

CLIENTE	OPTRONICS S.A DE C.V. Parque Tecnológico Innovación Querétaro Carretera Estatal 431, km 2+200, Interior 28 C.P. 76246, El Marqués, Qro.
----------------	---

ELEMENTO BAJO PRUEBA: CABLE DE FIBRA ÓPTICA EXTERIOR DIELECTRICO SEMI SECO MONOMODO

MARCA	MODELO	LOTE	FECHA
OPTRONICS	OPCFOCE09DI24PPSS	307191440	12-2019

EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

CONFORME <input checked="" type="checkbox"/>	PARCIALMENTE CONFORME <input type="checkbox"/>	NO CONFORME <input type="checkbox"/>
--	--	--------------------------------------

LA EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD SE REALIZÓ CONTRA ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE.

ENSAYOS REALIZADOS BAJO LAS NORMAS:

IEC 60793-1-40	Optical Fibers: Attenuation measurements methods: 2019
IEC-60794-1-21	Optical fibre cables - Part 1-21: Generic specification - Basic optical cable test procedures - Mechanical tests methods. Ed. 1.0
IEC 60794-1-22	Optical Fibers cables: Generic specification – Basic optical test procedures – Environmental I test methods

A. CARACTERIZACIÓN ÓPTICA

MÉTODO	PRUEBA	EVALUACIÓN
IEC 60793-1-40	Coeficiente de atenuación	CONFORME
IEC 60793-1-40	Puntos de discontinuidad	CONFORME

B. ENSAYOS MECÁNICOS

MÉTODO	PRUEBA	EVALUACIÓN
IEC-60794-1-21-E1	Resistencia a la tensión	CONFORME

Informe de Ensayos

FBL-IE-A193-2021

IEC-60794-1-21-E3	Resistencia a la compresión	CONFORME
IEC-60794-1-21-E4	Resistencia al impacto	CONFORME
IEC-60794-1-21-E6	Resistencia a los dobleces repetidos	CONFORME
IEC-60794-1-21-E7	Resistencia a la torsión	CONFORME
IEC-60794-1-21-E8	Resistencia a la flexión	CONFORME
IEC-60794-1-21-E11A	Pérdidas por doblez	CONFORME

C. ENSAYOS AMBIENTALES

MÉTODO	PRUEBA	EVALUACIÓN
IEC 60794-1-22-F1	Ciclado térmico	CONFORME
IEC-60794-1-22-F5B	Penetración de agua	CONFORME
IEC-60794-1-22-F9	Envejecimiento acelerado	CONFORME

LUGAR DE ENSAYOS	FIBERLAB S. DE R.L. DE C.V. LABORATORIO DE ENSAYOS Parque Tecnológico Innovación Querétaro Carretera Estatal 431, km 2+200, Interior 28 El Marqués, Qro. C.P. 76246
------------------	---

El resultado de los ensayos realizados aplica únicamente al elemento identificado.

Fecha de recepción: 19 de Abril de 2021

Fecha de ensayos: 19 de abril a 21 de Mayo del 2021

Fecha de emisión: 24 de Mayo de 2021




AUTORIZÓ
Dr. JUAN CARLOS BERMÚDEZ



REALIZÓ ENSAYOS
ING. JESSICA SÁNCHEZ

Los resultados reportados en este informe son derivados de las muestras proporcionadas por **OPTRONICS S.A DE C.V.**, así como los datos utilizados para las especificaciones del ensayo expresadas en la hoja técnica **Optronics “CABLE DE FIBRA ÓPTICA EXTERIOR DIELECTRICO SEMISECO MONOMODO”, REV. 3**

MUESTRA

La muestra constó de 224 m de cable de fibra óptica con la descripción de la tabla 1.

MUESTRA	
Marca	OPTRONICS
Modelo	OPCFOCE09DI24PPSS
Tipo de cable	Cable Exterior Dieléctrico Semiseco Monomodo
Número de fibras	24
Fibras por tubo	12
Tipo de fibra	Monomodo 9/125 μm
	ITU-T G.652.D
Hoja de especificaciones	“Cable De Fibra Óptica Exterior Dieléctrico Semiseco Monomodo”, Rev. 3

Tabla 1. Identificación del cable bajo ensayo

A. CARACTERIZACIÓN ÓPTICA

La muestra de cable fue caracterizada en coeficiente de atenuación espectral y puntos de discontinuidad, bajo los métodos de medición descritos en la norma internacional “IEC 60793-1-40 Optical Fibers: Attenuation measurements methods: 2019 - método C – Backscattering”.

1 COEFICIENTE DE ATENUACIÓN Y PUNTOS DE DISCONTINUIDAD

Atenuación:

La atenuación de una fibra óptica a la longitud de onda (λ) entre dos secciones transversales 1 y 2, separadas por un a distancia L se define mediante la ecuación 1.

$$A(\lambda) = \left| 10 \log_{10} \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \right| \quad (1)$$

Dónde: $A(\lambda)$ Es la atenuación a la longitud de onda λ expresada en dB
 $P_1(\lambda)$ Es la potencia a la entrada de la sección 1 de la fibra
 $P_2(\lambda)$ Es la potencia a la salida de la sección 2 de la fibra

Coefficiente de atenuación:

Es la atenuación por unidad de longitud. Para una sección uniforme de fibra en reposo, el coeficiente de atenuación se define mediante la ecuación 2.

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \quad (2)$$

Dónde: $\alpha(\lambda)$ Es el coeficiente de atenuación a la longitud de onda λ
 $A(\lambda)$ Es la atenuación a la longitud de onda λ
 L Es la longitud de la fibra.

Puntos de discontinuidad:

Son desviaciones locales de la pendiente de atenuación en la traza del OTDR, (ya sean temporales o permanentes).

1.1 MÉTODO DE MEDICIÓN

El coeficiente de atenuación α (dB/km) y los puntos de discontinuidad se determinaron mediante el método reflectométrico de acuerdo a la norma internacional IEC 60793-1-40 método C – Reflectométrico, en las longitudes de onda de 1310 nm, 1550 nm y 1625 nm

1.2 RESULTADOS

La tabla 2 muestra los resultados del ensayo de atenuación y su incertidumbre estimada para un nivel de confianza del 95%.

PARÁMETRO	VALOR	INCERTIDUMBRE K=2	EVALUACIÓN
Coeficiente de atenuación a 1310 nm	0.30 dB/km	0.01 dB/km	CONFORME
Coeficiente de atenuación a 1550 nm	0.19 dB/km	0.01 dB/km	CONFORME
Coeficiente de atenuación a 1625 nm	0.20 dB/km	0.01 dB/km	CONFORME
Puntos de discontinuidad ≥ 0.05 dB	ninguno	0.01 dB	CONFORME

Tabla 2. Coeficiente de atenuación y puntos de discontinuidad

B. ENSAYOS MECÁNICOS

1. ENSAYOS

Las muestras de cable fueron sometidas los métodos de ensayo de la tabla 3. Estos ensayos cumplen con los parámetros y criterios establecidos en la norma internacional “IEC 60794-1-21 optical fibre cables – Generic specifications -basic optical cable test procedures”

MÉTODO	PRUEBA
IEC-60794-1-21-E1	Resistencia a la tensión
IEC-60794-1-21-E3	Resistencia a la compresión
IEC-60794-1-21-E4	Resistencia al impacto
IEC-60794-1-21-E6	Resistencia a los dobleces repetidos
IEC-60794-1-21-E7	Resistencia a la torsión
IEC-60794-1-21-E8	Resistencia a la flexión
IEC-60794-1-21-E11A	Pérdidas por doblez

Tabla 3. Métodos de ensayo aplicados al cable bajo ensayo descrito en la tabla 1.

2 ALCANCE Y OBJETIVOS DE LA NORMA

Esta parte de la norma internacional IEC 60794-1-21 aplica para cables de fibra óptica empleados en telecomunicaciones, [1].

El objetivo de esta norma es definir los procedimientos de ensayo que se utilizarán para establecer los requisitos uniformes de las propiedades geométricas, de transmisión, materiales, mecánicas, de envejecimiento y climáticas de los cables de fibra óptica, [1].

El conjunto de ensayos agrupados en la norma internacional IEC 60794-1-21 tiene como finalidad la evaluación del comportamiento del cable en su conjunto bajo condiciones que suelen presentarse durante la manipulación, instalación y operación del cable.

3 MÉTODO E1 – TENSIÓN (TENSILE PERFORMANCE)

Este método de ensayo está diseñado para determinar el comportamiento de la atenuación y elongación de un cable de fibra óptica sometido a una tensión longitudinal. Esta tensión es similar a la soportada por el cable durante el proceso de instalación.

Método E1A: Procedimiento para determinar el cambio de atenuación

Método E1B: Procedimiento para determinar la elongación bajo tensión

Los ensayos en su conjunto nos dan información sobre la fuerza máxima a la que puede ser jalado el cable durante su instalación, así como su margen de carga.

3.1 SISTEMA DE ENSAYO

El sistema de ensayo consiste de una máquina de tensión longitudinal para fibra óptica con especificaciones de acuerdo a la norma internacional norma IEC 60794-1-21 método E1: Tensile performance. La configuración del sistema de ensayo se muestra en la figura 1.

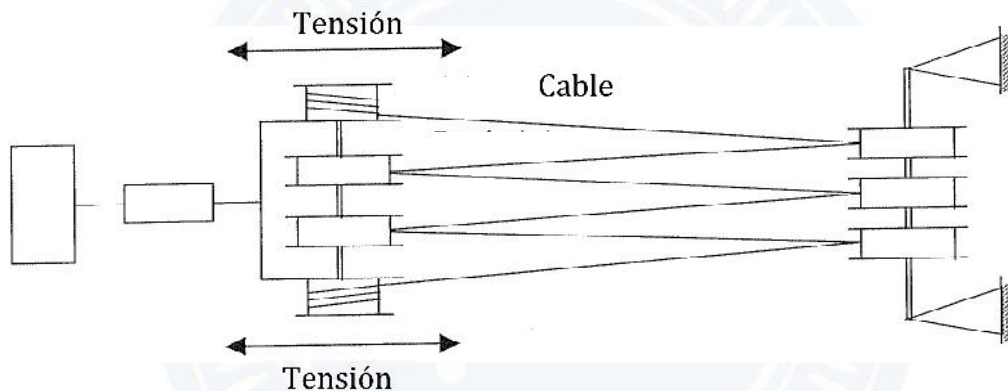


Figura 1: Diagrama esquemático del ensayo de tensión. Fuente IEC 60794-1-21-E1

El sistema cuenta con un motor de tracción y una celda de carga para una tensión controlada. Igualmente cuenta con dos sistemas especializados de medición de alta exactitud.

- a. Un sistema de medición de cambio de atenuación en la fibra óptica
- b. Un sistema de medición de elongación del cable

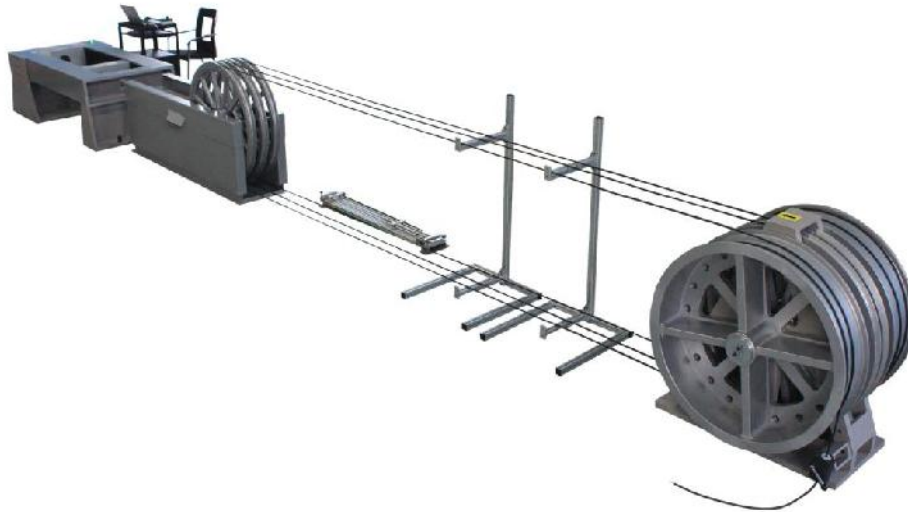


Figura 2. Máquina de tensión, norma internacional “IEC 60794-1-21 Optical fibre cables – Generic specifications -basic optical cable test procedures”. Method E1 – tensile performance”. Laboratorio de Pruebas Mecánicas. FIBERLAB S. DE R.L. DE C.V.

3.2 METODOLOGÍA DE ENSAYO

El ensayo se realizó en varios niveles de tensión con la finalidad de caracterizar el comportamiento del cable en función de la tensión aplicada.

La muestra bajo ensayo fue sometida a una tensión longitudinal gradual comenzando desde 200 N (20.40 kgf) con incrementos de 200 N (20.40 kgf) a una velocidad de 50 N/s (5.1 kgf/s).

En cada nivel de tensión la carga fue sostenida durante 1 minuto para estabilizar la medición de atenuación.

La tensión final fue de 1500.0 N (152.95 kgf), la cual fue sostenida durante 10 minutos de acuerdo con las especificaciones del cable.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 CAMBIO DE ATENUACIÓN Y ELONGACIÓN EN FUNCIÓN DE LA TENSIÓN APLICADA

La tabla 4 y las figuras 3 y 4 presentan los resultados del ensayo de tensión. La evaluación de la conformidad se presenta en la tabla 5.

Tensión [N]	Cambio de Atenuación [dB/km]	Incertidumbre de Atenuación [dB/km]	Elongación [%]	Incertidumbre de elongación [%]
200.00	0.00	0.01	0.05	0.01
400.00	0.00	0.01	0.10	0.01
600.00	0.00	0.01	0.15	0.01
800.00	0.00	0.01	0.21	0.01
1000.00	0.00	0.01	0.27	0.01
1200.00	0.00	0.01	0.33	0.01
1400.00	0.00	0.01	0.39	0.01
1500.00	0.00	0.01	0.42	0.01

Tabla 4. Resultados del cambio de atenuación y elongación de cable bajo ensayo en función de la tensión aplicada. El ensayo tiene un nivel de confianza del 95% (k=2)

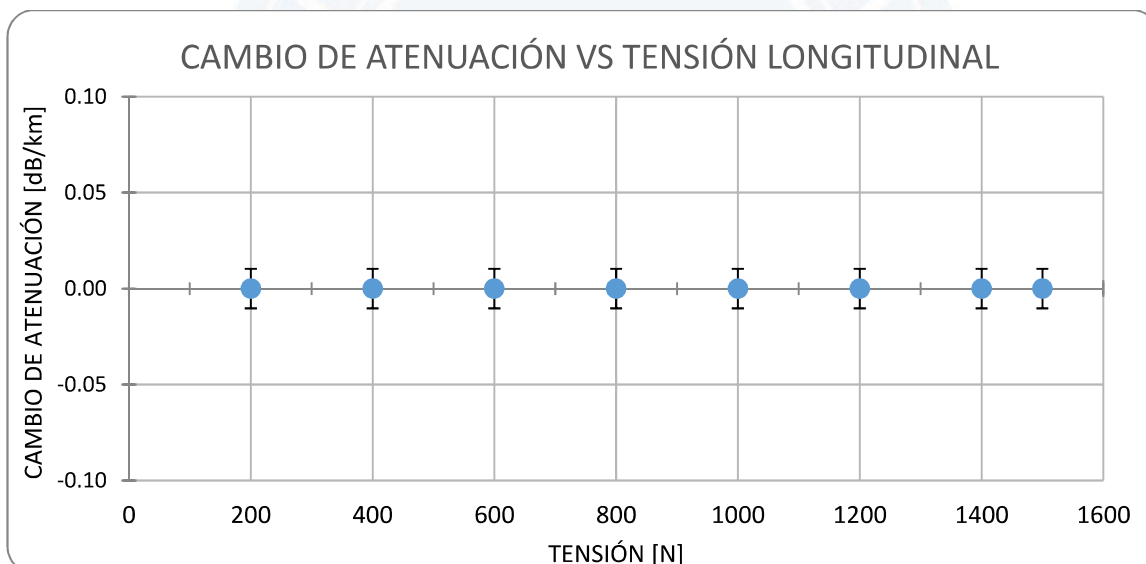


Figura 3. Cambio de atenuación del cable bajo ensayo en función de la tensión aplicada

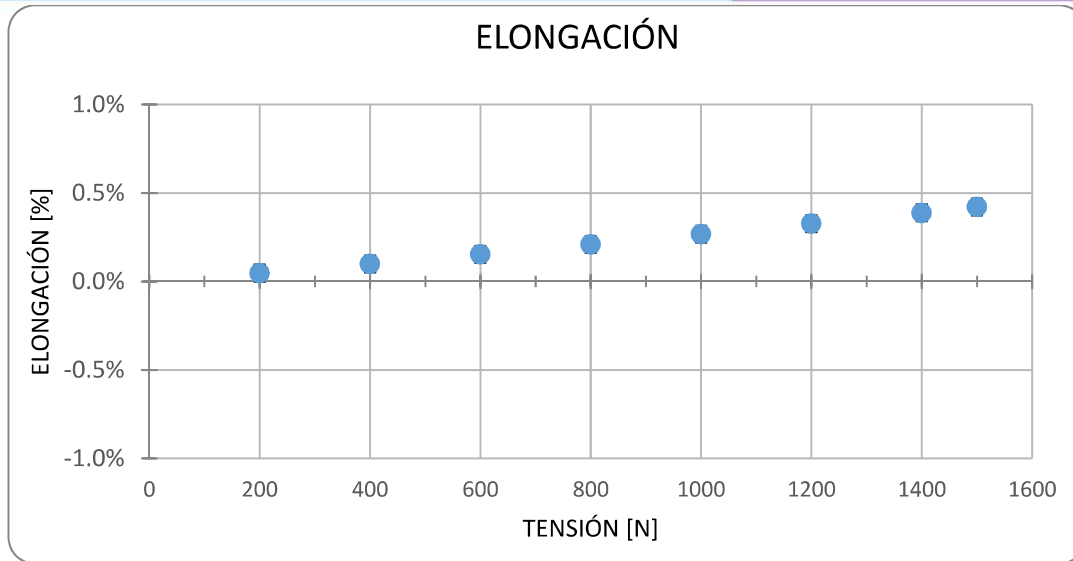


Figura 4. Elongación del cable bajo ensayo en función de la tensión aplicada

3.3.2 EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD – Atenuación

La tabla 5 muestra la evaluación de la conformidad bajo el ensayo de tensión.

ESPECIFICACIONES		ENSAYO		EVALUACIÓN
Tensión [N]	Atenuación [dB]	Tensión Máxima Aplicada [N]	Atenuación Máxima [dB]	
1500.00	≤ 0.1	1500.00	0.00	CONFORME

Tabla 5. Evaluación de la conformidad de la atenuación bajo el ensayo de tensión. La incertidumbre de medición tiene un nivel de confianza del 95% (k=2)

3.3.3 EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD - Elongación

La tabla 6 muestra la evaluación de la conformidad para la elongación del cable en función de la tensión

ESPECIFICACIONES		ENSAYO	EVALUACIÓN
Tensión [N]	Elongación Máxima del cable [%]	Elongación Máxima del cable [%]	
1500.00	No especificada	0.43	CONFORME

Tabla 6. Evaluación de la conformidad de la elongación del cable. El ensayo tiene un nivel de confianza del 95%

4 MÉTODO E3 – COMPRESIÓN (CRUSH)

Este ensayo cumple con los parámetros y criterios establecidos en la norma internacional “IEC 60794-1-21 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method E3 – crush”

El ensayo está diseñado para determinar el comportamiento de la atenuación del cable de fibra óptica cuando es sometido a un esfuerzo de compresión entre dos superficies. Esta compresión es similar a la que puede soportar el cable por un aplastamiento durante el proceso de instalación.

4.1 SISTEMA DE ENSAYO

El sistema de ensayo consiste de una máquina de compresión capaz de someter el cable a una fuerza de aplastamiento uniforme y constante a lo largo de 100 mm del cable durante un tiempo determinado. Estas especificaciones de la máquina cumplen con los requisitos establecidos en la norma internacional “IEC 60794-1-21 método E3: Crush”.

La figura 5 muestra un diagrama esquemático del sistema de compresión.

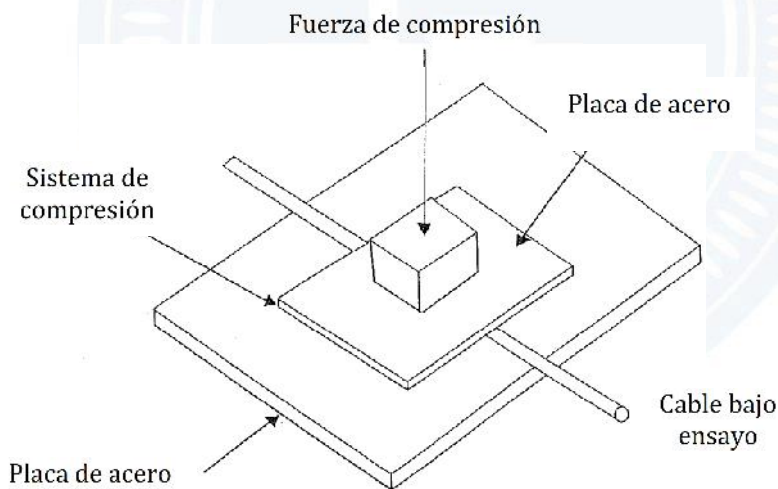


Figura 5. Diagrama esquemático del sistema de compresión. Fuente IEC 60794-1-21-E3

El sistema cuenta con un motor de compresión y una celda de carga para una presión controlada. Igualmente cuenta con un sistema especializado de medición de atenuación de alta exactitud.



Figura 6. Máquina de compresión, norma internacional “IEC 60794-1-21 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method E3 – Crush”. Laboratorio de Pruebas Mecánicas, FIBERLAB S. DE R.L. DE C.V.

4.2 MÉTODOLOGÍA DE PRUEBA

El cable bajo ensayo fue sometido a una presión gradual a una velocidad de 50 N/s (5.1 kgf/s) hasta alcanzar la máxima compresión especificada.

El ensayo se realizó a dos diferentes niveles de compresión con diferente tiempo de exposición de acuerdo a las especificaciones del fabricante, tabla 7.

Resistencia al aplastamiento	Presión	Tiempo
Corto plazo	1000 N/100mm	60 s
Largo plazo	300 N/100mm	300 s

Tabla 7 Parámetros de la prueba de compresión

El ensayo de compresión se realizó en tres secciones diferentes del cable separadas una distancia de 100 mm ente cada sección.

4.3 RESULTADOS

La tabla 8 presenta los resultados del ensayo de compresión y la evaluación de la conformidad en base a las especificaciones del fabricante, la cual establece que el aumento de la atenuación del cable no deberá ser mayor a 0.10 dB para asegurar un buen comportamiento durante la instalación. Esta especificación está conforme con la norma IEC 60794 -1- 21, método E3 - Crush

ESPECIFICACIONES			ENSAYO			EVALUACIÓN
Presión [N/100 mm]	Tiempo [s]	Atenuación [dB]	Atenuación [dB]	Incertidumbre [dB]	Daño de cubierta exterior	
1 000	60	≤ 0.10	0.00	± 0.01	No se observa	CONFORME
300	300	≤ 0.10	0.00	± 0.01		CONFORME

Tabla 8. Resultados del ensayo de compresión y su evaluación de la conformidad. El ensayo tiene un nivel de confianza del 95% (k=2)

5 MÉTODO E4 – IMPACTO (IMPACT)

Este ensayo cumple con los parámetros y criterios establecidos en la norma internacional “IEC 60794-1-21 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method E4 – Impact”

El ensayo está diseñado para determinar el comportamiento de la atenuación del cable de fibra óptica cuando sometido a un impacto. Este impacto es similar al que puede soportar el cable durante el proceso de instalación.

5.1 SISTEMA DE ENSAYO

El sistema de ensayo consiste de una máquina capaz de someter el cable bajo ensayo al impacto de una masa en caída libre desde una altura de 1 m. Las especificaciones de la máquina cumplen con los requisitos establecidos en la norma internacional “IEC 60794-1-21 método E4: Impact”.

La figura 7 muestra un diagrama esquemático del sistema de impacto.

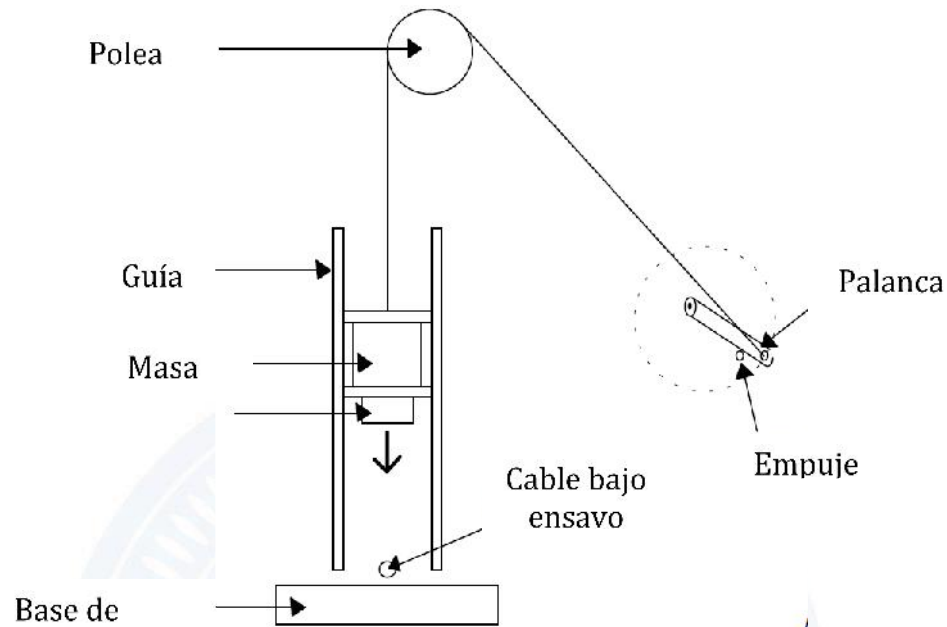


Figura 7. Diagrama esquemático del sistema de impacto. Fuente IEC 60794-1-21-E4



Figura 8. Máquina de impacto, norma internacional “IEC 60794-1-21 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method E4 – Impact”. Laboratorio de Pruebas Mecánicas. FIBERLAB S. DE R.L. DE C.V.

5.2 MÉTODOLOGÍA DE ENSAYO

Los cables bajo ensayo fueron sometidos a 3 impactos de 4.5 Joules de energía en diferentes puntos de la muestra separados 100 mm.

5.3 RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

La tabla 9 muestra los resultados del ensayo de impacto y su evaluación de la conformidad en base a las especificaciones del fabricante, en la cual se establece que el aumento de la atenuación del cable no deberá ser mayor a 0.1 dB para asegurar un buen comportamiento durante la instalación. Esta especificación está conforme con la norma *IEC 60794 -1- 21, método E3 – Crush*”.

ESPECIFICACIONES		ENSAYO				EVALUACIÓN
Energía [J]	Atenuación [dB]	Energía [J]	Atenuación [dB]	Incertidumbre [dB]	Daño de la cubierta exterior	
4.5	≤ 0.10	4.49	0.00	± 0.01	No se observa	CONFORME

Tabla 9. Evaluación de la conformidad del cable bajo el ensayo de impacto. El ensayo tiene un nivel de confianza del 95% (k=2)

6 MÉTODO E6 – DOBLECES REPETIDOS (REPEATED BENDING)

Este ensayo cumple con los parámetros y criterios establecidos en la norma internacional *“IEC 60794-1-21 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method E6 – Repeated bending”*

El ensayo está diseñado para determinar el comportamiento de la atenuación del cable de fibra óptica cuando sometido a dobleces repetidos mientras soporta una carga. Estas condiciones son similares a las soportadas por el cable durante el proceso de instalación.

6.1 SISTEMA DE ENSAYO

El sistema de ensayo consiste de una máquina de dobleces repetidos para cables de fibra óptica con especificaciones de acuerdo a la norma internacional *“IEC 60794-1-21 método E6: Repeated bending”*. La configuración del sistema de ensayo se muestra en la figura 9.

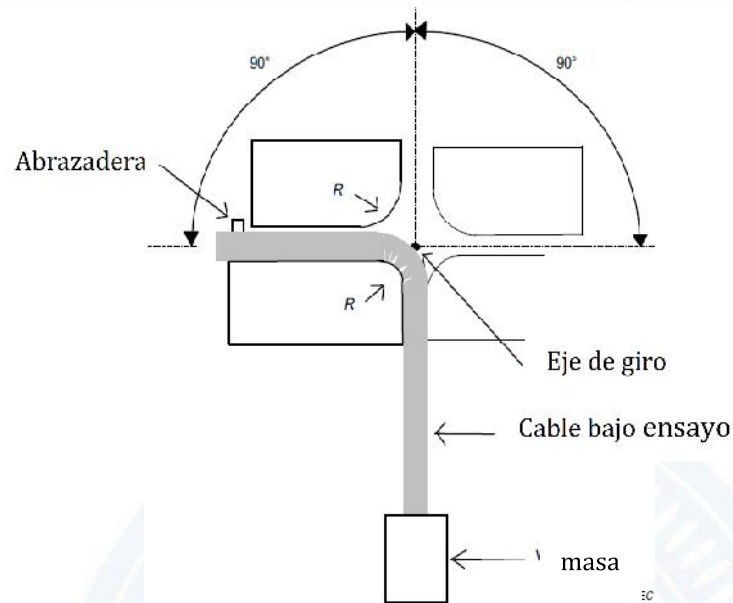


Figura 9. Diagrama del ensayo de dobleces repetidos. Fuente IEC 60794-1-21-E6

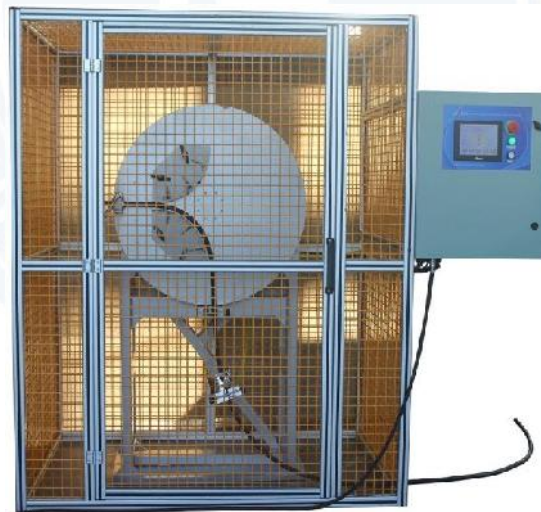


Figura 10. Máquina de dobleces repetidos, norma internacional “IEC 60794-1-21 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method E6 – repeated bending”. Laboratorio de Pruebas Mecánicas. FIBERLAB S. DE R.L. DE C.V.

6.2 METODOLOGÍA DE ENSAYO

El ensayo consiste en doblar un extremo de una muestra de cable hacia atrás y hacia adelante repetidas veces en un ángulo de 180° ($\pm 90^\circ$ desde la vertical) en un radio de curvatura definido, mientras el otro extremo del cable soporta una carga.

El ensayo se realizó bajo los parámetros de la tabla 10.

CONFIGURACIÓN DEL ENSAYO		
Radio de curvatura	0.20	m
Número de ciclos	30	ciclos
Frecuencia	5	ciclos / min
Tensión	150	N
Número de pruebas	3	pruebas

Tabla 10. Parámetros de configuración del ensayo de dobleces repetidos

6.3 RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

La tabla 11 muestra los resultados del ensayo de dobleces repetidos y la evaluación de la conformidad, se reporta el promedio de las mediciones de cambio de atenuación como el mejor estimado. La evaluación de la conformidad del cable se determinó en base a las especificaciones del fabricante, la cual establece que el aumento de la atenuación del cable no deberá ser mayor a 0.1 dB para asegurar un buen comportamiento durante la instalación. Esta especificación está conforme con la norma *IEC 60794 -1- 21, método E6 – Repeated bending*.

ESPECIFICACIONES		ENSAYO				EVALUACIÓN
Tensión [N]	Atenuación [dB]	Tensión [N]	Atenuación [dB]	Incertidumbre [dB]	Daño de la cubierta exterior	
150	≤ 0.10	149.8	0.00	± 0.01	No se observa	CONFORME

Tabla 11. Evaluación de la conformidad del cable bajo el ensayo de dobleces repetidos. El ensayo tiene un nivel de confianza del 95% ($k=2$)

7 MÉTODO E7 – TORSIÓN (TORSION)

Este ensayo cumple con los parámetros y criterios establecidos en la norma internacional “IEC 60794-1-21 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method E7 – Torsion”

El ensayo está diseñado para determinar el comportamiento de la atenuación de un cable de fibra óptica sometido a una prueba de torsión mientras soporta una carga.

Esta evaluación se realiza bajo dos criterios:

1. La variación en la transmitancia del cable (atenuación) mientras la cubierta del cable está sujeta a una fuerza de torsión externa.
2. Daño físico sobre el cable como resultado de este esfuerzo de torsión.

7.1 SISTEMA DE ENSAYO

El sistema de ensayo consiste de una máquina de torsión para cables de fibra óptica con especificaciones de acuerdo a la norma internacional norma IEC 60794-1-21, método E7: Torsion. La configuración del sistema de ensayo se muestra en la figura 11.

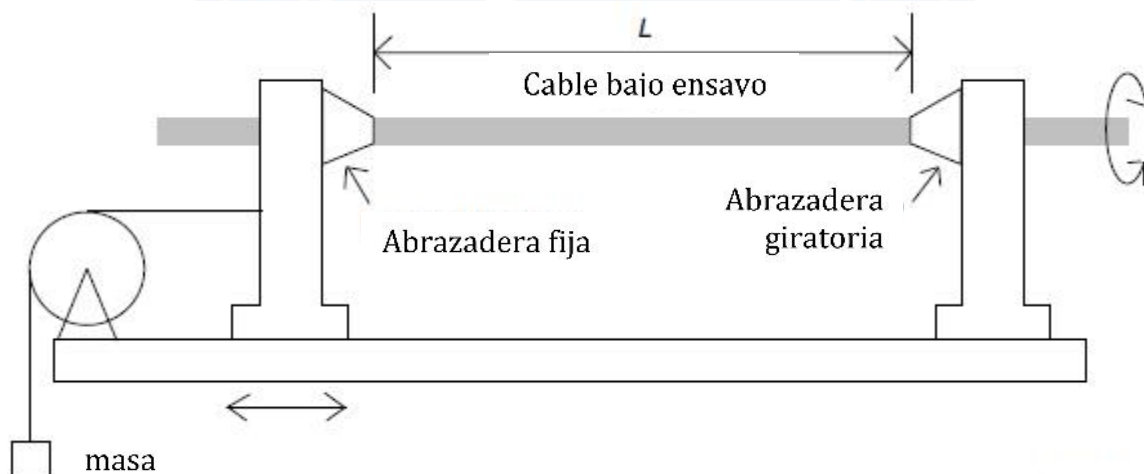


Figura 11. Diagrama esquemático del ensayo de torsión. Fuente IEC 60794-1-21-E7



Figura 12. Máquina de torsión, “IEC 60794-1-21 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method 7 – torsion”. Laboratorio de Pruebas Mecánicas, FIBERLAB S. DE R.L. DE C.V.

7.2 MÉTODOLÓGÍA DE ENSAYO

El ensayo consiste en rotar de forma axial un extremo de una muestra de cable 180° en dirección de las manecillas del reloj, regresarlo a su posición original, rotarlo nuevamente 180° en sentido opuesto y regresarlo nuevamente a su posición original. El extremo opuesto de la muestra permanece sujeto sin torsión mientras soporta una carga. El ciclo se repite 10 veces. El ensayo se realizó bajo los parámetros de la tabla 12.

CONFIGURACIÓN DEL ENSAYO		
Tensión	150	N
Número de ciclos	10	ciclos
Frecuencia	5	ciclos / min
Ángulo de torsión	± 90	grados
Longitud de la muestra	1.00	m
Número de pruebas	3	pruebas

Tabla 12. Parámetros de configuración del ensayo de torsión

7.3 RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

La tabla 13 muestra los resultados del ensayo de torsión y la evaluación de la conformidad, se reporta el promedio de las mediciones de cambio de atenuación como el mejor estimado. La evaluación de la conformidad del cable se determinó en base a las especificaciones del fabricante, la cual establece que el aumento de la atenuación del cable no deberá ser mayor a 0.1 dB para asegurar un buen comportamiento durante la instalación. Esta especificación está conforme con la norma *IEC 60794 -1- 21, método E7 – Torsion*.

ESPECIFICACIONES		ENSAYO			EVALUACIÓN
Atenuación [dB]	Carga [N]	Atenuación [dB]	Incertidumbre [dB] k=2	Daño de la cubierta exterior	CONFORME
≤ 0.10	150.0	0.00	0.01	No se observa	

Tabla 13. Evaluación de la conformidad del cable bajo ensayo de torsión. El ensayo tiene un nivel de confianza del 95% (k=2).

8 MÉTODO E8 – FLEXIÓN (FLEXING)

Este ensayo cumple con los parámetros y criterios establecidos en la norma internacional *“IEC 60794-1-21, optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method E8– Flexing*.

El ensayo está diseñado para determinar el comportamiento de la atenuación de un cable de fibra óptica sometido a una prueba de flexión a través de 4 poleas mientras soporta una carga. Esta prueba simula las condiciones de flexión en poleas y carga soportados por el cable durante el proceso de instalación.

8.1 SISTEMA DE ENSAYO

El sistema de ensayo consiste de una máquina de flexión de 4 poleas para cables de fibra óptica con especificaciones de acuerdo a la norma internacional norma IEC 60794-1-21, método E8: Flexing. La configuración del sistema de ensayo se muestra en la figura 13.

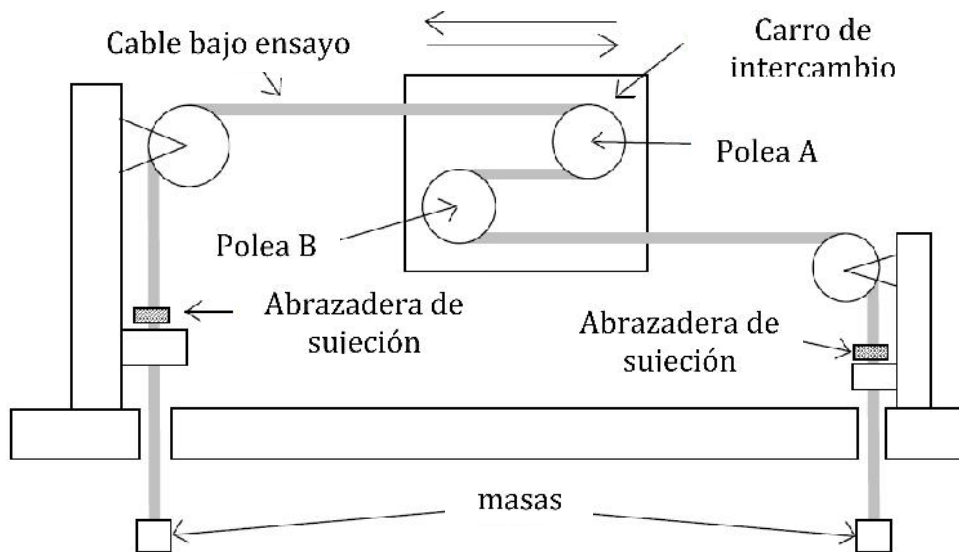


Figura 13. Diagrama esquemático del ensayo de flexión. Fuente IEC 60794-1-21-E8

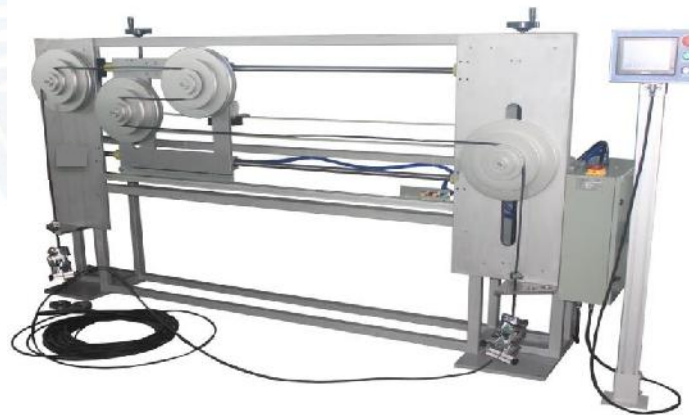


Figura 14. Máquina de flexión, norma internacional "IEC 60794-1-21 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method 8 – Flexions". Laboratorio de Pruebas Mecánicas, FIBERLAB S. DE R.L. DE C.V

8.2 METODOLOGÍA DEL ENSAYO

El propósito de este ensayo es determinar la capacidad del cable para soportar las flexiones repetidas, por ejemplo, al pasar el cable por una polea durante la elevación del mismo en el proceso de tendido.

El ensayo consiste en flexionar una muestra cable repetidas veces sobre un conjunto de poleas mientras sus extremos soportan una carga.

El ensayo se realizó bajo los parámetros de la tabla 14.

CONFIGURACIÓN DEL ENSAYO		
Tensión	100	N
Número de ciclos	25	ciclos
Diámetro de las poleas	0.25	m
velocidad de desplazamiento	150	mm/s
Número de pruebas	3	pruebas

Tabla 14. Parámetros de configuración del ensayo de flexión.

8.3 RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

La tabla 15 muestra los resultados del ensayo de flexión, se reporta el promedio de las mediciones de cambio de atenuación como el mejor estimado. La evaluación de la conformidad del cable se determinó en base a las especificaciones del fabricante, la cual establece que el aumento de la atenuación del cable no deberá ser mayor a 0.1 dB para asegurar un buen comportamiento durante la instalación. Esta especificación está conforme con la norma *IEC 60794 -1- 21, método E8 – Flexing*.

ESPECIFICACIONES				ENSAYO		EVALUACIÓN
Tensión [N]	Ciclos	Diámetro de poleas [m]	Atenuación [dB]	Atenuación [dB]	Incertidumbre [dB] k=2	
100	25	0.25	≤ 0.10	0.00	0.01	CONFORME

Tabla 15. Evaluación de la conformidad del cable bajo ensayo de dobleces repetidos. El ensayo tiene un nivel de confianza del 95% (k=2).

9 DOBLEZ

Este ensayo cumple con los parámetros y criterios establecidos en la norma internacional "IEC 60794-1-21, optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method E11A – BEND.

El ensayo está diseñado para determinar el comportamiento de la atenuación de un cable de fibra óptica o de un elemento de un cable de fibra óptica sometido a una prueba de doblez alrededor de un mandril de ensayo.

9.1 MÉTODO DE ENSAYO

Este ensayo se aplicó a dos muestras de tubo holgado en las siguientes condiciones:

1. En condiciones normales
2. Después de haber sido sometido a un proceso de envejecimiento por ciclado térmico. Tabla 16

1	2 ciclos de -40 °C a +70 °C. Cada ciclo completo de 12 horas (24 horas)
2	Se envejece el cable a +85 °C durante 168 hrs
3	2 ciclos de -40 °C a +70 °C. Cada ciclo completo de 12 horas (24 horas)

Tabla 16. Ciclos térmicos de envejecimiento del tubo holgado.

La pérdida por doblez del tubo holgado, se determinó midiendo el cambio de atenuación a 1550 nm al enrollar 1 vuelta del tubo holgado e ir disminuyendo el radio de curvatura.

9.2 RESULTADOS

La tabla 17 muestra los resultados del ensayo de pérdidas por doblez del tubo holgado

	Radio de curvatura [mm]					
	20.0	17.5	15.0	12.5	10.0	
Sin Envejecer	0.00	0.00	0.01	0.03	0.26	dB
Envejecido	0.00	0.00	0.00	0.01	0.32	dB

Tabla 17. Pérdidas por doblez a 1550 nm

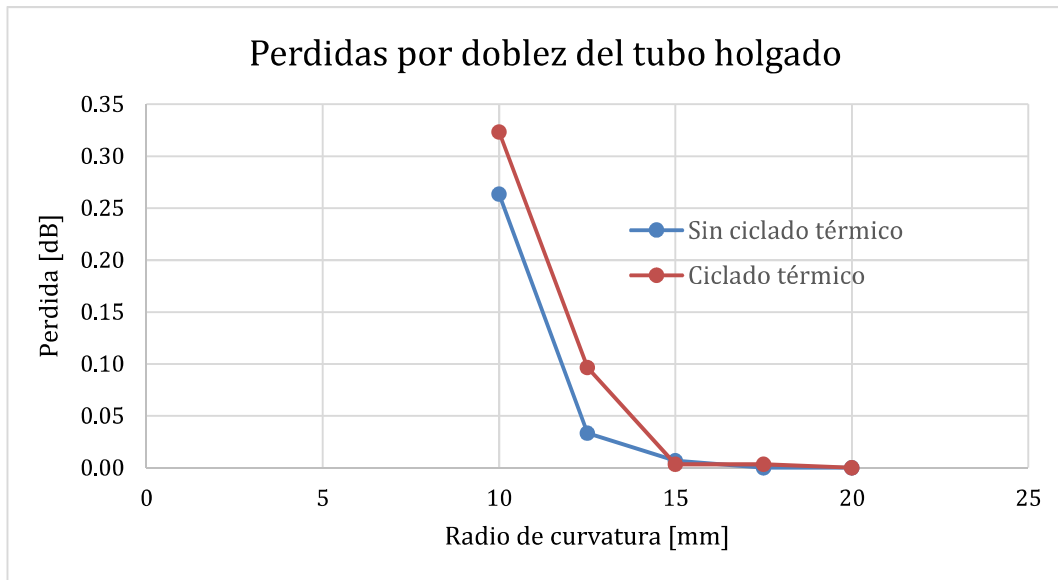


Figura 15. Curva de pérdidas por dobléz del tubo holgado a 1550 nm

9.3 EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

La tabla 18 muestra la evaluación de la conformidad del tubo holgado al ensayo de dobléz, la cual se determinó en base a las especificaciones del fabricante.

ESPECIFICACIONES ITU-T G.652.D			ENSAYO	U(K=2)	EVALUACIÓN
Sin envejecimiento	1 vuelta en un radio de 10 mm	≤ 0.50 dB	0.26 dB	0.01 dB	CONFORME
Envejecido			0.32 dB	0.01 dB	CONFORME

Tabla 18. Evaluación de la conformidad del tubo holgado al ensayo de dobléz. El ensayo tiene un nivel de confianza del 95%

2. ENSAYOS AMBIENTALES

El cable fue sometido a los métodos de ensayo ambientales de la tabla 19. Estos ensayos cumplen con los parámetros y criterios establecidos en la norma internacional “IEC 60794-1-22 optical fibre cables – Generic specifications -basic optical cable test procedures”

MÉTODO	PRUEBA
IEC-60794-1-22-F1	Ciclado térmico
IEC-60794-1-22-F5B	Penetración de agua
IEC 60794-1-22-F9	Envejecimiento

Tabla 19. Métodos de ensayo ambientales.

10 MÉTODO F5B – PENETRACIÓN DE AGUA (WATER PENETRATION)

Este ensayo cumple con los parámetros y criterios establecidos en la norma internacional “IEC 60794-1-22 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method F5B – water penetration”

Este ensayo está diseñado para determinar la capacidad de un cable de bloquear la propagación de agua en toda la sección transversal del cable a lo largo de una longitud específica.

10.1 SISTEMA DE ENSAYO

El sistema de ensayo consiste de una máquina de penetración de agua que mantiene la muestra de forma horizontal mientras aplica una columna de agua 1 m de durante 24 h, a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Se utiliza un agente colorante para ayudar en la detección de la propagación del agua.

La figura 16 muestra un diagrama esquemático del sistema de penetración de agua por el método -F5B.

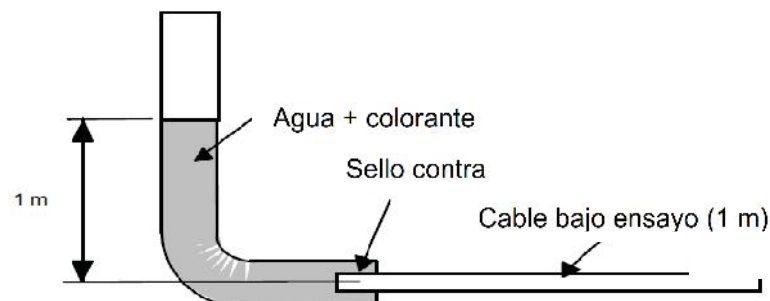


Figura 16. Diagrama esquemático del sistema de penetración de agua. Fuente IEC 60794-1-22-F5B



Figura 17. Máquina de penetración de agua, norma internacional “IEC 60794-1-22 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method FB5 – water penetration”. Laboratorio de Pruebas Ambientales, FIBERLAB S. DE R.L. DE C.V.

10.2 MÉTODOLÓGÍA DE ENSAYO

Una muestra de cable de 3 m de longitud se colocó horizontalmente sobre la máquina y se aplicó una columna de agua 1 m de altura durante 24 h por uno de sus extremos. El extremo opuesto permaneció abierto sin ningún bloqueo. La temperatura del agua fue de $22.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el tiempo del ensayo.

Se agregó una tinta colorante azul para detectar cualquier filtración de agua.

10.3 RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

La evaluación de la conformidad del cable se determinó en base a la especificación del fabricante, la cual establece que el cable bajo ensayo (de 1 metro de longitud) no deberá presentar escurrimiento de agua en la salida sin bloqueo después de 24 horas de prueba. Esta especificación está conforme con la norma IEC 60794 -1- 22, método FB5 – water penetration.

La tabla 20 muestra los resultados del ensayo y la evaluación de la conformidad.

ESPECIFICACIONES			MEDICIONES		EVALUACIÓN
Longitud del cable [cm]	Tiempo [h]	Altura del agua [m]	Penetración de agua [m]	Filtración de agua por la salida no sellada	
300	24	1.00	0.19	No se observa	CONFORME

Tabla 20. Evaluación de la conformidad del cable bajo la prueba de penetración de agua.

11 CICLADO TÉRMICO (F1) Y ENVEJECIMIENTO TÉRMICO (F9)

Estos ensayos cumplen con los parámetros y criterios establecidos en la norma internacional “IEC 60794-1-22 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method F1 – Thermal Cycling, Method” y Method F9 -Aging

Estos ensayos están diseñados para modelar el comportamiento y la estabilidad de la atenuación de los cables de fibra óptica durante su tiempo de vida útil. El ensayo consiste en someter el cable a ciclos de temperatura y temperaturas altas sostenidas.

11.1 SISTEMA DE ENSAYO

El sistema de ensayo consiste de una cámara de térmica con un alcance de -40°C a $+140^{\circ}\text{C}$. La figura 18 muestra la cámara de envejecimiento térmico de FIBERLAB.



Figura 18. Cámara de envejecimiento térmico, norma internacional “IEC 60794-1-22 optical fiber cables – basic optical cable test procedures. Method F9 – aging”. Laboratorio de Pruebas Ambientales, FIBERLAB S. DE R.L. DE C.V.

11.2 MÉTODOLÓGÍA DE ENSAYO

En muestra de cable de aproximadamente 100 m de longitud se fusionaron 12 fibras en forma para alcanzar una longitud óptica de 1219 m. La muestra fue colocada dentro de la cámara térmica. Se realizaron 2 ciclos térmicos con la siguiente secuencia.

1. Temperatura ambiente
2. -40 °C
3. +70 °C
4. Temperatura ambiente

Cada ciclo completo fue de 12 horas (24 horas en total). Figura 19.

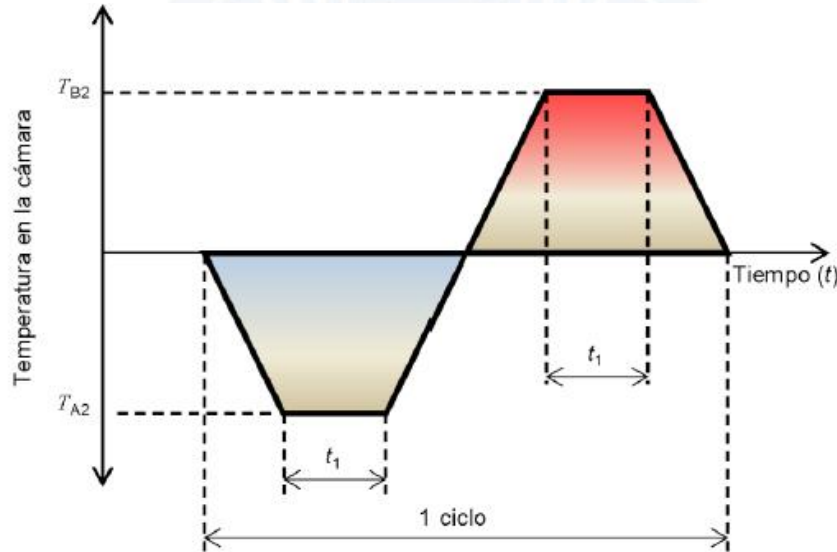


Figura 19. Ciclos de temperatura.

- i. Una vez concluidos los dos primeros ciclos de temperatura se realizó un proceso de envejecimiento del cable sometiéndolo a una temperatura sostenida de +85 °C durante 168 horas.
- ii. Concluido el proceso de envejecimiento se repitieron nuevamente 2 ciclos térmicos similares a los iniciales.

La tabla 21 muestra la secuencia del ciclado térmico y envejecimiento.

	Proceso	Método	Tiempo
Etapa 1	2 ciclos térmicos	F1	24 horas
Etapa 2	Envejecimiento +85°C	F9	168 horas
Etapa 3	2 ciclos térmicos	F1	24 horas

Tabla 21. Procesos de ciclado térmico y envejecimiento

- iii. Una vez terminado el proceso de ciclado térmico y envejecimiento se midió el cambio de atenuación que experimentó el cable.

11.3 RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

La evaluación de la conformidad del cable se determinó en base a la especificación del fabricante, la cual establece un cambio de atenuación del cable ≤ 0.1 dB/km. La tabla 22 muestra los resultados del ensayo de ciclado térmico y envejecimiento y la evaluación de la conformidad.

ESPECIFICACIONES	ENSAYO		EVALUACIÓN
Cambio de atenuación [dB/km]	Cambio de atenuación [dB/km]	Incertidumbre [dB/km]	
≤ 0.1	0.06	± 0.02	CONFORME

Tabla 22. Evaluación de la conformidad del cable bajo ensayo en las pruebas de ciclado térmico y envejecimiento

12 INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La incertidumbre, presentada como incertidumbre expandida, se obtuvo multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor que asegura un nivel de confianza de al menos 95%. La incertidumbre estándar fue calculada de acuerdo a la "Guide to the Expression of Uncertainties in Measurements, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML (1995)".

13. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES

Las mediciones son trazables al watt óptico [W], al metro [m], al Newton [N], y al Kelvin [K], unidades de base y derivada del Sistema Internacional [S.I.] a través de los patrones mantenidos por el Centro Nacional de Metrología, CENAM.

14. REGLA DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

La regla de decisión de conformidad se basó en el establecimiento de una zona de seguridad que garantice un error de decisión $\leq 2.3\%$, establecido en la guía "ASME B89.7.3.1:2001 *Guidelines for decision Rules: Considering Measurement Uncertainty in Determining Conformance to Specifications*".

REFERENCIAS

1. IEC 60793-1-40 Optical Fibers: Attenuation measurements methods: 2019
2. "IEC 60794-1-21:2015+AMD1:2020: Optical fibre cables - Part 1-21: Generic specification - Basic optical cable test procedures - Mechanical tests methods. Ed. 1.0 "
3. IEC 60794-1-22: 2017, Optical Fibers cables: Generic specification – Basic optical test procedures – Environmental I test methods
4. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurements. JCGM 100:2008.
5. ASME B89.7.3.1 "Guidelines for decision Rules: Considering Measurement Uncertainty in Determining Conformance to Specifications: 2001
6. Hoja de especificaciones técnicas OPTRONICS "Cable De Fibra Óptica Exterior Dieléctrico Semiseco Monomodo", Rev. 3

La caracterización óptica de dispersión presentada a continuación (ANEXO A), se encuentra fuera del alcance de acreditación del laboratorio.

Las mediciones son trazables a Unidades del sistema Internacional a través de los patrones mantenidos por CENAM y NIST. La estimación de incertidumbre tiene una confiabilidad del 95% (k=2).

ANEXO A

PARÁMETROS ÓPTICOS	ESPECIFICACIÓN	VALOR	EVALUACIÓN
Coefficiente de Dispersión Cromática (CD) a 1550 nm	$\leq 18 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$	16.13 ps/(nm*km)	Conforme
Pendiente de dispersión a λ_0	$\leq 0.092 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$	0.091 ps/(nm ² *km)	Conforme
Coefficiente de PMD de primer orden	No especificado	0.105 ps/ $\sqrt{\text{km}}$	Conforme
Coefficiente de PMD de segundo orden	No especificado	0.005 ps/nm*km	Conforme
Pérdidas por macro dobleces (1vuelta en un radio de 10 mm a 1550 nm)	$\leq 0.50 \text{ dB}$	0.25 dB	Conforme

DISPERSIÓN CROMÁTICA

Método de medición

El Coeficiente de dispersión Cromática se determinó por el método de corrimiento de fase de acuerdo a la norma internacional IEC 60793-1-42, método A: Corrimiento de fase.

La curva de dispersión cromática reportada por el equipo bajo prueba se obtuvo mediante la primera derivada de la curva de retardo diferencial de grupo (DGD), ecuación 1.

$$CD(\lambda) = \frac{\delta(\text{DGD})}{\delta(\lambda)} \quad (1)$$

La curva de retardo diferencial de grupo (DGD) se obtuvo a su vez del ajuste por aproximación de Sellmeier de 3 términos en el alcance de 1530 nm a 1624 nm.

Los parámetros de configuración del ensayo se muestran en la tabla 1.

Tipo de fibra	G.652.D
Alcance de medición	1530 nm - 1624 nm
Incrementos en λ	2 nm
Curva de ajuste	Sellmeier de 3 términos
Error de ajuste	4.5865 ps

Tabla 1. Parámetros de configuración de la medición de CD

Resultados

Las tablas 2 y 3, y la figura 1, muestran los resultados del ensayo de dispersión cromática y su incertidumbre estimada para un nivel de confianza del 95%.

PARÁMETRO	VALOR	INCERTIDUMBRE K=2	EVALUACIÓN
Coefficiente de Dispersión Cromática (CD) a 1550 nm	16.13 ps/(nm*km)	0.1 ps/(nm*km)	CONFORME
Pendiente de dispersión a 1550 nm	0.059 ps/(nm*km)	0.1 ps/(nm ² *km)	CONFORME
Coefficiente de Dispersión Cromática (CD) a 1624 nm	20.25 ps/(nm*km)	0.1 ps/(nm*km)	CONFORME
Pendiente de dispersión a 1624 nm	0.052 ps/(nm*km)	0.1 ps/(nm ² *km)	CONFORME
Longitud de onda de cero dispersión	1323 nm	1 nm	CONFORME
Pendiente de dispersión a λ_0	0.091 ps/(nm ² *km)	0.1 ps/(nm ² *km)	CONFORME

Tabla 2. Resultados de la caracterización de dispersión cromática (CD)

Longitud de onda (λ)	Coefficiente de CD [ps/nm*km]	Longitud de onda (λ)	Coefficiente de CD [ps/nm*km]	Longitud de onda (λ)	Coefficiente de CD [ps/nm*km]
1530	14.955	1562	16.870	1594	18.692
1532	15.077	1564	16.986	1596	18.730
1534	15.199	1566	17.103	1598	18.921
1536	15.321	1568	17.218	1600	19.024
1538	15.443	1570	17.333	1602	19.134
1540	15.564	1572	17.449	1604	19.243
1542	15.684	1574	17.464	1606	19.353
1544	15.740	1576	17.678	1608	19.462
1546	15.924	1578	17.792	1610	19.571
1548	16.044	1580	17.906	1612	19.679
1550	16.133	1582	18.019	1614	19.787
1552	16.282	1584	18.132	1616	19.895
1554	16.400	1586	18.244	1618	20.003
1556	16.518	1588	18.257	1620	20.110
1558	16.636	1590	18.469	1622	20.217
1560	16.753	1592	18.581	1624	20.251

Tabla 3. Resultados de la caracterización de dispersión cromática (CD)

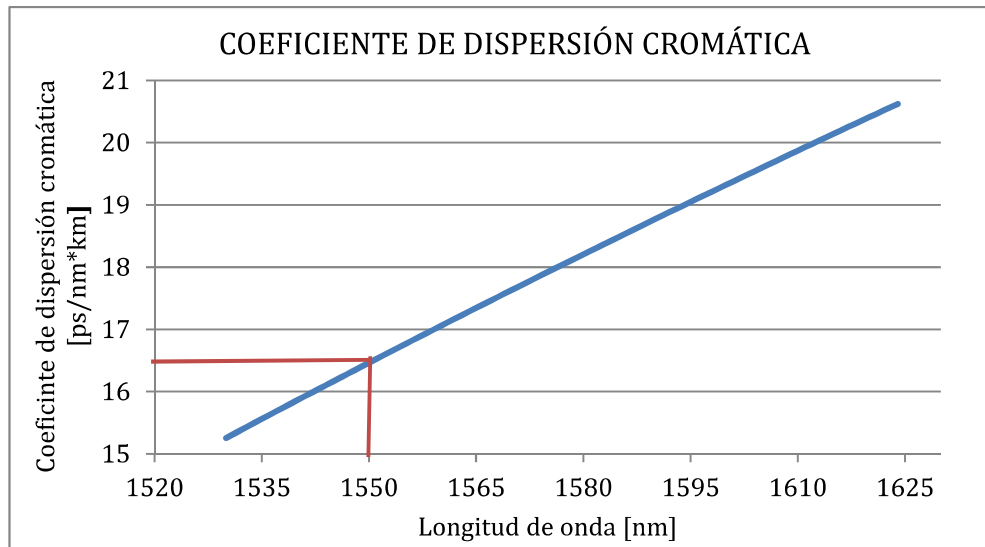


Figura 1. Coeficiente de dispersión cromática (CDC)

DISPERSIÓN DE MODOS DE POLARIZACIÓN (PMD)

Método de medición

El ensayo se realizó por el método interferométrico de acuerdo a la norma internacional IEC 60793-1-48

Resultados

La tabla 4 muestra los resultados del ensayo dispersión de modos de polarización y su incertidumbre estimada para un nivel de confianza del 95%.

Parámetro	Valor	Incertidumbre K=2	EVALUACIÓN
Coefficiente de PMD de primer orden	0.105 ps/ $\sqrt{\text{km}}$	0.01 ps/km ^{1/2}	CONFORME
Coefficiente de PMD de segundo orden	0.005 ps/nm*km	0.001 ps/nm*km	CONFORME

Tabla 4. Resultados del ensayo de dispersión de modos de polarización (PMD)