



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

Análisis y caracterización de la  
red de transporte por fibra óptica  
de la región central de México

TESIS

Que para obtener el título de  
Ingeniero en Telecomunicaciones

P R E S E N T A

Juan Carlos De La Sancha Sandoval

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Álvaro Alejandro Marroquín Mora



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

*A mis padres...*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi amada UNAM por permitirme ser parte de tan gloriosa y respetada casa de estudios.

A ALMA LABORATORIOS por proporcionarme las herramientas necesarias para la realización de la presente tesis.

A mis profesores que en todo momento estuvieron al pendiente de mi aprendizaje.

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.4 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN.....	3
1.5 CONCEPTOS TEÓRICOS GENERALES .....	3
1.5.1 ATENUACIÓN .....	3
1.5.2 FACTORES EXTRÍNSECOS .....	4
1.5.3 FACTORES INTRÍNSECOS.....	4
1.5.5 POLARIZACIÓN .....	6
1.5.6 DISPERSIÓN .....	7
<b>CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE FIBRA Y DE LOS EQUIPOS .....</b>	<b>9</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA MONOMODO G.652D.....	9
2.1.1 PÉRDIDAS DEBIDAS A EMPALMES PARA FIBRA MONOMODO .....	10
2.1.2 DISPERSIÓN POR MODOS DE POLARIZACIÓN .....	10
2.1.3 DISPERSIÓN CROMÁTICA FIBRA MONOMODO G.652.....	11
2.2 EQUIPOS DE MEDICIÓN PARA UNA RED DE FIBRA ÓPTICA .....	11
2.2.1 OTDR (OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER).....	12
2.2.2 MEDIDOR DE DISPERSIÓN CROMÁTICA .....	14
2.2.3 MEDIDOR DE DISPERSIÓN POR MODOS DE POLARIZACIÓN.....	15
2.2.4 ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS .....	16
2.3 ESQUEMAS DE CONEXIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN .....	19
2.3.1 ATENUACIÓN Y DISTANCIA.....	20
.....	20
2.3.2 DISPERSIÓN CROMÁTICA.....	20
2.3.3 DISPERSIÓN POR MODOS DE POLARIZACIÓN .....	21
2.4 RECOMENDACIONES PARA REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA RED ÓPTICA.....	21
2.5 SERVICIOS PARA EQUIPOS DE MEDICIÓN .....	25
<b>CAPÍTULO 3. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS DE LOS ENLACES .....</b>	<b>26</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN CENTRAL DE MÉXICO .....	26

<b>3.2 DATOS RECOLECTADOS</b> .....	27
<b>3.2.1 ATENUACIÓN</b> .....	28
<b>3.2.2 DISPERSIÓN CROMÁTICA Y DISPERSIÓN POR MODOS DE     POLARIZACIÓN</b> .....	45
<b>3.3 ANALISIS DE LOS DATOS RECOLECTADOS</b> .....	84
<b>4. CONCLUSIONES</b> .....	106
<b>REFERENCIAS</b> .....	108

# CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 INTRODUCCIÓN

La demanda actual de los servicios de telecomunicaciones (voz, datos y video) se han incrementado de forma exponencial, tanto que hace algunos años era posible cubrir las necesidades de ciertas empresas con tasas de transmisión de unos 5 Mbps. Hoy en día los servicios ofrecidos necesitan altas tasas de transmisión y/o recepción, ya que las aplicaciones exigen una mayor calidad de servicio. Para cubrir esta demanda tecnológica es necesario implementar redes cuyo rendimiento sea el óptimo para el tipo de servicio proporcionado. El tipo de medio de transporte utilizado juega un papel esencial en dicho rendimiento, ya que determinará la capacidad máxima de información transmitida, máxima distancia alcanzada y en consecuencia la amplitud de la señal necesaria para superar la sensibilidad de los dispositivos receptores.

La fibra óptica es un medio de transmisión que proporciona muchas ventajas como bajo coeficiente de atenuación, inmunidad a interferencia electromagnética, amplio ancho de banda, etc. Prácticamente todas las empresas de telecomunicaciones tienen como medio de transmisión la fibra óptica y las que aún no lo tienen están en un proceso de actualización de sus redes. Aunque la fibra sea un medio de transmisión eficaz y eficiente presenta ciertos problemas como cualquier otro, en este aspecto se presentan dos características internas; dispersión cromática y dispersión por modos de polarización (aunque esta última se ve también afectada por factores externos a la fibra óptica). Estas características limitan la tasa de transmisión del enlace. El coeficiente de atenuación es otra característica que se debe a factores internos y externos. Es debido a las propiedades físicas de la fibra como composición y geometría, además puede aumentar debido a una instalación mal implementada en donde se suelen formar dobleces o curvaturas que provocan un cambio de dirección de la luz hacia afuera de la fibra [1].

El análisis de las características de la fibra antes mencionadas se engloba dentro de un proceso conocido como caracterización del enlace. En este caso se realizan técnicas de reflectometría para medir distancia óptica y presupuesto de potencia. También se realiza la medición de dispersión de donde se puede obtener el ensanchamiento provocado a los bits transmitidos.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con la reciente reforma en materia de telecomunicaciones, el gobierno federal pretende ofrecer servicios de mayor calidad a la población, para ello comenzó con procedimientos de licitación de utilización de pares de hilos de fibra óptica de la red nacional, para que así pueda generarse una competencia igualitaria entre los proveedores de servicios de reciente creación y los que llevan varios años en el mercado [2]. Estas empresas están invirtiendo en nueva tecnología para ofrecer servicios con una tasa de transmisión mayor; la meta de estas empresas es implementar lo necesario en la red para aumentar su capacidad de transmisión de datos, por ejemplo con enlaces de 100GbE de comunicación en cada longitud de onda.

Para lograr esta capacidad inmensa de transmisión es necesario poseer una red de transporte que cumpla con los parámetros a nivel de capa física necesarios descritos en las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Para ello se realiza un análisis completo de la red central de transporte de la República Mexicana para tomar las mejores decisiones para garantizar las operaciones. El anillo principal en la Región Central consta de 7 enlaces que deberán ser caracterizados en una primera etapa.

## 1.3 OBJETIVOS

### OBJETIVOS PRINCIPALES

- Caracterizar la red de transporte por fibra óptica de la región central del país obteniendo parámetros importantes de la capa física, que permitan al operador de esta red tomar la mejor decisión de que tecnología y equipos instalar.
- Determinar si los parámetros medidos se encuentran dentro de los umbrales especificados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- Proponer o encontrar soluciones y/o mejoras a los problemas detectados.

## 1.4 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

Analizar a nivel de capa física los enlaces de fibra óptica pertenecientes al anillo de la región central de México. Se medirán tres parámetros: Atenuación, dispersión por modos de polarización y dispersión cromática. Las mediciones serán realizadas en cada sitio, además sólo se analizarán dos hilos de fibra por enlace. En el caso de medición de atenuación se realizará únicamente de forma unidireccional.

## 1.5 CONCEPTOS TEÓRICOS GENERALES

### 1.5.1 ATENUACIÓN

Es la pérdida de potencia de una señal al propagarse por un medio de transmisión. Se obtiene a partir de la relación entre la potencia transmitida y la potencia recibida, además la atenuación también está en función de la longitud de onda de la señal propagada [1,3].

$$A(\lambda) = 10 \log (P_1/P_2) \quad [\text{dB}] \quad (1.1)$$

Dónde:  $P_1$  es la potencia de la fuente y  $P_2$  es la potencia que llega al receptor

En comunicaciones ópticas se utiliza un término conocido como coeficiente de atenuación para indicar la pérdida de potencia por unidad de longitud de un enlace de fibra [3,4].

$$\alpha(\lambda) = [10 \log (P_1/P_2)]/L \quad [\text{dB/km}] \quad (1.2)$$

La atenuación de una señal durante su propagación en la fibra óptica es provocada por factores intrínsecos y extrínsecos. Los factores intrínsecos son generados por características físicas de la fibra; como su composición química o su forma geométrica [1]. Los factores extrínsecos son generados comúnmente por el mal manejo durante la instalación y/o mantenimiento, por lo tanto, son factores ajenos a la fibra.

### 1.5.2 FACTORES EXTRÍNSECOS

**Empalmes:** Son uniones realizadas entre dos fibras o de una fibra a un conector. Son de duración permanente [1]. Son clave fundamental de la pérdida de potencia en un enlace de comunicaciones. Actualmente los empalmes realizados en las redes ópticas corresponden a empalmes por fusión. Este tipo de empalme requiere de una empalmadora la cual alinea las fibras (alineación por núcleo o por revestimiento) y posteriormente las calienta hasta fundirlas evitando en lo posible la acumulación de impurezas o generación de burbujas de aire. Las pérdidas por empalme son dependientes del tipo de alineación realizada [7].

**Curvaturas:** Son dobleces generados en la fibra por un mal manejo de ésta durante su instalación y/o mantenimiento [1,6]. Lo anterior provoca que el haz de luz al pasar por el tramo de fibra doblado cambia su ángulo de incidencia y con ello se produce una refracción en lugar de una reflexión, provocando así una pérdida de potencia.

**Conectores:** Todo conector provoca pérdidas ya que no están perfectamente bien alineados con la fibra y a su vez con los dispositivos terminales. Existen distintos tipos de conectores; anteriormente se utilizaban los conectores mecánicos sin embargo su proceso de implementación requería un tiempo de hasta 24 horas debido a que se utilizaba una resina epóxica. Hoy en día se utilizan conectores cuyo armado se puede realizar en algunos minutos utilizando una empalmadora [5].

### 1.5.3 FACTORES INTRÍNSECOS

**Absorción:** Es el proceso mediante el cual un fotón interactúa con un electrón excitándolo y provocando que éste pase a un nivel alto de energía [4]. Las impurezas presentes en la fibra absorben fotones que viajan dentro de ella y liberan esta energía en forma de calor, provocando una caída de potencia de la señal transmitida [1]. Existen distintos tipos de absorción [1-4]:

- **Absorción ultravioleta:** Esta absorción se produce a una longitud central de 0.16  $[\mu\text{m}]$ . Los electrones que se encuentran en niveles de energía bajos absorben a los fotones que viajan a lo largo de la fibra óptica pasando así a niveles altos de energía. La absorción pico máxima se localiza entre los 700  $[\text{nm}]$  y 800  $[\text{nm}]$  con un coeficiente de atenuación de 1  $[\text{dB/km}]$ ; la mínima se encuentra a altas longitudes de onda con un coeficiente de atenuación de 0.05  $[\text{dB/km}]$
- **Absorción infrarroja:** Este tipo de absorción se deriva de las vibraciones producidas por los átomos de silicio (Si) y oxígeno ( $\text{O}_2$ ). El coeficiente de atenuación que presenta en las longitudes de onda de 9.1  $[\mu\text{m}]$ , 12.5  $[\mu\text{m}]$  y 21  $[\mu\text{m}]$  es de hasta 10  $[\text{dB/km}]$ , sin embargo a partir de los 1000  $[\text{nm}]$  presenta un muy bajo coeficiente, a 1550  $[\text{nm}]$  presenta una atenuación aproximada de 0.2  $[\text{dB/km}]$ .

- **Absorción de iones OH<sup>-</sup>**: Durante el proceso de fabricación de la fibra en algunas ocasiones se quedan gotas de agua las cuales interactúan con las moléculas de dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) causando atenuación de la señal. Las longitudes de onda en las que se presenta esta absorción son 950 [nm], 1240 [nm] y 1390 [nm], sin embargo el principal pico de absorción se encuentra a 2.7 [μm]. El coeficiente máximo de atenuación es de 0.25 [dB/km]. Esta dispersión también es provocada por la presencia de ciertos metales como hierro, cobre y plomo.

**Pérdida por Retorno Óptico** (ORL por sus siglas en inglés): es la potencia total reflejada por un enlace de fibra óptica [1]. Está compuesta por dos efectos; Esparcimiento Rayleigh y Reflexión de Fresnel.

- **Esparcimiento Rayleigh**: Cuando una señal que se propaga por un medio isotrópico incide en una partícula cuyo tamaño es más pequeño que la longitud de onda (aproximadamente  $\lambda/15$ ), la señal modificará su trayectoria y fase. Por ende la intensidad se esparcirá en distintas direcciones según la siguiente razón [8]:

$$I = \frac{1}{\lambda^4} \quad (1.3)$$

Dónde: I es la intensidad esparcida,  $\lambda$  es la longitud de onda de la señal

- **Reflexión de Fresnel**: Es el proceso mediante el cual un haz de luz pierde cierto porcentaje de intensidad al pasar de un medio a otro con características físicas diferentes. Dado que los índices de refracción son diferentes, el ángulo de incidencia con el que la señal se propaga es modificado causando que una cierta parte de la señal se refracte y otra se refleje. El porcentaje de la intensidad reflejada es aproximada por la siguiente expresión [9]:

- $Potencia\ reflejada = \left( \frac{(n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)} \right)^2 \quad (1.5)$

Aproximadamente un 4% de la señal es reflejado dentro de una fibra óptica [8][9].

**Microcurvaturas**: Son malformaciones que son comparables con la longitud del núcleo de la fibra [1,6], son generadas durante el estiramiento de la preforma provocando un cambio en la trayectoria del haz de luz y con ello un cambio en el

ángulo de incidencia, por ende cierta parte de la señal se refracta y con ello la intensidad disminuye.

### 1.5.5 POLARIZACIÓN

La polarización de una señal se refiere a la dirección a la cual está orientado el vector de campo eléctrico [8, 10]. Las diferentes formas en las que viaja la luz dentro de la fibra son conocidas como modos de propagación y están relacionadas con las distribuciones del campo eléctrico. Cuando se transmite una señal óptica con una longitud mayor a la longitud de onda de corte de una fibra monomodo, se generan modos con polarizaciones lineales (vertical y horizontal) [13].

Un conjunto de pulsos con polarización lineal puede ser representado de la siguiente forma [4]:

$$A(x, t) = e_i A_0 e^{j(\omega t - k \cdot x)} \quad (1.6)$$

Dónde: A- Denota la amplitud de la señal

$\hat{x}$ - Representa las posiciones del vector  $[x\hat{e}_x + y\hat{e}_y + z\hat{e}_z]$

w- Frecuencia angular  $w = 2\pi f$

k- Constante de propagación  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

$e_i$ - es un vector unitario paralelo a la dirección dada por i

Desarrollando la expresión anterior para campo eléctrico y únicamente obteniendo la parte real se tiene:

$$E_x(z, t) = Re(E) = e_x E_{0x} \cos(\omega t - kz) \quad (1.7)$$

Esta expresión representa una señal donde el campo eléctrico fluctúa en el plano x-z con una dirección de propagación correspondiente al eje z, tal y como se muestra en la figura 1.1. El campo magnético de igual manera es ortogonal a el campo eléctrico y a la dirección de propagación, este tipo de ondas son llamadas ondas transversales. De igual manera una señal polarizada linealmente puede fluctuar en el plano y-z con una dirección de propagación correspondiente al eje z, tal y como se muestra en la figura 1.2.

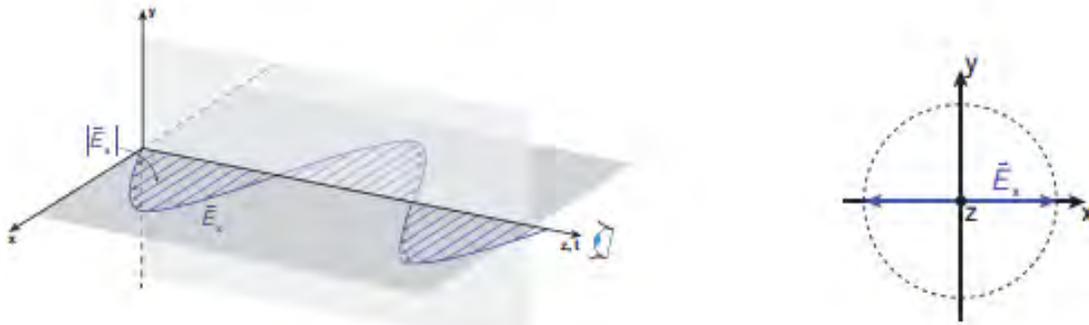


Figura 1.1 Polarización horizontal. El campo eléctrico se propaga en el plano x-z [10].

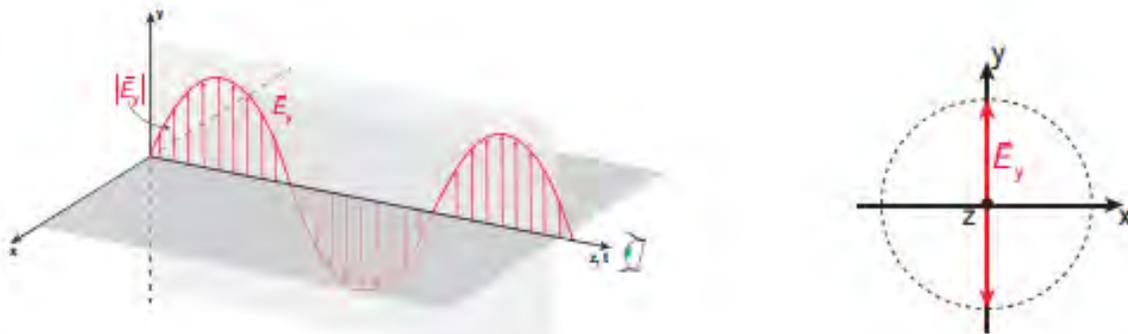


Figura 1.2 Polarización vertical. El campo eléctrico se propaga en el plano y-z [10].

La fibra óptica es un medio anisotrópico, así que las componentes lineales antes explicadas experimentarán diferencias en el medio, lo cual como más adelante se explicará provoca una dispersión conocida como PMD (Dispersión por modos de polarización).

### 1.5.6 DISPERSIÓN

La dispersión es el cambio en la velocidad de grupo. Por grupo se entiende un conjunto de longitudes de onda o modos de propagación. El problema principal de la dispersión es que provoca un ensanchamiento de los pulsos lo cual causa una interferencia intersimbólica (*mostrada en la figura 1.3*) [1,10]. Cuando los pulsos llegan ensanchados y traslapados a los equipos terminales no es posible procesarlos y por consecuencia la información se pierde. Existen tres tipos de dispersión y solo se abordarán la dispersión cromática y dispersión por modos de polarización ya que son éstas las que se presentan en la fibra monomodo [3,8].

➤ **Dispersión cromática (CD)**

La dispersión cromática es la variación en la velocidad de propagación de la luz en un medio (fibra óptica) en función de su longitud de onda.

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.8) \quad \text{y} \quad c = \lambda f \quad (1.9)$$

Dónde:  $n$  es el índice de refracción,  $c$  es la velocidad de la luz ( $\approx 3 \times 10^8$  m/s),  $v$  es la velocidad de la señal dentro de la fibra,  $\lambda$  es la longitud de onda y  $f$  es la frecuencia.

Esta diferencia en la velocidad de propagación da como resultado un ensanchamiento de los pulsos de luz a medida que viajan a través de una fibra (mostrado en la figura 1.3 b), provocando interferencia entre bits, incrementando los errores de bit y reduciendo el ancho de banda de la fibra [10].

La dispersión cromática en una fibra monomodo es el resultado de la combinación de la dispersión intrínseca del material de la fibra y de la geometría de la fibra como guía de onda [1,3,10].



Figura 1.3. a) Interferencia intersimbólica debida a ensanchamiento. b) Diferentes longitudes de onda viajando a diferentes velocidades. [10].

➤ **Dispersión por modos de polarización (PMD)**

Es generada debido a dos parámetros: birrefringencia y geometría de la fibra [3,10]. La birrefringencia se refiere a que las rutas seguidas por cada componente lineal de campo eléctrico a lo largo de la fibra encontrarán diferentes obstáculos que afectarán su libre propagación, así pues la resistencia experimentada por uno provocará un retardo diferente. El índice de elipticidad de la fibra óptica no es igual a 1, en consecuencia la

distancias recorridas por cada componente lineal es diferente provocando el ensanchamiento de los pulsos (*mostrado en la figura 1.4*) [1,3]. La suma de los tiempos de retardo entre las componentes de cada pulso es conocida como DGD (Differential Group Delay) [11,12].

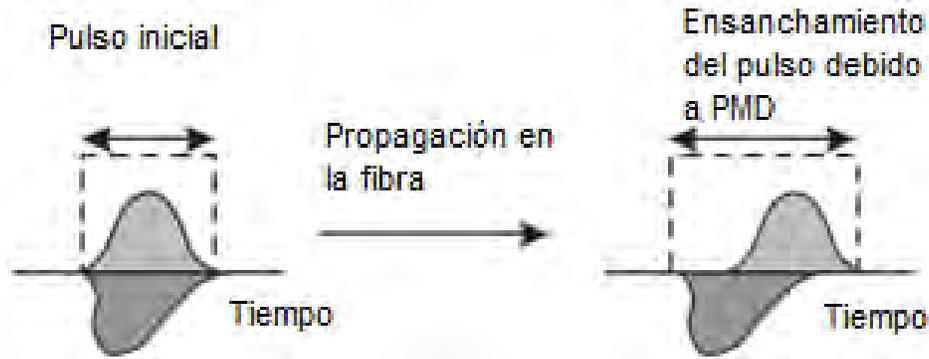


Figura 1.4. Ensanchamiento de un pulso debido a PMD [11].

## CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE FIBRA Y DE LOS EQUIPOS

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA MONOMODO G.652D

Dentro del estándar de la fibra G.652 se encuentran cuatro subcategorías; G.652.A, G.652.B, G.652.C y G.652D. Cada una de estas categorías presenta ligeras variaciones en sus características como es el caso del coeficiente de atenuación (a ciertas longitudes de onda) y el máximo coeficiente de PMD permitido [6].

Parámetros	Detalles	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 [nm] a 1625 [nm]	0.4 [dB/km]
	Máximo a 1383 [nm] $\pm$ 3 [nm]	0.4 [dB/km]
	Máximo a 1550 [nm]	0.3 [dB/km]
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0min}$	1300 [nm]
	$\lambda_{0max}$	1324 [nm]
	$S_{0max}$	0.092 [ps/nm <sup>2</sup> km]
Coeficiente de PMD	Máximo PMD	0.2 [ps/vkm]

Tabla 2.1. Parámetros más importantes de la fibra monomodo G.652.D [6].

### 2.1.1 PÉRDIDAS DEBIDAS A EMPALMES PARA FIBRA MONOMODO

La ITU-T establece los máximos valores de pérdidas por empalme para diferentes aplicaciones [7]:

	<b>Pérdida media</b>	<b>Valor máximo para 95%</b>	<b>Aplicación típica</b>
Empalmes por fusión simples	≤0,1 dB	≤0,5 dB	Ruta de concentración de enlaces
	≤0,2 dB		Red de acceso
Empalmes por fusión múltiples	≤0,2 dB	≤0,8 dB	–
Empalmes mecánicos simples	≤0,2 dB	≤0,5 dB	Red de acceso
Empalmes mecánicos múltiples	≤0,2 dB	≤0,8 dB	Red de acceso

Tabla 2.2 Pérdidas de empalme medias recomendadas para diferentes aplicaciones [7].

Para los enlaces utilizados se tomará una pérdida máxima por empalme de 0.5 [dB] por empalme, la cual correspondiente a una red de concentración de enlaces.

### 2.1.2 DISPERSIÓN POR MODOS DE POLARIZACIÓN

Los valores del coeficiente de Dispersión Cromática recomendados por la ITU varían dependiendo de la tasa de transmisión utilizada y del tipo de tecnología implementada. El coeficiente de Dispersión por Modos de Polarización es especificado en el estándar G.652 para velocidades de hasta 40 Gbps.

Máximo PMD [ps/km <sup>0.5</sup> ]	Longitud del enlace	Máximo DGD provocado por la fibra	Velocidad del canal
No especificado			hasta 2.5 Gbps
0.5	400	25.0	10 Gbps
	40	19.0	10 Gbps
	2	7.5	40 Gbps
0.20	3000	19.0	10 Gbps
	80	7.0	40 Gbps
0.10	>4000	12.0	10 Gbps
	400	5.0	40 Gbps

Tabla 2.3 Retardo diferencial de grupo [6]

### 2.1.3 DISPERSIÓN CROMÁTICA FIBRA MONOMODO G.652

La dispersión de la fibra puede ser aproximada por las siguientes expresiones [13]:

$$\frac{\lambda S_{0max}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0max}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0min}}{\lambda} \right)^4 \right] \quad (2.1)$$

Dónde:  $\lambda$  Longitud de onda estudiada

$\lambda_{0max}$  Longitud de onda de dispersión nula máxima

$\lambda_{0min}$  Longitud de onda de dispersión nula mínima

$S_{0max}$  Valor máximo de la pendiente de dispersión cromática

Para el caso de la fibra G.652D la ITU especifica una  $\lambda_{0max}$  de 1324 [nm],  $\lambda_{0min}$  de 1300 [nm] y una  $S_{0max}$  de  $0.092 \left[ \frac{ps}{nm^2 km} \right]$  (véase tabla 2.1). Utilizando los valores anteriores se obtienen los siguientes límites para el coeficiente de CD para una longitud de 1550 [nm]:

$$16.671 \left[ \frac{ps}{nm km} \right] \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \left[ \frac{ps}{nm km} \right]$$

Así mismo la ITU establece un valor típico de dispersión cromática para la longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nm km} \right]$  y una pendiente de dispersión cromática de  $0.056 \left[ \frac{ps}{nm^2 km} \right]$  [6].

## 2.2 EQUIPOS DE MEDICIÓN PARA UNA RED DE FIBRA ÓPTICA

La caracterización de una red de fibra óptica consiste en realizar mediciones para verificar que los parámetros se encuentren dentro de las recomendaciones de la ITU o las consideradas por cada proveedor de servicios. Para la medición de los parámetros mencionados en la sección 2.1 de la fibra se utilizan equipos diferentes. Existen dos tipos de equipos según su operación: dedicados y modulares. Los equipos dedicados son aquellos que sólo realizan una función específica y no es posible cambiarla. Los equipos modulares son aquellos que brindan la posibilidad de ingresar tarjetas o módulos que corresponden a un distinto tipo de equipo dedicado, además poseen la ventaja de manipularlos mediante una misma interfaz.

## 2.2.1 OTDR (OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER)

Este equipo mide la atenuación y distancia de un enlace de fibra óptica, además detecta y mide los eventos del enlace en donde se producen anomalías en la propagación de la luz. Las mediciones que realiza se basan en el fenómeno de esparcimiento Rayleigh ya que para el cálculo de atenuación mide la potencia reflejada por la fibra y para el cálculo de la distancia mide el tiempo de llegada del último pulso reflejado [1]. El OTDR está conformado por los elementos siguientes [14]:

- a) Fuente de luz: Envía pulsos cada cierto tiempo con un ancho de pulso dependiente de su rango dinámico y a una determinada longitud de onda.
- b) Elemento óptico activo: Se encarga de dejar pasar el pulso de luz de la fuente, pero desvía los haces de luz reflejados hacia la fuente para evitar dañarla.
- c) MPO (Medidor de potencia óptica): Mide la potencia de los haces reflejados por los diferentes elementos de la red.
- d) Reloj interno y generador de pulsos: Se encarga de medir el tiempo que tarda en regresar la última reflexión del enlace esto con el fin de determinar la longitud del mismo mediante la siguiente expresión:

$$L = \frac{cT}{2N}$$

Dónde: c es la velocidad de la luz, T el tiempo, N el índice de refracción y el número 2 se refiere a que el pulso de luz recorre dos veces el enlace (ida y vuelta).

- e) Computadora central: Se encarga de realizar todo el procesamiento para el cálculo de la atenuación y distancia. Además permite el análisis puntual de la red ya que muestra las distancias en donde se presentan eventos reflectivos y no reflectivos.

Existen dos tipos de eventos que pueden ser visualizados en los trazos de un OTDR [1]:

- **Reflectivos.** Son aquellos en donde una cierta cantidad de potencia regresa a la fuente provocando además una atenuación. Algunos ejemplos de estos eventos son acopladores mecánicos, conexiones, cortes y fisuras en la fibra, donde hay cambio de medio por donde viaja la luz.

- **No reflectivos.** Son aquellos que únicamente causan atenuación de la señal como es el caso de empalmes y macro curvaturas. Sin embargo en algunas ocasiones los empalmes se presentan como eventos reflectivos ya que durante el proceso de fusión algunas empalmadoras antiguas llegan a producir burbujas de aire en la unión de las fibras.

Existen algunos eventos en donde se presenta una ganancia aparente como si se tratara de una amplificación de la señal. La fibra óptica al ser un elemento pasivo no puede amplificar señales ópticas por sí sola, cuando se encuentran eventos positivos lo que sucede es que se empalmaron dos tipos de fibras diferentes en donde la fibra que sustituyo cierto tramo del enlace permitió una mejor propagación de la señal óptica [1].

## CONFIGURACIÓN DEL OTDR

Los parámetros principales que se configuran el OTDR son los siguientes:

- 1) Longitud de onda: normalmente las longitudes de onda utilizadas para fibra monomodo son 1310 [nm] y 1550 [nm], sin embargo éstas pueden cambiar dependiendo si se realiza un análisis en fibra activa o fibra oscura.
- 2) Ancho de pulso: Es un parámetro muy importante ya que de su duración de emisión dependerá la cantidad de energía inyectada a la fibra. En consecuencia este parámetro estará en función de la longitud del enlace que se pretenda medir. Está determinado por el rango dinámico el cual se refiere a la atenuación máxima que puede experimentar el pulso de luz inyectado por la fuente para que el MPO pueda detectarlo.
- 3) Duración del análisis: Es el tiempo durante el cual se quiere realizar el análisis, al final el OTDR realiza un promedio de todos los datos obtenidos para mostrar un resultado final.
- 4) Índice de refracción: La configuración del índice de refracción de la fibra analizada permitirá que las distancias calculadas por el OTDR correspondan con las distancias reales de la fibra.

En el OTDR utilizado se puede configurar el tipo de trazo deseado: fino, mediano, grueso. Lo anterior está en función de la longitud del enlace y en consecuencia del ancho del pulso. Existen eventos que no son detectados por el OTDR debido a una característica conocida como zona muerta, la cual se refiere a la distancia que el MPO no alcanza a medir puesto que entra en saturación debido a la alta potencia

reflejada durante la emisión del pulso, el tiempo que tarda en volver a medir determina la zona muerta y está en función del ancho de pulso [1]. Cuando se inyecta un pulso de luz con un ancho grande se alcanza una distancia mayor, sin embargo se pierde sensibilidad en el trazo, ya que no se alcanzan a detectar ciertos eventos debido al alto valor de la zona muerta. Cuando se inyecta un pulso de luz con un ancho pequeño la distancia alcanzada es menor pero el trazo es más fino, ya que el tiempo que el MPO entra en un estado de saturación es menor.

## **2.2.2 MEDIDOR DE DISPERSIÓN CROMÁTICA**

Existen diversos métodos para realizar la medición de Dispersión Cromática, sin embargo se hará uso del Método de Corrimiento de fase (Phase-Shift Method) por ser el más eficiente para redes de transporte de larga distancia [1][10][15].

- Método de corrimiento de fase

Consiste en hacer incidir luz en la fibra óptica a medir utilizando una fuente cuyo ancho espectral se encuentra en las bandas C y L.

Debido a que el índice de refracción varía en función de cada longitud de onda que atraviesa el medio; se provocará que las diversas lambdas experimenten una velocidad diferente, teniendo al final de la fibra ciertos retardos.

En el medidor de dispersión cromática realmente lo que se mide es el corrimiento de fase provocado por la fibra óptica sobre cada longitud de onda, para ello el analizador/medidor de fase posee una referencia de la señal óptica de la fuente antes de ser ingresada a la fibra, pudiendo así comparar la señal original y la señal desfasada. Cada corrimiento de fase es convertido a un tiempo de retardo. El conjunto de todos los retardos de cada longitud de onda es conocido como RGD (Relay Group Delay). Dependiendo de las características de la fibra óptica evaluada se aplicará un distinto modelado [6].

## **CONFIGURACIÓN DEL MEDIDOR DE DISPERSIÓN CROMÁTICA**

- 1) Intervalo de longitudes de onda: El equipo puede ser configurado para analizar en las bandas C y L, sin embargo, es posible seleccionar un rango más pequeño.
- 2) Número de saltos entre longitudes: Se refiere a la diferencia entre cada longitud de onda perteneciente al rango seleccionado, entre

más pequeño sea el número de saltos los resultados serán más precisos, pero el tiempo de análisis se incrementa.

- 3) Tipo de fibra: Es importante seleccionar el tipo de fibra a medir ya que la categoría definirá el modelo matemático a utilizar.
- 4) Distancia: Longitud del enlace a medir.

### **2.2.3 MEDIDOR DE DISPERSIÓN POR MODOS DE POLARIZACIÓN**

Existen diversos métodos de medición de PMD, sin embargo el más utilizado en redes de transporte de larga distancia es el método general interferométrico (GINTY) en el cual como su nombre lo dice se basa en el uso de un interferómetro. Este método realiza una auto correlación de la señal de la fuente y de la señal en el receptor. Con lo anterior calcula el PMD generado para cada longitud de onda [11][15].

#### **CONFIGURACIÓN DEL MEDIDOR DE DISPERSIÓN POR MODOS DE POLARIZACIÓN**

- 1) Intervalo de longitudes de onda: El equipo puede ser configurado para analizar en las bandas C y L, sin embargo es posible seleccionar un rango más pequeño.
- 2) Número de saltos entre longitudes: Se refiere a la diferencia entre cada longitud de onda perteneciente al rango seleccionado, entre más pequeño sea el número de saltos los resultados serán más precisos, pero el tiempo de análisis se incrementa.
- 3) Tipo de fibra: Verifica que el PMD se encuentre dentro de los valores estandarizados.
- 4) Distancia: Longitud del enlace a medir.
- 5) En este equipo es posible seleccionar la opción de Prueba (Testing) para una velocidad de hasta 40 Gbps, al final de la medición el equipo determinará si es posible o no transmitir la velocidad configurada.

## 2.2.4 ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

### OTDR MARCA ANRITSU MODELO MU909015C

Especificaciones técnicas	
Longitudes de onda [nm]	1310±20/1490±20/1550±20
Rango dinámico [dB]	36/35/35
zona muerta [m]	0.8
Rango [km]	1.25, 2.5, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 260, 400
Ancho de pulso [ns]	5, 10, 30, 100, 200, 500, 1000, 2000,5000,10000, 20000
Resolución de muestreo [m]	0.02
Incertidumbre de distancia	±1±3xdistanciax0.0001±resolución
Linealidad [dB]	±0.05
Potencia de salida [dBm]	-5

Tabla 2.4. Especificaciones OTDR – MU909015C [16]



Figura 2.1. MT9090A μOTDR MODULE [16]

### OTDR MARCA EXFO MODELO FTB-7600E

Especificaciones técnicas	
Longitudes de onda [nm]	1310±20/1550±20/1625±10
Rango dinámico [dB]	50
zona muerta [m]	1/1.5/1
Rango [km]	1.25, 2.5, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 260, 400
Ancho de pulso [ns]	5, 10, 30, 100, 275, 1000, 2500, 10000,20000
Resolución de muestreo [m]	0.04 a 5
Incertidumbre de distancia	±(0.75+0.001 % x distancia + resolución de muestreo)
Linealidad [dB]	±0.03
Potencia de salida [dBm]	5

Tabla 2.5. Especificaciones OTDR – FTB-7600E [17].



Figura 2.2. Ultra-Long-Haul OTDR — FTB-7600E High-End Fiber Characterization and Submarine Cable Testing [17]

### MÓDULO ANALIZADOR DE PMD MARCA EXFO MODELO FTB-5500B

Especificaciones técnicas	
Rango de longitudes de onda [nm]	1260 a 1675
Rango de mediciones [ps]	0 a 115
Sensibilidad [dBm]	-45
Incertidumbre	$\pm(0.02+ \% \text{ de PMD})$

Tabla 2.6. Especificaciones analizador de PMD FTB-5500B [18].



Figura 2.3. Analizador de PMD — FTB-5500B [18].

## MÓDULO ANALIZADOR DE CD MARCA EXFO MODELO FTB-5800

Especificaciones técnicas	
Rango de longitudes de onda [nm]	1530 a 1625/ 1200 a 1700
Incremento mínimo de longitud de onda [nm]	0.1
Máximos puntos de medición	950
Rango dinámico [dB]	42
Incertidumbre de dispersión [ps/nm] para fibra monomodo estándar G.652	20 [km]-----1.6 120 [km]-----3.1
Repetibilidad de dispersión [ps/nm]	20 [km]---0.04, 80 [km]---0.2, 120 [km]---1.1
Repetibilidad de $\lambda$ con dispersión cero [nm]	20 [km]---0.1, 80 [km]---0.14, 120 [km]---0.8
Repetibilidad de pendiente de dispersión [%]	20 [km]---0.03, 80 [km]---0.06, 120 [km]---0.25
Mínima longitud de fibra [km]	< 1
Máxima longitud de fibra [km]	> 5400

Tabla 2.7. Especificaciones analizador de CD FTB-5800 [18].



Figura 2.4. Analizador de CD — FTB-5800. [18]

## FUENTE ÓPTICA POLARIZADA DE BANDA ANCHA MARCA EXFO MODELO FLS-5834A

Especificaciones técnicas	
Longitud de onda central [nm]	1580 ± 20
Potencia de salida [dB]	7
Densidad espectral de potencia [dBm/nm]	> -12.5
Estabilidad de potencia (15 minutos) [dB]	< 0.075
Modulación de Frecuencia [MHz]	100

Tabla 2.8. Especificaciones de fuente óptica FLS-5834A [19].



Figura 2.5. FLS-5800A Broadband Light Source. [19]

### 2.3 ESQUEMAS DE CONEXIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN

Antes de cualquier prueba es requisito indispensable realizar una inspección de los conectores para detectar anomalías en su superficie. El microscopio determinará si el conector puede operar de forma óptima, en caso contrario se recomienda limpiarlo cuidadosamente y posteriormente repetir la prueba. Si en el conector se encuentran daños irreparables como rayones, muescas, etc. es necesario realizar un cambio de conector.

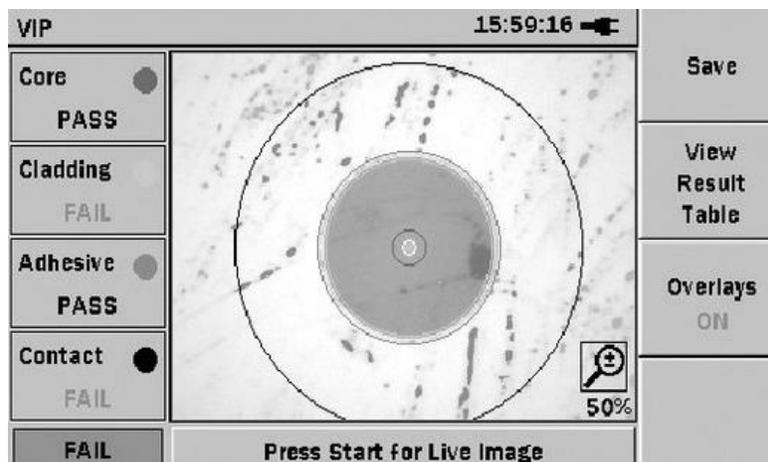


Figura 2.6. Visualización de un conector mediante un microscopio óptico [16]

Otro aspecto muy importante es respetar el tipo de pulido requerido por el equipo. Normalmente se tiene un código de colores general; APC/verde y UPC/azul. El uso incorrecto de los conectores provocará fallas en las mediciones y un desgaste paulatino del conector interno. La limpieza del conector interno deberá realizarse con extrema precaución ya que en caso de dañarlo es necesario acudir con un experto para que pueda sustituirlo.

### 2.3.1 ATENUACIÓN Y DISTANCIA

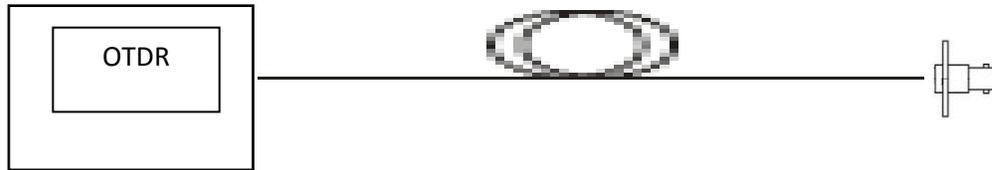


Figura 2.7. Diagrama de conexión OTDR a enlace de fibra

El análisis de atenuación se debe de realizar con la fibra desconectada, es decir, sin que esté transmitiendo. De lo contrario el MPO se dañará y se deberá realizar una reparación al equipo.

### 2.3.2 DISPERSIÓN CROMÁTICA

De igual manera se debe de realizar con la fibra desconectada. La medición de dispersión cromática está formada por dos pasos:

Paso 1

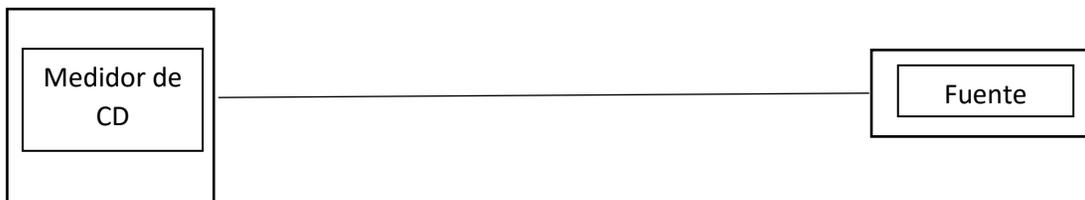


Figura 2.8. Diagrama de conexión medidor de CD a fuente mediante jumper

Debido a que el equipo realiza una comparación de las fases de la señal de la fuente y de la señal después de pasar por el enlace es necesario tomar un valor de referencia. Para ello se conecta el medidor y la fuente haciendo uso de un jumper (aprox. 1 [m] de longitud), posteriormente el equipo registra el desfaseamiento el cual será tomado como la fase de la señal de la fuente.

Paso 2

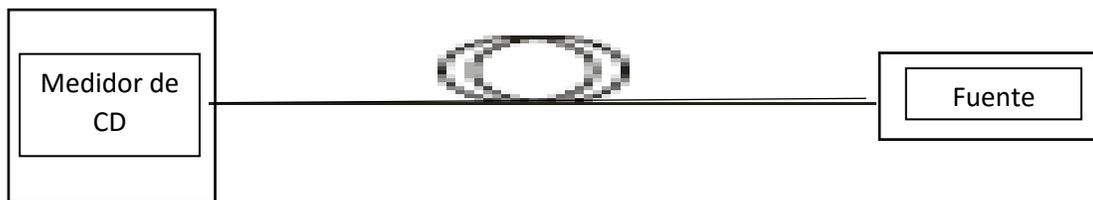


Figura 2.9. Diagrama de conexión de medidor de CD a fuente mediante enlace de fibra

Una vez registrado el valor de referencia se procede a conectar el medidor y la fuente mediante el enlace de fibra a medir.

### 2.3.3 DISPERSIÓN POR MODOS DE POLARIZACIÓN

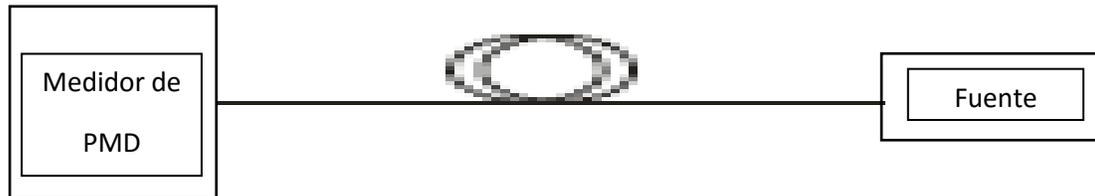


Figura 2.10. Diagrama de conexión de medidor de PMD a fuente mediante enlace de fibra

La medición de PMD no necesita una referencia, por ende sólo es necesario conectar el medidor y la fuente mediante el enlace de fibra.

## 2.4 RECOMENDACIONES PARA REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA RED ÓPTICA

Sin duda los procesos de reparación y mantenimiento a nivel de capa física para una red óptica son esenciales en el rendimiento de la misma. Debido a lo anterior los equipos utilizados para los procesos mencionados son de suma importancia. Por ejemplo, en una Red de Larga Distancia (Core) se debe tener un cuidado especial con las pérdidas de potencia por empalme y pérdidas por conectores, siendo esta última la más frecuente en los problemas de transmisión en este tipo de redes.

- Pérdida por conectores: el 80% de los problemas en las redes ópticas son debido al mal manejo de conectores. Existen tres formas para la limpieza de conectores [14]:
  - ✓ Limpieza en seco  
Se utilizan toallitas especiales que contienen un porcentaje muy bajo de alcohol. Una vez utilizada esta toallita no es recomendable volverla a usar debido a que aunque aparentemente este limpia se suelen localizar partículas de polvo que pueden rayar la superficie de la fibra.
  - ✓ Limpieza con alcohol

Este tipo de limpieza se recomienda cuando el conector está demasiado sucio, generalmente los técnicos tocan la fibra con los dedos manchando con polvo y grasa la superficie. Se humedecen las toallitas con alcohol isopropílico y se procede a limpiar la superficie.

✓ Limpieza híbrida

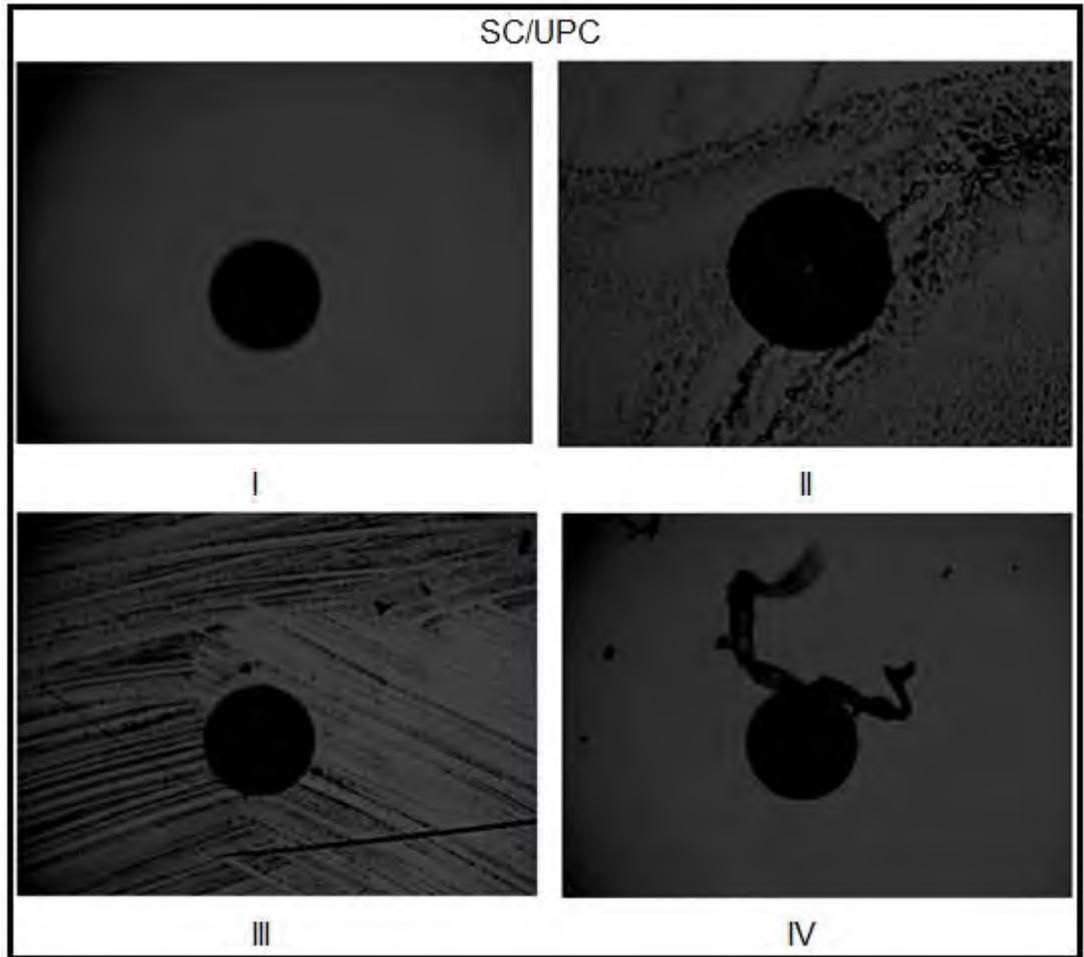
Este tipo de limpieza es la más recomendada. En primer lugar se realiza una limpieza con alcohol isopropílico y posteriormente una limpieza en seco. Esta última retira la presencia de alcohol acumulado en la superficie.

### VIP (Video Inspection Probe)

Es un microscopio óptico utilizado para observar la superficie de los conectores (*mostrado en la figura 2.12*) independientemente del tipo de conector y pulido que tengan; ST, FC, SC, LC/APC, UPC, PC. En la Figura 2.12 se muestran un ejemplo de fotografías tomadas con el microscopio para diferentes grados de limpieza de la superficie de conectores.



Figura 2.12. G0306A Video Inspection Probe (x400) [16].



- I. Conector limpio
- II. Conector sucio con grasa
- III. Conector rayado
- IV. Conector con muescas

Figura 2.13. Imágenes del G0306A Video Inspection Probe (x400)

- Pérdidas por empalme: Las pérdidas por empalme son causadas por un mal corte, limpieza y por el tipo de empalmadora utilizada. El corte debe de ser perfecto (sin astillas, sin cuarteaduras y paralelo a la fibra), posteriormente el proceso de limpieza debe realizarse cuidadosamente. El tipo de empalmadora utilizada juega un papel muy importante. Existen dos tipos de empalmadoras:

- ✓ Empalmadora de alineamiento por núcleo  
Permite un alineamiento mucho más preciso teniendo pérdidas menores a 0.02 [dB]. Esta empalmadora es la sugerida para redes de larga distancia.



Figura 2.14. QUANTUM Type-Q-101-CA+ con alineamiento por núcleo [14].

- ✓ Empalmadora de alineamiento por revestimiento  
La eficiencia es menor que la anterior, sin embargo las pérdidas provocadas son menores a 0.05 [dB]. Esta empalmadora es recomendada para redes FTTx o para redes secundarias.



Figura 2.15. QUANTUM Type-QH201e-VS con alineamiento por revestimiento [14].

## 2.5 SERVICIOS PARA EQUIPOS DE MEDICIÓN

Dado que los procesos de reparación y mantenimiento son determinantes en el rendimiento de una red óptica es necesario poseer equipos de medición cuyas mediciones sean confiables y precisas. Existen cuatro tipos de servicios fundamentales a los que deben de ser sometidos todos los equipos de medición [14]:

- Servicio de calibración  
Consiste en realizar un conjunto de mediciones de un equipo para determinar el error del instrumento; esto se realiza utilizando diferentes métodos de comparación con un patrón con trazabilidad de mediciones a patrones internacionales.
- Servicio de verificación  
Consiste en comprobar que las mediciones realizadas por un equipo cumplan con las hojas de especificaciones del fabricante o con una norma que sea aplicable.
- Servicio de reparación  
Consiste en realizar los ajustes y/o reparaciones necesarias al equipo para que cumpla con sus hojas de especificaciones.
- Servicio de mantenimiento preventivo  
Consiste en examinar el equipo externa e internamente, reparando los daños encontrados. Además se realiza una limpieza interna y externa.

## CAPÍTULO 3. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS DE LOS ENLACES

### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN CENTRAL DE MÉXICO

La región central de la república mexicana está compuesta por los estados de Hidalgo, México, Tlaxcala, Morelos, Puebla y la Ciudad de México. Conjuntamente abarcan una superficie total de 86,515 [km<sup>2</sup>] cubriendo así poco más del 4% del territorio nacional. Los enlaces de fibra óptica estudiados en la presente tesis conforman un anillo principal, sin embargo existen muchas otras ramificaciones que conectan e interconectan los estados antes mencionados.



Figura 3.1 Región centro del país [20].

Las características del medio ambiente en donde se encuentra inmerso cada enlace determinarán el rendimiento de la red, ya que la dispersión por modos de polarización (PMD) varía considerablemente con el viento, temperatura, tensión de la fibra, etc., es por ello que su estudio es de gran importancia al momento de

realizar el diseño de la red. En el diseño se determina la ruta por donde será tensado el cable de fibra óptica, además es de suma importancia valorar si es necesario guiar la fibra mediante ductos subterráneos o mediante tendido aéreo utilizando las torres de alta tensión. El clima predominante va desde cálido sub-húmedo (Estado de Morelos y ciertos municipios del Estado de México), templado sub-húmedo distribuido principalmente en la Sierra Madre Oriental (Abarcando los estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala), frío sub-húmedo y árido semi cálido (Gran parte del Estado de México, Hidalgo y la Ciudad de México). La orografía presente en la región central se caracteriza por valles y sistemas montañosos como la Sierra Madre Oriental y el eje Neo volcánico [20].



Figura 3.2. Distribución de los enlaces a lo largo de la región central de México

### 3.2 DATOS RECOLECTADOS

El anillo analizado está diseñado con fibra estándar G.652D con un diámetro de núcleo de  $9\ \mu\text{m}$ . Las mediciones realizadas son en la longitud de onda de  $1550\ \text{nm}$ . Para el caso de medición de atenuación se realizó un análisis unidireccional ya que la fibra analizada no ha requerido reparaciones mayores. Para el caso de la medición de Dispersión por Modos de Polarización (PMD) se realizaron tres mediciones, lo anterior con el fin de obtener la mayor desviación PMD. El análisis de los datos recolectados se muestra en la sección 3.3.

### 3.2.1 ATENUACIÓN

#### 3.2.1.1 Enlace del Sitio A – Sitio B

Rango [km]	80
Tiempo de adquisición [s]	30
Ancho de pulso [ns]	100
Longitud de onda [nm]	1550
Índice de refracción [1]	1.468325

Tabla 3.1. Configuración de los parámetros del OTDR enlace del sitio A- sitio B

#### Fibra 1

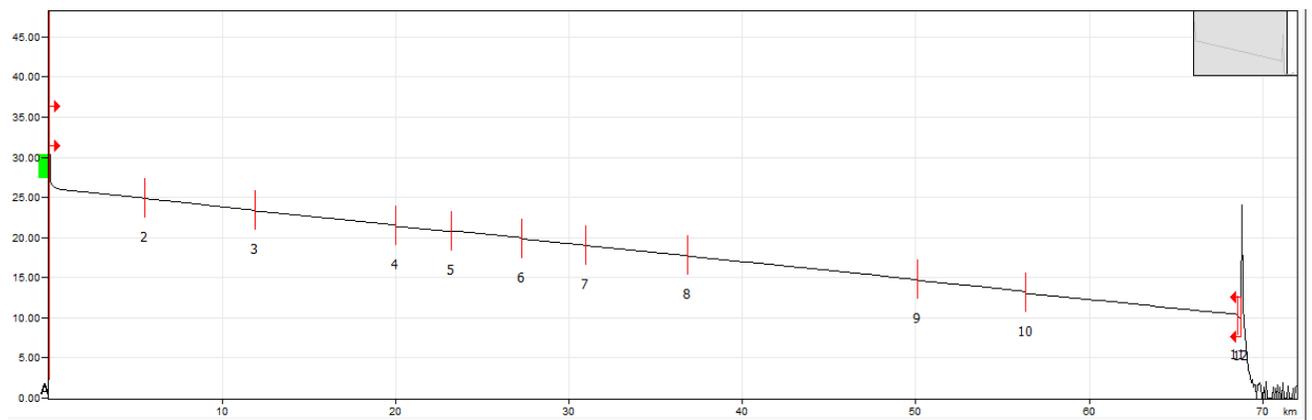


Figura 3.3. Trazo del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 1.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-22.5
12	68.7706	-14.2
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	5.528	0.039
3	11.8803	0.067
4	19.9962	0.172
5	23.2426	-0.113
6	27.2571	0.174
7	30.9552	0.044
8	36.8507	0.061
9	50.1066	0.069
10	56.3237	0.255
11	68.5486	0.352

Tabla 3.2. Eventos localizados del enlace del sitio A- sitio B. Fibra 1.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdidas [dB]	Atenuación [dB]
1--2	5.528	1.292	0.234
2--3	6.3523	1.48	0.233
3--4	8.1159	1.748	0.215
4--5	3.2464	0.668	0.206
5--6	4.0146	0.849	0.212
6--7	3.6981	0.782	0.211
7--8	5.8955	1.264	0.214
8--9	13.2559	2.93	0.221
9--10	6.2171	1.364	0.219
10--11	12.2249	2.646	0.216
11--12	0.222	0.063	0.284

Tabla 3.3. Segmentos localizados del enlace del sitio A- sitio B . Fibra 1.

## Fibra 2

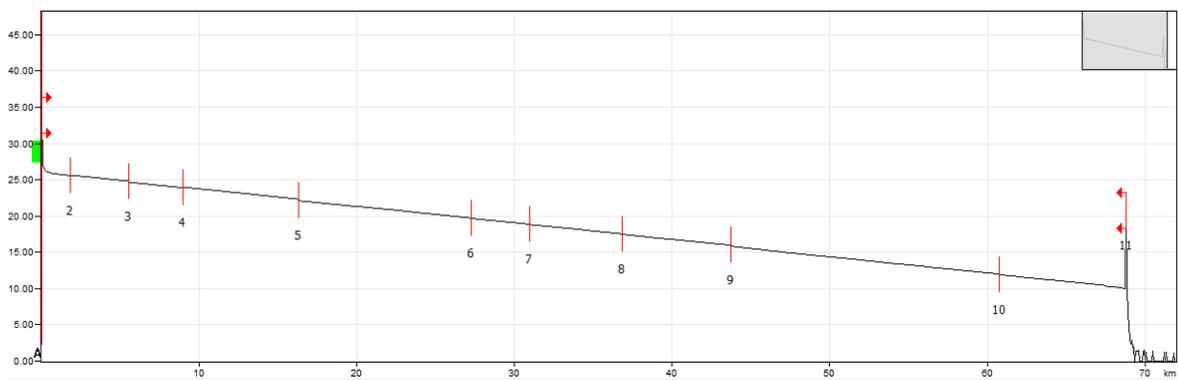


Figura 3.4. Trazo del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 2.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-22.5
12	68.7864	-22
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	1.8707	-0.117
3	5.528	0.138
4	9.0193	-0.084
5	16.3007	0.23
6	27.2546	0.045
7	30.945	0.035
8	36.8558	0.077

9	43.7492	0.15
10	60.7364	0.102

Tabla 3.4 Eventos localizados del enlace del sitio A- sitio B. Fibra 2.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdidas [dB]	Atenuación [dB]
1--2	1.8707	0.668	0.357
2--3	3.6573	0.833	0.228
3--4	3.4914	0.773	0.221
4--5	7.2813	1.645	0.226
5--6	10.9539	2.381	0.217
6--7	3.6904	0.797	0.216
7--8	5.9108	1.308	0.221
8--9	6.8934	1.477	0.214
9--10	16.9872	3.787	0.223
10--11	8.047	1.845	0.229

Tabla 3.5. Segmentos localizados del enlace del sitio A- sitio B . Fibra 2.

### 3.2.1.2 Enlace del Sitio B- Sitio C

Rango [km]	40
Tiempo de adquisición [s]	15
Ancho de pulso [ns]	30
Longitud de onda [nm]	1550
Índice de refracción [1]	1.468325

Tabla 3.6. Configuración de los parámetros del OTDR enlace del sitio B- sitio C

#### Fibra 1

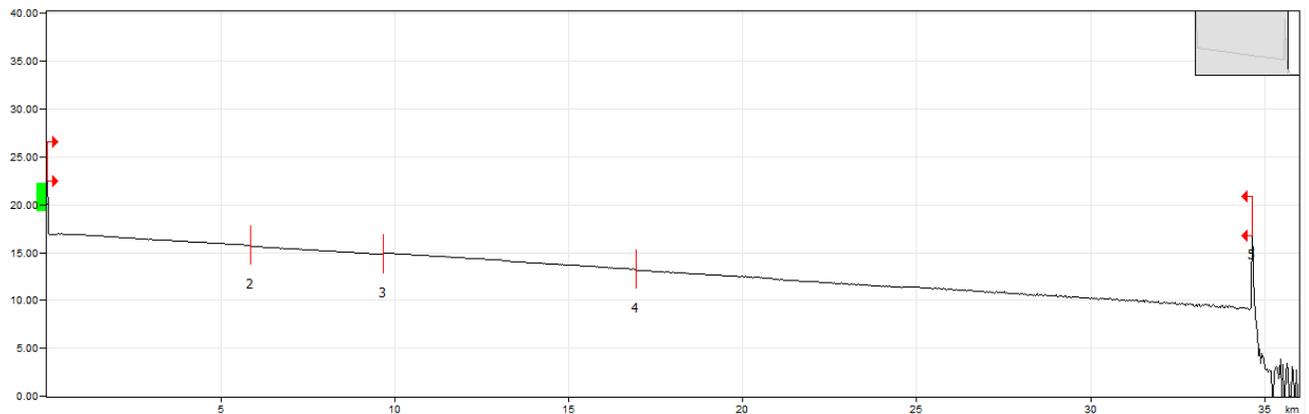


Figura 3.5. Trazo del enlace del sitio B-sitio C. Fibra 1.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-20.9
5	34.6392	-12.8
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	5.855	0.085
3	9.6753	-0.165
4	16.9247	0.05

Tabla 3.7. Eventos localizados del enlace del sitio B- sitio C. Fibra 1.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdidas [dB]	Atenuación [dB/km]
1--2	5.855	1.285	0.219
2--3	3.82	0.844	0.221
3--4	7.2494	1.736	0.239
4--5	17.146	3.946	0.223

Tabla 3.8. Segmentos localizados del enlace del sitio B- sitio C. Fibra 1.

## Fibra 2

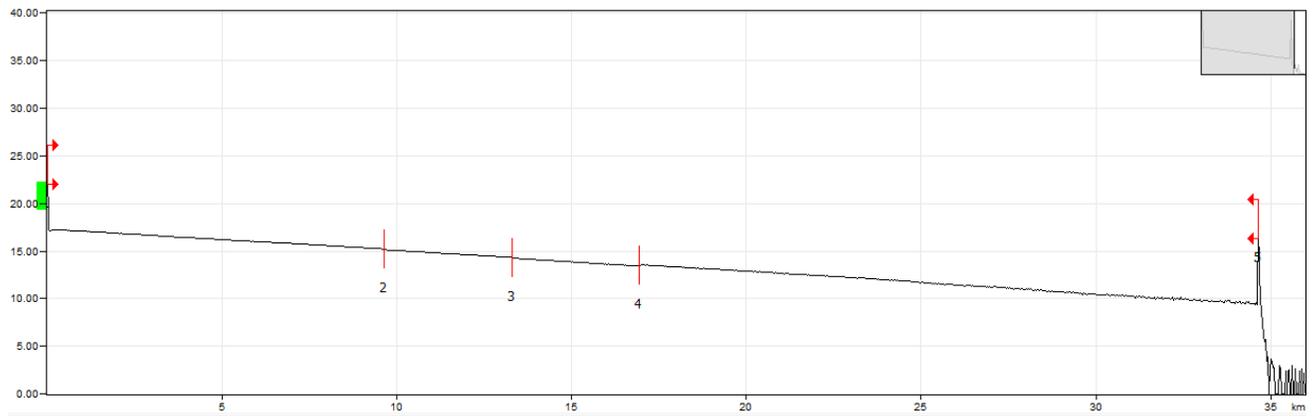


Figura 3.6. Trazo del enlace del sitio B-sitio C. Fibra 2.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-21.3
5	34.6405	-14.1
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	9.6446	0.077
3	13.2961	0.08
4	16.9489	-0.143

Tabla 3.9. Eventos localizados del enlace del sitio B- sitio C. Fibra 2.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdidas [dB]	Atenuación [dB/km]
1--2	9.6446	2.067	0.214
2--3	3.6515	0.816	0.223
3--4	3.6528	0.823	0.225
4--5	17.6916	4.195	0.237

Tabla 3.10. Segmentos localizados del enlace del sitio B- sitio C. Fibra 2.

### 3.2.1.3 Enlace del Sitio C - Sitio D

Rango [km]	140
Tiempo de adquisición [s]	15
Ancho de pulso [ $\mu$ s]	10
Longitud de onda [nm]	1550
Índice de refracción [1]	1.468325

Tabla 3.11. Configuración de los parámetros del OTDR enlace del sitio C- sitio D

#### Fibra 1

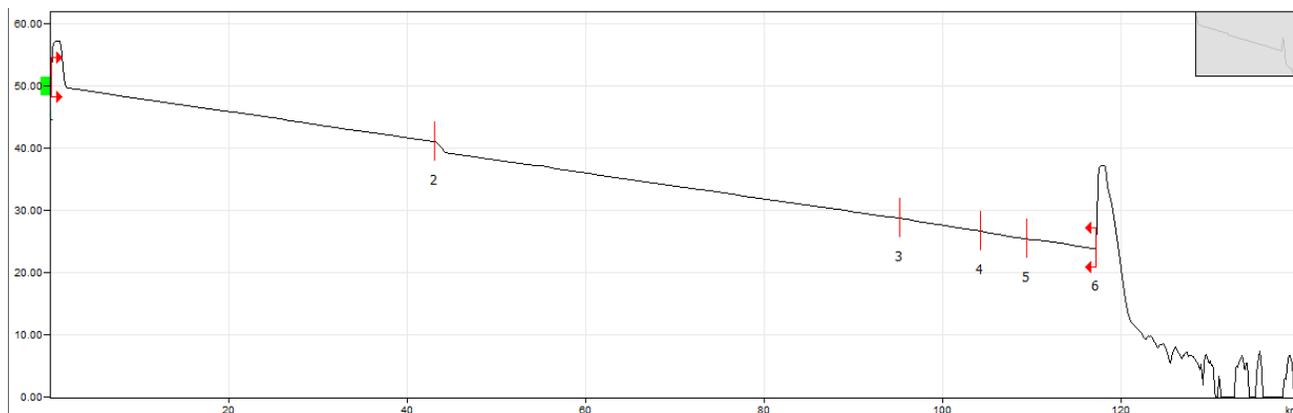


Figura 3.7. Trazo del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 1.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-28
6	117,2311	-14,9
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	43,0397	1,511
3	95,1345	0,111
4	104,2814	0,182
5	109,4062	-0,186

Tabla 3.12. Eventos localizados del enlace del sitio C- sitio D. Fibra 1.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdida [dB]	Coefficiente de atenuación [dB/km]
1--2	43.0397	9.032	0.21
2--3	52.0948	10.818	0.208
3--4	9.147	2.017	0.22
4--5	5.1247	1.034	0.202
5--6	7.8249	1.862	0.238

Tabla 3.13. Segmentos localizados del enlace del sitio C- sitio D. Fibra 1.

## Fibra 2

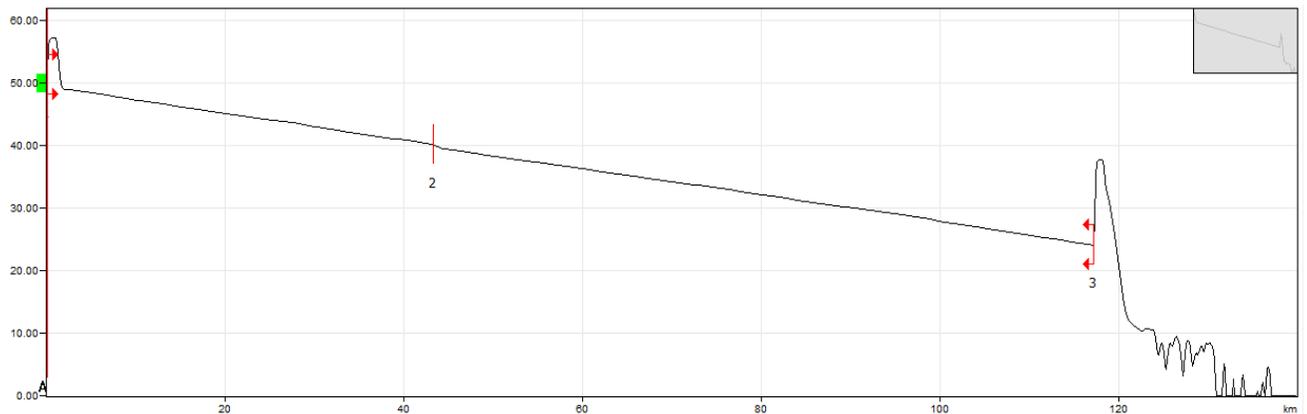


Figura 3.8. Trazo del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 2.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-26.7
3	117,2107	-14,4
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	43,2234	0.428

Tabla 3.14. Eventos localizados del enlace del sitio C- sitio D. Fibra 2.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdida [dB]	Coefficiente de atenuación [dB/km]
1--2	43.2234	9.303	0.215
2--3	73.9872	15.573	0.21

Tabla 3.15. Segmentos localizados del enlace del sitio C- sitio D. Fibra 2.

### 3.2.1.4 Enlace del Sitio D - Sitio E

Rango [km]	80
Tiempo de adquisición [s]	30
Ancho de pulso [ $\mu$ s]	1
Longitud de onda [nm]	1550
Índice de refracción [1]	1.468325

Tabla 3.16. Configuración de los parámetros del OTDR enlace del sitio D- sitio E

#### Fibra 1

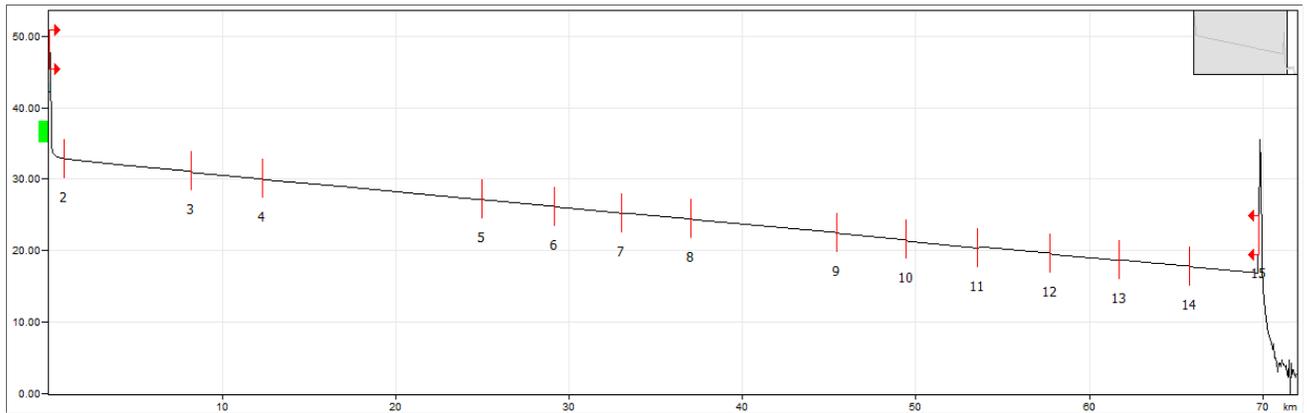


Figura 3.9. Trazo del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 1.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-21
15	69.7736	-14.6
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	0,8601	0,065
3	8,1873	0,199
4	12,3167	0,097
5	24,9551	-0,051
6	29,1253	0,08
7	33,0378	-0,063
8	37,0472	0,078
9	45,4387	0,099
10	49,4303	0,198
11	53,5495	-0,223
12	57,7146	0,169
13	61,7368	-0,066
14	65,7795	0,085

Tabla 3.17. Eventos localizados del enlace del sitio D- sitio E. Fibra 1.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdida [dB]	Coefficiente de atenuación [dB/km]
1--2	0,8601	0,309	0,359
2--3	7,3273	1,708	0,233
3--4	4,1294	0,876	0,212
4--5	12,6383	2,859	0,226
5--6	4,1702	0,942	0,226
6--7	3,9125	0,885	0,226
7--8	4,0094	0,88	0,22
8--9	8,3915	1,818	0,217
9--10	3,9916	0,912	0,229
10--11	4,1192	0,97	0,236
11--12	4,1651	0,919	0,221
12--13	4,0222	0,839	0,209
13--14	4,0426	0,886	0,219
14--15	3,9941	0,868	0,217

Tabla 3.18. Segmentos localizados del enlace del sitio D- sitio E. Fibra 1.

## Fibra 2

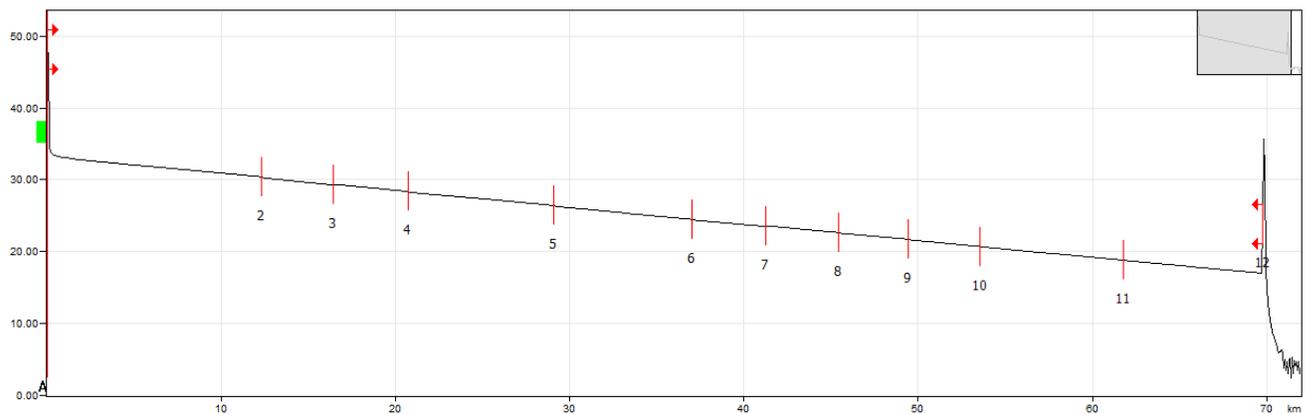


Figura 3.10. Trazo del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 2.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-21.3
15	69.7685	-14.5
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	12.3065	0,128
3	16.441	-0.114
4	20.7567	0,098
5	29.1176	0.105
6	37.0472	0,079

7	41.2736	-0,11
8	45.4387	0,07
9	49.4329	0,08
10	53.5418	0,041
11	61.7726	0.037

Tabla 3.19. Eventos localizados del enlace del sitio D- sitio E. Fibra 2.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdida [dB]	Coefficiente de atenuación [dB/km]
1--2	12.3065	2.846	0,231
2--3	4.1345	1,02	0,247
3--4	4,3157	1.019	0,236
4--5	8.3609	1.834	0,219
5--6	7.9296	1.843	0,232
6--7	4.2264	0,904	0,214
7--8	4,1651	0,962	0,231
8--9	3.9941	0.835	0,209
9--10	4.109	0,943	0,23
10--11	8.2307	1.841	0,224
11--12	7.9959	1.799	0,225

Tabla 3.20. Segmentos localizados del enlace del sitio D- sitio E. Fibra 2.

### 3.2.1.5 Enlace del Sitio E - Sitio F

Rango [km]	160
Tiempo de adquisición [s]	30
Ancho de pulso [ $\mu$ s]	1
Longitud de onda [nm]	1550
Índice de refracción [1]	1.468325

Tabla 3.21. Configuración de los parámetros del OTDR enlace del sitio E- sitio F

## Fibra 1

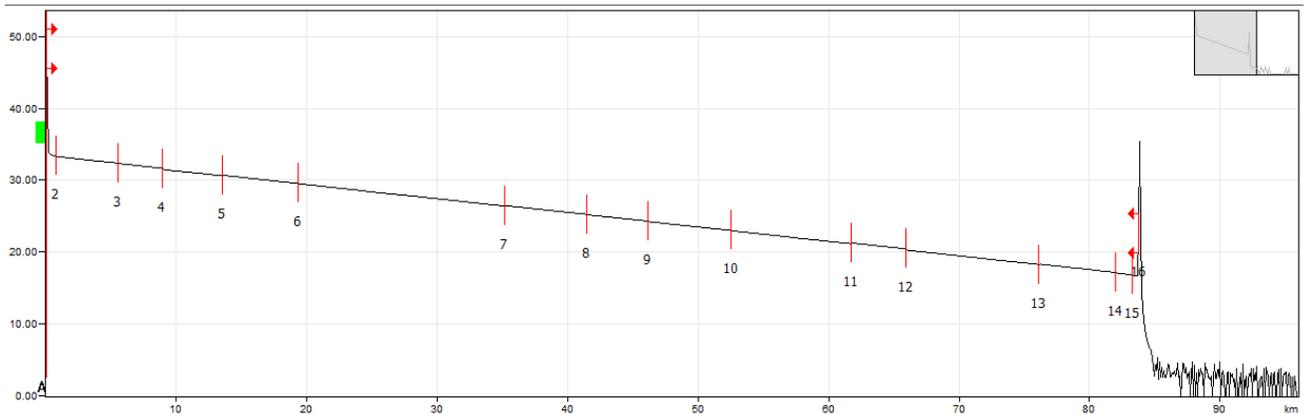


Figura 3.11. Trazo del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 1.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-21.9
16	837.544	-14.2
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	0,771	0,034
3	5,5612	0,034
4	8,9173	0,157
5	13,4958	-0,076
6	19,3454	0,046
7	35,1867	-0,051
8	41,488	0,053
9	46,1584	0,058
10	52,5388	0,05
11	61,6781	-0,121
12	65,9377	0,177
13	76,103	-0,065
14	81,9934	0,077
15	83,272	0,11

Tabla 3.22. Eventos localizados del enlace del sitio E- sitio F. Fibra 1.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdida [dB]	Coefficiente de atenuación [dB/km]
1--2	0,7708	0,273	0,354
2--3	4,7904	0,955	0,199
3--4	3,3561	0,657	0,196
4--5	4,5786	0,888	0,194
5--6	5,8496	1,14	0,195
6--7	15,8413	3,095	0,195
7--8	6,3013	1,202	0,191
8--9	4,6705	0,904	0,194
9--10	6,3804	1,23	0,193
10--11	9,1393	1,802	0,197
11--12	4,2596	0,83	0,195
12--13	10,1653	2,006	0,197
13--14	5,8904	1,176	0,2
14--15	1,2786	0,251	0,196
15--16	0,4824	0,08	0,167

Tabla 3.23. Segmentos localizados del enlace del sitio E- sitio F. Fibra 1.

## Fibra 2

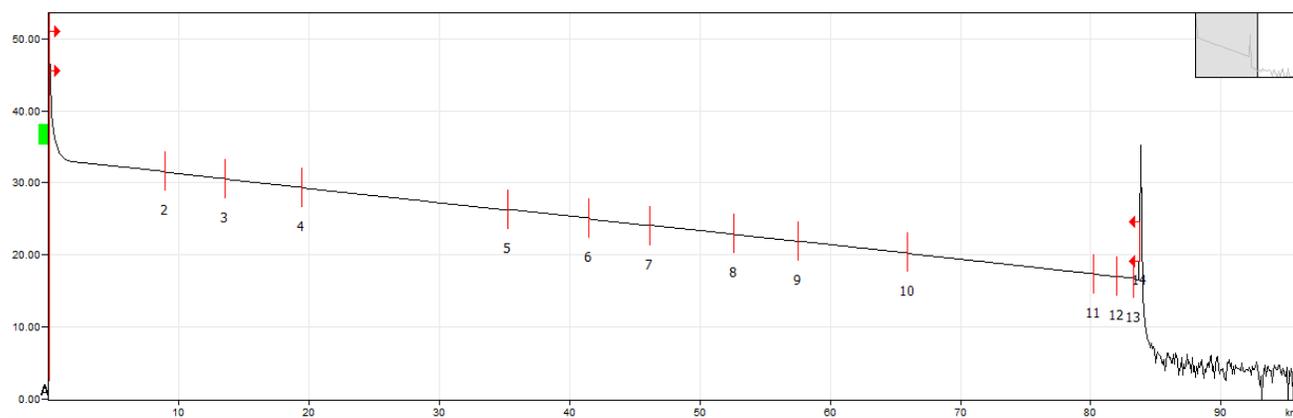


Figura 3.12. Trazo del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 2.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-21,3
14	83,7595	-14,5
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	8,9147	0,113
3	13,5035	0,056
4	19,3913	0,066

5	35,2224	-0,132
6	41,4905	0,164
7	46,138	-0,073
8	52,572	0,044
9	57,5411	-0,045
10	65,9479	0,079
11	80,1762	0,064
12	81,9959	-0,066
13	83,2592	0,179

Tabla 3.24 Eventos localizados del enlace del sitio E- sitio F. Fibra 2.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdida [dB]	Coefficiente de atenuación [dB/km]
1--2	8.9147	1.711	0,192
2--3	4,5888	0,909	0,198
3--4	5.8878	1.144	0,194
4--5	15.8311	3.108	0,196
5--6	6.2681	1,218	0,194
6--7	4.6475	0.898	0,193
7--8	6,434	1,239	0,193
8--9	4,9691	0,968	0,195
9--10	8.4068	1,663	0,198
10--11	14.2283	2.807	0,197
11--12	1.8197	0,359	0,197
12--13	1.2633	0.24	0,19
13--14	0.5002	0.079	0,159

Tabla 3.25. Segmentos localizados del enlace del sitio E- sitio F. Fibra 2.

### 3.2.1.6 Enlace del Sitio F - Sitio G

Rango [km]	80
Tiempo de adquisición [s]	15
Ancho de pulso [ns]	100
Longitud de onda [nm]	1550
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.26. Configuración de los parámetros del OTDR enlace del sitio F- sitio G

## Fibra 1

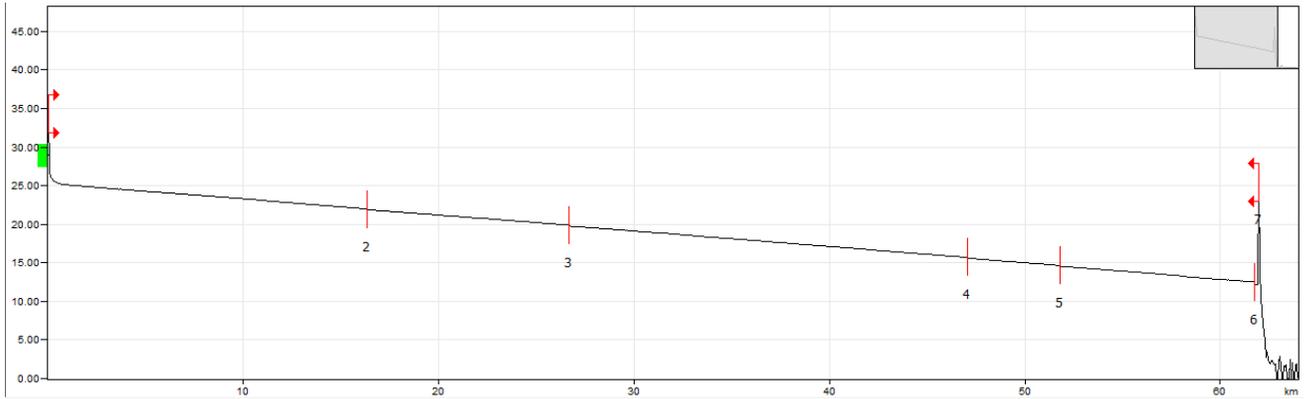


Figura 3.13 Trazo del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 1

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-21
7	61,9461	-16,1
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	16,3083	0,097
3	26,6701	0,113
4	47,0721	0,107
5	51,8115	0,098
6	61,7496	0,277

Tabla 3.27. Eventos localizados del enlace del sitio F- sitio G. Fibra 1.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdida [dB]	Coefficiente de atenuación [dB/km]
1--2	16.3083	3.33	0.204
2--3	10.3618	2.006	0.194
3--4	20.402	4.094	0.201
4--5	4.7394	0.935	0.197
5--6	9.9381	2.088	0.21
6--7	0.1965	0.02	0.1

Tabla 3.28. Segmentos localizados del enlace del sitio F- sitio G. Fibra 1.

## Fibra 2

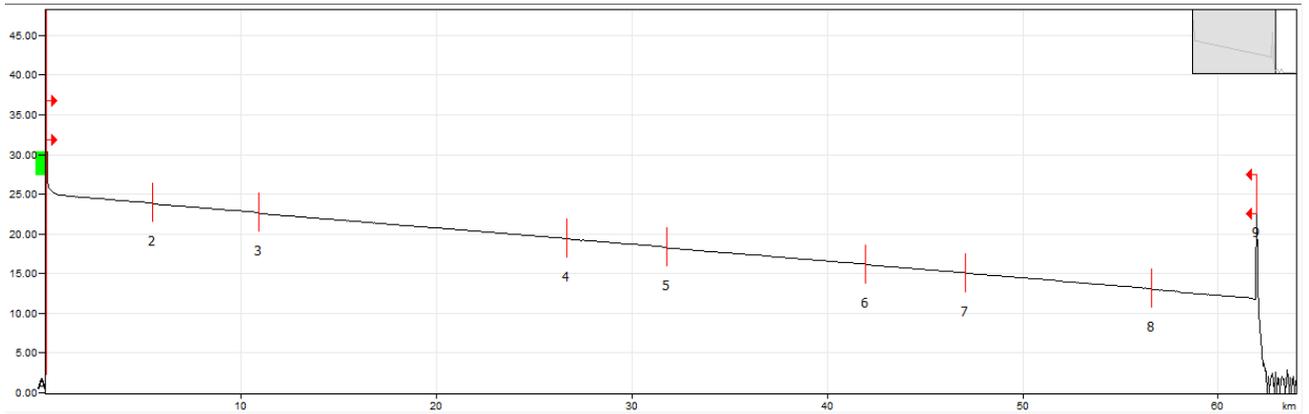


Figura 3.14. Trazo del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 2.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-20,4
9	61,9461	-16,4
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	5,4591	0,104
3	10,8952	0,136
4	26,6625	0,068
5	31,7591	0,126
6	41,932	0,083
7	47,0696	0,062
8	56,6044	0,107

Tabla 3.29. Eventos localizados del enlace del sitio F- sitio G. Fibra 2.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdida [dB]	Coefficiente de atenuación [dB/km]
1--2	5.4591	1.225	0.224
2--3	5.4361	1.071	0.197
3--4	15.7673	3.15	0.2
4--5	5.0967	0.996	0.195
5--6	10.1729	2.038	0.2
6--7	5.1375	1.014	0.197
7-8	9.5349	1.958	0.205
8-9	5.3417	1.167	0.218

Tabla 3.30 Segmentos localizados del enlace del sitio F- sitio G. Fibra 2.

### 3.2.1.7 Enlace del Sitio G - Sitio H

Rango [km]	143
Tiempo de adquisición [s]	30
Ancho de pulso [ $\mu$ s]	3
Longitud de onda [nm]	1550
Índice de refracción [1]	1.468325

Tabla 3.31. Configuración de los parámetros del OTDR enlace del sitio G- sitio H

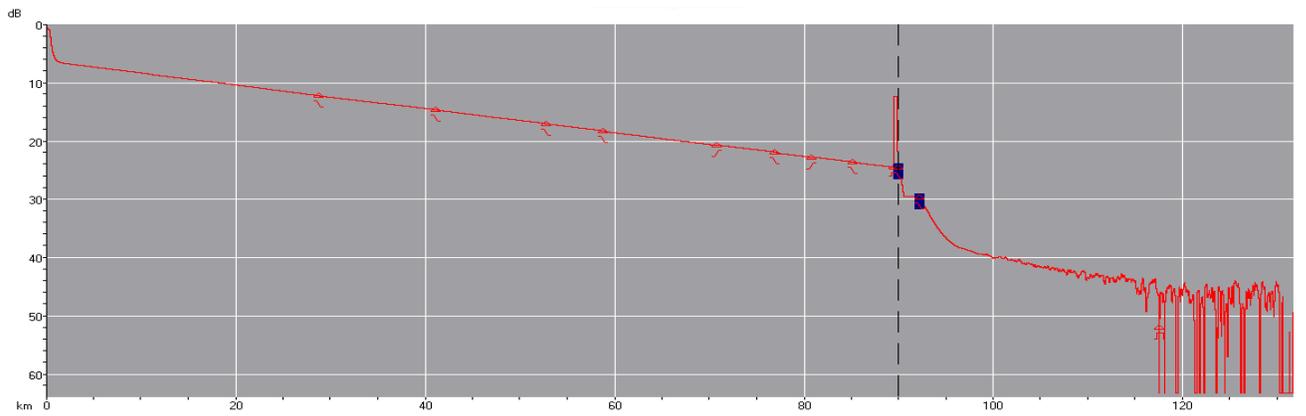


Figura 3.15. Trazo del enlace del sitio G-sitio H (Trazo adquirido con el OTDR ANRITSU MU909015C)

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]	Pérdida [dB]
1	0	<-23.2	NA
10	89,4792	-22.64	0.09
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]	
2	28,8293	0.07	
3	41,1921	0.06	
4	52,7687	0.06	
5	58,8531	0.1	
6	70,7881	-0.08	
7	76,9429	0.13	
8	80,8426	-0.09	
9	85,1609	0.07	
11	92,1852	<b>7.84</b>	

Tabla 3.32. Eventos localizados del enlace del sitio G- sitio H.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdida [dB]	Coefficiente de atenuación [dB/km]
1--2	28,8293	5,622	0,195
2--3	12,4067	2,414	0,195
3--4	11,5766	2,343	0,202
4--5	6,0843	1,324	0,218
5--6	11,935	2,383	0,200
6--7	6,1548	1,096	0,178
7--8	3,8997	0,933	0,239
8--9	4,3183	0,777	0,180
9--10	4,3183	0,964	0,223
10--11	2,706	5,194	1,919

Tabla 3.33. Segmentos localizados del enlace del sitio G- sitio H.

### 3.2.1.8 Enlace del Sitio H - Sitio A

Rango [km]	40
Tiempo de adquisición [s]	30
Ancho de pulso [ns]	100
Longitud de onda [nm]	1550
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.34. Configuración de los parámetros del OTDR enlace del sitio H- sitio A.

### Fibra 1

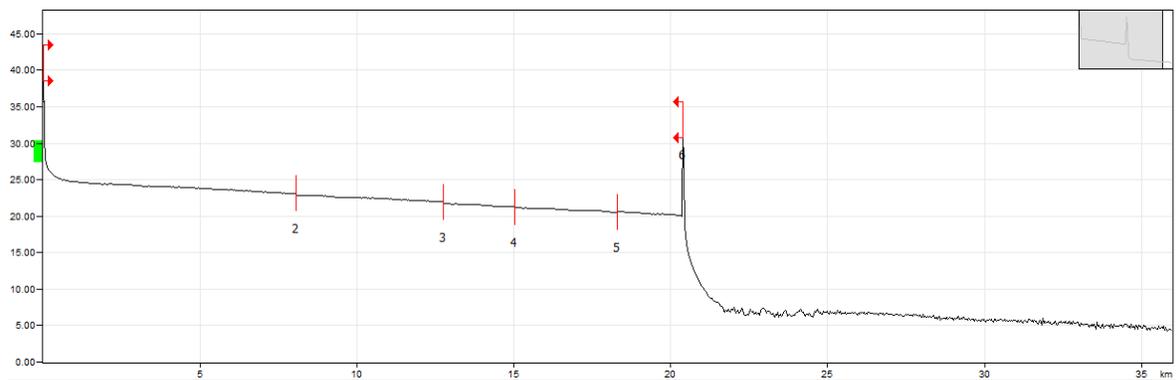


Figura 3.16. Trazo del enlace del sitio G-sitio H. Fibra 1.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	>-20,2
6	20,379	>-14,2
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	8,0687	0,184
3	12,7468	0,246
4	15,0233	0,073
5	18,2939	-0,041

Tabla 3.35. Eventos localizados del enlace del sitio H - sitio A. Fibra 1.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdida [dB]	Coefficiente de atenuación [dB/km]
1--2	8,0687	1,96	0,243
2--3	4,6781	0,91	0,194
3--4	2,2765	0,483	0,212
4--5	3,2706	0,62	0,19
5--6	2,0851	0,51	0,245

Tabla 3.36. Segmentos localizados del enlace del sitio H- sitio A. Fibra 1.

## Fibra 2

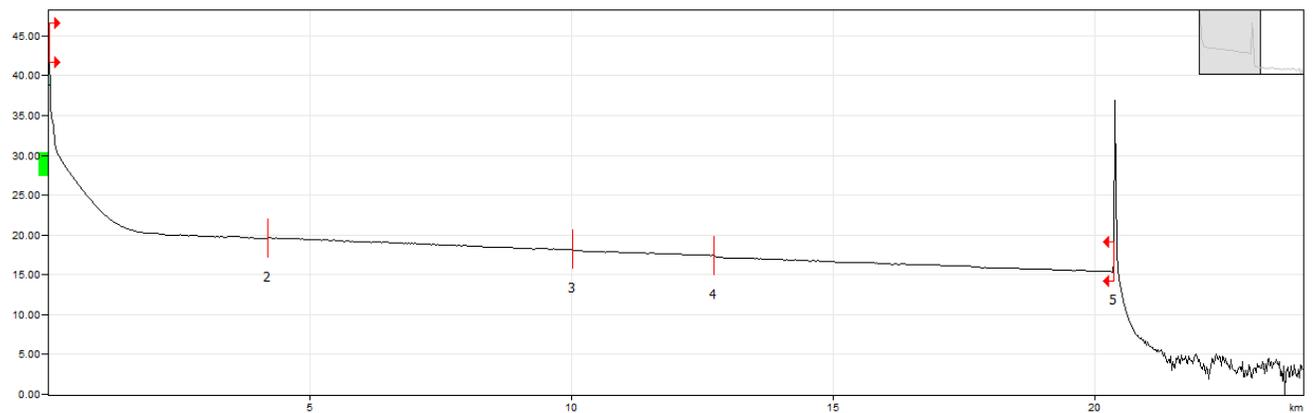


Figura 3.17. Trazo del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 2.

Eventos reflectivos	Ubicación [km]	Reflexión [dB]
1	0	-12.3
5	20,3765	-14.3
Eventos no reflectivos	Ubicación [km]	Pérdida [dB]
2	4,1868	-0.311
3	10,0249	0.087
4	12,734	0.255

Tabla 3.37. Eventos localizados del enlace del sitio H - sitio A. Fibra 2.

Segmentos	Longitud [km]	Pérdida [dB]	Coefficiente de atenuación [dB/km]
1--2	4.1868	2.152	0.514
2--3	5.8381	1.552	0.266
3--4	2.7091	0.563	0.208
4--5	7.6425	1.838	0.241

Tabla 3.38. Segmentos localizados del enlace del sitio H- sitio A. Fibra 2.

### 3.2.2 DISPERSIÓN CROMÁTICA Y DISPERSIÓN POR MODOS DE POLARIZACIÓN

Para el análisis de CD se realizó un barrido en las bandas C y L bajo diferentes tiempos de adquisición. Se configuraron los parámetros generales de los enlaces como el tipo de fibra empleada. Dado que los enlaces que conforman el anillo analizado tienen instaladas fibras ópticas del tipo G.652D se eligió la opción de fibra estándar. Para este tipo de fibra el equipo asigna un modelado matemático 3-Sellmeier, mismo que es recomendado por la ITU en el anexo A de G.650.1. La distancia medida por el OTDR fue utilizada para la configuración del medidor de CD ya que también es un parámetro requerido.

Cabe mencionar que las redes actuales de transporte de larga distancia utilizan longitudes de onda conforme a las redes DWDM.

#### 3.2.2.1 ENLACE DEL SITIO A – SITIO B

##### Fibra 1

##### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	68.74
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1612
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.39. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 1.

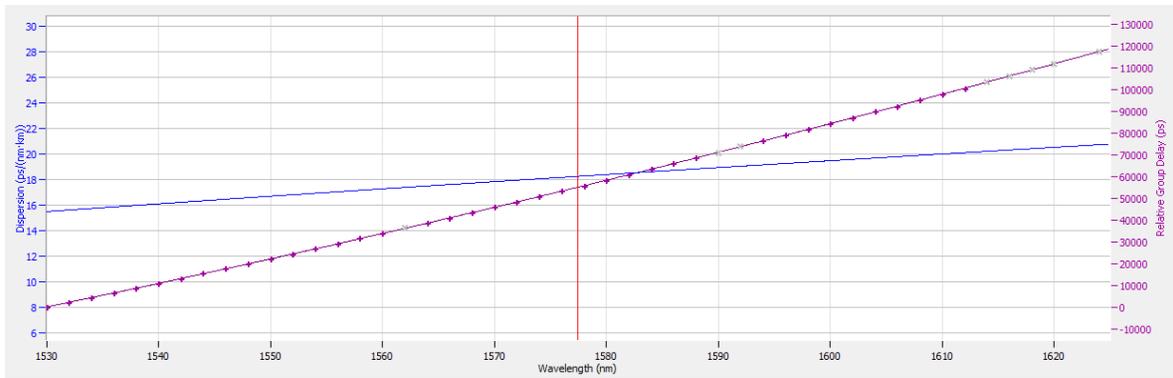


Figura 3.18. Gráfica correspondiente a CD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 1.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm-km)]
1530	0	43,135	43,135	1064,586	15,487
1532	2212,55	2180,525	32,025	1072,799	15,607
1534	4332,94	4334,315	1,371	1080,986	15,726
1536	6554,06	6504,453	49,605	1089,147	15,844
1538	8682,58	8690,885	8,309	1097,281	15,963
1540	10891,88	10893,559	1,675	1105,389	16,081
1542	13096,2	13112,424	16,221	1113,471	16,198
1544	15361,26	15347,427	13,828	1121,528	16,316
1546	17570,06	17598,517	28,457	1129,558	16,432
1548	19876,09	19865,644	10,442	1137,564	16,549
1550	22150,84	22148,755	2,08	1145,544	16,665
1552	24449,35	24447,801	1,549	1153,499	16,781
1554	26745,67	26762,733	17,06	1161,428	16,896
1556	29097,98	29093,499	4,485	1169,334	17,011
1558	31475,88	31440,051	35,83	1177,214	17,126
1560	33779,61	33802,339	22,727	1185,07	17,24
1564	38573,06	38573,93	0,871	1200,709	17,467
1566	40961,72	40983,136	21,412	1208,493	17,581
1568	43433,37	43407,886	25,488	1216,252	17,694
1570	45863,69	45848,13	15,561	1223,988	17,806
1572	48274,14	48303,823	29,686	1231,701	17,918
1574	50782,13	50774,918	7,216	1239,39	18,03
1576	53242,15	53261,367	19,214	1247,055	18,142
1578	55806,3	55763,124	43,175	1254,698	18,253
1580	58286,43	58280,144	6,285	1262,318	18,364
1582	60784,69	60812,38	27,694	1269,914	18,474

1584	63378,17	63359,786	18,385	1277,489	18,584
1586	65905,02	65922,319	17,301	1285,04	18,694
1588	68477,64	68499,932	22,296	1292,569	18,804
1594	76312,68	76322,81	10,134	1315,024	19,13
1596	78982,67	78960,303	22,368	1322,465	19,239
1598	81643,83	81612,655	31,174	1329,884	19,347
1600	84265,07	84279,825	14,75	1337,282	19,454
1602	86960,17	86961,768	1,597	1344,658	19,562
1604	89757,18	89658,443	98,738	1352,013	19,669
1606	92296,04	92369,807	73,769	1359,347	19,775
1608	95048,58	95095,817	47,234	1366,66	19,882
1610	97784,81	97836,432	51,625	1373,952	19,988
1612	100576,26	100591,61	15,347	1381,223	20,093

Tabla 3.40. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 1. Función de RGD:  $-2.81447e^6 + 0.775112 x^2 + 2.34102e^{12} x^{-2}$  Error: 33.57 [ps].

### Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	68.74
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1612
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.41. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 1.

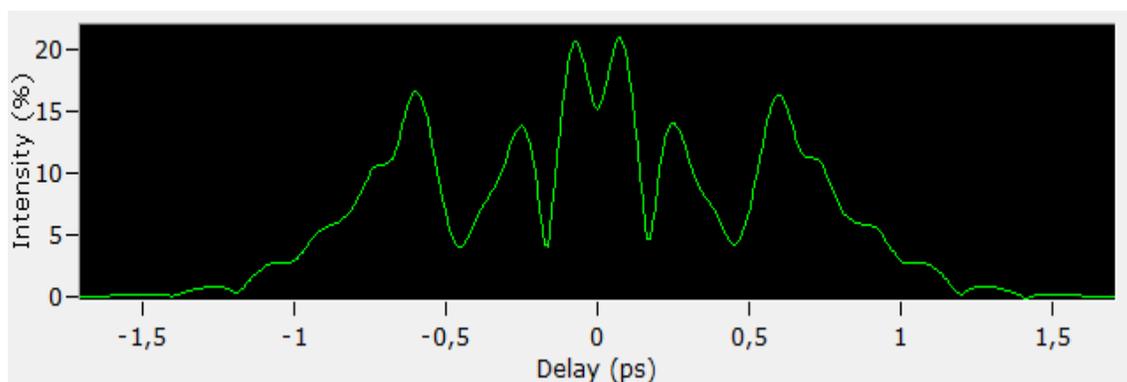


Figura 3.19. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 1. PMD: 0.573 [ps]. Coeficiente de PMD: 0.0691 [ps/√km]. PMD de segundo orden: 0.1463 [ps/nm] (0.1895 [ps<sup>2</sup>]). Segundo coeficiente de PMD 0.0021 [ps/nm.km] (0.0028 [ps<sup>2</sup>km]).

Máximo y mínimo ensanchamiento [ps]	0,567 / 0,573
Ensanchamiento promedio [ps]	0.571
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/√km]	0,068 / 0,07
Coeficiente PMD [ps/√km]	0,069

Tabla 3.42. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 1.

## Fibra 2

### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	68.7864
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1612
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.43. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 2.

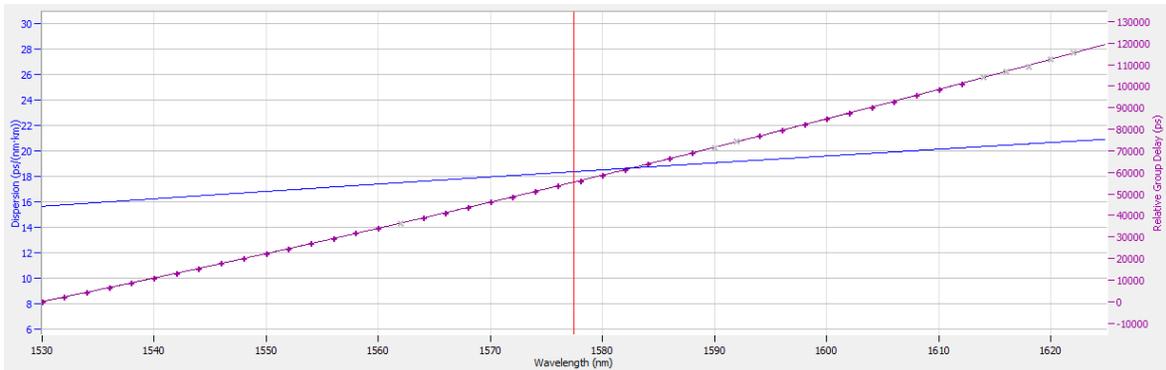


Figura 3.20. Gráfica correspondiente a CD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 2.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	0,352	0,352	1073,295	15,614
1532	2129,92	2155,136	25,216	1081,484	15,733
1534	4350,71	4326,271	24,435	1089,647	15,852

1536	6505,72	6513,705	7,983	1097,783	15,97
1538	8744,53	8717,386	27,144	1105,893	16,088
1540	10967,81	10937,26	30,552	1113,977	16,206
1542	13174,03	13173,277	0,75	1122,035	16,323
1544	15429,16	15425,385	3,78	1130,068	16,44
1546	17663,18	17693,532	30,354	1138,075	16,556
1548	19973,94	19977,669	3,726	1146,057	16,672
1550	22254,91	22277,744	22,831	1154,014	16,788
1552	24600,97	24593,707	7,264	1161,945	16,903
1554	26887,8	26925,509	37,705	1169,852	17,019
1556	29310,61	29273,1	37,511	1177,735	17,133
1558	31678,67	31636,431	42,242	1185,592	17,247
1560	33997,65	34015,453	17,8	1193,426	17,361
1564	38807,8	38820,375	12,578	1209,02	17,588
1566	41246,5	41246,18	0,322	1216,781	17,701
1568	43700,28	43687,484	12,794	1224,519	17,814
1570	46131,55	46144,239	12,689	1232,232	17,926
1572	48639,24	48616,398	22,845	1239,923	18,038
1574	51076,86	51103,915	27,053	1247,59	18,149
1576	53602,01	53606,743	4,732	1255,234	18,261
1578	56130,93	56124,836	6,092	1262,855	18,371
1580	58632,05	58658,148	26,096	1270,453	18,482
1582	61163,61	61206,634	43,02	1278,029	18,592
1584	63821,94	63770,248	51,694	1285,582	18,702
1586	66332,69	66348,946	16,253	1293,112	18,812
1588	68984,54	68942,682	41,861	1300,62	18,921
1594	76862,31	76813,681	48,625	1323,013	19,247
1596	79462,24	79467,131	4,894	1330,433	19,355
1598	82187,51	82135,4	52,112	1337,832	19,462
1600	84812,91	84818,446	5,536	1345,21	19,57
1602	87490,94	87516,225	25,284	1352,566	19,677
1604	90192,44	90228,696	36,257	1359,901	19,783
1606	92948,83	92955,815	6,981	1367,215	19,89
1608	95643,04	95697,541	54,497	1374,508	19,996
1610	98356,39	98453,832	97,443	1381,78	20,102
1612	101203,91	101224,647	20,735	1389,031	20,207

Tabla 3.44. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 2.Función de RGD: -  
 $2.81064e^6 + 0.775708x^2 + 2.32869e^{12}x^{-2}$ . Error: 40.248 [ps]

## Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	68.7864
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1612
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.45. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 2.

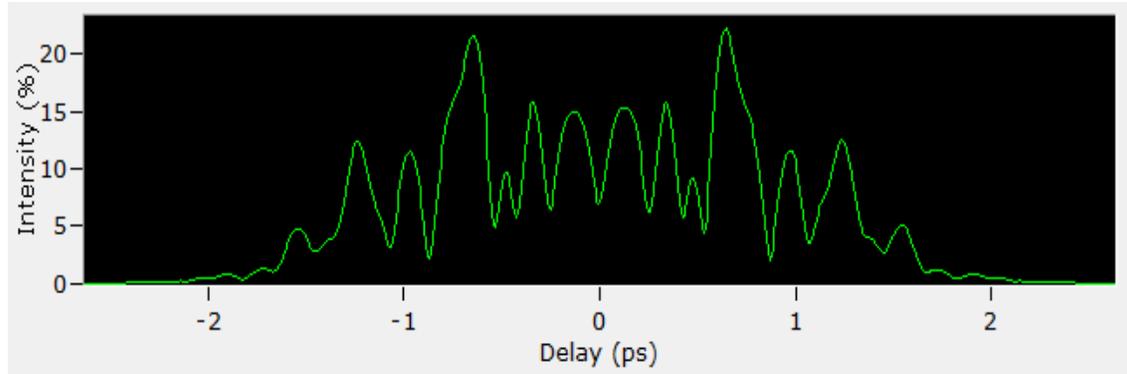


Figura 3.21. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 2. PMD: 0.876 [ps]. Coeficiente de PMD: 0.1057 [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]. PMD de segundo orden: 0.3429 [ps/nm] (0.4431 [ps<sup>2</sup>]). Segundo coeficiente de PMD 0.005 [ps/nm.km] (0.0064 [ps<sup>2</sup>km]).

Máximo y mínimo ensanchamiento [ps]	0,832 / 0,876
Ensanchamiento promedio [ps]	0.855
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]	0,1 / 0,106
Coeficiente PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]	0,103

Tabla 3.46. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 2.

### 3.2.2.2 ENLACE DEL SITIO B – SITIO C

#### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	34.64
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1610
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.47 Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio B-sitio C. Fibra 1.

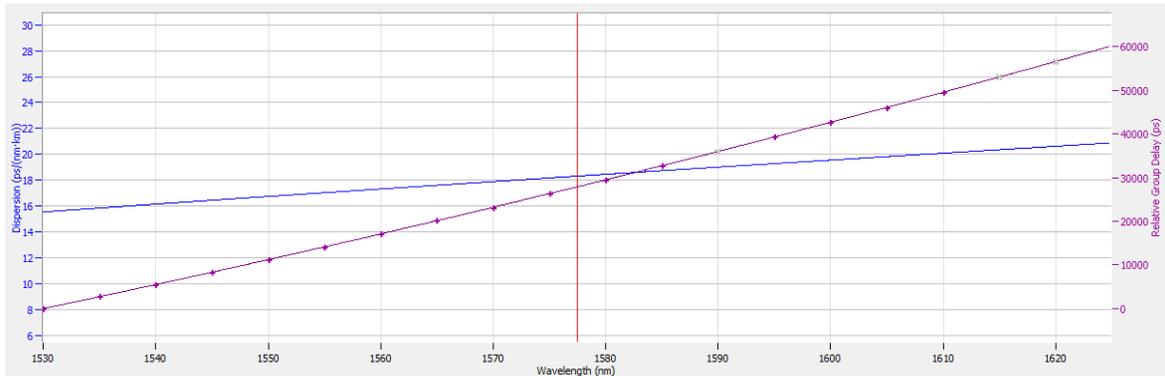


Figura 3.22. Gráfica correspondiente a CD (1530-1610 [nm]) del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 1.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	12,24	12,24	538,937	15,558
1535	2721,75	2732,94	11,193	549,329	15,858
1540	5504,78	5505,394	0,612	559,638	16,156
1545	8322,32	8329,187	6,862	569,865	16,451
1550	11213,89	11203,911	9,981	580,011	16,744
1555	14136,48	14129,164	7,32	590,077	17,035
1560	17095,52	17104,55	9,027	600,065	17,323
1565	20135,79	20129,682	6,111	609,975	17,609
1570	23199,18	23204,175	4,998	619,81	17,893
1575	26329,13	26327,654	1,472	629,569	18,175
1580	29496,08	29499,747	3,665	639,256	18,454
1585	32710,52	32720,09	9,573	648,869	18,732
1595	39308,28	39304,093	4,191	667,884	19,281
1600	42669,41	42667,052	2,362	677,288	19,552
1605	46081,24	46076,857	4,383	686,623	19,822
1610	49543,04	49533,171	9,867	695,891	20,089

Tabla 3.48. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio B-sitio C. Fibra 1. Función RGD:  $-1.4275e^6 + 0.392968x^2 + 1.18827e^{12}x^{-2}$ . Error: 8.945 [ps]

### Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	34.64
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1624
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.49. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio B-sitio C. Fibra 1.

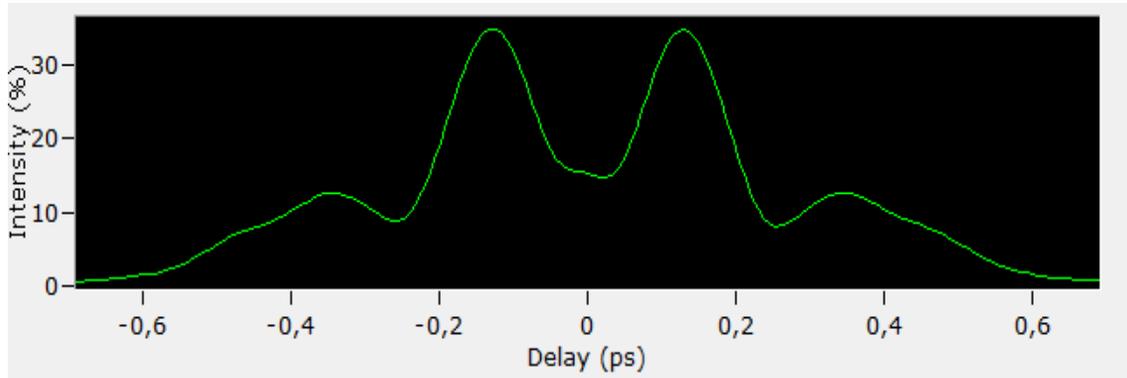


Figura 3.23. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1526-1624 [nm]) del enlace del sitio B-sitio C. Fibra 1. PMD: 0.230 [ps], Coeficiente de PMD: 0.039 [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ], PMD de segundo orden: 0.0236 [ps/nm] (0.0305 [ps<sup>2</sup>]), Segundo coeficiente de PMD: 0.0007 [ps/nm.km] (0.0009 [ps<sup>2</sup>km]).

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0,220/0,230
Ensamchamiento promedio [ps]	0.226
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]	0,037/ 0,039
Coeficiente PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]	0,038

Tabla 3.50. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio B-sitio C. Fibra 1.

## Fibra 2

### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	34.6405
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1610
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.51. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio B-sitio C. Fibra 2.

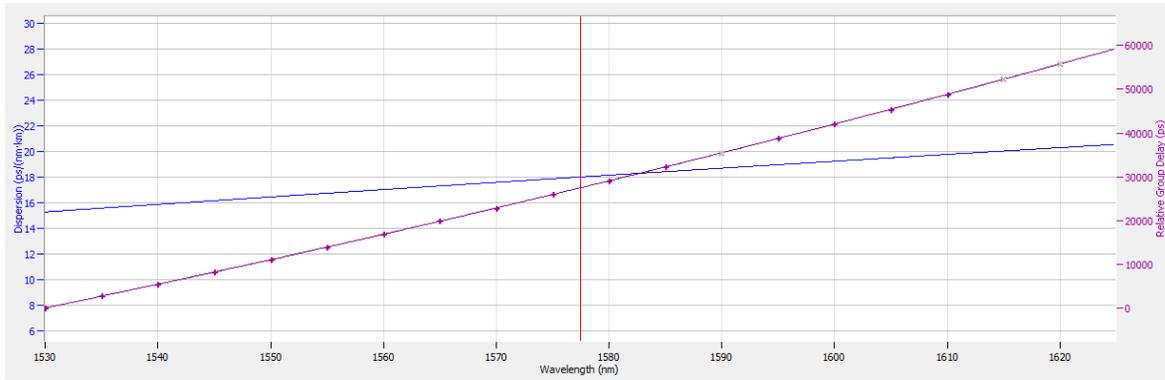


Figura 3.24. Gráfica correspondiente a CD (1530-1610 [nm]) del enlace del sitio A-sitio B. Fibra 2.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	12,4	12,4	530,361	15,311
1535	2679,88	2689,989	10,106	540,66	15,608
1540	5415,75	5418,866	3,118	550,877	15,903
1545	8192,18	8198,618	6,441	561,011	16,195
1550	11039,04	11028,841	10,195	571,065	16,486
1555	13916,24	13909,135	7,102	581,04	16,774
1560	16827,72	16839,109	11,388	590,937	17,059
1565	19827,37	19818,377	8,989	600,757	17,343
1570	22842,23	22846,558	4,326	610,503	17,624
1575	25924,36	25923,279	1,076	620,174	17,903
1580	29039,77	29048,172	8,404	629,772	18,18
1585	32211,13	32220,874	9,741	639,298	18,455
1595	38706,07	38708,288	2,221	658,139	18,999
1600	42029,17	42022,303	6,865	667,456	19,268
1605	45390,07	45382,735	7,335	676,706	19,535
1610	48804,85	48789,249	15,597	685,889	19,8

Tabla 3.52. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio B-sitio C. Fibra 2. Función RGD: -  $1.41322e^6+0.388517x^2+1.17924e^{12}x^{-2}$ . Error: 9.797 [ps]

### Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	34.6405
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1624
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.53. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio B-sitio C. Fibra 2.

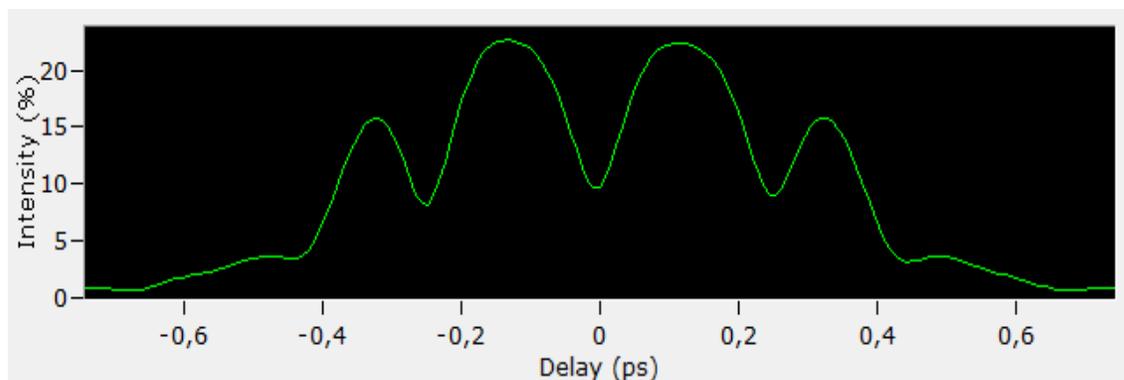


Figura 3.25. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1530-1624 [nm]) del enlace del sitio B-sitio C. Fibra 2. PMD: 0.247 [ps], Coeficiente de PMD: 0.0421 [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ], PMD de segundo orden: 0.0274 [ps/nm] (0.0354 [ps<sup>2</sup>]), Segundo coeficiente de PMD: 0.0008 [ps/nm.km] (0.001 ps<sup>2</sup>km).

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0,237/0,247
Ensamamiento promedio [ps]	0,242
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]	0,04/ 0,042
Coeficiente PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]	0,041

Tabla 3.54. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio B-sitio C. Fibra 2.

### 3.2.2.3 ENLACE DEL SITIO C– SITIO D

#### Fibra 1

#### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	117.461
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1610
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.55. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 1.

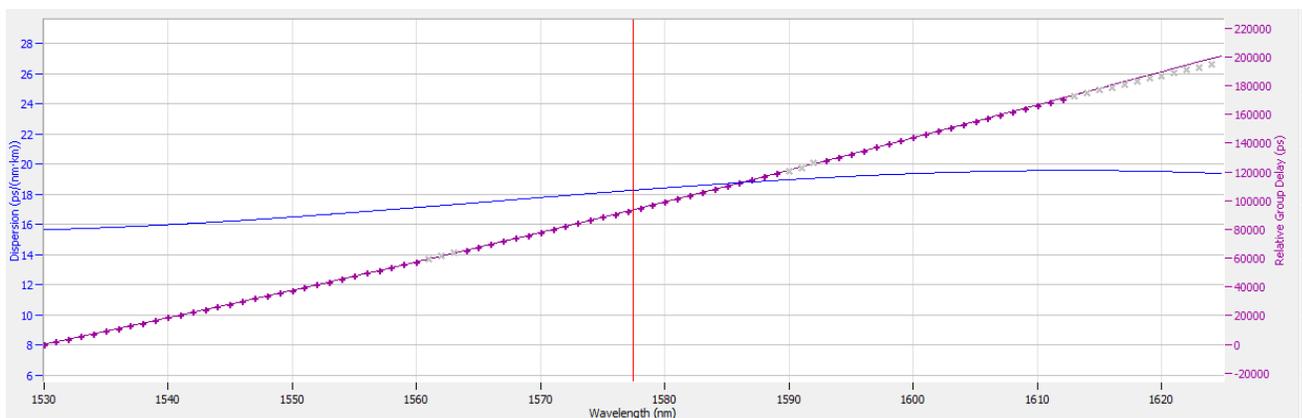


Figura 3.26. Gráfica correspondiente a CD (1530-1610 [nm]) del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 1.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	106,824	106,824	1796,328	15,293
1531	1815,07	1906,926	91,859	1803,874	15,357
1532	3662,4	3714,568	52,165	1811,407	15,421
1533	5504,59	5529,736	25,142	1818,928	15,485
1534	7324,77	7352,42	27,649	1826,436	15,549
1535	9166,4	9182,605	16,208	1833,932	15,613
1536	10979,81	11020,28	40,474	1841,416	15,677
1537	12846,42	12865,433	19,01	1848,888	15,74
1538	14715,88	14718,052	2,172	1856,347	15,804
1539	16603,48	16578,123	25,355	1863,794	15,867
1540	18452,47	18445,636	6,83	1871,229	15,931
1541	20335,39	20320,577	14,809	1878,652	15,994
1542	22227	22202,935	24,066	1886,063	16,057
1543	24091,8	24092,698	0,903	1893,461	16,12
1544	26017,11	25989,854	27,255	1900,848	16,183
1545	27916,31	27894,39	21,92	1908,223	16,246
1546	29794,96	29806,296	11,336	1915,586	16,308
1547	31752,68	31725,558	27,125	1922,937	16,371
1548	33653,34	33652,165	1,175	1930,276	16,433
1549	35597,89	35586,106	11,787	1937,603	16,496
1550	37563,56	37527,368	36,193	1944,919	16,558
1551	39486,6	39475,94	10,663	1952,223	16,62
1552	41442,43	41431,81	10,617	1959,515	16,682
1553	43436,55	43394,966	41,58	1966,796	16,744
1554	45335,52	45365,397	29,875	1974,065	16,806
1555	47321,92	47343,092	21,168	1981,322	16,868

1556	49357,86	49328,038	29,82	1988,568	16,93
1557	51274,55	51320,224	45,67	1995,802	16,991
1558	53306,26	53319,638	13,381	2003,025	17,053
1559	55359,8	55326,27	33,526	2010,237	17,114
1560	57270,03	57340,108	70,081	2017,437	17,175
1564	65437,88	65467,29	29,411	2046,124	17,42
1565	67507,69	67516,987	9,293	2053,268	17,48
1566	69554,61	69573,822	19,214	2060,401	17,541
1567	71645,5	71637,785	7,712	2067,522	17,602
1568	73715,08	73708,863	6,216	2074,632	17,662
1569	75797,94	75787,045	10,893	2081,732	17,723
1570	77877,41	77872,322	5,091	2088,82	17,783
1571	79929,71	79964,681	34,974	2095,897	17,843
1572	82079,23	82064,113	15,12	2102,963	17,904
1573	84158,22	84170,604	12,381	2110,019	17,964
1574	86237,25	86284,146	46,9	2117,063	18,024
1575	88425,05	88404,727	20,325	2124,097	18,083
1576	90485,8	90532,336	46,533	2131,12	18,143
1577	92636,38	92666,963	30,585	2138,132	18,203
1578	94819,34	94808,596	10,742	2145,133	18,263
1579	96876,54	96957,226	80,683	2152,124	18,322
1580	99062,61	99112,84	50,235	2159,103	18,381
1581	101273,28	101275,429	2,149	2166,073	18,441
1582	103388,1	103444,982	56,885	2173,031	18,5
1583	105626,48	105621,488	4,987	2179,979	18,559
1584	107819,75	107804,937	14,818	2186,917	18,618
1585	109987,84	109995,318	7,48	2193,844	18,677
1586	112231,37	112192,621	38,753	2200,76	18,736
1587	114424,74	114396,836	27,905	2207,666	18,795
1588	116667,5	116607,951	59,553	2214,562	18,854
1589	118870,89	118825,956	44,937	2221,447	18,912
1593	127913,88	127766,676	147,203	2248,885	19,146
1594	130190,48	130018,979	171,496	2255,719	19,204
1595	132415,92	132278,111	137,808	2262,543	19,262
1596	134685,83	134544,061	141,77	2269,356	19,32
1597	137006,33	136816,819	189,515	2276,159	19,378
1598	139218,34	139096,376	121,967	2282,953	19,436
1599	141561,58	141382,722	178,86	2289,736	19,494
1600	143773,14	143675,845	97,298	2296,509	19,551
1601	146092,22	145975,736	116,487	2303,272	19,609
1602	148337,47	148282,386	55,079	2310,025	19,666

1603	150585,74	150595,784	10,046	2316,769	19,724
1604	152915,16	152915,92	0,762	2323,502	19,781
1605	155115,76	155242,785	127,027	2330,226	19,838
1606	157403,65	157576,368	172,715	2336,939	19,895
1607	159633,37	159916,66	283,29	2343,643	19,953
1608	161855,49	162263,651	408,162	2350,337	20,01
1609	164024,54	164617,331	592,792	2357,021	20,066
1610	166243,55	166977,691	734,14	2363,696	20,123
1611	168446,68	169344,72	898,04	2370,361	20,18
1612	170554,96	171718,409	1163,451	2377,016	20,237

Tabla 3.56. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 1. Función RGD:  $-5.10656e^6+1.38427x^2+4.36867e^{12}x^{-2}$ . Error: 91.927 [ps]

### Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	117.461
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1527-1620
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.57. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 1.

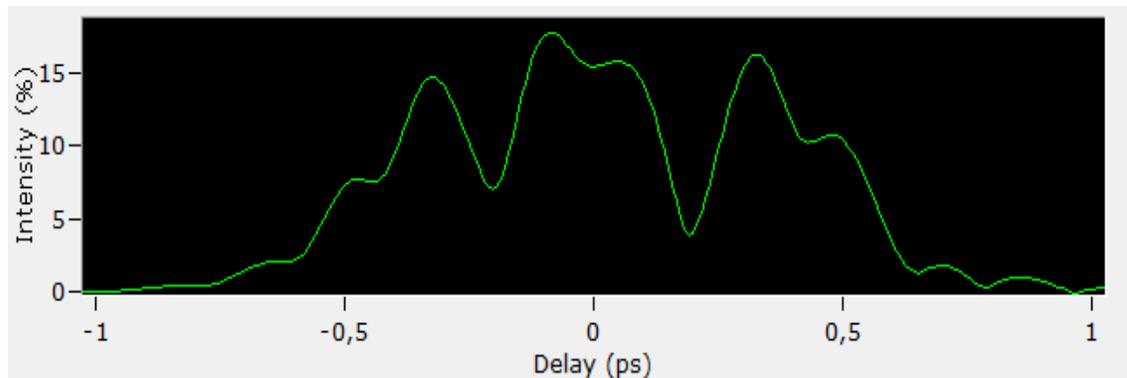


Figura 3.27. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1527-1620 [nm]) del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 1. PMD: 0.342 [ps], Coeficiente de PMD: 0.0316 [ps/km<sup>0.5</sup>], PMD de segundo orden: 0.0523 [ps/nm] (0.0676 [ps<sup>2</sup>]), Segundo coeficiente de PMD: 0.0004 [ps/nm\*km] (0.0006 [ps<sup>2</sup>km]).

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0,231/0,342
Ensanchamiento promedio [ps]	0.282
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/vkm]	0,021/ 0,032
Coficiente PMD [ps/vkm]	0,026

Tabla 3.58. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 1.

## Fibra 2

### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	117.2107
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1610
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.59. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 2.

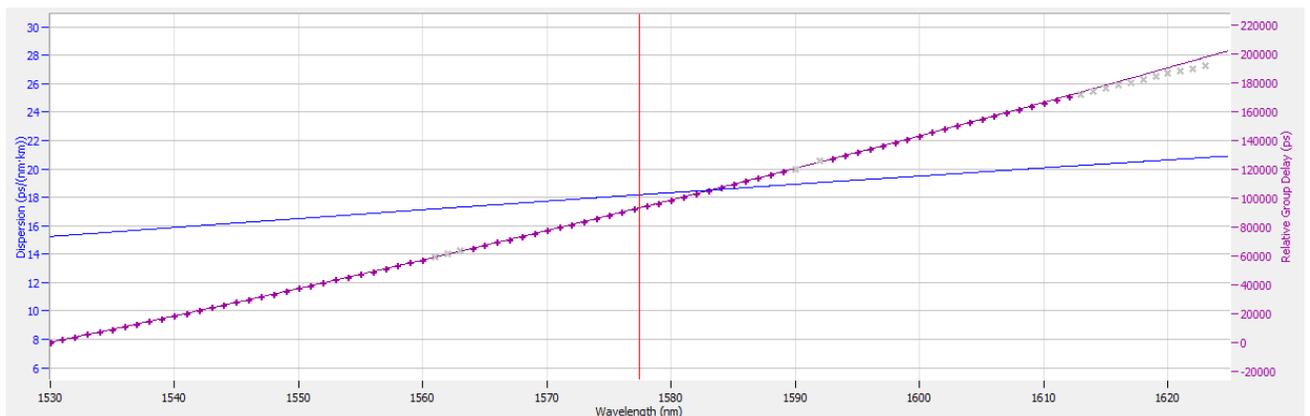


Figura 3.28. Gráfica correspondiente a CD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 2.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion ps/nm	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	73,06	73,06	1790,269	15,241
1531	1741,92	1867,105	125,18	1797,819	15,306
1532	3621,5	3668,693	47,193	1805,355	15,37
1533	5468,03	5477,811	9,778	1812,88	15,434
1534	7283,71	7294,448	10,738	1820,392	15,498
1535	9067,59	9118,59	51,005	1827,891	15,562
1536	10926,66	10950,226	23,567	1835,378	15,625
1537	12745,86	12789,343	43,487	1842,853	15,689
1538	14604,83	14635,929	31,098	1850,316	15,753
1539	16508,91	16489,971	18,936	1857,767	15,816
1540	18343,66	18351,458	7,795	1865,205	15,879
1541	20231,78	20220,377	11,404	1872,631	15,943
1542	22098,03	22096,716	1,312	1880,046	16,006
1543	23975,62	23980,464	4,846	1887,448	16,069
1544	25920,44	25871,608	48,833	1894,838	16,132
1545	27799,73	27770,136	29,595	1902,216	16,194
1546	29688,59	29676,036	12,559	1909,582	16,257
1547	31633,74	31589,296	44,448	1916,937	16,32
1548	33524,48	33509,905	14,578	1924,279	16,382
1549	35441,52	35437,851	3,671	1931,61	16,445
1550	37411,46	37373,121	38,342	1938,929	16,507
1551	39333,94	39315,704	18,238	1946,236	16,569
1552	41267,32	41265,589	1,728	1953,532	16,631
1553	43264,37	43222,764	41,61	1960,815	16,693
1554	45156,84	45187,216	30,376	1968,088	16,755
1555	47133,3	47158,935	25,64	1975,348	16,817
1556	49145,08	49137,909	7,172	1982,597	16,879
1557	51094,9	51124,126	29,224	1989,835	16,94
1558	53100,12	53117,575	17,458	1997,061	17,002
1559	55150,41	55118,244	32,163	2004,276	17,063
1560	57056,45	57126,123	69,675	2011,479	17,125
1564	65197,39	65229,499	32,114	2040,179	17,369
1565	67273,39	67273,253	0,136	2047,326	17,43
1566	69284,29	69324,147	39,856	2054,462	17,491
1567	71393,01	71382,172	10,834	2061,586	17,551
1568	73462,16	73447,316	14,842	2068,699	17,612
1569	75509,8	75519,567	9,763	2075,802	17,672
1570	77629,68	77598,916	30,764	2082,893	17,733
1571	79662,15	79685,35	23,195	2089,973	17,793
1572	81781,87	81778,859	3,014	2097,043	17,853

1573	83885,38	83879,432	5,943	2104,101	17,913
1574	85933,42	85987,057	53,634	2111,149	17,973
1575	88115,7	88101,725	13,971	2118,185	18,033
1576	90171,5	90223,424	51,921	2125,211	18,093
1577	92289,26	92352,144	62,88	2132,226	18,153
1578	94495,66	94487,873	7,789	2139,23	18,212
1579	96575,97	96630,6	54,63	2146,224	18,272
1580	98733,04	98780,316	47,272	2153,207	18,331
1581	100925,47	100937,01	11,542	2160,179	18,391
1582	103043,66	103100,67	57,011	2167,14	18,45
1583	105278,46	105271,287	7,174	2174,091	18,509
1584	107475,07	107448,849	26,217	2181,031	18,568
1585	109633,35	109633,346	0,008	2187,961	18,627
1586	111849,95	111824,768	25,181	2194,881	18,686
1587	114022,48	114023,104	0,62	2201,79	18,745
1588	116276,53	116228,344	48,187	2208,688	18,804
1589	118522,7	118440,477	82,22	2215,576	18,862
1593	127491,32	127357,734	133,59	2243,025	19,096
1594	129798,65	129604,178	194,47	2249,862	19,154
1595	131995,1	131857,453	137,651	2256,688	19,212
1596	134296,75	134117,55	179,203	2263,504	19,27
1597	136569,79	136384,458	185,335	2270,31	19,328
1598	138801,91	138658,167	143,741	2277,106	19,386
1599	141096,42	140938,667	157,754	2283,892	19,444
1600	143331,44	143225,948	105,494	2290,668	19,502
1601	145659,15	145520	139,154	2297,434	19,559
1602	147830,44	147820,812	9,63	2304,19	19,617
1603	150142,93	150128,376	14,558	2310,936	19,674
1604	152413,75	152442,68	28,927	2317,672	19,731
1605	154572,6	154763,715	191,12	2324,398	19,789
1606	156871,92	157091,472	219,555	2331,114	19,846
1607	159209,17	159425,94	216,773	2337,82	19,903
1608	161273,29	161767,109	493,816	2344,517	19,96
1609	163482,64	164114,97	632,332	2351,204	20,017
1610	165716,14	166469,514	753,371	2357,881	20,074
1611	167899,83	168830,729	930,897	2364,548	20,13
1612	170133,08	171198,607	1065,525	2371,206	20,187

Tabla 3.60. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 2.Función RGD: -  $5.10638e^6+1.38323x^2+4.37385e^{12}x^{-2}$ . Error: 97.399 [ps].

## Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	117.2107
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1527-1620
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.61. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 2.

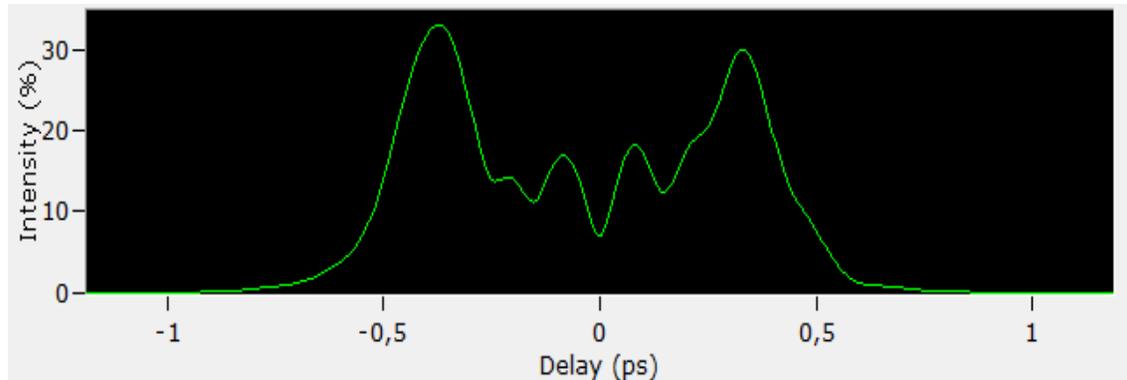


Figura 3.29. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1527-1620 [nm]) del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 2. PMD: 0.395 [ps], Coeficiente de PMD: 0.0364 [ps/km<sup>0.5</sup>], PMD de segundo orden: 0.0694 [ps/nm] (0.0901 [ps<sup>2</sup>]), Segundo coeficiente de PMD: 0.0006 [ps/nm\*km] (0.0008 [ps<sup>2</sup>km]).

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0,301/0,395
Ensamamiento promedio [ps]	0.338
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/vkm]	0,028/ 0,036
Coeficiente PMD [ps/vkm]	0,031

Tabla 3.62. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio C-sitio D. Fibra 2.

### 3.2.2.4 ENLACE DEL SITIO D- SITIO E

#### Fibra 1

#### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	69.835
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1612
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.63. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 1.

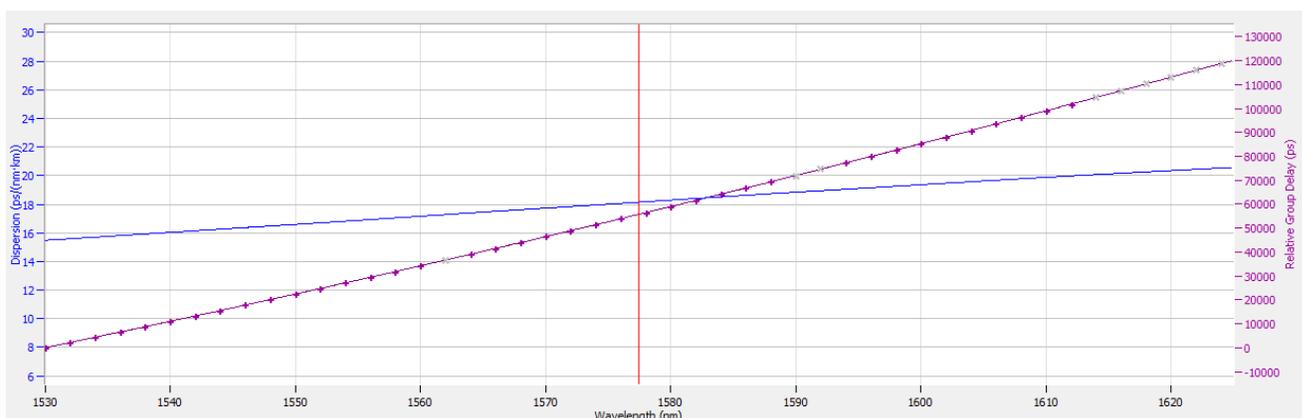


Figura 3.30. Gráfica correspondiente a CD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 1.

Wavelength (nm)	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	18,814	18,814	1077,7	15,432
1532	2172,21	2182,509	10,296	1085,99	15,551
1534	4357,29	4362,758	5,469	1094,254	15,669
1536	6554,75	6559,507	4,761	1102,491	15,787
1538	8773,5	8772,704	0,799	1110,702	15,905
1540	10998,51	11002,296	3,785	1118,886	16,022
1542	13253,64	13248,23	5,414	1127,044	16,139
1544	15511,81	15510,453	1,359	1135,176	16,255
1546	17780,9	17788,915	8,02	1143,282	16,371
1548	20087,67	20083,563	4,111	1151,362	16,487
1550	22412,64	22394,347	18,293	1159,417	16,602
1552	24721,26	24721,215	0,046	1167,447	16,717
1554	27054,31	27064,117	9,802	1175,451	16,832
1556	29440,51	29423,003	17,508	1183,431	16,946
1558	31801,84	31797,823	4,013	1191,385	17,06
1560	34161,8	34188,528	26,728	1199,315	17,174
1564	39022,81	39017,393	5,416	1215,101	17,4
1566	41451,4	41455,456	4,055	1222,958	17,512
1568	43921,12	43909,209	11,909	1230,791	17,624
1570	46381,11	46378,603	2,504	1238,599	17,736
1572	48872,58	48863,591	8,993	1246,384	17,848
1574	51351,64	51364,125	12,486	1254,146	17,959
1576	53863,73	53880,158	16,426	1261,884	18,07

1578	56423,81	56411,644	12,164	1269,598	18,18
1580	58953,05	58958,535	5,487	1277,29	18,29
1582	61490,79	61520,787	29,995	1284,958	18,4
1584	64107,75	64098,352	9,398	1292,603	18,509
1586	66690,93	66691,185	0,257	1300,226	18,619
1588	69301,41	69299,242	2,17	1307,826	18,727
1594	77238,44	77214,299	24,14	1330,493	19,052
1596	79897,15	79882,799	14,356	1338,004	19,16
1598	82560,45	82566,3	5,853	1345,493	19,267
1600	85262,44	85264,757	2,317	1352,961	19,374
1602	87984,57	87978,128	6,441	1360,407	19,48
1604	90713,84	90706,37	7,471	1367,831	19,587
1606	93454,82	93449,438	5,38	1375,234	19,693
1608	96190,11	96207,292	17,186	1382,616	19,798
1610	98959,66	98979,889	20,23	1389,977	19,904
1612	101758,77	101767,186	8,417	1397,317	20,009

Tabla 3.64. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 1. Función RGD:  $-2.84207e^6+0.783145x^2+2.36156e^{12}x^{-2}$ . Error: 16.771 [ps]

### Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	69.835
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1526-1622
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.65. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 1.

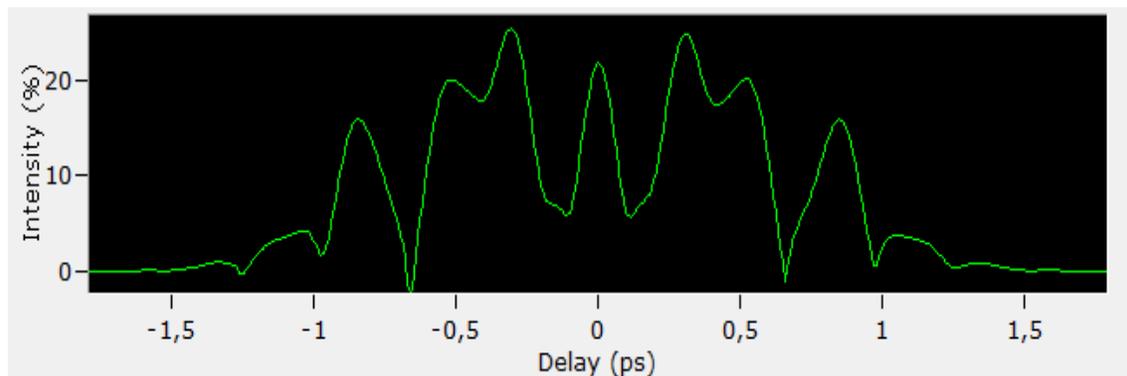


Figura 3.31. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1526-1622 [nm]) del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 1 PMD: 0.595 [ps], Coeficiente de PMD: 0.0712 [ps/km<sup>0.5</sup>], PMD de segundo orden: 0.1580 [ps/nm] (0.2046 [ps<sup>2</sup>]), Segundo coeficiente de PMD: 0.0023 [ps/nm\*km] (0.0029 [ps<sup>2</sup>km]).

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0,583/0,595
Ensanchamiento promedio [ps]	0.59
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/vkm]	0,07/ 0,071
Coeficiente PMD [ps/vkm]	0,0706

Tabla 3.66. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 1.

## Fibra 2

### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	69.7685
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1612
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.67. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 2.

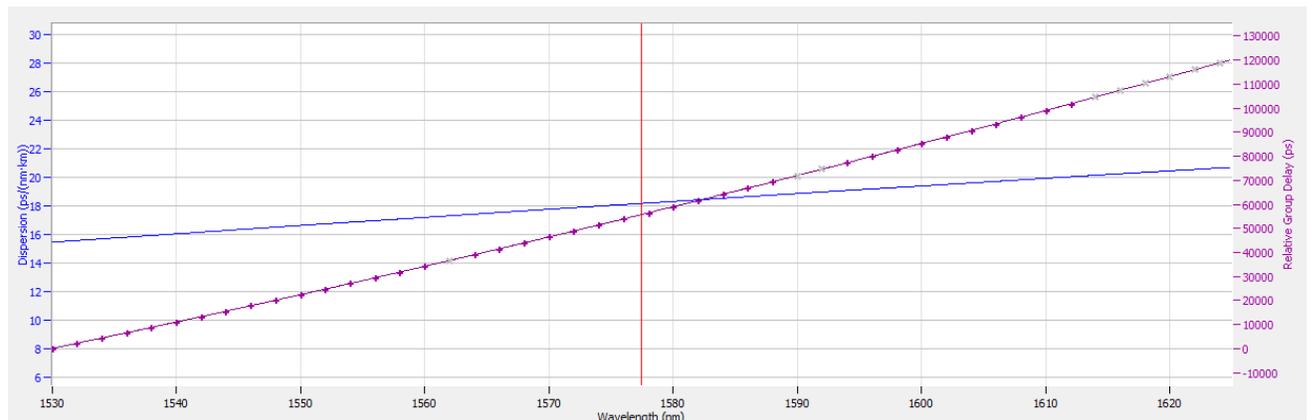


Figura 3.32. Gráfica correspondiente a CD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 2.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	16,538	16,538	1077,821	15,434
1532	2175,35	2180,47	5,122	1086,106	15,552
1534	4357,64	4360,946	3,305	1094,365	15,671
1536	6558,08	6557,913	0,165	1102,598	15,789
1538	8776,21	8771,319	4,887	1110,803	15,906
1540	10993,74	11001,109	7,37	1118,983	16,023

1542	13251,9	13247,233	4,671	1127,136	16,14
1544	15515,87	15509,637	6,234	1135,263	16,256
1546	17781,02	17788,269	7,252	1143,365	16,372
1548	20081,99	20083,079	1,094	1151,441	16,488
1550	22407,33	22394,015	13,311	1159,491	16,603
1552	24719,49	24721,026	1,536	1167,516	16,718
1554	27052,55	27064,062	11,514	1175,516	16,833
1556	29440,94	29423,073	17,862	1183,491	16,947
1558	31805,05	31798,009	7,037	1191,441	17,061
1560	34160,44	34188,819	28,381	1199,366	17,174
1564	39028,8	39017,871	10,926	1215,143	17,4
1566	41452,84	41456,014	3,172	1222,996	17,513
1568	43918,04	43909,837	8,2	1230,824	17,625
1570	46381,53	46379,293	2,238	1238,628	17,736
1572	48877,15	48864,334	12,812	1246,409	17,848
1574	51353,09	51364,912	11,827	1254,166	17,959
1576	53867,44	53880,98	13,545	1261,899	18,07
1578	56419,31	56412,492	6,82	1269,609	18,18
1580	58958,25	58959,402	1,155	1277,296	18,29
1582	61491,76	61521,662	29,898	1284,96	18,4
1584	64107,96	64099,228	8,736	1292,601	18,509
1586	66690,86	66692,053	1,197	1300,22	18,618
1588	69304,81	69300,092	4,713	1307,816	18,727
1594	77234,84	77215,048	19,794	1330,469	19,052
1596	79896,56	79883,497	13,065	1337,976	19,159
1598	82559,25	82566,938	7,686	1345,461	19,266
1600	85261,75	85265,328	3,579	1352,925	19,373
1602	87982,65	87978,623	4,023	1360,367	19,48
1604	90721,74	90706,78	14,959	1367,787	19,586
1606	93443,57	93449,756	6,188	1375,186	19,692
1608	96192,64	96207,509	14,867	1382,563	19,798
1610	98969,33	98979,996	10,666	1389,92	19,903
1612	101761,6	101767,175	5,579	1397,256	20,008

Tabla 3.68. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 2. Función RGD: -  $2.8407e^6+0.782875x^2+2.35986e^{12}x^{-2}$ . Error: 16.592 [ps]

## Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	69.7685
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1526-1622
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.69. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 2.

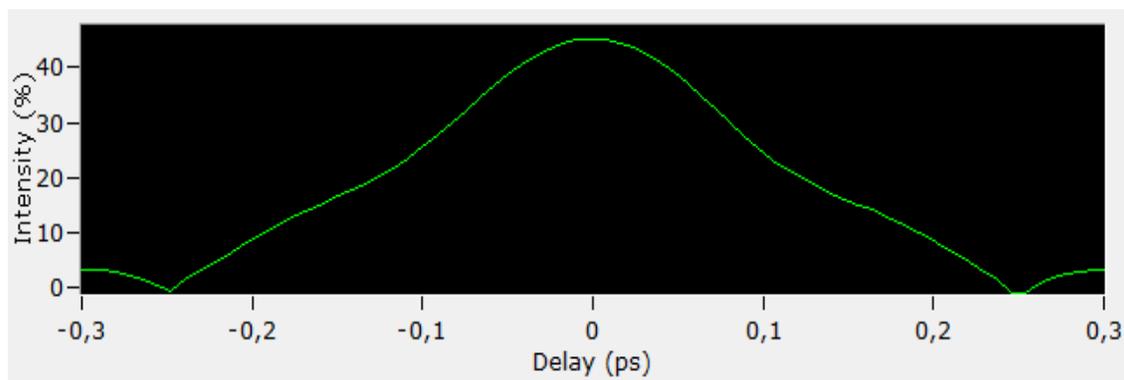


Figura 3.33. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1526-1622 [nm]) del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 2. PMD: 0.079 [ps], Coeficiente de PMD: 0.0094 [ps/km<sup>0.5</sup>], PMD de segundo orden: 0.0028 [ps/nm] (0.0036 [ps<sup>2</sup>]), Segundo coeficiente de PMD: 0 [ps/nm\*km] (0.0001 [ps<sup>2</sup>km]).

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0,064/0,079
Ensamamiento promedio [ps]	0.071
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/vkm]	0,008/ 0,009
Coeficiente PMD [ps/vkm]	0,008

Tabla 75. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio D-sitio E. Fibra 2.

### 3.2.2.5 ENLACE DEL SITIO E– SITIO F

#### Fibra 1

#### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	83.7544
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1612
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.70. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 1.

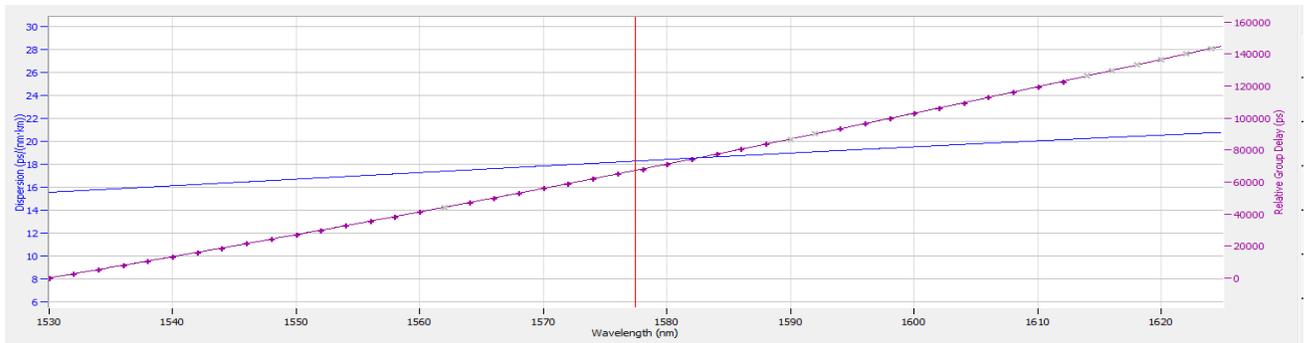


Figura 3.34. Gráfica correspondiente a CD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 1.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	14,33	14,33	1300,3	15,524
1532	2607,3	2625,023	17,722	1310,388	15,644
1534	5252,32	5255,86	3,536	1320,444	15,764
1536	7908,27	7906,777	1,496	1330,467	15,884
1538	10579,24	10577,707	1,529	1340,458	16,003
1540	13259,2	13268,587	9,39	1350,417	16,122
1542	15978,92	15979,353	0,432	1360,344	16,241
1544	18719,92	18709,94	9,978	1370,239	16,359
1546	21454,95	21460,287	5,335	1380,102	16,476
1548	24229,45	24230,329	0,88	1389,935	16,594
1550	27034,53	27020,005	14,529	1399,736	16,711
1552	29827,46	29829,253	1,789	1409,507	16,828
1554	32648,88	32658,011	9,13	1419,246	16,944
1556	35527,26	35506,218	21,045	1428,956	17,06
1558	38381,52	38373,813	7,706	1438,634	17,175
1560	41232,93	41260,736	27,805	1448,283	17,29
1564	47104,01	47092,325	11,683	1467,491	17,52
1566	50034,06	50036,872	2,809	1477,051	17,634
1568	53013,48	53000,509	12,966	1486,581	17,748
1570	55982,67	55983,178	0,508	1496,083	17,861
1572	58997,94	58984,82	13,116	1505,555	17,974
1574	61995,75	62005,377	9,631	1514,998	18,087
1576	65030,97	65044,793	13,828	1524,413	18,199
1578	68117,25	68103,01	14,243	1533,799	18,311
1580	71178,26	71179,971	1,708	1543,157	18,423
1582	74244	74275,621	31,624	1552,487	18,535
1584	77397,26	77389,903	7,362	1561,79	18,646

1586	80524,49	80522,761	1,732	1571,064	18,756
1588	83677,36	83674,141	3,216	1580,311	18,867
1594	93265,79	93238,86	26,932	1607,888	19,196
1596	96472,19	96463,78	8,411	1617,027	19,305
1598	99704,52	99706,95	2,429	1626,139	19,414
1600	102962,52	102968,316	5,792	1635,224	19,522
1602	106244,72	106247,827	3,109	1644,283	19,63
1604	109555,92	109545,43	10,494	1653,315	19,738
1606	112864,81	112861,072	3,734	1662,322	19,846
1608	116178,32	116194,701	16,385	1671,303	19,953
1610	119537,93	119546,266	8,337	1680,258	20,06
1612	122917,42	122915,716	1,7	1689,188	20,167

Tabla 3.71. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 1. Función de RGD:  $-3.45418e^6+0.95026x^2+2.87868e^{12}x^{-2}$ . Error: 16.14 [ps].

### Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	83.7544
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1526-1624
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.72. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 1.

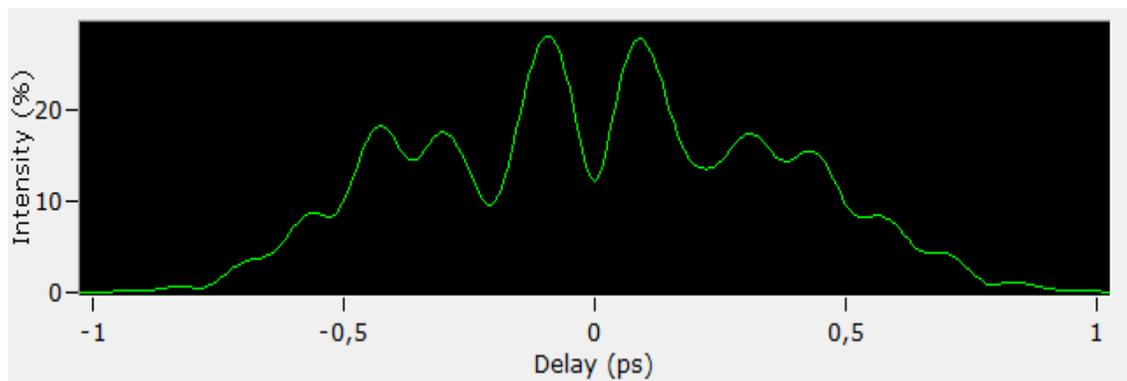


Figura 3.35. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1526-1624 [nm]) del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 2. PMD: 0.342 [ps], Coeficiente de PMD: 0.0374 [ps/√km], PMD de segundo orden: 0.0522 [ps/nm] (0.0676 [ps<sup>2</sup>]), Segundo coeficiente de PMD: 0.0006 [ps/nm\*km] (0.0008 [ps<sup>2</sup>km]).

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0,308/0,342
Ensanchamiento promedio [ps]	0.324
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/vkm]	0,034/ 0,037
Coeficiente PMD [ps/vkm]	0,035

Tabla 3.73. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 2.

## Fibra 2

### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	83.7595
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1612
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.74. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 2.

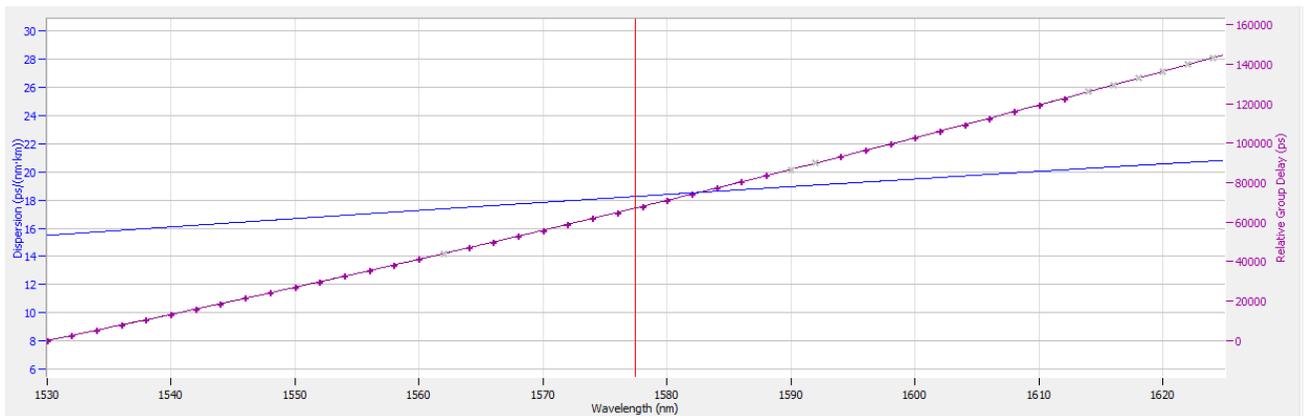


Figura 3.36. Gráfica correspondiente a CD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 2.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	14,025	14,025	1297,872	15,495
1532	2604,08	2619,861	15,784	1307,959	15,615
1534	5240,43	5245,838	5,413	1318,013	15,735

1536	7890,1	7891,891	1,788	1328,035	15,855
1538	10562,32	10557,956	4,369	1338,024	15,974
1540	13234,84	13243,966	9,126	1347,981	16,093
1542	15948,35	15949,86	1,511	1357,907	16,211
1544	18688,64	18675,572	13,072	1367,8	16,33
1546	21417,54	21421,04	3,504	1377,663	16,447
1548	24182,87	24186,201	3,336	1387,493	16,565
1550	26987,73	26970,993	16,738	1397,293	16,682
1552	29772,84	29775,353	2,513	1407,062	16,798
1554	32588,56	32599,22	10,664	1416,8	16,915
1556	35461,48	35442,533	18,944	1426,508	17,03
1558	38315,64	38305,231	10,412	1436,185	17,146
1560	41155,24	41187,254	32,012	1445,832	17,261
1564	47017,22	47009,033	8,19	1465,037	17,49
1566	49945,68	49948,671	2,986	1474,595	17,605
1568	52914,87	52907,395	7,47	1484,124	17,718
1570	55882,35	55885,148	2,801	1493,624	17,832
1572	58894,38	58881,871	12,51	1503,094	17,945
1574	61886,37	61897,506	11,141	1512,536	18,058
1576	64914,46	64931,996	17,538	1521,949	18,17
1578	68004,17	67985,284	18,882	1531,334	18,282
1580	71055,96	71057,313	1,353	1540,691	18,394
1582	74115,82	74148,028	32,203	1550,019	18,505
1584	77266	77257,371	8,629	1559,319	18,616
1586	80393,85	80385,287	8,566	1568,592	18,727
1588	83536,44	83531,721	4,715	1577,838	18,837
1594	93107,32	93081,585	25,73	1605,41	19,166
1596	96306,8	96301,546	5,25	1614,547	19,275
1598	99537,15	99539,754	2,6	1623,657	19,384
1600	102793,15	102796,155	3,01	1632,74	19,493
1602	106068,78	106070,697	1,919	1641,798	19,601
1604	109377,89	109363,328	14,56	1650,829	19,709
1606	112671,52	112673,994	2,472	1659,834	19,816
1608	115979,58	116002,645	23,067	1668,813	19,923
1610	119342,62	119349,228	6,605	1677,766	20,03
1612	122709,07	122713,692	4,627	1686,694	20,137

Tabla 3.75. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 2. Función de RGD: -  
 $3.45282e^6+0.949572x^2+2.87926e^{12}x^{-2}$ . Error: 17.291 [ps].

## Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	83.7595
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1526-1624
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.76 Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 2.

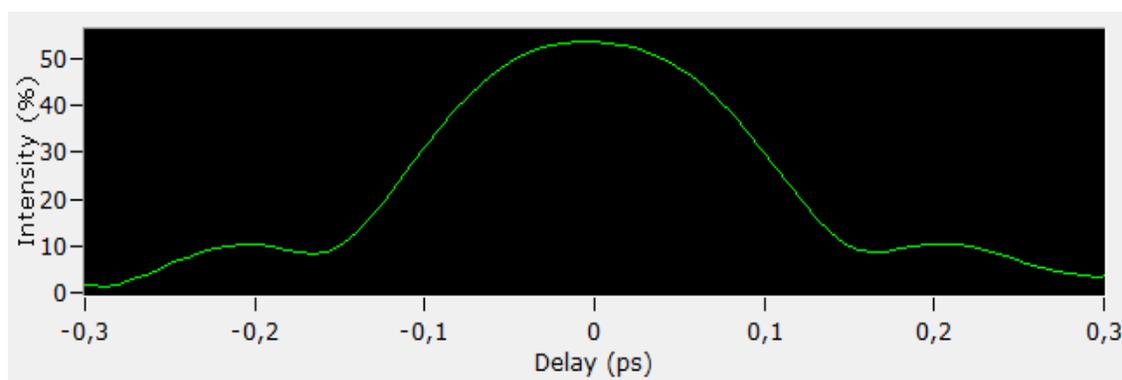


Figura 3.37. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1526-1624 [nm]) del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 2. PMD: 0.079 [ps], Coeficiente de PMD: 0.0087 [ps/√km], PMD de segundo orden: 0.0028 [ps/nm] (0.0036 [ps<sup>2</sup>]), Segundo coeficiente de PMD: 0 [ps/nmkm] (0 [ps<sup>2</sup>km]).

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0,067/0,079
Ensamamiento promedio [ps]	0.071
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/√km]	0,007/ 0,009
Coeficiente PMD [ps/√km]	0,008

Tabla 3.77. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio E-sitio F. Fibra 2.

### 3.2.2.6 ENLACE DEL SITIO F– SITIO G

#### Fibra 1

#### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	61.946
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1612
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.78. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 1.

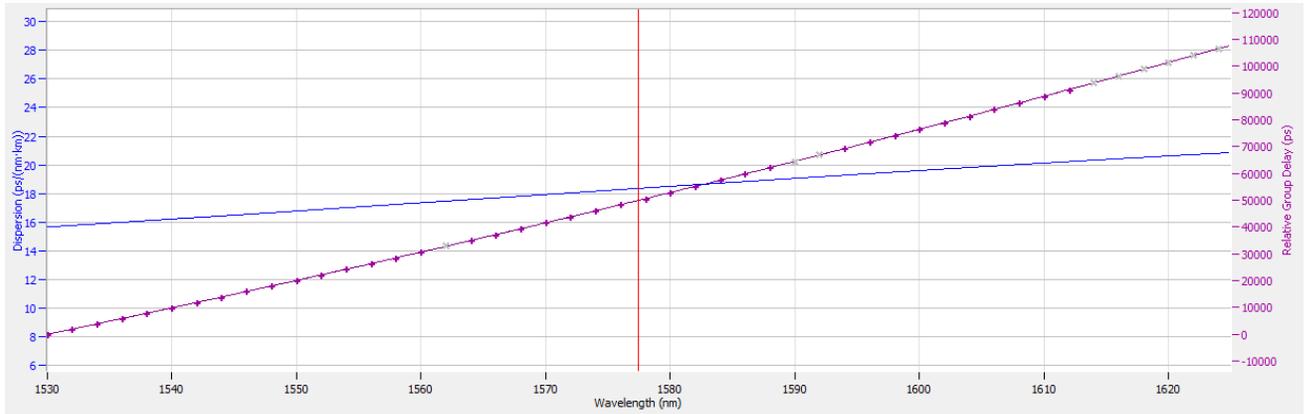


Figura 3.38. Gráfica correspondiente a CD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 1.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	10,997	10,997	966,186	15,597
1532	1944,35	1950,847	6,498	973,66	15,718
1534	3888,85	3905,619	16,768	981,108	15,838
1536	5874,41	5875,264	0,849	988,533	15,958
1538	7863,16	7859,735	3,428	995,934	16,077
1540	9860,53	9858,983	1,542	1003,311	16,197
1542	11881,31	11872,962	8,346	1010,664	16,315
1544	13896,95	13901,624	4,678	1017,994	16,434
1546	15943,75	15944,922	1,17	1025,301	16,552
1548	18006,74	18002,811	3,925	1032,584	16,669
1550	20100,28	20075,243	25,041	1039,844	16,786
1552	22164,81	22162,173	2,641	1047,082	16,903
1554	24239,13	24263,556	24,431	1054,297	17,02
1556	26407,84	26379,346	28,496	1061,489	17,136
1558	28520,58	28509,497	11,084	1068,659	17,251
1560	30643,05	30653,966	10,913	1075,806	17,367
1564	34980,35	34985,679	5,329	1090,035	17,597
1566	37178,53	37172,835	5,695	1097,117	17,711
1568	39388,74	39374,132	14,606	1104,177	17,825
1570	41596,73	41589,527	7,203	1111,215	17,938
1572	43807,8	43818,977	11,176	1118,232	18,052
1574	46058,9	46062,439	3,538	1125,227	18,165
1576	48308,94	48319,871	10,926	1132,201	18,277
1578	50610,89	50591,23	19,665	1139,155	18,389
1580	52866,22	52876,475	10,251	1146,087	18,501

1582	55144,3	55175,564	31,265	1152,999	18,613
1584	57495,5	57488,456	7,04	1159,889	18,724
1586	59819,6	59815,108	4,493	1166,76	18,835
1588	62154,82	62155,481	0,663	1173,61	18,946
1594	69278,08	69258,518	19,563	1194,039	19,275
1596	71667,67	71653,368	14,305	1200,809	19,385
1598	74047,48	74061,739	14,254	1207,559	19,494
1600	76486,74	76483,59	3,147	1214,289	19,602
1602	78913,57	78918,882	5,315	1221	19,711
1604	81385,44	81367,576	17,866	1227,691	19,819
1606	83822,17	83829,634	7,461	1234,363	19,926
1608	86300,36	86305,017	4,653	1241,016	20,034
1610	88783,61	88793,687	10,078	1247,65	20,141
1612	91306,74	91295,606	11,132	1254,266	20,248

Tabla 3.79. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 1. Función RGD:  $-2.55982e^6+0.704635x^2+2.1310e^{12}x^{-2}$  Error:15.889 [ps]

### Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	61.946
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1527-1626
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.80. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 1.

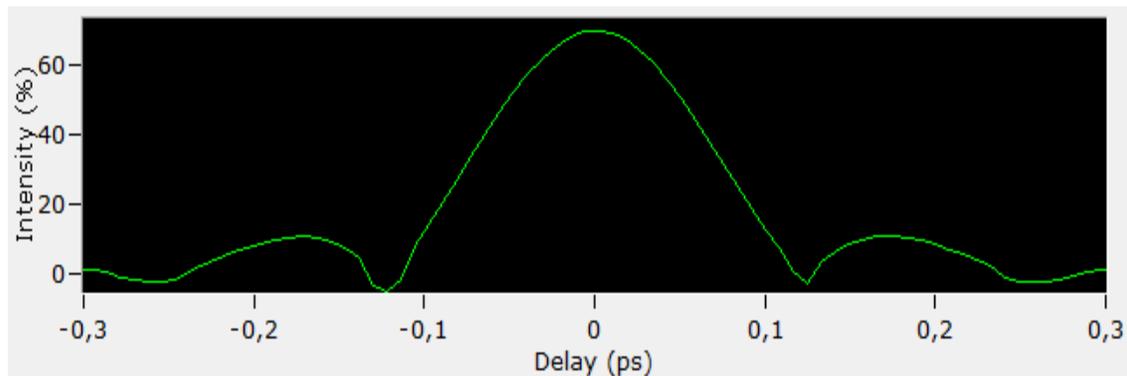


Figura 3.39. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1526-1624 [nm]) del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 1. PMD: 0.034 [ps], Coeficiente de PMD: 0.0043 [ps/√km], PMD de segundo orden: 0.0005 [ps/nm] (0.0007 ps<sup>2</sup>), Segundo coeficiente de PMD: 0 [ps/nm\*km] (0 ps<sup>2</sup>km).

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0,026/0,034
Ensanchamiento promedio [ps]	0.031
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/vkm]	0,003/ 0,004
Coefficiente PMD [ps/vkm]	0,004

Tabla 3.81. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 1.

## Fibra 2

### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	61.9461
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1612
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.82. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 2.

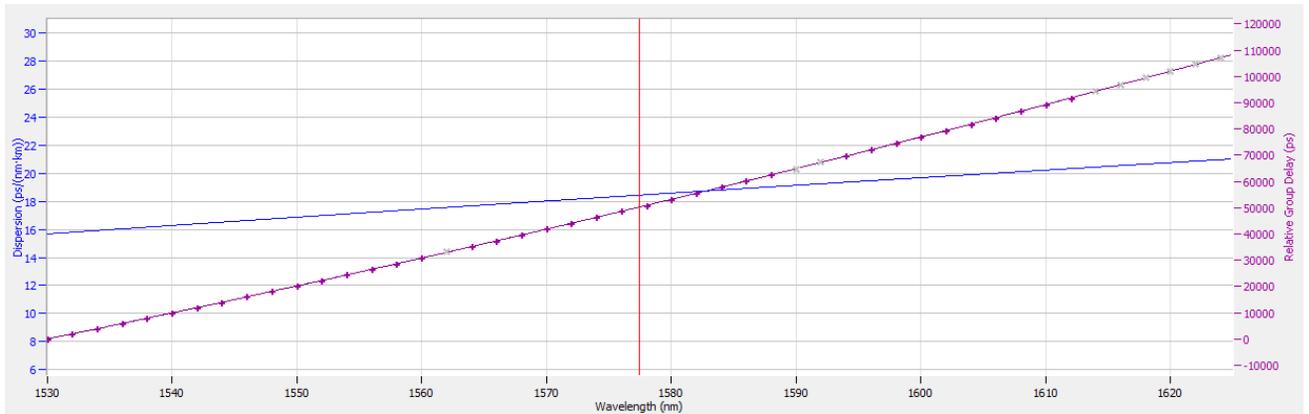


Figura 3.40. Gráfica correspondiente a CD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 2.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	10,911	10,911	971,575	15,684
1532	1960,31	1961,538	1,226	979,048	15,805
1534	3910,82	3927,087	16,263	986,497	15,925
1536	5904,58	5907,511	2,928	993,922	16,045
1538	7904,47	7902,761	1,705	1001,324	16,164

1540	9911,02	9912,789	1,767	1008,701	16,284
1542	11945,08	11937,549	7,53	1016,055	16,402
1544	13971,03	13976,992	5,959	1023,385	16,521
1546	16022,8	16031,073	8,277	1030,692	16,639
1548	18103,16	18099,746	3,419	1037,976	16,756
1550	20205,99	20182,962	23,028	1045,237	16,873
1552	22282,47	22280,678	1,794	1052,475	16,99
1554	24372,18	24392,848	20,664	1059,691	17,107
1556	26545,81	26519,425	26,39	1066,883	17,223
1558	28668,23	28660,366	7,868	1074,054	17,339
1560	30802,11	30815,626	13,513	1081,202	17,454
1564	35162,07	35168,923	6,858	1095,432	17,684
1566	37365,22	37366,873	1,649	1102,514	17,798
1568	39589,3	39578,966	10,337	1109,575	17,912
1570	41810,33	41805,159	5,169	1116,614	18,026
1572	44036,89	44045,408	8,513	1123,632	18,139
1574	46292,8	46299,671	6,873	1130,628	18,252
1576	48556,78	48567,905	11,126	1137,603	18,364
1578	50866,75	50850,069	16,681	1144,557	18,477
1580	53134,92	53146,12	11,203	1151,49	18,589
1582	55424,31	55456,016	31,708	1158,403	18,7
1584	57787,66	57779,717	7,939	1165,295	18,811
1586	60121,02	60117,181	3,836	1172,166	18,922
1588	62467,93	62468,367	0,434	1179,017	19,033
1594	69623,69	69603,855	19,835	1199,449	19,363
1596	72020,15	72009,527	10,627	1206,22	19,472
1598	74414,13	74428,721	14,59	1212,971	19,581
1600	76861,65	76861,398	0,254	1219,702	19,69
1602	79307,48	79307,518	0,04	1226,414	19,798
1604	81779,5	81767,042	12,46	1233,107	19,906
1606	84229,96	84239,933	9,976	1239,78	20,014
1608	86717,91	86726,151	8,24	1246,434	20,121
1610	89217,56	89225,658	8,095	1253,07	20,228
1612	91744,8	91738,417	6,378	1259,686	20,335

Tabla 3.83. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 2. Función RGD: -  
 $2.5619e^6+0.705973x^2+2.12872e^{12}x^{-2}$ . Error:15.318 [ps]

## Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	61.9461
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1526-1626
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.84. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 2.

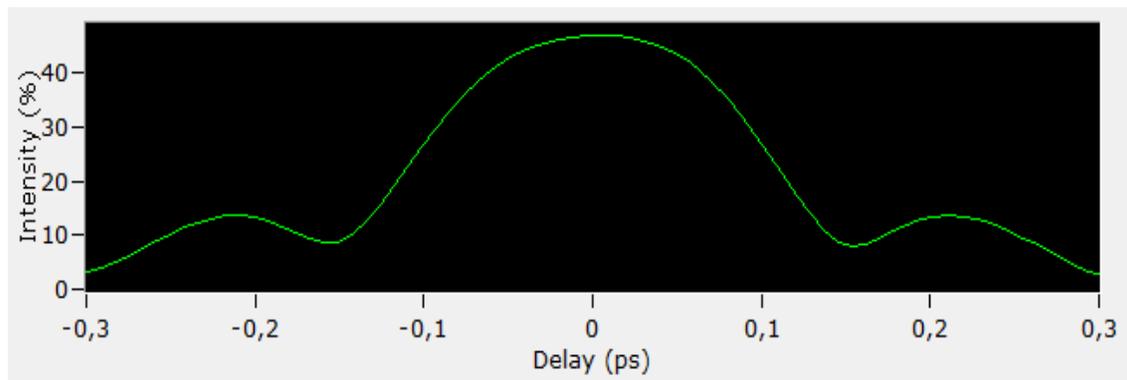


Figura 3.41. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1526-1624 [nm]) del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 2. PMD: 0.093[ps], Coeficiente de PMD: 0.0118 [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ], PMD de segundo orden: 0.0039 [ps/nm] (0.005 [ps<sup>2</sup>]), Segundo coeficiente de PMD: 0.0001 [ps/nm\*km] (0.0001 [ps<sup>2</sup>km]).

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0.079/0.093
Ensamamiento promedio [ps]	0.085
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]	0.01/ 0.012
Coeficiente PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]	0.011

Tabla 3.85. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio F-sitio G. Fibra 2.

### 3.2.2.7 ENLACE DEL SITIO G– SITIO H

#### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	89.479
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1612
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.86. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio G-sitio H.

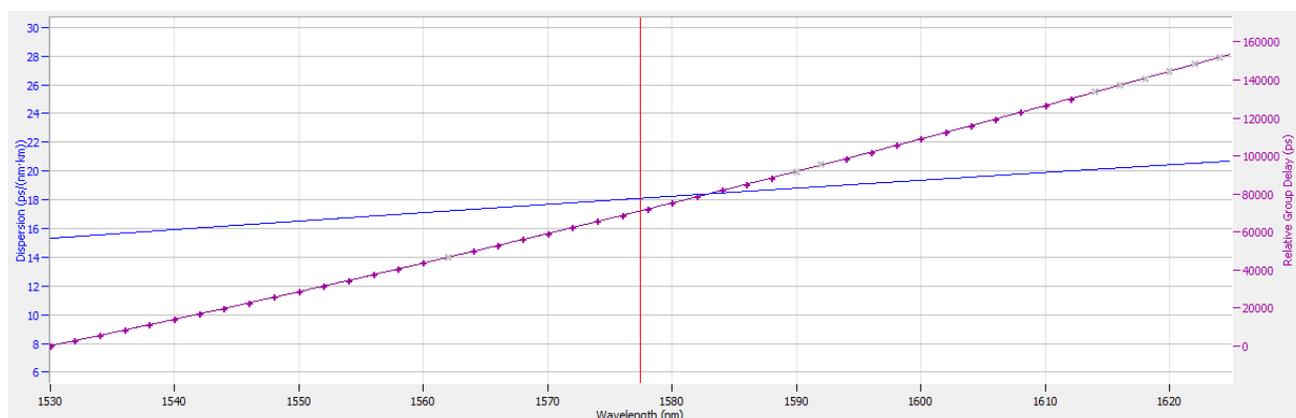


Figura 3.42. Gráfica correspondiente a CD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio G-sitio H.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion ps/nm	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	8,617	8,617	1370,944	15,321
1532	2753,64	2761,395	7,754	1381,828	15,443
1534	5535,02	5535,905	0,889	1392,677	15,564
1536	8330,19	8332,078	1,887	1403,49	15,685
1538	11145,95	11149,843	3,896	1414,269	15,806
1540	13984,33	13989,13	4,801	1425,012	15,926
1542	16848,44	16849,87	1,427	1435,722	16,045
1544	19739,29	19731,994	7,294	1446,396	16,165
1546	22633,89	22635,433	1,545	1457,037	16,284
1548	25555,95	25560,119	4,168	1467,644	16,402
1550	28523,48	28505,985	17,497	1478,217	16,52
1552	31468,41	31472,964	4,555	1488,756	16,638
1554	34450,29	34460,989	10,699	1499,263	16,755
1556	37485,99	37469,993	15,999	1509,736	16,873

1558	40506,74	40499,91	6,83	1520,176	16,989
1560	43520,4	43550,676	30,272	1530,584	17,106
1564	49726,63	49714,492	12,134	1551,303	17,337
1566	52822,59	52827,413	4,821	1561,614	17,452
1568	55970,61	55960,925	9,69	1571,893	17,567
1570	59116,88	59114,964	1,914	1582,141	17,682
1572	62300,4	62289,467	10,936	1592,357	17,796
1574	65472,03	65484,371	12,345	1602,542	17,91
1576	68689,52	68699,615	10,094	1612,696	18,023
1578	71946,82	71935,136	11,685	1622,82	18,136
1580	75184,03	75190,872	6,838	1632,912	18,249
1582	78442,5	78466,764	24,261	1642,974	18,362
1584	81769,26	81762,75	6,509	1653,007	18,474
1586	85078,83	85078,77	0,064	1663,009	18,585
1588	88413,77	88414,764	0,997	1672,981	18,697
1594	98560,23	98541,999	18,236	1702,72	19,029
1596	101972,12	101957,298	14,822	1712,575	19,139
1598	105387,83	105392,278	4,443	1722,4	19,249
1600	108843,47	108846,88	3,41	1732,197	19,359
1602	112317,54	112321,047	3,509	1741,966	19,468
1604	115832,18	115814,723	17,46	1751,706	19,577
1606	119332,81	119327,851	4,957	1761,417	19,685
1608	122843,11	122860,374	17,261	1771,101	19,793
1610	126394,47	126412,237	17,772	1780,757	19,901
1612	129971,3	129983,384	12,082	1790,385	20,009

Tabla 3.87. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio G-sitio H. Función RGD: -  
 $3.71448e^6 + 1.0174x^2 + 3.12009e^{12}x^{-2}$ . Error:16.037 [ps]

### Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	89.479
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1526-1624
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.88. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio G-sitio H.

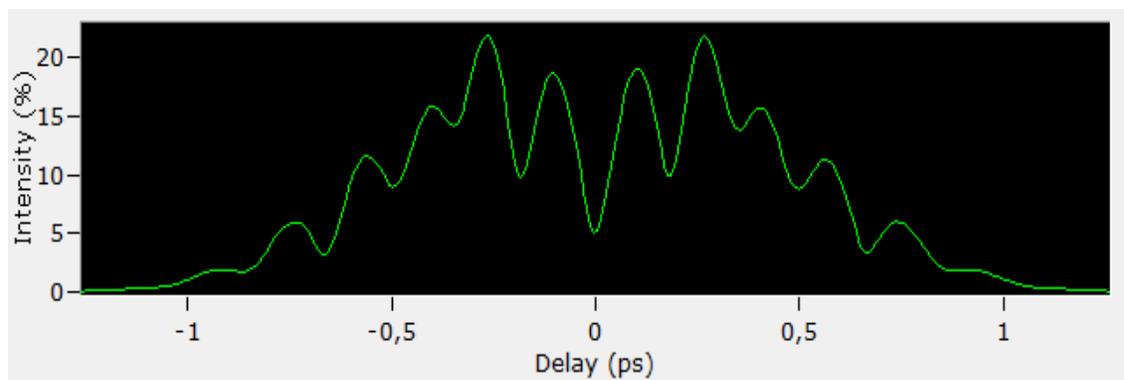


Figura 3.43. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1526-1624 [nm]) del enlace del sitio G-sitio H. PMD: 0.420 [ps], Coeficiente de PMD: 0.0444 [ps/√km], PMD de segundo orden: 0.0784 [ps/nm] (0.1017 [ps<sup>2</sup>]), Segundo coeficiente de PMD: 0.0009 [ps/nm\*km] (0.0011 [ps<sup>2</sup>km])

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0,408/0,420
Ensamamiento promedio [ps]	0.413
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/√km]	0,043/ 0,044
Coeficiente PMD [ps/√km]	0,044

Tabla 3.89. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio G-sitio H.

### 3.2.2.8 ENLACE DEL SITIO H- SITIO A

#### Fibra 1

#### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	20.375
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1610
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.90. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 1.

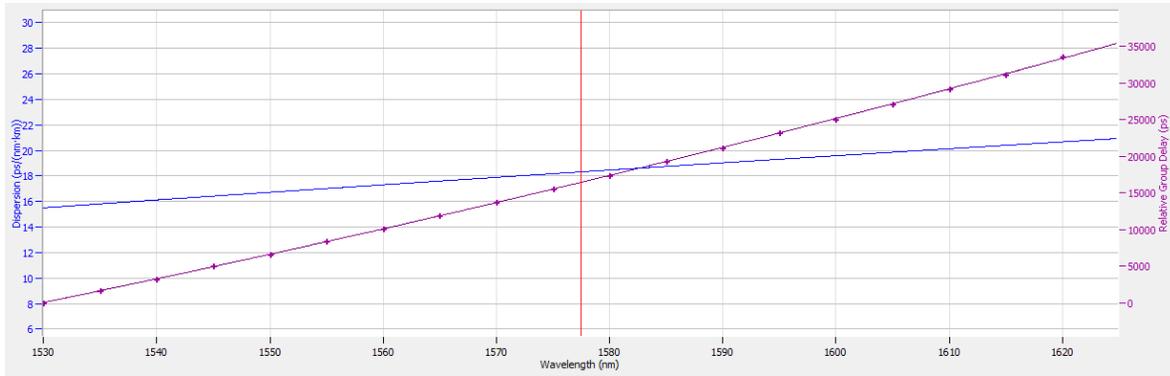


Figura 3.44. Gráfica correspondiente a CD (1530-1612 [nm]) del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 1.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm-km)]
1530	0	62,794	62,794	316,297	15,524
1535	1660,19	1659,848	0,347	322,516	15,829
1540	3269,72	3287,871	18,147	328,685	16,132
1545	4995,42	4946,614	48,806	334,804	16,432
1550	6606,31	6635,831	29,525	340,875	16,73
1555	8356,15	8355,281	0,872	346,897	17,026
1560	10108,82	10104,726	4,092	352,873	17,319
1565	11890,02	11883,934	6,082	358,802	17,61
1570	13697,99	13692,673	5,319	364,686	17,899
1575	15513,88	15530,717	16,839	370,525	18,185
1580	17390,45	17397,844	7,394	376,319	18,47
1585	19285,49	19293,835	8,347	382,07	18,752
1595	23250,01	23171,548	78,463	393,444	19,31
1600	25099,71	25152,848	53,14	399,069	19,586
1605	27126,44	27162,168	35,733	404,653	19,86
1610	29237,43	29199,307	38,123	410,196	20,132

Tabla 3.91. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 1. Función de RGD:  $-851791 + 0.233633x^2 + 7.13841e^{11}x^{-2}$ . Error: 35.448 [ps].

## Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	20.375
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1526-1624
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.92. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 1.

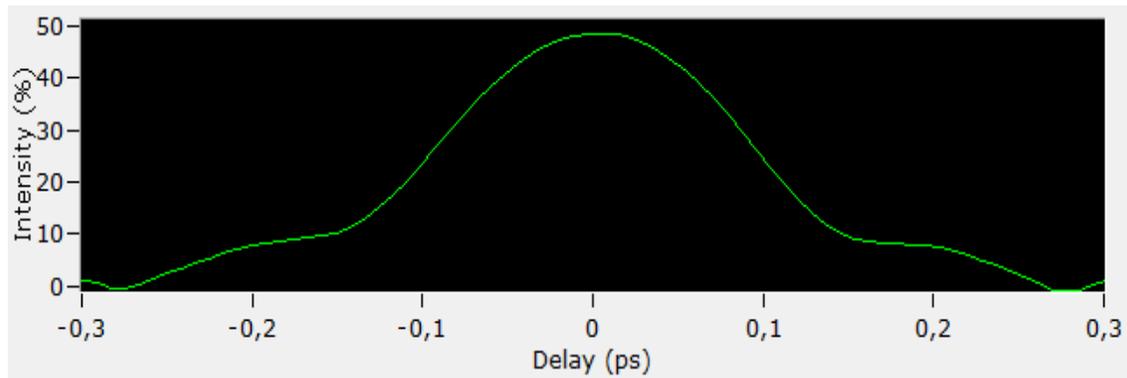


Figura 3.45. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1526-1624 [nm]) del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 1. PMD: 0.061 [ps], Coeficiente de PMD: 0.0104 [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ], PMD de segundo orden: 0.0017 [ps/nm] (0.0022 [ps<sup>2</sup>]), Segundo coeficiente de PMD: 0 [ps/nm\*km] (0.0001 [ps<sup>2</sup>km]).

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0,055/0,061
Ensanchamiento promedio [ps]	0.059
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]	0,009/ 0,01
Coeficiente PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]	0,01

Tabla 3.93. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 1.

## Fibra 2

### Dispersión cromática

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	20.3765
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1610
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.94. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión cromática del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 2.

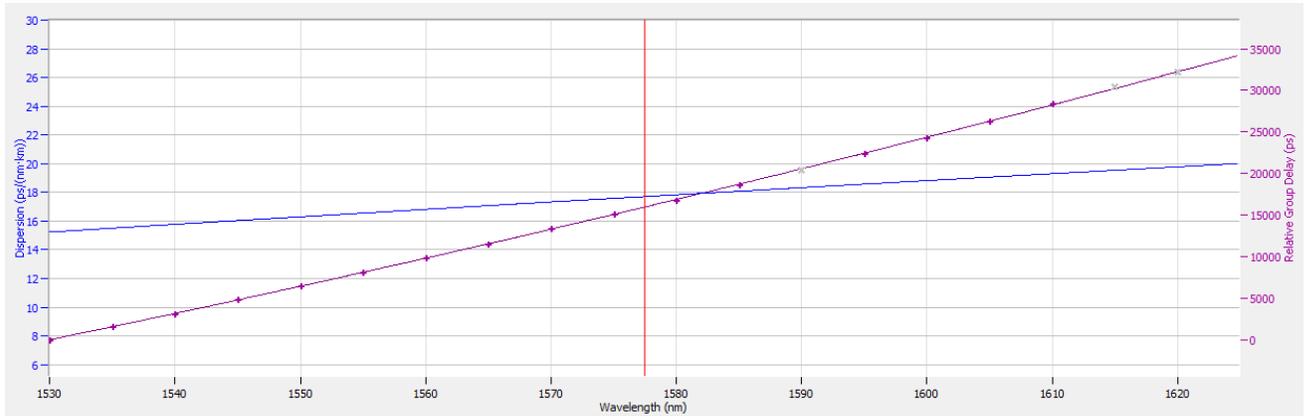


Figura 3.46. Gráfica correspondiente a CD (1530-1610 [nm]) del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 2.

Wavelength [nm]	RGD [ps]	Fitted RGD [ps]	RGD Deviation [ps]	Dispersion [ps/nm]	Dispersion [ps/(nm·km)]
1530	0	10,731	10,731	310,45	15,237
1535	1617,17	1576,708	40,463	315,933	15,506
1540	3136,37	3169,993	33,628	321,374	15,773
1545	4811,5	4790,374	21,128	326,771	16,038
1550	6438,53	6437,638	0,887	332,127	16,301
1555	8091,28	8111,577	20,298	337,442	16,562
1560	9827,08	9811,987	15,089	342,716	16,82
1565	11502,86	11538,666	35,804	347,949	17,077
1570	13332,3	13291,416	40,88	353,144	17,332
1575	15146,7	15070,042	76,657	358,3	17,585
1580	16831,4	16874,352	42,949	363,418	17,836
1585	18674,08	18704,157	30,074	368,498	18,086
1595	22414,8	22439,512	24,716	378,549	18,579
1600	24307,5	24344,698	37,197	383,52	18,823
1605	26254,85	26274,653	19,802	388,456	19,065
1610	28440,39	28229,201	211,191	393,358	19,306

Tabla 3.95. Valores correspondientes a CD del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 2. Función de RGD:  $-763129 + 0.213728x^2 + 6.1524e^{11}x^{-2}$ . Error: 53.099 [ps].

## Dispersión por modos de polarización

Tipo de fibra	Estándar
Longitud [km]	20.3765
Tiempo de adquisición [s]	15
Rango de longitudes de onda [nm]	1526-1624
Índice de refracción [1]	1,468325

Tabla 3.96. Configuración de los parámetros del medidor de dispersión por modos de polarización del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 2.

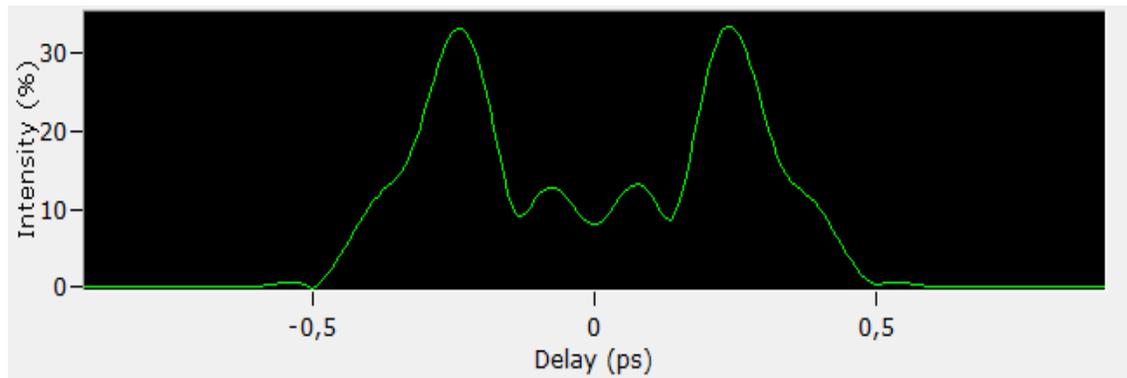


Figura 3.47. Gráfica correspondiente al peor valor del coeficiente de PMD (1526-1624 [nm]) del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 2. PMD: 0.301 [ps], Coeficiente de PMD: 0.0511 [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ], PMD de segundo orden: 0.0406 [ps/nm] (0.0523 [ps<sup>2</sup>]), Segundo coeficiente de PMD: 0.0012 [ps/nm\*km] (0.0015 [ps<sup>2</sup>km]).

Máximo y mínimo ensanchamiento[ps]	0,296/0,301
Ensamamiento promedio [ps]	0.298
Máximo y mínimo coeficiente de PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]	0,050/ 0,051
Coeficiente PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ]	0,051

Tabla 3.97. Valores correspondientes a PMD del enlace del sitio H-sitio A. Fibra 2.

## 3.3 ANALISIS DE LOS DATOS RECOLECTADOS

### 3.3.1 ATENUACIÓN

#### 3.3.1.1 Enlace del Sitio A – Sitio B

##### Fibra 1

La longitud del enlace medida fue de 68.7706 [km] con una la pérdida total del enlace de 16.206 [dB] lo cual se traduce a un coeficiente de atenuación de 0.236 [dB/km]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación.

Se encontraron un total de 12 eventos; de los cuales 2 fueron eventos reflectivos y 10 eventos no reflectivos. Los eventos no reflectivos únicamente se deben a empalmes, la pérdida total por empalmes fue de 1.12 [dB]. Se localizó un evento positivo en 23.2426 [km] con una pérdida de -0.113 [dB]. La pérdida promedio por empalme fue de 0.112 [dB] y la pérdida máxima de 0.352 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso no se cumple con este valor para todos los empalmes localizados, sin embargo el valor máximo aceptado para empalmes de fusión es de hasta 0.5 [dB], por lo tanto las pérdidas se encuentra dentro del intervalo permitido.

En el trazo se pueden observar dos eventos reflectivos al inicio y final del enlace con unas reflectancias de -22.5 [dB] y -14.2 [dB] respectivamente. El ORL medido fue de 22.34 [dB].

##### Fibra 2

La longitud del enlace medida fue de 68.7834 [km] con una la pérdida total del enlace de 16.09 [dB] lo cual se traduce a un coeficiente de atenuación de 0.234 [dB/km]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación.

Se encontraron un total de 11 eventos; de los cuales 2 fueron eventos reflectivos y 9 eventos no reflectivos. Los eventos no reflectivos únicamente se deben a empalmes, la pérdida total por empalmes fue de 0.576 [dB]. Se localizaron 4 eventos positivos correspondientes a los puntos 1.8707 [km] y 9.0193 [km], con pérdidas de -0.117 [dB] y -0.084 [dB] respectivamente. La pérdida promedio por empalme fue de 0.064 [dB] y la pérdida máxima de 0.138 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso no se cumple con este valor para todos los empalmes localizados, sin embargo el valor máximo aceptado para empalmes de fusión es de hasta 0.5 [dB], por lo tanto las pérdidas se encuentran dentro del intervalo permitido.

En el trazo se pueden observar dos eventos reflectivos al inicio y final del enlace con unas reflectancias de -22.5 [dB] y -22 [dB] respectivamente. El ORL medido fue de 22.33 [dB].

### **3.3.1.2 Enlace del Sitio B – Sitio C**

#### **Fibra 1**

La longitud medida del enlace fue de 34.6392 [km] con una pérdida total de 7.781 [dB] dando como resultado un coeficiente de atenuación de 0.225 [dB]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación

En el enlace se localizaron un total de 5 eventos, de los cuales 3 son del tipo no reflectivos. La pérdida total por empalmes fue de -0.03 [dB], además se localizó un evento positivo en 9.6753 [km] con una pérdida de -0.165 [dB]. La pérdida promedio por empalme fue de -0.01 [dB] y la pérdida máxima de 0.085 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso se cumple con este valor para todos los empalmes localizados.

Los dos eventos restantes son del tipo reflectivo pertenecientes a la conexión del OTDR - fibra, cada uno con un valor de -20.9 [dB] y -12.8 [dB] respectivamente. El ORL medido fue de 18.52 [dB].

#### **Fibra 2**

La longitud medida del enlace fue de 34.6405 [km] con una pérdida total de 7.915 [dB] dando como resultado un coeficiente de atenuación de 0.228 [dB]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación

En el enlace se localizaron un total de 5 eventos, de los cuales 3 son del tipo no reflectivos. La pérdida total por empalmes fue de 0.014 [dB], además se localizó un evento positivo en 16.9489 [km] con una pérdida de -0.143 [dB]. La pérdida promedio por empalme fue de 0.005 [dB] y la pérdida máxima de 0.08 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso se cumple con este valor para todos los empalmes localizados.

Los dos eventos restantes son del tipo reflectivo pertenecientes a la conexión del OTDR - fibra, cada uno con un valor de -21.3 [dB] y -14.1 [dB] respectivamente. El ORL medido fue de 19.47 [dB].

### 3.3.1.3 Enlace del Sitio C – Sitio D

#### Fibra 1

La distancia medida fue de 117.2311 [km] con una pérdida total de 26.38 [dB] dando como resultado un coeficiente de atenuación de 0.225 [dB/km]. La longitud de este enlace fue la más grande, por lo cual se utilizó un ancho de pulso de 10 [μs]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación

A lo largo del enlace se localizaron 6 eventos de los cuales 4 son del tipo no reflectivo provocados únicamente por empalmes. La pérdida total por empalmes fue de 1.618 [dB], además se localizó un evento positivo en 109.4062 [km] con una pérdida de -0.186 [dB]. La máxima pérdida por empalme fue de 1.511 [dB] y la pérdida promedio de 0.404 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*) y una pérdida máxima de 0.5 [dB], los empalmes localizados presentan pérdidas mayores a lo recomendado por la especificación, por lo tanto es necesario corregirlos.

Los dos eventos restantes son del tipo no reflectivo localizadas al inicio y final del enlace en donde se presentaron reflexiones de -28 [dB] y -14.9 [dB] respectivamente. El ORL medido fue de 26.36 [dB].

#### Fibra 2

La distancia medida fue de 117.2107 [km] con una pérdida total de 25.305 [dB] dando como resultado un coeficiente de atenuación de 0.216 [dB/km]. La longitud de este enlace fue la más grande, por lo cual se utilizó un ancho de pulso de 10 [μs]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación.

A lo largo del enlace se localizaron 3 eventos de los cuales 1 es del tipo no reflectivo provocado únicamente por empalme. La pérdida total por empalmes fue de 0.428 [dB]. La máxima pérdida por empalme fue de 0.428 [dB] y la pérdida promedio de 0.428 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso no se cumple con este valor para todos los empalmes localizados, sin embargo el valor máximo aceptado para empalmes de fusión es de hasta 0.5 [dB], por lo tanto las pérdidas se encuentran dentro del intervalo permitido.

Los dos eventos restantes son del tipo no reflectivo localizadas al inicio y final del enlace en donde se presentaron reflexiones de -26.7 [dB] y -14.4 [dB] respectivamente. El ORL medido fue de 25.44 [dB].

### **3.3.1.4 Enlace del Sitio D – Sitio E**

#### **Fibra 1**

La distancia medida del enlace fue de 69.7736 [km] en donde se registró una pérdida total de 16.388 [dB] dando como resultado un coeficiente de atenuación de 0.234 [dB/km]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación

En el enlace se localizaron un total de 15 eventos de los cuales 13 son eventos no reflectivos pertenecientes a empalmes. La pérdida total por empalmes fue de 0.667 [dB]. Se localizaron 4 eventos positivos correspondientes a los puntos 24.9551 [km], 33.0378 [km], 53.5495 [km] y 61.7368 [km] con pérdidas de -0.051 [dB], -0.063 [dB], -0.223 [dB] y -0.066 [dB] respectivamente. La pérdida promedio por empalme fue de 0.051 [dB] y la pérdida máxima de 0.199 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso no se cumple con este valor para todos los empalmes localizados, sin embargo el valor máximo aceptado para empalmes de fusión es de hasta 0.5 [dB], por lo tanto las pérdidas se encuentran dentro del intervalo permitido.

Los dos eventos restantes son del tipo reflectivo localizados al inicio y final de la fibra con reflectancias de -21 [dB] y -14.6 [dB] respectivamente. El ORL medido fue de 20.64 [dB].

#### **Fibra 2**

La distancia medida del enlace fue de 69.7685 [km] en donde se registró una pérdida total de 16.261 [dB] dando como resultado un coeficiente de atenuación de 0.233 [dB/km]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación

En el enlace se localizaron un total de 12 eventos de los cuales 10 son eventos no reflectivos pertenecientes a empalmes. La pérdida total por empalmes fue de 0.414 [dB]. Se localizaron 2 eventos positivos correspondientes a los puntos 16.441 [km] y 41.2736 [km] con pérdidas de -0.114 [dB] y -0.11 [dB] respectivamente. La pérdida promedio por empalme fue de 0.041 [dB] y la pérdida máxima de 0.128 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso no se cumple con este valor para todos los empalmes localizados, sin embargo el valor máximo aceptado para empalmes de fusión es de hasta 0.5 [dB], por lo tanto las pérdidas se encuentran dentro del intervalo permitido.

Los dos eventos restantes son del tipo reflectivo localizados al inicio y final de la fibra con reflectancias de -21.3 [dB] y -14.5 [dB] respectivamente. El ORL medido fue de 20.93 [dB].

### **3.3.1.5 Enlace del Sitio E – Sitio F**

#### **Fibra 1**

La longitud total medida del enlace fue de 83.7544 [km] con una pérdida total de 16.973 [dB], dando como resultado un coeficiente de atenuación promedio de 0.203 [dB/km]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación

Se localizaron un total de 16 eventos, de los cuales 14 son eventos no reflectivos pertenecientes únicamente empalmes. La pérdida total por empalmes fue de 0.483 [dB]. Se localizaron 4 eventos positivos en 13.4958 [km], 35.1867 [km], 61.6781 [km] y 76.103 [km] con unas pérdidas de -0.076 [dB], -0.051 [dB], -0.121 [dB] y -0.065 [dB] respectivamente. La pérdida promedio por empalme fue de 0.034 [dB] y la pérdida máxima de 0.177 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso no se cumple con este valor para todos los empalmes localizados, sin embargo el valor máximo aceptado para empalmes de fusión es de hasta 0.5 [dB], por lo tanto las pérdidas se encuentran dentro del intervalo permitido.

Los dos eventos restantes son eventos reflectivos localizados al inicio y fin del enlace en donde las reflexiones son de -21.9 [dB] y -14.2 [dB] respectivamente. El ORL total medido fue de 21.47 [dB].

#### **Fibra 2**

La longitud total medida del enlace fue de 83.7595 [km] con una pérdida total de 16.791 [dB], dando como resultado un coeficiente de atenuación promedio de 0.2 [dB/km]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación

Se localizaron un total de 14 eventos, de los cuales 12 son eventos no reflectivos pertenecientes únicamente empalmes. La pérdida total por empalmes fue de 0.449 [dB]. Se localizaron 4 eventos positivos en 35.2224 [km], 46.138 [km], 57.5411 [km] y 81.9959 [km] con unas pérdidas de -0.132 [dB], -0.073 [dB], -0.045 [dB] y -0.066 [dB] respectivamente. La pérdida promedio por empalme fue de 0.037 [dB] y la pérdida máxima de 0.179 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso no se cumple con este valor para todos los empalmes

localizados, sin embargo el valor máximo aceptado para empalmes de fusión es de hasta 0.5 [dB], por lo tanto las pérdidas se encuentran dentro del intervalo permitido.

Los dos eventos restantes son eventos reflectivos localizados al inicio y fin del enlace en donde las reflexiones son de -21.3 [dB] y -14.5 [dB] respectivamente. El ORL total medido fue de 20.31 [dB].

### **3.3.1.6 Enlace del Sitio F – Sitio G Fibra 1**

La longitud medida del enlace fue de 61.9461 [km] en donde se presenta una pérdida total de 13.165 [dB] dando como resultado un coeficiente de atenuación promedio de 0.213 [dB/km]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación.

Se localizaron un total de 7 eventos de los cuales 5 son eventos no reflectivos correspondientes a empalmes. La pérdida total por empalmes es igual a 0.692 [dB] en donde la máxima y mínima pérdida es de 0.277 [dB] y 0.097 [dB] respectivamente. La pérdida promedio por empalme es de 0.138 [dB] y la pérdida máxima de 0.277 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso no se cumple con este valor para todos los empalmes localizados, sin embargo el valor máximo aceptado para empalmes de fusión es de hasta 0.5 [dB], por lo tanto las pérdidas se encuentran dentro del intervalo permitido.

Los dos eventos restantes son eventos reflectivos localizados al inicio y fin del enlace cuyas reflectancias son de -21 [dB] y -16.1 [dB] respectivamente. El ORL medido es de 20.91 [dB].

### **Fibra 2**

La longitud medida del enlace fue de 61.9461 [km] en donde se presenta una pérdida total de 13.305 [dB] dando como resultado un coeficiente de atenuación promedio de 0.215 [dB/km]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación.

Se localizaron un total de 9 eventos de los cuales 7 son eventos no reflectivos correspondientes a empalmes. La pérdida total por empalmes es igual a 0.686 [dB] en donde la máxima y mínima pérdida es de 0.17 [dB] y 0.062 [dB] respectivamente. La pérdida promedio por empalme es de 0.098 [dB] y la pérdida máxima de 0.136 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso no se cumple con este valor para todos los empalmes localizados,

sin embargo el valor máximo aceptado para empalmes de fusión es de hasta 0.5 [dB], por lo tanto las pérdidas se encuentran dentro del intervalo permitido.

Los dos eventos restantes son eventos reflectivos localizados al inicio y fin del enlace cuyas reflectancias son de -20.4 [dB] y -16.4 [dB] respectivamente. El ORL medido es de 20.38 [dB].

### **3.3.1.7 Enlace del Sitio G – Sitio H**

La longitud medida de este enlace fue de 92.1852 [km] con una pérdida total de 23.46 [dB] dando como resultado un coeficiente de atenuación de 0.254 [dB]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación.

Se encontraron un total de once eventos de los cuales nueve son del tipo no reflectivo, en donde ocho son debidos a empalmes cuya pérdida total es de 0.32 [dB]. A las distancias de 70.7881 [km] y 80.8426 [km] se presentan eventos positivos cuyas pérdidas son de -0.08 [dB] y -0.09 [dB] respectivamente. La pérdida promedio por empalme es de 0.04 [dB] y la pérdida máxima de 0.07 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso se cumple con este valor para todos los empalmes localizados.

El evento localizado al final del enlace presenta una pérdida de 7.84 [dB]; en este caso aunque se trata de un fin de fibra no se muestra una reflectancia ya que la fibra tiene un conector ST con pulido APC lo cual provoca que la luz se disperse hacia afuera de la fibra.

Los dos eventos restantes son del tipo reflectivos detectados en las distancias de 0 [km] y 89,4792 [km] cuyas reflectancias son de -23.2 [dB] y -22.64 [dB] respectivamente. El evento número 10 presenta además una pérdida de 0.09 [dB] y en este caso es producido por un acoplador mecánico. El ORL total medido fue de 30.25 [dB].

### **3.3.1.8 Enlace del Sitio H – Sitio A**

#### **Fibra 1**

La longitud total medida del enlace fue de 20.379 [km] en donde la pérdida total es de 4,946 [dB] dando como resultado un coeficiente de atenuación promedio de 0.243 [dB/km]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación.

Fueron localizados un total de 6 eventos de los cuales 4 son eventos no reflectivos correspondientes a empalmes. La pérdida total por empalmes fue de 0.462 [dB], en donde se presentó una pérdida máxima por empalme de 0.243 [dB] y una mínima de -0.041 [dB]. La pérdida promedio por empalme fue de 0.116 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso no se cumple con este valor para todos los empalmes localizados, sin embargo el valor máximo aceptado para empalmes de fusión es de hasta 0.5 [dB], por lo tanto las pérdidas se encuentran dentro del intervalo permitido.

Los dos eventos restantes son eventos del tipo reflectivo localizados al inicio y fin del enlace cuyas reflectancias son de -20.2 [dB] y -14.2 [dB] respectivamente. El ORL total medido es de 18 [dB].

## **Fibra 2**

La longitud total medida del enlace fue de 20.3765 [km] en donde la pérdida total es de 6.136 [dB] dando como resultado un coeficiente de atenuación promedio de 0.301 [dB/km]. El coeficiente de atenuación máximo especificado por la ITU a una longitud de onda de 1550 [nm] para fibra G.652D (véase *tabla 2.1*) es de 0.3 [dB/km], por lo tanto cumple con esta especificación.

Fueron localizados un total de 5 eventos de los cuales 3 son eventos no reflectivos correspondientes a empalmes. La pérdida total por empalmes fue de 0.031 [dB], en donde se presentó una pérdida positiva en el punto 4.1868 [km] de -0.311 [dB]. La máxima por empalme de 0.255 [dB]. La pérdida promedio por empalme fue de 0.01 [dB]. La ITU establece una pérdida media de 0.1 [dB] por empalme (véase *tabla 2.2*), en este caso no se cumple con este valor para todos los empalmes localizados, sin embargo el valor máximo aceptado para empalmes de fusión es de hasta 0.5 [dB], por lo tanto las pérdidas se encuentran dentro del intervalo permitido.

Los dos eventos restantes son eventos del tipo reflectivo localizados al inicio y fin del enlace cuyas reflectancias son de -12.3 [dB] y -14.3 [dB] respectivamente.

### **3.3.2 Dispersión Cromática**

#### **3.3.2.1 Enlace del Sitio A– Sitio B**

##### **Fibra 1**

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de 16.666  $\left[\frac{ps}{nmkm}\right]$  con una pendiente de dispersión de 0.057954  $\left[\frac{ps}{nm^2km}\right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de 17  $\left[\frac{ps}{nmkm}\right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe

encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , por lo tanto el coeficiente se encuentra dentro de los valores especificados por la UIT.

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20.093 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase *expresión 2.1*) a una longitud de onda de 1612 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.2 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1612 [nm]) \leq 21.39 \frac{ps}{nmkm}$ , cumpliendo entonces con lo especificado. El coeficiente promedio fue de  $17,7881 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

## Fibra 2

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.788 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.057785 \left[ \frac{ps}{nm^2km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , por lo tanto el coeficiente se encuentra dentro de los valores especificados por la UIT.

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20.207 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase *expresión 2.1*) a una longitud de onda de 1612 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.2 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1612 [nm]) \leq 21.39 \frac{ps}{nmkm}$ , cumpliendo entonces con lo especificado. El coeficiente promedio fue de  $17,912 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

### 3.3.2.2 Enlace del Sitio B– Sitio C

#### Fibra 1

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.744 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.058348 \left[ \frac{ps}{nm^2km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , por lo tanto el coeficiente se encuentra dentro de los valores especificados por la UIT.

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase *expresión 2.1*) a una longitud de onda de 1610 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.09 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1610 [nm]) \leq 21.28 \frac{ps}{nmkm}$ , se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados,

además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 8.945 [ps]. El coeficiente promedio fue de  $17,7881 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

## Fibra 2

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.486 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.05782 \left[ \frac{ps}{nm^2 km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , este coeficiente se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 9.797 [ps].

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $19.8 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1610 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase expresión 2.1) a una longitud de onda de 1610 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.09 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right] \leq D(1610 [nm]) \leq 21.28 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 9.797 [ps]. El coeficiente promedio fue de  $17,528 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

### 3.3.2.3 Enlace del Sitio C– Sitio D

#### Fibra 1

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.558 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.062233 \left[ \frac{ps}{nm^2 km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , este coeficiente se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 91.927 [ps].

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20.207 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase expresión 2.1) a una longitud de onda de 1612 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.2 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1612 [nm]) \leq 21.39 \frac{ps}{nmkm}$ , cumpliendo entonces con lo especificado. El coeficiente promedio fue de  $17,789 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

## Fibra 2

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.507 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.062261 \left[ \frac{ps}{nm^2 km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , este coeficiente se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 97.399 [ps].

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20.187 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase expresión 2.1) a una longitud de onda de 1612 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.2 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1612 [nm]) \leq 21.39 \frac{ps}{nmkm}$ , se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 97.399 [ps]. El coeficiente promedio fue de  $17,739 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

### 3.3.2.4 Enlace del Sitio D– Sitio E

#### Fibra 1

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.602 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.057582 \left[ \frac{ps}{nm^2 km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , este coeficiente se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 16.771 [ps].

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20.009 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase expresión 2.1) a una longitud de onda de 1612 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.2 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1612 [nm]) \leq 21.39 \frac{ps}{nmkm}$ , se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 16.771 [ps]. El coeficiente promedio fue de  $17,722 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

## Fibra 2

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.603 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.057549 \left[ \frac{ps}{nm^2 km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , este coeficiente se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 16.592 [ps].

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20.008 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase expresión 2.1) a una longitud de onda de 1612 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.2 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1612 [nm]) \leq 21.39 \frac{ps}{nmkm}$ , se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 16.592 [ps]. El coeficiente promedio fue de  $17,722 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

### 3.3.2.5 Enlace del Sitio E– Sitio F

#### Fibra 1

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.711 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.058416 \left[ \frac{ps}{nm^2 km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , por lo tanto el coeficiente se encuentra dentro de los valores especificados por la UIT.

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20.167 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase expresión 2.1) a una longitud de onda de 1612 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.2 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1612 [nm]) \leq 21.39 \frac{ps}{nmkm}$ , se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 16.14 [ps]. El coeficiente promedio fue de  $17,7881 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

## Fibra 2

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.682 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.058406 \left[ \frac{ps}{nm^2 km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , por lo tanto el coeficiente se encuentra dentro de los valores especificados por la UIT.

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20.137 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase expresión 2.1) a una longitud de onda de 1612 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.2 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1612 [nm]) \leq 21.39 \frac{ps}{nmkm}$ , se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 17.291 [ps]. El coeficiente promedio fue de  $17,817 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

### 3.3.2.6 Enlace del Sitio F– Sitio G

#### Fibra 1

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.786 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.058511 \left[ \frac{ps}{nm^2 km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , por lo tanto el coeficiente se encuentra dentro de los valores especificados por la UIT.

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20.248 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase expresión 2.1) a una longitud de onda de 1612 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.2 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1612 [nm]) \leq 21.39 \frac{ps}{nmkm}$ , cumpliendo entonces con lo especificado. El coeficiente promedio fue de  $17,924 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

## Fibra 2

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.873 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.058516 \left[ \frac{ps}{nm^2km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , por lo tanto el coeficiente se encuentra dentro de los valores especificados por la UIT.

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20.335 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase *expresión 2.1*) a una longitud de onda de 1612 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.2 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1612 [nm]) \leq 21.39 \frac{ps}{nmkm}$ , cumpliendo entonces con lo especificado. El coeficiente promedio fue de  $18.01 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

### 3.3.2.7 Enlace del Sitio G– Sitio H

#### Fibra 1

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.52 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.058988 \left[ \frac{ps}{nm^2km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , este coeficiente se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 16.037 [ps].

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20.009 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase *expresión 2.1*) a una longitud de onda de 1612 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.2 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1612 [nm]) \leq 21.39 \frac{ps}{nmkm}$ , se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 16.037 [ps]. El coeficiente promedio fue de  $17,666 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

### 3.3.2.8 Enlace del Sitio H– Sitio A

#### Fibra 1

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.73 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.059353 \left[ \frac{ps}{nm^2km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , por lo tanto el coeficiente se encuentra dentro de los valores especificados por la UIT.

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $20.132 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1612 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase *expresión 2.1*) a una longitud de onda de 1612 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.2 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1612 [nm]) \leq 21.39 \frac{ps}{nmkm}$ , se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 35.448 [ps]. El coeficiente promedio fue de  $17,8 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

#### Fibra 2

Para la longitud de onda de 1550 [nm] se presenta un coeficiente de  $16.301 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  con una pendiente de dispersión de  $0.052369 \left[ \frac{ps}{nm^2km} \right]$ . La UIT establece un coeficiente de dispersión cromática típico a una longitud de onda de 1550 [nm] de  $17 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , sin embargo también establece que los límites en los cuales se debe encontrar este coeficiente son  $16.671 \frac{ps}{nmkm} \leq D(1550 [nm]) \leq 18.01 \frac{ps}{nmkm}$ , este coeficiente se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 53.099 [ps].

El coeficiente máximo de dispersión cromática fue de  $19.306 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$  a 1610 [nm]. Según la expresión para el cálculo del coeficiente de CD especificada por la UIT (véase *expresión 2.1*) a una longitud de onda de 1610 [nm] los límites de este coeficiente son  $20.09 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right] \leq D(1610 [nm]) \leq 21.28 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ , se desvía ligeramente del valor mínimo, sin embargo recuérdese que los valores obtenidos son aproximados, además el equipo mostró para este enlace un error de medición de 53.099 [ps]. El coeficiente promedio fue de  $17,245 \left[ \frac{ps}{nmkm} \right]$ .

## DISTANCIAS ALCANZADAS

Utilizando el valor máximo de dispersión cromática de cada enlace se puede obtener la máxima distancia alcanzada, dependiendo de la velocidad de transmisión y el tipo de modulación que se utilice, por ejemplo, para una longitud de onda de 1550 [nm] y con una modulación NRZ, obtenemos las siguientes distancias [10]:

Velocidad binaria [Gbps]	Máxima dispersión permitida [ps/nm]	Máxima distancia alcanzada [km]
2.5	18468	1094.5
10	1193	70.7
40	75	4,44
100	12	0.711

Tabla 104. Los valores fueron obtenidos a partir del peor coeficiente de CD localizado en el enlace del sitio F – Sitio G fibra 2, cuyo valor corresponde a 16.873 [ps/nm.km].

### 3.3.3 DISPERSIÓN POR MODOS DE POLARIZACIÓN

#### 3.3.3.1 ENLACE SITIO A – SITIO B

##### Fibra 1

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.571 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 68.74 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de 0,069  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de 0.2  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.571 [ps].

## Fibra 2

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.855 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 68.7864 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de 0,103  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de 0.2  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.855 [ps].

### 3.3.3.2 ENLACE SITIO B – SITIO C

## Fibra 1

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.226 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 34.64 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de 0,038  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de 0.2  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.226 [ps].

## Fibra 2

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.242 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 34.6405 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de 0,041  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por

debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de  $0.2 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.242 [ps].

### **3.2.3.3 ENLACE SITIO C – SITIO D**

#### **Fibra 1**

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.282 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 117.461 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de  $0,026 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de  $0.2 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.282 [ps].

#### **Fibra 2**

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.338 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 117.2107 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de  $0,031 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de  $0.2 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps]

respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.338 [ps].

### 3.3.3.4 ENLACE SITIO D – SITIO E

#### Fibra 1

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.59 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 69.835 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de 0,0706  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de 0.2  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.59 [ps].

#### Fibra 2

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.071 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 69.7685 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de 0,008  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de 0.2  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.071 [ps].

### 3.3.3.5 ENLACE SITIO E – SITIO F

#### Fibra 1

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.324 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 83.7544 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de  $0,035 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de  $0.2 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.324 [ps].

#### Fibra 2

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.071 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 83.7544 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de  $0,008 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de  $0.2 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.071 [ps].

### 3.3.3.6 ENLACE SITIO F – SITIO G

#### Fibra 1

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.031 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 61.946 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de 0,004  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de 0.2  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.031 [ps].

#### Fibra 2

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.085 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 61.9461 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de 0,011  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de 0.2  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.085 [ps].

### 3.3.3.7 ENLACE SITIO G – SITIO H

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.413 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 89.479 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de 0,044  $[\frac{ps}{\sqrt{km}}]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps]

correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de  $0.2 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.413 [ps].

### **3.3.3.8 ENLACE SITIO H – SITIO A**

#### **Fibra 1**

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.059 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 20.375 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de  $0,01 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de  $0.2 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.298 [ps].

#### **Fibra 2**

El ensanchamiento total promedio provocado por PMD fue de 0.298 [ps] correspondiente al enlace cuya longitud es de 20.3765 [km], dando como resultado un coeficiente de PMD de  $0,051 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  pasando la prueba del medidor de PMD, al cual se le configuró un umbral máximo para una tasa de transmisión de 40 [Gbps] correspondiente un STM-256 de SDH para referencia. Además se encuentra por debajo del coeficiente de PMD máximo especificado por la ITU de  $0.2 \left[ \frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$  (véase *tabla 2.1*).

El ensanchamiento provocado por PMD resulta mucho menor al máximo soportado para una transmisión de 10 y 40 [Gbps], en cuyas tasas de transmisión se pueden alcanzar hasta 4000 y 400 [km] con máximos retardos de 12 [ps] y 5 [ps] respectivamente (véase *tabla 2.3*). El PMD promedio medido en este enlace fue de 0.059 [ps].

## 4. CONCLUSIONES

- Se realizó satisfactoriamente el análisis de los enlaces del anillo de la región central de México pudiendo determinar los valores correspondientes a atenuación, distancia, dispersión cromática y dispersión por modos de polarización.
- Se comprobó que las pérdidas de potencia a lo largo de los enlaces se encuentra dentro de los umbrales especificados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones para una fibra monomodo estándar G.652D. Sin embargo la pérdida debida a empalmes puede ser mejorada utilizando empalmadoras por acoplamiento de núcleo ya que al tratarse de una red de larga distancia es necesario tener el mínimo de pérdidas en los eventos de empalmes de fusión, sobre todo cuando ya existen empalmadoras de fusión de nueva generación con empalmes menores a 0.02 [dB].
- Si se requieren velocidades mayores a los 10 Gbps es necesario realizar enlaces tipo DA (Dispersion Accommodation) por PDC (Passive Dispersion Compensation) para alcanzar distancias más grandes, ya que el ensanchamiento permitido es mucho menor. En el caso de la dispersión por modos de polarización se pudo comprobar que no afecta en gran medida. Para el anillo analizado se puede utilizar una tasa de hasta 40 Gbps sin que esta dispersión afecte a la señal. Además la dispersión por modos de polarización es efecto variable en el tiempo, por lo que será necesario seguir midiendo a lo largo del año hasta poder determinar el peor caso y poder contemplarlo para que no afecte las comunicaciones.
- Los problemas más frecuentes de comunicación en los sitios son generados por problemas con los conectores ya que es muy frecuente encontrarlos en malas condiciones. Debido a lo anterior es necesario capacitar al personal en su manejo.
- La operación especializada de los equipos ópticos de medición es de suma importancia para realizar una adecuada caracterización de los enlaces y con ello asegurar un rendimiento óptimo. Además es vital someter a los equipos a los servicios necesarios para obtener datos precisos.

- Se puede concluir entonces que los parámetros a nivel de capa física de los enlaces se encuentran dentro de los límites permitidos. El rendimiento y calidad de los servicios dependerá del tipo de tecnología utilizada. La información contenida en las mediciones podrán dar al diseñador de la red de comunicaciones los elementos necesarios para garantizar la correcta operación de la misma.

## REFERENCIAS

- [1] Sanz José, “Comunicaciones ópticas”, Paraninfo, Madrid, 1996.
- [2] Reforma en Telecomunicaciones (2013). Available at: <http://www.sct.gob.mx/comunicaciones/ley-federal-de-telecomunicaciones-y-radiodifusion/>.
- [3] Jeff Hecht, “Understanding Fiber Optics”, PEARSON, New Jersey, 2006.
- [4] Gerd Keiser, “Optical Communications Essentials”, McGraw Hill, New York, 2013.
- [5] Lynx2 CustomFit® Splice-On Connectors (SC, LC, FC, and ST) Available at: <https://www.sumitomoelectric.com/cms/wp-content/uploads/2016/01/Lynx-CustomFit-SOC-Single.pdf>
- [6] Recommendation ITU-T G.652 (2009), Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.
- [7] Recomendación de la UIT-T de la serie L (2000) - CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS ELEMENTOS DE PLANTA EXTERIOR. Empalmes de fibra óptica
- [8] Eugene Hecht, “ÓPTICA”, ADDISON WESLEY IBEROAMERICANA, Madrid, 2000.
- [9] Jhon Crisp, “Introduction of Fiber optics”, Newnes, London, 2001.
- [10] CHROMATIC DISPERSION AT HIGH BIT RATES. (2012). 1st ed. [ebook] QUEBEC. Available at: [http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Reference\\_Guides/EXFO\\_Reference-Guide\\_Chromatic-Dispersion-High-Bit\\_Rate.1\\_en.pdf](http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Reference_Guides/EXFO_Reference-Guide_Chromatic-Dispersion-High-Bit_Rate.1_en.pdf) [Accessed 20 May 2016].
- [11] PMD Issues in Advanced, Very High-Speed Networks. (2012). 1st ed. [ebook] QUEBEC. Available at: [http://www.ccontrols.ch/cms/upload/content/aktionen/PDF/EXFO\\_Reference-Guide-PMD.ang-V2LR.PDF](http://www.ccontrols.ch/cms/upload/content/aktionen/PDF/EXFO_Reference-Guide-PMD.ang-V2LR.PDF)
- [12] Ramaswami Rajiv, Kumar N. Sivarajan, “OPTICAL NETWORKS: A Practical Perspectiva”, Morgan Kauman Publishers Inc. San Francisco CA, 2010.
- [13] Recomendación de la UIT-T de la serie G (2007) - SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES. Características de un cable de fibra óptica monomodo.

[14] Alma Laboratorios S.A. de C.V. <http://almalaboratorios.com/curso-basico-otdr/>

[15] Recomendación UIT-T de la serie G – Suplemento 39 (2006), Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo.

[16] ANRITSU. Electronic Measuring Instruments. (2015). Available at: [www3.anritsu.com/enUS/Catalogs/emicatalog2013au/files/assets/.../publication.pdf](http://www3.anritsu.com/enUS/Catalogs/emicatalog2013au/files/assets/.../publication.pdf)

[17] FTB-7600E-ULTRA-LONG-HAUL OTDR. HIGH-END FIBER CHARACTERIZATION AND SUBMARINE CABLE TESTING. (2016). Available at: [http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Specification\\_Sheets/EXFO\\_spec-sheet\\_FTB-7600E-v7\\_en.pdf](http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Specification_Sheets/EXFO_spec-sheet_FTB-7600E-v7_en.pdf)

[18] FTB-5500B/FTB5800. PMD and CD analyzers. (2016). Available at: [http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Specification\\_Sheets/EXFO\\_spec-sheet\\_FTB-5500B-5800\\_v6\\_en.pdf](http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Specification_Sheets/EXFO_spec-sheet_FTB-5500B-5800_v6_en.pdf)

[19] FLS -5800A. CD and PMD analyzer source. (2007). Available at: [http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Specification\\_Sheets/EXFO\\_spec-sheet\\_FLS-5800\\_v3\\_en.pdf](http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Specification_Sheets/EXFO_spec-sheet_FLS-5800_v3_en.pdf)

[20] CAPÍTULO III REGIÓN CENTRO Y ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO. [PDF]. Available at: <http://bibliohistorico.juridicas.unam.mx/libros/4/1674/6.pdf>