La figura 78 muestra el sistema óptico de 3 [km] de cable de lanzamiento de 1 [km].



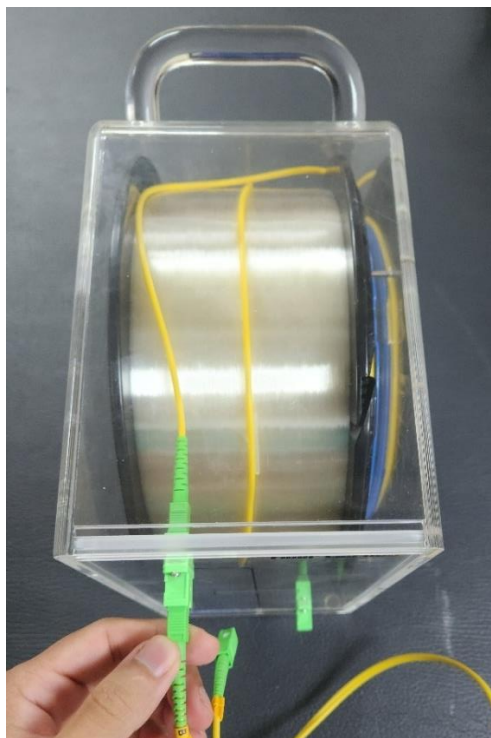
Figura 78. Sistema óptico de 3 [km] de cables de lanzamiento de 1 [km]. Fuente: [8] [18].

3. Pasos para medir las pérdidas desarrolladas por el medio óptico Fiber Lab 800 de 20 [km] de fibra mono modo usando el Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

Conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3 [m] al puerto de nombre 'OTDR fuente de luz estabilizada' del AQ7280E. Ver la figura 67.

Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo de 3 [m] al obturador del primer adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después, conectar la entrada de un cable de lanzamiento al mismo adaptador. Luego, conectar la salida del cable de lanzamiento al obturador del segundo adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC-SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3 [m] al mismo adaptador. Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo de 3 [m] a la entrada del fiber lab 800, ver la figura 36.

La figura 79 muestra a la entrada del embobinado Fiber Lab 800.



*Figura 79. conexión del conector SC al puerto de entrada del embobinado Fiber Lab 800.
Fuente: [8].*

Conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3 [m] a la salida del fiber lab 800. Después, conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo de 3 [m] a un dispositivo puesto a prueba.

Para finalizar, realizar un registro de diez instalaciones del medio óptico de 20 [km] usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico para medir las pérdidas. Realizar cinco registros con el cable de lanzamiento y cinco registros solo con la fiber lab 800.

4. Pasos para medir la potencia recibida generada por el controlador de cuadros AQ2200 en el medio óptico Fiber Lab 800 de 20 [km] de fibra mono modo usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

A continuación. Ubicar el controlador de cuadros AQ2211 en un lugar donde se pueda realizar la práctica. Instalar el módulo AQ2200-131.

Encender el dispositivo AQ2211. Conectar el extremo FC/UPC de una fibra óptica mono modo de 3 [m], al puerto FC del módulo AQ2200-131.

Conectar el otro extremo SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact - Conector Suscriptor/ Contacto ultra físico) de la fibra óptica mono modo de 3 [m] al primer adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después, conectar la entrada del cable de lanzamiento de 1 [km] al mismo adaptador. Luego, conectar la salida del cable de lanzamiento al segundo adaptador SC. Después conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC – SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3[m], al mismo adaptador. Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo de 3 [m] a la entrada del fiber lab 800. Conectar la salida del fiber lab 800 a una fibra mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) al puerto de nombre ‘OPM’ del módulo AQ7280. Encender el módulo.

Verificar que el conector de cierre interno A1288JA este enchufado en el puerto de interbloqueo remoto del controlador de cuadros AQ2211 para desbloquear la fuente de luz laser

Encender la fuente de luz laser. Verificar que el módulo de nombre OPM AQ7280 este midiendo potencia. Para finalizar, realizar un registro de diez instalaciones del sistema óptico de 20 [km].

La figura 80 muestra el sistema óptico de 20 [km] con el fiber lab 800.

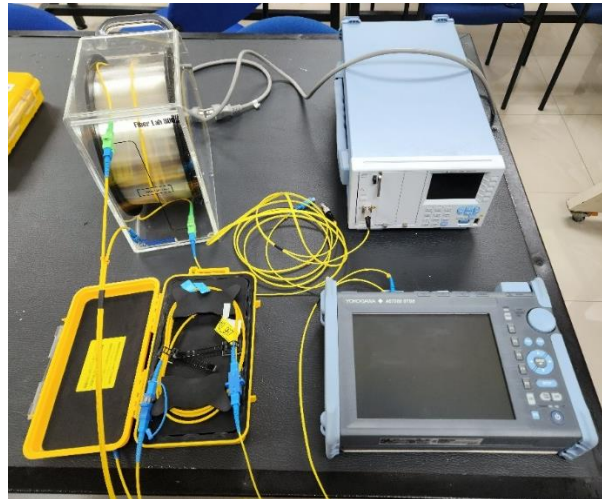


Figura 80. Sistema óptico de 20 [km] con el fiber lab 800. Fuente: [8] [17] [18].

5. Pasos para medir las pérdidas y potencia de una red de distribución óptica

La figura 81 muestra la conexión la fuente de luz AQ2200-131, en la fiber lab 800.



Figura 81. Conectar la fuente de luz AQ2200-131 con la fiber lab 800. Fuente: [8] [17].

Luego, conectar el fiber lab 800 con un cable de 3 [m] de fibra óptica mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) a un adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor) del ODF 1 (Optical Distribution Frame 1 - Distribuidor de fibra óptica 1) de la red del laboratorio de comunicaciones ópticas.

La figura 82 muestra la conexión de la fibra mono modo al de ODF 1 (Optical Distribution Frame 1 - Distribuidor de fibra óptica 1).

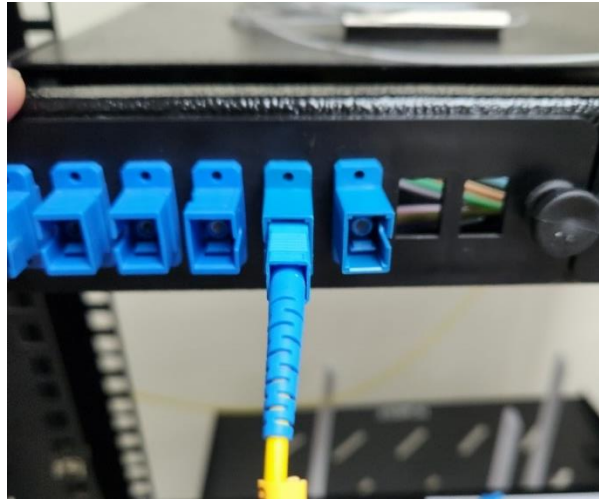


Figura 82. Conexión de la fibra mono modo al de ODF 1 (Optical Distribution Frame 1 - Distribuidor de fibra óptica 1). Fuente: [8].

El ODF 1 (Optical Distribution Frame 1 - Distribuidor de fibra óptica 1) por medio del hilo de color naranja del cable ASDD llega a la NAP 1 (Network access point - Caja de distribución óptica 1) luego llega a la manga de empalmes, después llega a la NAP 2 (Network access point - Caja de distribución óptica 2), finaliza en el ODF 2 (Optical Distribution Frame 2 - Distribuidor de fibra óptica 2) creando la red de distribución óptica. Ver figura 37, 38.

La figura 83 muestra la red de distribución óptica.



Figura 83. Red ODN (Optical distribution network – Red de distribución óptica).

Conectar al puerto de nombre 'OPM' del AQ7280, con una fibra óptica mono modo (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3[m] al adaptador SC del mismo hilo color naranja proveniente del ODF 1 (Optical Distribution Frame 1 - Distribuidor de fibra óptica 1) para registrar la potencia de salida de toda red. Para finalizar realizar el registro utilizando un divisor óptico.

X. RESULTADOS

1. Cálculos para que un rayo de luz se propague en una fibra óptica mono modo.

Para calcular las características principales de fibra óptica mono modo para que se produzca la propagación de luz, se tiene que saber los siguientes valores. Velocidad de la luz en un espacio 3×10^8 , velocidad de la luz en núcleo de la fibra hecha de dióxido de silicio (SiO_2) 2.04×10^8 , velocidad de luz en el revestimiento hecho de dióxido de silicio combinado con otros materiales 2.06×10^8 .

Usando la ecuación 3, se obtuvo un resultado de 1.4571 para el índice de refracción del núcleo y 1.4511 para el índice de refracción del revestimiento.

Una vez obtenido los valores de índices de refracción del medio óptico se puede calcular los parámetros lo que hace que un rayo de luz se propague por el núcleo de la fibra óptica.

Mediante la ecuación 12 se obtuvo el número de apertura con un resultado de 0.132. Usando la ecuación 13 se obtuve el ángulo de apertura de 7.5° .

La frecuencia normalizada sirve para calcular el número de modos que se propagan en una fibra óptica utilizada en la práctica. Usando la ecuación 14 se obtuvo un resultado de 1.23. Después, para calcular el número de modos, se usa la ecuación 15 de índice escalonado, se obtuvo un resultado de 0.75 aproximadamente 1 lo que resulta en un modo de propagación coincidiendo con el tipo de fibra óptica que se utilizó, 'mono modo'.

Es necesario saber la cantidad de luz reflejada al momento de interactuar con el aire, ver figura 18. Para eso se utilizó la ecuación de reflexión Fresnel lo que dio como resultado 3.46% de luz reflejada. Este fenómeno se desarrolla en todas las conexiones nombrada zona muestra de evento, ver figura 60.

Para saber la reflexión total interna, ver figura 8. Se utilizó la figura 10 como problema para la práctica. Mediante la ecuación 2 necesitamos que el rayo de luz que se refleja en la frontera del núcleo y revestimiento tiene que ser de 90° como ángulo crítico respecto a la normal para que se refleje totalmente. Sabemos que el seno de 90° es igual 1. Usando la ley de Snell se obtuvo que el ángulo Θ_C del rayo de luz refractado en la frontera del medio n_0 (aire) y n_1 (núcleo) da como resultado 84.8° . Si en el triángulo rectángulo que se forma por el rayo de luz refractado en la entrada de la fibra óptica, más el ángulo de 90° creado por la normal representada por la reflexión entre la frontera del núcleo y revestimiento, la suma de los tres ángulos tiene que dar 180° , resolviendo la ecuación. El ángulo Θ_R incide en la frontera del núcleo y revestimiento con un resultado de 5.2° siendo este el ángulo de reflexión total interna respecto a la normal. También podemos encontrar al ángulo de apertura numérica con la misma ecuación, donde Θ_A tiene ángulo de 7.5° . coincidiendo con el resultado obtenido con la ecuación 13.

2. Medición de pérdidas en un medio óptico de 3 [km] conectando tres cables de lanzamiento de un 1 [km].

Para medir las partidas en el trayecto del medio óptico de 3 [km] se utilizó el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico, ver metodología 1. Este dispositivo genera un rayo de luz en una ventana de longitud de onda de 1550 [nm] para desarrollar en varios resultados entre ilustraciones, gráficas y tablas reafirmando las pérdidas detectadas.

El dispositivo se lo configuro en un rango de distancia de 5 [km], un ancho de pulso de 20 [ns] y una duración de 1 [m].

Unas de las propiedades más importantes es de ilustrar un mapa que detecta y localiza los eventos desarrollados en el medio óptico. El mapa ilustra cuatro eventos de conexión localizados de los seis realizados, ver figura 74. Esto es debido que el dispositivo en ambos extremos de la fibra óptica no logra detectar las conexiones por 3 [m] de fibra óptica a los dispositivos de transmisión y de recepción. Ya que recibe reflexión de retorno de zona muerta de evento con distancias altas respecto a las distancias de la fibra óptica en los extremos.

La figura 84 muestra los posibles eventos detectados y localizados por el Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico en el medio óptico de 3 [km].



Figura 84. Eventos detectados y localizados por el OTDR en el medio óptico de 3 [km]. Fuente: [18].

Otra propiedad es crear una gráfica de pérdidas en unidades de 0.5 [dB] en las ordenadas, sobre 500 [m] en las abscisas, donde vemos todas las posibles atenuaciones y las reflexiones de retorno desarrollando picos de potencias en un medio óptico de 3 [km].

La figura 85 muestra una posibles grafica de pérdidas de potencia [dB] del medio óptico de 3 [km].

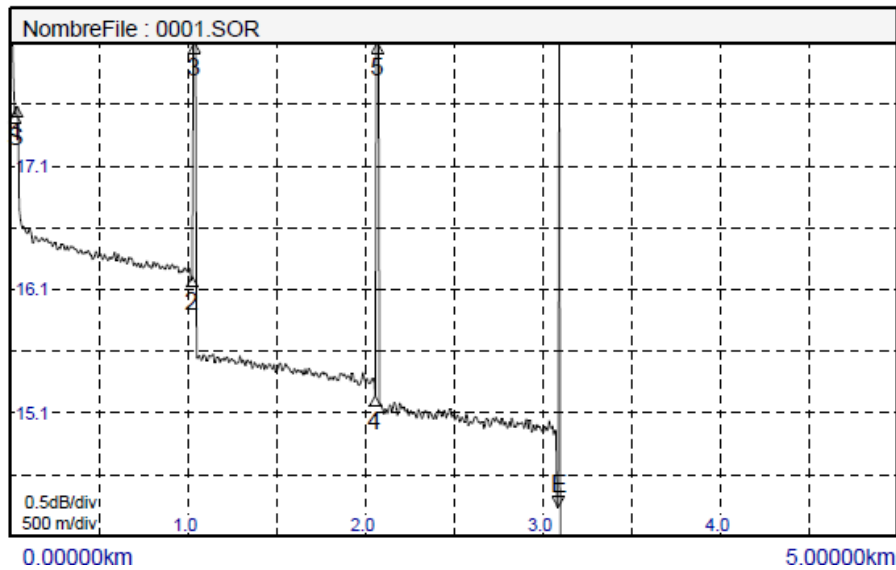


Figura 85. posibles grafica de pérdidas de potencia [dB] del medio óptico de 3 [km]. Fuente: [18].

La última propiedad es en crear una tabla de todas las posibles pérdidas [dB] detectadas en el medio óptico de 3 [km].

La figura 86 muestra una posible tabla de perdidas [dB] creada por el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico en un medio de 3 [km].

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	0.02444		1.274		-0.227	-49.039	□	1.46000
2	1.02443	0.99999	0.613	45.741	1.487	0.439	△	1.46000
3	1.02792	0.00349			1.487		△	1.46000
4	2.05286	1.02494	0.220	46.572	2.345	0.239	△	1.46000
5	2.05666	0.00380			2.345		△	1.46000
E	3.08232	1.02566		30.437	2.756	0.186	△	1.46000

Figura 86. Tabla de perdidas [dB] creada por el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico en un medio de 3 [km]. Fuente: [18].

En la gráfica de pérdidas se pueden analizar los posibles eventos que puede desarrollar un medio óptico de 3 [km]. Si a la gráfica la configuramos a 2 [dB] en las ordenadas y 5 [m] en las abscisas, se podrá ver de mejor manera la combinación de las reflexiones de retorno que se logran detectar, causadas por las conexiones entre una fibra óptica de 3 [m] y los cables de lanzamiento del medio óptico. Se puede ver que la segunda conexión es posible verla ya que la distancia de la zona muerta de evento es menor que la distancia entre las conexiones.

La figura 87 muestra una posible combinación de reflexiones de retorno en el medio óptico de 3 [km] con tres cables de lanzamiento de 1 [km]. El curso rojo muestra la distancia de la primera conexión. El cursor azul muestra el límite de la zona muestra de evento.

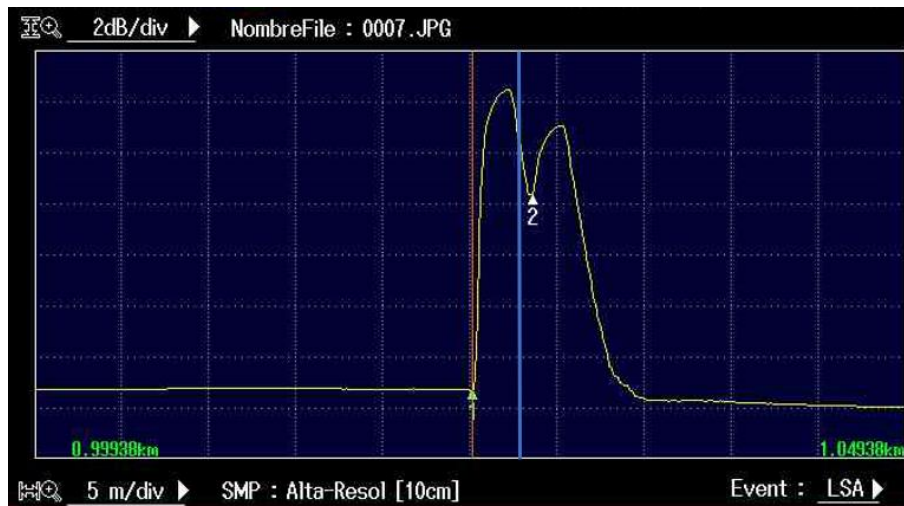


Figura 87. Combinación de reflexiones de retorno en el medio óptico de 3 [km] con tres cables de lanzamiento de 1 [km]. El cursor azul muestra la distancia de la zona muerta de evento.
Fuente: [18].

La figura 88 muestra una posible combinación de reflexiones de retorno en el medio óptico de 3 [km] con tres cables de lanzamiento de 1 [km]. El curso rojo muestra la distancia de la primera conexión. El cursor verde muestra el límite de las zonas muerta de atenuación.

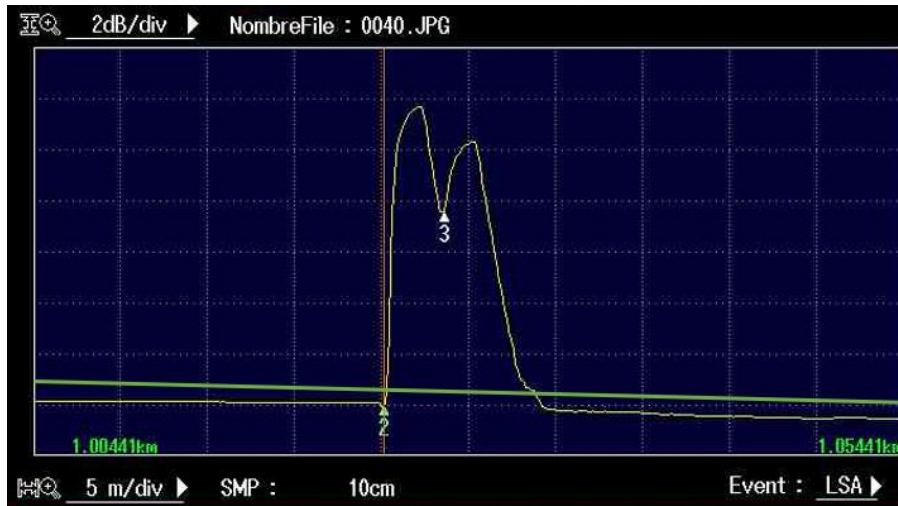


Figura 88. combinación de reflexiones de retorno en el medio óptico de 3 [km] con tres cables de lanzamiento de 1 [km]. El cursor verde muestra el límite de la zona muerta de atenuación.
Fuente: [18].

La tabla 6 muestra el registro de pérdida total de las diez instalaciones con el promedio de la suma de todas ellas. El promedio tiene un resultado de 2.015 [dB] con un porcentaje de potencia recibida de 63.2 %. El promedio la potencia por reflexión de retorno tiene un resultado de 30.740 [dB].

La tabla 8 muestra el registro de las perdidas por el dispositivo de nombre ‘OTDR AQ7280E’.

Número de instalación	Pérdida total [dB]	Potencia recibida [%]	Perdida de retorno por reflexión [dB]
1	-2.56	55.4	30.51
2	-1.61	68.9	30.67
3	-2.51	56.10	31.48
4	-2.54	55.7	30.64
5	-1.64	68.4	30.64
6	-1.63	68.6	30.83
7	-1.61	69	31.06
8	-2.75	53	30.43
9	-1.60	69.1	30.77

10	-1.66	68.2	30.32
Total	-2.01	63.2	30.74

Tabla 8. Registro de las pérdidas por el dispositivo de nombre 'OTDR AQ7280E'.

3. Medir la potencia de recepción en un sistema óptica de 3 [km] conectando tres cables de lanzamiento de un 1 [km].

Medir la potencia de recepción usando el módulo de nombre 'OPM AQ7280' del reflectómetro en el dominio del tiempo óptico. La potencia de transición tiene un valor de 8.77 [mW] generada por el módulo YOKOGAW AQ2200-131 del controlador de cuadros YOKAGAWA AQ2211. Para la práctica se instaló el sistema óptico diez veces. Ver metodología 2.

La tabla 9 muestra el registro de la potencia recibida de las diez instalaciones.

Número de instalación	Potencia de recepción [mW]	Potencia de recepción [dBm]	Pérdida total [dB]	Potencia recibida [%]
1	5.13	7.10	-2.32	58.6
2	5.12	7.09	-2.33	58.5
3	5.13	7.10	-2.32	58.6
4	5.28	7.22	-2.20	60.3
5	5.22	7.17	-2.25	59.6
6	5.17	7.13	-2.29	59
7	5.13	7.10	-2.32	58.6
8	5.31	7.25	-2.17	60.7
9	5.12	7.09	-2.33	58.5
10	5.22	7.17	-2.25	59.6
Total	5.18	7.142	-2.27	59.2

Tabla 9. Registro de la potencia recibida de las 10 instalaciones.

4. Cálculos de las pérdidas usando la tabla de atenuación total en un medio de óptico de 3 [km] usando cables de lanzamiento de 1 [km].

Usando el dato de potencia transmitida del módulo YOKOGAWA AQ2200-131 del controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2211 con valor de 8,77 [mW], más la tabla de atenuación total se encontrará la potencia de recepción del sistema de comunicaciones. De la ecuación 18 no se considera el margen del sistema para tener cálculos reales de atenuación.

La tabla 10 muestra la potencia de recepción y atenuación usando los valores de la tabla de atenuación total en un sistema con una fibra óptica de 3 [km].

	Atenuación del sistema [dB]	Potencia recibida [%]	Potencia de recepción [mW]	Potencia de recepción [dBm]	
Min	-2.91	51.1	4.48	6.51	Las mejores condiciones
Promedio	-3.36	46.1	4.05	6.07	Normal
Max	-4.6	34.7	3.04	4.82	La peor situación

Tabla 10. potencia de recepción y atenuación usando los valores de la tabla de atenuación total en un sistema con una fibra óptica de 3km.

5. Medición de pérdidas en un medio óptico de 20 [km] conectado a un cable de lanzamiento de un 1 [km].

Para medir las pérdidas de potencia en el trayecto de un medio óptico de 3 [km], ver metodología 3. Se utilizó el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico para generar un rayo de luz en una ventana de longitud de onda de 1550 [nm]. La práctica se la determino de dos maneras, el registro A utilizando el cable de lanzamiento de un 1 [km], y el registro B utilizando solo el fiber lab 800. Se realizó un registro de 10 instalaciones del medio óptico.

El dispositivo se lo configuro en un rango de distancia de 30 [km], un ancho de pulso de 100 [ns] y una duración de 1 [m].

El reflectómetro en el dominio del tiempo óptico desarrolla varios resultados entre ilustraciones, gráficas y tablas que reafirman las pérdidas del medio.

Unas de las propiedades más importantes es en ilustrar un mapa que detecta y localiza los eventos desarrollados en el medio óptico de 20 [km]. Algunos eventos pueden ser que no se detecten. Por ejemplo, es posible que para esta metodología los eventos de conexión de 3 [m] de fibra óptica en los extremos del medio óptico no se ilustren en el mapa, esto es por el desarrollo de reflexión de retorno muy grande que tienen zona muerta de evento que puede llegar a su valor máximo y no detectar una conexión en una distancia de 3 [m]. Unos eventos que posiblemente se ilustren en la gráfica es una serie de atenuaciones de la potencia que comienzan a la distancia de la conexión de entrada del fiber lab 800. Otro evento que posiblemente salga en la ilustración es la gráfica de eventos de conexiones después del punto de entrada del fiber lab 800, esto es causada por distorsión de micropartículas dentro de la fibra que a lo mejor ingresaron por los obturadores del fiber lab 800.

La tabla 89 muestra un mapa que detecta y localiza los eventos desarrollados en el medio óptico de 20 [km].

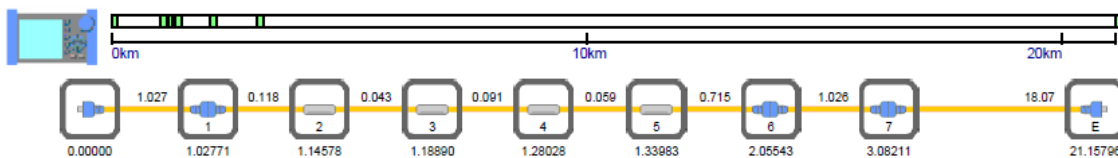


Figura 89. mapa que detecta y localiza los eventos desarrollados en el medio óptico de 20 [km]. Fuente: [18].

Otra propiedad es crear una gráfica de pérdidas de potencia del medio óptico de 20 [km]. La gráfica esta dividida en cuadrícula donde cada una tiene un valor de 2 [dB] en las ordenadas y 2.5 [km] en las abscisas. Se logra ver todas las posibles atenuaciones, más las posibles reflexiones de retorno las cuales desarrollan picos de potencia de valor muy altos.

La figura 90 muestra una posibles grafica de pérdidas de potencia en decibelios del medio óptico de 3 [km].

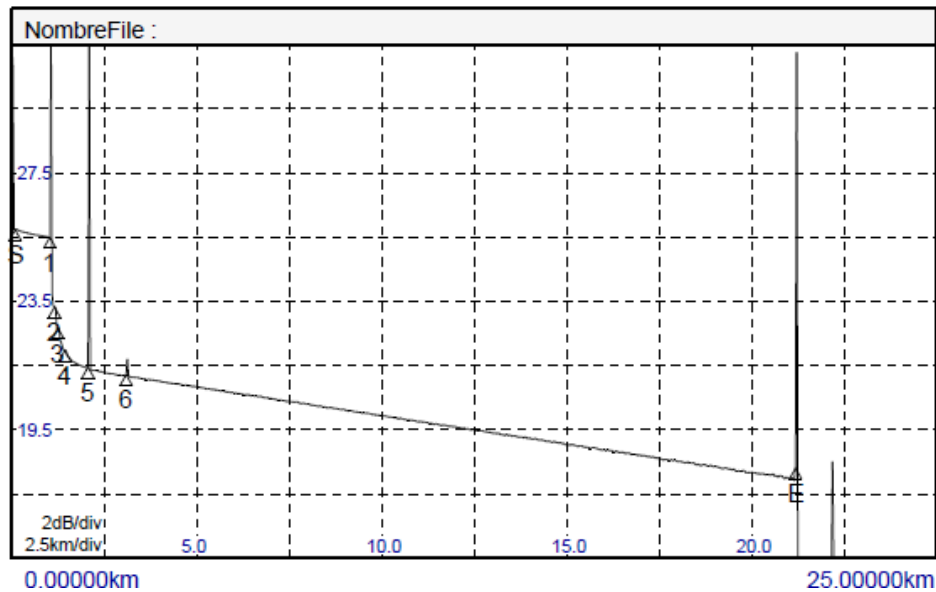


Figura 90. Posibles grafica de pérdidas de potencia [dB] del medio óptico de 3 [km]. Fuente: [18].

La última propiedad es en crear una tabla de todas las posibles pérdidas en decibelios detectadas en el medio óptico de 20 [km].

La figura 91 muestra una posible tabla de pérdidas de potencia [dB] del medio de 20 [km].

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	1.02771		2.000	11.536	0.248	0.258	↘	1.46000
2	1.14578	0.11807	0.553		2.403	1.313	↘	1.46000
3	1.23818	0.09240	0.489		3.143	2.029	↘	1.46000
4	1.43736	0.19918	0.164		3.989	1.795	↘	1.46000
5	2.05543	0.61807	-0.001	37.157	4.583	0.695	↘	1.46000
6	3.08211	1.02668	0.003	67.803	4.790	0.203	↘	1.46000
E	21.15796	18.07585		35.462	7.999	0.177	↘	1.46000

Figura 91. tabla de pérdidas de potencia [dB] del medio de 20 [km]. Fuente: [18].

En la gráfica de pérdidas de potencia se pueden analizar los posibles eventos que se pueden desarrollar en el medio óptico de 20 [km]. Si a la gráfica la configuramos a 2 [dB] en las ordenadas y 5 [m] en las abscisas se podrá ver las posibles atenuaciones de potencia que comienzan a la distancia de la conexión de entrada del fiber lab 800. Otro evento que se puede analizar son las posibles reflexiones de retorno que se logran detectar, causadas por las conexiones entre una fibra óptica de 3 [m] y los cables de lanzamiento de 1 [km] que forman el medio óptico, más las posibles reflexiones de retorno por distorsión de micropartículas dentro de la fibra que ingresan por los obturadores del fiber lab 800.

La figura 92 muestra las posibles atenuaciones de potencia que comienzan a la distancia de la conexión de entrada del fiber lab 800.

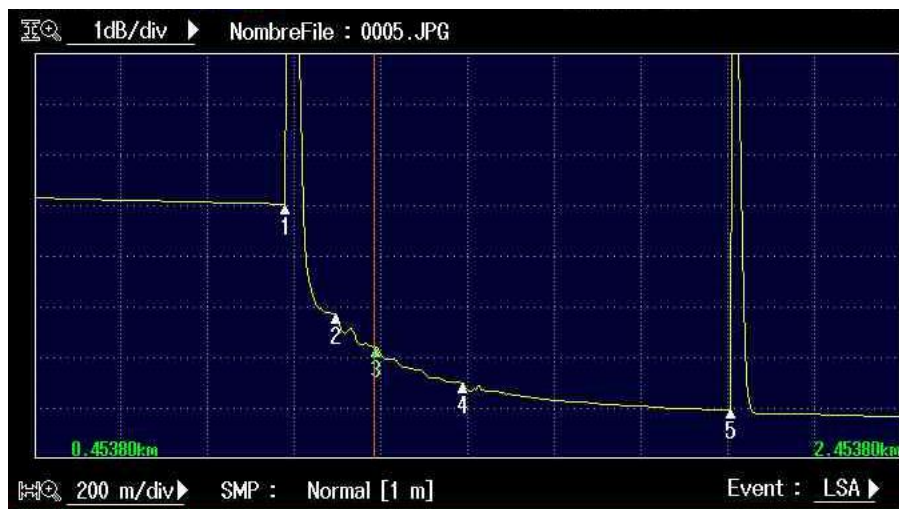


Figura 92. atenuaciones de potencia que comienzan a la distancia de la conexión de entrada del fiber lab 800. Fuente: [18].

La figura 93 muestra las posibles reflexiones de retorno que se logran detectar, causadas por las conexiones entre una fibra óptica de 3 [m] y los cables de lanzamiento de un 1 [km] que forman el medio óptico.

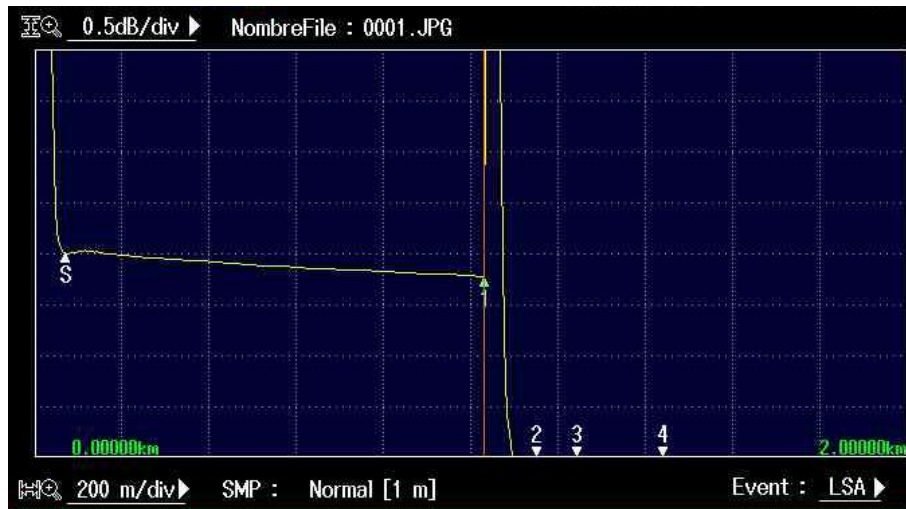


Figura 93. reflexiones de retorno que se logran detectar, causadas por las conexiones entre una fibra óptica de 3 [m] y los cables de lanzamiento de 1 [km] que forman el medio óptico. Fuente: [18].

La figura 94 muestra las posibles reflexiones de retorno por distorsión de micropartículas dentro de la fibra que ingresan por los obturadores del fiber lab 800.

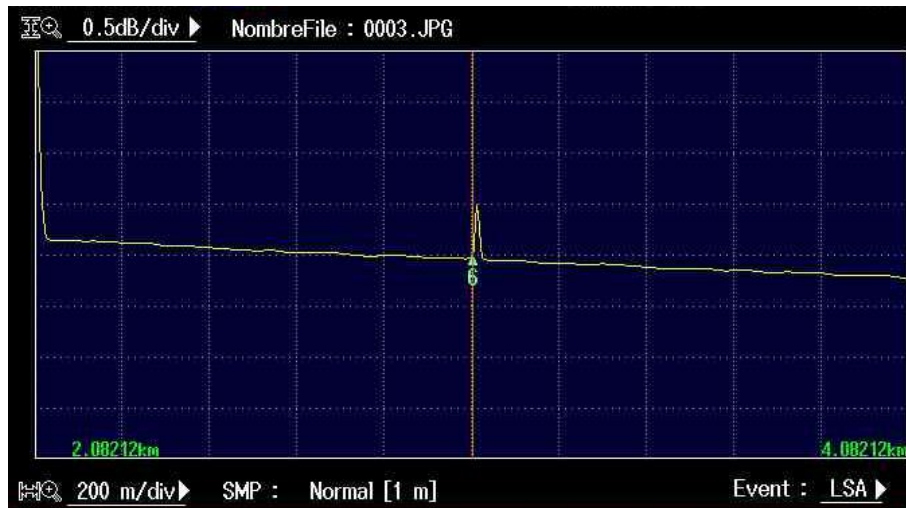


Figura 94. reflexiones de retorno por distorsión de micropartículas dentro de la fibra que ingresan por los obturadores del fiber lab 800. Fuente: [18].

La siguiente tabla muestra el registro de pérdida total de las cinco instalaciones A y B con el promedio de la suma de todas ellas. El promedio A tiene un resultado de -7.76 [dB] de potencia perdida con un porcentaje de potencia recibida de 16.74 % y promedio de potencia por reflexión de retorno en decibelios.

El promedio B tiene un resultado de -5.10 [dB] de potencia perdida con un porcentaje de potencia recibida de 31 %. y promedio de potencia por reflexión de retorno en decibelios.

La tabla 11 muestra las partidas obtenidas en la práctica.

Número de instalación	Pérdida total registro A [dB]	Potencia recibida [%]	Perdida de retorno por reflexión [dB]	Pérdida total registro B [dB]	Potencia recibida [%]	Perdida de retorno por reflexión [dB]
1	-7.99	15.9	35.46	-5.12	30.8	35
2	-7.49	17.8	35.6	-5.10	31	35
3	-7.74	16.8	35.41	-5.10	31	35
4	-7.8	16.6	50.2	-5.17	30.4	35
5	-7.8	16.6	46.39	-5.04	31.3	35
Total	-7.76	16.74	40.6	-5.10	31	35

Tabla 11. Perdidas obtenidas en la práctica.

6. Medir la potencia de recepción en un sistema óptica de 20 [km] conectado a un cable de lanzamiento de 1 [km].

Medir la potencia de recepción usando el módulo de nombre 'OPM AQ7280' del OTDR. La potencia de transición tiene un valor de 8.77 [mW] generada por el módulo YOKOGAW AQ2200-131 del controlador de cuadros YOKAGAWA AQ2211. Para la práctica se instaló el sistema de comunicación óptico diez veces. ver metodología 4. La práctica se la determino de dos maneras, el registro A utilizando el cable de lanzamiento de un 1 [km], y el registro B utilizando solo el fiber lab 800. Se realizó un registro de 10 instalaciones del medio óptico.

La tabla 12 muestra el registro de la potencia recibida de las diez instalaciones.

Número de instalación	Potencia de recepción registro A [mW]	Pérdida total registro A [dB]	Potencia recibida registro A [%]	Potencia de recepción registro B [mW]	Pérdida total registro B [dB]	Potencia recibida registro B [%]
1	1.29	-8.32	14.7	1.42	-7.90	16.2
2	1.24	-8.49	14.2	1.44	-7.84	16.4
3	1.27	-8.39	14.5	1.42	-7.90	16.2
4	1.24	-8.49	14.2	1.43	-7.87	16.3
5	1.25	-8.46	14.3	1.46	-7.78	16.7
Total	1.25	-8.43	14.4	1.43	-7.85	16.4

Tabla 12. Registro de potencia recibida.

7. Cálculos de las pérdidas usando la tabla de atenuación total en un sistema de comunicación óptico de 20 [km] usando un cable de lanzamiento de 1 [km].

Usando el dato de potencia transmitida del módulo YOKOGAWA AQ2200-131 del controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2211 con valor de 8,77 [mW], más la tabla de atenuación total se encontrará la potencia de recepción del sistema de comunicaciones. De la ecuación 18 no se considera el margen del sistema para tener cálculos reales de atenuación.

La tabla 13 muestra la potencia de salida de un medio de fibra de 20 [km] por medio de la atenuación total.

	Atenuación del sistema [dB]	Potencia recibida [%]	Potencia de recepción [mW]	Potencia de registro [dBm]	
Min	-5.8	26.3	2.30	3.61	Las mejores condiciones

Promedio	-7.1	19.4	1.72	2.35	Normal
Max	-11.4	7.2	0.63	0	La peor situación

Tabla 13. Potencia de salida de un medio de fibra 20 km.

8. Cálculos y medición de pérdidas y potencia de la red ODN utilizando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

La potencia de la red ODN (ver figura) tiene como potencia de salida a la distancia del ODF2 de 3.31 [mW] y una potencia de transmisión de 6.97 [mW] generada por el controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2200.

Utilizando la ecuación de nombre relación logarítmica de potencia se tuvo como resultado una atenuación de -14.83 [dB].

Para la práctica se utilizó dos divisores ópticos el primero con serie 21091700314 y el segundo divisor de 21091700330. La práctica dio como resultado que solo las fibras 1 y 2 del divisor óptico 21091700314 del laboratorio de comunicaciones ópticas funcionan correctamente.

La tabla 14 muestra las potencias de cada fibra de salida del divisor óptico.

Divisor óptico	Fibra de salida 1 [uW]	Fibra de salida 2 [uW]	Fibra de salida 3 [uW]	Fibra de salida 4 [uW]
21091700314	686.77	710.50	0	0
21091700330	0	0	0	0

Tabla 14. Potencias de cada fibra de salida del divisor óptico.

XI. DISCUSIÓN

Las pérdidas en un medio óptico como por ejemplo una red de distribución óptica se desarrollan por absorción, dispersión, radiación y acoplo. Para calcular la atenuación total generada por estas pérdidas se tomarán en cuenta la longitud del cable, los conectores entre adaptadores que formen el medio y el número de empalmes que se requiera. Es fundamental el uso del Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico para mediciones de pérdidas. Este dispositivo logra localizar los elementos que producen las pérdidas de potencia en una propagación de luz. Para lograr estas mediciones se tiene que configurar el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico correctamente con las características del medio óptico en uso. El problema radica al momento de la medición. El efecto de reflexión de Fresnel que ocurre en las conexiones logra ser de distancias lo suficientemente grandes para no medir correctamente los primeros metros de un sistema óptico, lo mismo la conexiones que forman parte del medio óptico todo esto hace que el dispositivo no logra detectar estos eventos.

Usando la ecuación de atenuación total, ver la figura 19. se obtiene las pérdidas de potencia por conectores, empalmes y por la longitud de la fibra óptica. En el sistema de 3 [km] y 20 [km], usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico tenemos valores cercanos a los de la ecuación. En la tercer practica se pudo medir la potencia de recepción de la red ODN. Se pudo ver que el divisor óptico distribuye la potencia a valor iguales dependiendo de la proporcionalidad.

El promedio de las pérdidas totales en el medio de 3 [km] usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico tiene un resultado de -2.01 [dB], si obtenemos la potencia con el módulo de nombre 'OPM' del AQ7280 y usando la relación logarítmica de potencia se obtendrá como resultado -2,27 [dB] con una potencia de transmisión de 8,77 [mW] generada por AQ2200, ambos resultados están muy cercanos a los resultados obtenidos por la fórmula de atenuación los cuales son, -2.91 [dB] en la mejores condiciones, -3.36 [dB] en condiciones normales y -4.6 [dB] en las peores condiciones, esto quiere decir que el medio se encuentra en las mejores condiciones.

El promedio de las pérdidas totales en el medio de 20 [km] usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico tiene un resultado de en el registro A -7.76 [dB] y en el registro B -5.10 [dB], si obtenemos la potencia con el módulo OPM AQ7280 y con usando la relación logarítmica de potencia se obtendrá como resultado en el registro A -8.43 [dB] y en el registro B -7.85 [dB] con una potencia de transmisión de 8,77 [mW] generada por el controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2200. ambos resultados están dentro de los resultados obtenidos por la fórmula de atenuación los cuales son, -5.8 [dB] en las mejores condiciones, -7.1 [dB] en condiciones normales y -11.4

[dB] en las peores condiciones, esto quiere decir que el medio óptico se encuentra entre muy cercano a los valores normales.

Por medio de las gráficas generadas por el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico se puede decir que es mejor la medición usando un cable de lanzamiento de 1 [km] antes de cualquier medio óptico de largas distancia, ya que las atenuación o eventos logran ser detectados por el dispositivo. También, los resultados no tienen una relación coherente en las mediciones sin el cable de lanzamiento de 1 [km]. Si tenemos que en el registro A da como resultado -5.10 [dB] y que en el resultado B da como resultado -7.78 [dB] existe casi 2 [mW] que es aproximadamente igual a 3 [dB]. Esto es por la potencia de reflexión de retorno que puede ser mayor a o menor dependiendo de la potencia de transmisión. Mientras que las mediciones con el cable de lanzamiento de 1 [km] los valores son más cercanos entre ellos -7.76 [dB] a -8.43 [dB].

XII. CONCLUSIONES

La fibra óptica es un medio que permite transmitir señales de información en gran rendimiento. Está formada por un núcleo, el revestimiento y la cubierta. Existen estructura de fibras ópticas para instalaciones áreas como la fibra ADSS (All Dielectric Self Supported - Todo dieléctrico autosuficiente), que sirven para redes de distribución óptica. El rayo de luz logra propagarse de un extremo del medio al otro mediante el fenómeno de reflexión total interna. Estos rayos que se propagan tienen algunos efectos negativos que se desarrollan como pérdidas en el trayecto como distorsión por micropartículas dentro de la fibra, absorción por los materiales con los que producen el medio, y el más significativo pérdidas por reflexión de Fresnel que se presentan en los acoples de conectores. Esta última crea problemas al momento de medir pérdidas con el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico, para eso se recomienda instalar un cable de lanzamiento de 1 [km] antes de cualquier medición para tener resultados reales. Este método es lo que se propone como discusión. Esta práctica la recomiendo para el conocimiento técnico en el momento de una instalación de sistemas con redes pasivas. Para saber medir correctamente las pérdidas de potencia en tecnologías FTTH (Fiber opticto the home - Fibra óptica al hogar).

XIII. RECOMENDACIONES

Para la realización del diseño de manual de prácticas es recomendable tener conocimientos de la materia de comunicaciones ópticas. Saber reconocer la fibra óptica, los tipos de fibra que existen, como los tipos de conectores que se usan en su fabricación. Además, es necesario saber conocimientos teóricos como la manera de propagación de la luz en un medio óptico, reconocer los fenómenos de reflexión, refracción, como las causas de la pérdida de potencia. Es bueno tener un uso correcto de la relación logarítmica de potencia.

Saber usar los dispositivos para medir las pérdidas de potencia en un medio óptico es fundamental. Es bueno saber leer las gráficas de pérdidas de potencia que crea el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico, para estas mediciones es recomendable tener conocimiento de las definiciones de zonas muertas por evento y atenuación.

Para finalizar el diseño de manual de prácticas es recomendable seleccionar correctamente las fuentes bibliográficas que afirmen la teoría que se está usando.


XIV. REFERENCIAS

- [1] P. Godoy y L. Caiza, «E-IDEA Journal of Engineering Science,» 28 febrero 2022. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id224>.
- [2] S. Montoya-Castro, M. Herrera-Duran y J. Barrera-Ramírez, «SciELO,» 24 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.59339>.
- [3] M. Ruiz y E. Inga, «Universidad Tecnológica Panamá,» 26 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.33412/idt.v15.2.2249>.
- [4] J. Martín Pereda, «UPM,» [En línea]. Available: https://oa.upm.es/25625/1/Comunicaciones_opticas_2.pdf.
- [5] G. Anda-Rodríguez y E. Castillo, «SciELO,» 24 Mayo 2006. [En línea]. Available: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052006000100005>.
- [6] V. Aristizábal, «TecnoLógicas,» 21 Diciembre 2007. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.22430/22565337.508>.
- [7] H. Santillán, «AVAC,» 15 junio 2023. [En línea]. Available: https://avac.ups.edu.ec/presencial62/pluginfile.php/361332/mod_resource/content/0/Comunicaciones%20Opticas_P62_i1e.pdf.
- [8] H. O. Grazzini, «ELibros,» 2020. [En línea]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/175155?prev=as>.
- [9] A. Rodríguez, L. Ramírez y J. Chahuan, «SciELO,» Octubre 2015. [En línea]. Available: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000500017>.
- [10] L. Castrillón, «TecnoLógicas,» 26 Junio 2007. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.22430/22565337.479>.

- [11] M. Acosta, S. A. Suárez y A. Suárez, «SciELO,» 10 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a02>.
- [12] H. Paz, S. Campagnoli, J. Gómez y J. Currea, «SciELO,» Abril 2019. [En línea]. Available: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200275>.
- [13] R. Verdecia, M. Rodríguez, D. Montero y L. Fernández, «SINAPSIS,» 22 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.37117/s.v2i9.98>.
- [14] H. Santillán, «AVAC,» 6 septiembre 2023. [En línea]. Available: https://avac.ups.edu.ec/presencial62/pluginfile.php/353588/mod_resource/content/0/Comunicaciones%20Opticas_P62_i1d.pdf.
- [15] H. Santillán, «AVAC,» 18 agosto 2023. [En línea]. Available: https://avac.ups.edu.ec/presencial62/pluginfile.php/415737/mod_resource/content/0/Comunicaciones%20Opticas_P62_i2e.pdf.
- [16] M. Guashima y P. Mayorga, «Alpha publicaciones,» 5 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.33262/ap.v3i3.1.88>.
- [17] Y. t. & M. Corporation, «YOKOGAWA,» [En línea]. Available: <https://cdn.tmi.yokogawa.com/1/6177/files/IM735101-01EN.pdf>.
- [18] Y. t. & m. Corporation, «YOKOGAWA,» [En línea]. Available: <https://cdn.tmi.yokogawa.com/IMAQ7280-01EN.pdf>.

XV. ANEXOS

Determinación de las practicas realizadas en el laboratorio de comunicaciones ópticas.

	Datos del alumno		Fecha:
	Especialidad:	Telecomunicaciones	de 2023
Estudiante:	Eduardo Facundo Sobarzo Buenaño		
<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA COMUNICACIONES ÓPTICAS 1° Practica</p>	Datos del profesor		Puntuación:
	Curso:	Grupo - 1	
	Profesor:	Ing. Holger Santillan	
	Rúbrica:		

DATOS INFORMATIVOS

- a) Materia: Comunicaciones Ópticas
- b) Practica: 2° Practica
- c) Cantidad de estudiantes: Uno
- d) Nombre del docente: Ing. Alberto Santillan
- e) Tiempo estimado: 01h00

DATOS DE LA PRÁCTICA

- a) Tema: Introducción al sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211 y sus módulos serie AQ2200, más dispositivos necesarios para las practica práctica para laboratorio de comunicaciones ópticas.
- b) Objetivo general: Reconocer los dispositivos y partes en la práctica para laboratorio de comunicaciones ópticas.
- c) Objetivo específico:
 - Reconocer fibra óptica mono modo.
 - Reconocer conectores Conector Suscriptor y Conector Ferrule.
 - Reconocer Férulas Ultra Contacto Físico y Contacto físico angular.
 - Reconocer el sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211 en la práctica para laboratorio de comunicaciones ópticas.

- Reconocer los módulos serie AQ2200-131 utilizados para el funcionamiento del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211 en la práctica para laboratorio de comunicaciones ópticas.
 - Reconocimiento de un Reflectómetro en el Dominio del Tiempo Óptico.
 - Reconocer el dispositivo Medidor de potencia óptica.
- d) Marco teórico: ¿Que es un reconocimiento de dispositivos utilizados en la práctica para laboratorio de comunicaciones ópticas?, definiciones de los dispositivos a utilizar.
- e) Marco procedimental: Determinar un reconocimiento de los dispositivos utilizados en la práctica para laboratorio de comunicaciones ópticas.
- f) Recursos a utilizar:
- Fibra óptica mono modo.
 - Conectores Conector Suscriptor y Conector Ferrule.
 - Férulas Ultra Contacto Físico y Contacto físico angular.
 - Sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211.
 - Módulo serie AQ2200-131.
 - Dispositivo Reflectómetro en el Dominio del Tiempo Óptico.
 - Dispositivo Medidor de potencia óptica.
 - Sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211.
 - Módulo serie AQ2200-131.
- g) Registro de resultados: Realizar un resumen de las principales características de los dispositivos vistos en el laboratorio de comunicaciones ópticas.
- h) Bibliografía utilizada: interpretación de la bibliografía utilizada.

MARCO TEÓRICO

¿Qué es un reconocimiento de dispositivo para el laboratorio de comunicaciones ópticas?

El reconocimiento de dispositivos consiste en mostrar las características que distingue a un dispositivo. Como, por ejemplo, nombrar sus partes, medidas y funcionamiento en las comunicaciones ópticas. Se puede usar figura para explicar el reconocimiento de mejor manera.

¿Qué es una fibra óptica mono modo?

La fibra óptica es un medio de transmisión aplicado habitualmente en redes de datos; es un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos (sílice) por el cual se envían pulsos de luz que representan la información (datos) a transmitir. La fibra mono modo propaga un rayo de luz, está formado por tres partes principales. El núcleo, es la parte de la fibra óptica donde se va a propagar la luz e impide que la luz salga por el fenómeno de reflexión total interna. El revestimiento es la parte de la fibra óptica que protege el núcleo e impide pérdidas por dispersión. La cubierta es la parte de la fibra que proporciona protección contra la humedad. Abrasión, y posibles aplastamientos a la fibra.

La figura 95 muestra la fibra óptica.

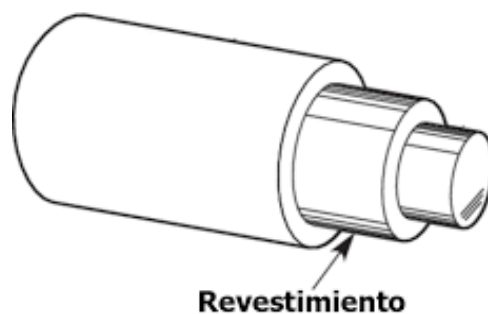


Figura 95. Fibra óptica. Fuente: [8].

¿Qué es un conector?

Para la práctica se necesita el uso de férula UPC (Ultra physical contact - Ultra Contacto Físico) y APC (Angular physical contact - Contacto físico angular) más el uso de conectores SC (Subscriber Connector - Conector Suscriptor) y FC (Ferrule Connector - Conector Ferrule). Los conectores como las férulas se encuentran en los extremos de la fibra. Las férulas son de cerámica y plástico, es la característica más importante de los conectores ópticos por que protege y alinea la fibra de vidrio. Además, como ocurren pérdida de reflexión de retorno hacia la fuente en los conectores, lo que puede dañar los dispositivos en el sistema de comunicaciones, se determinó en realizar pulidos en las férulas para disminuir estos efectos.

La figura 96 muestra los rayos de luz de retorno a la fuente de las férulas utilizadas en esta práctica.

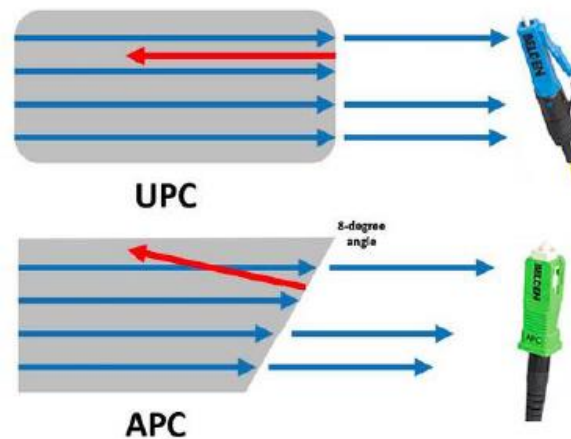


Figura 96. Rayos de luz de retorno a la fuente de las férulas UPC (Ultra physical contact - Ultra Contacto Físico) y APC (Angular physical contact - Contacto físico angular). Fuente: [7].

El conector suscriptor se caracteriza por un conector que se ajusta a presión en el puerto, mientras que el conector ferrule tiene que ser enroscado para que la fibra se incorpore en su totalidad en el puerto.

¿Qué es un cable de lanzamiento ODTR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico)?

Es un cable de fibra óptica mono modo con una distancia de un 1km. Se lo usa para tener un mejor resultado de las zonas muertas de los conectores de un medio óptico.

¿Qué es un embobinado fiber Lab 800?

El embobinado Fiber Lab 800 este hecho de fibra óptica mono modo. Sirve para aplicaciones de lactancia, simulación de red y para demostraciones.

¿Qué es un sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211?

El dispositivo controlador de cuadros de nombre, YOKOGAWA Series AQ2211 es un sistema de pruebas de aplicaciones múltiples. Permite una solución ideal de medición y evaluación para dispositivos y sistemas de transmisión óptica. El dispositivo se caracteriza por tener tres ranuras de instalación de módulos. los módulos serie AQ2200 se pueden organizar en varias combinaciones en el dispositivo, algunos de estos módulos tienen las siguientes propiedades: Fuentes de luz de alta estabilidad de nivel de salida, Fuentes laser sintonizables, medidores de potencia óptica, atenuadores ópticos, interruptores ópticos. Aplica una función de programación macro que mide de manera automatizada, establece condiciones de medición, cambio de configuraciones de pruebas en combinación con múltiples módulos y guardar resultados, sin la necesidad de un controlador de PC externo.

¿Qué es un Módulo AQ2200-131 fuente de luz Sintonizable?

El módulo serie AQ2200 es una fuente de luz Sintonizable, dispositivo que tiene la propiedad de generar luz láser. Tiene un puerto de salida FC (Ferrule Connector - Conector Ferrule). Esta defino por IEC 60825-1:2007, **SEGURIDAD DE PRODUCTOS LÁSER — Parte 1: Clasificación de equipos**, como una fuente de luz laser Clase 1M, la cual, al momento de utilizar un instrumento óptico, como por ejemplo una lupa o microscopio para observar el rayo láser generado por este dispositivo a una distancia menores a 100 [mm] puede causar heridas al ojo. Prohíbe el uso usuarios de binoculares o telescopios. Puede cuásar quemaduras si se expone la piel cerca de abertura salida laser.

¿Qué es un Reflectómetro en el Dominio del Tiempo Óptico?

El OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico) es una herramienta para la instalación y mantenimiento de un sistema de comunicación óptico. Calcular por medio de un rayo láser las discontinuidades en un medio óptico, como, por ejemplo, pérdidas por empalme, reflexión de retorno, además de calcular la distancia del medio. Crea una gráfica de pérdidas versus longitud donde localiza los eventos que se desarrollan en un medio óptico. Los dispositivos modernos pueden crear un diagrama de bloques de todos los eventos que se llega a detectar en el trayecto, los cuales pueden ser eventos de empalmes, conectores, curvaturas, etc.

La figura 97 muestra el diagrama de bloques de un reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

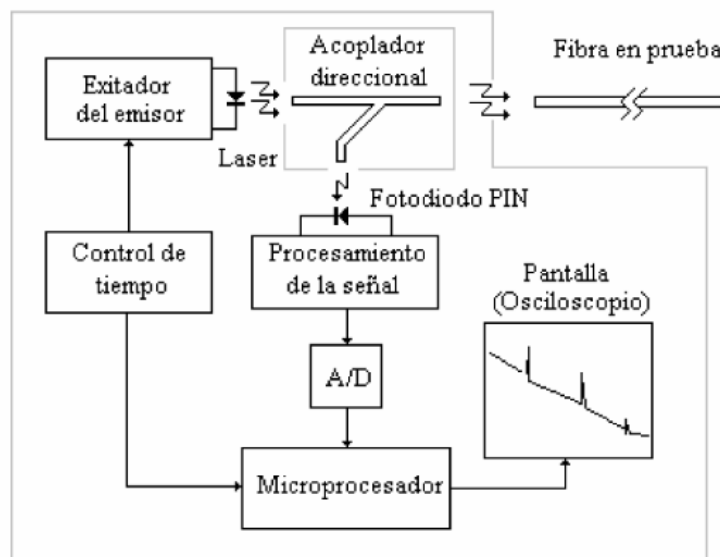


Figura 97. Diagrama de bloques de un OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico). Fuente: [8].

La figura 98 muestra los eventos más comunes que puede localizar un reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

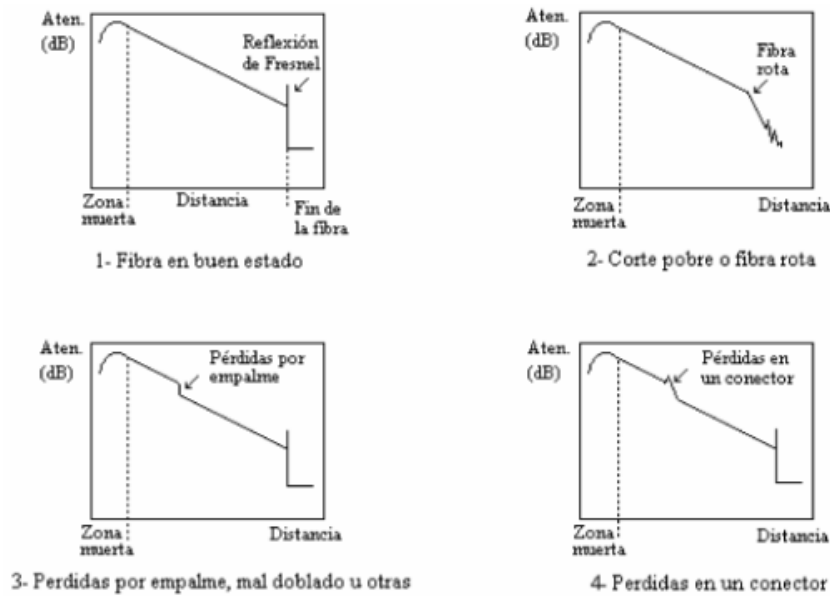


Figura 98. Eventos más comunes que puede localizar un OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico). Fuente: [8].

La figura 99 muestra la gráfica perdida vs longitud de genera un reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

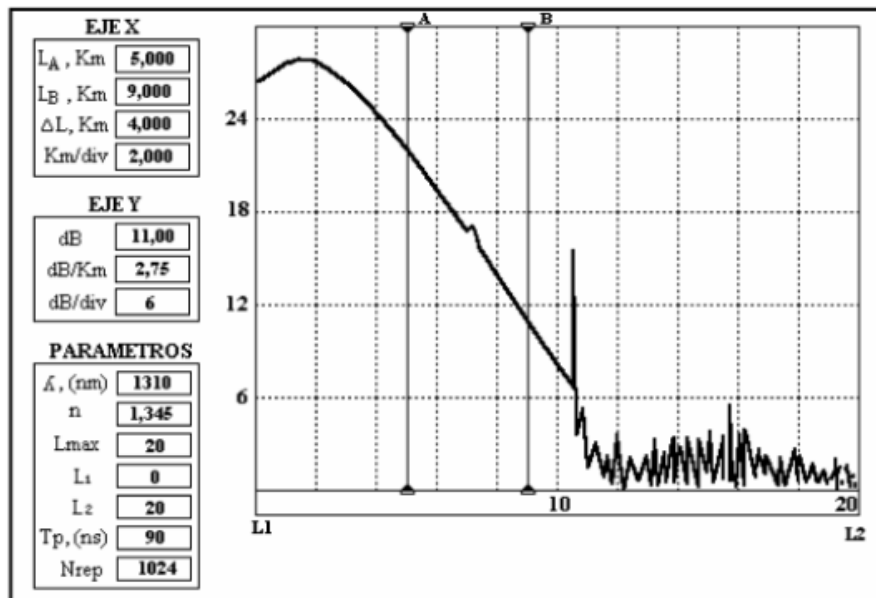


Figura 99. Gráfica perdida vs longitud de genera un OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico). Fuente: [8].

Los reflectómetro en el dominio del tiempo óptico modernos pueden medir la potencia de recepción de un sistema de comunicación. Por medio de una aplicación medidor de potencia óptica.

¿Qué es un medidor de potencia de fibra óptica?

El OPM (Optical power meter - Medidor de potencia óptica) es un dispositivo electrónico o un software que se usa para medir la potencia y la pérdida de un sistema de comunicación. Medidor de potencia óptica está creado por fotodiodos los cuales desarrolla una corriente eléctrica que incrementa o disminuye con los valores de potencia óptica recibida, lo que da como resultado el valor de potencia de recepción de un sistema de comunicación óptico. Un medidor de potencia óptica funciona mediante el uso de ventanas de trabajo que dependiendo de la longitud de onda con la que se esté transmitiendo medirá la potencia óptica recibida.

La figura 100 muestra el diagrama de bloques de un medidor de potencia óptica.

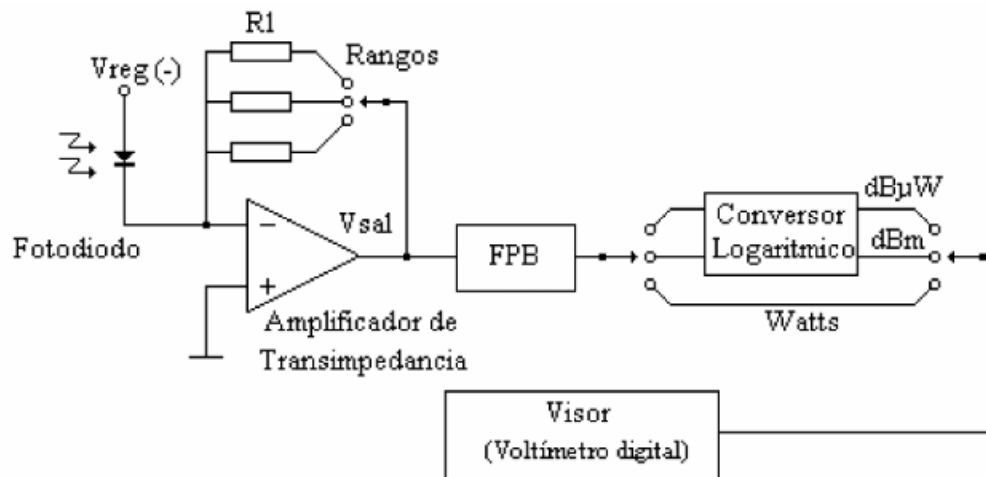


Figura 100. Diagrama de bloques de un OPM (Optical power meter - Medidor de potencia óptica). Fuente: [8].

MARCO PROCEDIMENTAL, RECURSOS A UTILIZAR Y REGISTRO DE RESULTADOS

Reconocimiento de la fibra óptica mono modo.

La fibra óptica es un medio de transmisión aplicado habitualmente en redes ópticas de información; es un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos (sílice) por el cual se envían pulsos de luz que representan la información (datos) transmitida.

La fibra óptica que se va a utilizar para la práctica es de tipo mono modo, tiene una cubierta de color amarilla. Tiene un diámetro de 2 [mm] y un larga de 3 [m].

La figura 101 muestra la fibra óptica mono modo.

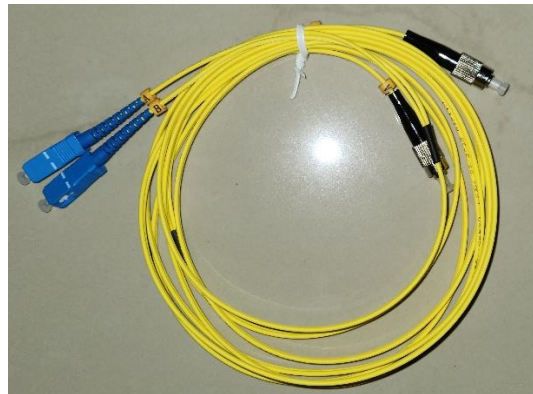


Figura 101. Fibra óptica mono modo. Fuente: [8].

Reconocimiento de las férulas y conectores

La férula UPC (Ultra physical contact - Ultra Contacto Físico) tiene un pulido sin ángulo sin embargo tiene una pequeña curvatura en la cara final. Tiene una pérdida por retorno de -50 dB. Los conectores ultra contacto físico se usan en equipos de conexión Ethernet, convertidores multimedia y conmutadores ópticos. Estos también son usados en sistemas de data y sistemas telefónicos.

La figura 102 muestra el pulido contacto ultra físico.



Figura 102. Pulido UPC (Ultra physical contact - Ultra contacto físico). Fuente: [8].

La férula APC (Angular physical contact - Contacto físico angular) tiene un ángulo de pulido de 8 grados. Lo que hace que la reflexión sea en el revestimiento de fibra y no hacia la fuente de luz. Tiene pérdidas de -60 dB. Se usan en aplicaciones de radio frecuencia como CATV o en sistemas de distribución de antenas.

La figura 103 muestra la férula con pulido contacto físico angular.

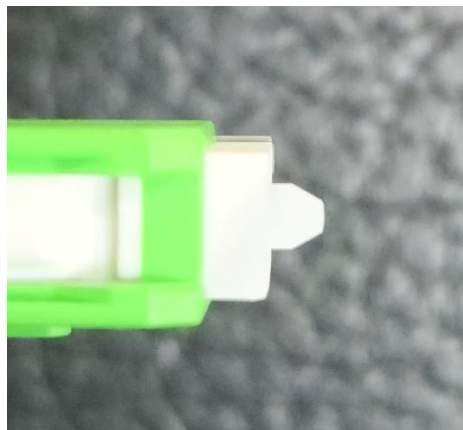


Figura 103. Férula con pulido APC (Angular physical contact - Contacto físico angular). Fuente: [8].

El conector SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor) se ajusta a presión. Tiene pérdida de inspección de 0,25 [dB]. El conector es de color azul si tiene una férula con pulido ultra contacto físico y color verde si es una férula con pulido contacto físico angular.

La figura 104 muestra el conector conector suscriptor.



Figura 104. Conector SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Fuente: [8].

El conector FC (Ferrule Connector - Conector Ferrule) es roscado para una fija resistencia a movimientos. Alcanza una pérdida de inserción de 0,3 [dB]. El conector es de color negro si tiene una férula ultra contacto físico y calor verde si es una férula contacto físico angular.

La figura 105 muestra el conector ferrule.



Figura 105. conector FC (Ferrule Connector - Conector Ferrule). Fuente: [8].

Reconocimiento de cable de lanzamiento OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico).

Es un cable de fibra óptica mono modo con una distancia de un 1km. Tiene conectores SC/UPC en sus extremos. Funciona en las ventanas de trabajo con pérdidas de 0.4 [dB/km] en 1310 [nm] y 0.3 [dB/km] en 1550 [nm]. Tiene perdidas por IL (perdidas por inserción) de 0.25 [dB] y perdidas por RL (perdidas por retorno) de 55 [dB]. Se lo utiliza para tener un mejor resultado de

zona muerta del primer conector de un medio óptico con el reflectómetro en el Dominio del Tiempo Óptico.

La figura 106 muestra el cable de lanzamiento.



Figura 106. Cable de lanzamiento OTDR (Optical time domain reflectometer - Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico). Fuente: [8].

Reconocimiento del embobinado de Fiber Lab 800.

El embobinado Fiber Lab 800 este hecho de fibra óptica mono modo. Sirve para aplicaciones de lactancia, simulación de red y para demostraciones.

La figura 107 muestra la parte frontal del Fiber Lab 800.

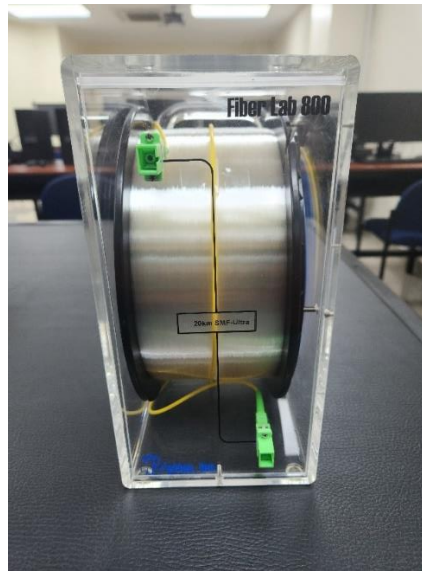


Figura 107. Parte frontal del Fiber Lab 800. Fuente: [8].

Reconocimiento del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211

El AQ2211 es un dispositivo que se caracteriza por ser un controlador de cuadros de tres ranuras de instalación donde se puede insertar una cantidad de tres módulos.

La figura 108 muestra la perspectiva anterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211.



Figura 108. Cara anterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211. Fuente: [18].

La figura 109 muestra la perspectiva posterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211.



Figura 109. Cara posterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211. Fuente: [18].

La figura 110 muestra la perspectiva lateral del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211.

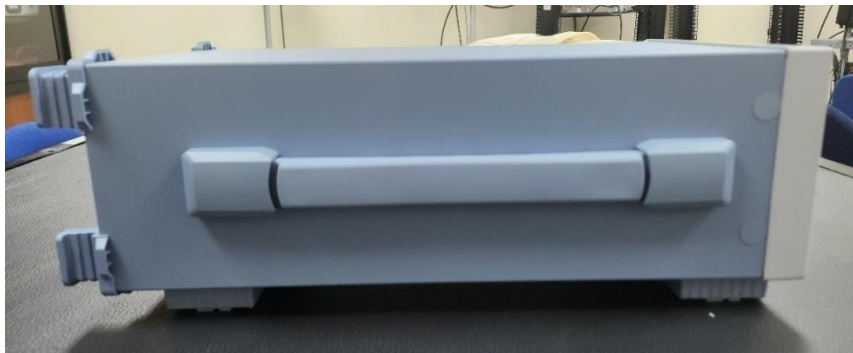


Figura 110. Cara lateral del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211. Fuente: [18].

A continuación, se especifican las dimensiones del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211 en las siguientes ilustraciones:

La figura 111 muestra las dimensiones de la cara anterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211.

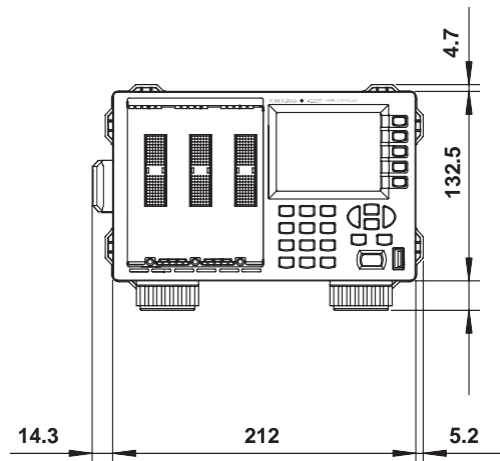


Figura 111. Dimensiones de la cara anterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211. Fuente: [18]

La figura 112 muestra las dimensiones de la cara posterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211.

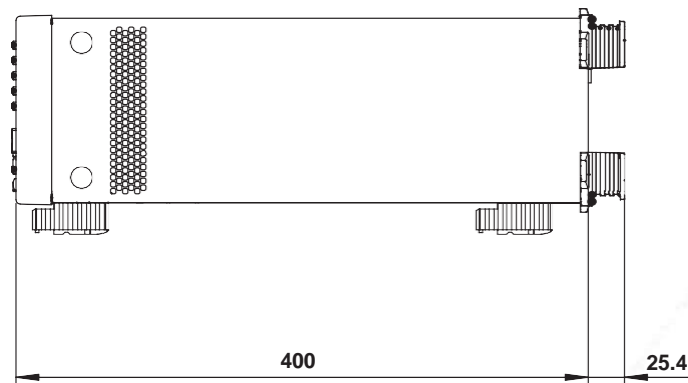


Figura 112. Dimensiones de la cara posterior del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211. Fuente: [18].

El conector de cierre interno A1288JA sirve para bloquear o desbloquear la salida laser del controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2211, si el conector de cierre interno no se encuentra en el controlador de cuadros, el dispositivo se encuentra abierto y no generara un rayo láser.

La figura 113 muestra la conexión del conector de cierre interno A1288JA.

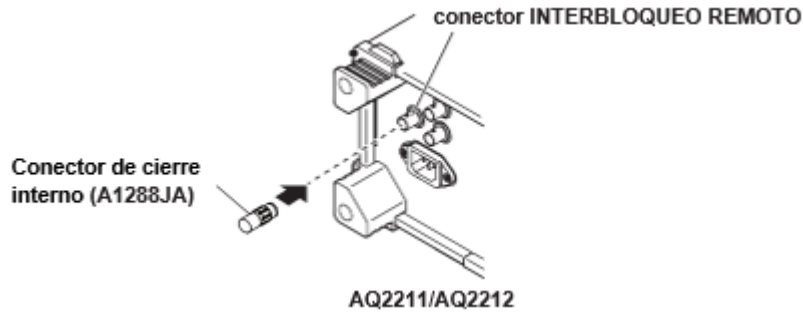


Figura 113. Conexión del conector de cierre interno A1288JA. Fuente: [18].

La figura 114 muestra la parte frontal del AQ2211.

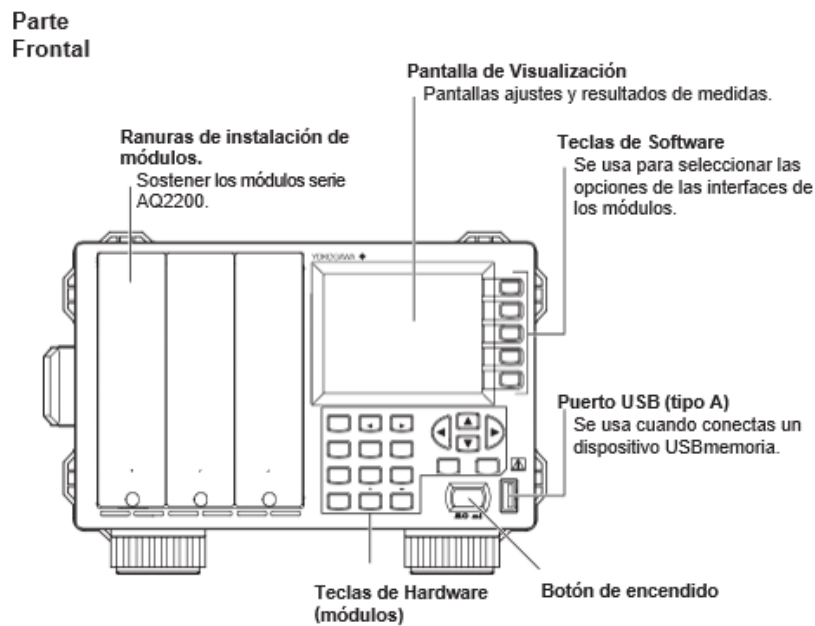


Figura 114. Partes del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211 es su parte frontal. Fuente: [18].

La figura 115 muestra la parte posterior del AQ2211.

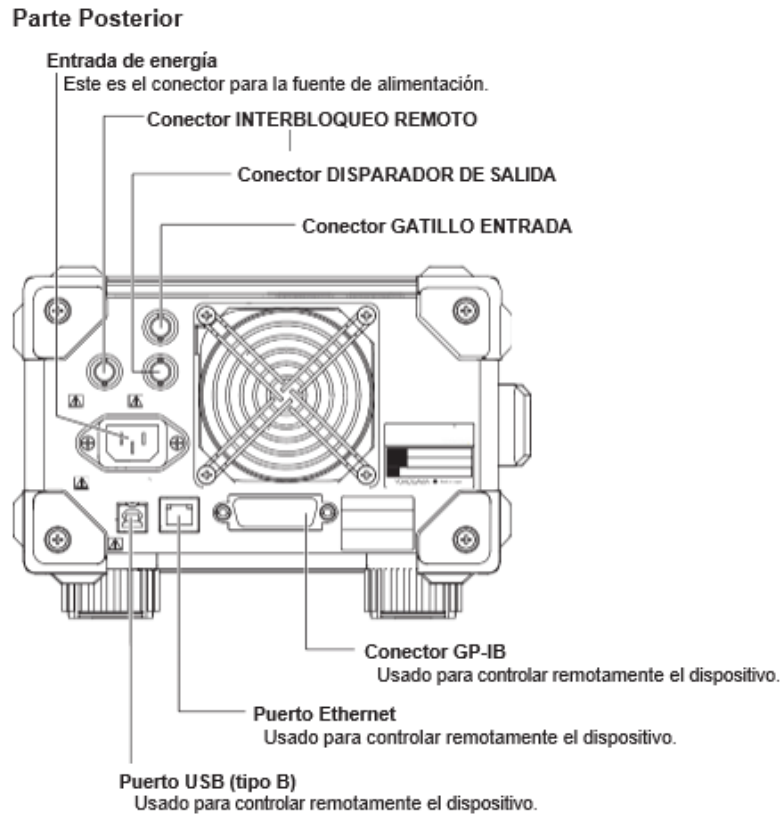


Figura 115. Partes del sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211 en su parte posterior. Fuente: [18].

La figura 116 muestra las partes de la pantalla de visualización y teclados.

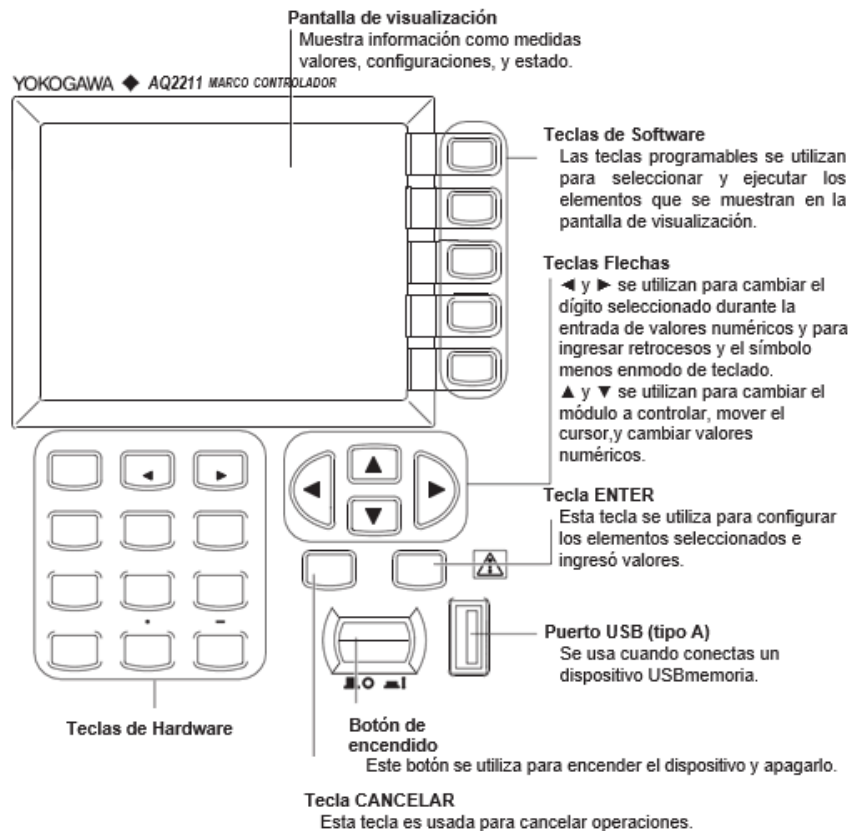


Figura 116. Partes de la pantalla de visualización y teclados. Fuente: [18].

Las teclas de software sirven para seleccionar y ejecutar opciones dentro de una interfaz. Son cinco teclas agrupadas en columna en la parte derecha de la pantalla de visualización. Las teclas de Hardware funcionan como teclado de acceso a las configuraciones de los módulos instalados en el AQ2211 y como teclado numérico.

Es importante reconocer las interfaces del AQ2211, ya que por medio de ellas podemos acceder a las diferentes aplicaciones, funciones e información que tiene este dispositivo.

- *Interfaz de Resumen*

La interfaz de nombre resumen muestra en la pantalla de visualización toda la información de los módulos instalados en el AQ2211, la interfaz se organiza en tres partes, debido a que es la cantidad máxima de módulos que se puede instalar en el controlador de cuadros. Tiene las opciones de ver los parámetros principales, confírmalos y cambiarlos. Mientras se está en esta interfaz, el fondo de color azul muestra el módulo actual, el cual puede ser configurado, el fondo de color azul claro muestra el parámetro actual del módulo que se está examinando. El fondo de color gris muestra una etiqueta de nombre “Sin Modulo”, justificando que no hay modulo instalado.

La figura 117 muestra la interfaz de resumen.

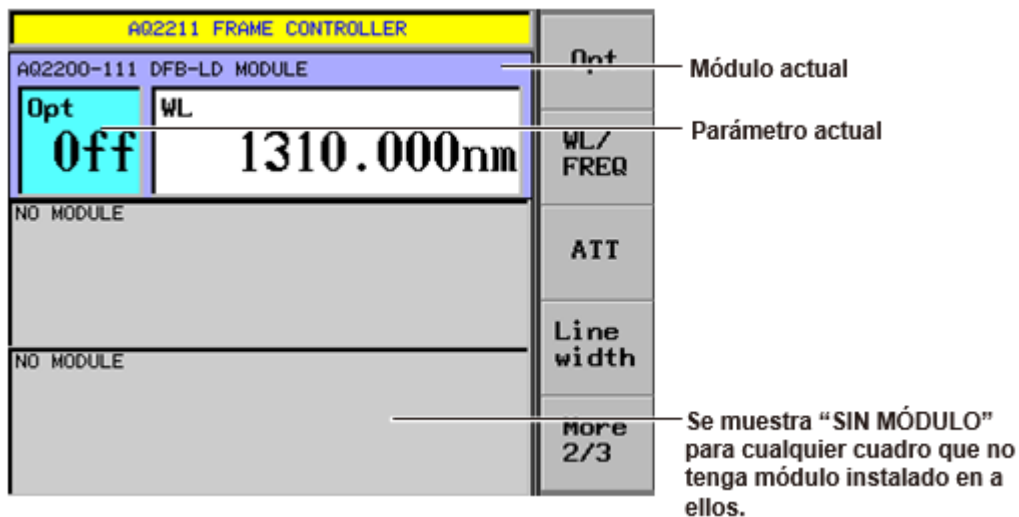


Figura 117. Partes de la interfaz de resumen. Fuente: [18].

- *Interfaz de detalle*

La interfaz de nombre detalle muestra los detalles del módulo seleccionado, se puede ver, confirmar operaciones y cambiar todos los parámetros de un módulo. En la parte superior de la pantalla de visualización se pueden ver tres pestañas las cuales son las interfaces de los módulos instalados. Puedes cambiar de pestañas (interfaces) con la tecla de hardware de nombre “Ranura ◀” para cambiar a la pestaña anterior (modulo anterior), o la tecla de hardware de nombre “Ranura ▶” para cambiar a la siguiente pestana (siguiente modulo).

La figura 118 muestra la interfaz de detalle.

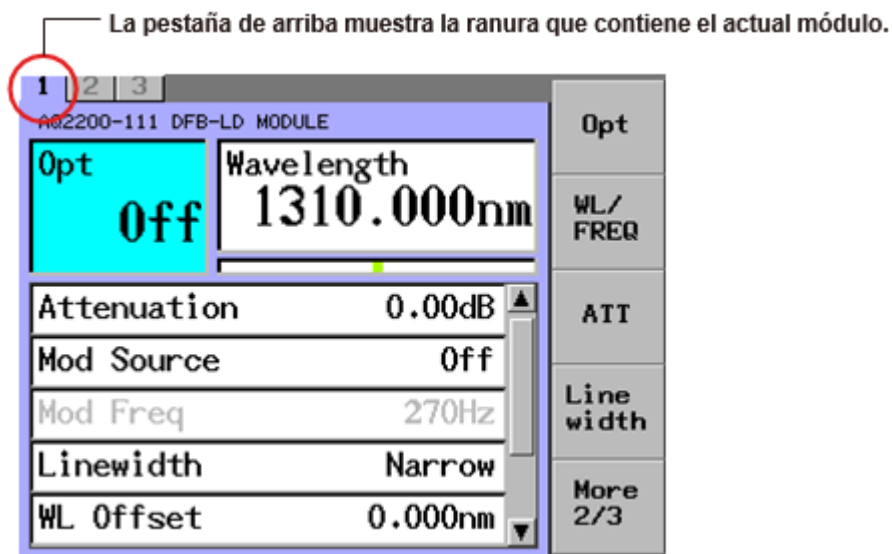


Figura 118. Partes de la interfaz de detalle. Fuente: [18].

Reconocimiento del módulo YOKOGAWA AQ2200-131 Fuente de luz Sintonizable y su interfaz de detalle.

El módulo AQ2200-131 se tiene que ser instalado en controlador de cuadros AQ2211 para su funcionamiento. Tiene la propiedad de generar luz laser.

La figura 119 muestra la parte frontal del módulo AQ2200-131.



Figura 119. Parte frontal del módulo AQ2200-131. Fuente: [18]

La figura 120 muestra la parte lateral del módulo AQ2200-131:



Figura 120. Parte lateral del módulo AQ2200-131. Fuente: [18].

El módulo AQ2200 – 131 tiene un puerto FC (Ferrule Connector - Conector Ferrule) sirve para una fija resistencia a movimientos.

La figura 121 muestra el puerto conector ferrule.



Figura 121. Puerto FC (Ferrule Connector - Conector Ferrule). Fuente: [18].

La figura 122 muestra las partes de modulo AQ200-131.

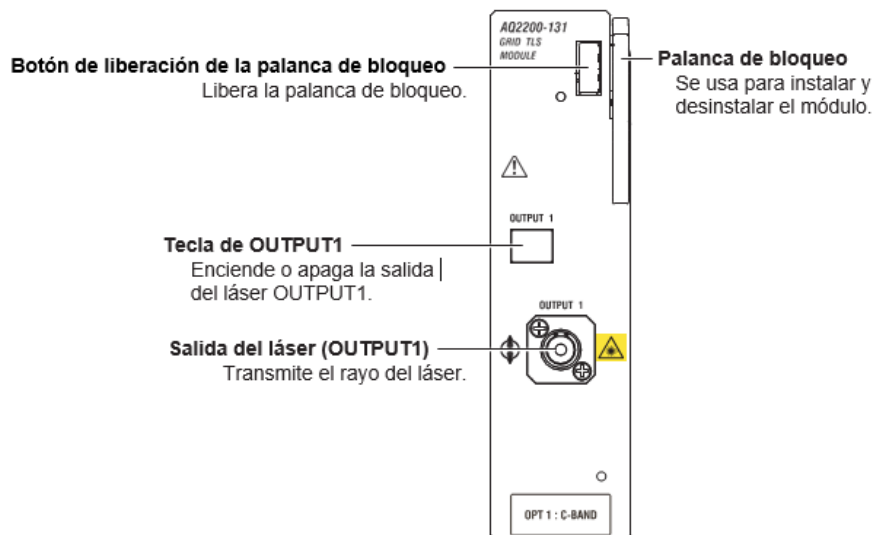


Figura 122. Partes del módulo AQ2200-131 Fuente de luz Sintonizable. Fuente: [18].

La interfaz del módulo AQ2200-131, muestra las opciones de configuración del dispositivo instalado para transmitir el rayo del láser. Las opciones de configuración son las siguientes: canal(es) del módulo, tono de afinación, espacio entre canales, referencia, potencia, atenuación.

Los parámetros de nombre, canal(es) del módulo, espacio de los canales del módulo y referencia, crean la cantidad de canales que se pueden transmitir. La cantidad de canales dependerá del valor que se dé a la referencia. El valor de espacio entre canales es ancho de banda del canal, el cual

está formado por la frecuencia de guarda para no invadir el ancho de banda de un canal adyacente. La frecuencia central es creada automáticamente por la fuente de luz laser. El valor de potencia dependerá del valor de atenuación que se le asigne. El tono de afinación sirve para afinar el valor de la frecuencia.

La figura 123 muestra las primeras opciones de configuración de la fuente de luz (módulo AQ2200-131).

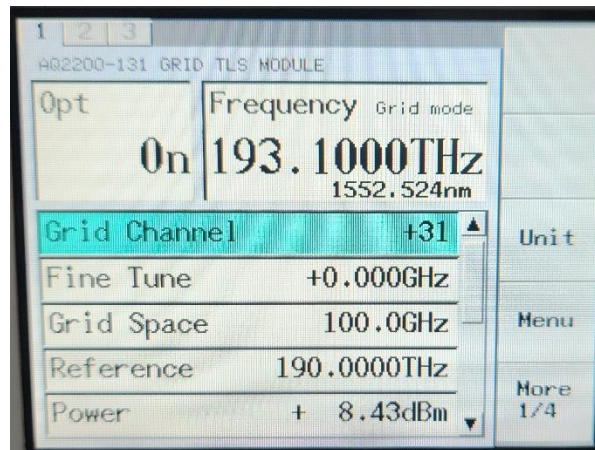


Figura 123. Primeras opciones de configuración de la fuente de luz. Fuente: [18].

La figura 124 muestra las ultimas opciones de configuración de la fuente de luz (módulo AQ2200-131).

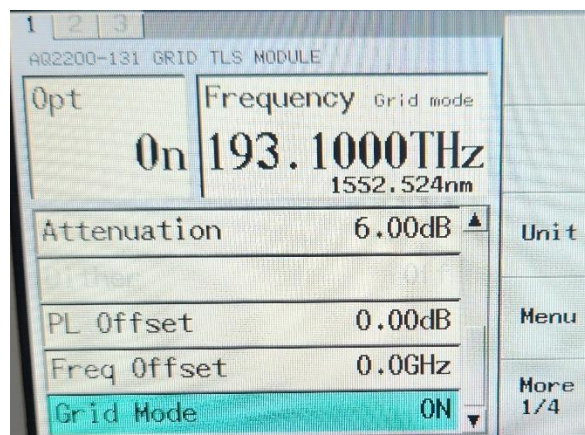


Figura 124. Ultimas opciones de configuración de la fuente de luz. Fuente: [18].

Reconocimiento de un reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

El reflectómetro en el dominio del tiempo óptico AQ7280. Sirve para medir las pérdidas de un medio óptico, la potencia recibida, realiza los gráficos de las zonas muerta de evento y atenuación.

La figura 125 muestra la parte frontal de AQ7280.



Figura 125. Parte frontal de AQ7280. Fuente: [19].

La figura 126 muestra las dimensiones del AQ7280 en milímetros.

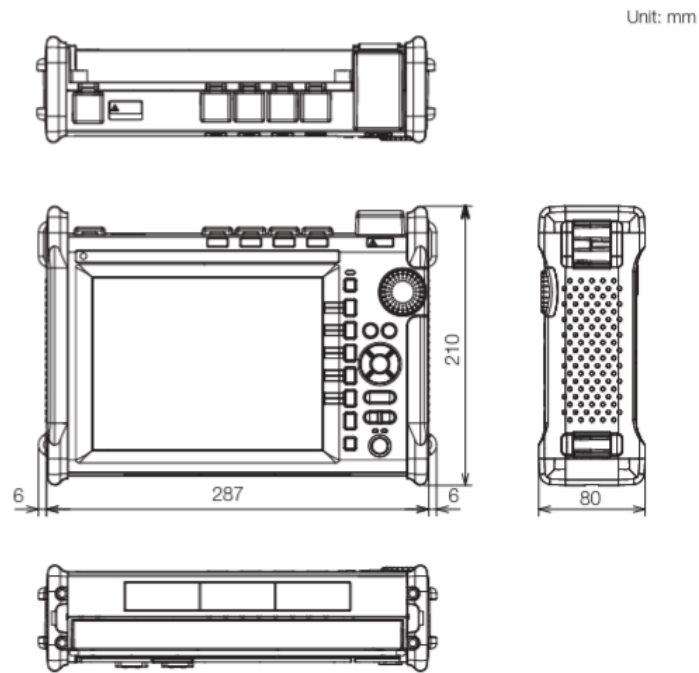


Figura 126. Dimensiones del AQ7280. Fuente: [19].

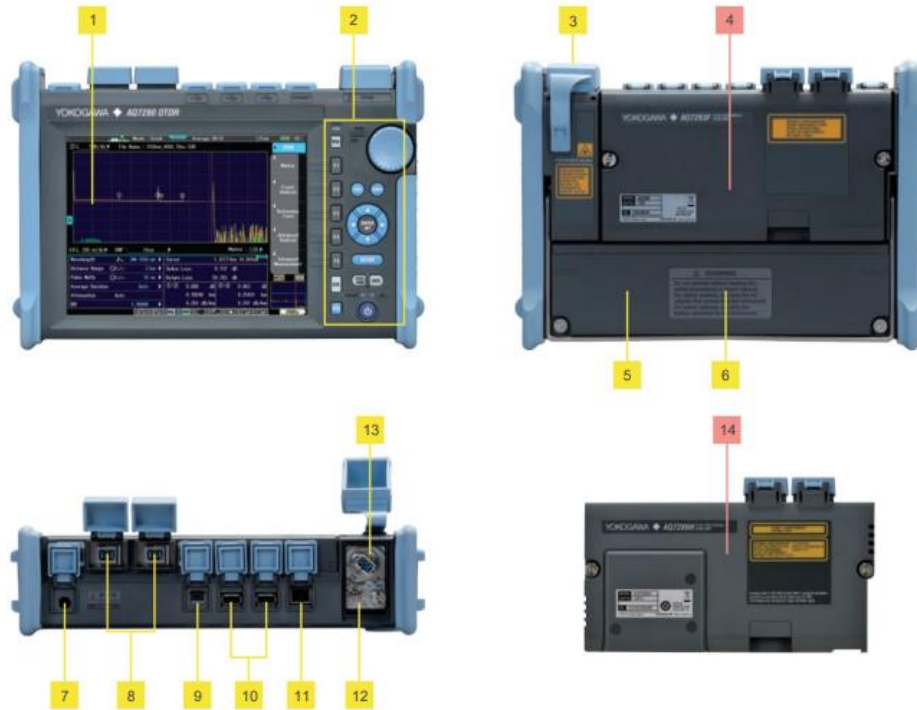
El AQ7283E se encarga de emitir una luz laser para poder medir las perdidas en medio óptico.
Se encuentra ubicado en la parte posterior del AQ7280.

La figura 127 muestra la parte posterior del YOKOGAWA AQ7280 donde está ubicado el YOKOGAWA AQ7283E.



Figura 127. parte posterior del YOKOGAWA AQ7280 donde está ubicado el YOKOGAWA AQ7283E. Fuente: [19].

La figura 128 muestra las partes del YOKOGAWA AQ7280.



- | | |
|--|--|
| 1 Pantalla táctil multitáctil | 11 puerto Ethernet* |
| 2 Botones duros | 12 Puerto VLS (módulo VLS) |
| 3 Módulos OPM/VLS | 13 Puerto OPM (módulo OPM) |
| 5 Paquete de baterías (interior) | 4 Unidad OTDR
(AQ7282A, AQ7283A, AQ7284A,
AQ7285A, AQ7283E, AQ7283F,
AQ7282G, AQ7283H, AQ7284H,
AQ7283K, AQ7282M) |
| 6 Ranura para tarjeta SD (interior) | 14 Unidad OTDR refrigeración por aire
(AQ7286A, AQ7286H, AQ7286J) |
| 7 Entrada de alimentación de CC | |
| 8 OTDR/fuente de luz estabilizada*/
Comprobador de energía* puerto | |
| 9 Puerto USB tipo B (MiniB) | |
| 10 Puertos USB tipo A | |

Figura 128. Partes del YOKOGAWA AQ7280. Fuente: [19].

La aplicación OPM (Optical power meter - Medidor de potencia óptica) del YOKOGAWA AQ2780 puede configurar las ventanas de mediciones. Además de medir las potencias recibida de un medio óptico de largas distancia.

La figura 129 muestra la interfaz del módulo OPM AQ2780.

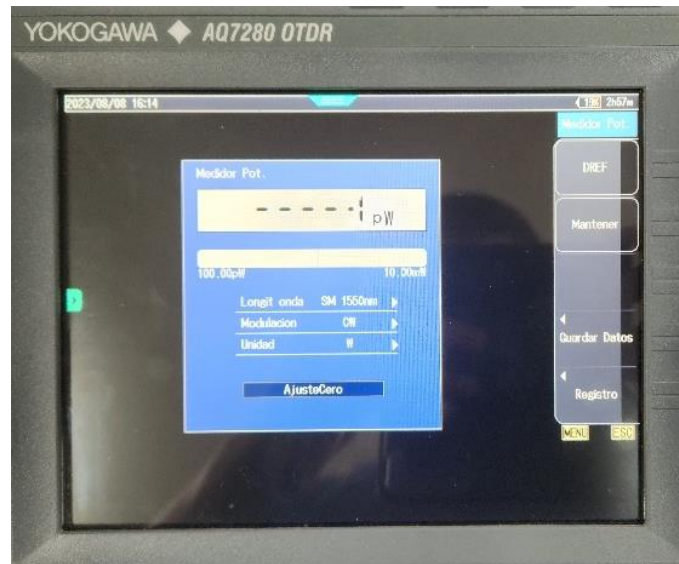



Figura 129. Interfaz del módulo OPM AQ2780. Fuente: [19].

	Datos del alumno		Fecha:
	Especialidad:	Telecomunicaciones	2023
Estudiante:	Eduardo Facundo Sobarzo Buenaño		
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA COMUNICACIONES ÓPTICAS 2° Practica	Datos del profesor		Puntuación:
	Curso:	Grupo - 1	
	Profesor:	Ing. Holger Santillan	
	Rúbrica:		

DATOS INFORMATIVOS

- f) Materia: Comunicaciones Ópticas
- g) Practica: 1° Practica
- h) Cantidad de estudiantes: Uno
- i) Nombre del docente: Ing. Holger Santillan
- j) Tiempo estimado: 01h00

DATOS DE LA PRÁCTICA

- i) Tema: calcular la atenuación generada por la fibra óptica y la potencia total de un sistema óptico generando luz laser desde el controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2211.
- j) Objetivo general: Calcular la atenuación generada por la fibra óptica y la potencia recibida de un sistema óptico.
- k) Objetivo específico:
 - Calcular la atenuación generada y la potencia total usando la fiber lab 800 de fibra mono modo de 20 km.
 - Calcular la atenuación generada y la potencia total usando un sistema de tres cables de lanzamiento OTDR de fibra mono modo de 1 km.
 - Medir las perdidas usando el módulo OPM AQ7280.
 - Medir la potencia recepción usando el ODTR.
 - Calcular las pérdidas y potencia recibida usando la ecuación de atenuación total.
- l) Marco teórico:

- m) Marco procedimental: Pasos determinados para medir la potencia óptica del controlador de cuadros.
- n) Recursos a utilizar:
- Sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA AQ2211
 - Módulo serie AQ2200-131
 - Embobinado Fiber Lab 800
 - Dispositivo OTDR.
 - Fibra monomodo con conectores FC/UPC - SC/UPC.
- o) Registro de resultados: Calcula de atenuación y potencia total.
- p) Bibliografía utilizada: interpretación de la bibliografía utilizada.

MARCO TEÓRICO

¿Qué es la fibra óptica?

La fibra óptica es un tubo transparente circular muy fino de plástico donde uno o varios rayos de luz pueden propagarse en su interior (reflexión), entrando por un extremo del cable hasta llegar a su extremo opuesto. La luz que se usa en la mayoría de las fuentes laser en la actualidad generen luz infrarroja invisible. Los dispositivos electrónicos usan señales eléctricas para su funcionamiento por eso los transmisores y receptores ópticos deben de convertir las señales eléctricas a ópticas o lo contrario, según lo que se necesite.

¿Cuáles son las partes que este formado la fibra óptica?

La fibra está formada por tres partes las cuales son: núcleo, revestimiento, aramida, cubierta.

La figura 130 muestra las partes de la fibra óptica.

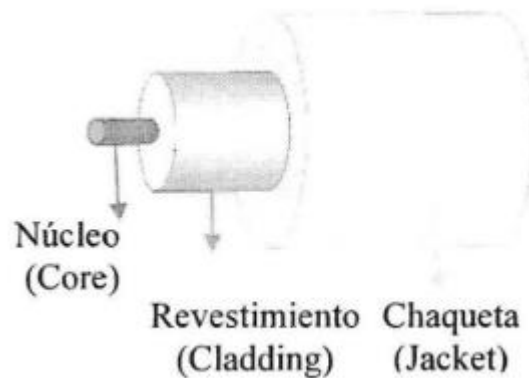


Figura 130. Partes de la fibra óptica.

Núcleo, es la parte de la fibra óptica donde se va a propagar la luz e impide que la luz salga por el fenómeno de reflexión total interna. El revestimiento es la parte de la fibra óptica que protege el núcleo e impide pérdidas por dispersión. Se usa fibras de aramida para lograr la necesaria resistencia a la tracción. La cubierta es la parte de la fibra que proporciona protección contra la humedad, abrasión, y posibles aplastamientos a la fibra.

¿Cuáles son las técnicas de transmisión básicas?

La señal eléctrica para ser propagada por la fibra óptica debe unirse para ser modulada en una fuente de luz. Ese rayo de luz que se logra transmitir llega al receptor donde hay un detector óptico que recupera la señal original de entrada.

Existen tres categorías básicas de modulación en la transmisión por medio de la fibra óptica: modulación digital, modulación analógica y modulación digital con conversión A/D y D/A.

La modulación digital cambia los valores secuenciales de ceros y unos a una secuencia de luz de encendido y apagado de la fuente emisora de luz. Se usa para la transmisión de datos entre computadoras.

La modulación analógica se utiliza la varias la intensidad de la fuente emisora de luz. Tiene las limitaciones de la no linealidad de los dispositivos emisores y recetores ópticos.

La modulación digital con conversión A/D y D/A resuelve las limitaciones que tiene la modulación analógica, convierte la señal sinusoidal en digital usando un convertidor A/D en el transmisor y un convertidor D/A en el receptor. Si se usa dispositivos de multiplexación puede que se tramitan una gran cantidad de señales simultáneamente.

¿Qué es un sistema dúplex?

Los sistemas de comunicación necesitan de una comunicación en ambos sentidos. La fibra óptica como propiedad puede ser bidireccional o lo contrario, esto quiere decir que los extremos de una fibra pueden usarse como transmisor y receptor, y viceversa. Es común el método de tener dos grupos de dispositivos de modulación y detección en sentido opuesto además de dos fibras para crear un sistema bidireccional completamente funcional.

¿Qué es la multiplexación?

Es un proceso que aumenta el rendimiento de transmisión óptica de una fibra. En la actualidad se puede aplicar la multiplexación WDM (Wavelength Division Multiplexing - Multiplexación por División de Longitud de Onda) [9], permite transmitir datos simultáneamente en una fibra en varias longitudes de onda portadora. La TDM (Time Division Multiple Access - Multiplexación por División de Tiempo) las frecuencias moduladoras comparten la misma portadora en tiempo no superpuestos. La combinación de WDM (Wavelength Division Multiplexing - Multiplexación por División de Longitud de Onda) y TDM (Time Division Multiple Access - Multiplexación por División de Tiempo) incrementan la capacidad de transmisión por fibra óptica.

La ITU (Unión internacional de telecomunicaciones), en la recomendación de código ITU-T G.671, define tres tipos de sistemas WDM (Wavelength division multiplexing - Multiplexación por división de longitud de onda): CWDM (Coarse wavelength Division Multiplexing – Multiplexado grueso por división de longitud de onda), DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing - Multiplexado denso por división en longitudes de onda), WWDM (Wide wavelength division multiplexing - Multiplexado amplio por división en longitudes de onda).

¿Qué es la ley de Snell?

Willebrod Snell en el año de 1591-1626, de manera experimental incidió un rayo de luz en un medio de dos superficies, creando los principios que definirán la reflexión y la refracción [5].

La figura 131 muestra los fundamentos de un rayo de luz que incide en dos medios.

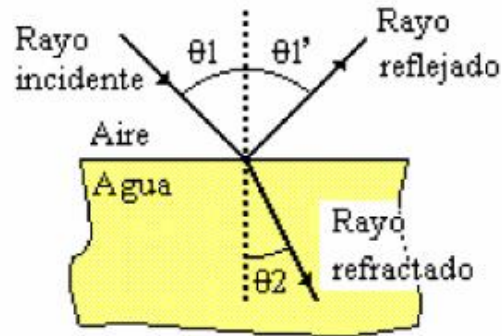


Figura 131. Reflexión y refracción de un rayo de luz al pasar del aire al agua. Fuente: [8].

Donde:

θ_1 = Angulo del rayo de incidencia.

θ_1' = Angulo del rayo reflejado.

θ_2 = Angulo de rayo refractado.

El rayo reflejo y refractado se forman por el rayo incidente en la frontera de dos medios en un punto creando la normal.

Para la reflexión se define que:

$$\theta_1 = \theta_1' \quad (1)$$

Para la refracción se define que:

$$n_1 \cdot \text{sen} \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen} \theta_2 \quad (2)$$

Donde:

n_1 : Índice de refracción del núcleo.

n_2 : Índice de refracción del revestimiento.

¿Que son los índices de refracción?

El índice de refracción se define por le relación entre C_o (Velocidad de propagación de la luz en el vacío, 3×10^8 m/s) y C_1 (Velocidad de propagación de la luz en el material) [10].

$$n = \frac{C_o}{C_i} \quad (3)$$

Donde:

n : Índice de refracción.

C_o : Velocidad de propagación de la luz en el vacío, 3×10^8 [m/s].

C_1 : Velocidad de propagación de la luz en el material.

¿Qué es el ángulo crítico?

El ángulo critico representa el valor máximo de un rayo que incide en el núcleo y revestimiento. Cuando el ángulo φ aumenta haciendo que el ángulo del rayo refractado tengo un valor de 90 grados con relaciona la normal (línea punteada), este ángulo incidente tendrá el nombre de Angulo Crítico.

¿Qué es la Reflexión interna total?

El rayo de luz logra propagarse dentro en el núcleo de la fibra óptica por el fenómeno de nombre reflexión interna total, el cual se desarrolla cuando el rayo de luz incide en los dos medios transparentes de la fibra (núcleo y revestimiento), los cuales tiene diferentes índices de refracción [11] [12].

Usando la ecuación 2. Según la ley de Snell, podemos deducir que.

$$\text{sen}\theta_1 = \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \text{sen}\theta_2 \quad (4)$$

Donde:

n_1 : Índice de refracción del núcleo.

n_2 : Índice de refracción del revestimiento.

θ_1 = Angulo del rayo de incidencia respecto a la normal.

θ_2 = Angulo de rayo refractado respecto a la normal.

θ_R = Angulo de rayo reflejado respecto a la normal.

Si n_1 (índice de refracción del medio 1) es mayor que n_2 (índice de refracción del medio 2), el ángulo θ_2 en la mayoría de las situaciones es mayor que el ángulo θ_1 . Mientras el ángulo θ_1 aumenta, el ángulo θ_2 hará lo mismo más rápido. Cuando el ángulo θ_1 hace que el ángulo θ_2 sea recto respecto a la normal, no va a existir refracción en el medio 2 y el rayo de luz es reflejado vuelta hacia el medio 1, esto ocurre en la frontera entre los dos medios. Este fenómeno se lo nombre Reflexión Interna total.

La figura 132 muestra una tabla resumiendo los pasos del concepto TIR (Total internal reflection - Reflexión interna total).

Cuando:	$n_1 > n_2$	→	Siempre será:	$\theta_2 > \theta_1$
Y en particular si:	$\theta_2 = 90^\circ$	→	Ocurre la TIR, es decir que:	$\theta_1 = \theta_R$
Y como:	$\text{sen } 90^\circ = 1$	→	en este caso:	$\text{sen } \theta_R = (n_2 / n_1)$

Figura 132. El siguiente gráfico muestra el concepto de TIR (Total internal reflection - Reflexión interna total). Fuente: [8].

¿Qué es la apertura numérica?

La figura 133 muestra la incidencia de un rayo de luz en la fibra óptica para definir NA (Numerical aperture - apertura numérica) [5].

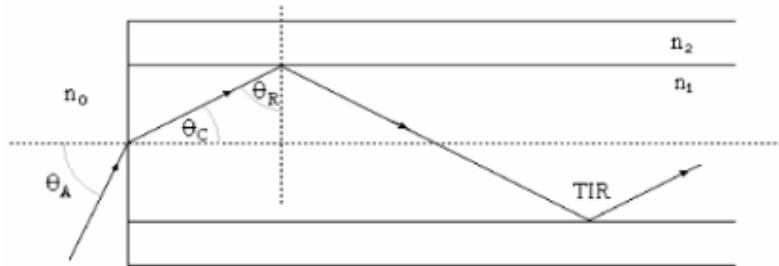


Figura 133. Incidencia de un rayo de luz en la fibra óptica para definir NA (Numerical aperture - Apertura Numérica). Fuente: [8].

En la figura 138 se puede ver el ángulo que inciden en el núcleo de la fibra óptica desarrollando el fenómeno de reflexión interna total. El ángulo tiene el nombre de ángulo de aceptación.

Se puede ver que:

$$\text{sen}\theta_R = \cos\theta_C \quad (5)$$

Donde:

θ_R : Ángulo del rayo de luz refractado por el medio n_1 (núcleo) y n_2 (revestimiento) respecto a la normal (línea punteada).

θ_C : Ángulo del rayo de luz refractado en la frontera entre n_0 (aire) y n_1 (núcleo).

De la ley de Snell deducimos.

$$n_0 \text{sen}\theta_A = n_1 \text{sen}\theta_C \quad (6)$$

Donde:

n_o : Índice de refracción del aire.

n_1 : Índice de refracción del núcleo de la fibra óptica.

θ_A : Angulo de apertura.

θ_C : Angulo del rayo de luz refractado por el medio n_o (aire) y n_1 (núcleo) de la fibra óptica.

Por la identidad trigonométrica se sabe que:

$$\text{sen}^2 \theta + \text{cos}^2 \theta = 1 \rightarrow \text{sen} \theta = \sqrt{1 - \text{cos}^2 \theta} \rightarrow \text{sen} \theta = \sqrt{1 - \text{cos}^2 \theta} \quad (7)$$

Reemplazando 6 en 5.

$$n_o \cdot \text{sen} \theta_A = n_1 \cdot \sqrt{1 - \text{cos}^2 \theta_C} \quad (8)$$

Cuando el ángulo del rayo refractado es igual a 90 en el punto A (ver figura 9), relacionándolo con la normal, el ángulo del rayo se define como crítico y se cumple que:

$$\text{cos} \theta_C = \frac{n_2}{n_1} \quad (9)$$

Reemplazando 9 en 8.

$$n_o \cdot \text{sen} \theta_A = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2} \quad (10)$$

Simplificando la ecuación 10, resulta.

$$\text{sen} \theta_A = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_o} \quad (11)$$

La constante n_0 es el índice del aire igual a 1. Se define la apertura numérica como:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (12)$$

Donde:

NA: Numero de apertura.

Se puede decir que la apertura numérica es el porcentaje de potencia de luz que a partir de la fuente entra a la fibra óptica. Los valores comunes de la apertura numérica son 0.14 a 0.20, lo que es igual al 14 % al 20 % de la luz transmitida por la fuente que acepta la fibra óptica [5].

¿Qué es el cono de aceptación?

El cono de aceptación es una forma de ver la acción de la entrada de luz a la fibra tridimensionalmente, depende al diámetro del núcleo de la fibra. Mientras el cono sea más grande mejor será el acoplamiento en el núcleo de la fibra óptica.

Por lo tanto, se deduce de la ecuación 12.

$$NA = \text{sen}\theta_A \quad (13)$$

¿Cuáles son los distintos tipos de fibras ópticas de acuerdo con el índice de refracción?

Existen principalmente dos tipos de fibras respecto al índice de refracción [6]. La Fibra de índice escalonado el núcleo como el revestimiento tienen un índice de refracción homogéneo en toda la distancia de la fibra óptica. Los rayos de luz que entran en un extremo de la fibra óptica llegan a la salida en diferente tiempo a razón de que las distancias que recorren también son desiguales debido a la apertura numérica de cada rayo de luz. Lo que desarrolla dispersión, propagando un pulso que se ensancha respecto al tiempo. Por este motivo, en la actualidad, las fibras que se fabrican son de diámetro reducido para que se propague solo un rayo de luz [5].

En el índice de refracción gradual, el índice que pertenece al núcleo aumenta desde la entrada donde tiene el mismo índice que el revestimiento hasta llegar a la mitad de fibra donde tiene un índice máximo diferente al del revestimiento, luego decrece hasta llegar otra vez al valor del índice del revestimiento. Esto hace que los rayos de luz desarrollen una trayectoria sinuosa. Las trayectorias más largas son de una velocidad mayor, esto ocurre cuando el índice de refracción del núcleo aumenta o decrece en los extremos de la fibra. Las trayectorias son más lentas en el centro de la fibra, donde el índice de refracción del núcleo es más elevado. Para ensanchar el pulso propagado se puede ajustar el perfil para que compense las variaciones de velocidad en la fibra.

Las fibras con diámetro reducido tienen perfiles de propagación que no se catalogan dentro del perfil escalonado. Estos perfiles logran mejoras como por ejemplo las pérdidas de curvaturas, aumentar la apertura numérica y la pérdida por dispersión la cual ocurre con una única longitud de onda que se puede propagar en dirección al revestimiento por el efecto túnel.

¿Cuáles son los modos de la fibra?

Los rayos de luz se pueden propagar por el medio respetando los límites determinados por la apertura numérica y el diámetro del núcleo. Estas trayectorias tienen el nombre de modo de propagación. Los rayos que se propagan con un ángulo bajo se los nombra modos de bajo orden, los rayos que se propagan con ángulo grande se los nombra modos de orden elevado. Cuando los valores de diámetro son grandes el cono de aceptación puede acoplar a la fibra más cantidad de luz [5].

El número de modos que se propagan en una fibra óptica se puede calcular aplicando el parámetro de frecuencia normalizada también nombrado número V de la fibra.

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot (NA)}{\lambda} \quad (14)$$

Donde:

V: Frecuencia normalizada.

d: Diámetro del núcleo. [um]

NA: Apertura numérica.

λ : Longitud de onda [nm].

Entonces se puede calcular el número de modos de siguiente manera.

Fibras de índice escalonado

$$N = \frac{V^2}{2} \quad (15)$$

Donde:

N: Numero de modos.

V: Frecuencia normalizada.

Fibras de índice gradual

$$N = \frac{V^2}{4} \quad (16)$$

Donde:

N: Numero de modos.

V: Frecuencia normalizada.

Si V en una fibra de índice escalonado se aproxima a 2,405 de longitud de onda (longitud de onda de corte), se está propagando un solo modo, tiene como características que el diámetro del núcleo y NA son muy pequeños. Esta manera de propagación tiene el nombre mono modo.

¿Cuáles son las pérdidas en las fibras ópticas?

La cantidad de luz que se propaga extremo de salida de la fibra siempre es en cantidades menores que la de la entrada. Esto es porque en la trayectoria de la luz dentro de la fibra se desarrollan una

serie de pérdidas.

Las pérdidas pueden clasificarse por factores externos e internos. Las primeras tienen el nombre de pérdidas extrínsecas, se desarrollan por la aplicación de empalmes, conexiones en diferentes tramos de la fibra y curvaturas forzadas en la fibra. Las segundas tienen el nombre de pérdidas intrínsecas son las pérdidas propias del material con que está hecha la fibra como la absorción del vidrio, defectos mecánicos de fabricación y la reflexión de Fresnel que ocurre en los extremos de la fibra.

¿Cuáles son las pérdidas en las fibras ópticas?

La cantidad de luz que se propaga extremo de salida de la fibra siempre es en cantidades menores que la de la entrada. Esto es porque en la trayectoria de la luz dentro de la fibra se desarrollan una serie de pérdidas.

Las pérdidas pueden clasificarse por factores externos e internos. Las primeras tienen el nombre de pérdidas extrínsecas, se desarrollan por la aplicación de empalmes, conexiones en diferentes tramos de la fibra y curvaturas forzadas de la fibra. Las segundas tienen el nombre de pérdidas intrínsecas son las pérdidas propias del material con que está hecha la fibra como la absorción del vidrio, defectos mecánicos de fabricación y la reflexión de Fresnel que ocurre en los extremos de la fibra.

¿Cuáles son las pérdidas extrínsecas?

El valor de NA (Apertura Numérica) puede reducirse los valores del número V debido al efecto de curvatura en una fibra multimodo.

La figura 134 muestra la curvatura en una fibra donde un rayo de luz (modo) se pierden por refracción.

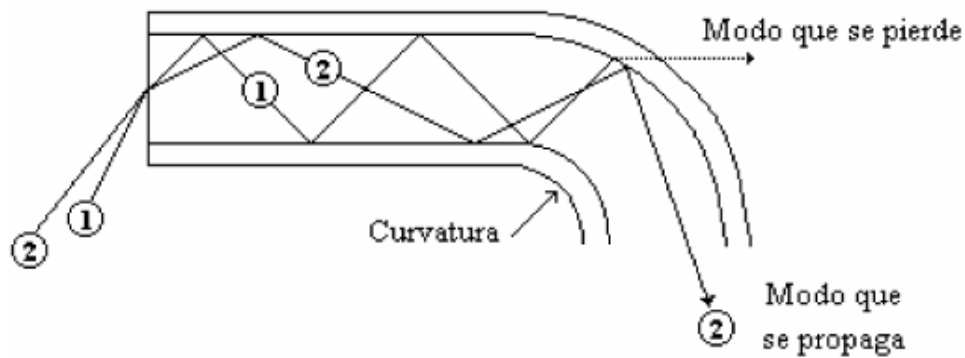


Figura 134. Curvatura en una fibra donde un rayo de luz (modo) se pierden por refracción.
Fuente: [8].

Cuando la fibra tiene una curvatura en esa zona de la fibra el rayo 1 desarrolla una refracción con dirección al revestimiento perdiéndose el modo por refracción. Se puede deducir que a menor diámetro del núcleo el efecto de la curvatura en la fibra se va reduciendo. La atenuación que produce es proporcional a la curvatura. No es un efecto de atenuación acumulativo.

La figura 135 muestra una gráfica de atenuación respecto al radio de curvatura de una fibra.

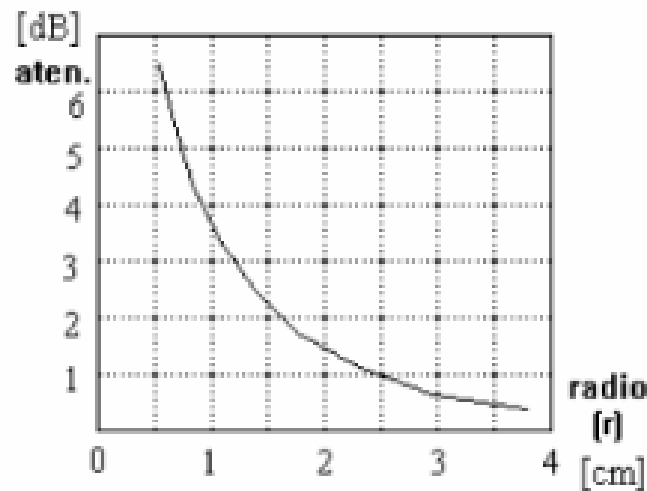


Figura 135. Gráfica de atenuación respecto al radio de curvatura de una fibra. Fuente: [8].

En las fibras monomodo como no tienen modos de orden superior que sean afectados por las curvaturas no producen variaciones en la apertura numérica. La fibra monomodo si presenta atenuación, lo que puede anular la propagación en su totalidad si está por debajo del radio de curvatura de corte, el cual se calcula con la siguiente ecuación.

$$R_c = \frac{3.n_1^2.\lambda}{4.\pi.(n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (17)$$

Donde n_1 es el índice de refracción del núcleo y n_2 es el índice de refracción del revestimiento. Los fabricantes recomiendan que el valor del radio de curvatura de un cable de fibra óptica no sea menor a 10 veces el diámetro del cable (incluyendo la cubierta).

Las microcurvaturas también son un efecto que crea atenuaciones. Estas ocurren por aplastamiento o deformaciones de la fibra al momento que se fabrica o al hacer una instalación. Cuando se pasa la fibra por una tubería se pueden desarrollar varios nudos si el cable no se lo instala adecuadamente.

La figura 136 muestra la creación de microcurvaturas en las instalaciones de fibra óptica.

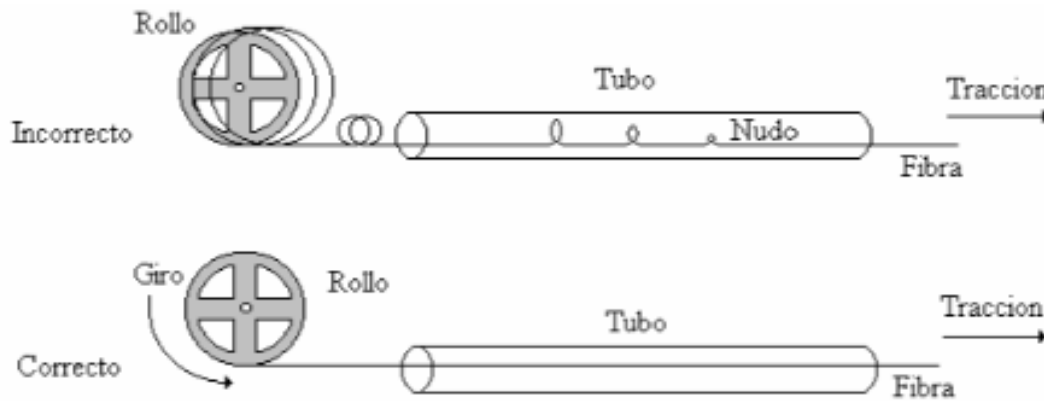


Figura 136. Creación de microcurvaturas en las instalaciones de fibra óptica. Fuente: [8].

Durante el acoplamiento de conectores también se puede crear microcurvaturas las cuales pueden afectar a la fibra de manera distinta dependiendo de las características de la fibra óptica.

La figura 137 muestra las microcurvaturas desarrolladas por un mal acoplamiento.

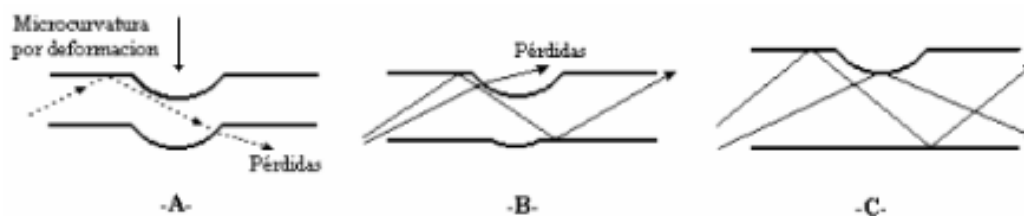


Figura 137. Microcurvaturas desarrolladas por un mal acoplamiento. Fuente: [8].

La figura A muestra una fibra con diámetro pequeño donde la deformación es igual a toda la sección transversal y puede que ocurra toda la pérdida. En la figura B es una fibra más gruesa la deformación no es igual, existen modos que llegan a ser atenuados, la figura B muestra una fibra de sección grande la cual desarrolla una alteración mínima ya que la deformación solo está en uno de los lados.

¿Cuáles son las pérdidas por acoplamiento?

Cuando la fibra se acopla a una fuente de luz, detector de luz u otra fibra. La unión entre los dos no es perfecta, lo que crea pérdidas. Como ya se sabe que cualquier rayo de luz que entre a la fibra fuera del rango del cono de aceptación se pierde a través del revestimiento por refracción.

Cuando una fuente de luz tiene un cono de aceptación amplio respecto a la de una fibra receptora si crea pérdidas, las cuales se calculan de la siguiente manera:

$$Pérdidas = 20 \cdot \log \frac{NA_2}{NA_1} \quad (18)$$

Donde NA_1 y NA_2 son los valores de apertura numérica más grandes y chico respectivamente. Se puede deducir que no es buena idea acoplar o empalmar una fibra óptica de diferentes diámetros, aunque fuera el mismo hay que comprar el valor de apertura numérica.

¿Cuáles son las pérdidas intrínsecas?

Cuando la luz atraviesa medios transparentes como el vidrio, parte de la energía de las ondas luminosas, son cedidas a las moléculas del material del medio y se transforman en otro tipo de energía por ejemplo el calor. El vidrio desarrolla absorción de energía, magnitud que tiene relación con la frecuencia de resonancia molecular y con la longitud de onda de la luz. La absorción se define de la siguiente manera.

$$Absorción \propto C \cdot 10^{\frac{1}{\lambda}} \quad (19)$$

Donde C es una constante y λ es la longitud de onda de la luz.

Cuando se representa gráfica de valores de la absorción, la curva en función de la longitud de onda (abscisa) tiene irregularidades que determinan cierta banda de absorción selectiva, por ejemplo.

1. Banda del ultravioleta.
2. Banda de infra rojo.
3. Bandas del radical OH.
4. Bandas de iones metálicos.

La dispersión de Rayleigh es otro mecanismo que desarrolla dispersión. Esto se debe a defecto de microburbujas, impurezas, o variaciones de la densidad del vidrio. Los rayos de luz cambian de dirección creando otros valores de apertura numerica que pueden atravesar el revestimiento por refracción o llegar al otro extremo del cable en tiempos diferentes causando ensanchamiento del pulso.

La figura 138 muestra los efectos de la dispersión en la fibra óptica.

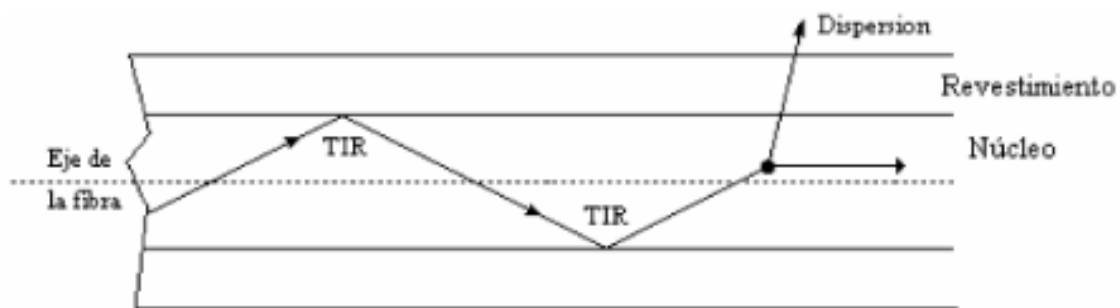


Figura 138. Efectos de la dispersión en la fibra óptica. Fuente: [8].

La absorción depende la frecuencia considerada. Los fabricantes de fibras ópticas especifican las pérdidas por absorción en unidades de decibelios por unidad de longitud kilómetros.

La figura 139 muestra una curva de atenuación de una fibra óptica en función de la longitud de onda para aplicaciones prácticas donde se puede visualizar las ventanas de trabajos.

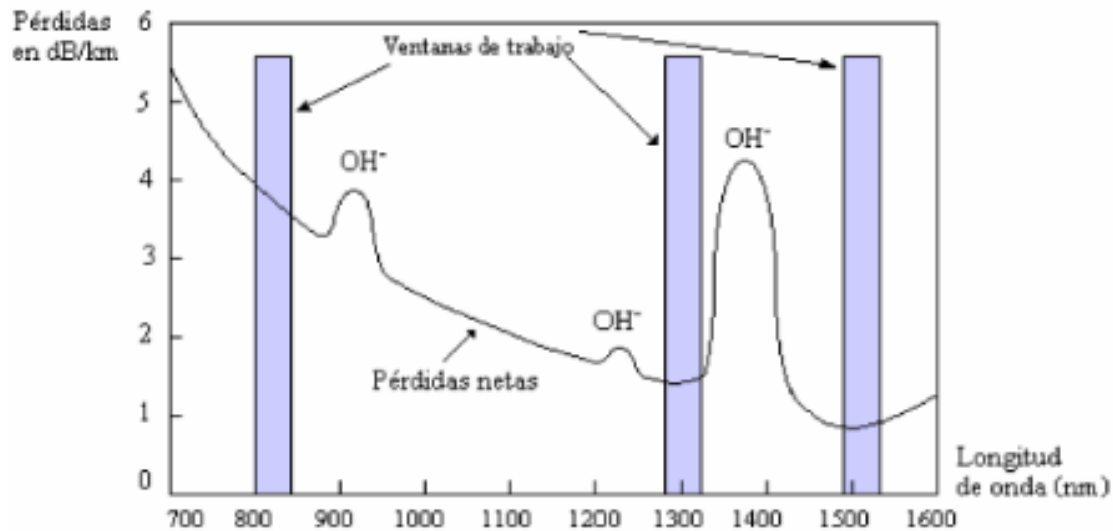


Figura 139. Curva de atenuación de una fibra óptica en función de la longitud de onda para aplicaciones prácticas donde se puede visualizar las ventanas de trabajos. Fuente: [8].

En la figura se puede ver que hay zonas del espectro que no es conveniente trabajar ya que se desarrollan picos de absorción en sectores donde hay radicales OH que provienen del agua y que en el momento de fabricación se difunden en el vidrio. Por lo tanto, se establecieron espectros con el nombre de ventanas de trabajos (longitudes de ondas). Para transmisiones a larga distancia se establecieron las ventanas de 1300 o 1550 nm (nanómetros) y 800 nm (nanómetros) para distancias cortas. Tomaron en cuenta características como la velocidad de transmisión, ancho de banda y la disponibilidad de emisores y detectores que funcionan satisfactoriamente en estas ventanas de trabajo. En la actualidad, la fabricación de la fibra ha ido mejorando lo que al mismo tiempo han aparecido nuevas ventanas de trabajo.

¿Cuál es la reflexión de Fresnel?

La reflexión de Fresnel se desarrolla en la frontera entre dos medios que tienen diferente índice de refracción haciendo que una parte de la energía de los rayos de luz se reflejen al origen. La reflexión Fresnel ocurre en la frontera entre la fibra óptica y el aire. La cantidad de energía que se refleja depende de los índices de refracción de los medios. Se define de la siguiente manera.

$$\text{Luz reflejada}(\%) = 100 \cdot \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (20)$$

Donde:

n_1 : Índice de refracción del núcleo.

n_2 : Índice de refracción del revestimiento.

La figura 140 muestra la reflexión de Fresnel.

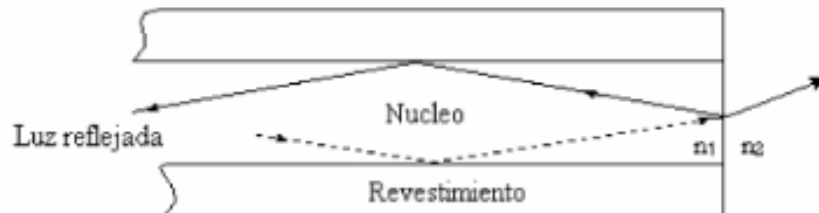


Figura 140. Reflexión de Fresnel. Fuente: [8].

El índice de refracción del aire puede variar por la temperatura, la humedad y presencia de partículas en suspensión. Si los extremos de la fibra no están protegidos lo suficiente puede que adquiera partículas de polvo o condensar humedad. Todas estas características de efectos negativos influyen en el porcentaje de reflexión de Fresnel, por eso es recomendable realizar limpieza y protección a los conectores que se usen para acoplamiento.

¿Como calcular la atenuación total?

La siguiente formula de atenuación total calcula todas las perdidas extrínsecas e intrínsecas de una fibra óptica. Se define de la siguiente manera [3] [13]:

$$TA = (nC) + (cJ) + (Lx\alpha) + M \quad (21)$$

Donde:

n = Número de conectores.

C = Atenuación por acoplamiento de conectores [dB].

c = Número de empalmes en la fibra óptica

J = Atenuación de un empalme [dB].

L = Longitud del cable óptico.

a = Atenuación de cable óptico [dB/km].

M = Factor de degradación [dB].

Existen valores que siempre se tienen que agregar a las pérdidas, como el factor de degradación con valor constante de 3 [dB]. El otro el factor de degradación ambiental el cual puede ser el valor de 5 [dB] para ambientes externos y 2 [dB] para ambientes internos.

Para calcular la atenuación máxima con la fórmula de atenuación total se tiene que tomar en cuenta la siguiente tabla en valores de longitud de onda de 1550[nm].

La figura 141 muestra la tabla de estándares de atenuación total.

	Atenuación/kilómetro (dB/km)	Atenuación/conector óptico (dB)	Atenuación/junta (dB)	
Min	0,17	0,2	0,01	Las mejores condiciones
Average	0,22	0,35	0,05	Normal
Max	0,4	0,7	0,1	La peor situación

Figura 141. Valores de atenuación. Fuente: [14].

¿Qué es la relación logarítmica de potencia?

Es una relación para medir la ganancia o atenuación de un medio o sistema óptico. Depende la potencia de entrada y la potencia de salida. El logaritmo es en base 10.

Para ganancia:

$$dB = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (22)$$

Donde:

P_1 : Potencia de entrada [W].

P_2 : Potencia de salida [W].

Para atenuación:

$$dB = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad (23)$$

Donde:

P_1 : Potencia de entrada [W].

P_2 : Potencia de salida [W].

La relación decibelio-miliwatt es una unidad de medida de referencia de 1[mW].

$$dB = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{P}{1mW} \right) \quad (24)$$

Donde:

P: Potencia [W].

¿Qué es diodo laser?

Los diodos laser están formados por junturas semiconductoras, tiene un elemento dieléctico de longitud de onda. Generando por una emisión estimulada una única longitud de onda. El resonador óptico, es el tipo más simple de diodo laser. Está formado por un pequeño bloque compuesto por varias capas del semiconductor las cuales forman la juntura. Estas capas tienen una hendidura la que se encuentra entre dos superficies paralelas y reflectoras, una de ellas levemente translúcida. El conjunto de estas capas se comporta como una cavidad óptica. El haz emitido es de gran intensidad y muy direccional. Para que se producen estos efectos el mínimo valor de corriente a través de la juntura debe ser de 100 mA (miliamperios) el cual depende de la temperatura. La potencia de salida del bloque compuesto por las capas es alrededor de 10 dBm.

La longitud de onda dependerá del tipo de semiconductor. La transmisión se genera con un valor de ancho espectral determinada, dado por los subniveles de las capas que forman el bloque. no se puede evitar que exista una transmisión espontánea con longitudes de ondas adyacentes. Para esto en las hendiduras, la superficie es corrugada para generar una red de difracción y mejorar el

proceso cuando el rayo de luz pase por los espejos de la cavidad. Consiguiendo una única longitud de onda.

La figura 142 muestra los canales de contacto con superficie lisa y con superficie corrugada con su análisis en el dominio frecuencial.

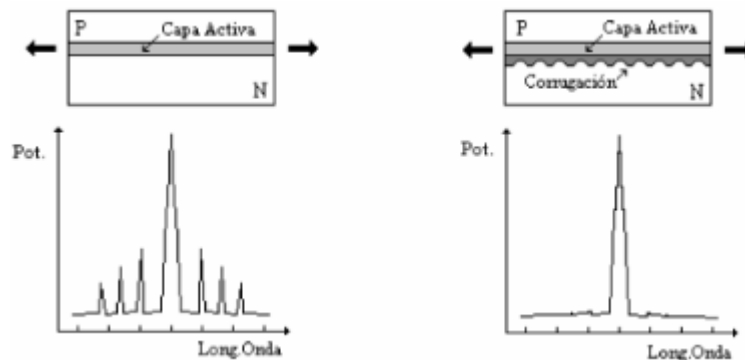


Figura 142. canales de contacto con superficie lisa y con superficie corrugada con su análisis en el dominio frecuencial. Fuente: [8].

¿Qué es un fotodiodo PIN?

Un fotodiodo produce una corriente eléctrica por la estimulación generada por los fotones receptados. Se caracteriza por tener tres capas semiconductoras, capa tipo P, Capa de material intrínseco, Capa tipo N. El semiconductor intrínseco no está dopado con impurezas, esta intercalado entre la capa P y la capa N del diodo. Esto consigue incrementar la eficiencia del fotodiodo.

La sensibilidad del fotodiodo se caracteriza por la relación entre la corriente promedio que se estimula en el detector y la potencia promedio de la luz recibida, el resultado es en unidades de A/W. la sensibilidad depende del material que usa para su fabricación, cambia por la longitud de onda incidente y por la temperatura de funcionamiento. El ruido de un fotodiodo se caracteriza porque no siempre la energía creada es por el fotón transmitido sino por la generación de ruido de granalla la consiste en pequeñas corrientes por los pares electrón – hueco generadas de anterioridad que se nombra corriente de oscuridad. El otro ruido común en los fotodiodos es el ruido térmico por la resistencia eléctrica del circuito.

La figura 143 muestra el funcionamiento de un diodo PIN.

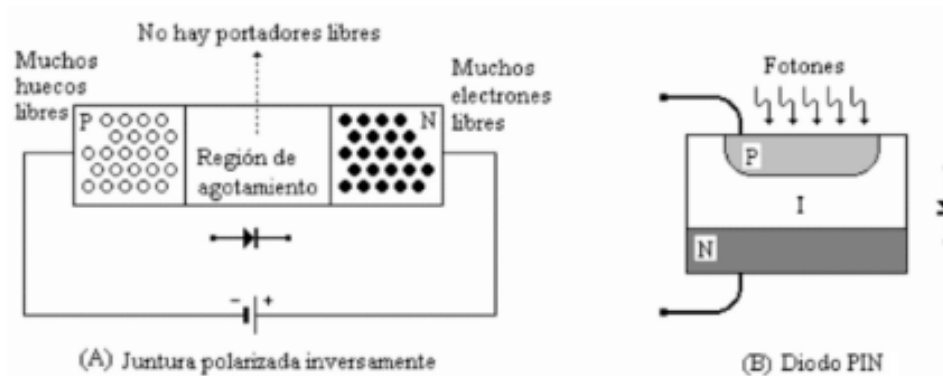


Figura 143. Funcionamiento de un diodo PIN. Fuente: [8].

EL fotodiodo PIN se usa en sistemas de fibra óptica. Esta diseñas específicamente para estos sistemas. La capa intrínseca se la seleccionado por medio de las características de eficiencia y velocidad de respuesta.

¿Que son las zonas muertas de eventos y atenuación?

El reflectómetro en el dominio del tiempo óptico mide potencias muy altas, esto es por el desarrollo de reflexiones de retorno a la fuente. Este fenómeno suele crearse en el conector ya que puede ingresar una cierta cantidad de aire dentro de la fibra.

Existen dos tipos de zonas muestras, la primero es la zona muerta de evento, es la distancia en la gráfica en la que no se puede distinguir los eventos de conexiones consecutivos. Empieza desde el primer evento detectado por el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico hasta -1.5 [dB] desde el valor máximo de reflexión.

La figura 144 muestra la zona muestra por evento.

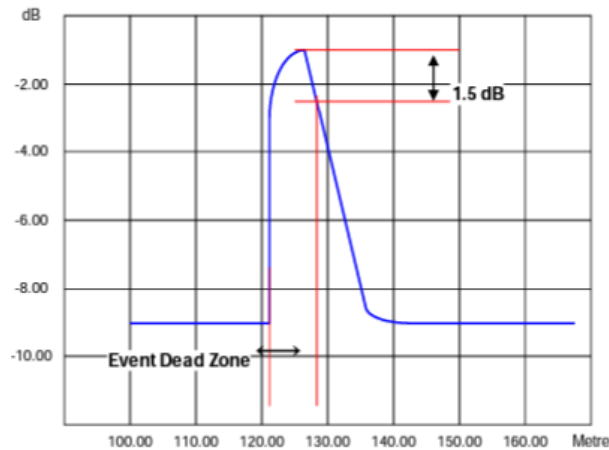


Figura 144. Zona muestra por evento. Fuente: [19].

Si la distancia entre dos eventos de conexión es más corta que la zona muestra de atenuación. Pero es más largo que la zona muerta de evento el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico mostrara dos reflexiones combinadas.

La figura 145 muestra reflexiones combinadas.

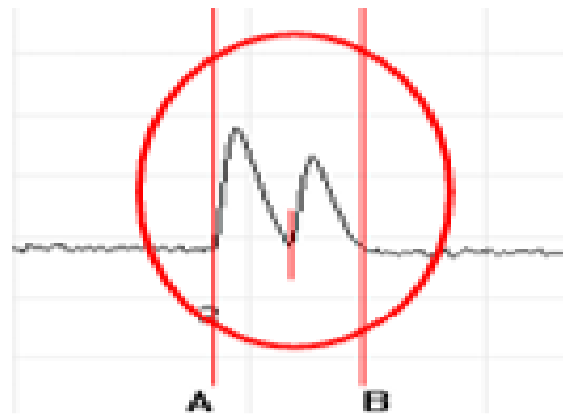


Figura 145. Reflexiones combinadas por distancias cortas de eventos respecto a la zona muestra de atenuación. Fuente: [19].

El segundo es la zona muerta por atenuación. Es la distancia mínima de detección para medir un evento consecutivo no reflectante como por ejemplo un empalme. Tiene un valor de 0.5 [dB], se localiza en el borde final de la reflexión [11].

La figura 146 muestra la zona muerta por atenuación.

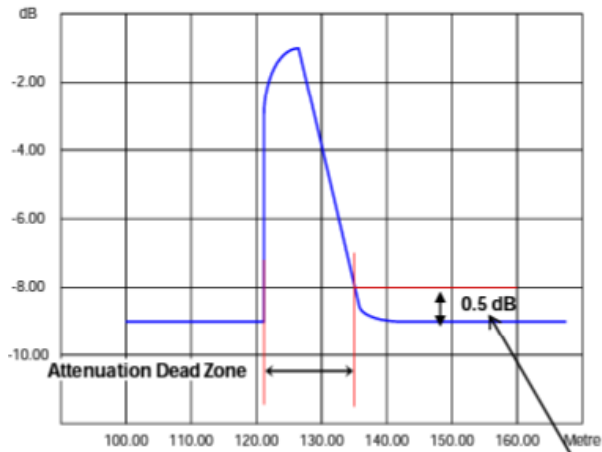


Figura 146. Zona muerta por atenuación. Fuente: [19].

Si los eventos de par de conectores están dentro de la zona muestra de eventos y un empalme está en una distancia corta no se logrará detectar la atenuación. Por ejemplo, se podrá detectar eventos de empalmes si están en distancias largas.

La figura 147 muestra la zona muerta de atenuación antes y después de un evento de empalme.

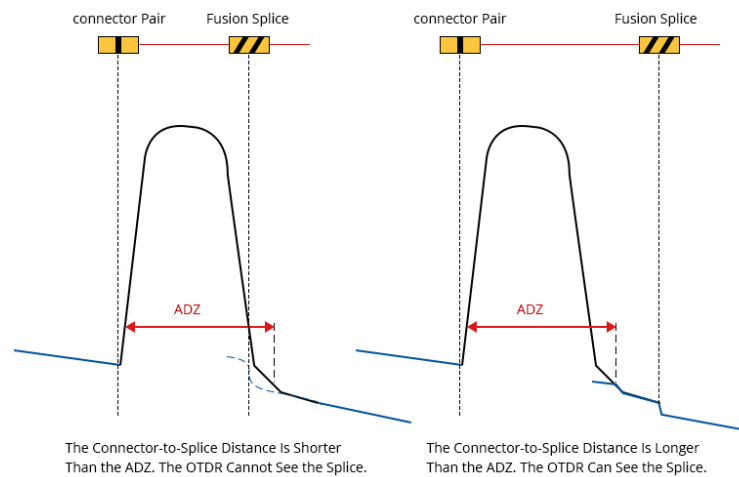


Figura 147. Atenuación por empalme antes y después de la zona muestra por atenuación. Fuente: [19].

Para poder medir la pérdida es necesario adaptar el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico a las características del medio óptico, los parámetros que se configuran para la adaptación son, rango de la distancia del medio, ancho de pulso, duración promedio de las medidas.

La tabla 5 muestra la tabla de posibles configuraciones de los parámetros del reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

Distancia Medida	Ancho del pulso / Tiempo
menos que 1.5 [km]	5 [ns]/30 [s] o 10 [ns]/15 [s]
1.5 a 5 [km]	10 [ns]/30 [s] o 30 [ns]/15 [s]
5 a 10 [km]	10 [ns]/45 [s] o 30 [ns]/30 [s]
10 a 20 [km]	30 [ns]/45 [s] o 100 [ns]/30 [s]
20 a 40 [km]	100 [ns]/60 [s] o 275 [ns]/45 [s]
40 a 80 [km]	275 [ns]/90 [s] o 1 [ns]/60 [s]
80 a 120 [km]	1 [ns]/90 [s] o 2.5 [ns]/60 [s]
120 a 160 [km]	2.5 [ns]/120 [s] o 10 [ns]/90 [s]
160 a 200 [km]	10 [ns]/120 [s] o 20 [ns]/90 [s]
200 a 260 [km]	20 [ns]/120 [s]

Tabla 15. Tabla de configuración del ODTR (Reflectómetro en el Dominio del Tiempo Óptico).

El reflectómetro en el dominio del tiempo óptico YOKOGAWA AQ7280 OTDR. Sirve para medir las pérdidas de un medio óptico, la potencia recibida, realiza los gráficos de las zonas muertas de evento y atenuación.

MARCO PROCEDIMENTAL

Métodos usados para el manual de prácticas para laboratorio de comunicaciones ópticas.

Pasos para medir las pérdidas desarrollas en 3km de fibra óptica monomodo de tres cables de lanzamiento OTDR de 1km usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

Conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3 [m] al puerto de nombre 'OTDR fuente de luz estabilizada' del AQ2783E.

Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo al obturador del primer adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después, conectar la entrada del primer cable de

lanzamiento. al mismo adaptador.

Luego, conectar la salida del cable de lanzamiento al obturador del segundo adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC- SC/UPC (Suscriptor Connector with ultra physical contact splint on both sides - Conector Suscriptor con férula contacto ultra físico en ambos lados) de 3 [m] al mismo obturador.

Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo al obturador del tercer adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después, conectar la entrada del segundo cable de lanzamiento al otro lado del mismo adaptador.

Luego, conectar la salida del cable de lanzamiento al obturador del cuarto adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC- SC/UPC (Suscriptor Connector with ultra physical contact splint on both sides - Conector Suscriptor con férula contacto ultra físico en ambos lados) de 3 [m] al mismo obturador.

Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo al quinto adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después, conectar la entrada del tercer cable de lanzamiento OTDR al mismo adaptador.

Luego, conectar la salida del cable de lanzamiento al obturador del sexto adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3 [m] al mismo adaptador

Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo de 3 [m] a un dispositivo puesto a prueba para terminar con el medio óptico. Para finalizar, realizar un registro de pérdidas de potencia [dB] en diez instalaciones del medio de 3 [km] usando el Reflectómetro en el dominio del tiempo óptico).

Pasos para medir la potencia recibida generada por el controlador de cuadros AQ2200 en 3 [km] de fibra óptica monomodo de tres cables de lanzamiento OTDR de 1km usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.

Ubicar el controlador de cuadros YOKOGAWA AQ2211. Ver figura 40. En un lugar seguro. Instalar el módulo YOKOGAWA AQ2200-131.

Encender el dispositivo el AQ2211 aplastando el botón de encendido. Al medio óptico ya creado de la primera práctica. Ver figura 73. Conectar al primer adaptador SC ya instalado en la entrada del medio óptico de 3 [km], al extremo SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact - Conector suscriptor/Contacto ultra físico) de una fibra óptica mono modo de 3 [m].

Luego, conectar el extremo FC/UPC (Ferrule Connector/ Ultra physical contact - Conector Ferrule/Contacto ultra físico) de la fibra óptica mono modo de 3 [m] al puerto FC (Ferrule Connector/Conector Ferrule) del módulo AQ2200-131,.

Conectar al último adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor) ya instalado en la salida del medio óptico de 3 [km], el extremo de una fibra óptica mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3 [m].

Conectar el otro extremo de la fibra óptica mono modo de 3 [m], al puerto de nombre 'OPM' del AQ7280.

Verificar que el conector de cierre interno A1288JA este enchufado en el puerto de interbloqueo remoto del AQ2211 para desbloquear la fuente de luz laser.

Ir a la interfaz de nombre resumen, ver figura 49. Encender el módulo AQ2200-131.

Para finalizar, Verificar que el módulo OPM AQ7280 este recibiendo la potencia de recepción. Realizar el registro de diez instalaciones del sistema óptico 3 [km].

La figura 148 muestra el sistema óptico de 3km de cable de lanzamiento OTDR.



Figura 148. sistema óptico de 3km de cable de lanzamiento OTDR. Fuente: [18] [19] [8].

Pasos para medir las pérdidas desarrolladas por el medio óptico Fiber Lab 800 de 20 [km] de fibra monomodo usando el OTDR.

Conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3 [m] al puerto de nombre 'OTDR fuente de luz estabilizada' del AQ7280E.

Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo de 3 [m] al obturador del primer adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después, conectar la entrada de un cable de lanzamiento al mismo adaptador. Luego, conectar la salida del cable de lanzamiento al obturador del segundo adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC-SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3 [m] al mismo adaptador. Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo de 3 [m] a la entrada del fiber lab 800.

Conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3 [m] a la salida del fiber lab 800. Después, conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo de

3 [m] a un dispositivo puesto a prueba.

Para finalizar, realizar un registro de diez instalaciones del medio óptico de 20 [km] usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico para medir las pérdidas. Realizar cinco registros con el cable de lanzamiento y cinco registros solo con la fiber lab 800.

Pasos para medir la potencia recibida generada por el controlador de cuadros AQ2200 en el medio óptico Fiber Lab 800 de 20 [km] de fibra monomodo usando el OTDR.

A continuación. Ubicar el controlador de cuadros AQ2211 en un lugar donde se pueda realizar la práctica. Instalar el módulo AQ2200-131.

Encender el dispositivo AQ2211. Conectar el extremo FC/UPC de una fibra óptica mono modo de 3 [m], al puerto FC del módulo AQ2200-131.

Conectar el otro extremo SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact - Conector Suscriptor/ Contacto ultra físico) de la fibra óptica mono modo de 3 [m] al primer adaptador SC (Suscriptor Connector - Conector Suscriptor). Después, conectar la entrada del cable de lanzamiento de 1 [km] al mismo adaptador. Luego, conectar la salida del cable de lanzamiento al segundo adaptador SC. Después conectar un extremo de fibra óptica mono modo SC/UPC – SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) de 3[m], al mismo adaptador. Conectar el otro extremo de fibra óptica mono modo de 3 [m] a la entrada del fiber lab 800. Conectar la salida del fiber lab 800 a una fibra mono modo SC/UPC - SC/UPC (Suscriptor Connector/Ultra physical contact, on both sides - Conector Suscriptor/Contacto ultra físico, en ambos lados) al puerto de nombre ‘OPM’ del módulo AQ7280. Encender el módulo.

Verificar que el conector de cierre interno A1288JA este enchufado en el puerto de interbloqueo remoto del controlador de cuadros AQ2211 para desbloquear la fuente de luz laser

Encender la fuente de luz laser. Verificar que el módulo de nombre OPM AQ7280 este midiendo potencia. Para finalizar, realizar un registro de diez instalaciones del sistema óptico de 20 [km].

La figura 149 muestra el sistema óptico de 20km con el fiber lab 800.

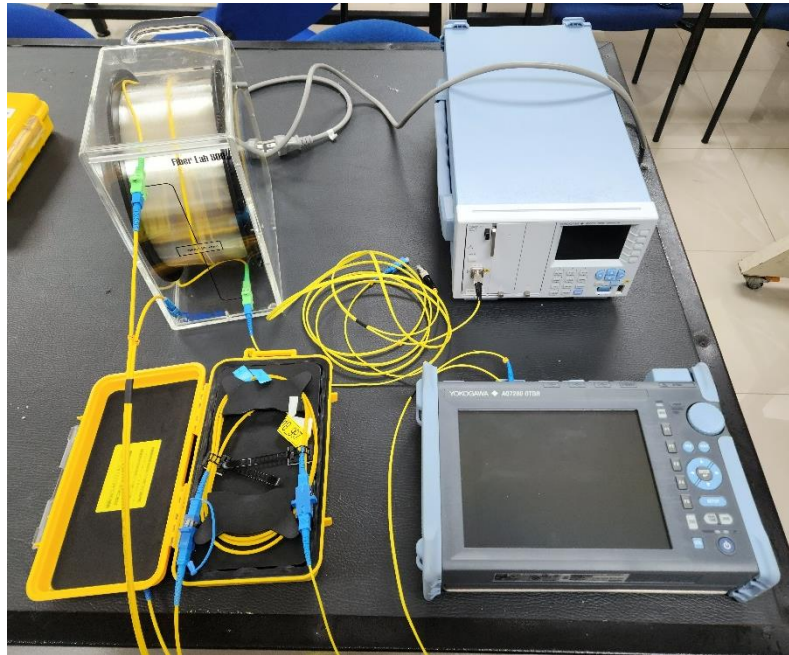


Figura 149. el Sistema óptico de 20km con el fiber lab 800. Fuente: [18] [19] [8].

REGISTRO DE RESULTADOS

Calcular el índice de refracción

Velocidad de la luz = 3×10^8

Velocidad de la luz en el dióxido de silicio (SiO₂) = 2.04×10^8

Velocidad de la luz en el dióxido de silicio (SiO₂) combinado con otros materiales = 2.06×10^8

Usando la ecuación 3, calcular el índice de refracción del núcleo.

$$n_1 = \frac{C_o}{C_i}$$

$$n_1 = \frac{3 \times 10^8}{2.058 \times 10^8}$$

$$n_1 = 1.4571$$

Usando la ecuación 3, calcular el índice de refracción del revestimiento.

$$n_2 = \frac{C_o}{C_i}$$

$$n_2 = \frac{3 \times 10^8}{2.068 \times 10^5}$$

$$n_2 = 1.4511$$

Calcular el número de apertura

Usando la ecuación 12.

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1,4571^2 - 1,4511^2} = \sqrt{0.0174} = 0.132$$

$$NA = \sin \theta$$

$$\arcsin(0.132) = 7.5^\circ$$

Calcular la frecuencia normalizada

Usando la ecuación 14

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot (NA)}{\lambda}$$

$$V = \frac{(3.14)(4.6 \times 10^{-6})(0.132)}{(1550 \times 10^{-9})}$$

$$V = 1.23$$

Entonces el número de modos será, usando la ecuación 15

$$N = \frac{V^2}{2}$$

$$N = \frac{1.23^2}{2}$$

$$N = 0.75 \approx 1$$

Calcular el porcentaje de reflexión de Fresnel

Usando la ecuación 20.

$$\text{Luz reflejada(\%)} = 100 \cdot \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} = 100 \cdot \frac{(1 - 1.4571)^2}{(1 + 1.4571)^2} = 3.46\%$$

Calcular la reflexión total interna

Primera aplicación de ley de Snell para la frontera entre el aire y el núcleo de la fibra.

$$n_o \text{sen}\theta_A = n_1 \text{sen}\theta_C \dots (1)$$

Segunda aplicación de ley de Snell para la frontera entre el núcleo y el revestimiento de la fibra.

$$n_1 \text{sen}\theta_C = n_2 \text{sen}\theta_R \dots (2)$$

Si necesitamos hacer que el rayo de luz se refleje totalmente. Se usa el máximo valor angular de 90 grados (ángulo crítico)

$$\text{sen}\theta_R = \text{sen}(90^\circ) = 1 \dots (3)$$

Reemplazamos 3 en 2

$$(1,4571) \cdot \text{sen} \theta_C = (1,4511) \cdot 1$$

$$\text{sen} \theta_C = \frac{1.4511}{1.4571} = 0.996$$

$$\theta_C = \arcsin(0.996) = 84.8^\circ$$

Como decimos que es un triángulo rectángulo entre θ_1 , θ_1' , 90° . suman 180° . entonces:

$$\theta_R = 90^\circ - 84,8^\circ = 5.2^\circ \dots(4)$$

Reemplazamos 4 en 1

$$(1) \cdot \text{sen} \theta_A = (1,4571) \cdot \text{sen}(5,2^\circ)$$

$$\text{sen} \theta_A = (1,4571) \cdot \text{sen}(5,2^\circ) = 0.132$$

$$\theta_A = \arcsin(0.132) = 7.5^\circ$$

Medición y cálculos de pérdidas y potencia recibida usando el ODTR y la ecuación de atenuación total en sistema óptico de 3km.

Medición de las pérdidas usando el YOKOGAWA AQ7280E OTDR en un medio óptico de 3 [km].

Medir las pérdidas del medio óptico usando el AQ7280E OTDR. La potencia usada trabaja en la ventana de 1550 nm. Se realizó un registro de 10 instalaciones del medio óptico.

Primera instalación:

La figura 150 muestra el mapa de eventos realizado por el reflectómetro propagando un rayo de luz de 1550 [nm] de longitud de onda. El dispositivo no detectó la conexión del primer cable de lanzamiento de 1 [km] y el cable de 3 [m] que se conectó con el reflectómetro. Tampoco detectó la última conexión del tercer cable de lanzamiento con el dispositivo puesto a prueba.

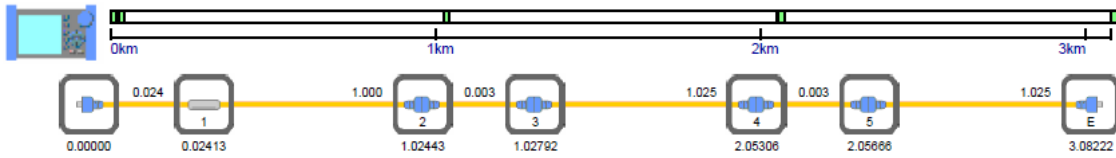


Figura 150. Eventos al momento de realizar la medición. Fuente: [19].

La figura 151 muestra un gráfico de decibelios sobre metros de atenuación. Donde cada cuadrícula está dividida por 0.5 [dB]/500 [m]. muestra la atenuación del medio. Y la combinación reflexiones de Fresnel limitada por las zonas muertas.

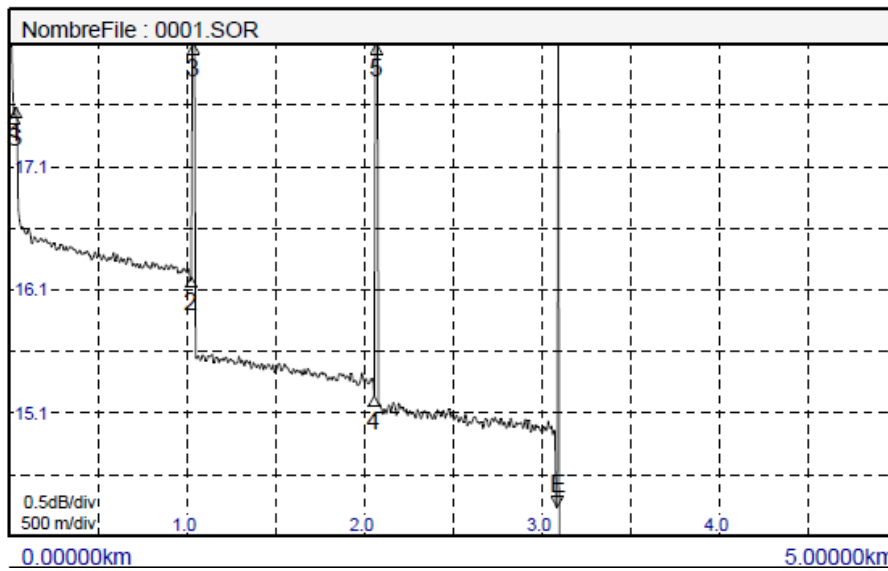


Figura 151. Gráfico de decibelios sobre metros de atenuación. Fuente: [19].

La figura 152 muestra el cursor localizado en el primer evento de atenuación en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] y el comienzo del medio la letra S.

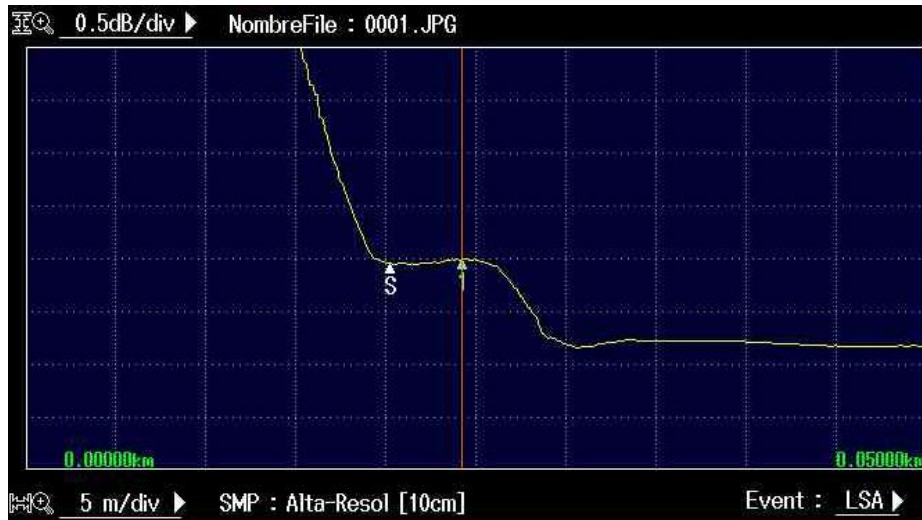


Figura 152. Primer evento de atenuación en una gráfica de 0.5dB/5m. y el comienzo del medio la letra S. Fuente: [19].

La figura 153 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] la combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión entre el 1 [km] y el 2 [km] es más corta que la zona muerta de atenuación, pero es más largo que la zona muerta de evento. El cursor de color naranja muestra la primera conexión. El cursor de color azul muestra la distancia de la zona muerta del primer evento el cual va desde el pico de la primera reflexión y un valor de 1.5 [dB] bajando por el borde de caída. (después de este valor puede aparecer una combinación de eventos).

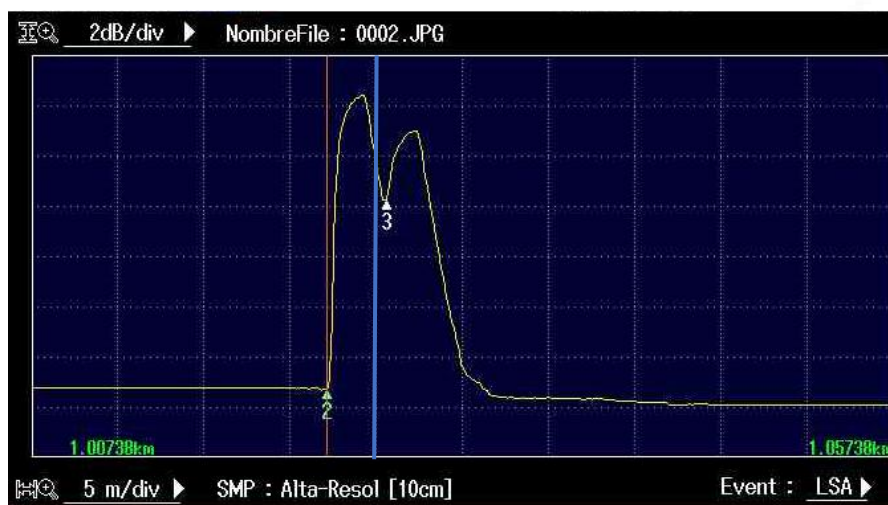


Figura 153. Reflexión de Fresnel de la segunda conexión (acople). Fuente: [19].

La figura 154 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] el cursor de la segunda conexión entre el 1 [km] y el 2 [km]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Lo que significa que termina la zona muestra de atenuación y los rayos de luz que se propagan por fibra óptica son detectados por el reflectómetro.

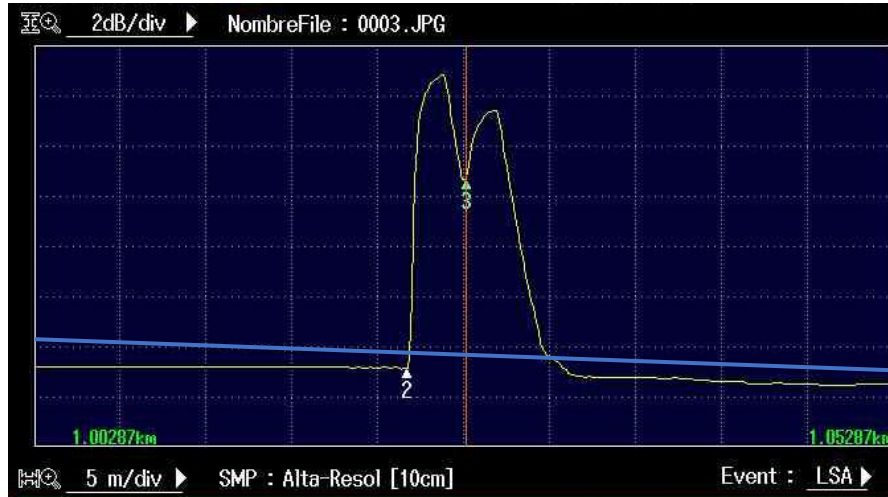


Figura 154. Reflexión de Fresnel de la segunda conexión y límite de zona muestra de atenuación (acople). Fuente: [19].

La figura 155 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] la combinación de reflexiones que se crea por la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión entre el 2 [km] y el 3 [km] es más corta que la zona muerta de atenuación, pero es más largo que la zona muerta de evento. El cursor de color naranja muestra la primera conexión. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra del primer evento el cual va desde el pico de la primera reflexión y un valor de 1.5 [dB] bajando por el borde de caída. (después de este valor puede aparecer una combinación de eventos).

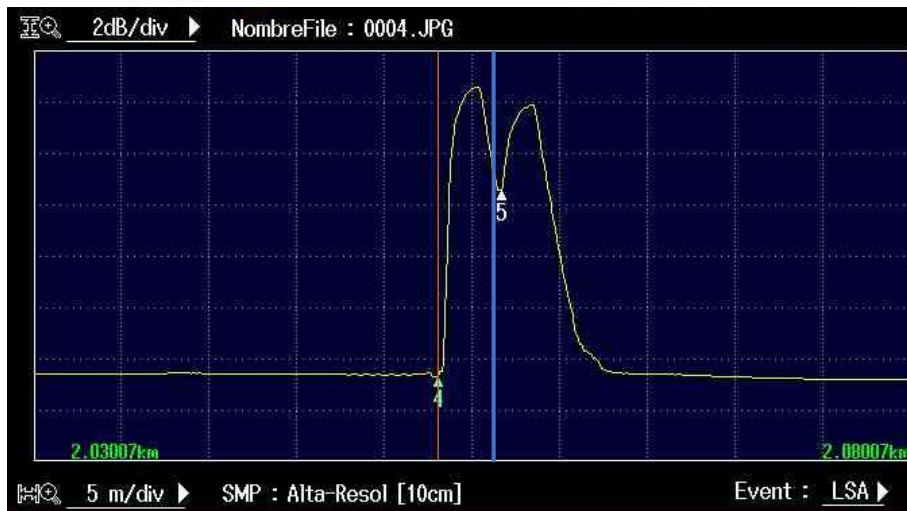


Figura 155. Combinación de reflexiones que se crea por la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 156 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] el cursor de la segunda conexión entre el 2 [km] y el 3 [km]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Lo que significa que termina la zona muestra de atenuación y los rayos de luz que se propagan por fibra óptica son detectados por el reflectómetro.

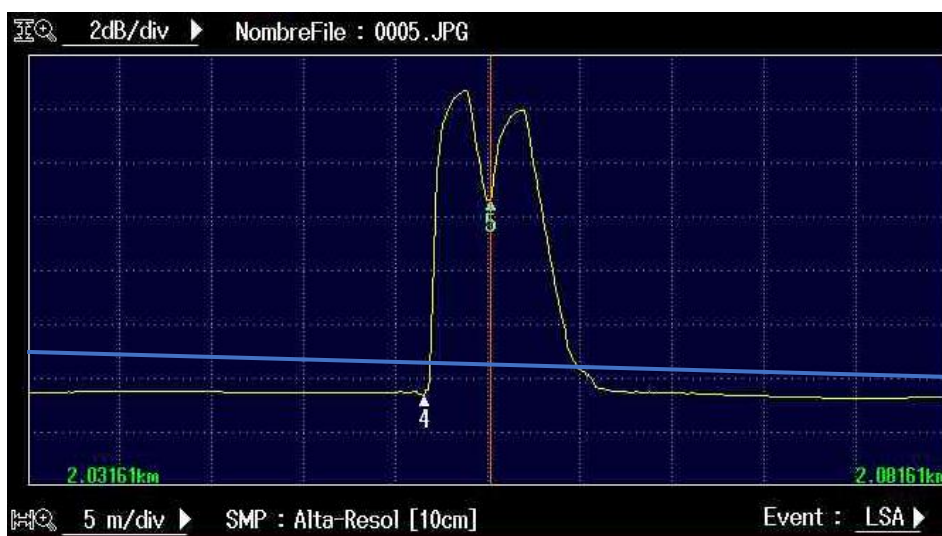


Figura 156. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 dB (decibelios), paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 157 muestra el final del medio óptico con pérdidas de 2.563 [dB].

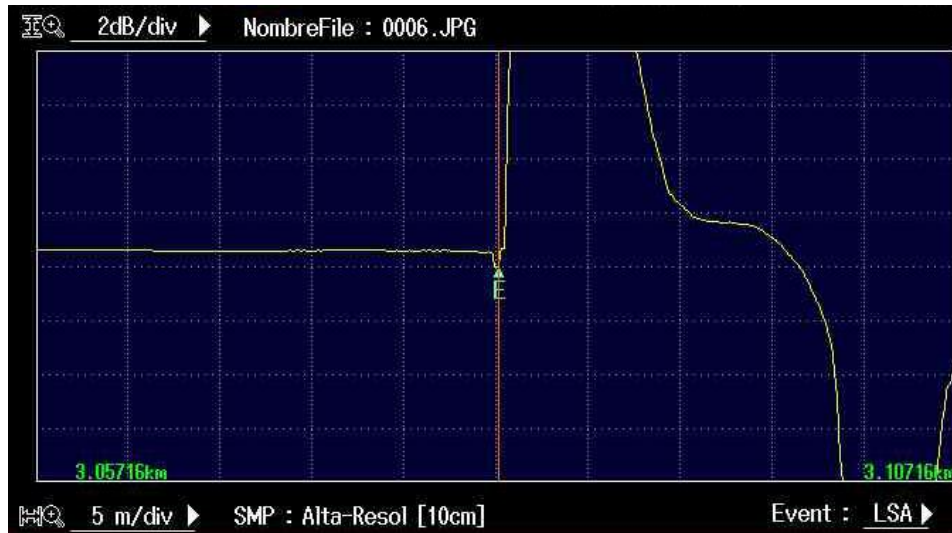


Figura 157. Final del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 158 muestra la tabla de las pérdidas de la primera instalación.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	0.02413		1.001		-0.049	-12.213		1.46000
2	1.02443	1.00030	0.635	45.711	1.312	0.360		1.46000
3	1.02792	0.00349			1.312			1.46000
4	2.05306	1.02514	0.194	46.587	2.177	0.223		1.46000
5	2.05666	0.00360			2.177			1.46000
E	3.08222	1.02556		30.512	2.563	0.186		1.46000

Figura 158. Tabla de las pérdidas de la primera instalación. Fuente: [19].

Segunda instalación:

La figura 159 muestra el mapa de eventos realizado por el reflectómetro en el medio óptico de 3 [km].

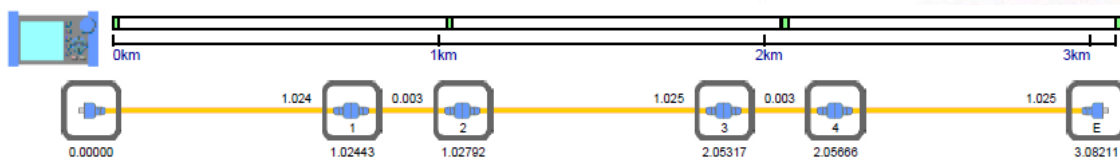


Figura 159. Mapa de eventos realizado por el reflectómetro. Fuente: [19].

La figura 160 muestra un gráfico de decibelios sobre metros de atenuación. Donde cada cuadrícula está dividida por 0.5 [dB]/500 [m]. muestra la atenuación del medio y la combinación reflexiones de Fresnel limitada por las zonas muertas.

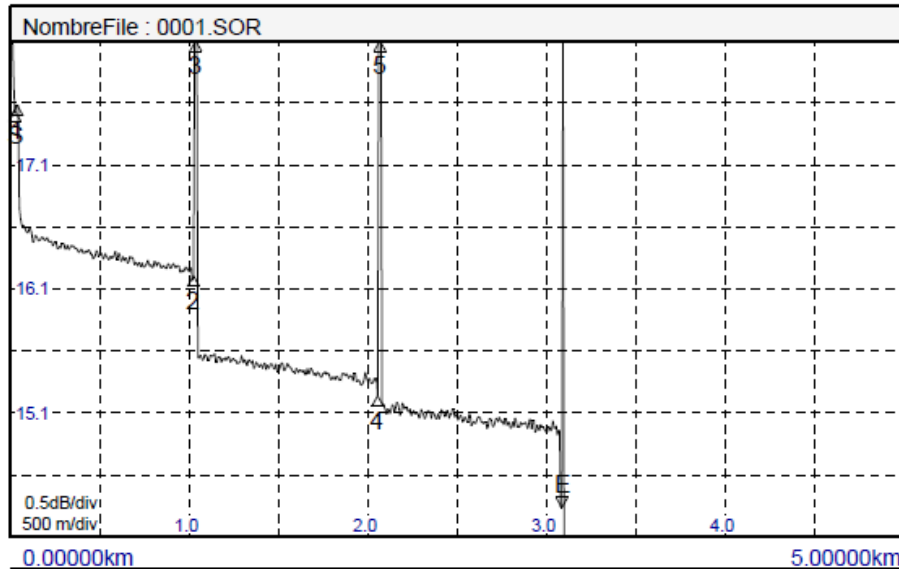


Figura 160. gráfico de decibelios sobre metros de atenuación. Fuente: [19].

La figura 161 muestra la localización del comienzo del medio en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m].

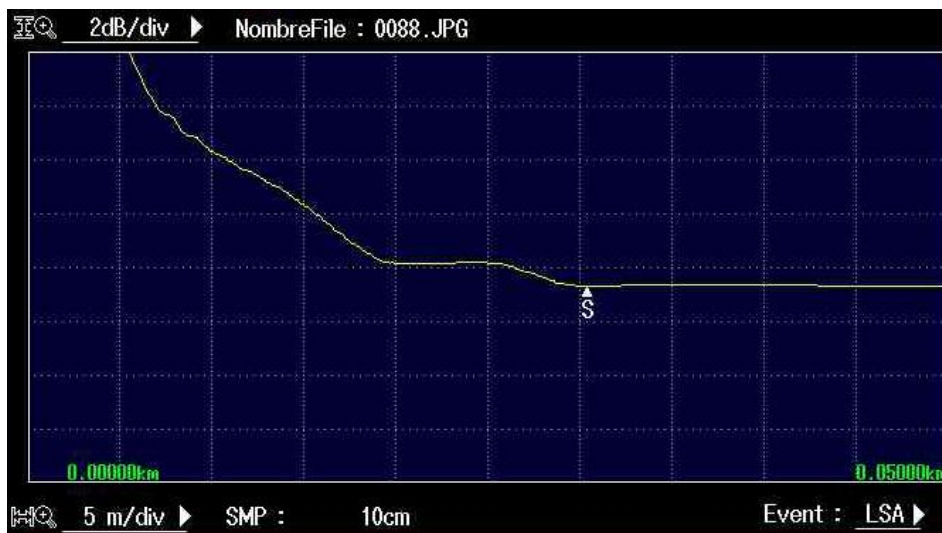


Figura 161. Localización del comienzo del medio. Fuente: [19].

La figura 162 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra del primer evento el cual va desde el pico de la primera reflexión y un valor de 1.5 [dB] bajando por el borde de caída. (después de este valor puede aparecer una combinación de eventos).

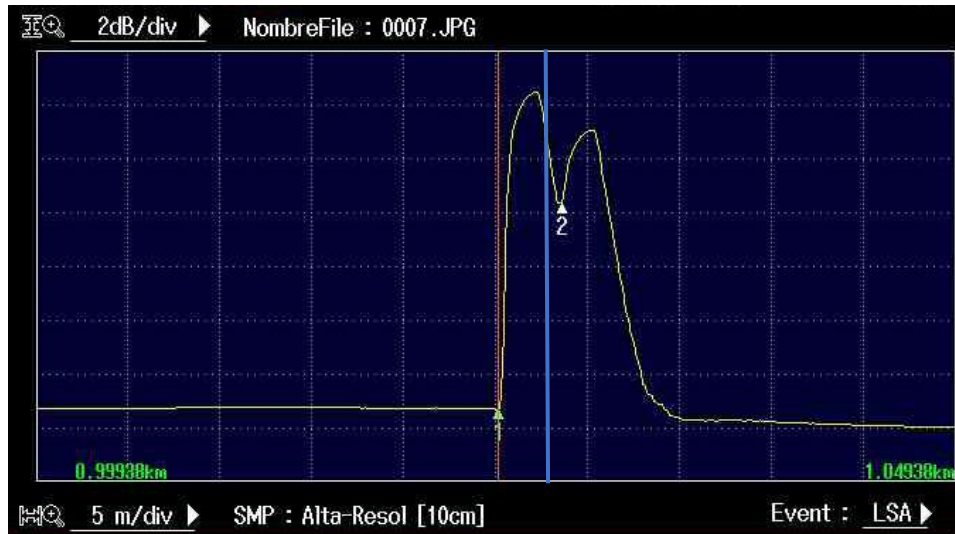


Figura 162. combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 163 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] el curso naranja muestra la segunda conexión. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Lo que significa que termina la zona muestra de atenuación y los rayos de luz que se propagan por fibra óptica son detectados por el reflectómetro.

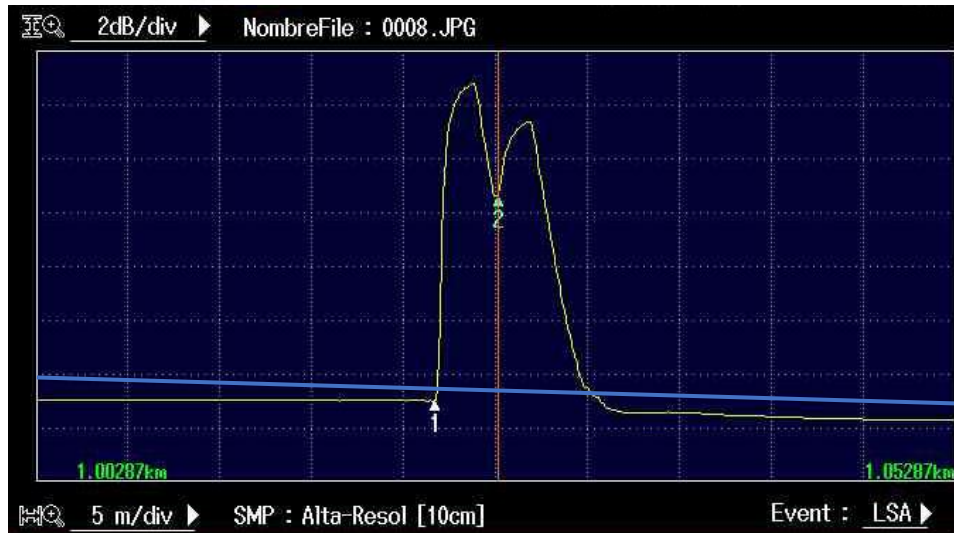


Figura 163. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 164 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m], El cursor de color naranja muestra la distancia de la tercera conexión. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra del primer evento.

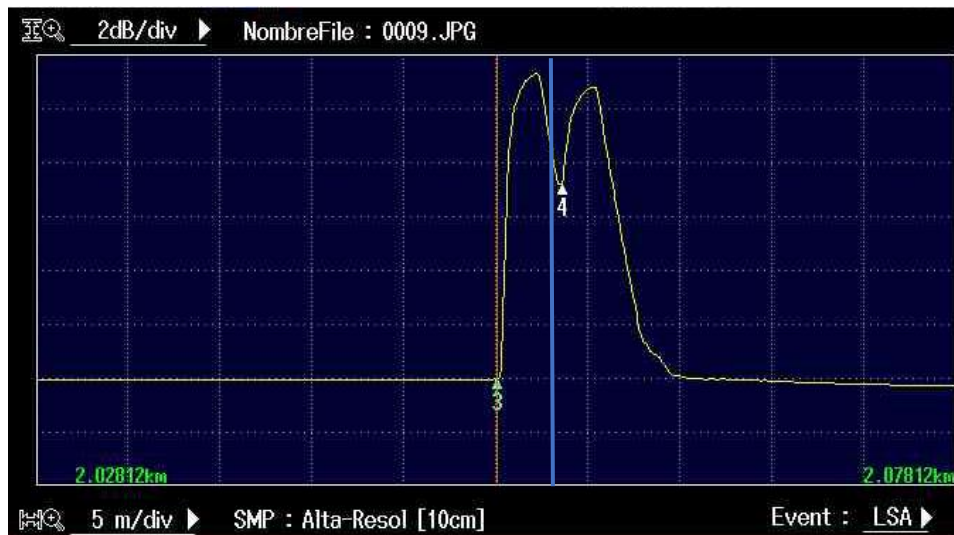


Figura 164. combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 165 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. el cursor naranja muestra la distancia de la cuarta conexión.

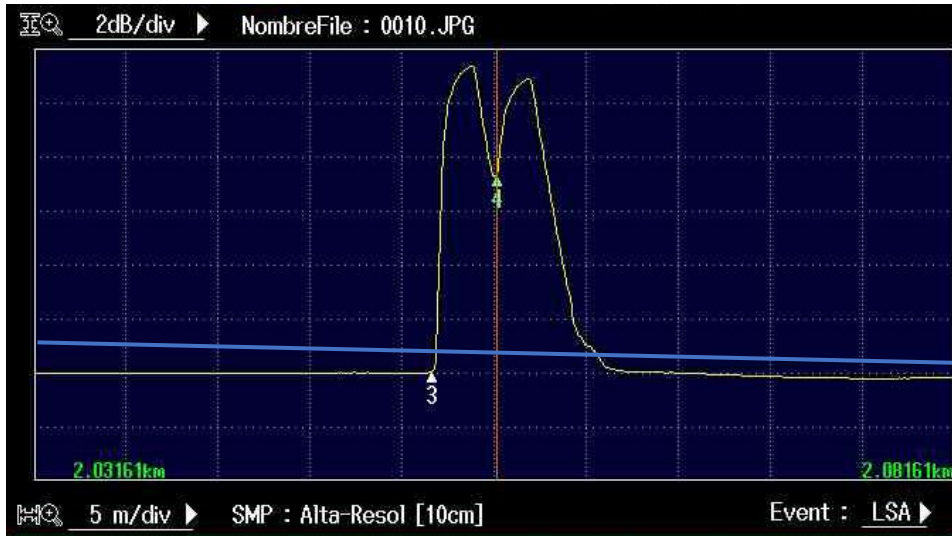


Figura 165. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 dB (decibelios), paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 166 muestra el final del medio óptico con pérdidas de 1.618 [dB].

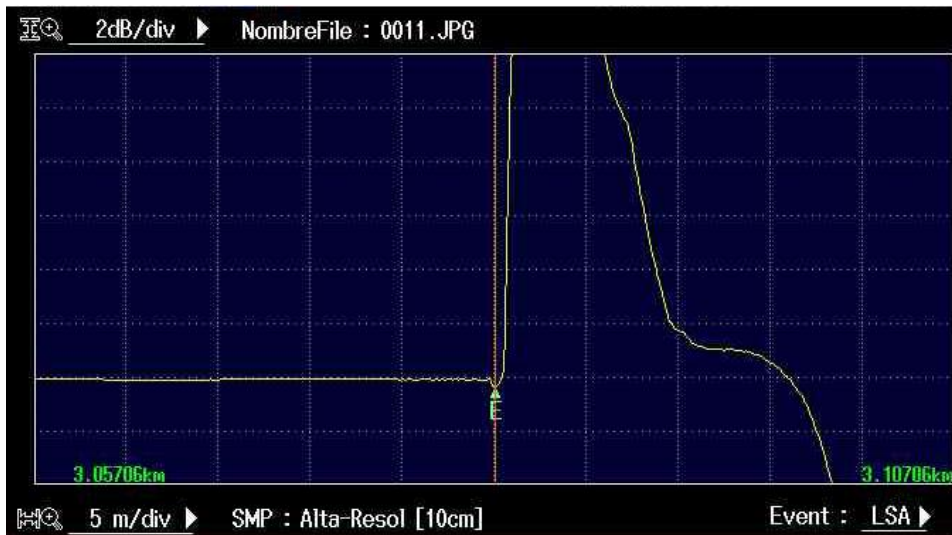


Figura 166. Final del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 167 muestra la tabla de las pérdidas de la segunda instalación.






Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	1.02443		0.631	45.526	0.364	0.366		1.46000
2	1.02792	0.00349			0.364			1.46000
3	2.05317	1.02525	0.195	46.343	1.229	0.227		1.46000
4	2.05666	0.00349			1.229			1.46000
E	3.08211	1.02545		30.676	1.618	0.189		1.46000

Figura 167. tabla de las pérdidas de la segunda instalación. Fuente: [19].

Tercera instalación:

La figura 168 muestra el mapa de eventos realizado por el reflectómetro propagando un rayo de luz de 1550 [nm] de longitud de onda. La medición no detecto la zona muerta entre la conexión de la entrada del primer cable de lanzamiento de 1 [km] y el cable de 3 [m] que se conectó con el reflectómetro. Ni tampoco los últimos 3 [m] que conecta la salida del tercer cable de lanzamiento de un 1 [km] con el dispositivo puesto a prueba.

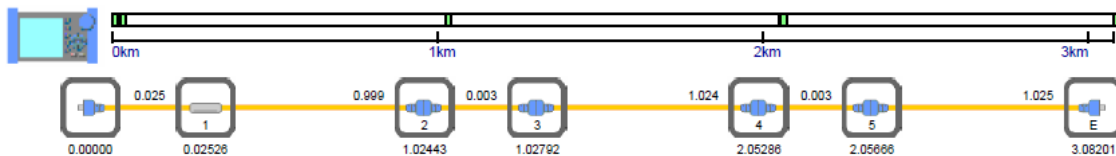


Figura 168. Mapa de eventos realizado por el reflectómetro. Fuente: [19].

La figura 169 muestra un gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 0.5 [dB] /500 [m], muestra la atenuación del medio y la combinación de reflexiones de Fresnel limitada por las zonas muertas.

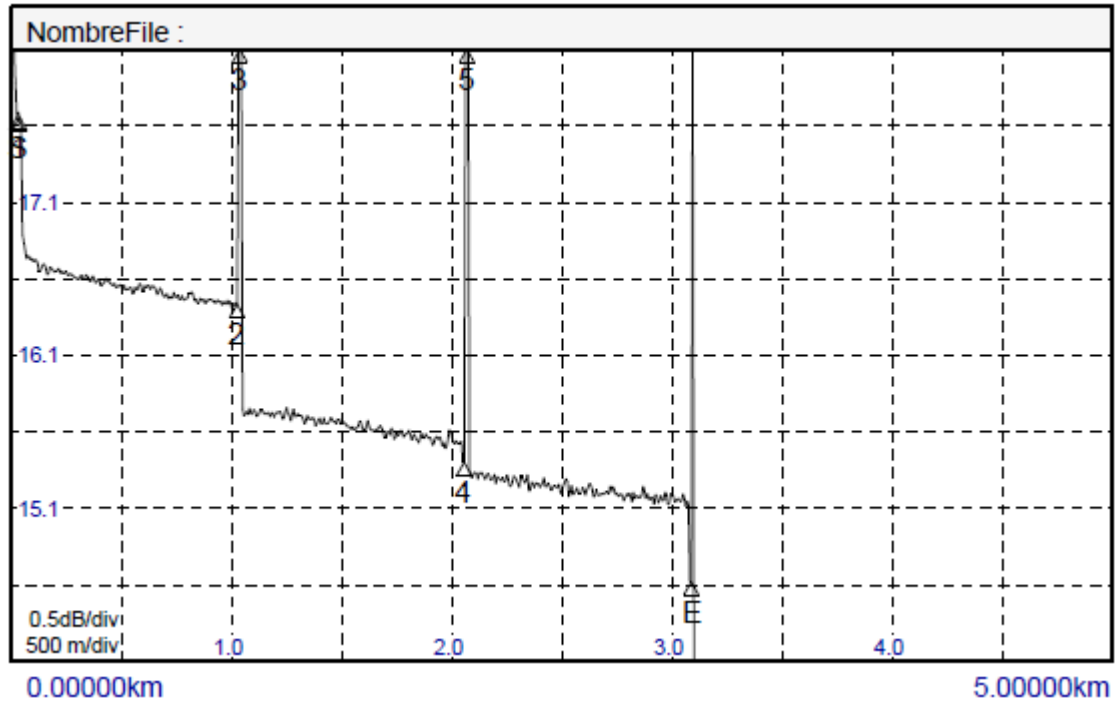


Figura 169. Gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Fuente: [19].

La figura 170 muestra el cursor localizado en el primer evento de atenuación en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] y el comienzo del medio la letra S.

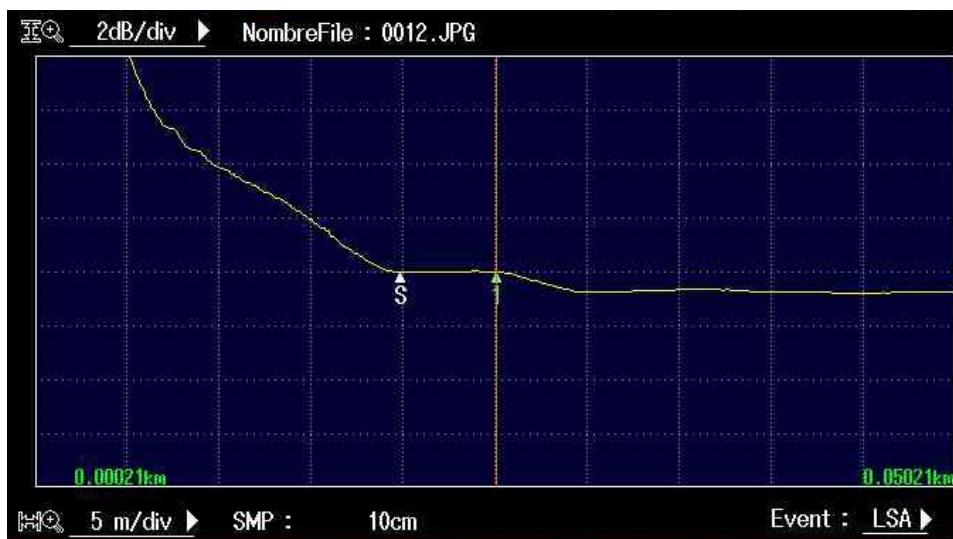


Figura 170. Cursor localizado en el primer evento de atenuación en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m], y el comienzo del medio la letra S. Fuente: [19].

La figura 171 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la primera conexión. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento de la primera conexión que baja 1.5 [dB] desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

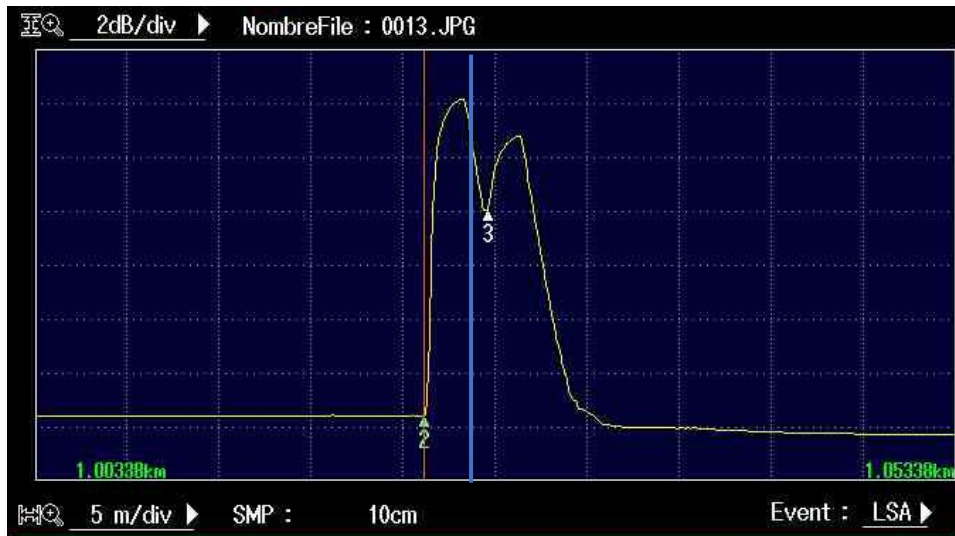


Figura 171. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 172 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] el cursor de la segunda conexión entre el 1 [km] y el 2 [km]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja la distancia de la tercera conexión registrada.

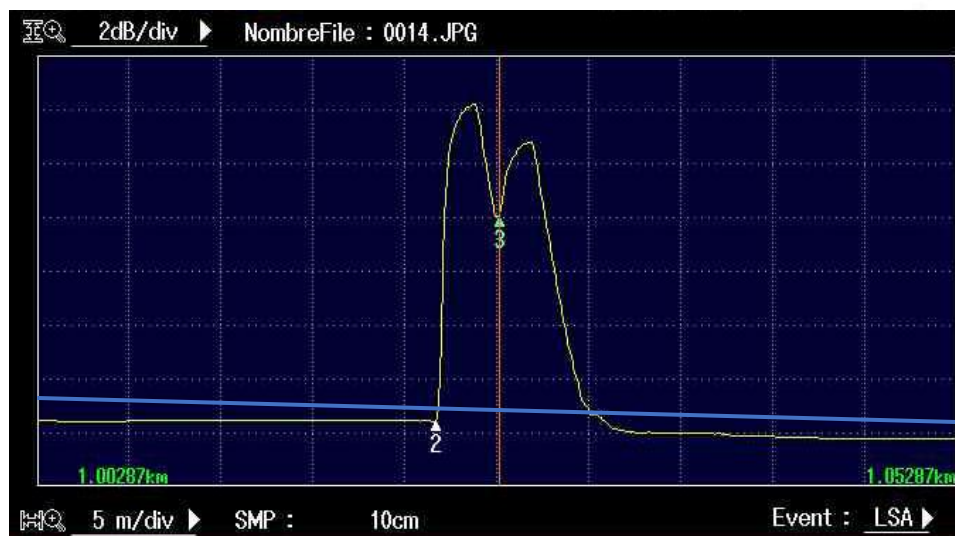


Figura 172. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 173 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la primera conexión. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de atenuación de la primera conexión que baja 1.5 [dB] desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

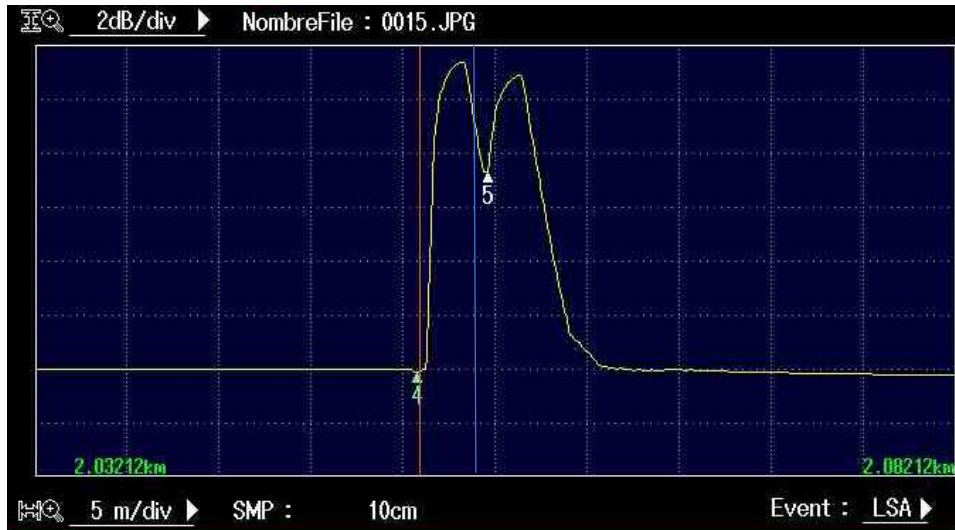


Figura 173. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 174 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la quinta conexión.

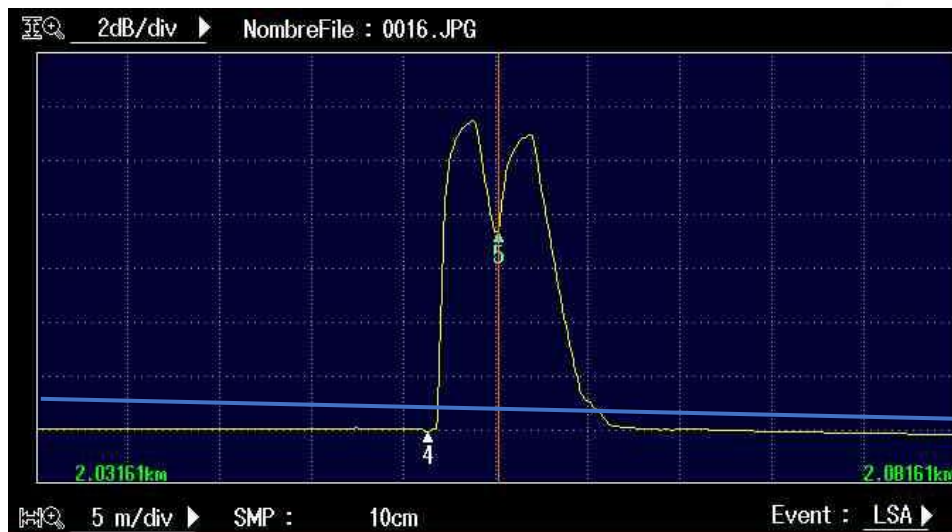


Figura 174. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 175 muestra el final del medio óptico con pérdidas de 2.510 [dB].

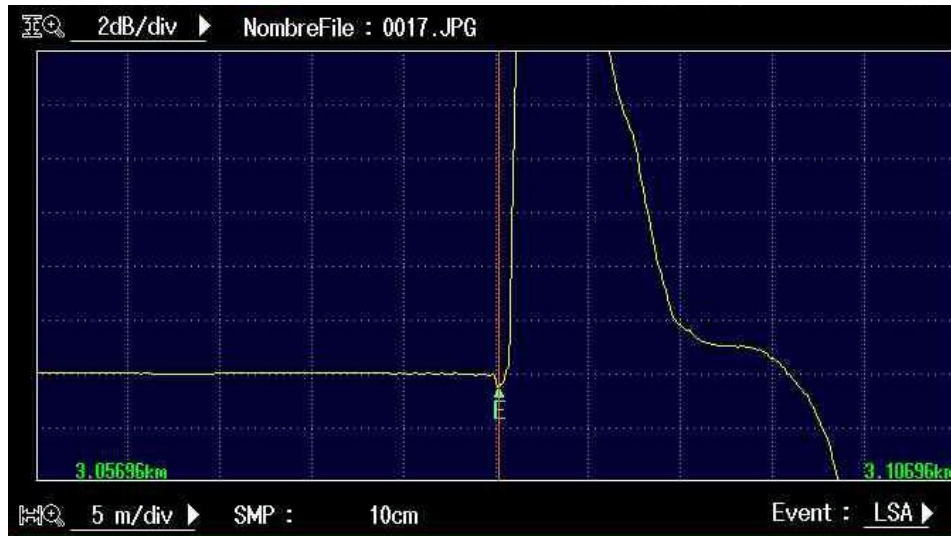


Figura 175. Final del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 176 muestra la tabla de las pérdidas de la tercera instalación.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	0.02526		0.943		-0.028	-5.409	—	1.46000
2	1.02443	0.99917	0.640	45.521	1.244	0.330	—	1.46000
3	1.02792	0.00349			1.244		—	1.46000
4	2.05286	1.02494	0.196	46.158	2.122	0.231	—	1.46000
5	2.05666	0.00380			2.122		—	1.46000
E	3.08201	1.02535		30.825	2.510	0.187	—	1.46000

Figura 176. Tabla de las pérdidas de la tercera instalación. Fuente: [19].

Cuarta instalación:

La figura 177 muestra el mapa de eventos realizado por el reflectómetro propagando un rayo de luz de 1550 [nm] de longitud de onda. La medición no detecto la zona muerta entre la conexión de la entrada del primer cable de lanzamiento de 1 [km] y el cable de 3 [m] que se conectó con el reflectómetro. Ni tampoco los últimos 3 [m] que conecta la salida del tercer cable de lanzamiento de un 1 [km] con el dispositivo puesto a prueba.

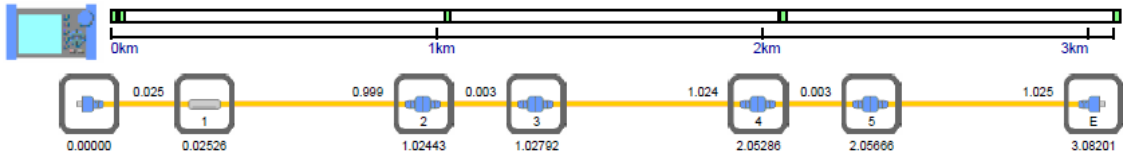


Figura 177. Mapa de eventos realizado por el reflectómetro.

La figura 178 muestra un gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 0.5 [dB]/500 [m]. muestra la atenuación del medio y la combinación reflexiones de Fresnel limitada por las zonas muertas.

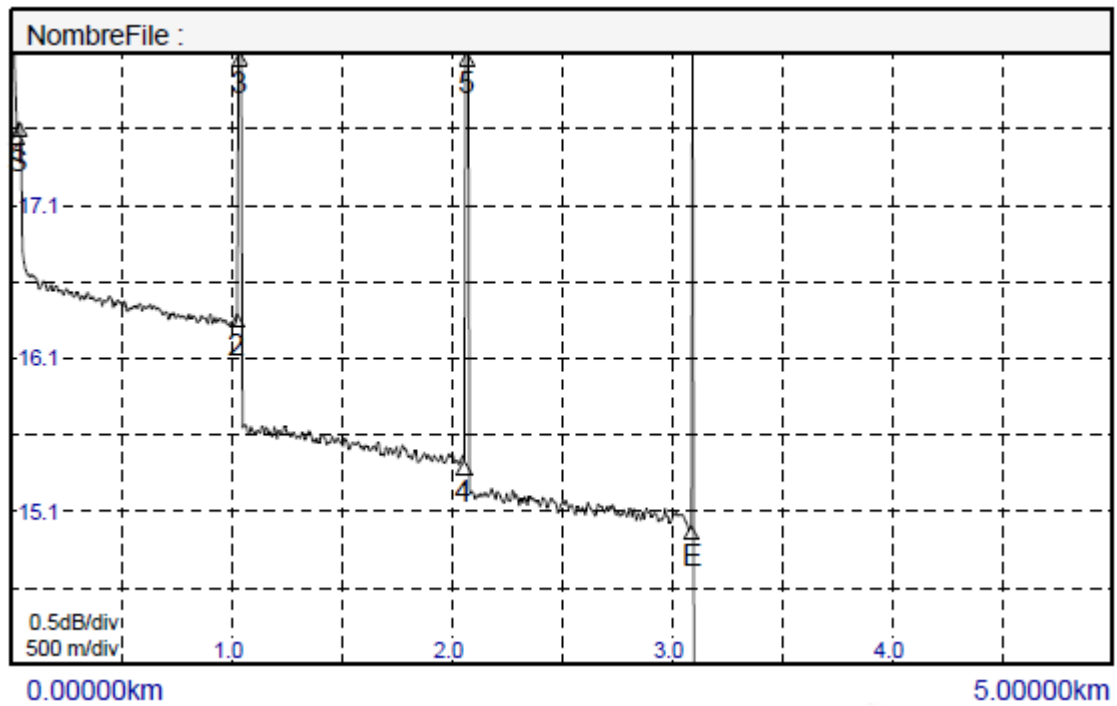


Figura 178. Gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Fuente: [19].

La figura 179 muestra el cursor localizado en el primer evento de atenuación en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] y el comienzo del medio la letra S.

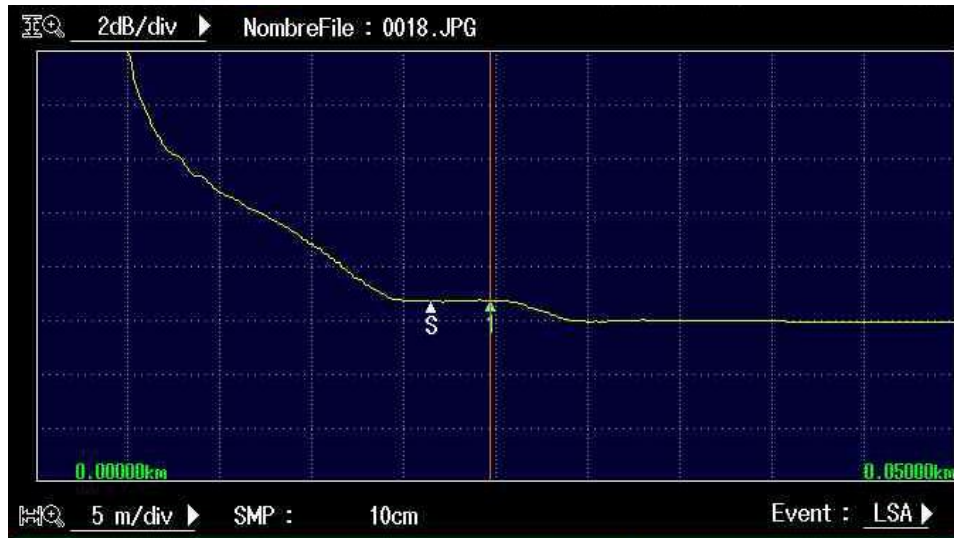


Figura 179. cursor localizado en el primer evento de atenuación en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] y el comienzo del medio la letra S. Fuente: [19].

La figura 180 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] . El cursor de color naranja muestra la distancia de la primera conexión. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

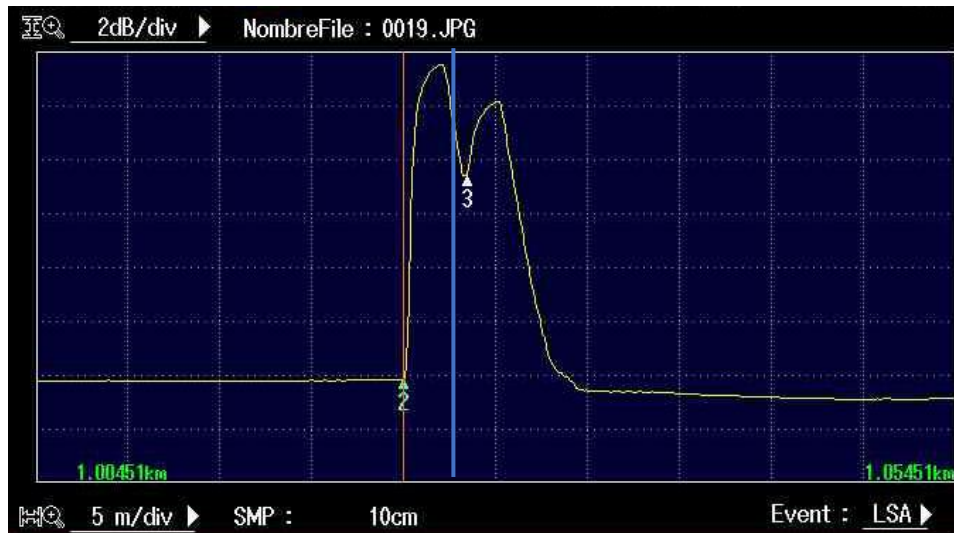


Figura 180. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 181 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la tercera conexión.

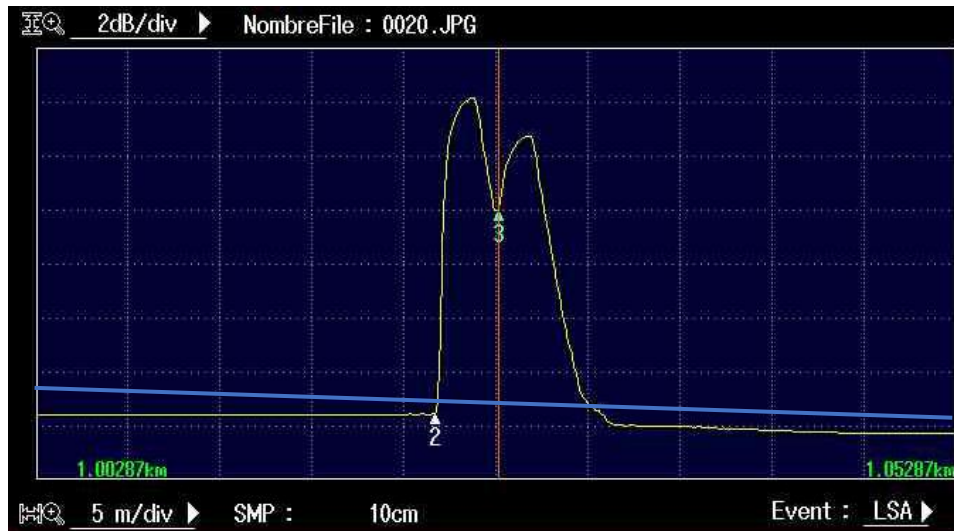


Figura 181. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 182 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la cuarta conexión. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

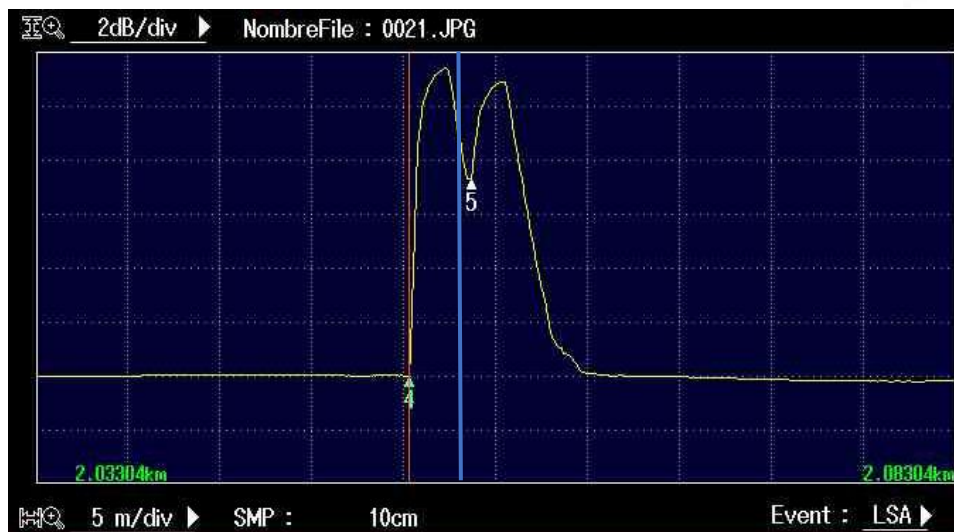


Figura 182. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda. Fuente: [19].

La figura 183 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la tercera conexión.

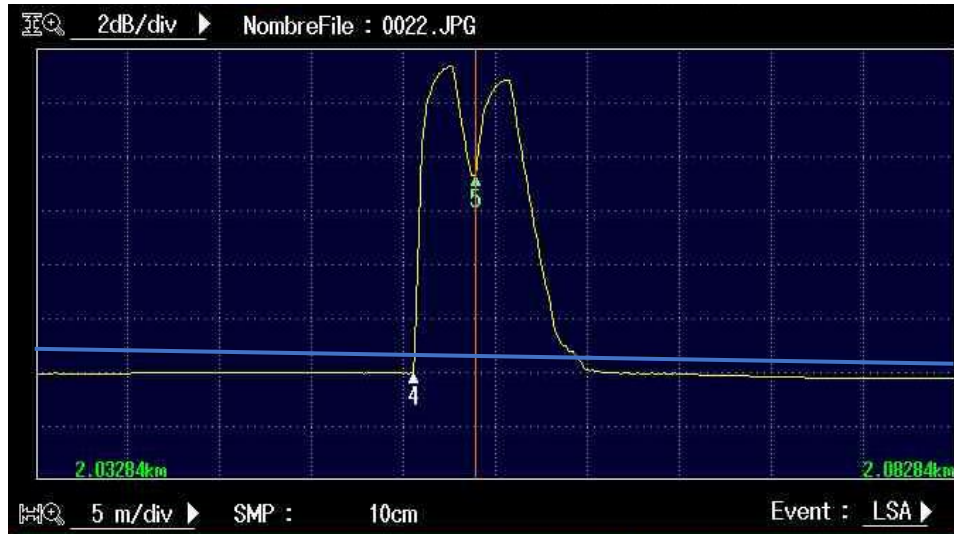


Figura 183. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 184 muestra el final del medio óptico con pérdidas de 2.541 [dB].

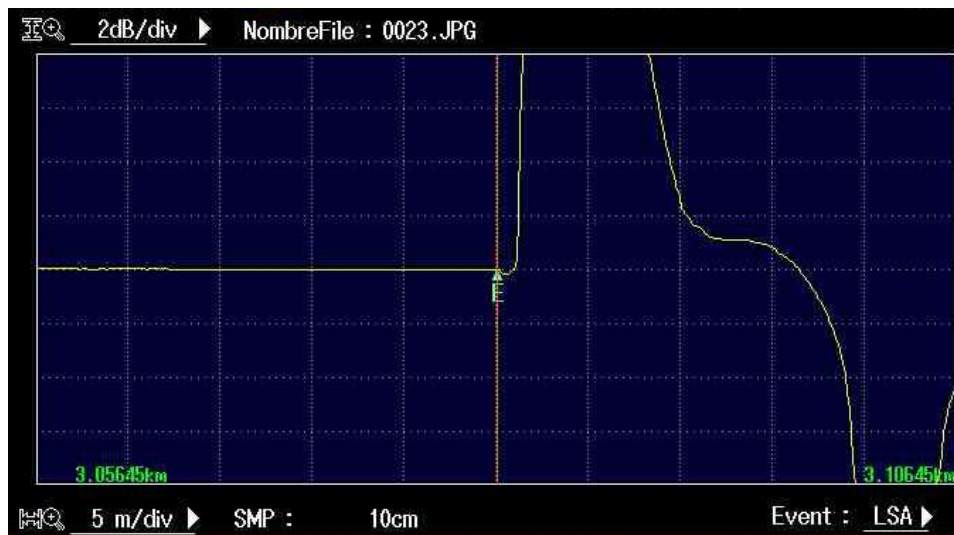


Figura 184. Final del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 185 muestra la tabla de las pérdidas de la cuarta instalación.







Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	0.02464		1.001		-0.058	-17.670		1.46000
2	1.02443	0.99979	0.631	45.601	1.287	0.344		1.46000
3	1.02792	0.00349			1.287			1.46000
4	2.05327	1.02535	0.193	46.257	2.160	0.235		1.46000
5	2.05666	0.00339			2.160			1.46000
E	3.08150	1.02484		31.488	2.541	0.183		1.46000

Figura 185. Pérdidas de la cuarta instalación. Fuente: [19].

Quinta instalación:

La figura 186 muestra el mapa de eventos realizado por el reflectómetro propagando un rayo de luz de 1550 [nm] de longitud de onda. La medición no detectó la zona muerta entre la conexión de la entrada del primer cable de lanzamiento de 1 [km] y el cable de 3 [m] que se conectó con el reflectómetro. Ni tampoco los últimos 3 [m] que conecta la salida del tercer cable de lanzamiento de 1 [km] con el dispositivo puesto a prueba.



Figura 186. Eventos realizados por el reflectómetro. Fuente: [19].

La figura 187 muestra un gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 0.5 [dB]/500 [m]. muestra la atenuación del medio y la combinación reflexiones de Fresnel limitada por las zonas muertas.

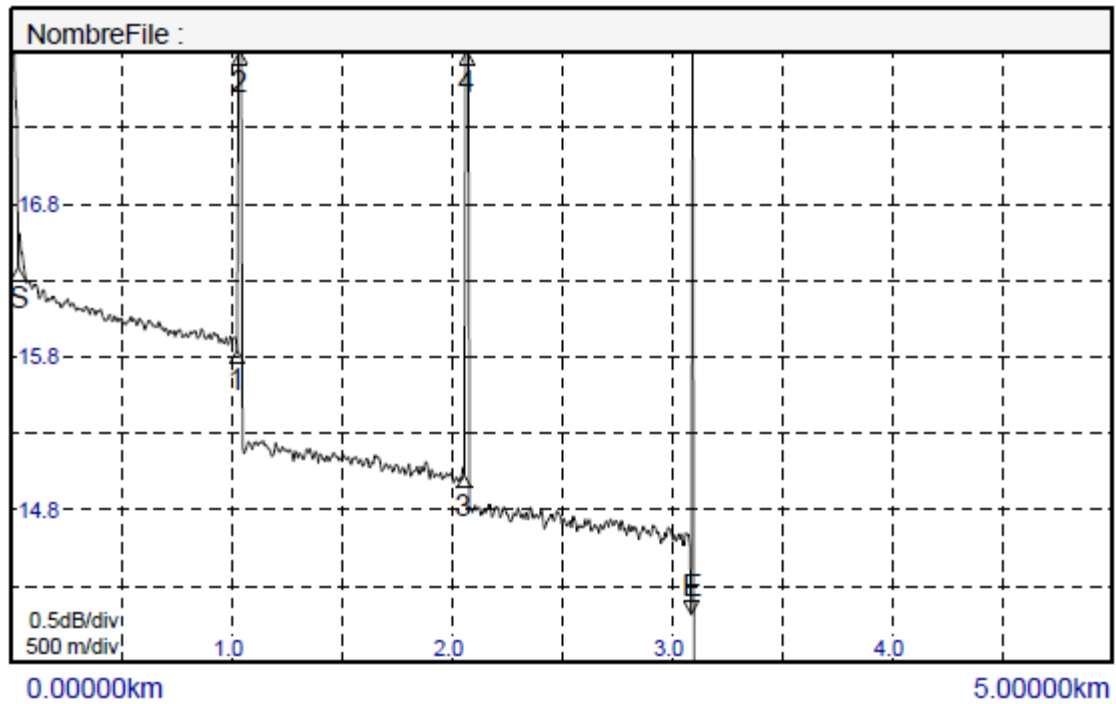


Figura 187. Gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Fuente: [19].

La figura 188 muestra el comienzo del medio la letra con la letra S.

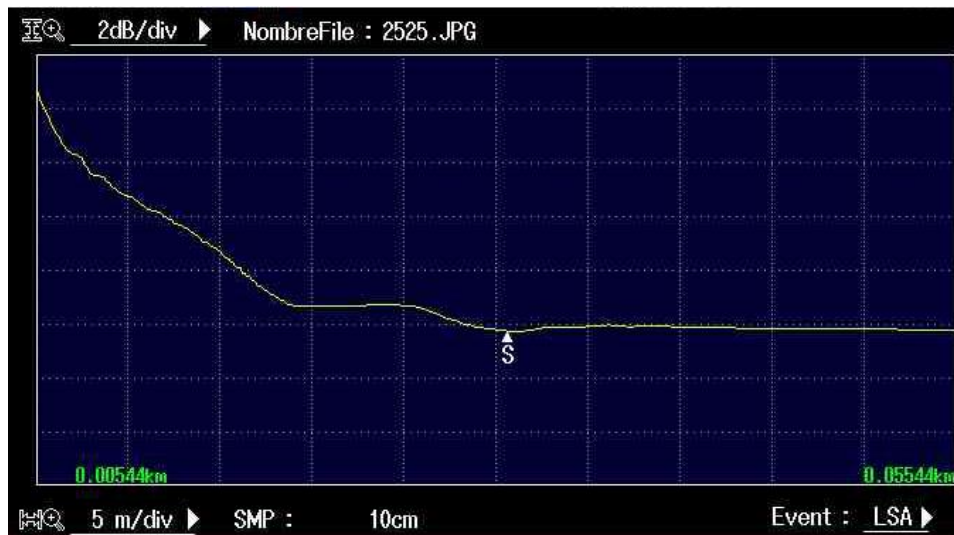


Figura 188. Comienzo del medio la letra con la letra S. Fuente: [19].

La figura 189 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la primera conexión. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

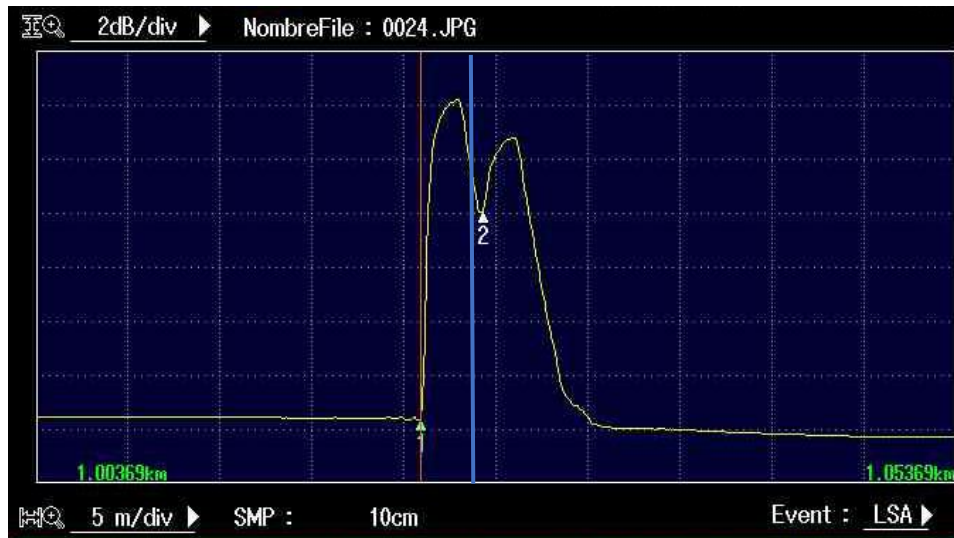


Figura 189. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 190 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la segunda conexión.

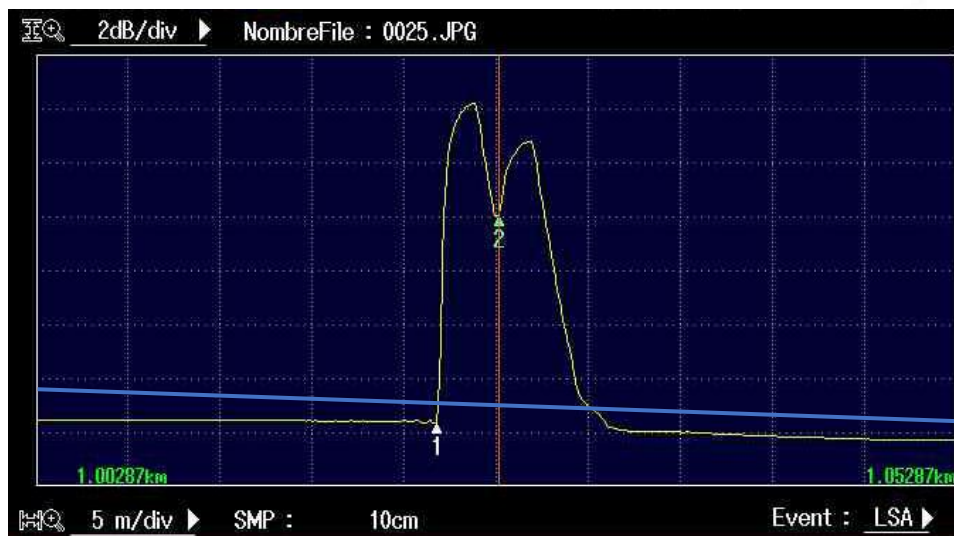


Figura 190. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 191 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la tercera conexión. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

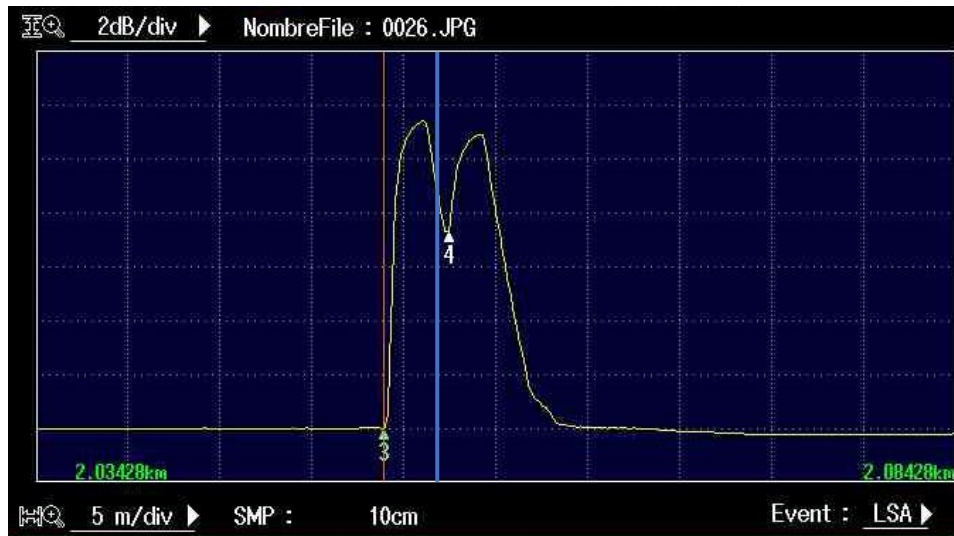


Figura 191. combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 192 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la cuarta conexión.

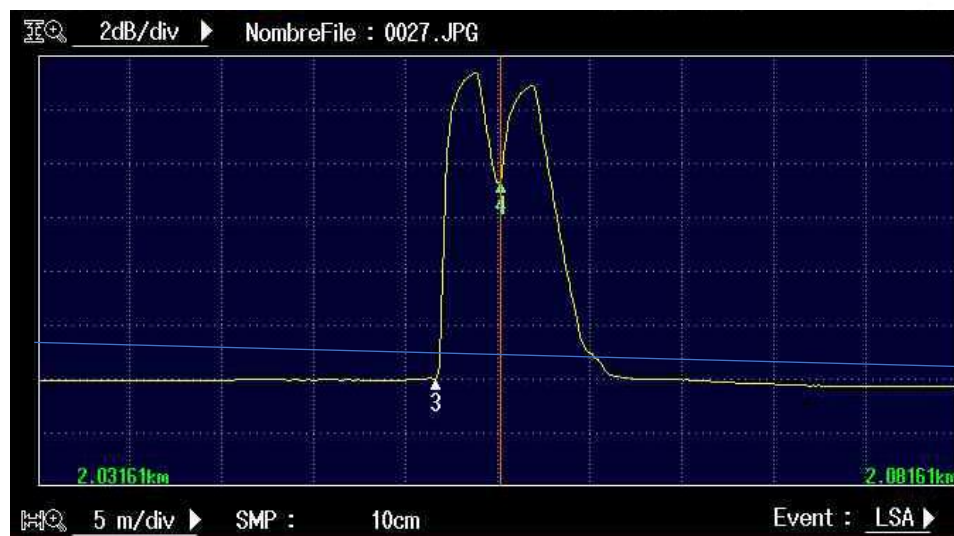


Figura 192. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 193 muestra el final del medio óptico con pérdidas de 1.649 [dB].

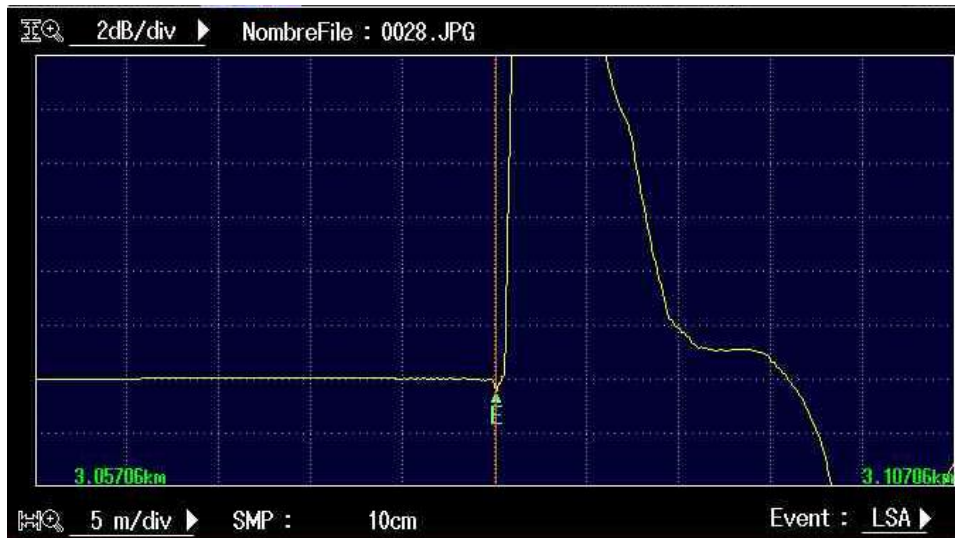


Figura 193. Final del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 194 muestra la tabla de las pérdidas de la quinto instalación.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	1.02453		0.619	45.424	0.404	0.406	↘	1.46000
2	1.02792	0.00339			0.404		↘	1.46000
3	2.05317	1.02525	0.185	46.284	1.257	0.227	↘	1.46000
4	2.05666	0.00349			1.257		↘	1.46000
E	3.08211	1.02545		30.649	1.649	0.202	↘	1.46000

Figura 194. Pérdidas de la quinto instalación. Fuente: [19].

Sexta instalación:

La figura 195 muestra el mapa de eventos realizado por el reflectómetro propagando un rayo de luz de 1550 [nm] de longitud de onda. La medición no detecto la zona muerta entre la conexión de la entrada del primer cable de lanzamiento de 1 [km] y el cable de 3 [m] que se conectó con el reflectómetro. Ni tampoco los últimos 3 metros que conecta la salida del tercer cable de lanzamiento de 1 [km] con el dispositivo puesto a prueba.

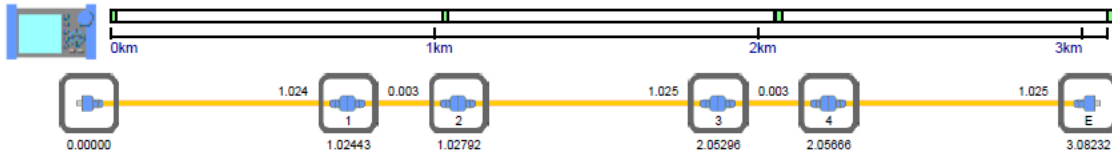


Figura 195. Mapa de eventos realizado por el reflectómetro. Fuente: [19].

La figura 196 muestra un gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 0.5 [dB]/500 [m]. muestra la atenuación del medio y la combinación reflexiones de Fresnel limitada por las zonas muertas.

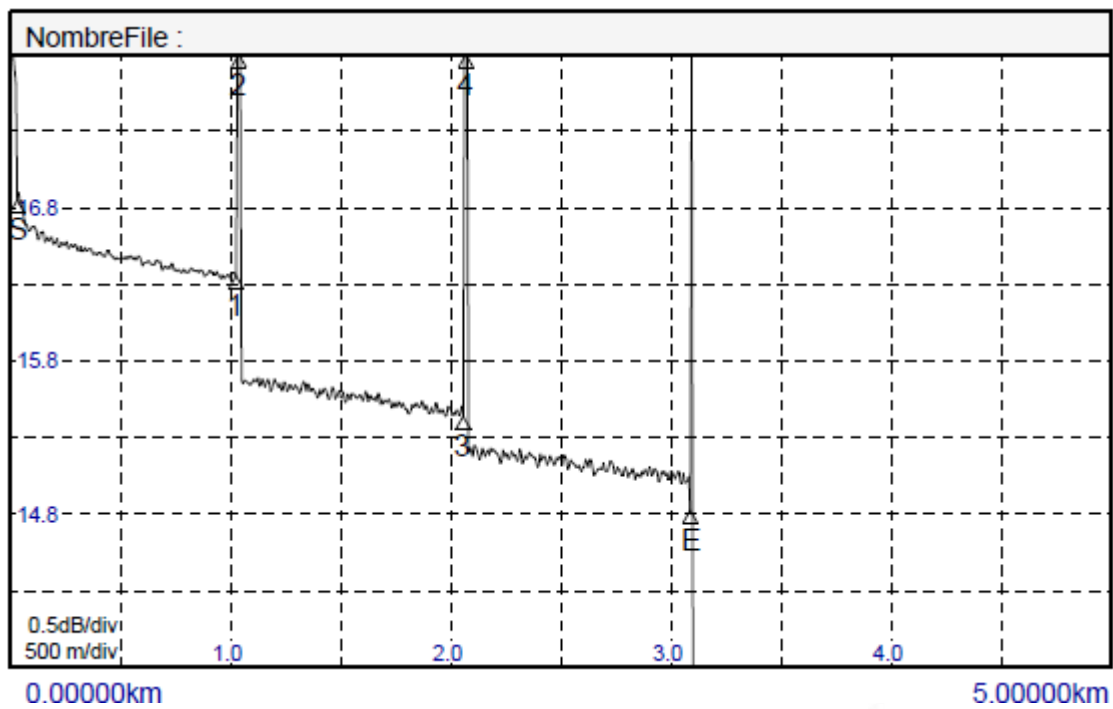


Figura 196. Gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Fuente: [19].

La figura 197 muestra el cursor localizando el comienzo del medio la letra S.

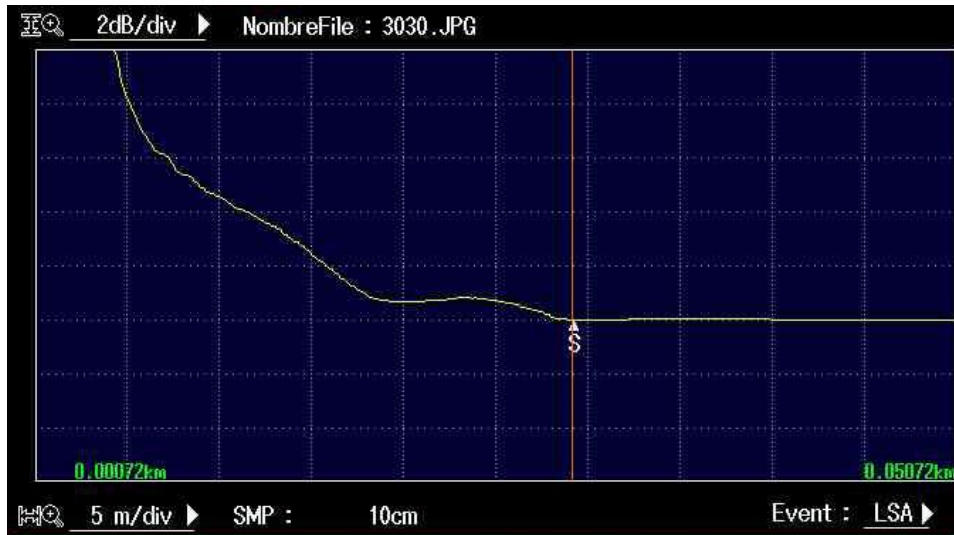


Figura 197. Comienzo del medio la letra S. Fuente: [19].

La figura 198 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la primera conexión. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

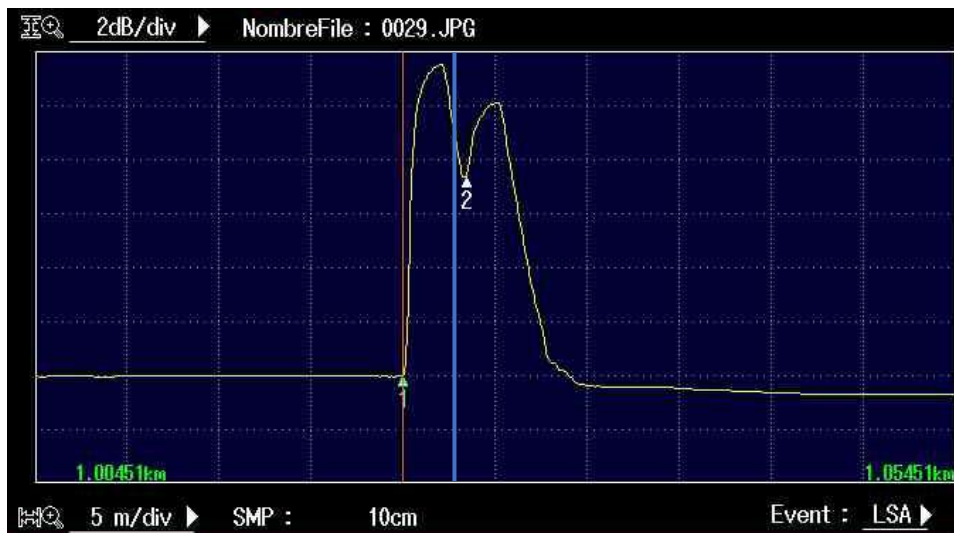


Figura 198. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 199 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un

nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la segunda conexión.

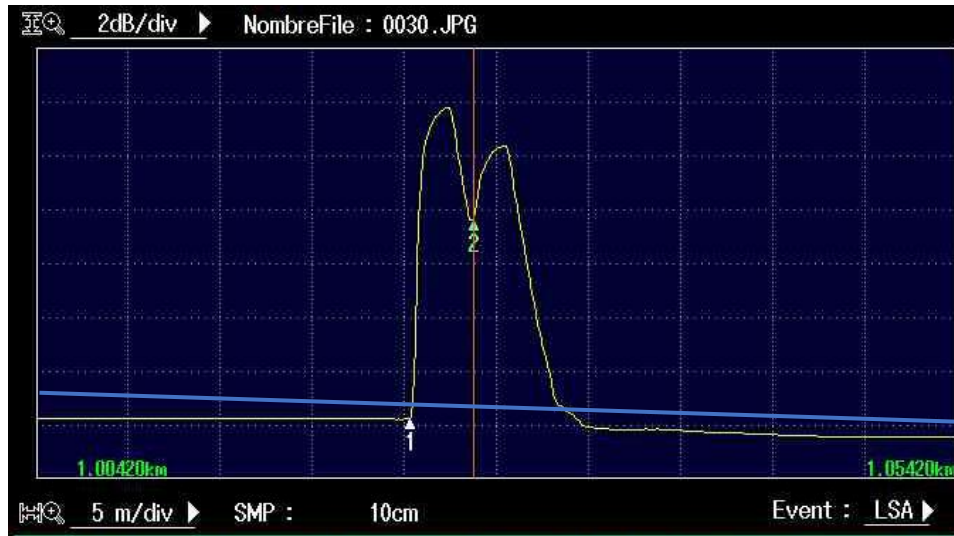


Figura 199. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 200 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la tercera conexión. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

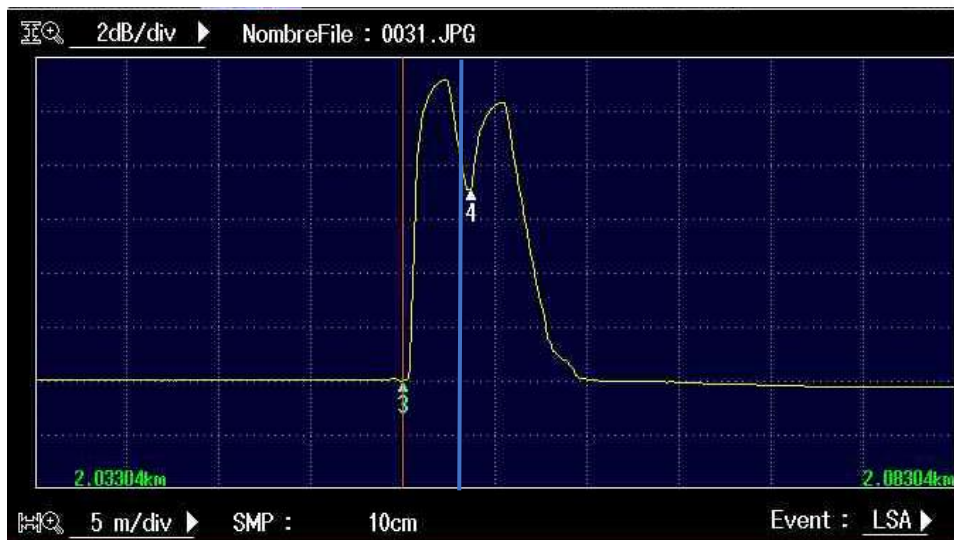


Figura 200. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 201 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un

nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la cuarta conexión.

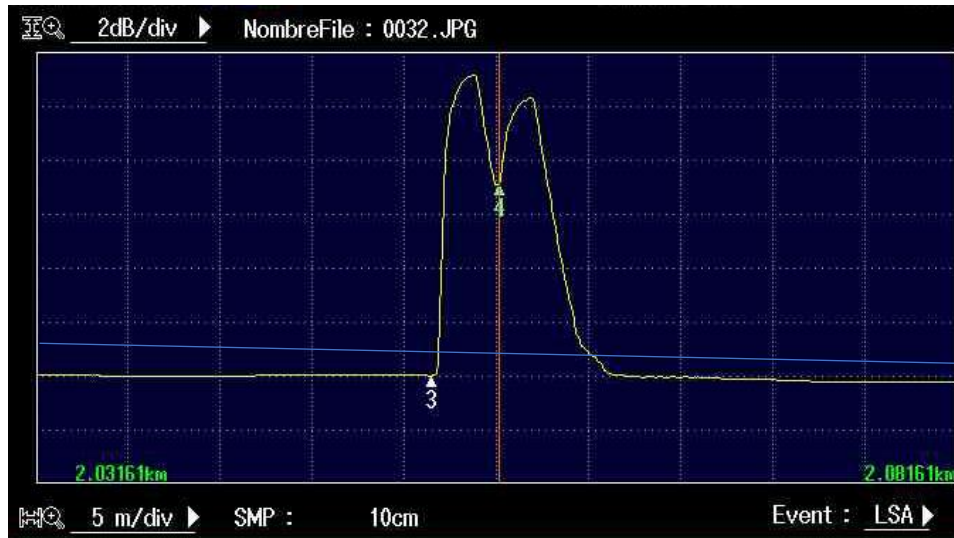


Figura 201. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 202 muestra el final del medio óptico con pérdidas de 1.649 [dB].

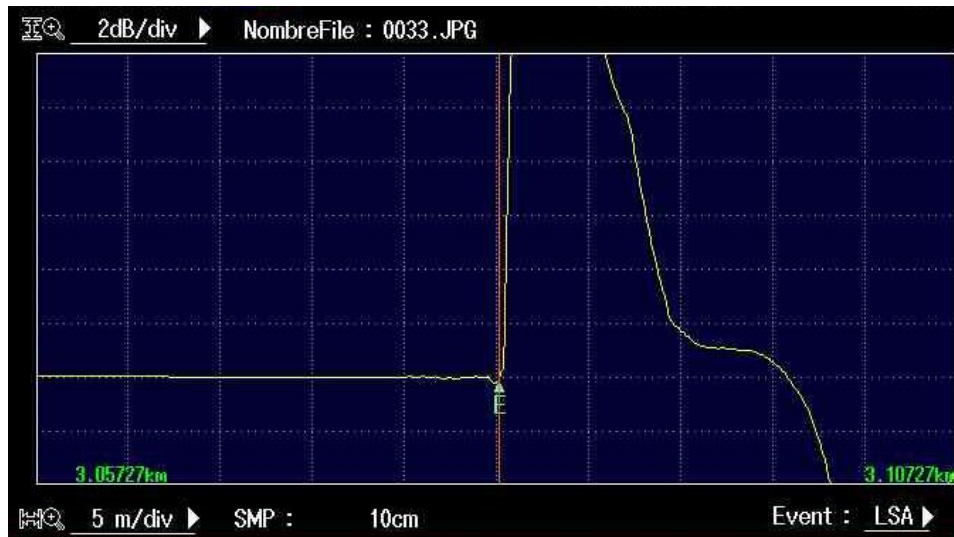


Figura 202. Final del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 203 muestra la tabla de las pérdidas de la sexta instalación.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	1.02443		0.619	45.929	0.355	0.357	↘	1.46000
2	1.02792	0.00349			0.355		↘	1.46000
3	2.05296	1.02504	0.227	46.779	1.212	0.232	↘	1.46000
4	2.05666	0.00370			1.212		↘	1.46000
E	3.08232	1.02566		30.830	1.637	0.193	↘	1.46000

Figura 203. Tabla de las pérdidas de la sexta instalación. Fuente: [19].

Séptima instalación:

La figura 204 muestra el mapa de eventos realizado por el reflectómetro propagando un rayo de luz de 1550 [nm] de longitud de onda. La medición no detectó la zona muerta entre la conexión de la entrada del primer cable de lanzamiento de 1 [km] y el cable de 3 [m] que se conectó con el reflectómetro. Ni tampoco los últimos 3 [m] que conecta la salida del tercer cable de lanzamiento de 1 [km] con el dispositivo puesto a prueba.



Figura 204. Mapa de eventos realizado por el reflectómetro. Fuente: [19].

La figura 205 muestra un gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 0.5 [dB]/500 [m]. muestra la atenuación del medio y la combinación reflexiones de Fresnel limitada por las zonas muertas.

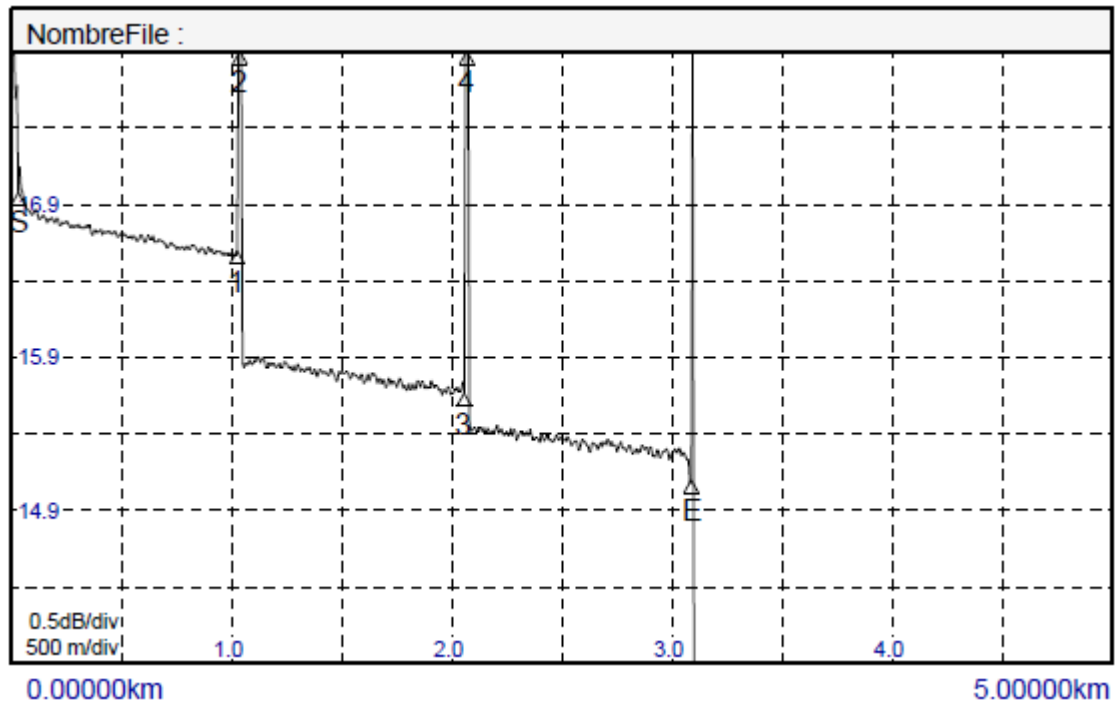


Figura 205. Gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Fuente: [19].

La figura 206 muestra comienzo del medio la letra S.

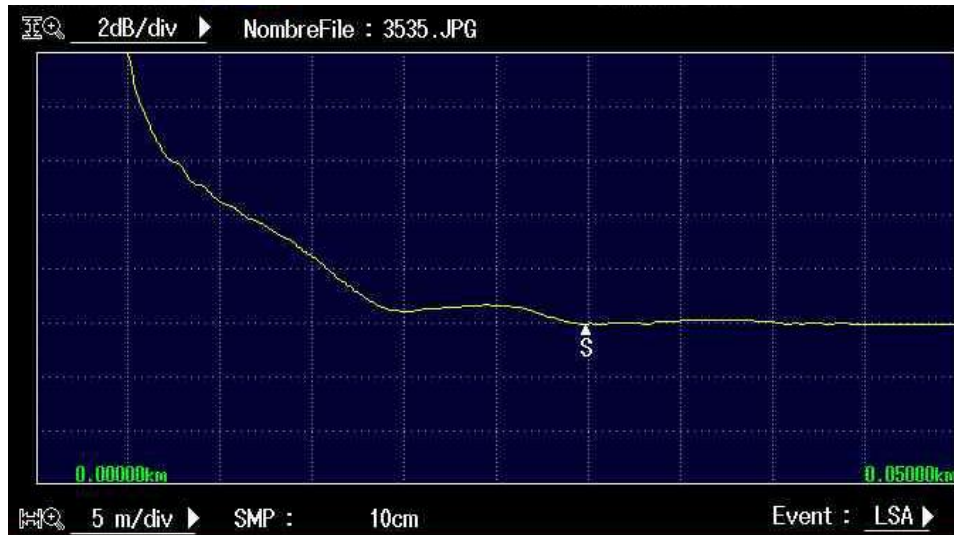


Figura 206. Comienzo del medio la letra S. Fuente: [19].

La figura 207 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la primera conexión. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

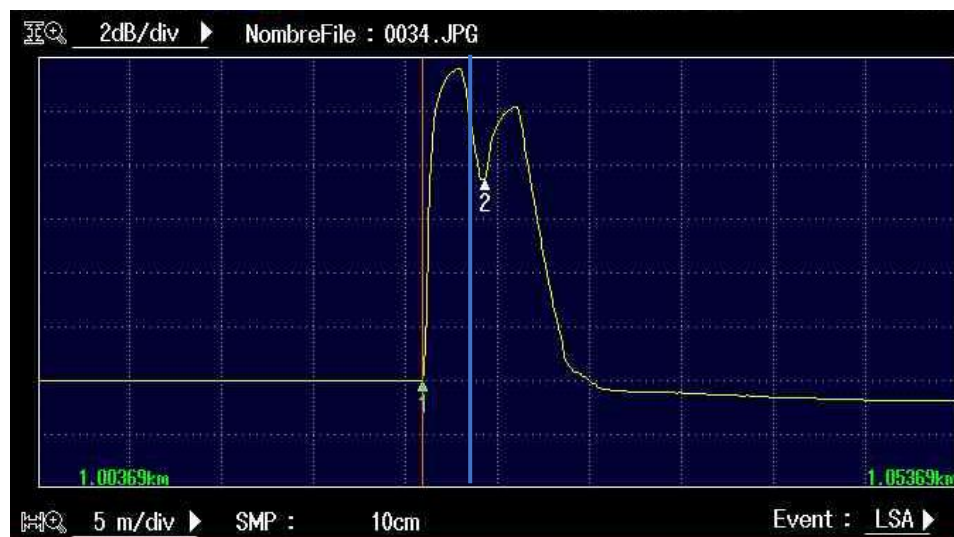


Figura 207. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 208 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la



Figura 208. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 209 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la tercera conexión. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

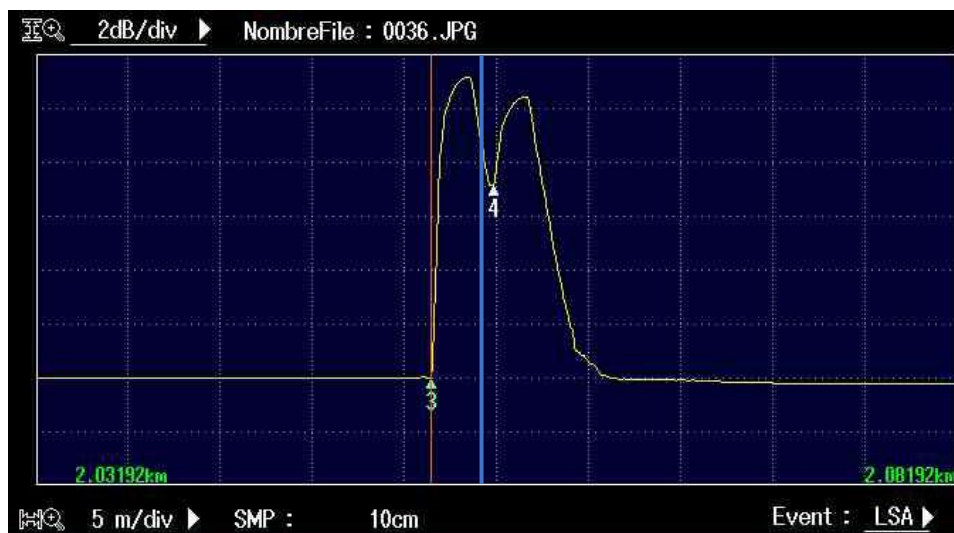


Figura 209. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 210 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la cuarta

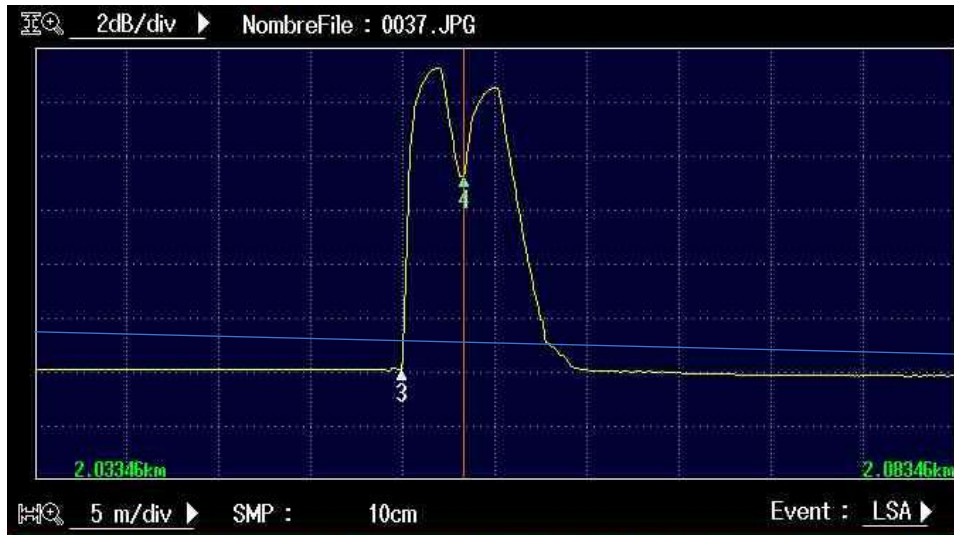


Figura 210. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 211 muestra el final del medio óptico con pérdidas de 1.612 [dB].

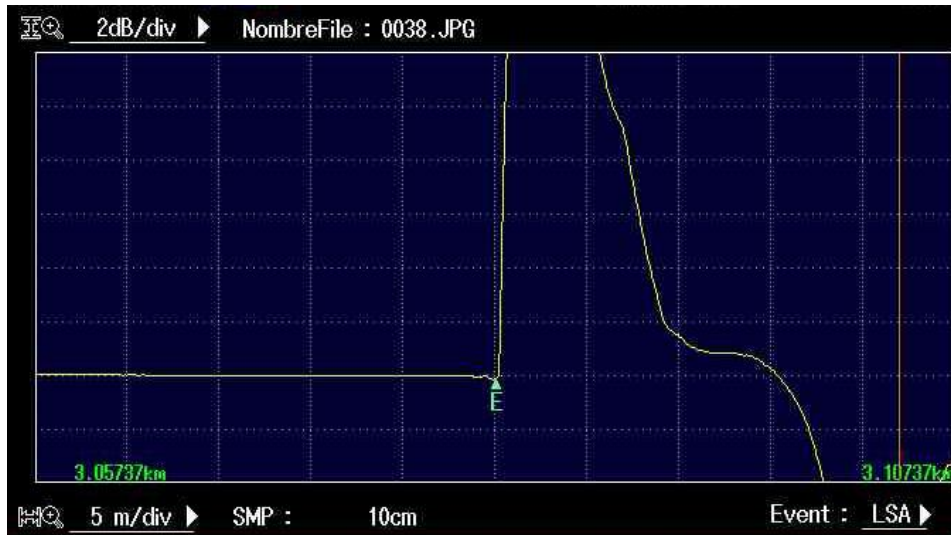


Figura 211. Final del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 212 muestra la tabla de las pérdidas de la séptima instalación.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	1.02453		0.653	45.831	0.319	0.320	↘	1.46000
2	1.02792	0.00339			0.319		↘	1.46000
3	2.05327	1.02535	0.222	46.672	1.193	0.215	↘	1.46000
4	2.05666	0.00339			1.193		↘	1.46000
E	3.08242	1.02576		31.065	1.612	0.191	↘	1.46000

Figura 212. Tabla de las pérdidas de la séptima instalación. Fuente: [19].

Octava instalación:

La figura 213 muestra el mapa de eventos realizado por el reflectómetro propagando un rayo de luz de 1550 [nm] de longitud de onda. La medición no detectó la zona muerta entre la conexión de la entrada del primer cable de lanzamiento de 1 [km] y el cable de 3 [m] que se conectó con el reflectómetro. Ni tampoco los últimos 3 [m] que conecta la salida del tercer cable de lanzamiento de un 1 [km] con el dispositivo puesto a prueba.

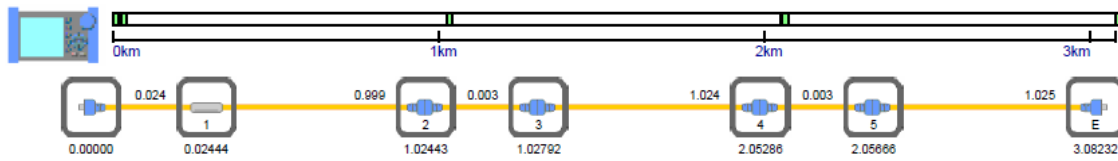


Figura 213. Mapa de eventos realizado por el reflectómetro.

La figura 214 muestra un gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 0.5 [dB]/500 [m] muestra la atenuación del medio y la combinación reflexiones de Fresnel limitada por las zonas muertas.

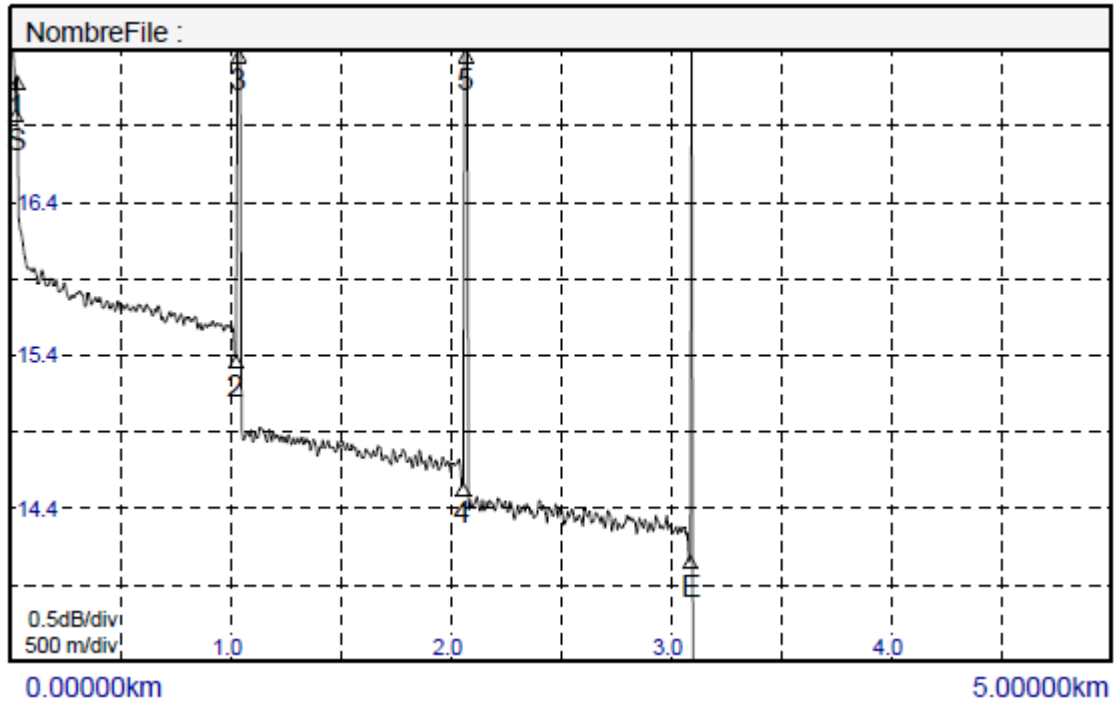


Figura 214. Gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Fuente: [19].

La figura 215 muestra el cursor localizado en el primer evento de atenuación en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] y el comienzo del medio la letra S.

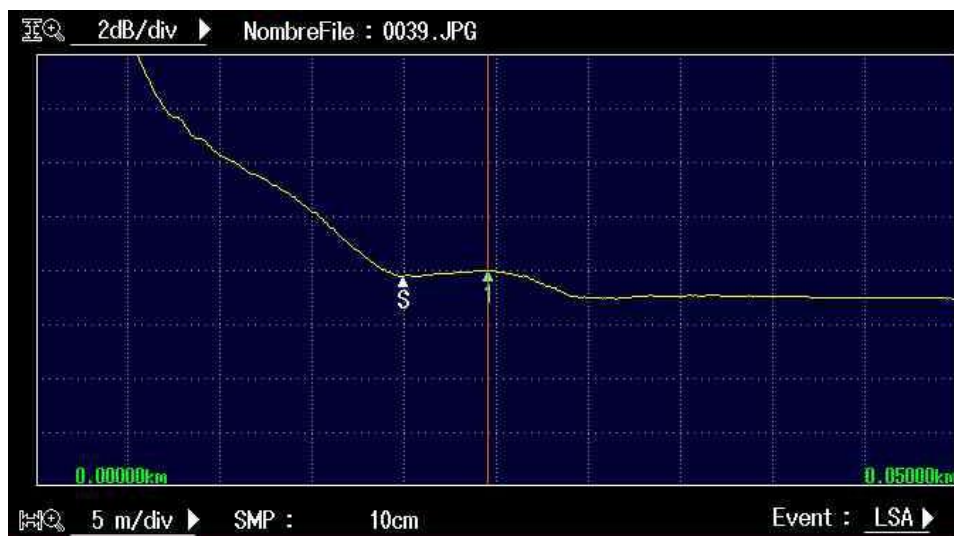


Figura 215. cursor localizado en el primer evento de atenuación en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m], y el comienzo del medio la letra S. Fuente: [19].

La figura 216 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la primera conexión registrada. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

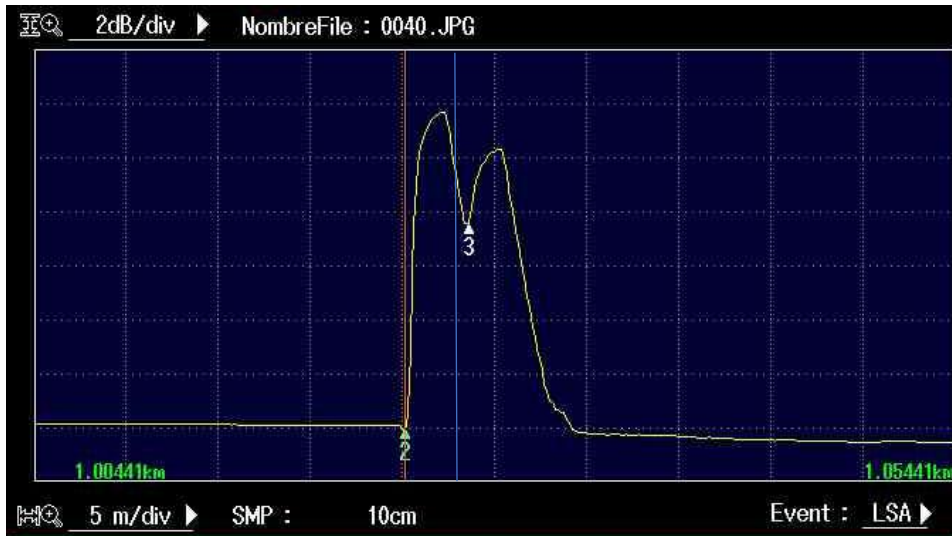


Figura 216. combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 217 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la segunda conexión.

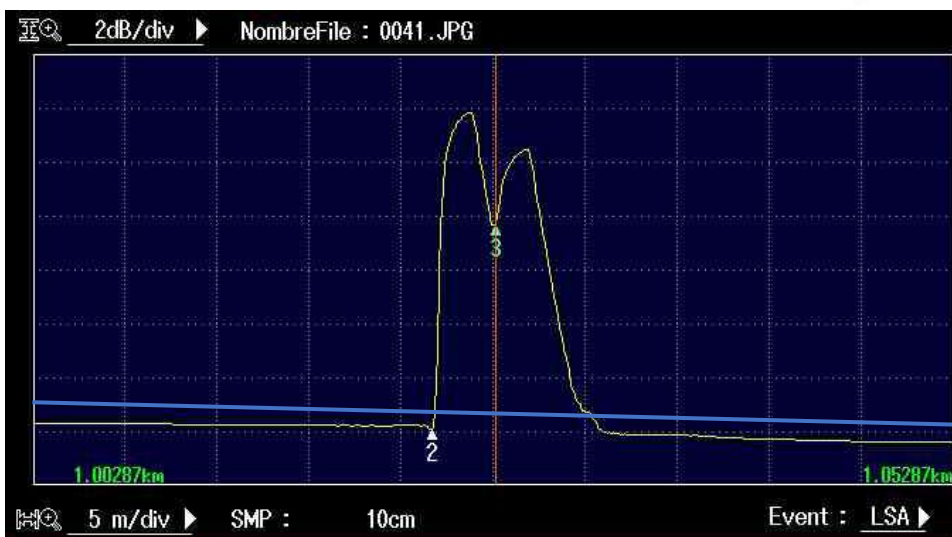


Figura 217. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 218 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la tercera conexión registrada. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

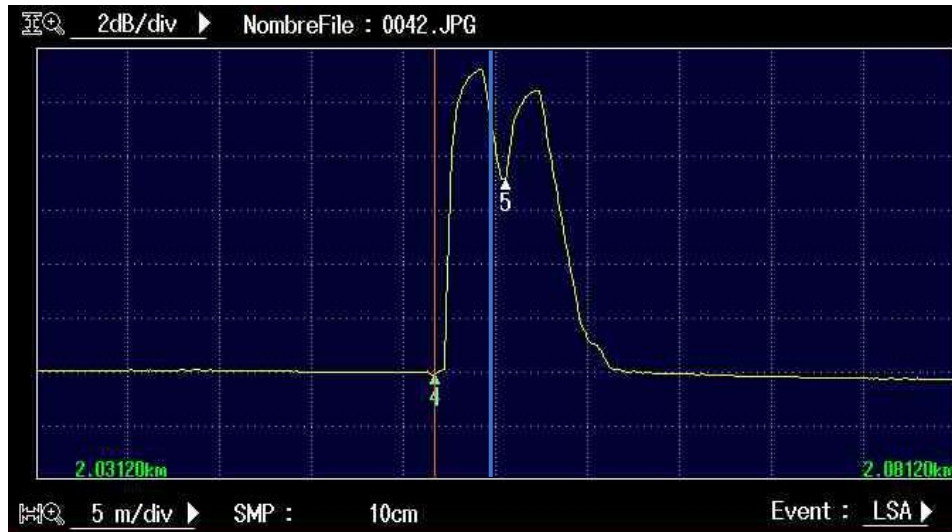


Figura 218. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 219 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la cuarta conexión.

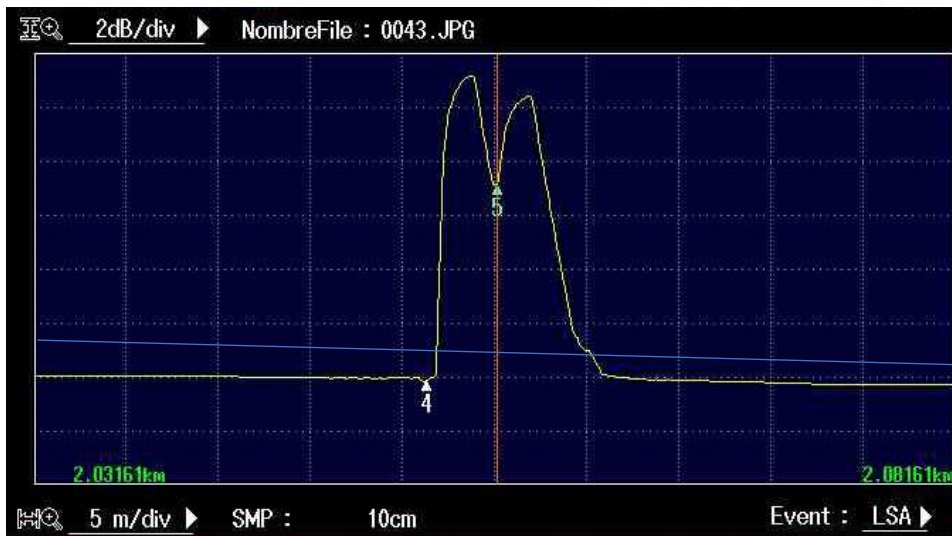


Figura 219. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 220 muestra el final del medio óptico con pérdidas de 2.756 [dB].

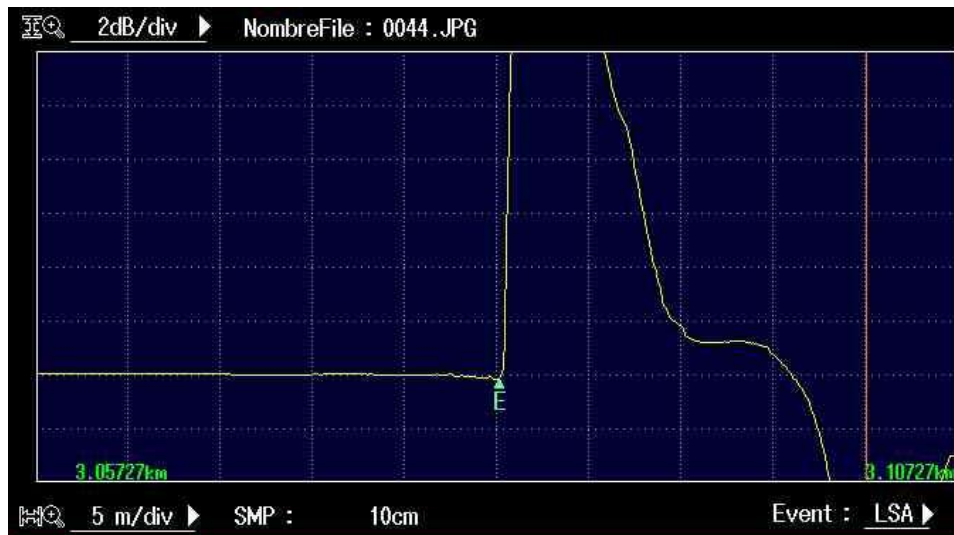


Figura 220. Final del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 221 muestra la tabla de las pérdidas de la octava instalación.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	0.02444		1.274		-0.227	-49.039	—	1.46000
2	1.02443	0.99999	0.613	45.741	1.487	0.439	—	1.46000
3	1.02792	0.00349			1.487		—	1.46000
4	2.05286	1.02494	0.220	46.572	2.345	0.239	—	1.46000
5	2.05666	0.00380			2.345		—	1.46000
E	3.08232	1.02566		30.437	2.756	0.186	—	1.46000

Figura 221. Tabla de las pérdidas de la octava instalación. Fuente: [19].

Novena instalación:

La figura 222 muestra el mapa de eventos realizado por el reflectómetro propagando un rayo de luz de 1550 [nm] de longitud de onda. La medición no detectó la zona muerta entre la conexión de la entrada del primer cable de lanzamiento de 1 [km] y el cable de 3 [m] que se conectó con el reflectómetro. Ni tampoco los últimos 3 [m] que conecta la salida del tercer cable de lanzamiento de 1 [km] con el dispositivo puesto a prueba.

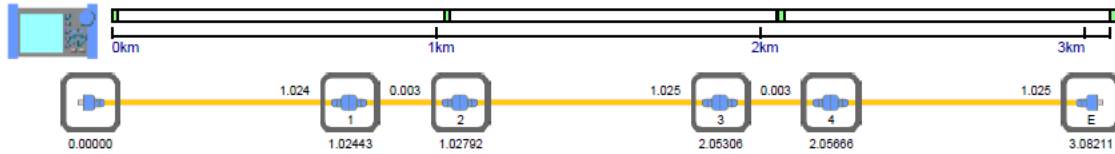


Figura 222. Mapa de eventos realizado por el reflectómetro. Fuente: [19].

La figura 223 muestra un gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 0.5 [dB]/500 [m] muestra la atenuación del medio y la combinación reflexiones de Fresnel limitada por las zonas muertas.

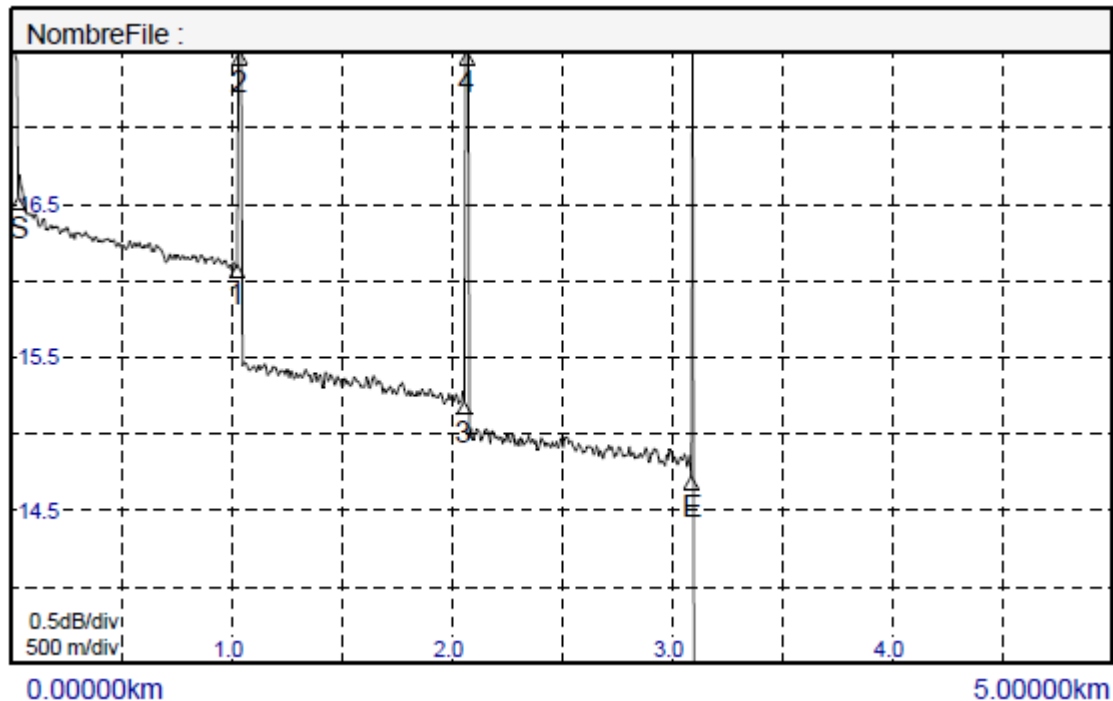


Figura 223. Gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Fuente: [19].

La figura 224 muestra el comienzo del medio la letra S.

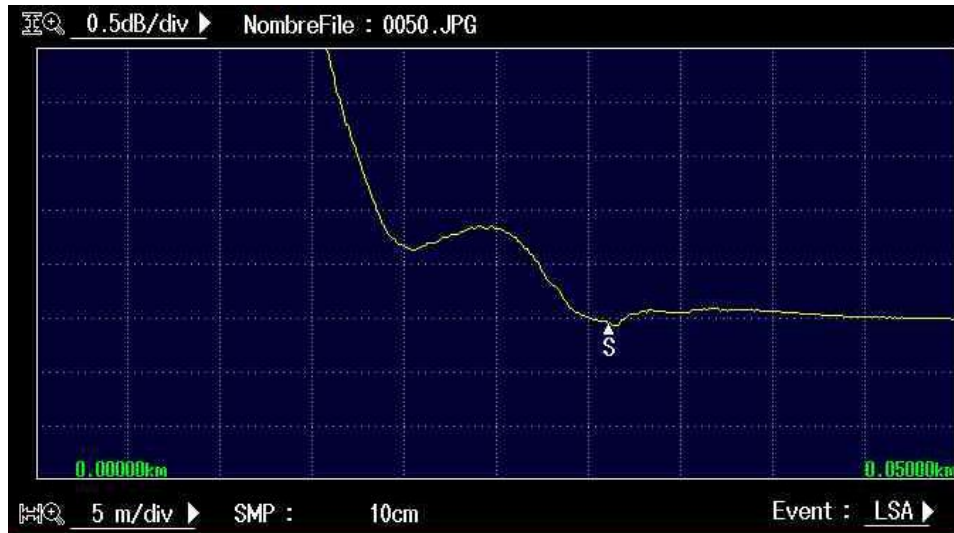


Figura 224. Comienzo del medio la letra S. Fuente: [19].

La figura 225 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la primera conexión registrada. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

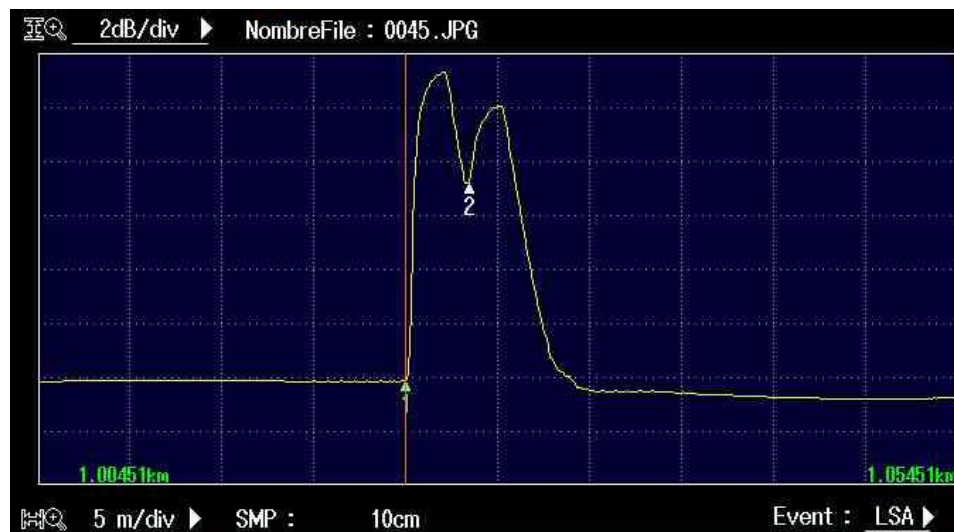


Figura 225. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 226 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la segunda conexión.

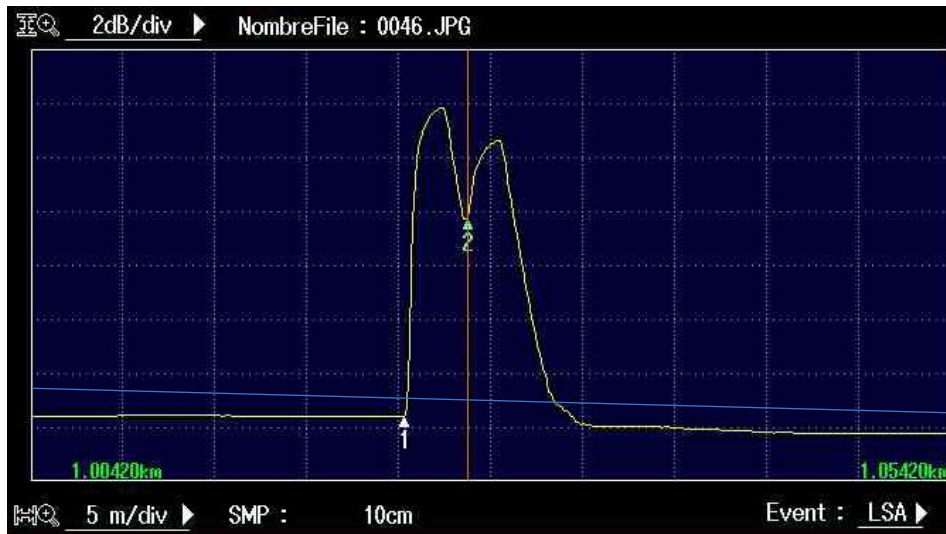


Figura 226. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 227 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la tercera conexión registrada. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

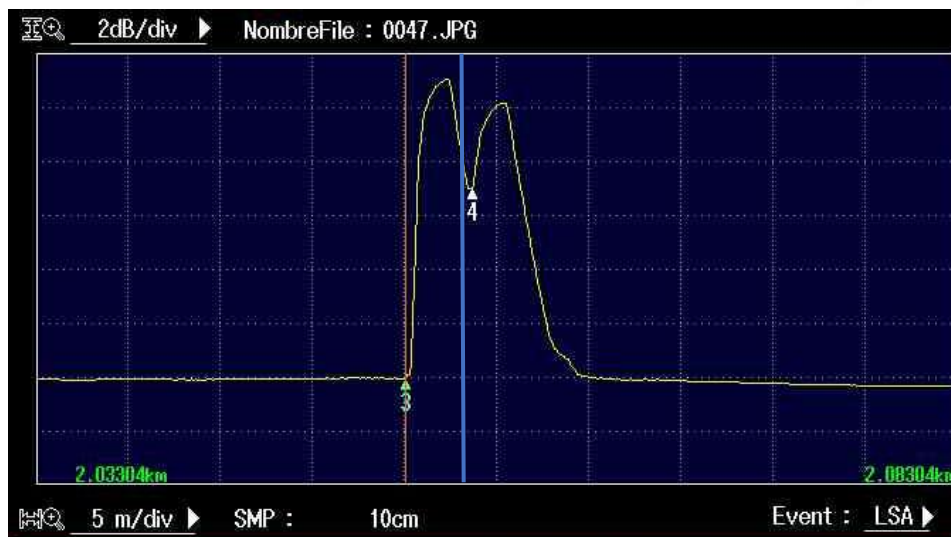


Figura 227. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 228 muestra en una gráfica de $0.5 \text{ [dB]}/5 \text{ [m]}$. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la cuarta conexión.

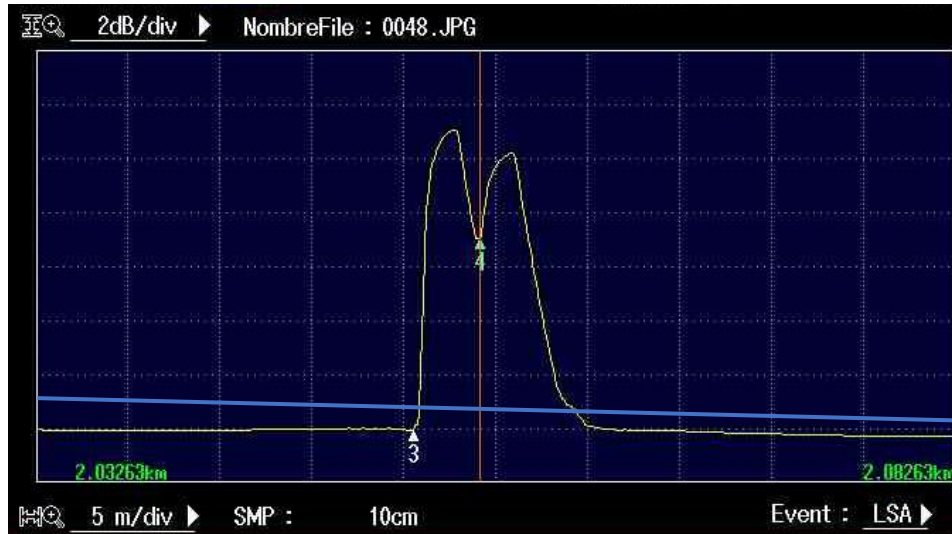


Figura 228. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] , paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 229 muestra el final del medio óptico con pérdidas de 2.756 [dB] .

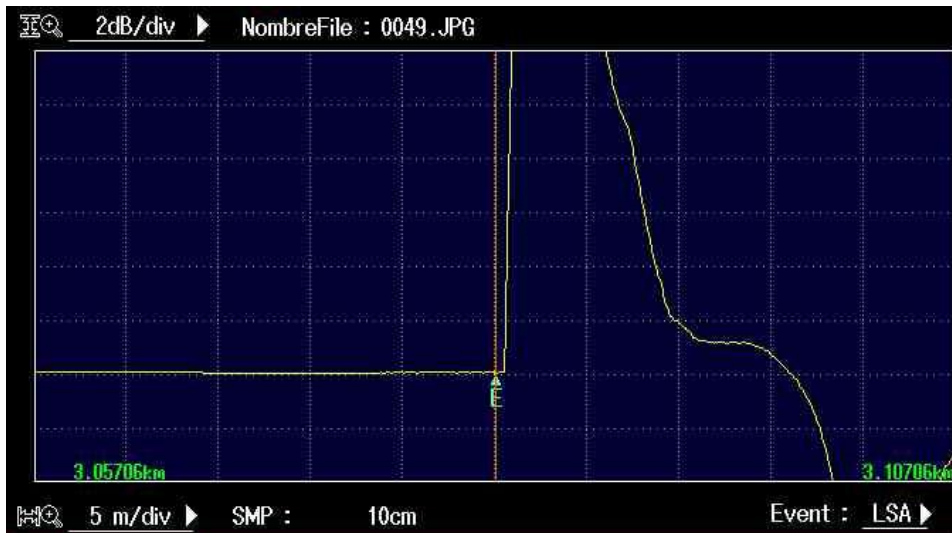


Figura 229. Final del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 230 muestra la tabla de las pérdidas de la novena instalación.






Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	1.02443		0.612	46.142	0.357	0.360		1.46000
2	1.02792	0.00349			0.357			1.46000
3	2.05306	1.02514	0.208	46.836	1.208	0.232		1.46000
4	2.05666	0.00360			1.208			1.46000
E	3.08211	1.02545		30.778	1.608	0.186		1.46000

Figura 230. Tabla de las pérdidas de la novena instalación. Fuente: [19].

Decima instalación:

La figura 231 muestra el mapa de eventos realizado por el reflectómetro propagando un rayo de luz de 1550 [nm] de longitud de onda. La medición no detecto la zona muerta entre la conexión de la entrada del primer cable de lanzamiento de 1 [km] y el cable de 3 [m] que se conectó con el reflectómetro. Ni tampoco los últimos 3 [m] que conecta la salida del tercer cable de lanzamiento de 1 [km] con el dispositivo puesto a prueba.



Figura 231. Mapa de eventos realizado por el reflectómetro.

La figura 232 muestra un gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 0.5 [dB]/500 [m]. muestra la atenuación del medio y la combinación reflexiones de Fresnel limitada por las zonas muertas.

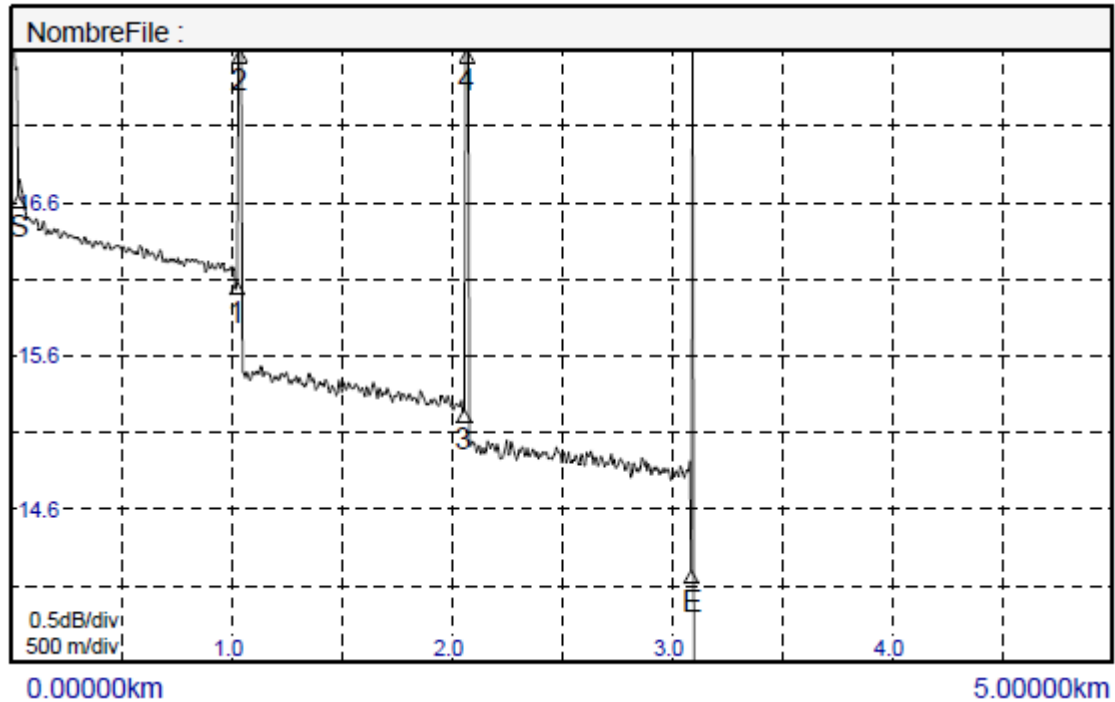


Figura 232. gráfico de atenuación decibelios sobre metros. Fuente: [19].

La figura 233 muestra el comienzo del medio la letra S.

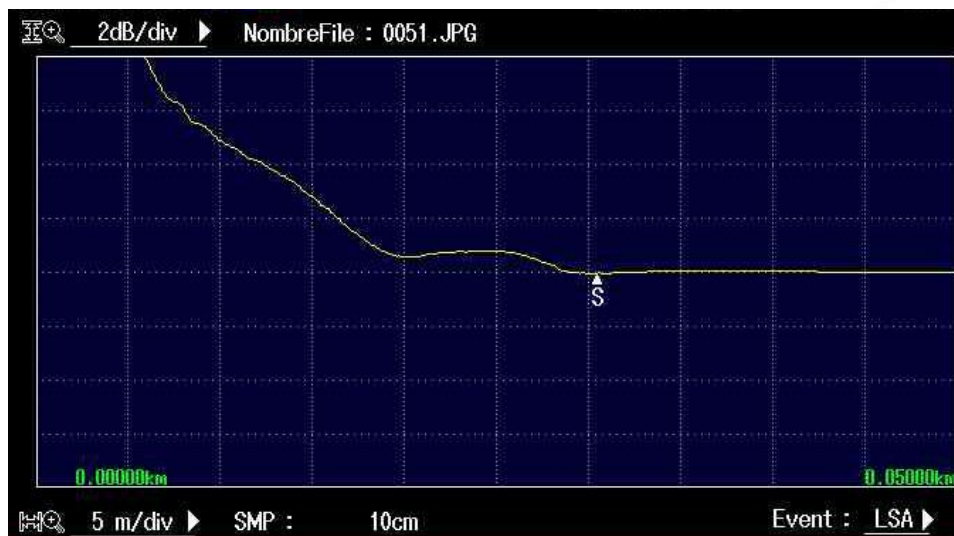


Figura 233. Comienzo del medio la letra S. Fuente: [19].

La figura 234 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la primera conexión registrada. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

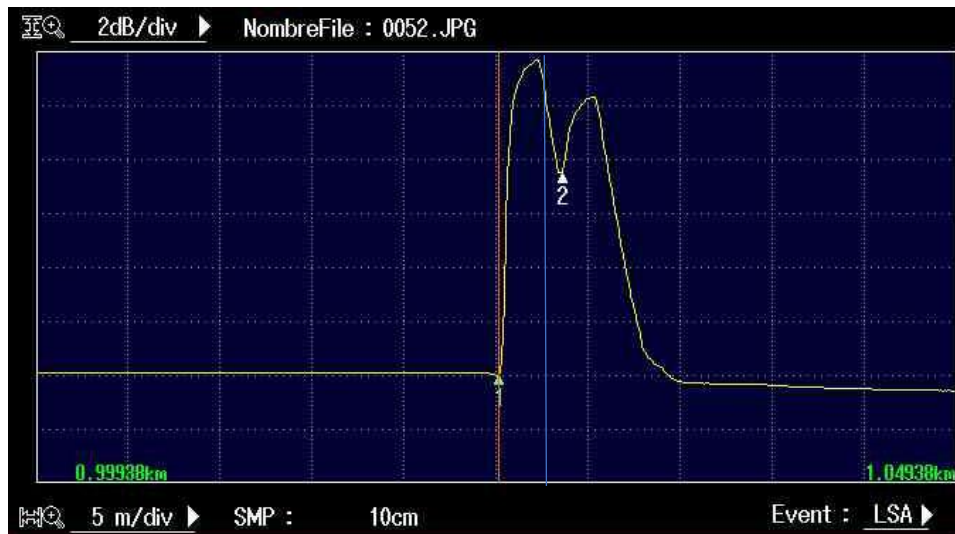


Figura 234. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda. Fuente: [19].

La figura 235 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la segunda conexión.

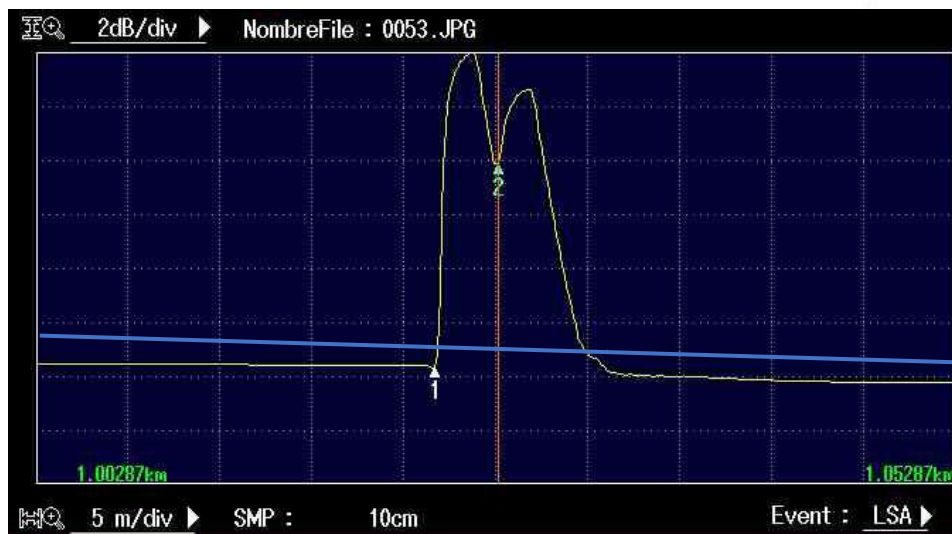


Figura 235. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 236 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color naranja muestra la distancia de la tercera conexión registrada. El cursor de color azul muestra el final de la zona muestra de evento con un valor de 1.5 [dB] bajando desde el pico de potencia por reflexión de Fresnel.

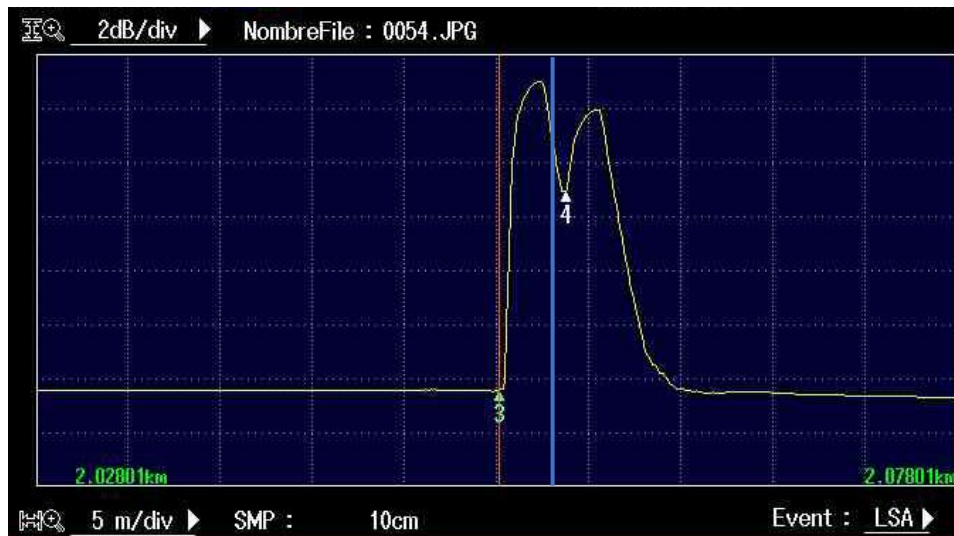


Figura 236. Combinación de reflexiones que se crea porque la distancia entre los eventos de la primera conexión y la segunda conexión. Fuente: [19].

La figura 237 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m] el cursor de la segunda conexión entre el 2 [km] y el 3 [km]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Lo que significa que termina la zona muestra de atenuación y los rayos de luz que se propagan por fibra óptica son detectados por el reflectómetro. Esto sirve para un registro manual de las pérdidas en el kilómetro.

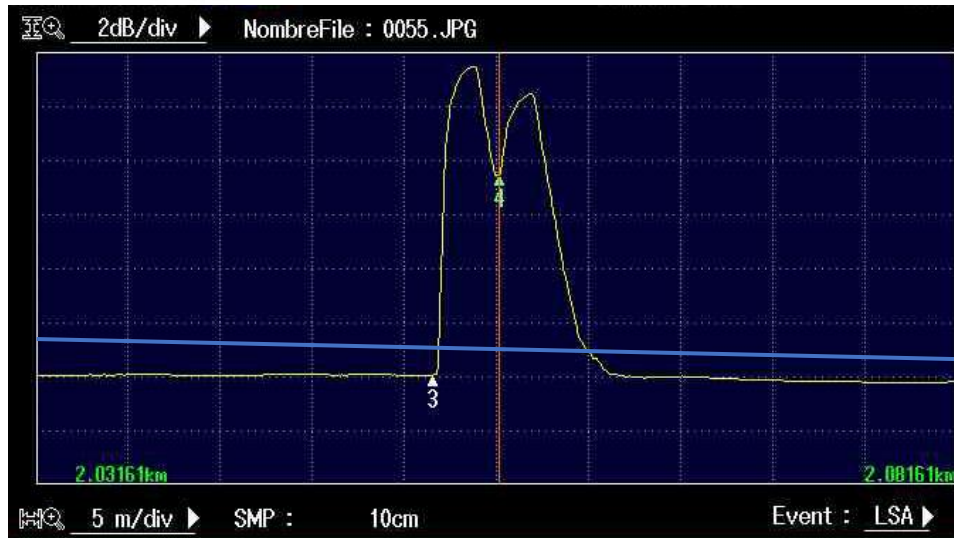


Figura 237. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB], paralelo a la pendiente negativa de pérdidas de potencia del segundo kilómetro. Fuente: [19].

La figura 238 muestra en una gráfica de 0.5 [dB]/5 [m]. El cursor de color azul referencia un nivel de 0.5 [dB] de la zona muestra de atenuación. El cursor naranja muestra la distancia de la segunda conexión.

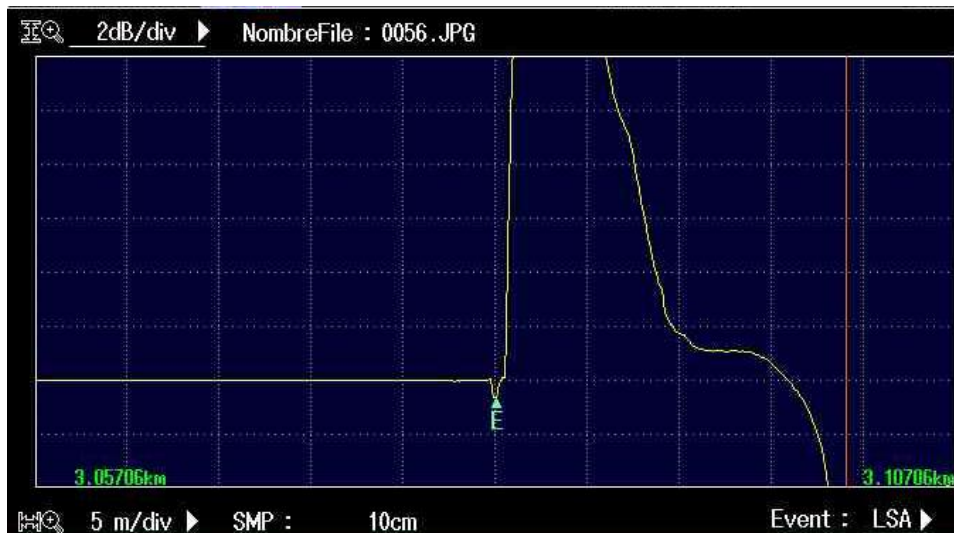


Figura 238. Final del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 239 muestra la tabla de las pérdidas de la primera instalación.






Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	1.02443		0.620	45.799	0.363	0.365		1.46000
2	1.02792	0.00349			0.363			1.46000
3	2.05306	1.02514	0.246	46.130	1.217	0.228		1.46000
4	2.05666	0.00360			1.217			1.46000
E	3.08211	1.02545		30.321	1.661	0.192		1.46000

Figura 239. Tabla de las pérdidas de la primera instalación. Fuente: [19].

La tabla 18 muestra el registro de las pérdidas por el OTDR AQ7280E.

Numero de instalaciones	Pérdida total [dB]	Potencia recibida [%]	Perdida de retorno por reflexión [dB]
1	-2.56	55.4	30.51
2	-1.61	68.9	30.67
3	-2.51	56.10	31.48
4	-2.54	55.7	30.64
5	-1.64	68.4	30.64
6	-1.63	68.6	30.83
7	-1.61	69	31.06
8	-2.75	53	30.43
9	-1.60	69.1	30.77
10	-1.66	68.2	30.32
Total	-2.01	63.2	30.74

Tabla 16. registro de las pérdidas por el OTDR AQ7280E.

Medir la potencia recibida en un sistema de comunicación óptica de 3 [km] conectando tres cables de lanzamiento de un 1 [km].

Medir la potencia de recibida usando el módulo OPM AQ7280. La potencia de transición es de 8.77 [mW] generada por el módulo AQ2200-131 del controlador de cuadros AQ2211. Para la práctica se realizó el sistema de comunicación óptico 10 veces.

Ver como ejemplo la figura de la práctica de nombre, “Pasos para medir la potencia recibida generada por el controlador de cuadros AQ2200 en 3km de fibra óptica monomodo de tres cables de lanzamiento de 1 [km] usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.” Para reconocer el sistema de comunicaciones óptico creado para la práctica.

La tabla 19 muestra el registro de la potencia recibida de las 10 instalaciones.

Numero de instalaciones	Potencia de recepción [mW]	Potencia de recepción [dBm]	Pérdida total [dB]	Potencia recibida [%]
1	5.13	7.10	-2.32	58.6
2	5.12	7.09	-2.33	58.5
3	5.13	7.10	-2.32	58.6
4	5.28	7.22	-2.20	60.3
5	5.22	7.17	-2.25	59.6
6	5.17	7.13	-2.29	59
7	5.13	7.10	-2.32	58.6
8	5.31	7.25	-2.17	60.7
9	5.12	7.09	-2.33	58.5
10	5.22	7.17	-2.25	59.6
Total	5.18	7.142	-2.27	59.2

Tabla 17. Registro de la potencia recibida de las 10 instalaciones.

Cálculos de las pérdidas usando la tabla de atenuación total en un sistema de comunicación óptico de 3 [km] usando cables de lanzamiento de 1 [km].

Usando el dato de potencia transmitida del módulo AQ2200-131 del controlador de cuadros de 8,77 [mW] y la tabla de atenuación total se encontrará la potencia de recepción del sistema de comunicaciones. De la ecuación de la atenuación total no se considera el margen del sistema por tener cálculos exactos de atenuaciones.

Ver como ejemplo la figura de la práctica de nombre, “Pasos para medir la potencia recibida generada por el controlador de cuadros AQ2200 en 3km de fibra óptica monomodo de tres cables de lanzamiento de 1 [km] usando el reflectómetro en el dominio del tiempo óptico.” Para reconocer el sistema de comunicaciones óptico creado para la práctica.

Resultados en las mejores condiciones:

$$TA = (nC) + (Lxa) + (FA)$$

$$TA = [(2)(0,2)] + [(3)(0,17) + 2] = -2,91dB$$

La potencia de entrada es 8,77 [mW]. Si la atenuación en decibelios se define como.

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_o}{P_i} \right)$$

Entonces

$$-2,91dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_o}{8,77mW} \right)$$

$$\frac{-2,91}{10} = \log_{10} \left(\frac{P_o}{8,77mW} \right)$$

$$-0,291 = \log_{10} \left(\frac{P_o}{8,77mW} \right)$$

$$10^{-0,291} = \frac{P_o}{8,77mW}$$

$$0,51 = \frac{P_o}{8,77mW}$$

$$P_o = (0,51)(8,77) = 4,48mW$$

Resultados normales:

$$TA = (nC) + (Lxa) + FA$$

$$TA = [(2)(0,35)] + [(3)(0,22) + 2] = -3,36dB$$

La potencia de entrada es 8,770 [mW]. Si la atenuación en decibelios se define como.

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_o}{P_i} \right)$$

Entonces

$$-3.36dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$\frac{-3,36}{10} = \log_{10} \left(\frac{P_o}{8,770mW} \right)$$

$$-0.336 = \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$10^{-0.136} = \frac{P_o}{8.77mW}$$

$$0.46 = \frac{P_o}{8.77mW}$$

$$P_o = (0.46)(8.77) = 4.05mW$$

Resultados en las peores condiciones:

$$TA = (nC) + (Lxa) + FA$$

$$TA = [(2)(0,7)] + [(3)(0,4) + 2] = -4,6dB$$

La potencia de entrada es 8,77 [mW]. Si la atenuación en decibelios se define como.

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_o}{P_i} \right)$$

Entonces

$$-4.6dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$\frac{-4.6}{10} = \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$-0,46 = \log_{10} \left(\frac{P_o}{8,77mW} \right)$$

$$10^{-0,46} = \frac{P_o}{8,77mW}$$

$$0.34 = \frac{P_o}{8,77mW}$$

$$P_o = (0.34)(8,77) = 3,04mW$$

La tabla 20 muestra la potencia de recepción y atenuación usando los valores de la tabla de atenuación total en un sistema con una fibra óptica de 3 [km].

	Atenuación del sistema [dB]	Potencia recibida [%]	Potencia de recepción [mW]	Potencia de recepción [dBm]	
Min	-2,91	51.1	4.48	6.51	Las mejores condiciones
Promedio	-3,36	46.1	4,05	6.07	Normal
Max	-4,6	34.67	3.04	4.82	La peor situación

Tabla 18. potencia de recepción y atenuación usando los valores de la tabla de atenuación total en un sistema con una fibra óptica de 3 [km].

Medición y cálculos de pérdidas y potencia recibida usando el ODTR y la ecuación de atenuación total en sistema óptico de 20km.

Medición de las pérdidas usando el YOKOGAWA AQ7280E OTDR en un medio óptico de 20km

Medir las pérdidas del medio óptico usando el AQ7280E. La potencia usada trabaja en la ventana de 1550 [nm]. Se realizó la práctica de dos maneras, el registro A utilizando el cable de lanzamiento de 1 [km], y el registro B utilizando solo el fiber lab 800. Se realizó un registro de 10 instalaciones del medio óptico.

Primer registro A:

La figura 240 muestra los eventos medio óptico. Donde resaltan eventos de empalmes y conexión.

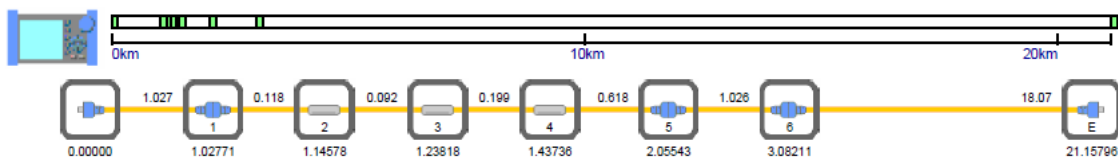


Figura 240. Eventos medio óptico. Fuente: [19].

La figura 241 muestra la atenuación del medio óptico, en una gráfica de decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 2 [dB]/2.5 [km].

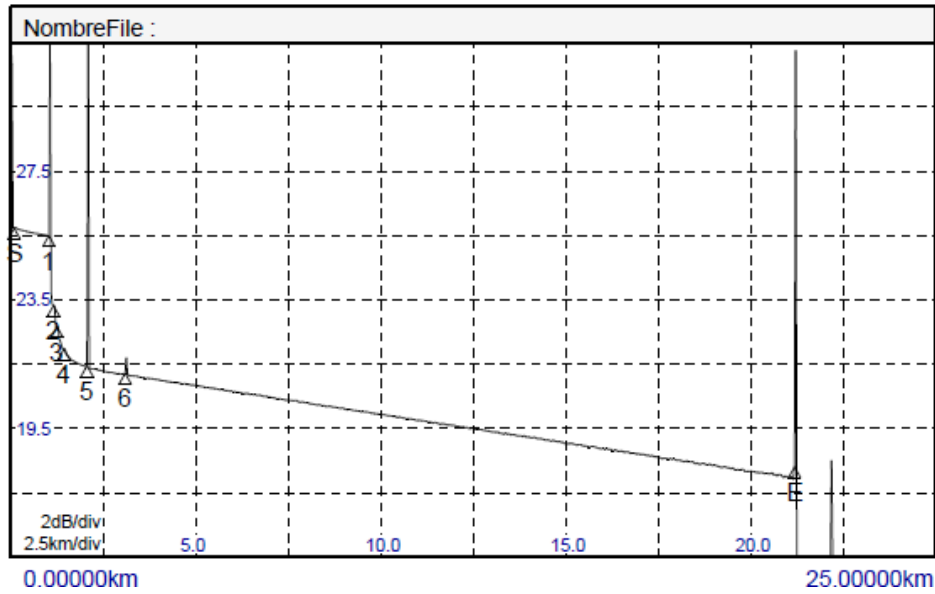


Figura 241. Atenuación del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 242 muestra el comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de la primera conexión.

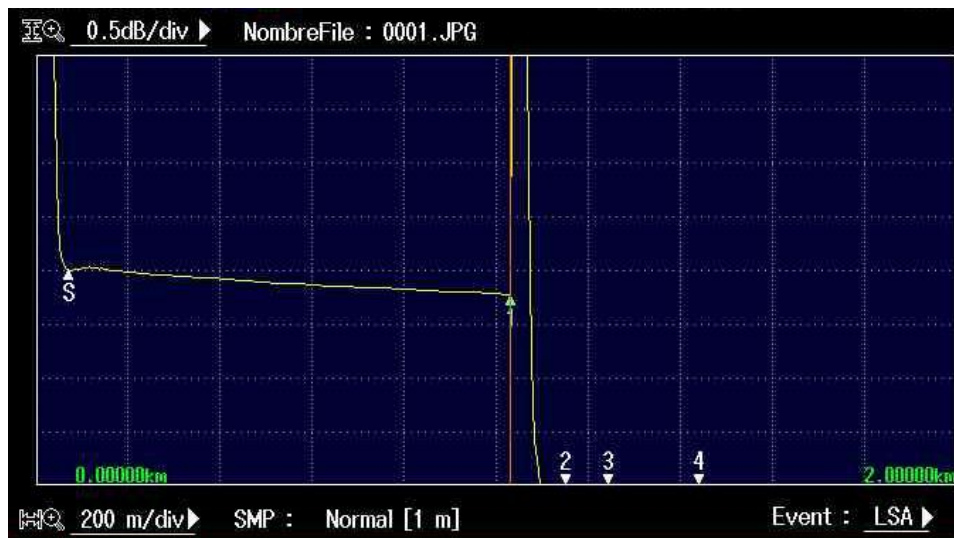


Figura 242. Comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de la primera conexión. Fuente: [19].

La figura 243 muestra la atenuación del comienzo del fiber lab 800.

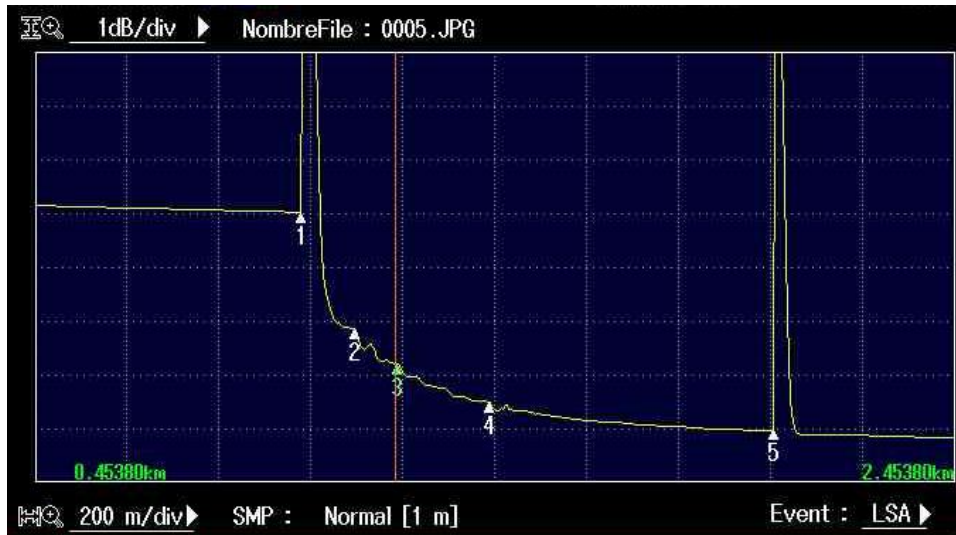


Figura 243. Atenuación del comienzo del fiber lab 800. Fuente: [19].

La figura 244 muestra una reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de alta potencia.

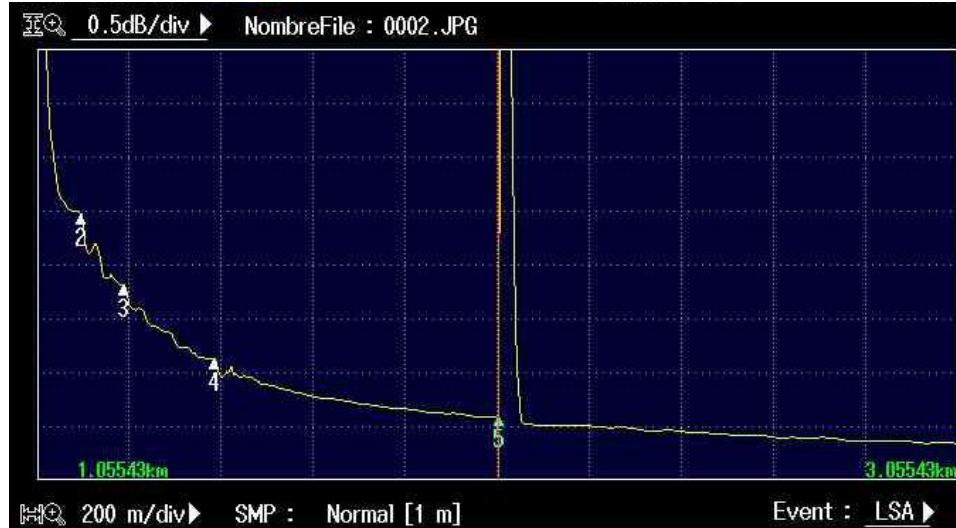


Figura 244. Reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de alta potencia. Fuente: [19].

La figura 245 muestra una reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de baja potencia.

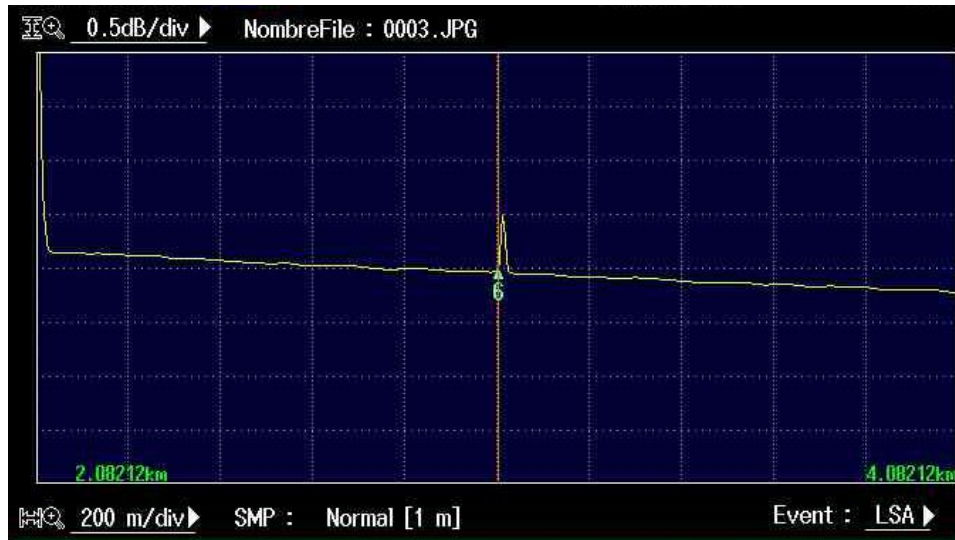


Figura 245. Reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de baja potencia. Fuente: [19].

La figura 246 muestra la atenuación total del medio óptico con valor de 7.99 [dB].

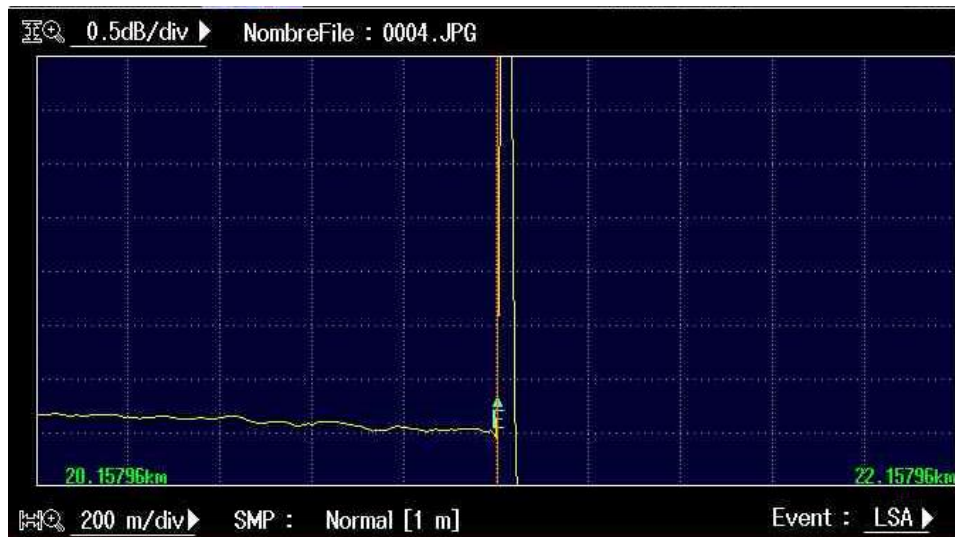


Figura 246. Atenuación total del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 247 muestra la tabla de las pérdidas del medio óptico.








Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	1.02771		2.000	11.536	0.248	0.258		1.46000
2	1.14578	0.11807	0.553		2.403	1.313		1.46000
3	1.23818	0.09240	0.489		3.143	2.029		1.46000
4	1.43736	0.19918	0.164		3.989	1.795		1.46000
5	2.05543	0.61807	-0.001	37.157	4.583	0.695		1.46000
6	3.08211	1.02668	0.003	67.803	4.790	0.203		1.46000
E	21.15796	18.07585		35.462	7.999	0.177		1.46000

Figura 247. Tabla de las pérdidas del medio óptico. Fuente: [19].

Segundo registro A:

La figura 248 muestra los eventos del medio óptico. Donde resaltan eventos de empalmes y conexión.

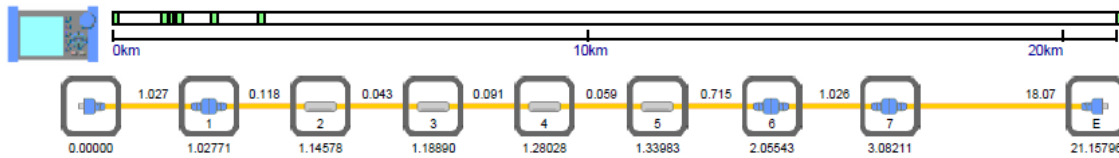


Figura 248. Eventos del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 249 muestra la atenuación del medio óptico, en una gráfica de decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 2 [dB]/3 [km].

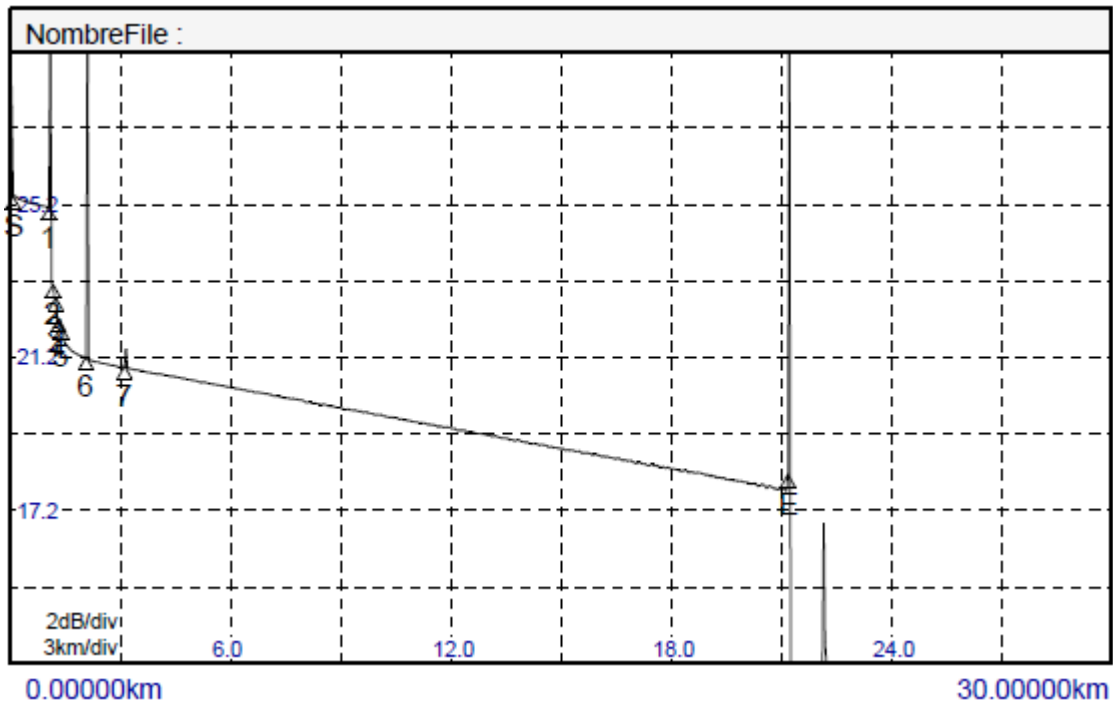


Figura 249. Atenuación del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 250 muestra el comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de la primera conexión.

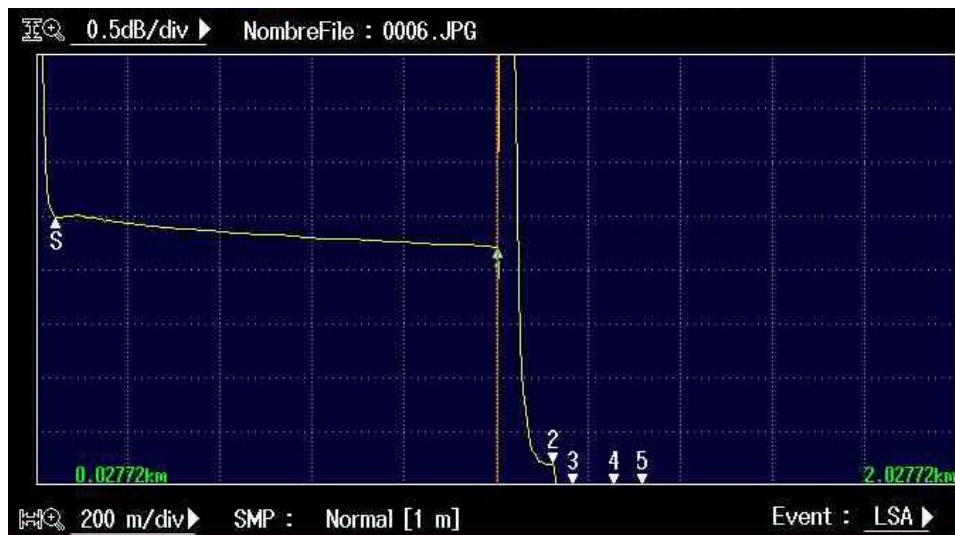


Figura 250. Comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de la primera conexión. Fuente: [19].

La figura 251 muestra la atenuación del comienzo del fiber lab 800. En un grafica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m].

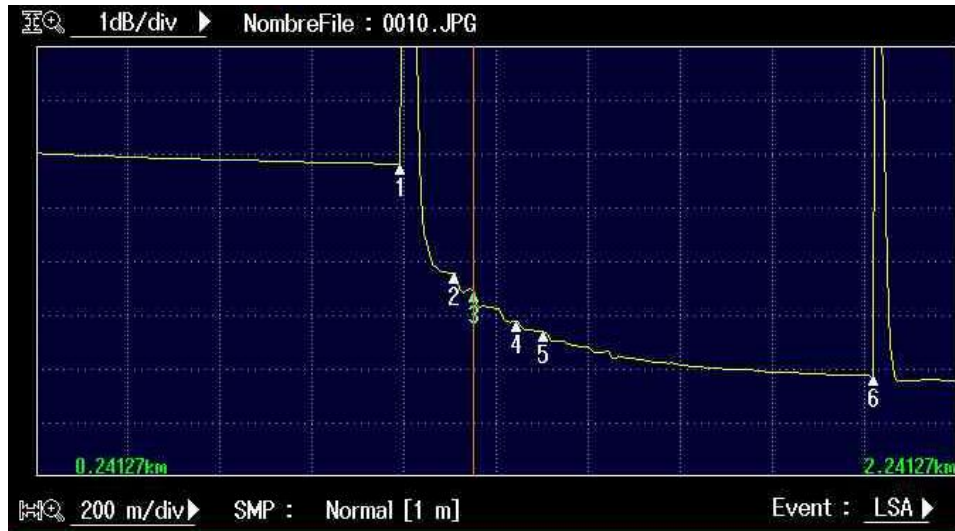


Figura 251. Atenuación del comienzo del fiber lab 800. Fuente: [19].

La figura 252 muestra una reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de alta potencia.

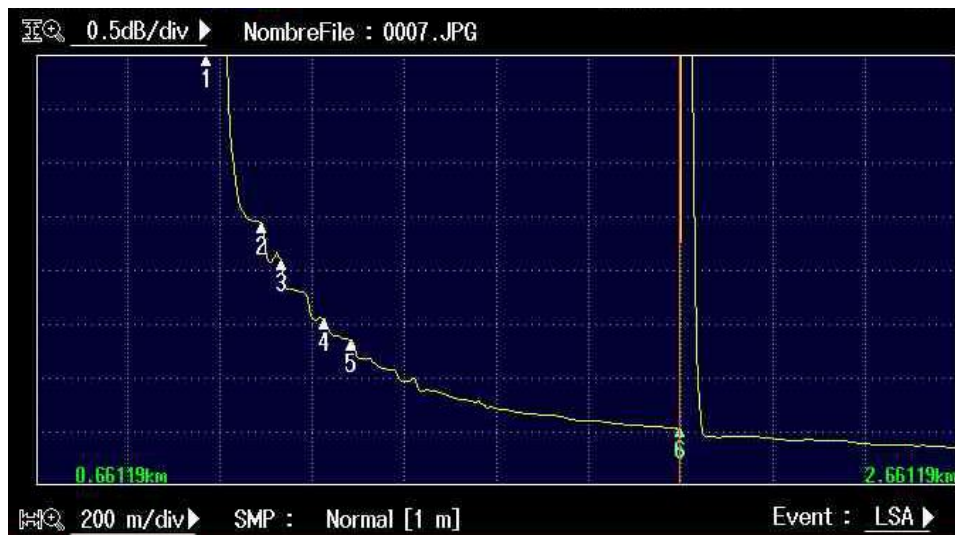


Figura 252. Reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de alta potencia. Fuente: [19].

La figura 253 muestra una reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de baja potencia.

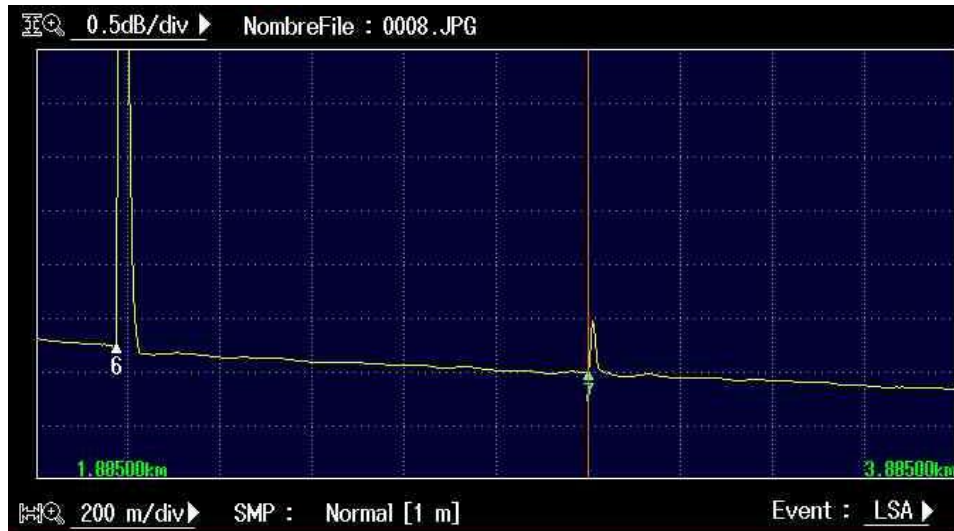


Figura 253. Reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de baja potencia. Fuente: [19].

La figura 254 muestra la atenuación total del medio óptico con valor de 7.494 [dB].

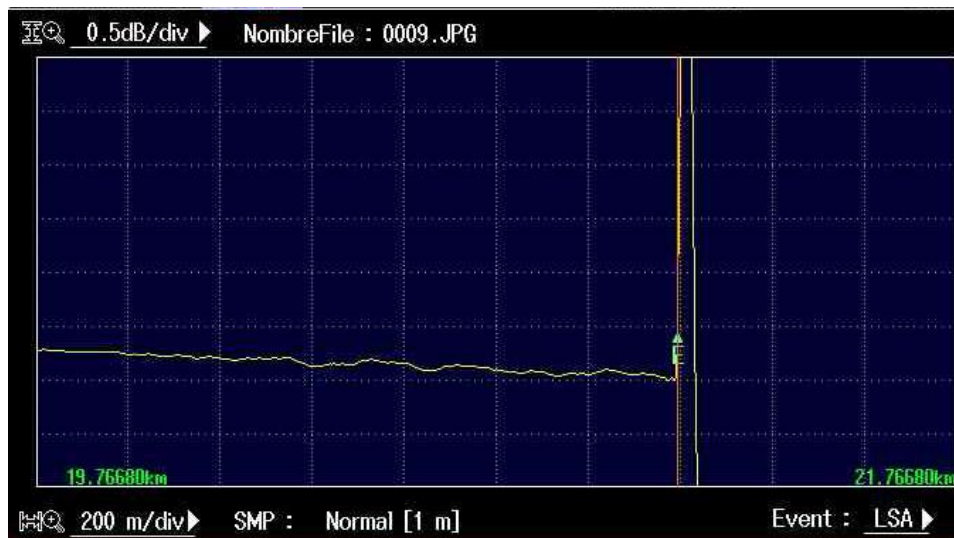


Figura 254. Atenuación total del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 255 muestra la tabla de las pérdidas del medio óptico.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	1.02771		1.888	11.080	0.284	0.295	↘	1.46000
2	1.14578	0.11807	0.302		2.294	1.038	↘	1.46000
3	1.18890	0.04312	0.527		2.613	0.377	↘	1.46000
4	1.28028	0.09138	0.145		3.196	0.617	↘	1.46000
5	1.33983	0.05955	0.108		3.386	0.748	↘	1.46000
6	2.05543	0.71560	0.040	37.523	4.046	0.772	↘	1.46000
7	3.08211	1.02668	0.004	68.110	4.292	0.201	↘	1.46000
E	21.15796	18.07585		35.605	7.494	0.177	↘	1.46000

Figura 255. Tabla de las pérdidas del medio óptico. Fuente: [19].

Tercer registro A:

La figura 256 muestra los eventos del medio óptico. Donde resaltan eventos de empalmes y conexión.

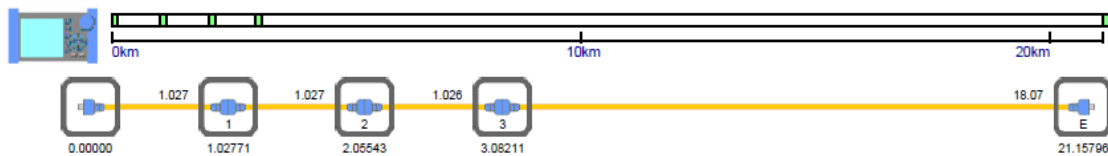


Figura 256. Eventos del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 257 muestra la atenuación del medio óptico, en una gráfica de decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 2 [dB]/3 [km].

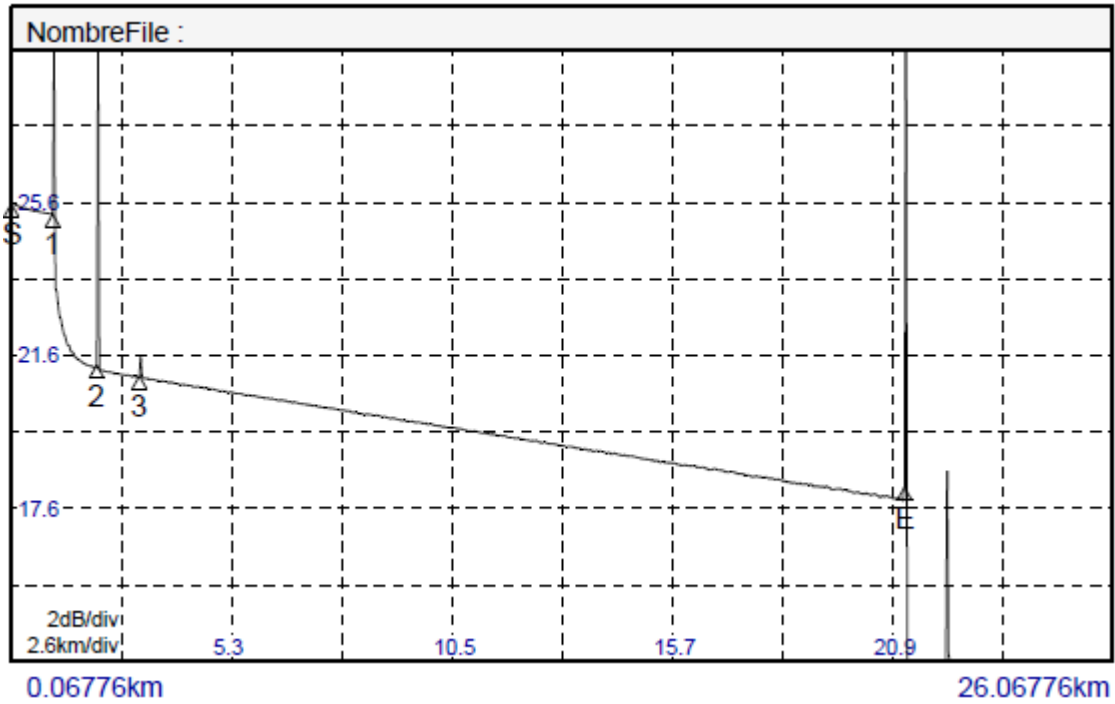


Figura 257. Atenuación del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 258 muestra el comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de la primera conexión.

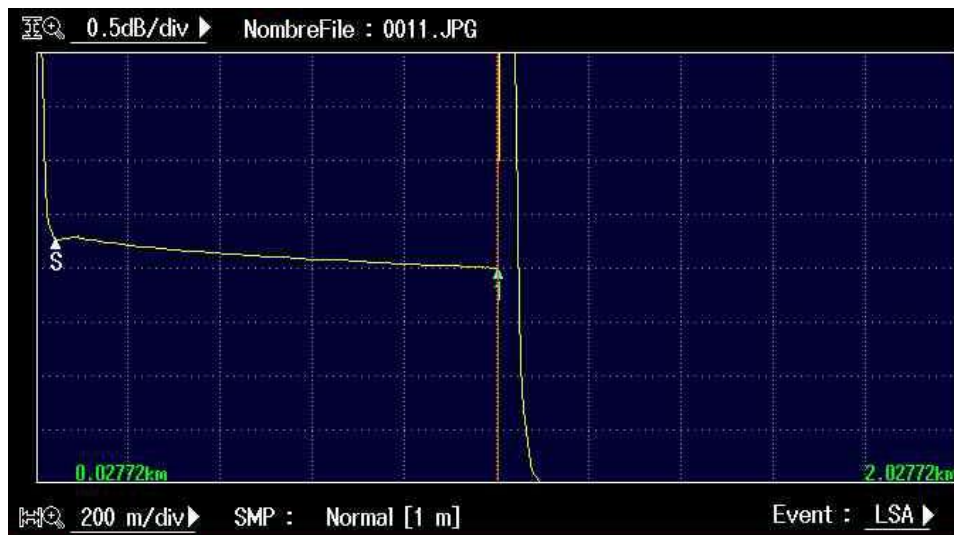


Figura 258. comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de la primera conexión. Fuente: [19].

La figura 259 muestra la atenuación del comienzo del fiber lab 800. En un grafica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m].

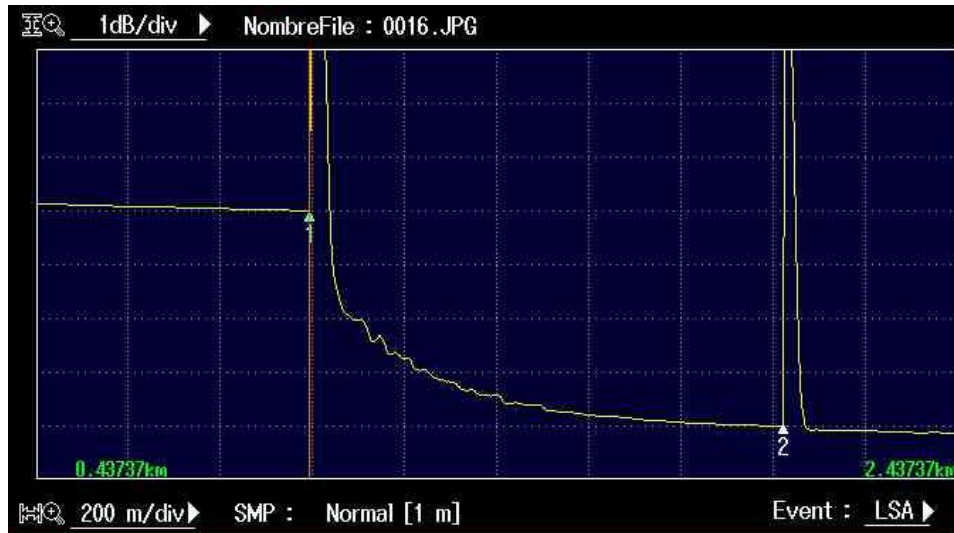


Figura 259. Atenuación del comienzo del fiber lab 800. Fuente: [19].

La figura 260 muestra una reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de alta potencia.

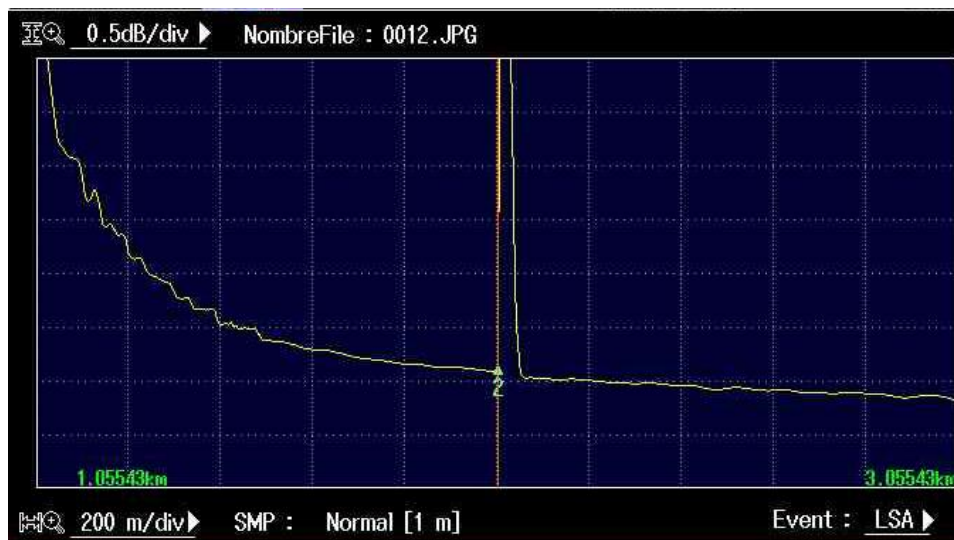


Figura 260. Reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de alta potencia. Fuente: [19].

La figura 261 muestra una reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de baja potencia.

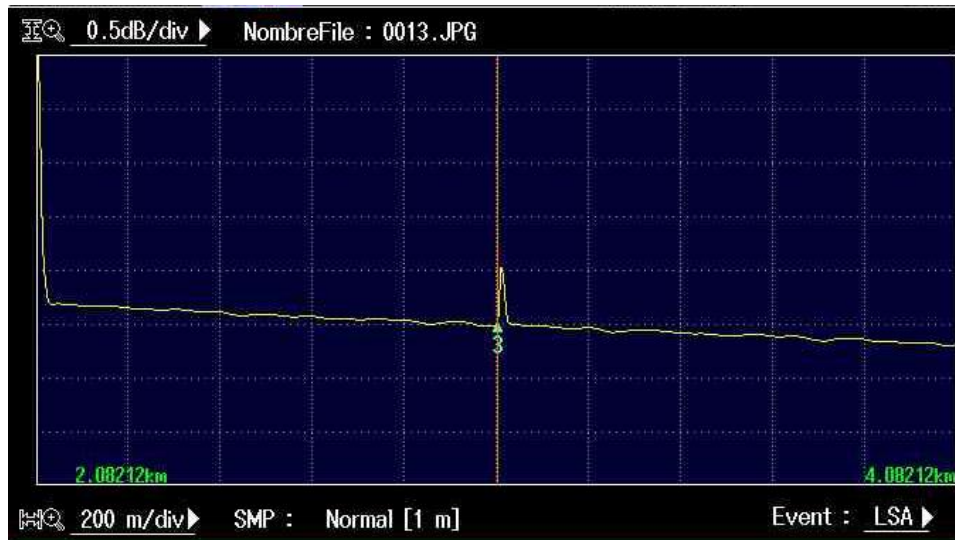


Figura 261. Reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de baja potencia. Fuente: [19].

La figura 262 muestra la atenuación total del medio óptico con valor de 7.742 [dB].

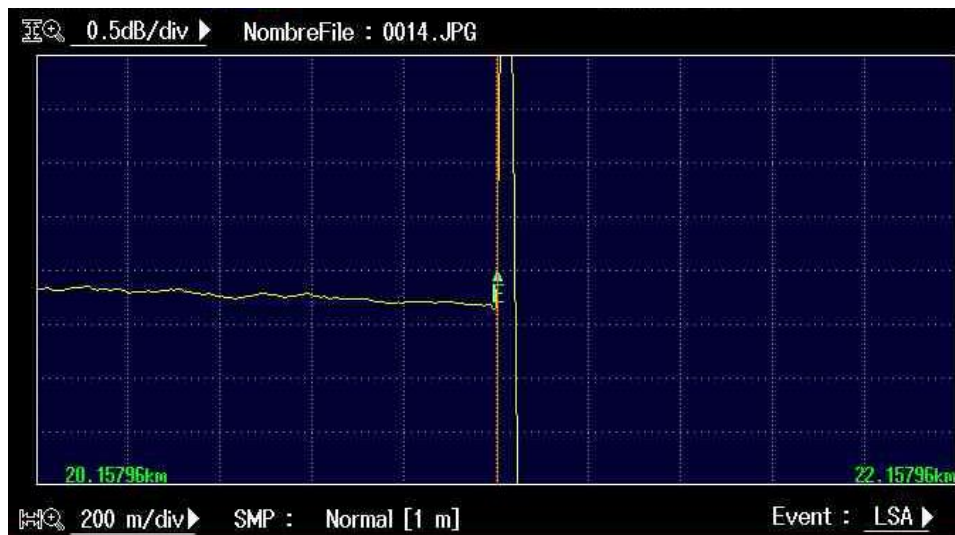


Figura 262. Atenuación total del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 263 muestra la tabla de las pérdidas del medio óptico.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	1.02771		2.673	11.167	0.280	0.292	—	1.46000
2	2.05543	1.02772	-0.216	37.384	4.543	1.547	—	1.46000
3	3.08211	1.02668	0.003	67.597	4.539	0.207	—	1.46000
E	21.15796	18.07585		35.414	7.742	0.177	—	1.46000

Figura 263. Tabla de las pérdidas del medio óptico. Fuente: [19].

Cuarto registro A:

La figura 264 muestra los eventos del medio óptico. Donde resaltan eventos de empalmes y conexión.

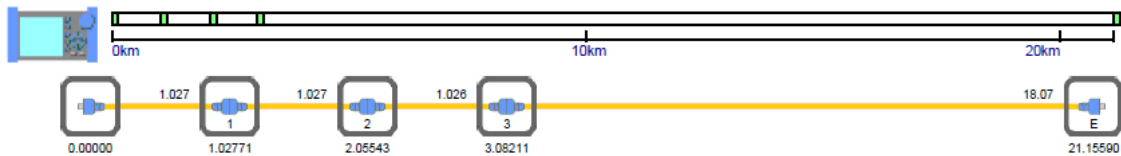


Figura 264. Eventos del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 265 muestra la atenuación del medio óptico, en una gráfica de decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 2 [dB]/3 [km].

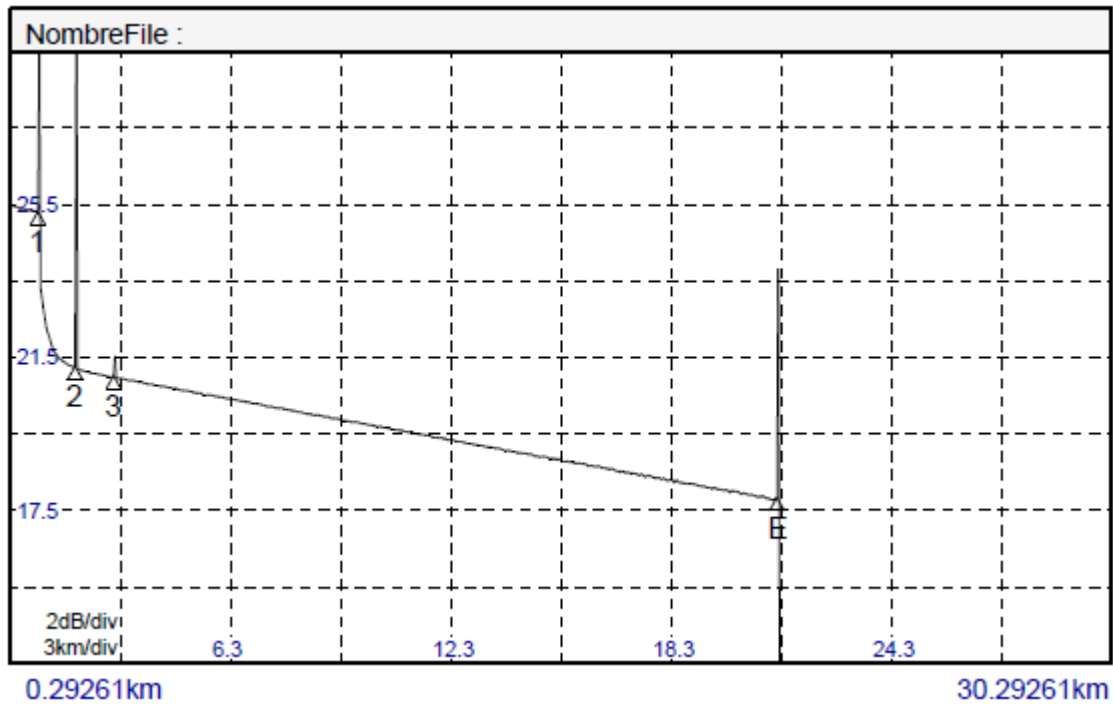


Figura 265. Atenuación del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 266 muestra el comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de la primera conexión.

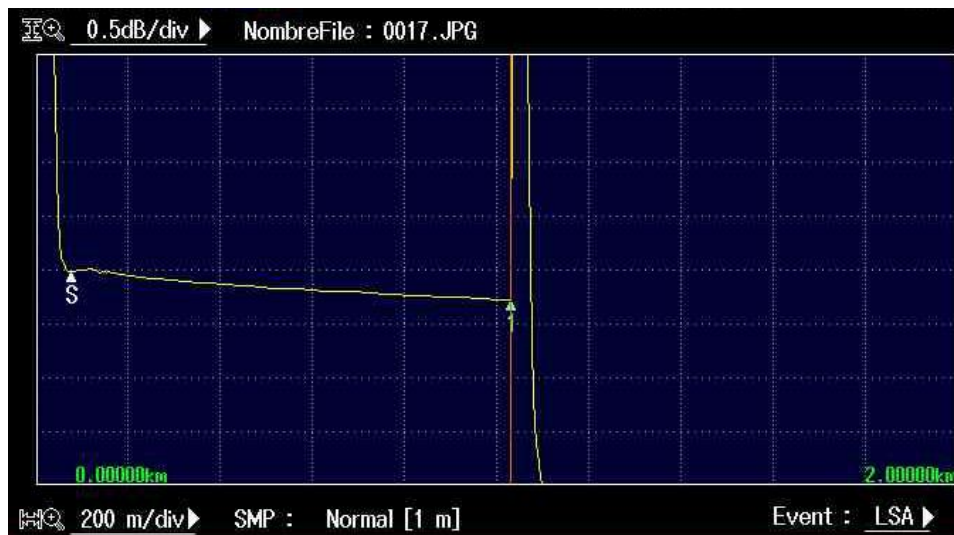


Figura 266. Comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de la primera conexión. Fuente: [19].

La figura 267 muestra la atenuación del comienzo del fiber lab 800. En un grafica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m].

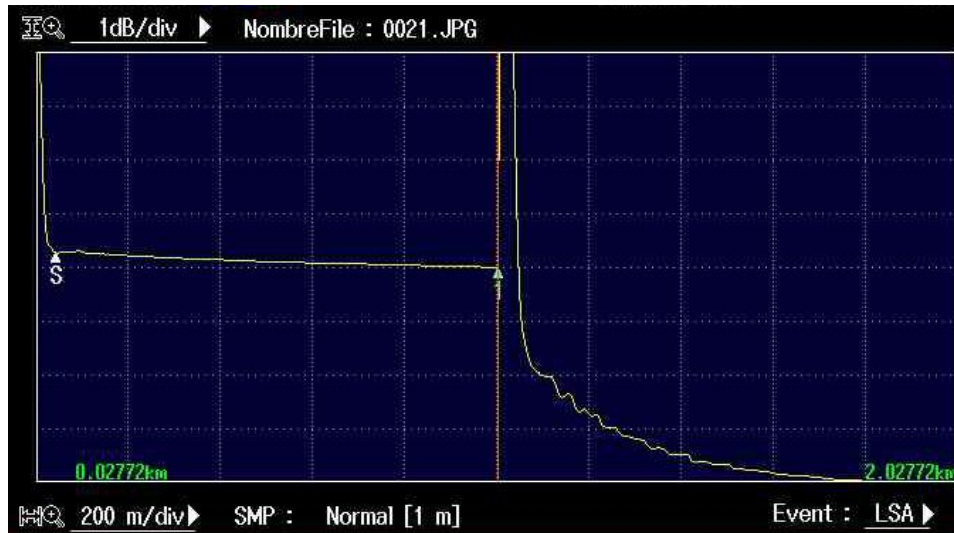


Figura 267. Atenuación del comienzo del fiber lab 800. Fuente: [19].

La figura 268 muestra una reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de alta potencia.

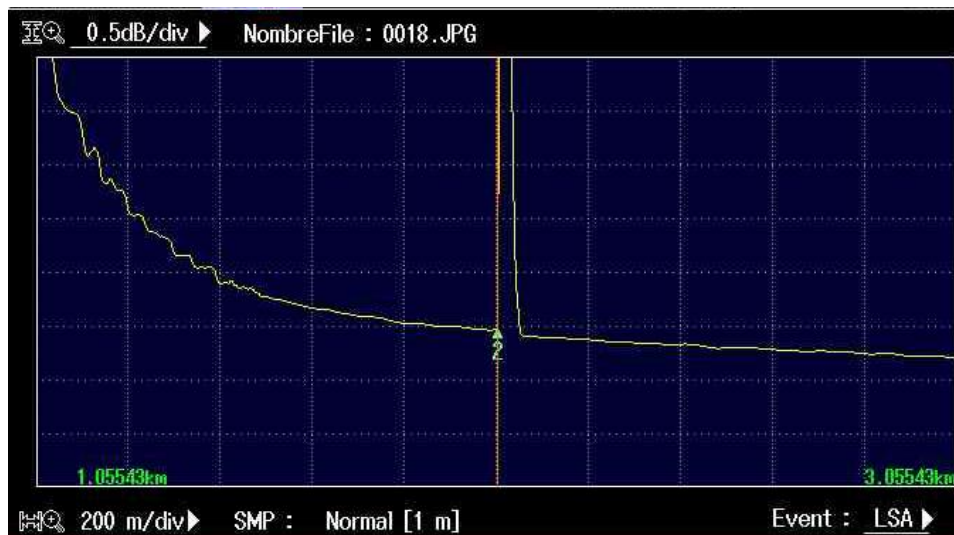


Figura 268. Reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de alta potencia. Fuente: [19].

La figura 269 muestra una reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de baja potencia.

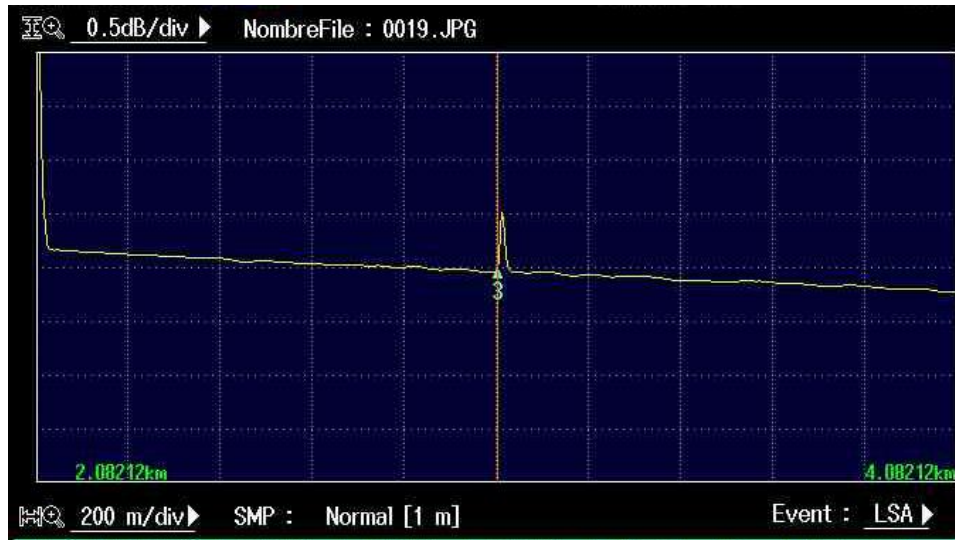


Figura 269. Reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de baja potencia. Fuente: [19].

La figura 270 muestra la atenuación total del medio óptico con valor de 7.789 [dB].

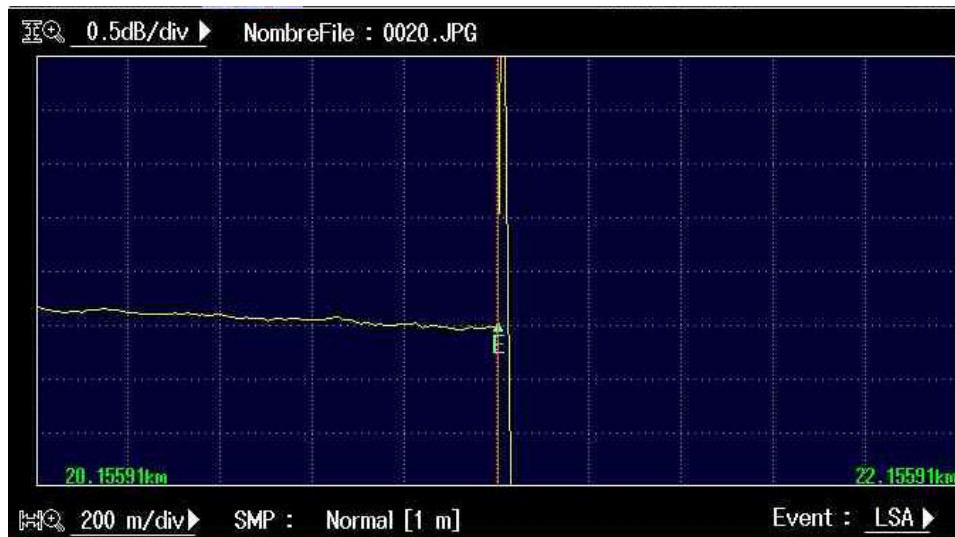


Figura 270. Atenuación total del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 271 muestra la tabla de las pérdidas del medio óptico.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	1.02771		2.701	11.187	0.275	0.288	—	1.46000
2	2.05543	1.02772	-0.219	37.187	4.591	1.572	—	1.46000
3	3.08211	1.02668	0.002	67.442	4.584	0.207	—	1.46000
E	21.15590	18.07379		50.217	7.789	0.177	—	1.46000

Figura 271. Pérdidas del medio óptico. Fuente: [19].

Quinto registro A:

La figura 272 muestra los eventos del medio óptico. Donde resaltan eventos de empalmes y conexión.

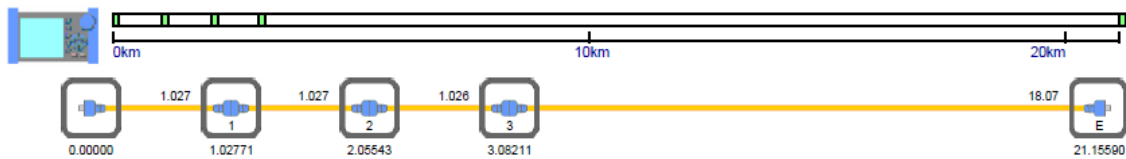


Figura 272. Eventos del medio óptico.

La figura 273 muestra la atenuación del medio óptico, en una gráfica de decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 2 [dB]/3 [km].

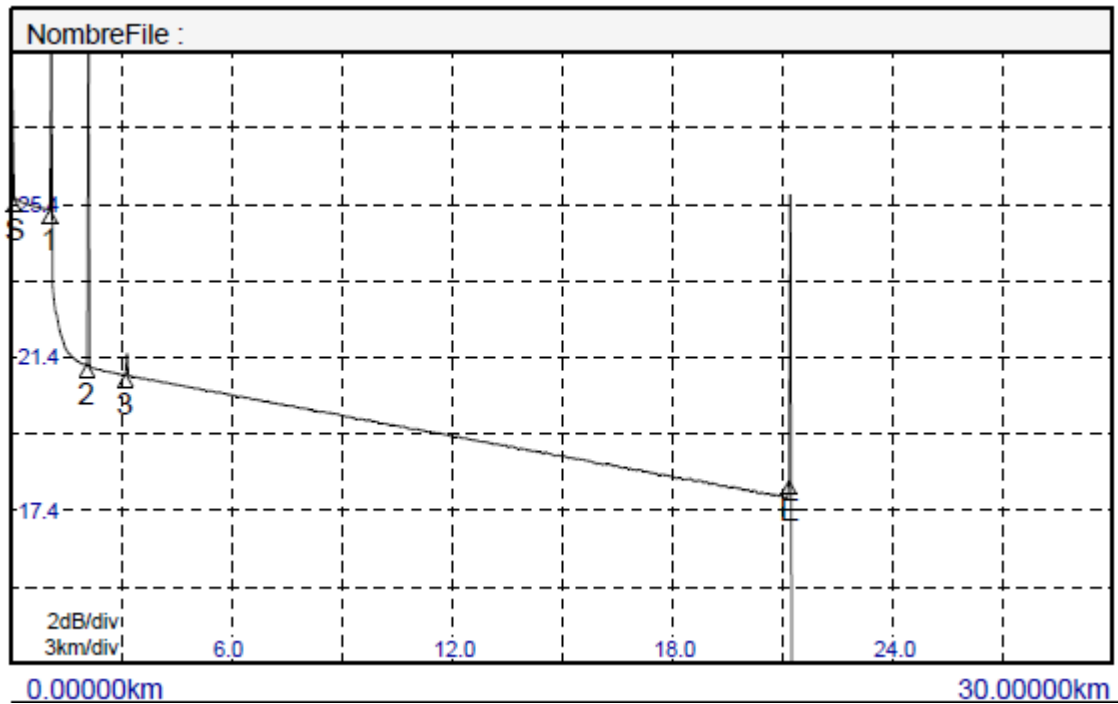


Figura 273. Atenuación del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 274 muestra el comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de la primera conexión.

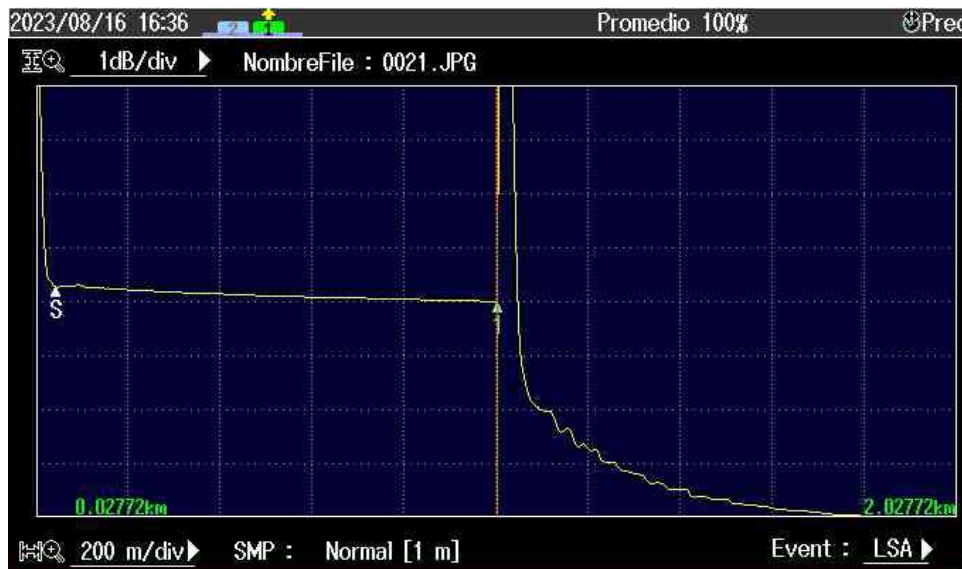


Figura 274. Comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de la primera conexión. Fuente: [19].

La figura 275 muestra la atenuación del comienzo del fiber lab 800. En un grafica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m].

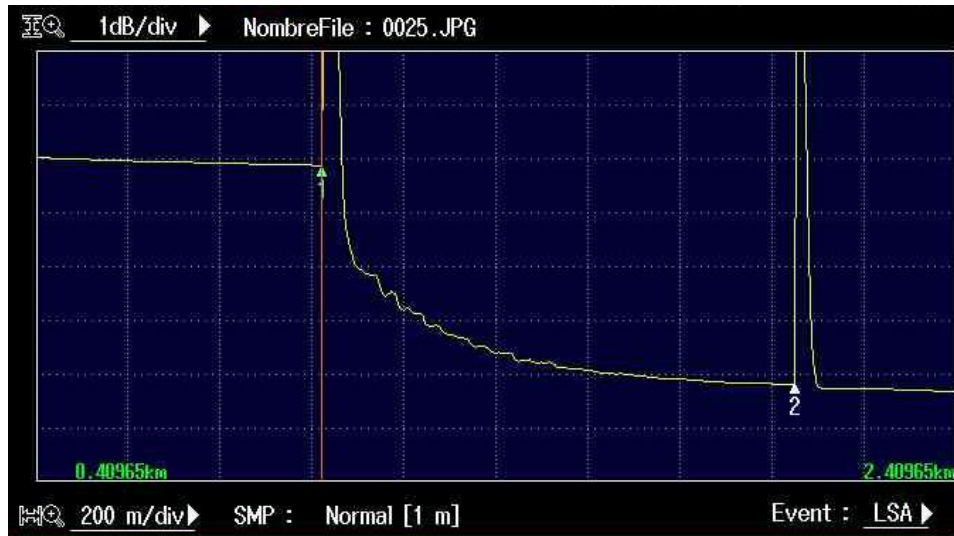


Figura 275. Atenuación del comienzo del fiber lab 800. Fuente: [19].

La figura 276 muestra una reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de alta potencia.

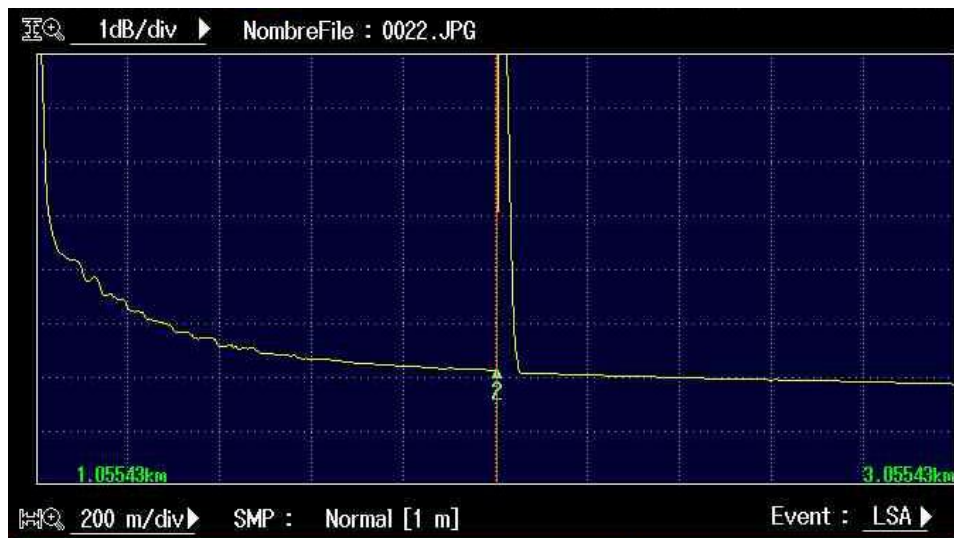


Figura 276. Reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de alta potencia. Fuente: [19].

La figura 277 muestra una reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de baja potencia.

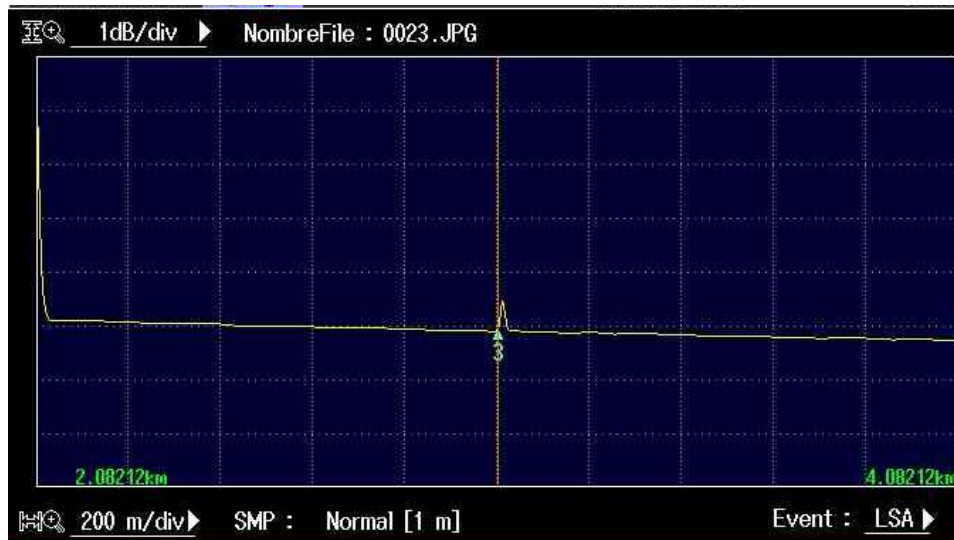


Figura 277. Reflexión de Fresnel provocada por dispersión dentro de fibra de baja potencia. Fuente: [19].

La figura 278 muestra la atenuación total del medio óptico con valor de 7.789 [dB].

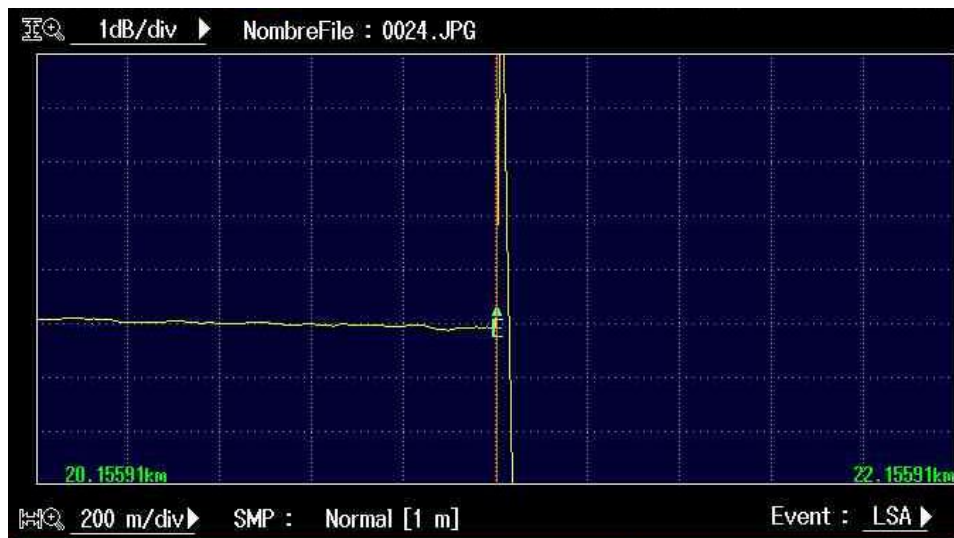


Figura 278. Atenuación total del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 279 muestra la tabla de las pérdidas del medio óptico con valor de 7.800.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	1.02771		2.674	11.100	0.286	0.297		1.46000
2	2.05543	1.02772	-0.226	37.200	4.604	1.600		1.46000
3	3.08211	1.02668	0.001	67.426	4.594	0.210		1.46000
E	21.15590	18.07379		46.390	7.800	0.177		1.46000

Figura 279. Tabla de las pérdidas del medio óptico. Fuente: [19].

Primer registro B:

La figura 280 muestra los eventos del medio óptico. Donde resaltan eventos de empalmes y conexión.

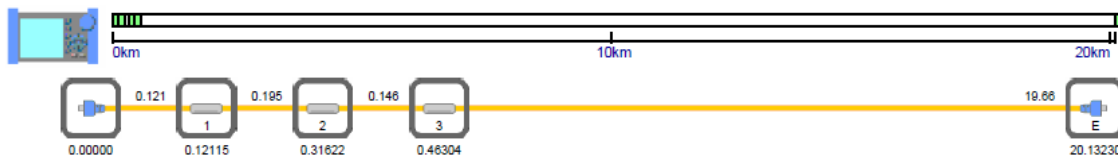


Figura 280. Eventos del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 281 muestra la atenuación del medio óptico, en una gráfica de decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 1 [dB]/3 [km].

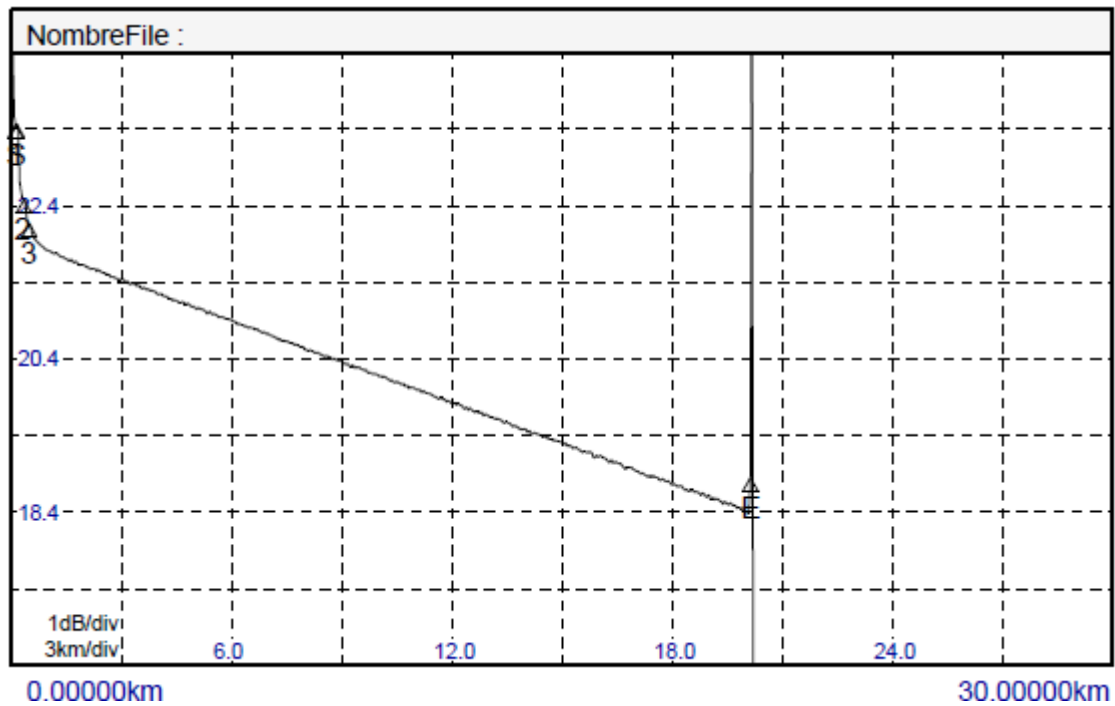


Figura 281. Atenuación del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 282 muestra el comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de las atenuaciones detectadas. En una gráfica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m].

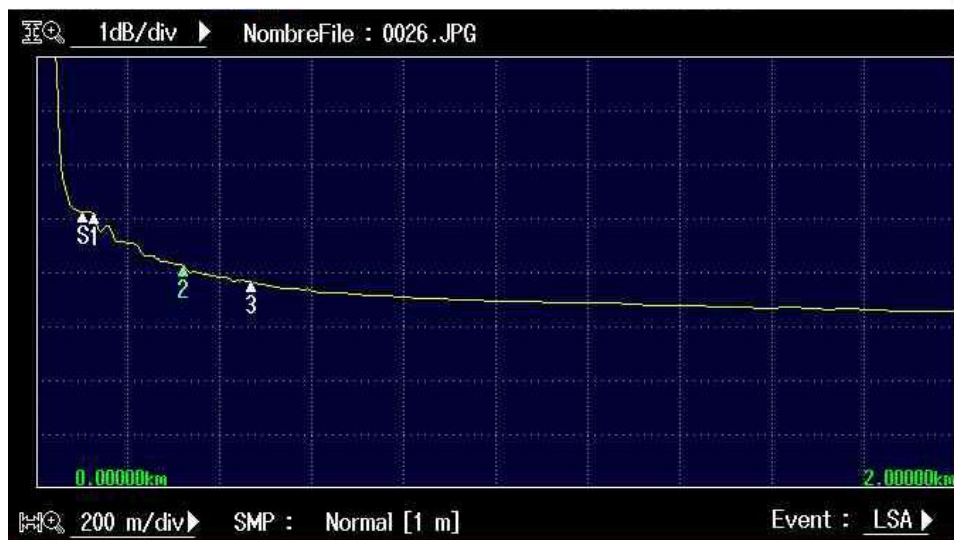


Figura 282. comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de las atenuaciones detectadas. Fuente: [19].

La figura 283 muestra la atenuación del comienzo del fiber lab 800. En una gráfica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m]. con unas pérdidas totales de 5.127 [dB].

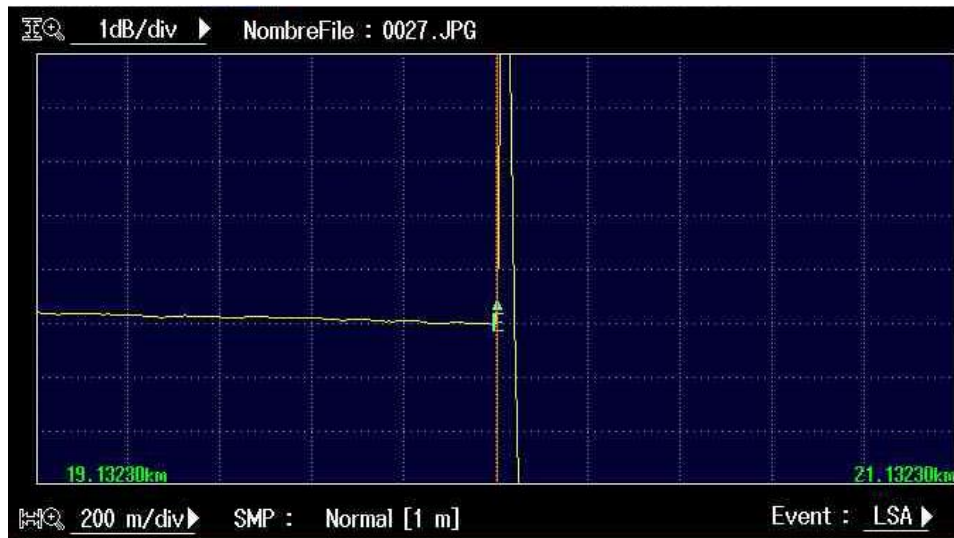


Figura 283. Atenuación del comienzo del fiber lab 800. Fuente: [19].

La figura 284 muestra la tabla de las pérdidas del medio óptico.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	0.12115		0.498		0.014	0.580		1.46000
2	0.31622	0.19507	0.104		1.002	2.511		1.46000
3	0.46304	0.14682	0.283		1.340	1.591		1.46000
E	20.13230	19.66926		35.035	5.127	0.178		1.46000

Figura 284. Tabla de las pérdidas del medio óptico. Fuente: [19].

Segundo registro B:

La figura 285 muestra los eventos del medio óptico. Donde resaltan eventos de empalmes y conexión.

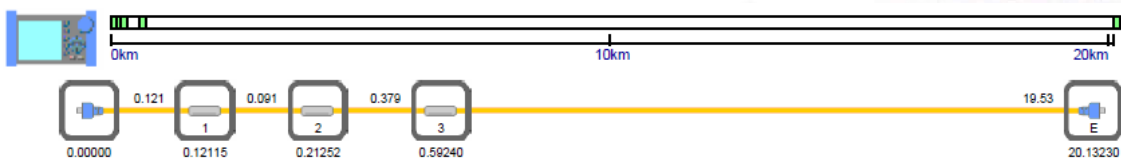


Figura 285. Eventos del medio óptico.

La figura 286 muestra la atenuación del medio óptico, en una gráfica de decibelios sobre metros.
Donde cada cuadrícula está dividida por 1 [dB]/3 [km].

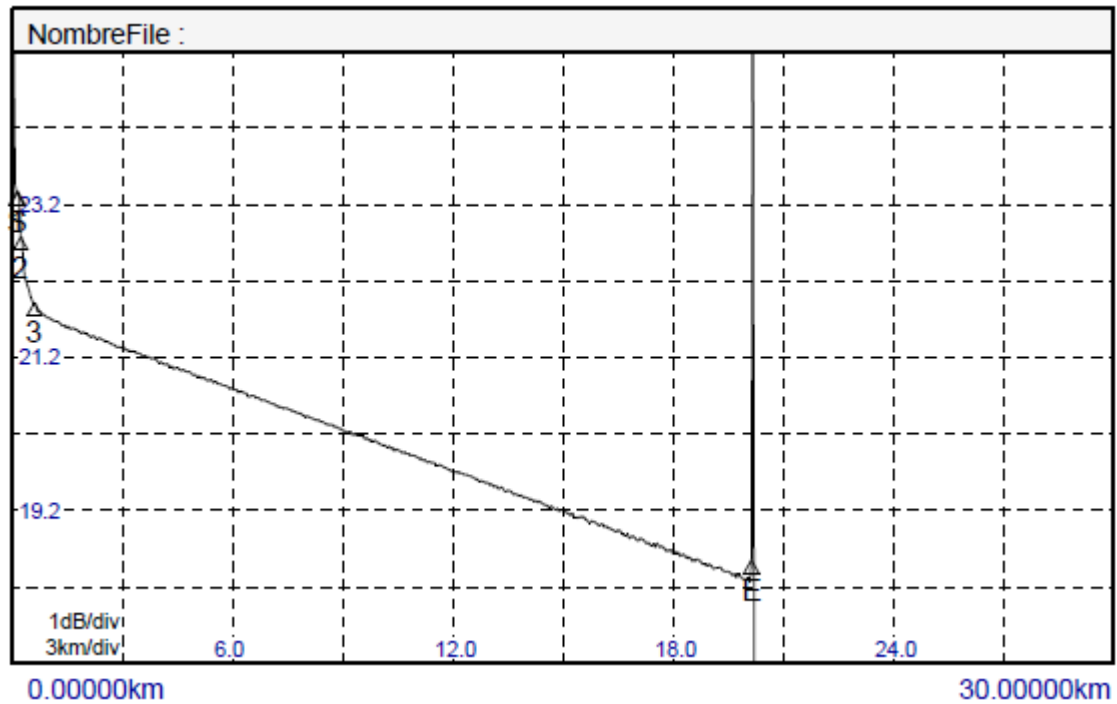


Figura 286. Atenuación del medio óptico.

La figura 287 muestra el comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de las atenuaciones detectadas. En una gráfica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m].

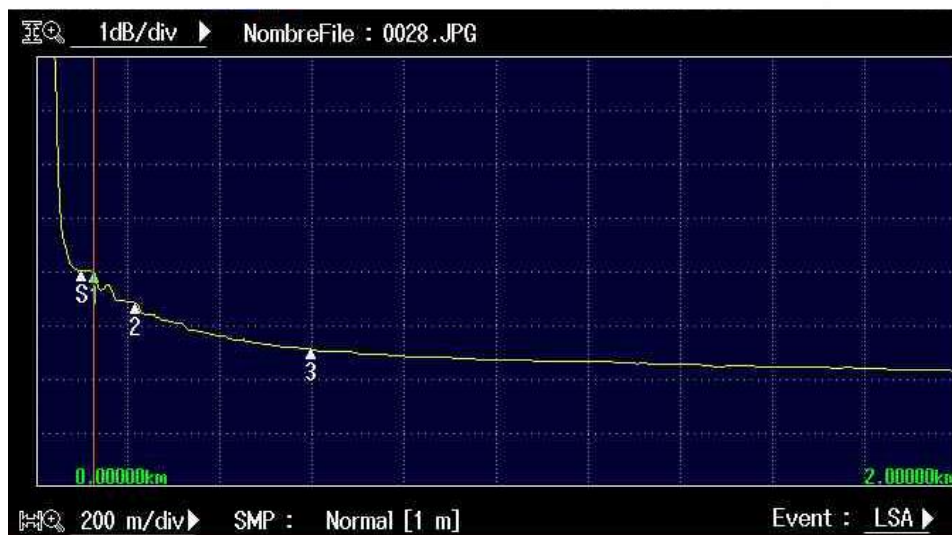


Figura 287. Comienzo del medio óptico.

La figura 288 muestra la atenuación del comienzo del fiber lab 800. En una gráfica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m]. con unas pérdidas totales de 5.093 [dB].

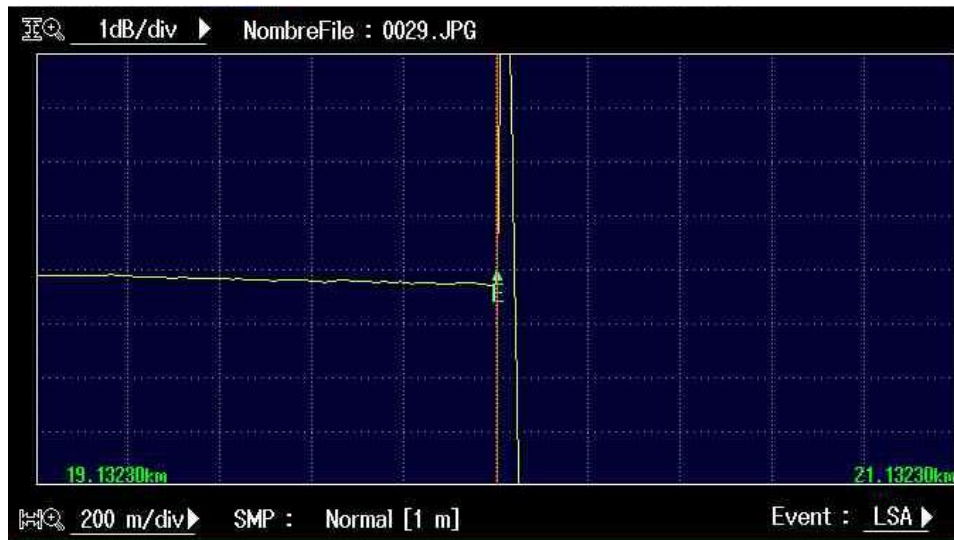


Figura 288. Atenuación del comienzo del fiber lab 800. Fuente: [19].

La figura 289 muestra la tabla de las pérdidas del medio óptico.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	0.12115		0.511		0.016	0.615		1.46000
2	0.21252	0.09137	0.582		0.595	0.740		1.46000
3	0.59240	0.37988	0.150		1.458	0.740		1.46000
E	20.13230	19.53990		34.979	5.093	0.178		1.46000

Figura 289. Tabla de las pérdidas del medio óptico. Fuente: [19].

Tercero registro B:

La figura 290 muestra los eventos del medio óptico. Donde resaltan eventos de empalmes y conexión.

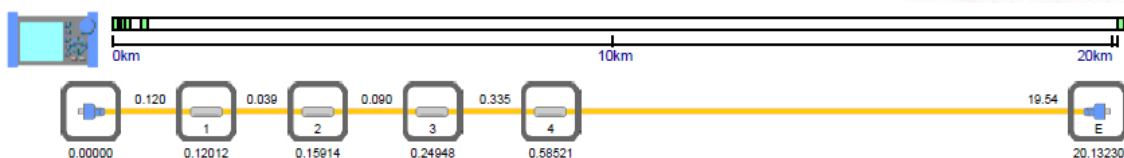


Figura 290. Eventos del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 291 muestra la atenuación del medio óptico, en una gráfica de decibelios sobre metros.
 Donde cada cuadrícula está dividida por 1 [dB]/3 [km].

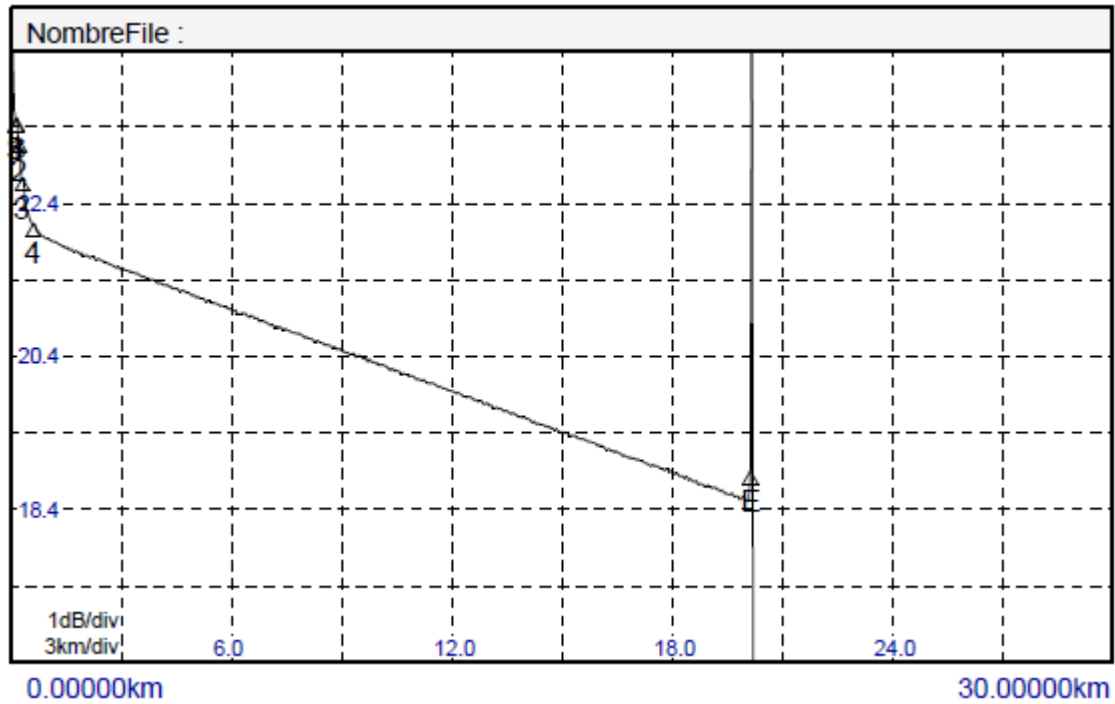


Figura 291. Atenuación del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 292 muestra el comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de las atenuaciones detectadas. En una gráfica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m].

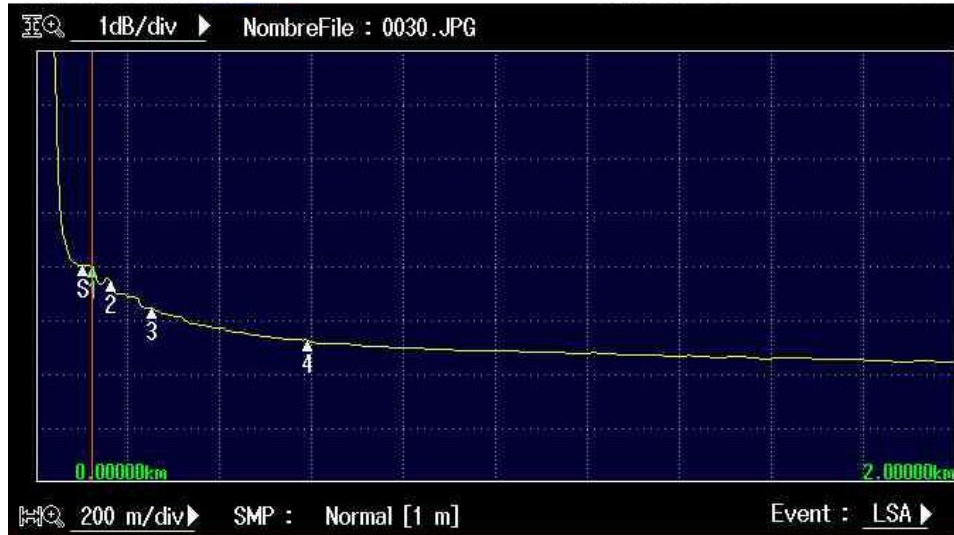


Figura 292. Comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de las atenuaciones detectadas. Fuente: [19].

La figura 293 muestra la atenuación del comienzo del fiber lab 800. En una gráfica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m], con unas pérdidas totales de 5.089 [dB].

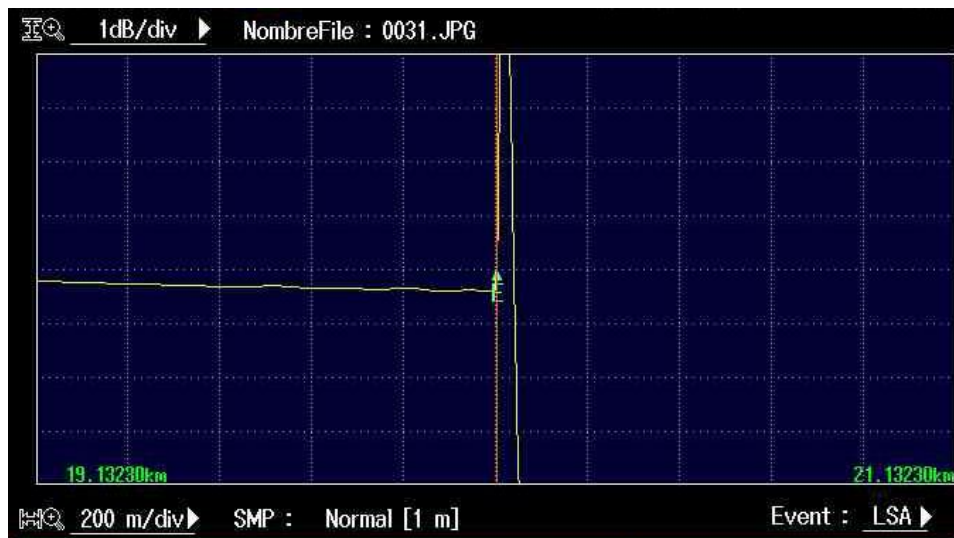


Figura 293. Atenuación del comienzo del fiber lab 800. Fuente: [19].

La figura 294 muestra la tabla de las pérdidas del medio óptico.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	0.12012		0.229		0.008	0.324	—	1.46000
2	0.15914	0.03902	0.463		0.258	0.557	—	1.46000
3	0.24948	0.09034	0.262		0.788	0.736	—	1.46000
4	0.58521	0.33573	0.144		1.458	1.218	—	1.46000
E	20.13230	19.54709		35.043	5.089	0.178	—	1.46000

Figura 294. Tabla de las pérdidas del medio óptico. Fuente: [19].

Cuarto registro B:

La figura 295 muestra los eventos del medio óptico. Donde resaltan eventos de empalmes y conexión.

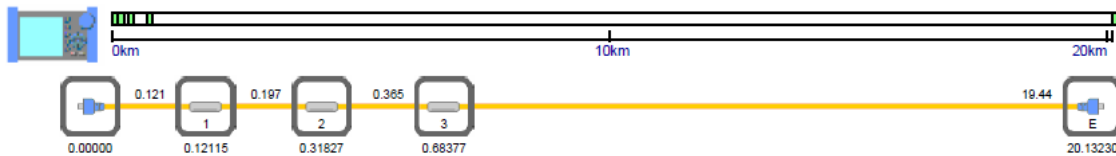


Figura 295. Eventos del medio óptico.

La figura 296 muestra la atenuación del medio óptico, en una gráfica de decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 1 [dB]/3 [km].

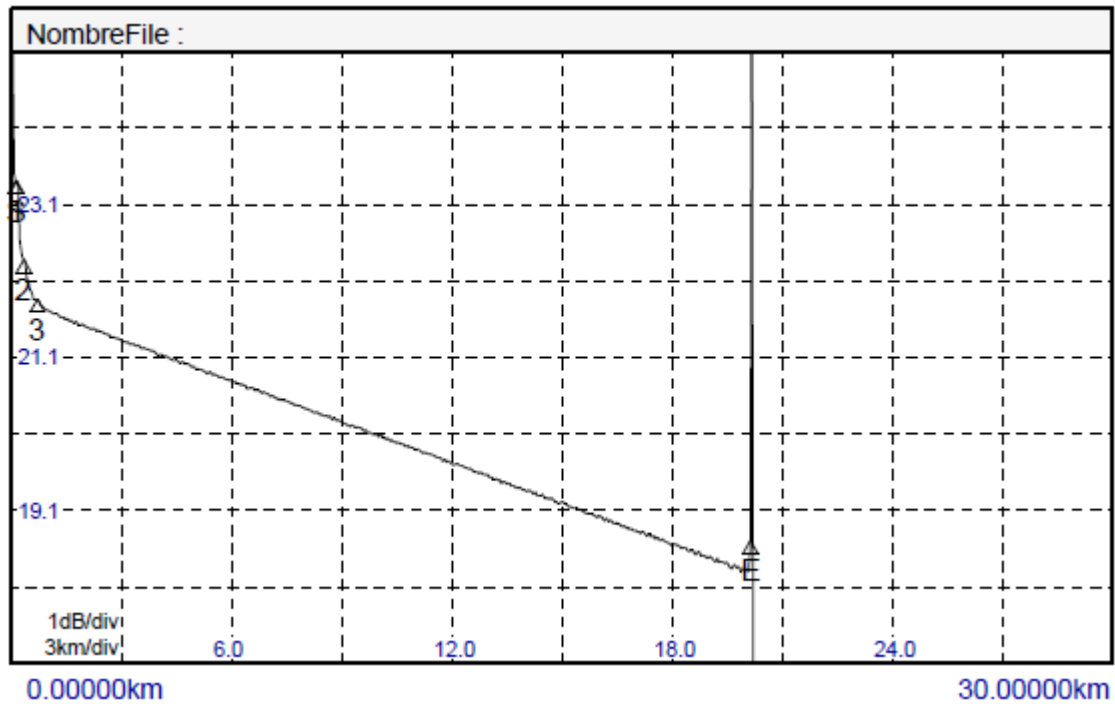


Figura 296. Atenuación del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 297 muestra el comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de las atenuaciones detectadas. En una gráfica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m].

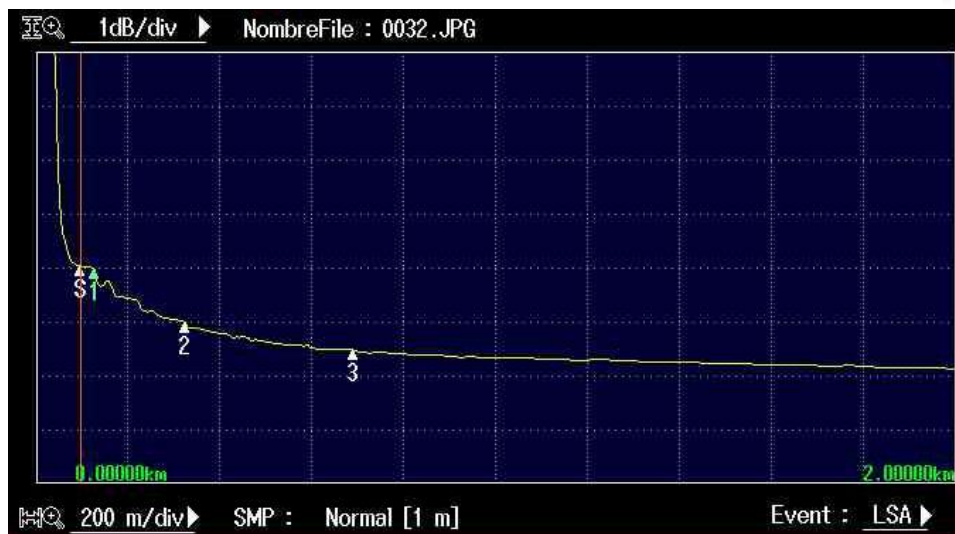


Figura 297. Comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de las atenuaciones detectadas. Fuente: [19].

La figura 298 muestra la atenuación del comienzo del fiber lab 800. En una gráfica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m]. con unas pérdidas totales de 5 [dB].

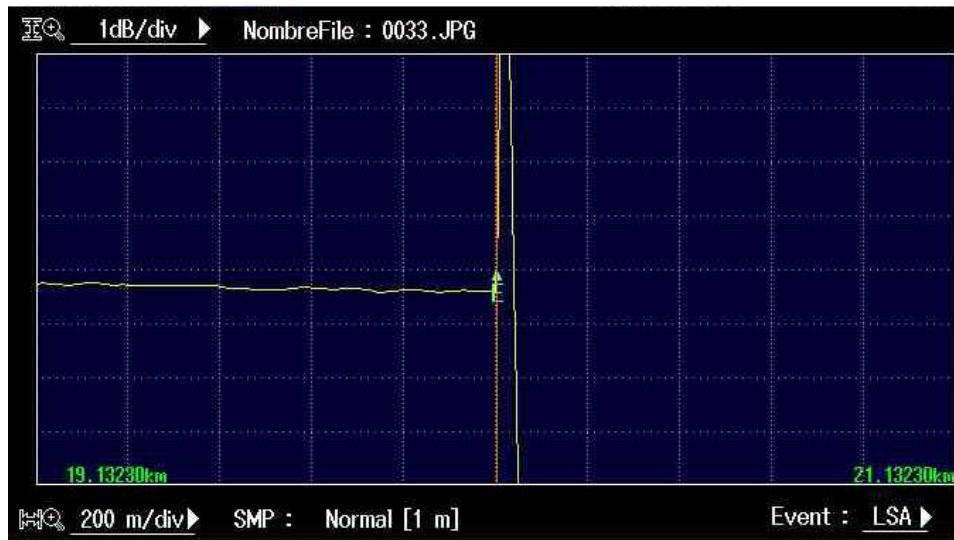


Figura 298. Atenuación del comienzo del fiber lab 800. Fuente: [19].

La figura 299 muestra la tabla de las pérdidas del medio óptico.

Nr. Event	Distancia (km)	Seccion (km)	Perdida Emp(dB)	Perdida Ret(dB)	Perdida Tot(dB)	dB/km	Tipo Event	Seccion IOR
1	0.12115		0.506		0.026	0.862		1.46000
2	0.31827	0.19712	0.138		1.040	2.582		1.46000
3	0.68377	0.36550	0.119		1.593	1.135		1.46000
E	20.13230	19.44853		35.089	5.175	0.178		1.46000

Figura 299. Pérdidas del medio óptico. Fuente: [19].

Quinto registro B

La figura 300 muestra los eventos del medio óptico. Donde resaltan eventos de empalmes y conexión.

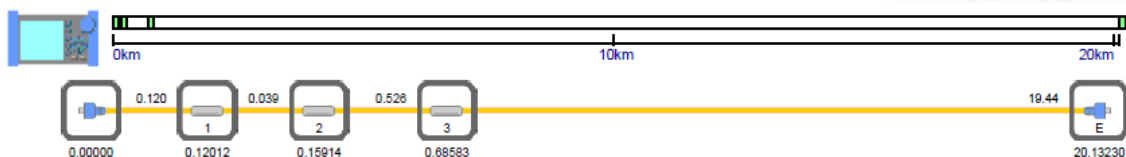


Figura 300. Eventos del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 301 muestra la atenuación del medio óptico, en una gráfica de decibelios sobre metros. Donde cada cuadrícula está dividida por 1 [dB]/3 [km].

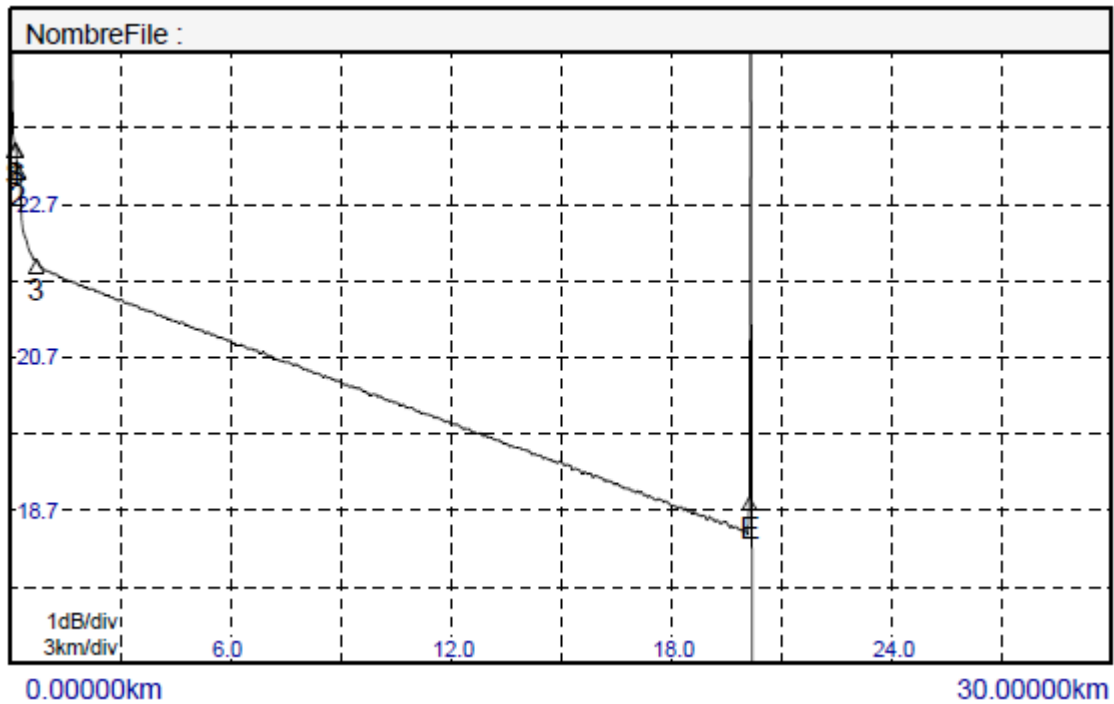


Figura 301. Atenuación del medio óptico. Fuente: [19].

La figura 302 muestra el comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de las atenuaciones detectadas. En una gráfica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m].

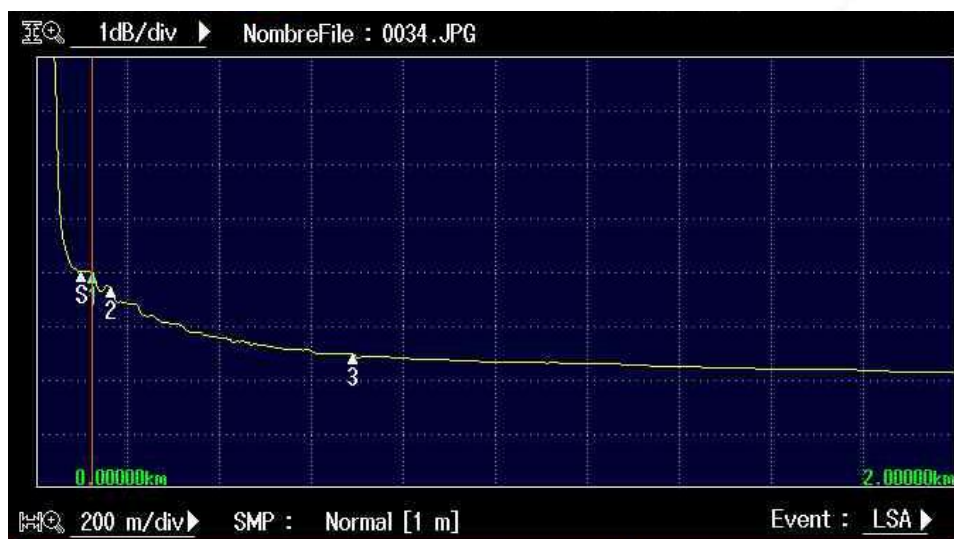


Figura 302. Comienzo del medio óptico con la letra S y la distancia de las atenuaciones detectadas. Fuente: [19].

La figura 303 muestra la atenuación del comienzo del fiber lab 800. En una gráfica de pérdidas vs distancia, dividida en cuadrículas de 1 [dB]/200 [m]. con unas pérdidas totales de 5.042 [dB].

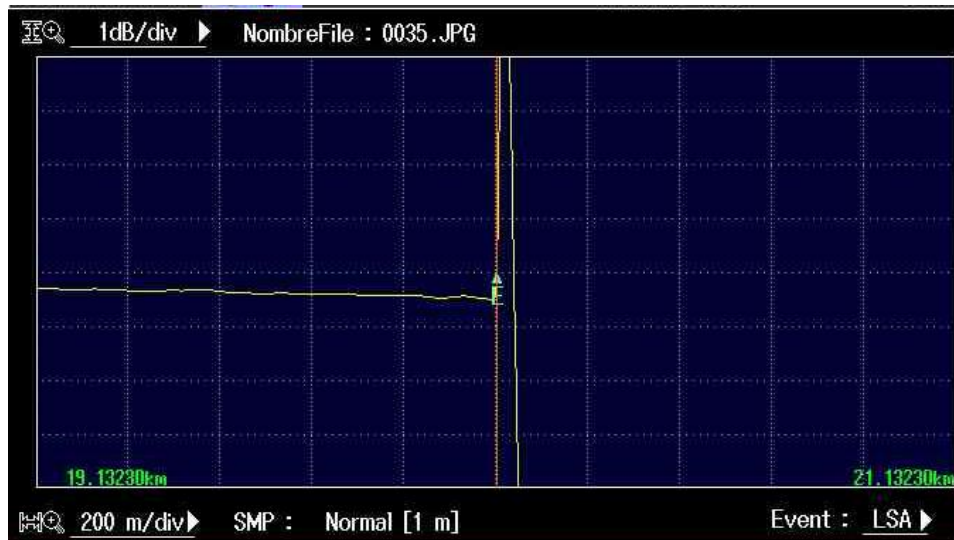


Figura 303. Atenuación del comienzo del fiber lab 800. Fuente: [19].

La figura 304 muestra la tabla de las pérdidas del medio óptico.

Nr.	Distancia	Seccion	Perdida	Perdida	Perdida	dB/km	Tipo	Seccion
Event	(km)	(km)	Emp(dB)	Ret(dB)	Tot(dB)		Event	IOR
1	0.12012		0.253		0.011	0.439	—	1.46000
2	0.15914	0.03902	0.344		0.275	0.276	—	1.46000
3	0.68583	0.52669	0.119		1.462	1.601	—	1.46000
E	20.13230	19.44647		35.141	5.042	0.178	—	1.46000

Figura 304. Tabla de las pérdidas del medio óptico. Fuente: [19].

La tabla 21 muestra las partidas obtenidas en la práctica.

Numero de instalación	Pérdida total registro A [dB]	Potencia recibida [%]	Perdida de retorno por reflexión [dB]	Pérdida total registro B [dB]	Potencia recibida [%]	Perdida de retorno por reflexión [dB]
1	-7.99	15.9	35.46	-5.12	30.8	35
2	-7.49	17.8	35.6	-5.10	31	35
3	-7.74	16.8	35.41	-5.10	31	35
4	-7.8	16.6	50.2	-5.17	30.4	35
5	-7.8	16.6	46.39	-5.04	31.3	35
Total	-7.76	16.74	40.6	-5.10	31	35

Tabla 19. Perdidas obtenidas en la práctica.

Medición de potencia recibida por el módulo OPM AQ7280 en un sistema de comunicación óptico de 20km.

Medir la potencia de recibida usando el módulo OPM AQ7280. La potencia de transición es de 8.77 mW generada por el módulo AQ2200-131 del controlador de cuadros AQ2211. Para la práctica se realizó el sistema de comunicación óptico 10 veces.

Ver como ejemplo la figura de la práctica de nombre, “Pasos para medir la potencia recibida generada por el controlador de cuadros AQ2200 en el medio óptico Fiber Lab 800 de 20km de fibra monomodo usando el OTDR.” Para reconocer el sistema de comunicaciones óptico creado para la práctica.

La tabla 20 muestra el registro de potencia recibida, si realizaron dos maneras de medidas, el registro A utilizando el cable de lanzamiento de un 1 [km], y el registro B utilizando solo el fiber lab 800.

Número de instalación	Potencia de recepción registro A [mW]	Pérdida total registro A [dB]	Potencia recibida registro A [%]	Potencia de recepción registro B [mW]	Pérdida total registro B [dB]	Potencia recibida registro B [%]
1	1.29	-8.32	14.7	1.42	-7.90	16.2
2	1.24	-8.49	14.2	1.44	-7.84	16.4
3	1.27	-8.39	14.5	1.42	-7.90	16.2
4	1.24	-8.49	14.2	1.43	-7.87	16.3
5	1.25	-8.46	14.3	1.46	-7.78	16.7
Total	1.25	-8.43	14.4	1.43	-7.85	16.4

Tabla 20. Registro de potencia recibida.

Cálculos de la atenuación usando la ecuación de atenuación total en un sistema óptico de 20km

Resultados en las mejores condiciones:

$$TA = (nC) + (Lxa) + FA$$

$$TA = [(2)(0,2)] + [(20)(0,17)] + 2 = -5,8dB$$

La potencia de entrada es 27.73 [mW]. Si la atenuación en decibelios se define como.

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_o}{P_i} \right)$$

Entonces:

$$-5,8dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$\frac{-5,8}{10} = \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$-0.58 = \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$10^{-0.58} = \frac{P_o}{8.77mW}$$

$$0.263 = \frac{P_o}{8.77mW}$$

$$P_o = (0.263)(8.77) = 2.306mW$$

Resultados normales:

$$TA = (nC) + (Lxa) + FA$$

$$TA = [(2)(0,35)] + [(20)(0,22)] + 2 = -7,1dB$$

La potencia de entrada es 8.77 [mW]. Si la atenuación en decibelios se define como.

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_o}{P_i} \right)$$

Entonces.

$$-7.1dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$\frac{-7,1}{10} = \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$-0.71 = \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$10^{-0.71} = \frac{P_o}{8.77mW}$$

$$0.194 = \frac{P_o}{8.77mW}$$

$$P_o = (0.194)(8.77) = 1,72mW$$

Resultados en las peores condiciones:

$$TA = (nC) + (Lxa) + FA$$

$$TA = [(2)(0,7)] + [(20)(0,4)] + 2 = -11,4dB$$

La potencia de entrada es 8.77 [mW]. Si la atenuación en decibelios se define como.

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_o}{P_i} \right)$$

Entonces:

$$-11,4dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$\frac{-11,4}{10} = \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$-1.14 = \log_{10} \left(\frac{P_o}{8.77mW} \right)$$

$$10^{-1.14} = \frac{P_o}{8.77mW}$$

$$0.0724 = \frac{P_o}{27.73mW}$$

$$P_o = (0.0724)(8.77) = 0.63mW$$

La tabla 23 muestra la potencia de salida de un medio de fibra de 20km por medio de la atenuación total.

	Atenuación del sistema [dB]	Potencia de recepción [mW]	Potencia de registro [dBm]	
Min	-5,8	2,30	3.61	Las mejores condiciones
Promedio	-7,1	1.72	2,35	Normal
Max	-11.4	0.63	0	La peor situación

Tabla 21. Potencia de salida de un medio de fibra 20 km.

La figura 305 muestra la fibra óptica monomodo.

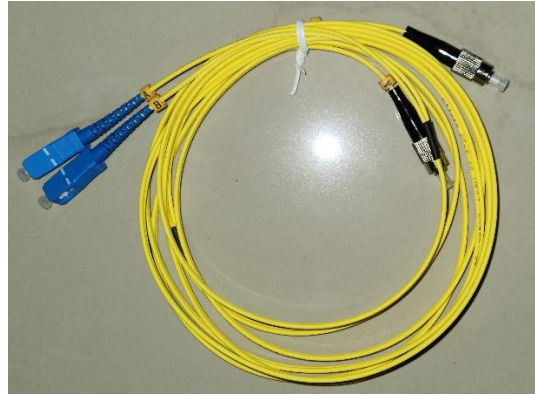


Figura 305. Fibra óptica monomodo. Fuente: [8].

La figura 306 muestra el conector Ferrule.



Figura 306. Conector FC (Conector Ferrule). Fuente: [8].

La figura 307 muestra el conector suscriptor.



Figura 307. Conector SC (conector suscriptor). Fuente: [8].

La figura 308 muestra el cable de lanzamiento de 1 [km].



Figura 308. Cable de lanzamiento de 1 [km]. Fuente: [8].

La figura 309 muestra el embobinado Fiber Lab 800

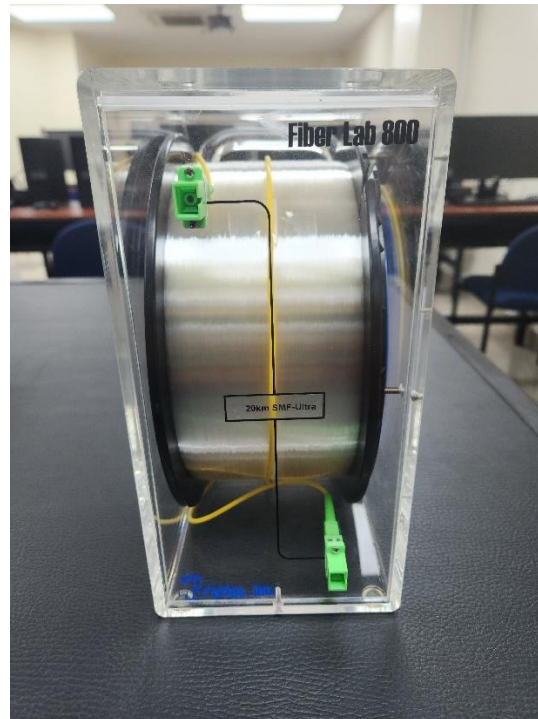


Figura 309. Fiber Lab 800. Fuente: [8].

La figura 310 muestra el controlador de cuadros.




Figura 310. Controlador de Cuadros. Fuente: [18].

La figura 311 muestra el módulo serie AQ2200-131.



Figura 311. Módulo serie AQ2200-131. Fuente: [19].

	Datos del alumno		Fecha:
	Especialidad:	Telecomunicaciones	2023
Estudiante:	Eduardo Facundo Sobarzo Buenaño		
<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA COMUNICACIONES ÓPTICAS 3° Practica</p>	Datos del profesor		Puntuación:
	Curso:	Grupo - 1	
	Profesor:	Ing. Holger Santillan	
	Rúbrica:		

DATOS INFORMATIVOS

- k) Materia: Comunicaciones Ópticas
- l) Practica: 3° Practica
- m) Cantidad de estudiantes: Uno
- n) Nombre del docente: Ing. Holger Santillan
- o) Tiempo estimado: 01h00

DATOS DE LA PRÁCTICA

- q) Tema: calcular la atenuación generada por la fibra óptica y la potencia total de un sistema de comunicaciones ópticas.
- r) Objetivo general: Calcular la atenuación generada por una red de distribución óptica y la potencia total de un sistema de comunicaciones usando una red de distribución óptica.
- s) Objetivo específico:
 - Medir la atenuación generada por la fibra óptica de una red de distribución óptica con el reflectómetro.
 - Calcular la potencia total de sistema óptico usando una red de distribución óptica con el reflectómetro.
- t) Marco teórico:
- u) Marco procedimental: ¿Que es una red de distribución óptica?
- v) Recursos a utilizar:
 - Fibra óptica monomodo
 - Cable de lanzamiento OTDR
 - Fiber Lab 800

- ODF
 - NAP
 - Empalmes mecánicos
 - Sistema de prueba de aplicaciones múltiples YOKOGAWA serie AQ2211
 - Módulo serie AQ2200-131
 - Dispositivo OTDR.
- w) Registro de resultados: Calcula de atenuación y potencia total.
- x) Bibliografía utilizada: interpretación de la bibliografía utilizada.

MARCO TEORICO

¿Qué es una red pasiva óptica?

Las redes pasivas ópticas se caracterizan por estar formada por elementos total mente pasivos esto quiere decir que no es la central ni el domicilio de un cliente. Esto quiere decir que es el medio óptico de una red. Se puede compartir una misma fibra entre varios usuarios.

¿Qué es una red de distribución óptica?

La ODN (Optical Distribution Network - Red de distribución óptica) es el medio óptico que se caracteriza por utilizar componentes ópticos pasivos. Distribuye la información que va desde un elemento transmisor lo que en términos de redes vendría ser un cliente y un elemento receptor el usuario y viceversa.

La figura 312 muestra la ubicación de una red de distribución óptica.

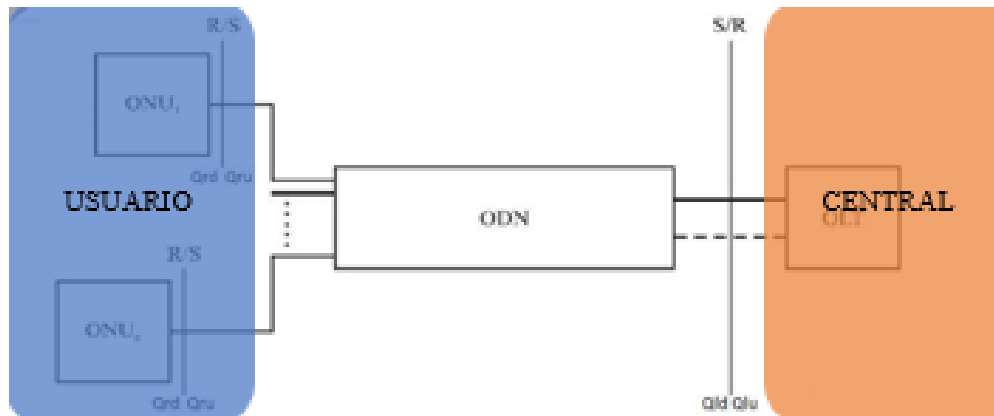


Figura 312. Ubicación de una red ODN (Optical Distribution Network - Red de distribución óptica). Fuente: [8]

La red de distribución óptica se basa en divisores ópticos pasivos que deben soportar la propagación de señales con longitud de ondas de 1310 [nm] y 1550 [nm]. Los puertos de entrada u salida no deben de representar pérdidas importantes. Todos los elementos utilizados tienen que ser compatibles con la fibra monomodo

¿Cuáles son los elementos de una red de distribución óptica?

Los elementos que forman una ODN (red de distribución óptica) son los siguientes.

- Distribuido de fibra óptica
- Armarios
- Mangas
- Divisores ópticos
- Caja óptica de distribución terminal

¿Qué es un distribuidor de fibra óptica?

EL ODF (Optical Distribution Frame - Distribuidor de fibra óptica) sirve para depositar fibras ópticas para crear una organización necesaria. Específicamente para distribuir la red de un cable de varios hilos de fibra óptica (ADSS), a varios destinos.

¿Qué es la caja de distribución óptica?

Un NAP (Network Access Point - Caja de distribución óptica) es un elemento pasivo que forma parte de una red ODN (Red de distribución óptica). Serve para seleccionar los cables principales del cable ADSS para conectar la red con las conexiones individuales de cada usuario. Se distingue de las mangas porque tiene divisores ópticos.

¿Qué una Manga de empalme?

Una manga de empalmes es un elemento pasivo que forma parte de una red de distribución óptica, se lo usa para instalaciones aéreas, paredes, empalmes restos y empalmes ramificados. Sirve para protección o posicionamiento de soporte de los empalmes de fibra óptica de la red.

¿Qué es un divisor óptico?

El divisor óptico es un elemento pasivo. Forma parte de la red ODN (Red de distribución óptica). Por medio de un divisor óptico se puede propagar con un solo hilo de fibra óptica transmitir a hasta 128 usuarios diferentes.

MARCO PROCEDIMENTAL

Pasos para medir las pérdidas y potencia de una red ODN

La figura 313 muestra la conexión la fuente de luz AQ2200-131, en la fiber lab 800.



Figura 313. Conectar la fuente de luz AQ2200-131 con la fiber lab 800. Fuente: [8] [18].

Luego, conectar con un cable de 3m de fibra óptica monomodo con conectores SC a un adaptador SC del ODF 1 de la red GPON del laboratorio de comunicaciones ópticas.

La figura 314 muestra la conexión al adaptador SC de ODF1 de la red ODN.

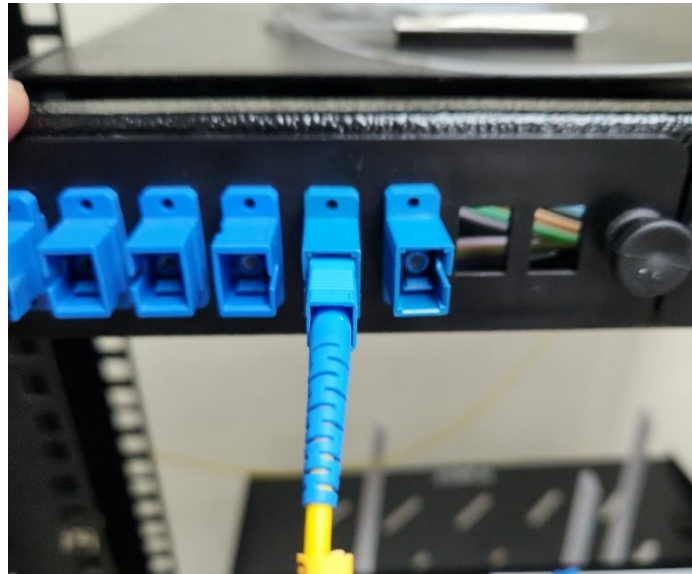


Figura 314. Conectar con un cable de 3m de fibra óptica monomodo con conectores SC a un adaptador SC del ODF 1 de la red GPON del laboratorio de comunicaciones ópticas. Fuente: [8].

El ODF 1 por medio de un cable ASDD crea la red de distribución óptica que paso por la NAP 1 luego paso por las mangas, luego pasa por la NAP 2, termina la red en el ODF 2

La figura 315 muestra la red de distribución óptica.



Figura 315. Red ODN (Red de distribución óptica). Fuente: [8]

Conectar con una fibra óptica monomodo de 3m con conectores SC el ODTR al adaptador del mismo hilo para registrar la potencia de salida de la red ODN. Para finalizar tomar registros utilizando un divisor óptico.

REGSTRO DE RESULTADOS

Potencia de transmisión: 6.97 [mW]

Potencia ODF2: 3.31 [mW]

Atenuación de la red óptica: -14.830 [dB]

Para la práctica se utilizó dos divisores ópticos. La tabla 20 muestra las potencias de cada fibra de salida.

Divisor óptico	Fibra de salida 1 (uW)	Fibra de salida 2 (uW)	Fibra de salida 3	Fibra de salida 4
21091700314	686.77	710.50	0	0
21091700330	0	0	0	0

Tabla 22. potencias de cada fibra de salida del divisor óptico.

Únicamente las fibras 1 y 2 del divisor óptico 21091700314 del laboratorio de comunicaciones ópticas funcionan correctamente.

REGISTRO UTILIZADOS

La figura 316 muestra la red de distribución óptica.



Figura 316. Red de distribución óptica. Fuente: [8].

La figura 317 muestra el embobinado Fiber Lab 800

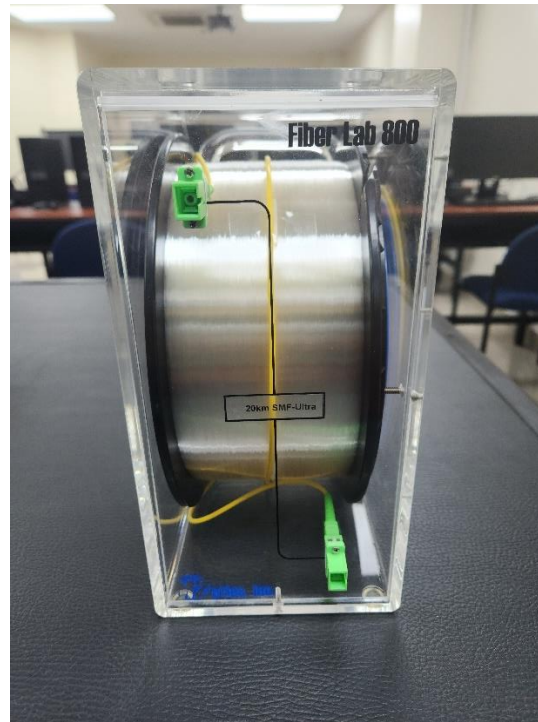


Figura 317. Fiber Lab 800. Fuente: [8].

La figura 318 muestra el controlador de cuadros.



Figura 318. Controlador de Cuadros AQ2211. Fuente: [8].