



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“ANÁLISIS DE FACTORES QUE INFLUYEN EN LA
TRANSMISIÓN DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA”**

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO/A EN TELECOMUNICACIONES

MERCEDES VICTORIA JIJÓN MONTERO

STALYN LENIN ROJAS CARRIÓN

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mi familia.

Mercedes Jijón Montero

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi abuelita Norma.

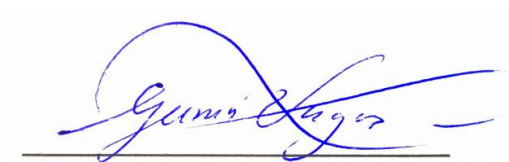
Mercedes Jijón Montero

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



MSc. María Antonieta Álvarez Villanueva

PROFESOR EVALUADOR

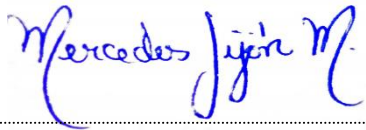


PhD. Germán Ricardo Vargas López

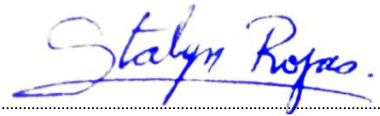
PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Mercedes Victoria Jijón Montero



Stalyn Lenin Rojas Carrión

RESUMEN

Los cables de fibra óptica están conformados por varios hilos de fibras capaces de transmitir datos por medio de haces de luz. Estos cables están expuestos a doblarse, torcerse o llegar a romperse debido al aplicarle demasiada fuerza o tensión al momento de la instalación del cable. Esto produce pérdidas de señal en un sistema de comunicación. Para evitar estas pérdidas se analiza los factores de atenuación, deformación y fuerza del cable de fibra óptica bajo las pruebas de tensión y torsión.

La prueba de tensión se realizó con un cable tipo Drop G657A2 de dos fibras, el cual consiste en tensionar el cable a 600 N, esta fuerza es medida con el sensor galga extensiométrica que se encuentra en la máquina de tensión, también se mide la longitud del cable cuando se deforma por la tensión aplicada este dispositivo se lo llama sensor de deformación lineal. Los resultados que se obtuvo en la prueba de tensión es la atenuación del cable de fibra óptica antes y después de ser tensionado. También la gráfica de deformación vs fuerza donde se pudo apreciar la deformación residual.

La prueba de torsión se realizó con un cable tipo ducto G652D de doce fibras, el cual consiste en cortar y sujetar 1 m de cable en un extremo mientras que en el otro extremo se realiza los giros de $\pm 180^\circ$ y donde también se ejerce tensión por los contrapesos que sirven para que el cable tenga una tensión inicial al momento de torcerse. Los resultados que se obtuvo en la prueba de torsión es la atenuación por cada hilo de fibra antes y después de torsionar el cable.

Con estos resultados de atenuación obtenidos en las pruebas se puede ver si influyen en la transmisión.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación	3
1.2 Alcance	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO 2	7
2. GENERALIDADES DE LA FIBRA ÓPTICA	7
2.1 Estructura del cable de fibra óptica	7
2.2 Sistema de transmisión por fibra óptica	8
2.3 Principios de transmisión	9
2.3.1 Apertura numérica	9
2.3.2 Propagación de luz	10
2.3.3 Velocidad	13
2.3.4 Ancho de banda	14
2.4 Tipos de Fibra	14
2.4.1 Fibra Multi-modo	15
2.4.2 Fibra mono-modo	17
2.5 Atenuación	20
2.5.1 Pérdidas por absorción	20
2.5.2 Dispersión de Rayleigh	20
2.6 Características de los tipos de cable de fibra óptica	21
2.6.1 Ducto	21
2.6.2 Drop	22
2.7 Equipos de medición	23

2.7.1	OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)	23
2.7.2	Analizador de fibra PK2800	23
2.8	Estándares IEC 60794-1-2-2003	24
2.8.1	Tensión	25
2.8.2	Torsión	26
CAPÍTULO 3	.....	28
3.	PRUEBA DE TORSIÓN	28
3.1	Prueba de torsión de un cable de ducto de 12 fibras.	28
3.2	Fusión de la fibra.	32
3.3	Potencia	35
3.4	Atenuación	43
CAPÍTULO 4	.....	44
4.	PRUEBA DE TENSION	44
4.1	Prueba de tensión de un cable drop de 2 fibras.	44
4.2	Medición de potencia óptica	48
4.3	Deformación de la fibra	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	55
BIBLIOGRAFÍA	.....	57
ANEXOS	.....	60

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad en el Ecuador se ha instalado una planta de producción de cables de fibra óptica, estos cables son capaces de soportar grandes anchos de banda a altas velocidades de transmisión de datos, tienen menor atenuación y a un bajo costo. Los cables de fibra óptica son ligeros, de tamaño pequeño, su vida operativa es larga y pueden ser instalados de forma aérea, subterránea o submarina. Esta ventaja hizo que los cables de cobre fueran gradualmente reemplazados.

Entre algunos de los factores que influyen en la transmisión de la luz a través del cable de fibra óptica están:

- Medio ambientales: humedad, altas y bajas temperaturas.
- Mecánicos: tensión, torsión, micro y macro flexiones, impacto, presión (aplastamiento).
- Geométricos: diámetro del núcleo y del revestimiento primario, concentricidad entre el núcleo y el revestimiento, circularidad del revestimiento.
- Transmisión: diámetro campo modal, longitud de onda de corte, dispersión modo de polarización, dispersión cromática, atenuación,
- Estructura que conforma el cable: longitud de la fibra en el tubo holgado, distancia de trenzado SZ, elementos de refuerzo central, blindajes, diámetro del cable y su espesor.

Debido a la disponibilidad de los equipos de pruebas y medición, este proyecto consiste en el análisis de atenuación que influye en la transmisión a través del cable de fibra óptica, específicamente en la fibra mono-modo. Demostrar el

comportamiento de la fibra bajo factores adversos tales como: tensión mecánica y torsión del cable de fibra óptica.

En la figura 1.1 se observa al cable de fibra óptica en el laboratorio bajo una plataforma de prueba de tensión mecánica. Al someter al cable de fibra óptica a determinada tensión y torsión, estamos simulando lo que ocurre: A largo plazo, mientras el cable está instalado en exteriores y soporta estiramientos propios por su peso y la gran distancia de fijación de sus extremos y a corto plazo, durante la instalación del tendido del cable óptico, es sometido a grandes tensiones y torsiones mientras se desenvuelve el cable, para su despliegue. Estos fenómenos influyen en el desempeño de la transmisión sobre la fibra óptica.



Figura 1.1 Plataforma para prueba de tensión de cable de fibra óptica

Uno de nuestros objetivos es verificar dicho comportamiento, medirlo y analizarlo utilizando los conocimientos adquiridos en el curso de Comunicaciones Ópticas y usando los equipos como: el OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) equipo de pruebas mecánicas y un analizador de fibras (PK 2800), para medir: Potencia transmitida, atenuación y deformación de la fibra.



Figura 1.2 Instalación de cable de fibra óptica

En la figura 1.2 muestra la instalación del cable de fibra óptica mencionada anteriormente, este cable sufre una pérdida al realizar el tendido en los postes por lo que se realiza la prueba de tensión.

1.1 Justificación

Los cables de fibra óptica son muy utilizados debido al vertiginoso avance de la tecnología de las comunicaciones ópticas, la gran velocidad de transmisión de datos sobre la fibra óptica a largas distancias, su inmunidad frente a las interferencias electromagnéticas y ambientales, han hecho que los hilos de fibra óptica ocupan menos espacio comparado con cables tradicionales de cobre.

Según el Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la información: “En el Ecuador para el año 2014, se han instalado más de 35.000 Kilómetros de cables de fibra óptica”, [1]. Además, en el Ecuador, “se han instalado la primera Fábrica de cables de fibra óptica, más grande de Latino-América, con

capacidad de producción de 72.000 Kilómetros de cable de fibra óptica, por año” [2].

La empresa de fabricación de cable de fibra óptica “Latam Fiber Home Cable”, utilizan equipos especializados para la medición de atenuación, parámetros de transmisión como dispersión cromática, pérdida de flexión, dispersión de modo de polarización, hasta la coloración de la fibra basados en el estándar IEC y todo se traiga en especial en la fibra mono-modo, ya que este tipo de fibra trabaja con menor atenuación y tiene propagación más simple.

Uno de los inconvenientes de usar cables de fibra óptica es la instalación ya que estarían expuesto a ser doblados a un cierto ángulo, torsión en el cable o a una fuerza de presión, con estos factores influyen bastante en la transmisión ya que producen pérdidas, para la solución de este problema se realiza las pruebas mecánicas de la fibra óptica basados en el estándar IEC 60794-1-2-2003 que consiste en un análisis de los factores mencionados con equipos especializados pero a una cierta longitud de la fibra. Por este motivo este proyecto consiste en analizar la atenuación que influyen en la transmisión cuando se aplica las pruebas mecánicas de tensión y torsión.

Los cables de fibra ópticas una vez diseñados y listos para la venta tiene su datasheet para indicar a que pérdida está expuesta, pero no hay más información sobre ciertos parámetros por lo cual se medirá parámetros como dispersión y pérdida de flexión para añadirlos en la hoja técnica.

1.2 Alcance

Con el análisis de los factores que influyen en el cable de fibra óptica mediante las pruebas de tensión y torsión, se busca mejorar los diseños del cable para que en el momento de la instalación ya sea aéreo o subterráneo la fibra no

sufra ningún daño. Estos cables de fibra óptica son de una fabricación muy delicada, cuidadosa tanto desde el análisis de la fibra natural hasta la coloración ya que durante estos procesos producen pérdidas, lo mismo en el clima que están sometidas.

Este proyecto beneficia a todas las empresas de telecomunicaciones que utilizan fibras ópticas y a su vez a los usuarios que requieren este tipo de servicio. Según el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (Mintel), “En Ecuador en el 2006 el número de usuarios de internet con banda ancha fue de 207.277 y en 2013 la cantidad de abonados aumento a 4’859.996” [3] es decir que esta es la cantidad que beneficiaría nuestro proyecto.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar el factor de atenuación que influye en la transmisión del cable de fibra óptica, bajo pruebas mecánicas de tensión y torsión con equipos OTDR, analizador de fibras (PK 2800) y tensionador, para mejorar el diseño del cable de fibra óptica.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Estudiar las propiedades de transmisión de la fibra óptica para entender el comportamiento de las mismas frente a tensiones y torsiones del cable fibra.

- ✓ Completar la información de especificaciones técnicas tomando en cuenta las tensiones máxima que recibe el cable.

- ✓ Realizar los ensayos mediante pruebas mecánicas del cable de fibra óptica, empleando los equipos: OTDR, máquinas de pruebas mecánicas y el analizador de fibras ópticas.

- ✓ Presentar las gráficas de potencia y atenuación para determinar un rango de atenuaciones que influyen en la transmisión sobre un sistema de comunicaciones ópticas.

CAPÍTULO 2

2. GENERALIDADES DE LA FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es un medio de transmisión utilizado generalmente en redes de datos y telecomunicaciones. Es uno de los medios de transmisión más utilizados en la actualidad, más avanzados ya que son inmunes a las interferencias electromagnéticas. El material con el que está hecha la fibra es de un hilo bien fino que puede ser de vidrio o materiales plásticos por donde pasan los haces de luz que representan los datos a transmitir [4] como se muestra en la figura 2.1.

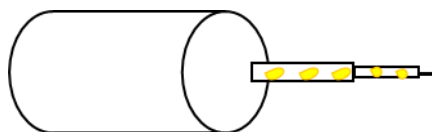


Figura 2.1 Cable de fibra óptica transmitiendo haz de luz

2.1 Estructura del cable de fibra óptica

La fibra óptica es una guía de ondas dieléctrica construida a base de SiO_2 por lo que no emite ni se ve afectada por las radiaciones electromagnéticas, diminuta con diámetros en el orden de los micrones, ligera en peso, que opera a determinadas frecuencias, capaz de transmitir a largas distancias con grandes anchos de banda y prácticamente con menores costos.

Las fibras ópticas son filamentos generalmente en forma cilíndrica, que consiste en dos partes principales: un núcleo (Core) de vidrio en el orden de los $10 \mu m$ y un recubrimiento (Cladding) normalmente de $250 \mu m$ de diámetro de vidrio o plástico [4]. La señal luminosa que se inyecta en el núcleo sigue el

camino físico a lo largo de la fibra gracias a la reflexión total interna de la luz entre el núcleo y el recubrimiento [5].

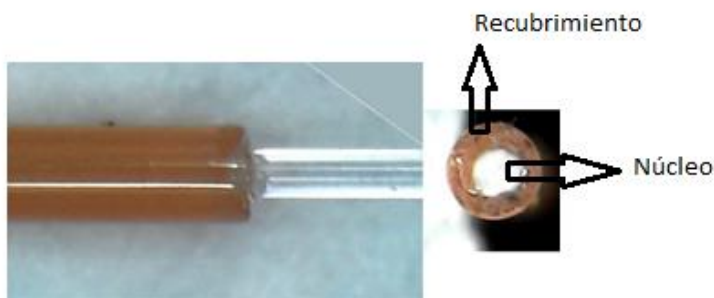


Figura 2.2 Partes fundamentales de la fibra óptica

En la figura 2.2 se muestra la fibra bajo el microscopio, donde se puede observar el núcleo y el recubrimiento, donde sus diámetros son $9 \mu m$ y $245 \mu m$ respectivamente [6].

Debido a que los hilos de vidrio pasan las señales en una sola dirección, un cable consta de varios hilos de fibra óptica en envolturas separadas (tubos holgados). Una capa de plástico de refuerzo alrededor de cada hilo de vidrio y las fibras Kevlar ofrece solidez. En el conector de fibra óptica, las fibras de Kevlar se colocan entre los dos cables. Al igual que sus homólogos (par trenzado y coaxial), los cables de fibra óptica se encierran en un revestimiento de plástico para su protección.

2.2 Sistema de transmisión por fibra óptica



Figura 2.3 Sistema de comunicación básico de Fibra Óptica [7]

Un sistema de comunicación de fibra óptica está compuesto por una fuente de luz (transmisor), un detector de luz (receptor) y un cable de fibra óptica como se muestra en la figura 2.3. Un transmisor óptico tiene como función convertir una señal eléctrica a una señal de luz dentro de una fibra óptica, entonces el receptor óptico captura la señal en el final cuando es reconvertida en una señal eléctrica. [7] Para este proceso se utiliza distintos tipos de modulaciones que dependen del canal o medio de transmisión.

2.3 Principios de transmisión

2.3.1 Apertura numérica

La apertura numérica es un parámetro adimensional, que indica la cantidad de luz que ingresa a la fibra. Cuando un rayo de luz entra a la fibra óptica, lo hace con un pequeño ángulo, la capacidad de la fibra de recibir la luz en su núcleo, el valor de máxima aceptación está determinado por la apertura numérica AN en la ecuación 2.1 [8].

$$AN = \sin \theta_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.1)$$

Donde θ_{max} , es el máximo ángulo de aceptación, que corresponde al límite entre la reflexión y la refracción. n_1 es el índice de refracción

del núcleo mientras que n_2 es el índice de refracción del recubrimiento. El cono de máxima aceptación de luz viene dado por $2\theta_{max}$ como se muestra en la figura 2.3. [8]

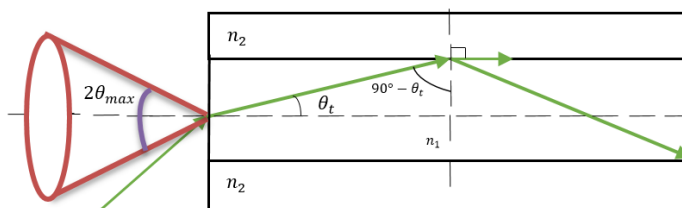


Figura 2.4 Apertura numérica [8]

La propagación de un rayo de luz dentro de la fibra óptica obedece a la Ley de Snell-Descartes (ecuación 2.2), donde el cociente de los senos de los ángulos incidentes y de refracción, es igual a una constante característica del medio, que llamamos índice de refracción n .

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.2)$$

2.3.2 Propagación de luz

Existen dos tipos de propagación de luz: refracción y reflexión.

La refracción es el doblamiento del rayo de luz, cuando atraviesa medios de transmisión diferentes. Si el ángulo de incidencia es mayor al ángulo crítico entonces el rayo de luz se refracta y no es capturado por el núcleo de la fibra óptica [8].

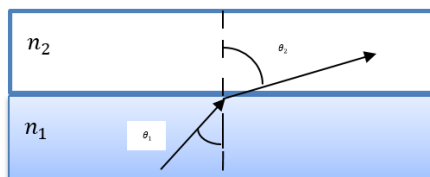


Figura 2.5 Refracción del rayo de luz [8]

En la figura 2.4 muestra la refracción del rayo de luz donde n_2 es el índice de refracción del revestimiento de la fibra y n_1 el índice de refracción del núcleo. Donde el rayo de luz que entra a la fibra se refracta, ya que el ángulo θ_1 es mayor al ángulo crítico (figura 2.5), y el rayo de luz pasa al recubrimiento.

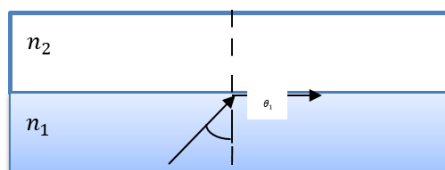


Figura 2.6 Ángulo Crítico [9]

El ángulo crítico como se muestra en la figura 2.5 es el ángulo el cual no permite la refracción y toda la luz incidente sigue en el mismo medio, es decir en el núcleo. [9]

La reflexión es el cambio en la dirección de propagación del rayo de luz en la frontera entre dos materiales o medios de transmisión diferentes. Si el ángulo incidente es menor al ángulo crítico, entonces el haz de luz se refleja y continúa viajando dentro del núcleo de la fibra óptica, aprovechando el concepto de reflexión interna total [8].

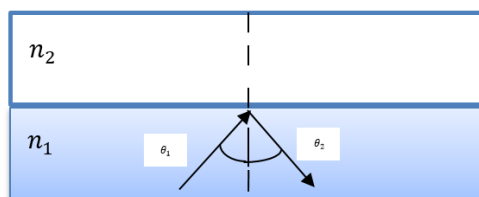


Figura 2.7 Reflexión del rayo de luz [8]

La figura 2.6 se muestra la reflexión del rayo de luz en la fibra, donde θ_1 es el ángulo del núcleo y es menor al ángulo θ_2 que pertenece al revestimiento, y con esta condición se produce reflexión en la fibra, tal que el rayo de luz continúa viajando dentro del núcleo.

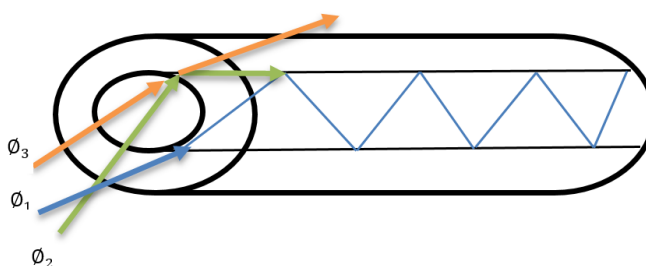


Figura 2.8 Propagación de la luz en la fibra óptica

La figura 2.7 muestra la propagación de luz en la fibra óptica: reflexión interna total ϕ_1 donde toda la luz pasa dentro del núcleo y mejora la transmisión, el ángulo crítico ϕ_2 , refracción ϕ_3 la luz se refracta y una parte se va al recubrimiento y no es muy recomendable para transmitir.

2.3.3 Velocidad

La velocidad con que la luz viaja a través de un medio de transmisión, es determinada por el índice de refracción del medio en el que viaja el haz de luz, n representa la relación de velocidad de la luz en el vacío versus la velocidad de la luz en el nuevo medio de transmisión, como se muestra en la ecuación 2.3 [10].

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.3)$$

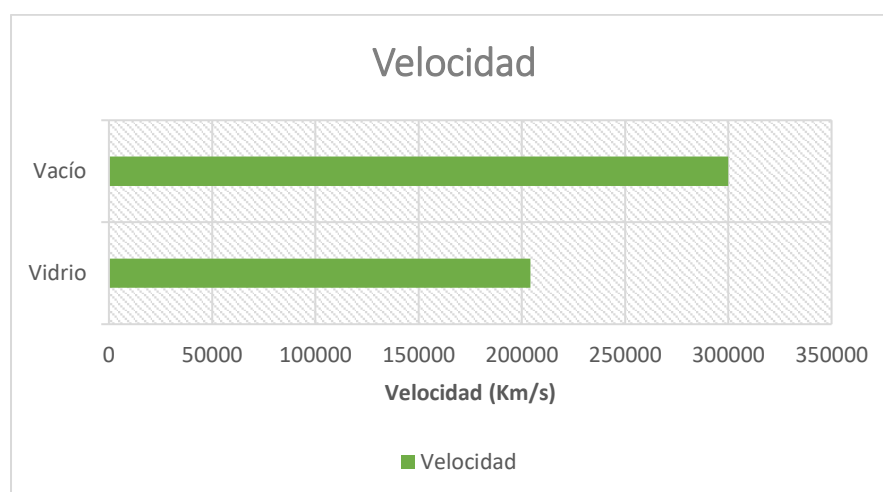


Figura 2.9 Gráfico de velocidad de dos materiales diferentes [10]

Por ejemplo, la figura 2.9 muestra una comparación de velocidad entre los dos diferentes medios de transmisión. Los valores del índice de refracción del vidrio que forma parte del núcleo de la fibra óptica, están entre 1.45 y 1.55 [10]. Por lo tanto utilizando la ecuación 2.3 la velocidad del vidrio es $204.3 \times 10^6 \text{ m/s}$, comparando este resultado con la velocidad del vacío este es menor, por lo que se concluye que a menor índice de refracción mayor velocidad.

2.3.4 Ancho de banda

El rango de frecuencias que pueden ser transmitidos a través de una fibra óptica define el ancho de banda, este determina la capacidad máxima del canal para transmitir la información sobre la fibra a determinada distancia, el ancho de banda viene expresado en $MHz * Km$ [11].

En las fibras multi-modo el ancho de banda es menor comparando con la fibra mono-modo, dado que esta fibra no posee dispersión modal.

2.4 Tipos de Fibra

La fibra óptica también se puede clasificar según el modo de propagación del haz de luz que viaja en el interior del núcleo, en esta clasificación juega un papel muy importante los diámetros del núcleo, y del recubrimiento. [11] La clasificación es como se muestra la figura 2.9:



Figura 2.10 Clasificación de los tipos de fibra [11]

2.4.1 Fibra Multi-modo

Una fibra es multi-modo, cuando la transmisión de luz se propaga en diferentes caminos (modos múltiples) a lo largo del enlace. Estos múltiples modos se producen porque el tamaño del núcleo de la fibra está en el rango de 50 a 100 μm , es decir el núcleo es grande, haciendo esta fibra bastante sensible a la dispersión modal [11].

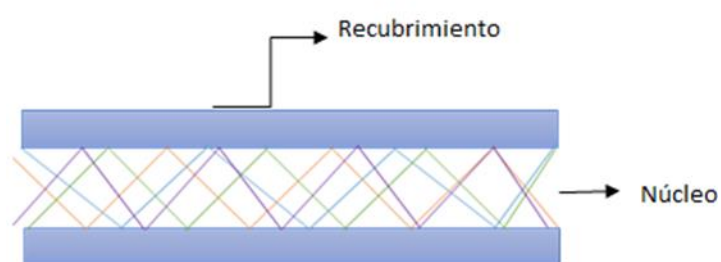


Figura 2.11 Fibra multi-modo.

En la figura 2.11 se muestra los múltiples modos en la propagación de la luz, donde se produce la dispersión modal, esto ocurre cuando unos de los modos se cruzan entre sí, provocando un error en la transmisión.

La fibra multi-modo de índice de paso (SI) guía los rayos de luz a través de la reflexión interna total en el límite entre el núcleo y el revestimiento. El índice de refracción es uniforme en el núcleo. [12]

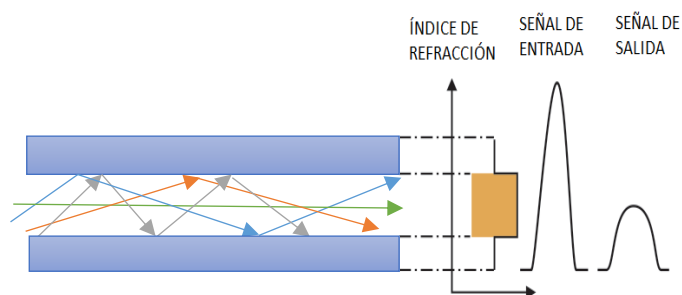


Figura 2.12 Índice de paso en la fibra multi-modo [12]

En la gráfica 2.12 se muestra la señal de entrada como un pulso, en el transcurso que viaja en la fibra, el pulso se ensancha en el tiempo y su amplitud se reduce debido a la dispersión

El núcleo de la fibra multi-modo de índice gradual (GI) posee un índice de refracción no uniforme, que disminuye gradualmente desde el eje central hasta el revestimiento. [12]

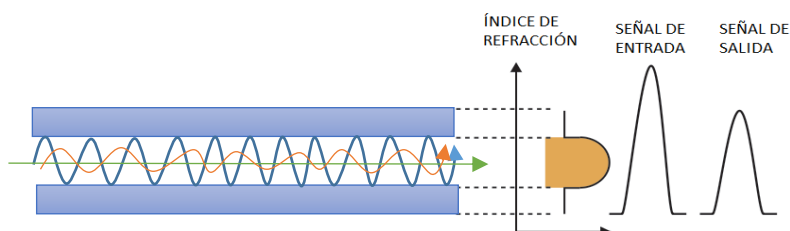


Figura 2.13 Índice de grado de la fibra multi-modo [12]

La variación de índice del núcleo hace que los rayos de luz avancen a través de la fibra de forma sinusoidal como se muestra en la figura 2.13, los modos de propagación de mayor orden tendrán una ruta más larga para viajar, pero fuera del eje central en áreas de bajo índice, sus velocidades aumentarán. Además, la diferencia de

velocidad entre los modos de orden más elevado y los modos de orden más bajo será menor para la fibra multi-modo GI que para la fibra multi-modo SI. [12]

2.4.2 Fibra mono-modo

Los rayos que viajan en el interior del núcleo de la fibra mono-modo, tienen un solo modo de propagación que es paralelo al eje de la fibra. Esta se obtiene reduciendo el núcleo de la fibra hasta un tamaño de 8,3 a 10 μm de diámetro (Figura 2.12), permitiendo un solo modo de propagación, eliminando por completo las pérdidas por dispersión modal [12].

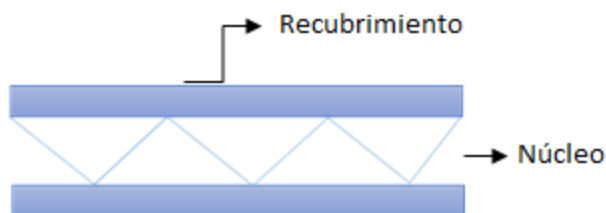


Figura 2.14 Fibra mono-modo

En la figura 2.14 se muestra la propagación de la fibra mono-modo, como solo hay un rayo ya no existe dispersión modal. Con una apropiada compensación para la dispersión, las fibras mono-modo alcanzan los 40 Gbps sobre muy largas distancias. Inclusive la capacidad se ve incrementada al utilizar esquemas de modulación por multiplexación de longitudes de onda WDM.

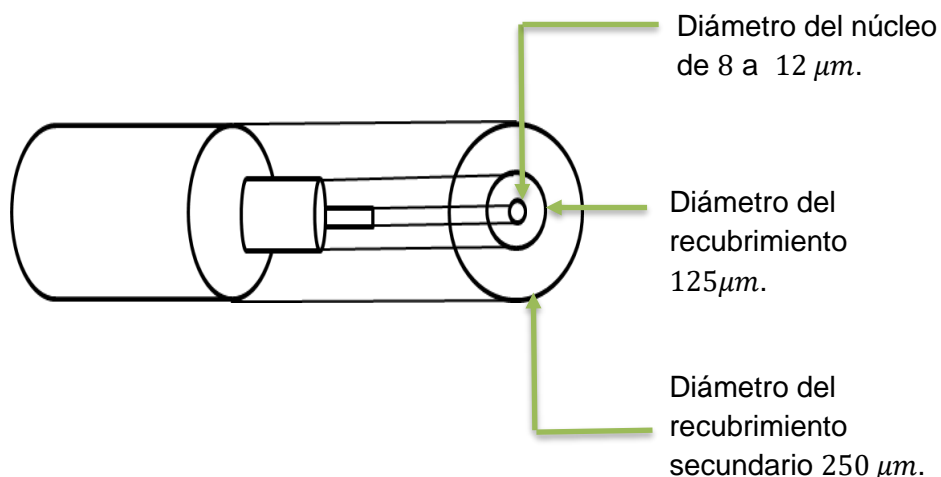


Figura 2.15 Diámetros del núcleo y recubrimiento de la fibra

En la figura 2.15 muestra los diámetros en μm de las partes de la fibra mono-modo, como se puede observar el diámetro del núcleo es pequeño, por lo que tiene un mayor ancho de banda en comparación con la fibra multi-modo, esto se debe a que la fibra transmite en un solo modo y no existe dispersión modal. Las fibras mono-modo trabajan en longitudes de onda óptica de 1310 y 1550 nm .

En las fibras mono-modo, solamente un modo de propagación es permitido, el MFD diámetro del campo modal, puede ser expresado como la sección de la fibra donde atraviesa la mayor cantidad de energía luminosa. El MFD suele ser mayor que el diámetro del núcleo físico, este fenómeno ocurre porque la luz también viaja a través del recubrimiento [12].

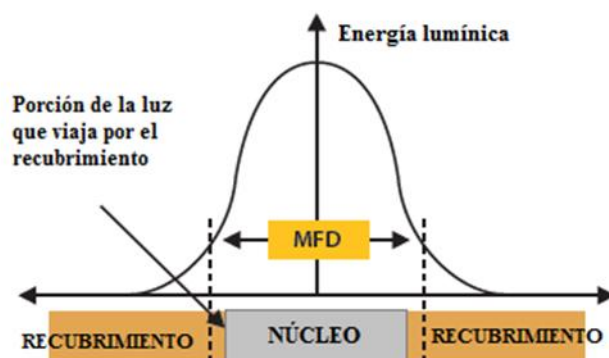


Figura 2.16 Dispersión de campo modal [12]

La figura 2.16 muestra como la luz se propaga en el núcleo y como cubre una parte del recubrimiento a lo que se llama diámetro de campo modal.

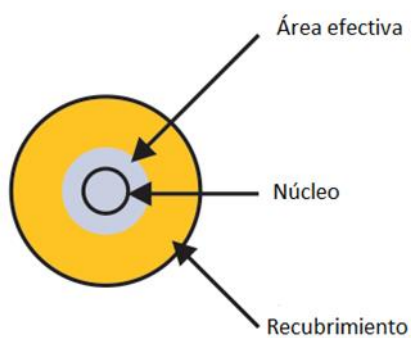


Figura 2.17 Área efectiva [12]

El área efectiva es el área de la fibra correspondiente al diámetro del campo modal (Figura 2.17). Esta área influye en los efectos no lineales de la fibra, ya que dependen de la densidad de potencia de la luz inyectada en la fibra [12].

2.5 Atenuación

La atenuación espectral de fibra sucede cuando la señal de luz atraviesa la fibra, esta señal disminuye el nivel de potencia. La disminución en el nivel de potencia se expresa en decibelios Db o como tasa de pérdida por unidad de distancia Db/Km [13]. La pérdida óptica es la suma de 3 componentes: pérdida intrínseca, pérdida de micro flexión y pérdida de empalme [14].

2.5.1 Pérdidas por absorción

Estas pérdidas suceden cuando la luz se absorbe en el material fibroso a medida que su energía se convierte en calor debido a la resonancia molecular y las impurezas de la longitud de onda [13].

2.5.2 Dispersión de Rayleigh

Esta dispersión se produce cuando la luz choca en su camino con partículas extrañas al medio material, cuyo diámetro es menor a la longitud de onda de la señal óptica, provocando que el rayo incidente se disperse en muchas direcciones [13].

Las pérdidas por efecto Rayleigh son de mayor influencia para longitudes de onda comprendidas entre 400 nm y 1100 nm ya que estas ondas son sujetas a mayores pérdidas, en comparación con otras longitudes más grandes.

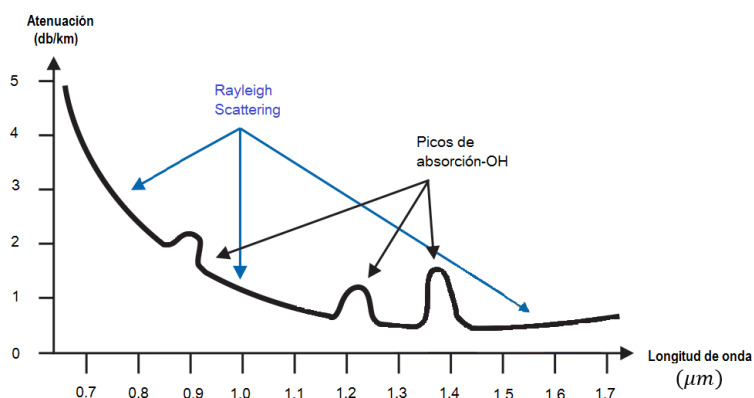


Figura 2.18 Atenuación total de la fibra [13]

La figura 2.18 ilustra la relación entre la longitud de onda de la luz inyectada y la atenuación total de la fibra. Las principales longitudes de onda de transmisión de telecomunicaciones corresponden a los puntos en la gráfica donde la atenuación es pequeña. El símbolo OH en el gráfico indica que en las longitudes de onda 150,1244 y 1383 nm, la presencia de iones de hidrógeno e hidróxido en el material del cable de fibra óptica provoca un aumento en la atenuación. Estos iones son provocados por la presencia de agua que entra el material del cable en el proceso de fabricación o la humedad del medio ambiente [13].

2.6 Características de los tipos de cable de fibra óptica

2.6.1 Ducto

“Los ductos de polietileno de alta densidad son utilizados para la protección mecánica y ambiental de todo tipo de cables de fibra óptica, coaxiales y eléctricos” [15].

Los cables tipos ductos (figura 2.19) tienen una vida útil de 40 a 50 años después de su instalación, en condiciones de operación normal. Se pueden instalar en terrenos no planos, ya que estos cables no son frágiles ni excesivamente rígido, pueden ajustarse al contorno natural del terreno. Por su flexibilidad pueden alcanzar radios de curvatura de 40 y 20 veces su diámetro [15].



Figura 2.19 Cable tipo ducto 12 fibras G652D

2.6.2 Drop

El cable tipo drop para interiores es un cable simplex (1FO), dúplex (2FO) o cuádruplex (4FO), son robusto, resistente y flexibles. Estos cables pueden ser suministrados desde 500, 1000 a 3000 metros y son totalmente dieléctrico. Se pueden realizar ensayos mecánicos y físicos [15].



Figura 2.20 Cable tipo Drop 2 fibras G657A2

2.7 Equipos de medición

2.7.1 OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)

El OTDR es un dispositivo que puede evaluar el estado de la fibra y redes ópticas [16]. Este equipo puede detectar de manera inmediata la atenuación, longitud y pérdida de la fibra.



Figura 2.21 Equipo OTDR

Los beneficios del OTDR (Figura 2.21) funcionan como un radar unidireccional es decir se conecta en un solo extremo de la fibra y permite un análisis del estado de una fibra.

Un OTDR genera información espacial con respecto a la pérdida localizada y eventos reflectantes informando al técnico los resultados por medio de gráficas [16].

2.7.2 Analizador de fibra PK2800

El analizador de fibra (Figura 2.22) es una plataforma de medición que puede configurarse para realizar una variedad de mediciones críticas de la fibra mono-modo, como dispersión cromática,

dispersión del modo de polarización deformación de fibra, pérdida por flexión, pérdida espectral, sesgo y longitud de fibra de alta resolución [17].



Figura 2.22 Analizar de fibra PK2800

Las fuentes de LED estándar cubren el rango de longitud de onda de 1240 a 1630 *nm*, mientras que los LED opcionales se pueden instalar para permitir mediciones a 650, 850, 980 y 1060 *nm*. Las opciones de rango dinámico ultra alto permiten mediciones de CD (Dispersión cromática) en fibras de telecomunicaciones estándar de más de 200 *Km* de largo [17].

2.8 Estándares IEC 60794-1-2-2003

Los estándares IEC [18,19] se los utiliza básicamente para las instalaciones de los cables de fibra óptica. Estos estándares se basaron en pruebas mecánicas con equipos especializados, se realizaron estudios para determinar a qué longitud de la fibra puede estirarse, a qué ángulo puede doblarse y a qué fuerza puede estar sometida sin que produzcan pérdidas en la transmisión.

Los métodos de las pruebas mecánicas son: Tensión, Impacto, Torsión, Flexión, Abrasión, Estabilidad de fuerza de pelado de fibras ópticas cableadas, Pliegue, Curvatura y Vibración eólica. Este estudio se basará en revisar dos métodos: tensión y torsión.

2.8.1 Tensión

El estándar E1[18] es la prueba mecánica de tensión, que se realiza sobre el cable óptico ya diseñado antes de su instalación, en esta prueba de tensión se realizan dos procedimientos E1A y E1B los cuales consisten en determinar los cambios de atenuación y la elongación de la fibra respectivamente.

En el procedimiento E1A, se utiliza la máquina mecánica de tensión y el analizador de fibra (Figura 2.23), la máquina de tensión estira el cable óptico y para determinar los cambios de atenuación se utiliza una fibra de prueba donde el analizador de fibra le pasa un pulso de luz y se puede verificar la potencia y atenuación en el cable.

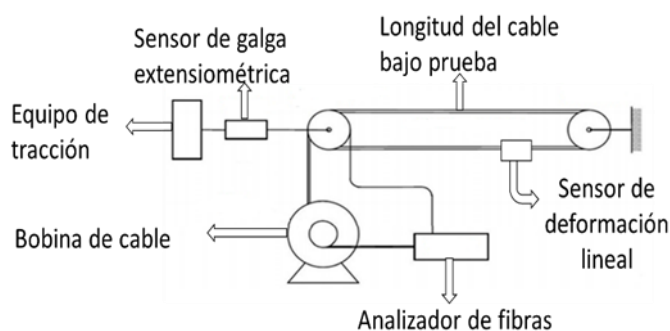


Figura 2.23 Prueba de Tensión [18]

El procedimiento E1B se basa en la máquina de tensión, para determinar la deformación de por elongación de la fibra. Puede también proporcionar información sobre la fuerza máxima de tracción permitida para el campo de instalación y el margen de deformación del cable.

Los equipos deben ser adecuados para cada función, uno de los requisitos al momento de la medición es instalar una sección porción de cable que sería de 50 metros descrito por el estándar.

2.8.2 Torsión

El estándar E7 [19] establece la capacidad de un cable de fibra óptica para soportar la torsión mecánica. Su objetivo principal es medir cualquier variación en la potencia óptica de una fibra cuando está sometida a fuerzas de torsión externas a la chaqueta del cable, utilizando el mismo procedimiento (Figura 2.23) pero con la máquina de torsión. El propósito de esto es evaluar si la fibra no tiene un daño físico al realizar estas pruebas.

Para realizar estas pruebas se requiere un cable de fibra apto para permitir la sujeción y la torsión apropiadas. El equipo de torsión (Figura 2.24) consiste en 2 dispositivos de agarre de cable o abrazaderas, uno debe estar fijo mientras la otra gira según corresponda al número de vueltas establecidas, siendo ajustada la distancia entre ellos.

El cable móvil debe girar a 180° en el sentido de las manecillas del reloj así mismo se regresa a la posición inicial para realizar el

movimiento a 180° pero en contra a las manecillas del reloj y regresa en su posición inicial. Estos 4 procedimientos son un ciclo por lo tanto se realiza esta prueba en 1 min como máximo para obtener un total de 10 ciclos [19].

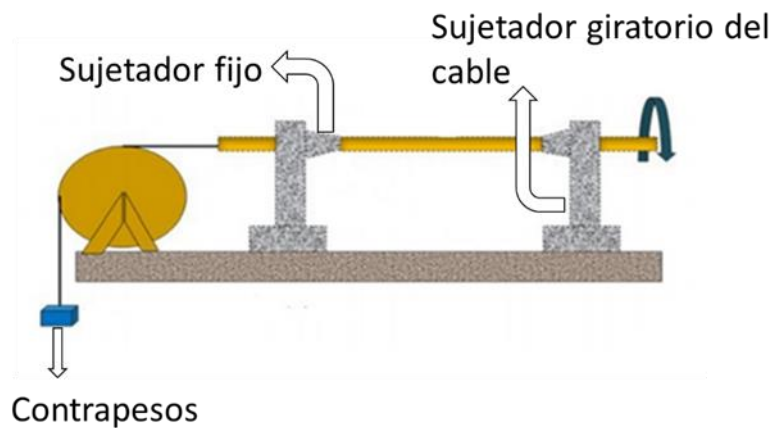


Figura 2.24 Prueba de Torsión con peso [19]

Si al momento de realizar los giros de 180° el cable llega a doblarse es decir formar una curvatura, las especificaciones indican que también se puede colocar un peso es decir producir una tensión para que el cable este recto como se muestra en la Figura 2.24 [19].

CAPÍTULO 3

3. PRUEBA DE TORSIÓN

La prueba de torsión es un mecanismo que se utiliza a los cables de fibra óptica, especialmente en los cables de tendido aéreo y cables de ducto. Como se mencionó en la sección 2.8, el objetivo de esta prueba se basa en medir la variación de la potencia en el cable cuando sufre una deformación.

3.1 Prueba de torsión de un cable de ducto de 12 fibras.

Para realizar la prueba de torsión se utiliza el equipo “Optical cable torsión test machine”, como se muestra en la figura 3.1, este equipo está conformado por dos poleas donde el cable es torsionado, unas pesas de 5 Kg cada una, el cual produce una tensión al cable y un software donde se muestra las gráficas de potencia, deformación y atenuación como resultado.



Figura 3.1 Máquina de Torsión

Para la prueba de torsión se utiliza un cable de ducto que consiste de 12 hilos de fibra, transmitiendo a una longitud de onda de 1550 nm , el cable tiene una chaqueta (figura 3.2) que tiene una línea blanca que se llama línea de

marcado, indica que el cable este alineado y al momento de girarlo poder corregir torsiones.



Figura 3.2 Cable de ducto alineado en el equipo de torsión.

En esta prueba se utiliza un 1m de cable como indica el estándar IEC 60794-Método E7 [19] y por propias condiciones del equipo con el que se está trabajando, pero también se puede medir a hasta 3m de cable. Una vez puesto el cable en el equipo, este ya está haciendo tensionado solo por los contrapesos (Figura 3.3 A), que ya tiene 5Kg. por default del equipo, pero si se agrega un bloque de masa de 5Kg. (Figura 3.3 B) ahí solo tendría en peso 100 N considerando la masa del contrapeso más la del bloque, si aumentamos un bloque más se tiene 10Kg en total con un peso de 150N, el número máximo de bloques que podemos colocar en el equipo es de 4 (Figura 3.3 C), por lo tanto, la máxima tensión que ejerce el equipo en el cable es de 250N. Estos contrapesos sirven para que el cable no este colgado al momento de torcer.

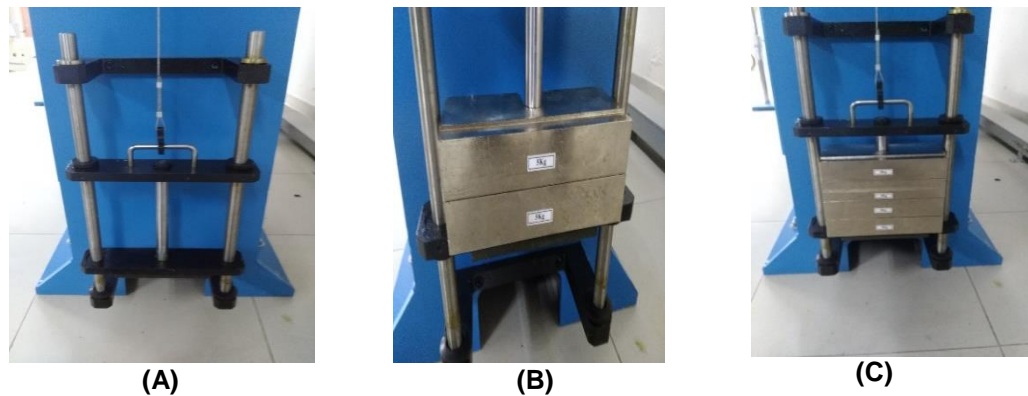


Figura 3.3: A) Contrapesos del equipo, B) Contrapesos del equipo con 2 bloques, C) Contrapesos del equipo con los 4 bloques.

Se configura el equipo con los siguientes parámetros:

Carga: Condición extrema $250\text{ N}/180^\circ$

Longitud: 1 m

Ángulo: $\pm 180^\circ$

Número de vuelta: 10

La condición extrema de la carga es de 250N por cada vuelta de 180° del cable, el cable gira a favor de las manecillas del reloj (180°) y en contra las manecillas del reloj (180°), donde se cuenta la primera vuelta y forma los 360° . Cuando la carga se pasa a los 250N el cable comienza a presentar rotura (cracking), esto ocurre cuando el diámetro del núcleo es mayor al del recubrimiento entonces se produce una lesión en la fibra (Figura 3.4) por lo se debe mejorar el diseño del cable.

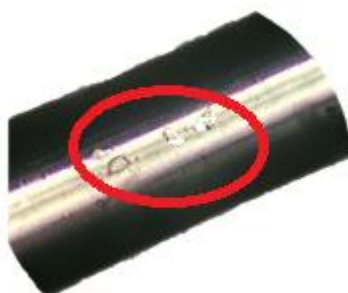


Figura 3.4 Fibra lesionada por torsión

El cable tiene 12 hilos de fibra según lo requerido en el diseño, los cuales están diferenciados por colores del estándar ITU [20] que son: azul, naranja, verde, café, gris, blanco, rojo, negro, amarillo, violeta, rosado y celeste. Luego de configurar los parámetros el equipo comienza torcer el cable según el número de vueltas registrado.

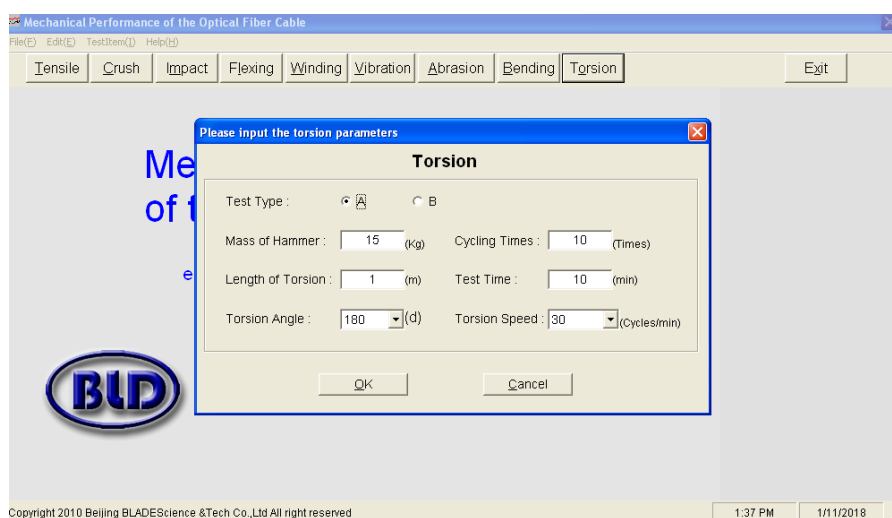


Figura 3.5 Configuración de parámetros de la prueba de torsión

En la figura 3.5 se muestra los parámetros que se utiliza en el equipo donde la masa es 15 Kg, la longitud del cable es de 1m, el ángulo de 180 y la rapidez de torsión es de $30 \text{ Cycles}/\text{min}$.

Para obtener las gráficas de potencia, la fibra del cable bajo la prueba de torsión es fusionado con otro cable de fibra para que sirva como extensión, para poder llegar hacia el analizador PK2800 (Figura 3.6), así aseguramos cerrar el ciclo: transmisión, prueba de torsión, bobina del cable bajo prueba y regresa al analizador (recepción).

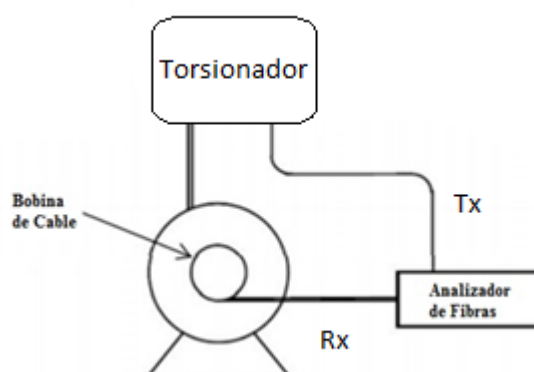


Figura 3.6 Esquema de prueba de torsión

3.2 Fusión de la fibra.

Para cumplir el ciclo como se muestra la figura 3.6, se debe fusionar la fibra del cable que se encuentra en la máquina de torsión con la fibra a prueba, para cuando el analizador de fibra mande un pulso de luz, este pueda recibir y graficar como resultado la potencia de cada fibra. El procedimiento de fusión que se realiza en la fibra es:

Primero se retira el recubrimiento de la fibra (figura 3.7), luego se debe realizar con precisión un sesgo en la fibra como indica la figura 3.8, en caso de no realizar bien el sesgo, la fusionadora no va a empatar las fibras (figura 3.9 B) y producirá un error.

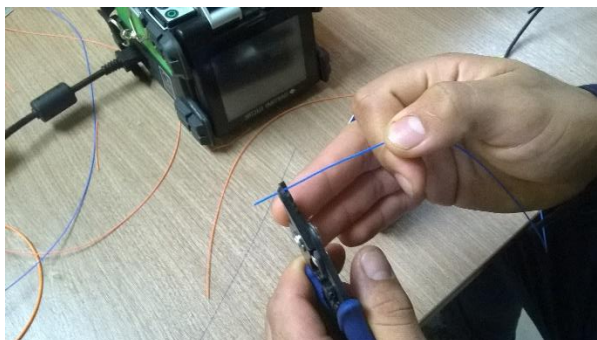


Figura 3.7 Retirando el recubrimiento de la fibra



Figura 3.8 Sesgo en la fibra

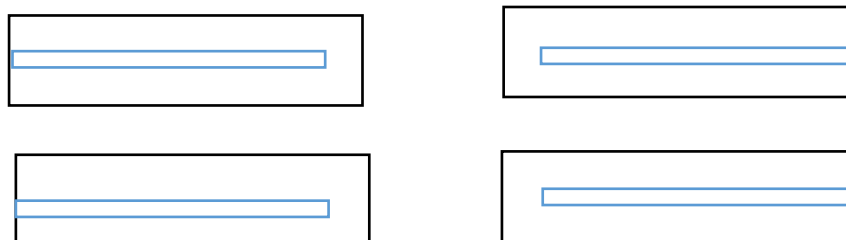


Figura 3.9 A Fusión de la fibra correcta

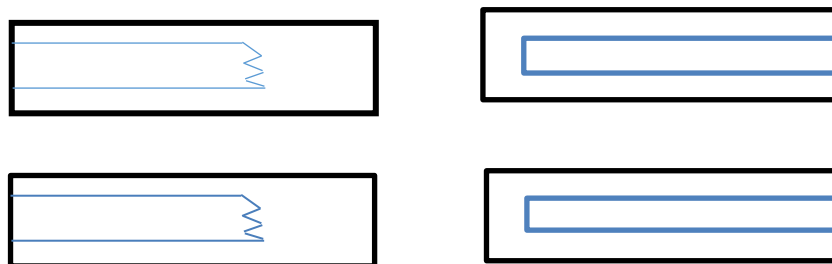


Figura 3.9B Error de sesgo



Figura 3.10 Fusión de la fibra

El equipo de fusión contiene electrodos que produce el arco eléctrico, quemando y uniendo las fibras provocando la fusión como indica la figura 3.10. La unión de cada una de la fibra se realiza como está descrito el estándar ITU [20], es decir la fibra azul de la máquina de torsión con la fibra a probar azul, y así con cada una de las fibras, estas uniones están conectas con el analizador de fibra como se muestra en la figura 3.11 en donde están enumeradas del 1 al 12.



Figura 3.11 Conexiones pigtails patch cord FC/UPC de las 12 fibras en el analizador

3.3 Potencia

Mientras el equipo está en funcionamiento, el cable está bajo la prueba de torsión y se puede observar como varía el cambio del ángulo según transcurre el tiempo.

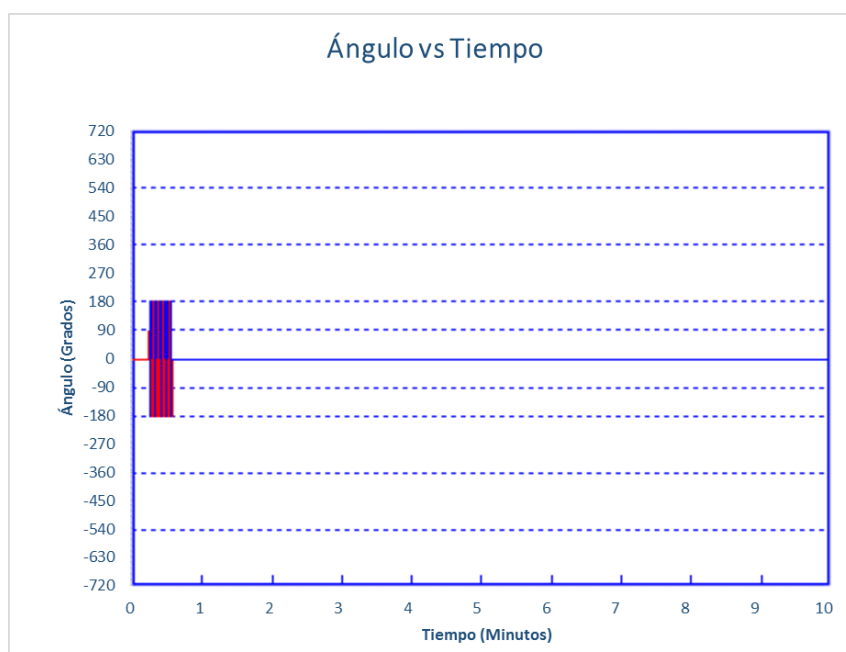


Figura 3.12 Ángulo vs tiempo

Como se muestra la figura 3.12 el ángulo varía entre $\pm 180^\circ$ a una velocidad de $30 \text{ ciclos}/\text{minuto}$, que se configura al principio antes de comenzar las prueba. Se obtiene como resultado la potencia de cada una de las 12 fibras medidas en Watts, el orden como se va mostrando las potencias es según las conexiones que se realiza en el analizador de fibra como se indicó en la sección 3.2, por lo que primero se grafica la fibra azul, naranja, verde, café, gris, blanco, rojo, negro, amarillo, violeta, rosado y celeste.

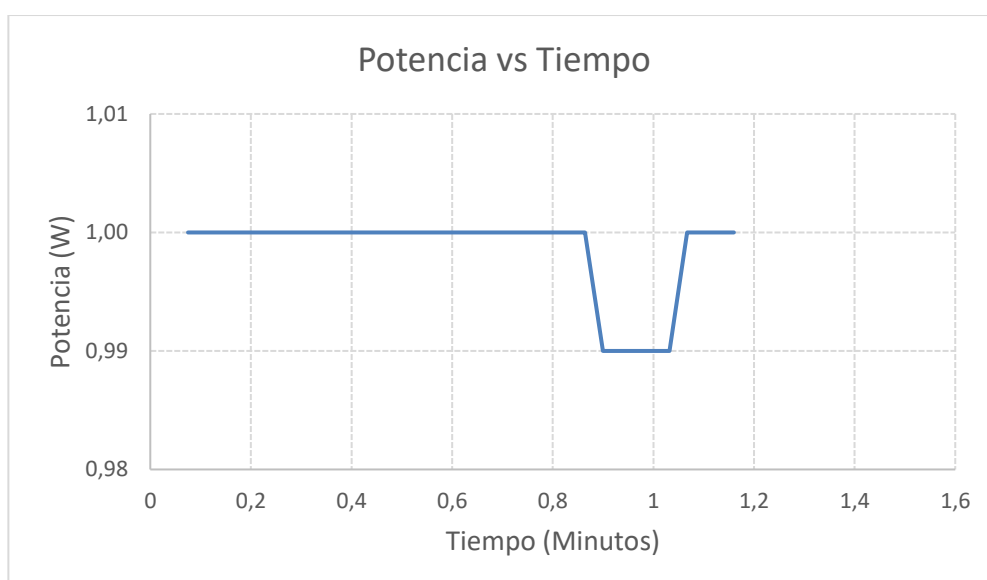


Figura 3.13 Potencia medida de la fibra azul.



Figura 3.14 Potencia medida de la fibra naranja



Figura 3.15 Potencia medida de la fibra verde



Figura 3.16 Potencia medida de la fibra café

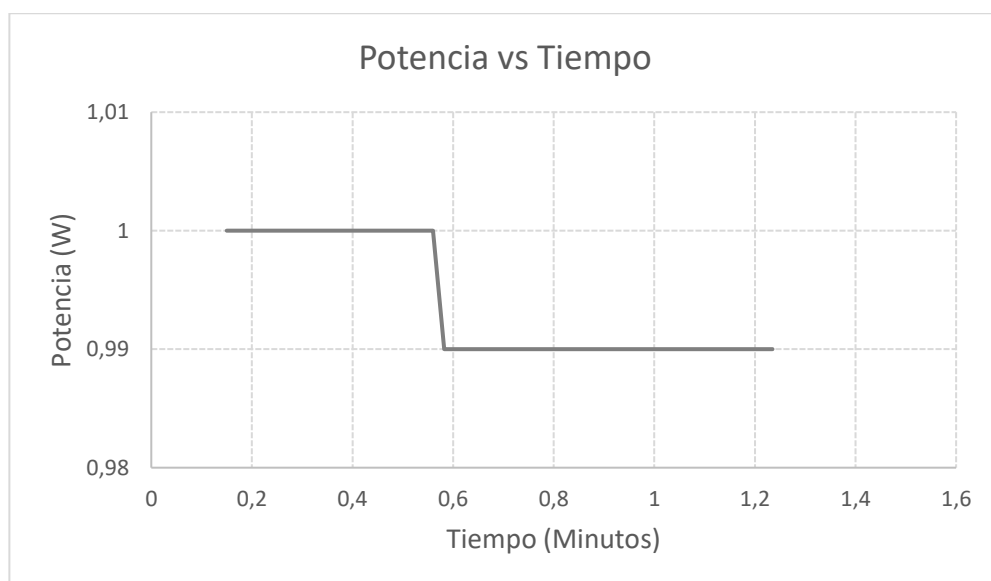


Figura 3.17 Potencia medida de la fibra gris

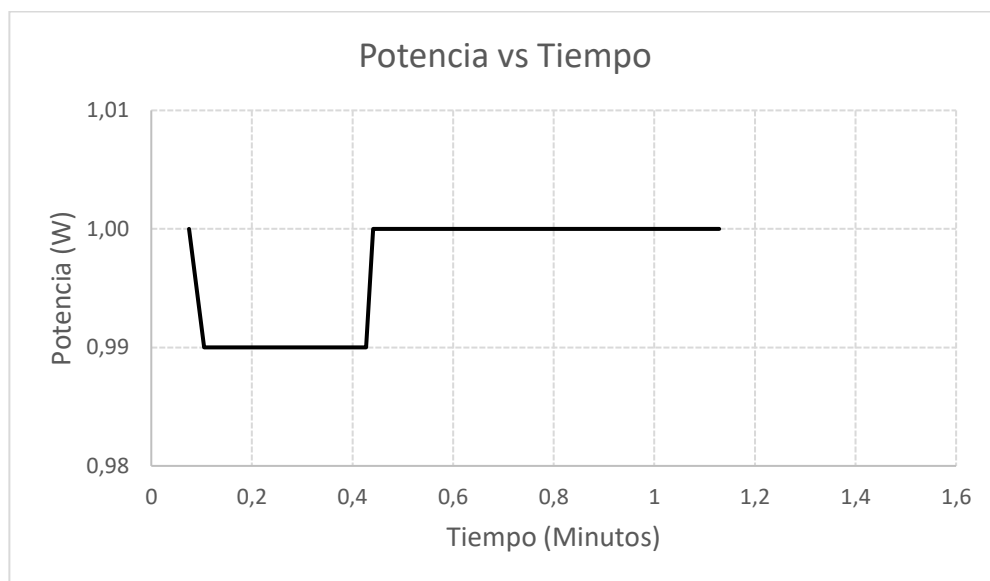


Figura 3.18 Potencia medida de la fibra blanco



Figura 3.19 Potencia medida de la fibra rojo

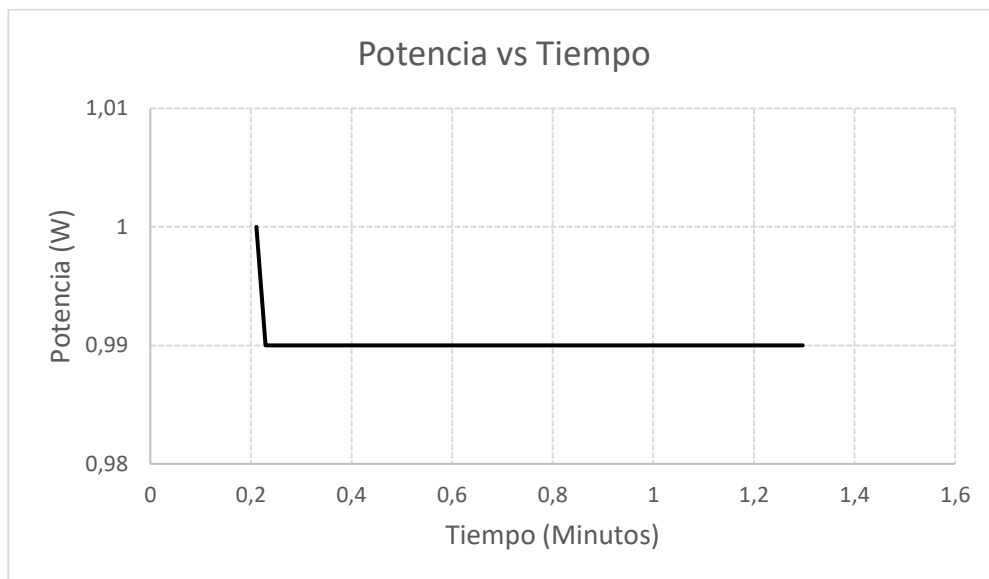


Figura 3.20 Potencia medida de la fibra negro

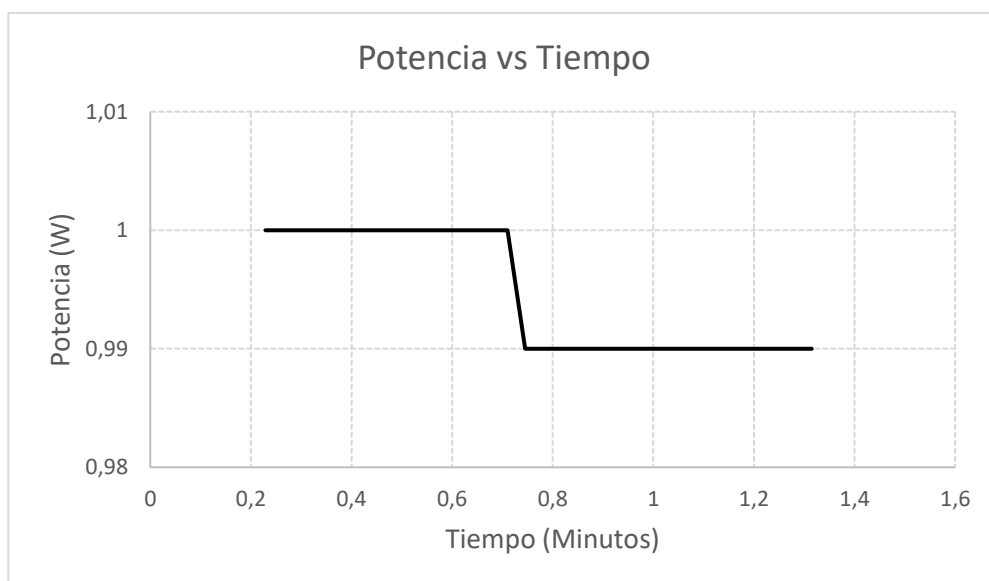


Figura 3.21 Potencia medida de la fibra amarilla

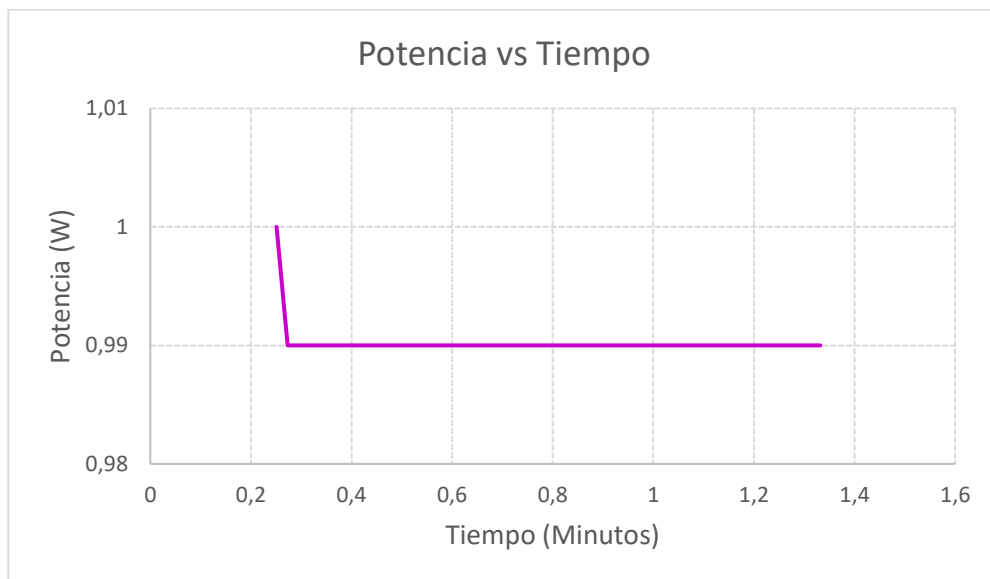


Figura 3.22 Potencia medida de la fibra violeta

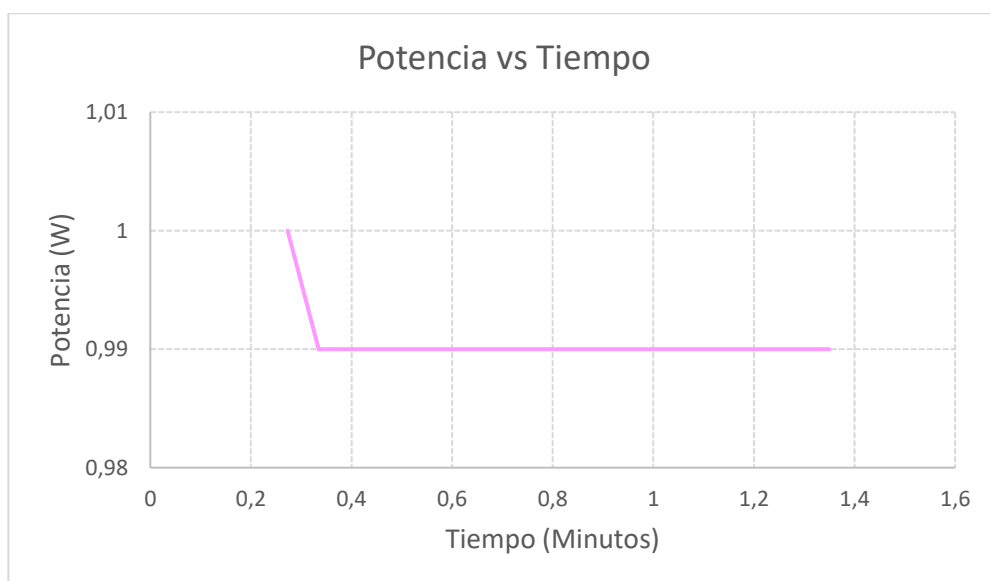


Figura 3.23 Potencia medida de la fibra rosado

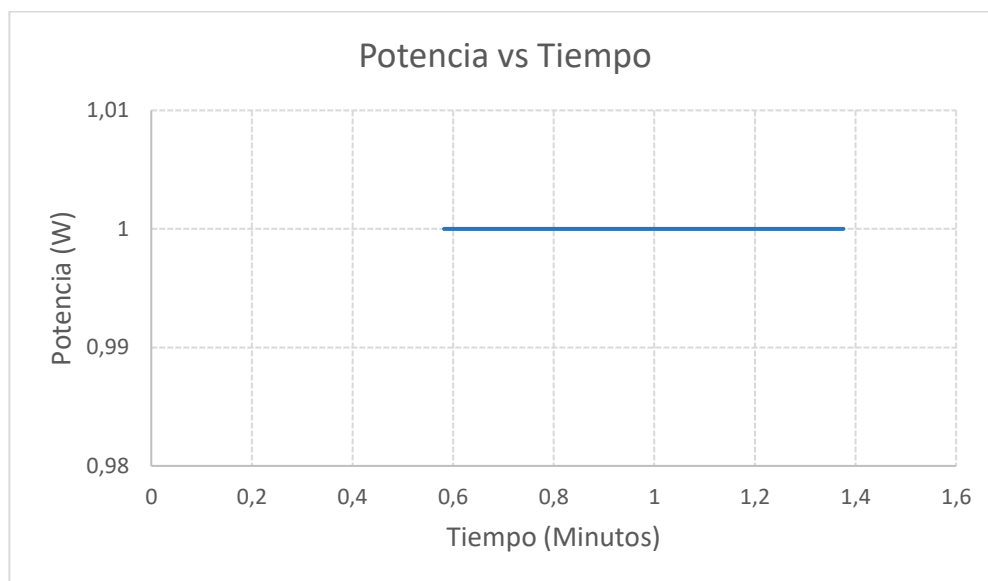


Figura 3.24 Potencia de la fibra celeste

Desde la gráfica 3.13 hasta la gráfica 3.24 se muestran las potencias de salida de cada hilo de fibra, donde la potencia del hilo azul es de 1W, el hilo amarillo 0.99W, el hilo gris 0.99W, el hilo celeste 1W, el hilo naranja 1W, el hilo violeta 0.99W, el hilo negro 0.99W, el hilo rojo 0.99W, el hilo café 0.99W, el hilo rosado 0.99W, el hilo verde 0.99W. Estos resultados se producen cuando se ejerce torsión por lo que se puede observar que es insignificante la variación de potencia.

3.4 Atenuación

Fibra	Atenuaciones sin torsión (dB)	Atenuaciones con torsión (dB)
Azul	0.22	0.029
Naranja	0.21	0.019
Verde	0.18	0.074
Café	0.19	0.015
Gris	0.18	0.007
Blanco	0.18	0.026
Rojo	0.18	0.016
Negro	0.18	0.021
Amarillo	0.15	0.058
Violeta	0.17	0.028
Rosado	0.15	0.029
Celeste	0.16	0.024

Tabla 3.1 Atenuación de las 12 fibras

En la tabla 3.1 muestra los valores de atenuación de cada hilo de fibra antes y después de torsionar el cable de fibra. Estas atenuaciones se las obtuvo en el analizador de fibra realizando el mismo procedimiento de la prueba de torsión. Se puede observar que las atenuaciones no cambian mucho, por lo que se puede concluir que en esta prueba el factor de atenuación no afecta en la transmisión.

CAPÍTULO 4

4. PRUEBA DE TENSION

La prueba de tensión es un procedimiento que se realiza en los cables de fibra óptica igual que la prueba de torsión. Esta prueba analiza la atenuación y deformación de la fibra al momento de ser tensionada.

4.1 Prueba de tensión de un cable drop de 2 fibras.



Figura 4.1 Máquina de tensión

La prueba de tensión consiste en tender un cable mayor a 50 metros en el equipo “Optical cable tensile test machine” (figura 4.1), este equipo tiene 2 poleas una en cada extremo donde está tendido el cable. Como el cable tendido tiene que ser mayor a 50 m, por lo que está suspendido en algunos soporte como se muestra en la figura 4.2.



Figura 4.2 Soporte del cable tendido

Para realizar la tensión no se utiliza bloques de masa como en la prueba de torsión descrita en el capítulo 3, sino que tiene un sensor de galga extensiométrica como se muestra en la figura 4.3, una galga extensiométrica es un dispositivo que se deforma según la fuerza que se está aplicando, esta deformación cumple la ley de Hook, es decir cuando se aplica una fuerza la galga se deforma y después regresa a su estado inicial, si se llega a superar la fuerza aplicada esta entra a la zona de ruptura y la galga queda deformada permanentemente.



Figura 4.3 Sensor de galga extensiométrica

El cable que se utiliza para realizar esta prueba es un cable tipo “drop” que se lo diseña para interiores, este cable tiene 2 hilos de fibra diferenciados con los colores azul y naranja y el analizador PK2800 utiliza una tercera fibra de referencia en este caso de color celeste, con longitud de onda de 1525nm, la longitud del cable es de 55.6 m como esta descrito en el estándar IEC [18]. Antes de empezar la prueba lo primero que debe de verificar es que cumpla los siguientes parámetros:

Diámetro de las poleas : No menor a 30 diámetros del cable.

Longitud cable de prueba: No menor a 50m

Velocidad de la prueba: $10 \text{ mm}/\text{min}$

Luego se coloca el tendido del cable en la máquina de tensión, donde una vuelta sería 26.9 m, pasa por las poleas y regresan los otros 26.9 m donde se suman 53.8 m, más el diámetro de las poleas que es 1.8 m, la longitud del cable total es de 55.6 m.

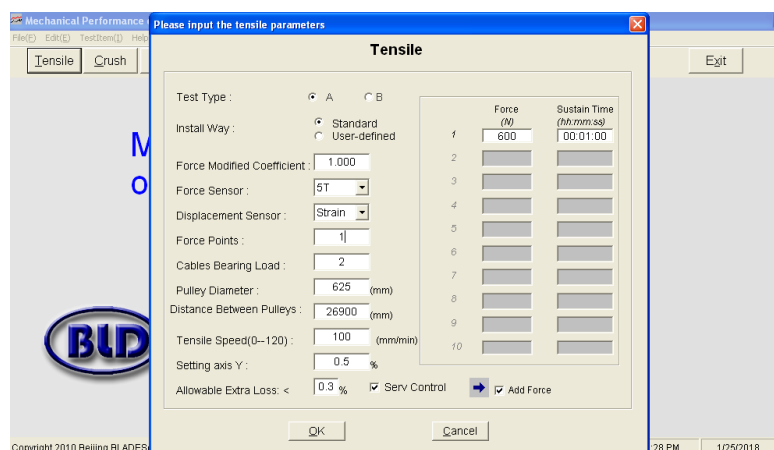


Figura 4.4 Configuración de parámetros de la prueba de tensión

En la figura 4.4 muestra la configuración de parámetros de la prueba de tensión donde se aplica una fuerza máxima de 600 N, el sensor de fuerza de 5 Toneladas y la rapidez de tensión $100 \text{ mm}/\text{min}$.

El sensor de galga extensiométrica es un sensor que mide la tensión, que se puede expresar en toneladas o Newton, que acorde se va tensionando el cable se deforma el sensor.

Para obtener las gráficas como resultado se realiza el mismo procedimiento de fusión descrito en la sección 3.2, donde se utiliza la máquina de tensión con el cable óptico, otra fibra de prueba para realizar la fusión y el analizador de fibra que es el que muestra los resultados, este conjunto debe cerrar un ciclo como se muestra en la figura 4.5.

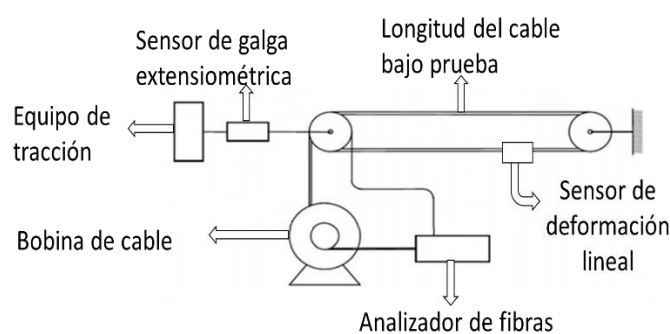


Figura 4.5 Prueba de tensión

La fusión se realiza a las dos fibras del cable óptico de prueba con las fibras que van hacia al analizador PK2800, una vez que el cable sea instalado en el tensionador. Para cerrar el ciclo de prueba se toma las dos fibras del inicio de la bobina y se fusionan con las 2 fibras de la entrada del analizador de fibra, y las dos fibras del fin de la bobina se fusionan con las dos fibras de las salidas del analizador.

4.2 Medición de potencia óptica

Los cálculos se realizan con fuerza de tensión de largo plazo y corto plazo, la fuerza de largo plazo dura 1 hora de operación normal, la fuerza de corto plazo dura 5 minutos de operación. La fuerza de tensión mínima depende del método de colocación del cable y el tipo de cable.

Método Colocación	Tensión (mínima)		Tipo de cable
	FCP (N)	F _{LP} (N)	
Drop (cables para interiores)	1500	600	GYT, GYA, GYTS, GYS, GYTY53, GYFTY, GYFTY63
Entierro directo sin canalización (I)	3000	1000	GYTA53, GYTY53, GYFTY63
Entierro directo sin canalización (II)	4000	2000	GYTA53, GYTY53
Entierro directo sin canalización (III)	10000	4000	GYTA33, GYTS33
FCP Fuerza Tensión a corto plazo; FLP Fuerza de Tensión a largo plazo			

Tabla 4.1 Fuerza mínima de tensión de corto y largo plazo

La tabla 4.1 [21] indica la fuerza tensión mínima que debe tener cada cable según su tipo, estos cables se clasifican según cuantas fibras contiene, el diámetro del cable y la estructura que lo conforma.

El cable con el que se está trabajando contiene 2 fibras y tiene un diámetro de 9.4 mm aproximadamente, por lo tanto, la fuerza máxima de tensión para corto plazo es 1500 N el cual no se realizó y para largo plazo es de 600 N.

La potencia de la gráfica 4.6 es cero, porque esta prueba es sin tensión. Por lo tanto, cuando no se ejerce una fuerza de tensión no hay cambios de potencia.

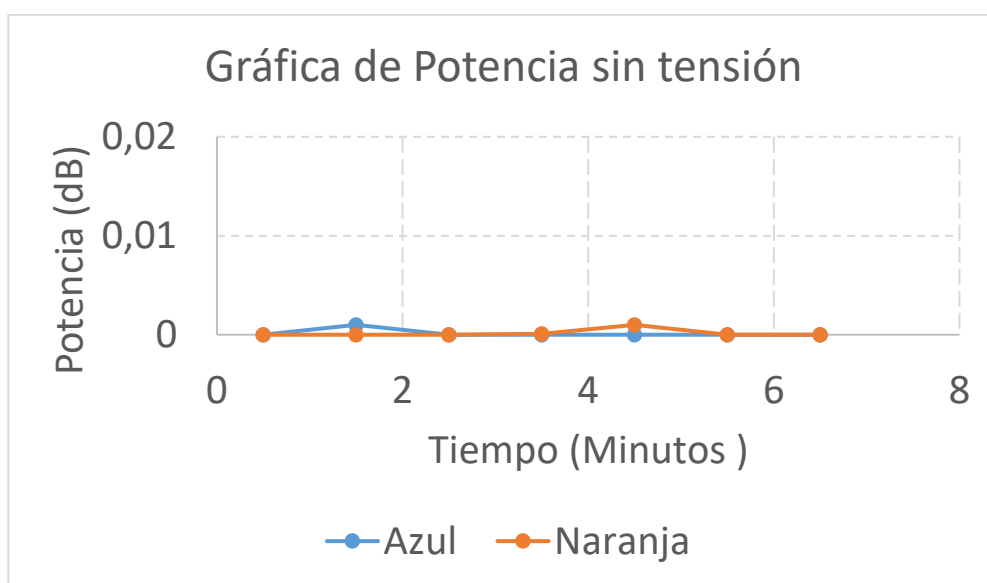


Figura 4.6: Potencia óptica medida vs Tiempo sin tensión

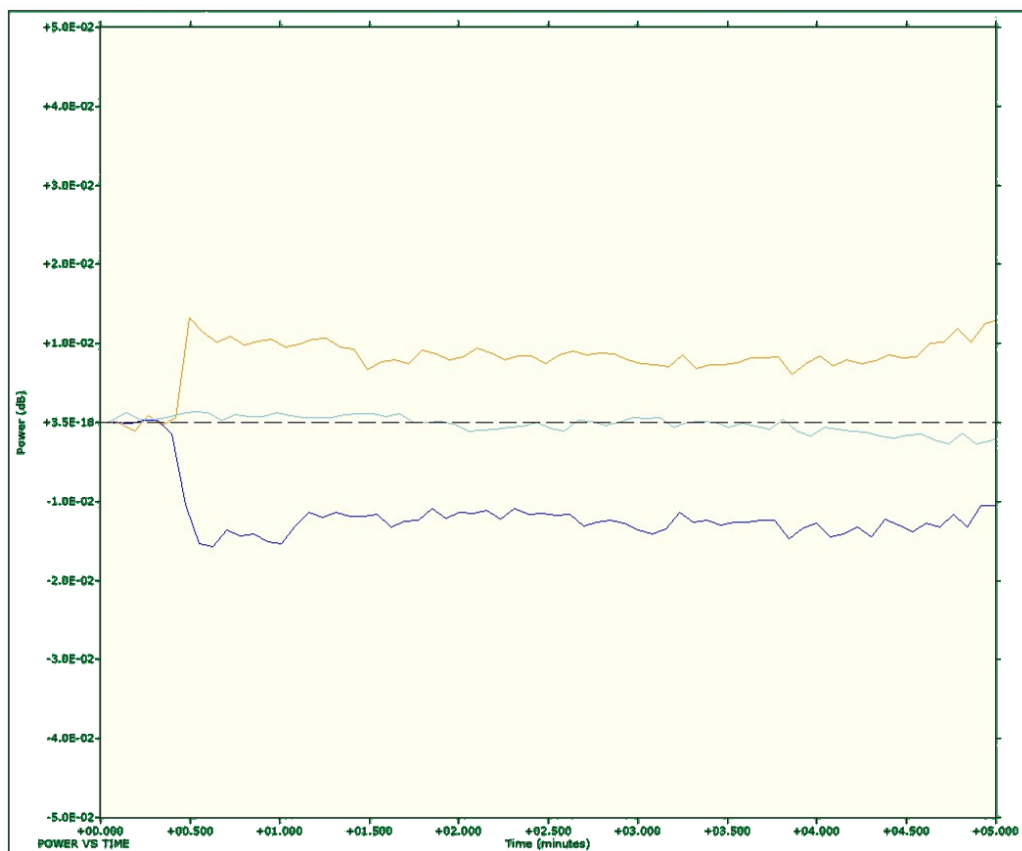


Figura 4.6: Potencia óptica medida vs Tiempo con tensión

Fibra	Atenuación sin tensión (dB)	Atenuación con tensión (dB)
Azul	0.187	0.202
Naranja	0.185	0.205

Tabla 4.2: Atenuación de las 2 fibras con y sin tensión

La figura 4.7 muestra la potencia de las fibras azul y naranja con potencia, ya que la fuerza es de corto plazo. La tensión es 600 N como se configuró en el comienzo de la prueba, esta tensión puede llegar hasta 1500 N por lo tanto el

cable se deforma y después regresa a su estado inicial, en caso contrario la potencia con que se configura el equipo llega a superar la del cable de fibra óptica se rompe o se deforma permanentemente y estos factores influyen en la transmisión.

4.3 Deformación de la fibra

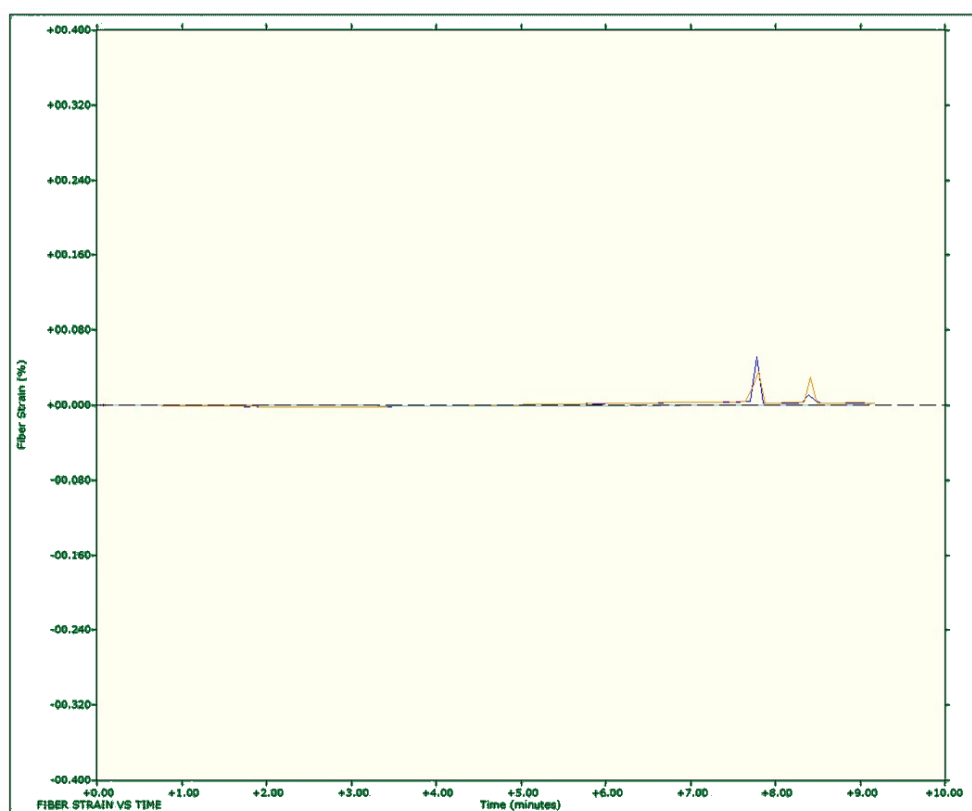


Figura 4.8 Deformación vs tiempo sin tensión

En la figura 4.8 se muestra que no hay deformación en la fibra ya que en esta prueba no se realiza tensión alguna. Los picos que se pueden observar se deben a que en el momento que se estaba realizando esta prueba se aplicó una pequeña fuerza en el cable en ese instante de tiempo como se ilustra en la gráfica.



Figura 4.9 Deformación vs tiempo con tensión

En la figura 4.9 muestra la deformación de la fibra vs el tiempo realizando tensión, en el tiempo de 0 a 1.25 minutos se muestra una rampa de extensión del cable llegando a 0.26% debido a que se está tensionando, desde el minuto 1.25 a 4.25 la máquina tensionadora sostiene la tensión de los 600 N por lo que la gráfica se muestra constante, luego la deformación va bajando ya que la fuerza después de haber llegado a 600 N comienza a disminuir. Cuando se termina el ensayo y se deja de ejercer la fuerza por el comportamiento de los materiales el cable no regresa a su estado inicial y eso se puede apreciar en el final de la gráfica que no volvió a cero lo que se llama deformación residual.



Figura 4.10 A



Figura 4.10 B



Figura 4.10 C

En la figura 4.10 A se muestra la instalación del cable en el sensor de deformación lineal que mide la extensión del cable mientras se ejerce la tensión de prueba, la figura 4.10 B muestra la condición inicial del cable y la figura 4.10 C muestra cuanto se ha extendido el cable bajo una tensión de 600 N donde se evidencia en las gráficas 4.8, 4.9 y 4.11.

Gráfica de deformación vs fuerza

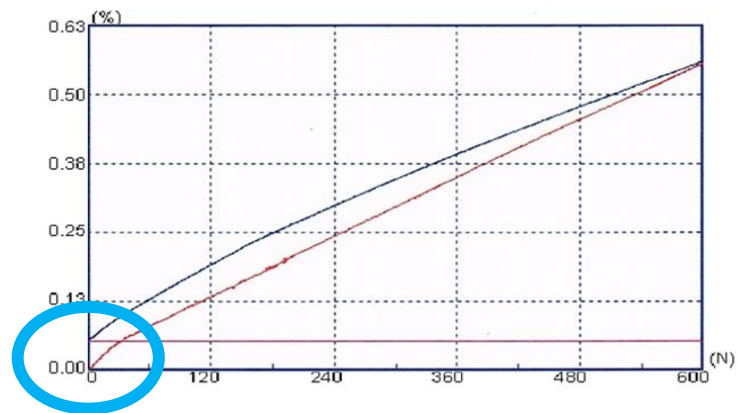


Figura 4.11 Fuerza vs Deformación

En la figura 4.11 se muestra la fuerza vs deformación, en esta prueba se configuró una tensión inicial de 83 N, en esta configuración la tensión inicial esta entre 70 y 90 N. La prueba dura 3 minutos y se aplica una fuerza de 600 N, la fuerza comienza desde 0 N hasta llegar a los 600 N, como va aumentando la fuerza el cable se va deformando como se ve la gráfica de color rojo, cuando llega a los 600 N la fuerza comienza a disminuir por lo tanto el cable debería volver a su estado inicial pero la gráfica azul muestra una deformación residual.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al realizar la prueba mecánica de tensión al cable de fibra óptica, se observó pequeños incrementos en la atenuación, debido a que la tensión ejercida es de 600 N, dicho valor se encuentra dentro del rango de operación normal.

Bajo la tensión de corto plazo que se realizó en el capítulo 4, después de quitar la tensión no debe tener atenuación adicional, ni deformación de la fibra, ya que habiendo una deformación permanentemente no soportará la tensión al momento de la instalación del cable y se puede romper o simplemente no podrá transmitir.

Se estudió las propiedades de la fibra en el capítulo 2, para observar el cambio que se obtuvo al momento de realizar las pruebas mecánicas, se observó también bajo el microscopio a la fibra como es afectada al momento de tensionarla, torcerla y romperla.

Cuando se realiza la prueba de torsión se evidencia un mayor incremento en la atenuación (tabla 3.1) debido al cambio brusco por girar $+180^\circ$ y -180° .

A pesar que se realizó un estudio solo de pruebas mecánicas de tensión y torsión se puede realizar otras pruebas del mismo estándar IEC, como pruebas de aplastamiento e impacto, variando las fuerzas para determinar el límite cuando la fibra se ve afectada o se llega a romper.

Se analizó la atenuación y deformación de las fibras del cable óptico, se puede medir otros parámetros como dispersión cromática, dispersión de modo de polarización y pérdidas por flexión para obtener un análisis del comportamiento óptico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información. (2015, Enero 3). Las telecomunicaciones pilar fundamental en el cambio de la matriz productiva [Online]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec>
- [2] Diario el telégrafo. (2016, Agosto 18). Ecuador producirá 72000 km de cables de fibra óptica por año. [Online]. Disponible en: <http://www.eltelegrafo.com.ec>
- [3] Diario el telégrafo. (2014, Julio 14). Ecuador tiene 35.111 km de fibra óptica. [Online]. Disponible en: <http://www.eltelegrafo.com.ec>
- [4] Leopoldo Villareal Jiménez, "Sistemas de comunicación a través de fibras ópticas", Tesis de Maestría, Ing. Electr., Univ. Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza Nuevo León, 1997.
- [5] J. Laferriere, G. Lutaert, R. Taws y S. Wolszczak, "Reference guide to fiber optic testing", JDSU, vol. 1, pp. 3, 2011.
- [6] J. Laferriere, G. Lutaert, R. Taws y S. Wolszczak, "Reference guide to fiber optic testing", JDSU, vol. 1, pp. 10, 2011.
- [7] Communication Specialties, Inc., "Introduction to Fiber optics", CSI, pp. 4-6, Octubre, 2007.
- [8] J. Laferriere, G. Lutaert, R. Taws y S. Wolszczak, "Reference guide to fiber optic testing", JDSU, vol. 1, pp. 6-7, 2011.
- [9] Jorge García. (2012, Noviembre 7). Reflexión y refracción de la luz en transmisiones de fibra óptica. [Online]. Disponible en: <http://www.seas.es>

[10] J. Laferriere, G. Lutaert, R. Taws y S. Wolszczak, "Reference guide to fiber optic testing", JDSU, vol. 1, pp. 8, 2011.

[11] J. Laferriere, G. Lutaert, R. Taws y S. Wolszczak, "Reference guide to fiber optic testing", JDSU, vol. 1, pp. 9-10, 2011.

[12] J. Laferriere, G. Lutaert, R. Taws y S. Wolszczak, "Reference guide to fiber optic testing", JDSU, vol. 1, pp. 11-20, 2011.

[13] J. Laferriere, G. Lutaert, R. Taws y S. Wolszczak, "Reference guide to fiber optic testing", JDSU, vol. 1, pp. 23-24, 2011.

[14] Le Nguyen Binh, "Optical Fibers: Signal Attenuation and Dispersion" en Optical fiber communication systems with Matlab and Simulink, 2th ed., Alemania, 2015, pp. 56.

[15] QuimiNet Sectores. (2009, Junio18). Ductos para el alojamiento de cables de fibra óptica, coaxiales y eléctricos [Online]. Disponible en: <http://www.quiminet.com>

[16] J. Laferriere, G. Lutaert, R. Taws y S. Wolszczak, "Reference guide to fiber optic testing", JDSU, vol. 1, pp. 81, 2011.

[17] Photon Kinetics. (2008, Febrero 29).2800 Fiber Analysis Systems [Online]. Disponible en: <http://www.pkinetics.com>

[18] IEC 60794 1-2, Mechanical testing, "Method E1: Tensile performance", INTERNATIONAL STANDARD, pp.27-35, 2003

[19] IEC 60794 1-2, Mechanical testing, "Method E7: Torsion", INTERNATIONAL STANDARD, pp.63-71, 2003.

[20] PROMAX. (2017, Febrero 13).Códigos de colores de la fibra óptica [Online]. Disponible en: <http://www.promax.es>

[21] Latam Fiber Home, "Pruebas mecánicas", Fiber Home, Duran, Ecuador, 2016.

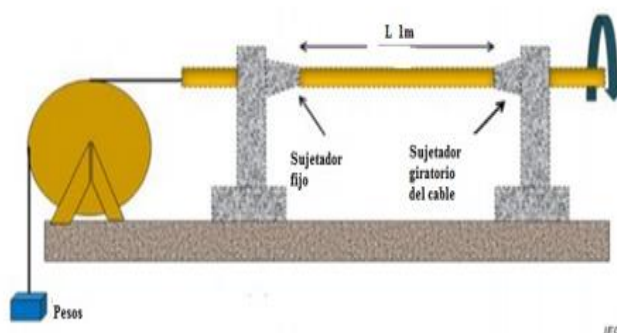
ANEXOS



Prueba de Torsión

1. Propósito: Medir cualquier variación en la transmisión de la potencia óptica cuando el cable es sometido a fuerzas externas de torsión.

2. Teoría: como se muestra en la siguiente figura



3. Parámetros:

Carga : 150N (condición extrema 250N/180°)

Longitud : 1m

Angulo : ± 180

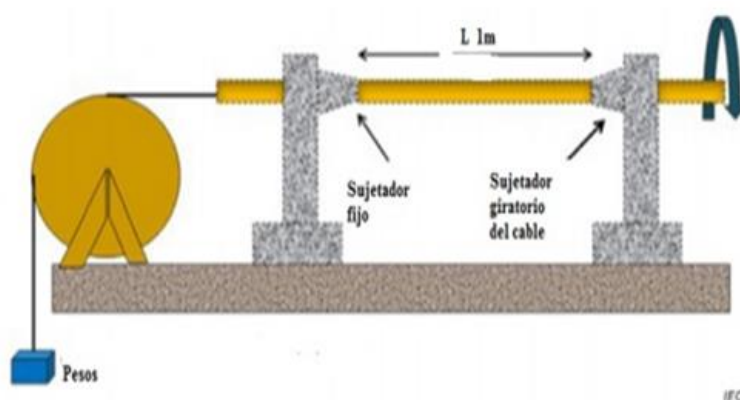
Número de veces : 10

Requerimientos :

No hay atenuación adicional; Sin grietas en la apariencia del revestimiento del cable

Prueba de Torsión

1. Propósito: Medir cualquier variación en la transmisión de la potencia óptica cuando el cable es sometido a fuerzas externas de torsión.
2. Teoría: como se muestra en la siguiente figura



3. Parámetros:

Carga :	150N (condición extrema 250N/180°)
Longitud :	1m
Angulo :	± 180
Número de veces :	10

Requerimientos :

No hay atenuación adicional; Sin grietas en la apariencia del revestimiento del cable



3. Parámetros:

Diámetro de las poleas: No menor a 30 diámetros del cable.

Longitud cable de prueba: No menor a 50m

Velocidad de la prueba: 10mm/min

Carga de la tensión:

Metodo Colocación	Tensión (mínima)		Tipo de cable
	F _{CP} (N)	F _{LP} (N)	
Canalizado/Auto-soportado	1500	600	GYTA, GYA, GYTS, GYS, GYTY53, GYFTY, GYFTY63
Entierro directo sin canalización(I)	3000	1000	GYTA53, GYTY53, GYFTY63
Entierro directo sin canalización (II)	4000	2000	GYTA53, GYTY53
Entierro directo sin canalización (III)	10000	4000	GYTA33, GYTS33

F_{CP} Fuerza Tensión a corto plazo; F_{LP} Fuerza de Tensión a largo plazo

Requerimientos:

Bajo la tensión de largo plazo, no hay atenuación adicional evidente ni deformación de la fibra; Bajo la tensión de corto plazo, la atenuación adicional debe ser menor a 0.15%. Luego de quitar la tensión, no debe haber atenuación adicional evidente ni deformación de la fibra. La deformación residual de la fibra debe ser menor al 0.08%, Sin grietas en la apariencia del revestimiento del cable.