

FACTORES DE RENDIMIENTO DE FIBRA ÓPTICA

C. Jesus David Ortiz Garcia

Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de ingeniería, Chilpancingo de los Bravo, Gro, México, 13311213@uagro.mx

M.C. León Julio Cortez Organista

Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de ingeniería, Chilpancingo de los Bravo, Gro, México, ljcortez@uagro.mx

DR. Mario Hernandez Hernandez

Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de ingeniería, Chilpancingo de los Bravo, Gro, México, 11228@uagro.mx

M.I. Ruben Rodriguez Camargo

Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de ingeniería, Chilpancingo de los Bravo, Gro, México, 10883@uagro.mx.

RESUMEN

El uso de la fibra óptica en nuestro país ha tomado gran fuerza, ocasionando que las compañías proveedoras de internet tengan que actualizar su infraestructura para poder satisfacer las necesidades de sus clientes. A pesar de que su invención data de los años cincuenta, no fue hasta décadas más tarde que se logró perfeccionar este medio de transmisión de información, dando paso a grandes avances tecnológicos como lo son el internet. El presente trabajo tiene como objetivo presentar algunos de los factores que alteran el rendimiento en las fibras ópticas, tales como la torsión y la tensión, además de exponer diversas características físicas y técnicas de estas.

ABSTRACT

The use of fiber optics in our country has gained great strength, causing internet provider companies to have to update their infrastructure in order to meet the needs of their customers. Despite the fact that its invention dates back to the fifties, it was not until decades later that this means of transmitting information was perfected, giving way to great technological advances such as the Internet. The objective of this work is to present some of the factors that alter the performance of optical fibers, such as torsion and tension, in addition to exposing various physical and technical characteristics of the same.

PALABRAS RESERVADAS

Rendimiento, Fibra óptica, Telecomunicaciones

KEYWORDS

Performance, Fiber optics, Telecommunications.

INTRODUCCIÓN

Las señales luminosas siempre han sido utilizadas como un método de comunicación, sin embargo, este tipo de comunicaciones eran estrictamente visuales. A pesar de que la luz podía usarse para transmitir información, ésta viajaba libremente por el espacio y no existía manera de “controlarla” o hacerla circular por un medio cerrado sin que este fuese totalmente recto.

La fibra óptica es un medio de transmisión, empleado habitualmente en redes de datos y telecomunicaciones, consiste en un hilo muy fino de material transparente de vidrio por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede provenir de un láser o un diodo led.

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio o cable. Son el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, también se utilizan para redes locales, en donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la popularidad que ha ganado la fibra óptica en el país y dentro del estado es que nace el interés de conocer más sobre las características físicas y técnicas que rodean a este gran medio de comunicación, así como las alteraciones en la potencia de transmisión cuando la fibra sufre tensión o torsión.

MÉTODO

Esta investigación consiste en el análisis de las definiciones, metodologías y factores que afectan a la correcta transmisión de información a través de la fibra óptica, además de mostrar el funcionamiento básico de la misma.

1 ESTRUCTURA FÍSICA DE LA FIBRA ÓPTICA

1.1 ¿Qué es la fibra óptica?

La fibra óptica es un medio de transmisión empleado habitualmente en las telecomunicaciones; un hilo muy delgado, ligeramente más grueso que un cabello humano (0.1 mm), fabricado principalmente de vidrio (silicio) de muy alta pureza; con solo 2 kg de este material se pueden fabricar más de 40 km de fibra óptica. Partiendo de lingotes cilíndricos de silicio se convierten en hilos mediante un proceso de fusión controlada para que posteriormente se recubran de una capa protectora la cual actúa como aislante, impidiendo que la luz se escape.

La función que cumple la fibra óptica es extremadamente sencilla, ya que solamente es un medio para el control y transmisión de una fuente de luz de un punto a otro viajando no en línea recta [1], sino en una trayectoria marcada por la misma fibra. Sin embargo, gracias a sofisticados codificadores y decodificadores es posible enviar a través de ellas grandes cantidades de información digital (datos, audio, video, etc.).

1.2 Estructura del cable de fibra óptica

Un cable de fibra óptica está compuesto principalmente de tres componentes: núcleo (core), revestimiento (cladding) y recubrimiento (buffer) [1].

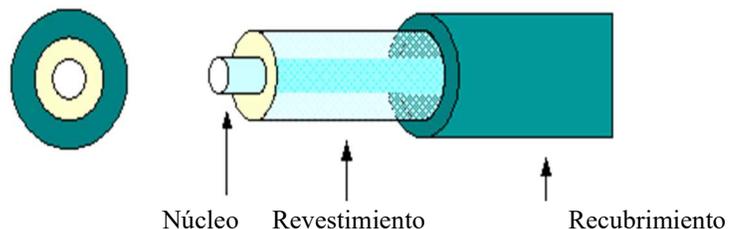


Figura 1.1 Componentes de un cable de fibra óptica

El núcleo y el revestimiento de la fibra están hechos de dióxido de silicio; la luz se propaga a través de estos [1]. Dicho revestimiento sirve para dar resistencia mecánica, permitiendo su identificación a través de un código de colores (azul, naranja, verde, café, gris, blanco, rojo, negro, amarillo, morado, rosa y turquesa). Aunque el núcleo y el revestimiento están contruidos del mismo material, tienen índices de refracción distintos, lo que permite que la luz quede confinada y se propague sin escapar de la fibra.

1.3 Sistema de transmisión de la fibra óptica

Los sistemas de transmisión utilizan enlaces de datos que constan de un transmisor en un extremo de la fibra y de un receptor en el otro. La mayoría de estos sistemas operan transmitiendo en una dirección a través de una fibra y a través de otra fibra lo hacen en la dirección opuesta para tener así una transmisión bidireccional. Por lo general, estos sistemas utilizan un “transceptor” que incluye un transmisor, así como un receptor dentro del mismo módulo. El transmisor obtiene un impulso eléctrico y lo convierte en una salida óptica a partir de un láser o un led, la luz del transmisor se acopla a la fibra con un conector para poder ser transmitida a través de la red de cables de fibra óptica, cuando la luz llega al final se acopla al receptor donde un detector convierte esta luz en una señal eléctrica que luego se acondiciona para que pueda utilizarse en el equipo receptor [2].

1.4 Principios de transmisión

1.4.1 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 ésta de recibir la luz en su núcleo, el valor de máxima aceptación está determinado por la apertura numérica (AN) en la siguiente ecuación [3].

$$AN = \sin\theta_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

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 $2\theta_{max}$. [3]

1.4.2 Propagación de luz Existen dos tipos de propagación de luz: Refracción y reflexión.

La refracción consiste en el doblamiento del rayo de luz, cuando atraviesa medios de transmisión diferentes. Si el ángulo de incidencia es mayor al crítico entonces el rayo de luz se refracta y no es capturado por el núcleo de la fibra óptica [3].

La reflexión es el cambio en la propagación del rayo de luz en la frontera entre dos materiales o medios de transmisión diferentes. Si el ángulo incidente es menor al 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.

2 TORSIÓN Y TENSION DE LA FIBRA ÓPTICA

2.1 Estándares IEC 60794-1-2-2003

Los estándares IEC [4, 5] se les utiliza para las instalaciones de los cables de fibra óptica. Estos estándares están basados en pruebas mecánicas con equipos especializados, se realizaron estudios para determinar a qué longitud de la fibra puede estirarse, a que ángulo puede doblarse y a que fuerza puede estar sometida sin que se produzcan pérdidas en la transmisión.

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

2.1.1 Tensión

El estándar E1 [4] es la prueba mecánica de tensión, que se realiza sobre el cable óptico diseñado antes de su instalación, en esta prueba 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 (mostrada en la figura 2.1). Se 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.

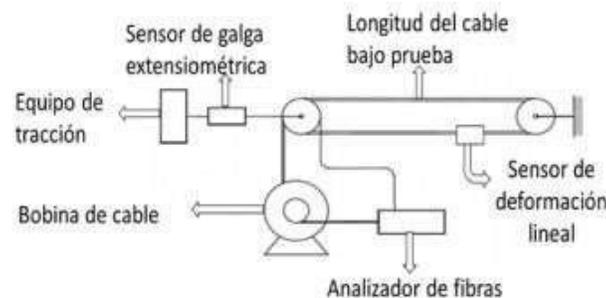


Figura 2.1 Prueba de tensión

2.1.2 Torsión

El estándar E7 [5] establece la capacidad de un cable de fibra óptica para soportar la torsión mecánica. Su objetivo principal es medir cualquier variación a la potencia óptica de una fibra cuando está sometida a fuerzas de torsión externas al recubrimiento del cable, utilizando el mismo procedimiento (figura 2.1) 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 consiste en dos 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 su posición inicial para realizar el movimiento a 180° pero en contra a las manecillas del reloj y regresa a su posición original. Estos cuatro procedimientos son un ciclo por lo tanto se realiza esta prueba en 1 minuto como máximo para obtener un total de 10 ciclos [5].

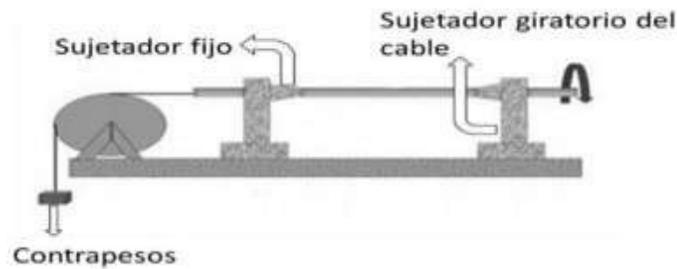


Figura 2.2 Prueba de torsión con peso

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

Para realizar la prueba de torsión se utiliza el equipo “Optical cable torsion test machine”, este equipo se conforma por dos poleas donde el cable es torsionado, con pesas de 5 kg cada una, el cual produce una tensión al cable y un software muestra las gráficas de potencia, deformación y atenuación como resultado. Para la prueba de torsión se utiliza un cable de ducto que consta de 12 hilos de fibra, éste cuenta con un recubrimiento que tiene una línea blanca llamada línea de marcado, la cual indica que el cable esté alineado y al momento de girarlo poder corregir las torsiones.

Para obtener las gráficas de potencia, la fibra del cable que se encuentra bajo la prueba de torsión es fusionado con otro cable que sirve como una extensión para poder llegar hacia el analizador, de esta manera se asegura cerrar el ciclo: transmisión, prueba de torsión, bobina del cable bajo prueba y regresa al analizador (receptor).

2.2.1 Potencia

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

Como resultado se obtiene la potencia de cada una de las 12 fibras, las cuales están diferenciadas por los colores del estándar ITU [6] que son: azul, naranja, verde, café, gris, blanco, rojo, negro, amarillo, morado, rosa y turquesa.

Tabla 2.1 Atenuación de las 12 fibras

| Fibra | Atenuación sin torsión (dB) | Atenuación con torsión (dB) |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|
| Azul | 0.22 | 0.29 |
| Naranja | 0.21 | 0.19 |
| Verde | 0.18 | 0.74 |
| Café | 0.19 | 0.15 |
| Gris | 0.18 | 0.07 |

| | | |
|----------|------|------|
| Blanco | 0.18 | 0.26 |
| Rojo | 0.18 | 0.16 |
| Negro | 0.18 | 0.21 |
| Amarillo | 0.15 | 0.58 |
| Morado | 0.17 | 0.28 |
| Rosa | 0.15 | 0.29 |
| Turquesa | 0.16 | 0.24 |

En la tabla anterior se muestran los valores de la atenuación en cada hilo de fibra antes y después de realizar la torsión. Estas atenuaciones se obtuvieron en el analizador de fibra realizando el mismo procedimiento de la prueba de torsión. Se puede observar que las atenuaciones afectan de manera distinta a cada fibra, en algunas no varía mucho mientras que otras pocas si son notables, por lo que se puede concluir que en esta prueba el factor de atenuación no afecta de manera general en la transmisión.

2.3 Prueba de tensión

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

La prueba de tensión consiste en tender un cable mayor a 50 metros en el equipo “Optical cable tensile test machine”, este equipo tiene 2 poleas, una en cada extremo donde está tendido el cable. Como el cable tendido debe ser mayor a 50m, por lo que tiene que estar suspendido en algunos soportes.

Para realizar la tensión no se utilizan bloques de masa como en la prueba de torsión descrita anteriormente, sino que tiene un sensor de galga extensiométrica, ésta galga es un dispositivo que se deforma según la fuerza que se está aplicando, esta deformación cumple la ley de Hook, es decir que cuando se aplica una fuerza la galga se deforma y después regresa a su estado inicial, si se llega a superar la fuerza aplicada ésta entra en la zona de ruptura y la galga queda deformada permanentemente. La máquina de tensión se configura para aplicar una fuerza máxima de 600 N, un sensor de fuerza de 5 Toneladas y la rapidez de tensión de 100 mm/min, además de fusionar otra fibra al analizador de fibra que es el que muestra los resultados, este conjunto debe cerrar el ciclo.

La fusión se realiza a las dos fibras del cable óptico de prueba con las fibras que van hacia el analizador PK2800. Para cerrar el ciclo de prueba se toma las dos fibras del inicio de la bobina y se fusionan con las serán la entrada al analizador, mientras que las dos fibras del fin de la bobina se fusionan con las que serán la salida del analizador.

2.3.1 Medición de potencia óptica

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

Tabla 2.2 Atenuación de las 2 fibras

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

En la tabla anterior se muestran los valores de atenuación de los hilos de la fibra antes y después de la prueba de tensión. Estas atenuaciones se las obtuvo en el analizador de la fibra. Se puede observar que las atenuaciones en esta prueba no varían mucho, por lo que se concluye que en esta prueba el factor de atenuación depende mucho de la cantidad de fuerza aplicada, ya que si llega a superar los límites del cable se pueden presentar deformaciones permanentes.

3 MODOS DE TRANSMISIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA

3.1 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 [6], como se muestra en la ecuación siguiente

$$n = \frac{c}{v}$$

Los valores del índice de refracción del vidrio que forma parte del núcleo de la fibra óptica están entre 1.45 y 1.55 [6]. Por lo tanto, utilizando la ecuación anterior la velocidad del vidrio es $204.3 * 10^6$ 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.

3.2 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 (multi modo y mono modo), en esta clasificación juega un papel muy importante los diámetros del núcleo, y del recubrimiento [7].

3.2.1 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 [7].

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 [8].

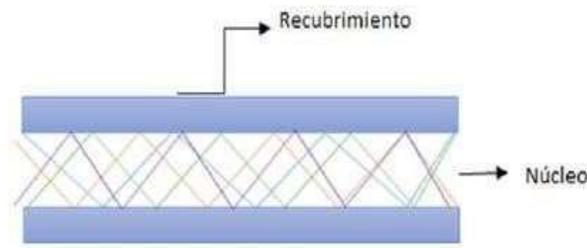


Figura 3.1 Fibra multi modo

3.2.2 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. Esto se obtiene reduciendo el núcleo de la fibra hasta un tamaño de 8,3 a 10 μm de diámetro, permitiendo un solo modo de propagación, eliminando por completo las pérdidas por dispersión modal [8].

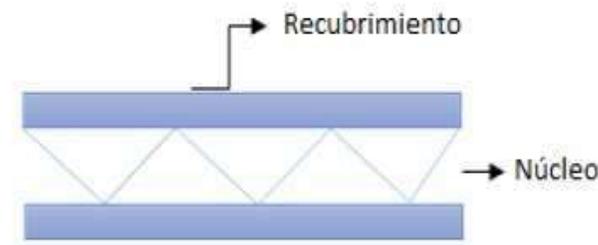


Figura 3.2 Fibra mono modo

Con una apropiada compensación para la dispersión, las fibras mono modo alcanzan los 40 Gbps sobre muy largas distancias. Incluso la capacidad se ve incrementada al utilizar esquemas de modulación por multiplexación de longitudes de onda WDM.

El tamaño del núcleo, en comparación de la fibra multi modo, 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.

3.3 Ancho de banda

En enlaces de comunicaciones, el término ancho de banda se refiere a la cantidad de información o datos que se pueden transferir entre dos puntos, a través de una conexión de red, en un período determinado (generalmente un segundo). Originalmente, el ancho de banda se medía en bits por segundo (bps); sin embargo, gracias a los avances en las comunicaciones las velocidades para transmitir datos ahora se miden en Megabits, Gigabits o Terabits por segundo.

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 $\text{MHz}\cdot\text{Km}$.

CONCLUSIONES

Gracias a los materiales de fabricación de la fibra óptica presenta diversas ventajas en contra de los medios tradicionales de transmisión de información como lo son el cobre y DSL, por ejemplo, que al no ser un material metálico es inmune a las interferencias electromagnéticas, además que al ser un haz de luz mediante el cual se transmite la información ésta viaja a mayor velocidad, lo cual permite que una mayor cantidad de datos sean transmitidos.

Al realizar este trabajo de investigación se pudo conocer más a fondo las características físicas como las técnicas en cuanto a la fabricación de las fibras, así como los principios de transmisión de la luz, también se pudo conocer las diferencias entre los tipos de fibra que existen (mono modo y multi modo) así como los usos de estos.

Del mismo modo se comprendió la metodología utilizada al momento de realizar pruebas de tensión y torsión para poder determinar el nivel de variación en las potencias de las fibras, así como los límites físicos que pueden llegar a tener los cables de fibra óptica.

RESULTADOS

Al realizar esta investigación pudimos conocer muchas características que rodean a este grandioso medio de transmisión de información, tales como los distintos tipos que existen, las situaciones en las cuales se debe utilizar cada una, distancias que pueden alcanzar y comprender a grosso modo el funcionamiento de la transmisión de información.

Las pruebas de torsión y tensión nos sirven para tener una idea más clara de las afectaciones que puede sufrir la fibra óptica en la transmisión de información así como en sus características físicas cuando se realiza una mala manipulación de la misma.

DISCUSIÓN

Esta investigación tuvo como propósito describir el funcionamiento de la fibra óptica, sus características físicas y técnicas, así como las pruebas que existen para determinar la variación en la transmisión de información cuando se sufre torsión o tensión en la fibra óptica.

Los resultados de las pruebas de tensión y de torsión demuestran que matemáticamente los índices de pérdidas en la transmisión de información no son altos, mientras que ya en la práctica la pérdida de información puede llegar a ser muy relevante dependiendo del tipo de información que se esté manejando.

RECONOCIMIENTOS

La realización de esta investigación fue posible, en primer lugar, al apoyo brindado por el M.C. León Julio Cortez Organista, catedrático de la Facultad de Ingeniería quien se desarrollo como mi asesor de investigación durante este proceso, al M.I. Rubén Rodríguez Camargo y el Dr. Mario Hernández Hernández, quienes se desarrollaron como revisores de este artículo.

Se agradece a la Facultad de Ingeniería por la formación profesional brindada, a las personas que directa e indirectamente fueron partícipes en la realización de esta investigación.

Un agradecimiento en especial a mi novia Perla Noemí Morales Salgado por ser mi principal motivación en la elaboración de este artículo.

REFERENCIAS

1 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.

- 2 Communication Specialties, Inc., "Introduction to Fiber optics", CSI, pp. 4-6, Octubre, 2007. 3 J. Laferriere, G. Lutaert, R. Taws y S. Wolszczak, "Reference guide to fiber optic testing", JDSU, vol. 1, pp. 6-7, 2011.
- 4 IEC 60794 1-2, Mechanical testing, "Method E1: Tensile performance", INTERNATIONAL STANDARD, pp.27-35, 2003.
- 5 IEC 60794 1-2, Mechanical testing, "Method E7: Torsion", INTERNATIONAL STANDARD, pp.63-71, 2003.
- 6 PROMAX. (2017, Febrero 13).Códigos de colores de la fibra óptica [Online]. Disponible en: <http://www.promax.es>
- 7 J. Laferriere, G. Lutaert, R. Taws y S. Wolszczak, "Reference guide to fiber optic testing", JDSU, vol. 1, pp. 8, 2011.
- 8 J. Laferriere, G. Lutaert, R. Taws y S. Wolszczak, "Reference guide to fiber optic testing", JDSU, vol. 1, pp. 9-10, 2011.
- 9 J. Laferriere, G. Lutaert, R. Taws y S. Wolszczak, "Reference guide to fiber optic testing", JDSU, vol. 1, pp. 11-20, 2011.