



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

Evaluación de la Atenuación en Conectores de F.O. en entorno Empresarial y Residencial utilizando Lentes de Alta Resolución Aplicando Estándares Internacionales.

**AUTORES:**

Alegría Soriano Rubén Isaías

Mera Moran María Fernanda

**DOCENTE TUTOR:**

Ing. Fernando Vinicio Chamba Macas Mgt.

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2025**

## **APROBACIÓN DE DOCENTE TUTOR**

En mi calidad de Tutor del trabajo de Integración Curricular denominado: “Evaluación de la atenuación en conectores de F.O. en entorno empresarial y residencial utilizando lentes de alta resolución aplicando estándares internacionales” en el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena”, presentado por los estudiantes Rubén Isaías Alegría Soriano y María Fernanda Mera Moran, de la carrera de Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo a los estudiantes para que inicie los trámites legales correspondientes.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'F. Chamba Macas', is written over a solid horizontal line.

Ing. Fernando Vinicio Chamba Macas Mgt.

**DOCENTE TUTOR**

## DECLARACIÓN DE AUTORIA

El contenido del presente Trabajo de Integración Curricular denominado: "Evaluación de la atenuación en conectores de F.O. en entorno empresarial y residencial utilizando lentes de alta resolución aplicando estándares internacionales", declaramos que la concepción análisis y resultados son originales a la actividad educativa en el área de Telecomunicaciones.

Atentamente,



---

**Rubén Isaías Alegría Soriano**

**C.I: 0924371107**



---

**Mera Morán María Fernanda**

**C.I: 0940546724**

## **DECLARACIÓN DE DOCENTE ESPECIALISTA**

En mi calidad de docente especialista del trabajo de Integración Curricular, **“Evaluación de la atenuación en conectores de F.O. en entorno empresarial y residencial utilizando lentes de alta resolución aplicando estándares internacionales”**, elaborado por Rubén Isaías Alegría Soriano y María Fernanda Mera Moran estudiantes de la carrera de Telecomunicaciones, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniería en Telecomunicaciones, me permito declarar que, tras supervisar el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos. En consecuencia, lo considero apto en todos sus aspectos y listos para la sustentación del trabajo.

Atentamente,



---

**Ing. Luis Miguel Amaya Fariño, Mgtr  
DOCENTE ESPECIALISTA**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Quienes suscriben, Rubén Isaías Alegría Soriano con C.I 0924371107 y Maria Fernanda Mera Moran con C.I. 094054672, estudiantes de la carrera de Telecomunicaciones, declaramos que el contenido del presente Trabajo de Integración Curricular denominado: "Evaluación de la atenuación en conectores de F.O. en entorno empresarial y residencial utilizando lentes de alta resolución aplicando estándares internacionales" pertenece y es exclusiva responsabilidad de los autores y pertenece al patrimonio intelectual de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Atentamente,



---

**Rubén Isaías Alegría Soriano**

**C.I: 0924371107**



---

**Mera Moran Maria Fernanda**

**C.I: 0940546724**

## TRIBUNAL DE GRADO



---

**Ing. Ronald Rovira, Phd.  
DIRECTOR DE CARRERA**



---

**Ing. Fernando Chamba Macas, Mgt.  
DOCENTE TUTOR**



---

**Ing. Luis Amaya Fariño, Mgt.  
DOCENTE GUÍA UIC/ ESPECIALISTA**




---

**Ing. Corina Gonzabay De La A, Mgt.  
SECRETARIA**


## CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado Evaluación de la Atenuación en Conectores de F.O. en entorno Empresarial y Residencial utilizando Lentes de Alta Resolución Aplicando Estándares, presentado por los estudiantes Alegría Soriano Rubén Isaías y Mera Moran María Fernanda el documento fue enviado al sistema anti plagio presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 5%, por lo cual se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.


**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magíster

### Tesis lista

5%  
Textos sospechosos




**1% Similitudes**  
 < 1% similitudes entre comillas  
 < 1% entre las fuentes mencionadas

**4% Idiomas no reconocidos**

**22% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)**

Nombre del documento: Tesis lista .docx ID del documento: 817f3502775aaf1e00544335ada49b52c1e/fb778 Tamaño del documento original: 15,81 MB	Depositante: FERNANDO VINICIO CHAMBA MACAS Fecha de depósito: 5/12/2025 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 5/12/2025
Número de palabras: 41.974 Número de caracteres: 286.822	

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="#">repositorio.upse.edu.ec</a>   Diseño e implementación de una red de fibra óptica FT... <a href="http://repositorio.upse.edu.ec/8089/jpuu/fbstreanv4600923646/UPSE-TET-2015-0003.pdf.txt">http://repositorio.upse.edu.ec/8089/jpuu/fbstreanv4600923646/UPSE-TET-2015-0003.pdf.txt</a> 5 fuentes similares	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc;"></div>	Palabras idénticas: < (126) 1% (palabras)
2	<a href="#">spinproc1703 (3).pdf</a>   <a href="#">spinproc1703 (3).pdf</a> #twite Viene de mi biblioteca 5 fuentes similares	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc;"></div>	Palabras idénticas: < (114) 1% (palabras)
3	Documento de otro usuario #43a3be Viene de otro grupo 6 fuentes similares	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc;"></div>	Palabras idénticas: < (103) 1% (palabras)
4	<a href="#">repositorio.upse.edu.ec</a>   Implementación de un prototipo de robot móvil con vi... <a href="http://repositorio.upse.edu.ec/8089/jpuu/fbstreanv4600915983/IMPLEMENTACIÓN DE UN ...">http://repositorio.upse.edu.ec/8089/jpuu/fbstreanv4600915983/IMPLEMENTACIÓN DE UN ...</a> 2 fuentes similares	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc;"></div>	Palabras idénticas: < 1% (69 palabras)
5	<a href="#">repositorio.upse.edu.ec</a> <a href="https://repositorio.upse.edu.ec/fbstreanv4600012733r1/UPSE-TTE-2025-0016.pdf">https://repositorio.upse.edu.ec/fbstreanv4600012733r1/UPSE-TTE-2025-0016.pdf</a> 1 fuente similar	< 1%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc;"></div>	Palabras idénticas: < 1% (72 palabras)

TUTOR



Firmado «Certificado» por:  
**FERNANDO VINICIO  
 CHAMBA MACAS**  
 Validez únicamente con FirmadE

Ing. Fernando Vinicio Chamba Macas Mgt.

# DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado, en primer lugar, a Dios, por iluminar cada paso de este camino y concederme la perseverancia necesaria para llegar hasta este momento. Su guía y fortaleza han sido esenciales para no rendirme.

A mis padres, Pedro Mera y Leidy Moran, por su amor infinito, por su apoyo incondicional y por creer siempre en mí aun cuando las dudas me alcanzaban. Gracias por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la humildad. A mis hermanos, que como hermana mayor me ven como un referente; este logro también es por ustedes. Cada avance lo hice pensando en ser el ejemplo que merecen. Los amo.

A mi querido amor Carlos Manuel, un pilar fundamental en este proceso. Sin tu apoyo, tu paciencia y tu compañía, este camino habría sido mucho más difícil. Gracias por sostenerme, por motivarme y por recordarme que soy capaz.

A mis tíos Raquel Muñoz y Jorge Moran quienes fueron un apoyo importante a inicios de esta etapa, gracias infinitas por su apoyo. Mis amigos, por sus risas, por su compañía y por estar presentes en cada etapa, incluso en los días más pesados. Gracias por hacer más ligero este recorrido.

A todos ustedes dedico este trabajo con gratitud profunda y cariño eterno.

*Maria Fernanda Mera Moran*

Este trabajo de tesis está dedicado, en primer lugar y por sobre todas las cosas, a Dios, pues sin Él no habría llegado hasta este momento; por darme sabiduría e inteligencia, y por sostenerme a pesar de cada situación adversa.

Dedico también este trabajo a mi familia, a mis padres Christian Alegría y Ana Soriano, por su apoyo incondicional; y a mis hermanos Argelia, Cristian, Sergio, Hanna, Débora, Carlos, Rocío y Camilo, quienes con el reflejo de su esfuerzo me enseñaron a superarme y avanzar hasta alcanzar el objetivo final.

A mis amigos, que más que amigos han sido como hermanos; a mi amigo Josué Villao y a su familia, quienes me apoyaron en mis primeros años de estudios universitarios; y a mi amiga Alissa Siegel, cuyo apoyo fue fundamental para llegar hasta aquí. También dedico esta tesis a todos mis amigos que, en algún momento, me brindaron su apoyo cuando pensé que no podría continuar.

Dedico igualmente este trabajo a mi Iglesia CDA Montañita por ser una familia, y a mis pastores Ana y Miguel Montalván. No creo que alcancen las hojas para mencionar a todas las personas a quienes siento gratitud y amor por motivarme a seguir. Gracias a Dios por poner a cada una de estas personas en mi vida.

A todos ustedes, les dedico este trabajo con gratitud y amor.

*Rubén Isaías Alegría Soriano,*

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios, por ser mi guía espiritual, por darme la vida, la sabiduría y la fortaleza necesaria para no desmayar en este proceso. Gracias por bendecirme y permitirme alcanzar este sueño.

A mis padres, Leidy y Pedro, por ser mi motivación diaria. Gracias por su amor incondicional, por sus sacrificios y por enseñarme que con esfuerzo todo es posible. Este triunfo es tan mío como de ustedes.

A ti Carlos Manuel, por ser mi roca y mi compañero incondicional. Gracias por tu paciencia en mis ausencias, por tus palabras de aliento y por caminar a mi lado en cada paso de esta etapa.

A mi compañero y amigo de tesis, Rubén Alegría, gracias por el gran equipo que formamos. Tu compromiso y apoyo fueron piezas clave para culminar este proyecto con éxito.

A mi tutor, Ing. Fernando Chamba, por su excelente dirección y calidad humana; y al especialista, Ing. Luis Amaya, por sus valiosos consejos y aportes técnicos. Gracias a ambos por compartir sus conocimientos conmigo.

***Maria Fernanda Mera Moran***

Vivo en gratitud cada día por tener la oportunidad de vivir; gracias a Dios por cada proceso y por cada resultado alcanzado, como es este trabajo. Gracias a Él por poner en mi camino a cada persona que me ha apoyado durante este recorrido.

Agradezco a mis padres, Christian Alegría y Ana Soriano, porque a pesar de todo siempre han estado cerca. Agradezco también a la familia de mi amigo Josué Villao; siempre recordaré cada ayuda recibida. Gracias, Alissa porque fuiste un apoyo fundamental en el momento preciso sobre todo gracias por tu amistad, nuevamente agradezco a Dios por usar y poner tantas personas increíbles en mi camino.

A mi compañera de tesis, Fernanda Mera, gracias por tu colaboración y, más que eso por tu amistad. Tu dedicación y esfuerzo fueron fundamentales para llegar hasta el final.

A mi tutor, Ing. Fernando Chamba, por sus clases en la carrera y por su apoyo en la revisión de este trabajo, por enseñarme no solo a ser un buen profesional, sino también una buena persona; y al especialista, Ing. Luis Amaya, por sus valiosos aportes técnicos.

A lo largo de la carrera hubo docentes cuyas clases me motivaron a continuar, como las clases de del Ph.D. Ronald Rovira, Ing. Vladimir García, Ing Daniel Jaramillo. Considero que no tendría el espacio suficiente para mencionar a todas las personas a quienes quisiera agradecer, por lo que doy gracias a Dios por la vida de cada persona con la que pude llegar hasta donde estoy ahora.

***Rubén Isaías Alegría Soriano,***

# ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DE DOCENTE TUTOR .....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	III
DECLARACIÓN DE DOCENTE ESPECIALISTA .....	IV
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	IV
TRIBUNAL DE GRADO.....	VI
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO.....	VII
DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE GENERAL .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	XVI
RESUMEN .....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
MARCO REFERENCIAL.....	2
1. FUNDAMENTACIÓN.....	2
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Descripción del Proyecto .....	4
1.3. Objetivos del Proyecto.....	5
1.3.1. Objetivo General:.....	5
1.3.2. Objetivos Específicos: .....	5

1.4. Justificación .....	6
1.5. Alcance del Proyecto .....	7
1.6. Metodología .....	9
1.7. Resultados Esperados.....	11
1.8. Marco contextual .....	12
CAPÍTULO II .....	13
2. MARCO REFERENCIAL.....	13
2.1. Marco Teórico.....	13
2.1.1. Sistema de comunicaciones .....	13
2.1.2. Componentes de un sistema de comunicaciones .....	14
2.1.3. Clasificación de los sistemas de comunicaciones.....	16
2.1.4. Estándares en los sistemas de comunicaciones.....	19
2.1.5. Ventajas, desventajas y aplicaciones en los sistemas de comunicaciones..	23
2.2. Comunicaciones Ópticas.....	26
2.2.1. Principio Físico De La Transmisión Óptica.....	26
2.2.2. Tipos de Fibra Óptica y Aplicaciones.....	28
2.2.3. Parámetros Clave de Desempeño en Sistemas Ópticos .....	32
2.2.4. Retos y Desafíos en las Comunicaciones Ópticas .....	41
2.3. Tecnologías De La Comunicación Óptica .....	43
2.3.1. Componentes Fundamentales Del Sistema Óptico .....	43
2.3.2. Avances en Tecnologías Ópticas .....	44
2.3.3. Ventajas de las Tecnologías Ópticas.....	44
2.3.4. Aplicaciones Modernas de las Comunicaciones Ópticas.....	44
2.4. Conectores Ópticos .....	45
2.4.1. Tipos de Conectores.....	45

2.4.2. Materiales de Férula, Tolerancias Mecánicas y Acoplamiento .....	49
2.4.3. Mecanismos de Pérdida en el Empalme/Conexión.....	52
2.5. Tecnologías Pasivas de las Redes Ópticas (GPON) .....	56
2.5.1. Inicio y Evolución de la Tecnología GPON .....	56
2.5.2. Funcionamiento de la Tecnología GPON.....	57
2.6. Evaluación de la Atenuación y Calidad del Enlace Óptico .....	58
2.6.1. Instrumentación de Medición de la Calidad de Enlaces Ópticos.....	59
2.6.2. Métodos de Medición por Inserción y Pérdida por Retorno Óptico.....	61
2.6.3. Incertidumbre y Calibración de Equipos .....	63
2.7. Impacto de la Contaminación en Conectores Ópticos .....	64
2.7.1. Tipos de Contaminación en Conectores Ópticos .....	65
2.7.2. Fuentes de Contaminación en Conectores Ópticos.....	66
2.7.3. Dimensiones de las Partículas y su Influencia en las Pérdidas Ópticas.....	69
2.7.4. Mecanismos de Daño y Efectos Asociados .....	71
2.8. Inspección Visual Mediante Lentes de Alta Resolución .....	72
2.8.1. Microscopios e Instrumentos .....	72
2.8.2. Procedimientos de Captura y Análisis .....	73
2.9. Limpieza y Mantenimiento de Conectores de Fibra Óptica .....	75
2.9.1. Métodos de Limpieza aplicados en Conectores Ópticos .....	75
2.9.2. Herramientas, Materiales y Consumibles Recomendados.....	76
2.9.3. Buenas Prácticas Operativas .....	80
2.10. Normas y Estándares Internacionales para Conectores Ópticos.....	81
2.10.1. Organismos de Normalización y Regulación Técnica.....	81
2.10.2. Áreas de Aplicación.....	84
CAPÍTULO III.....	86

3. ANÁLISIS DEL PROYECTO .....	86
3.1. Desarrollo de la Propuesta Técnica.....	86
3.2. Descripción del Entorno de red GPON.....	86
3.2.1. Módulo Didáctico Residencial (Residencial y Edificio GPON): .....	87
3.2.2. Módulo Didáctico Empresarial: .....	89
3.3. Inspección Preliminar y Diagnóstico. ....	89
3.3.1. Instrumentos Utilizados en el Diagnóstico .....	90
3.3.2. Asignación de Puertos de la OLT y Observaciones Iniciales .....	91
3.3.3. Medición de Potencia de Salida en la OLT (Tx) .....	92
3.3.4. Medición de Potencia de Recepción (Rx) – Estado Pre-Limpieza .....	93
3.3.5. Hallazgos Físicos Relevantes.....	94
3.4. Hardware Propuesto.....	94
3.4.1. Microscopio Digital para Fibra Óptica .....	95
3.4.2. Medidor de Potencia Óptica (OPM) .....	96
3.4.3. OLT “Terminal de Línea Óptica” .....	97
3.4.4. Materiales, Herramientas y Consumibles .....	97
3.5. Software Propuesto .....	103
3.5.1. OptiSystem.....	103
3.5.2. Simulación del Submódulo Residencial GPON (1x4 + 1x8).....	104
3.5.3. Simulación del Submódulo Edificio GPON (1x32).....	106
3.5.4. Simulación del Módulo Móvil GPON .....	107
3.6. Análisis y Optimización del Rendimiento de Conectores en Redes GPON ....	109
3.6.1. Presupuesto Óptico teórico .....	109
3.6.2. Estado Inicial (Pre-limpieza) .....	112
3.6.3. Procedimientos de Limpieza e Intervención.....	113

3.6.4. Estado Final (Post-Limpieza) .....	114
3.6.5. Relación con la Simulación en OptiSystem.....	115
3.7. Descripción y Desarrollo de Encuestas.....	116
3.7.1. Población Objetivo y Criterios de Selección .....	117
3.7.2. Tamaño y Característica de la Muestra.....	118
3.7.3. Instrumento de Recolección de Datos.....	119
3.8. Resultados Esperados de la Encuesta .....	127
3.8.1. Consideraciones Éticas y Metodológicas.....	128
CAPÍTULO IV.....	130
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	130
4.1. Análisis De Resultados De Los Módulos Didácticos .....	130
4.1.1. Resultados del Módulo Empresarial .....	130
4.1.2. Resultados el Módulo Residencial–Submódulo Residencial (1x4+1x8)..	132
4.1.3. Resultados del Módulo Residencial – Submódulo Edificio GPON 1x32.	133
4.1.4. Comparación global entre Módulos.....	135
4.2. Análisis de las Simulaciones en Software .....	137
4.2.1. Resultados de la Simulación del Submódulo Residencial (1x4+1x8) .....	137
4.2.2. Resultados de Simulación – Submódulo Edificio GPON (1X32) .....	140
4.2.3. Resultados de Simulación – Módulo Móvil GPON.....	143
4.2.4. Comparación entre Simulaciones y Mediciones Experimentales .....	147
4.3. Evidencia Visual de Contaminación y Malas Prácticas de Limpieza.....	148
4.3.1. Conectores en Estado Pre-Limpieza .....	148
4.3.2. Conectores en Estado Post-Limpieza.....	150
4.3.3. Evaluación de Prácticas de Limpieza Incorrectas.....	153
4.4. Análisis y Resultados de las Encuestas al Personal Técnico .....	155

4.4.1. Análisis Sociodemográfico .....	155
4.4.2. Análisis de Conocimiento y Percepción sobre Contaminación .....	158
4.4.3. Análisis de Recursos y Herramientas Disponibles .....	162
4.4.4. Análisis de Prácticas de Limpieza e Inspección .....	163
4.4.5. Análisis de Conocimiento de Normas Internacionales .....	168
4.4.6. Análisis de Diagnóstico ante Atenuaciones .....	171
4.4.7. Análisis de Contaminación Observada en Campo .....	173
4.4.8. Análisis Cruzado de Variable Clave .....	175
4.4.9. Segmentación Analítica por Variables Demográficas .....	178
4.4.10. Conclusiones del Análisis de Encuestas .....	180
CONCLUSIONES .....	182
RECOMENDACIONES .....	183
ANEXOS .....	185
Bibliografía .....	195

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> (a) Estructura de una FO. (b) Reflexión interna total en una FO. ....	27
<b>Figura 2</b> Índice de paso de modo único. ....	27
<b>Figura 3</b> Índice multimodo-escalón y Índice de refracción gradual multimodo.....	28
<b>Figura 4</b> Fibra Óptica Monomodo y Multimodo. [19].....	30
<b>Figura 5</b> Cable POF PMMA. [21] .....	31
<b>Figura 6</b> Fibra PCF. [24].....	32
<b>Figura 7</b> Efecto de la dispersión en los pulsos ópticos. ....	35
<b>Figura 8</b> Diagrama de bloques de un sistema de Comunicación Óptica. ....	44
<b>Figura 9</b> Estructura del conector SC. [38]. ....	46
<b>Figura 10</b> Estructura del conector LC.....	46
<b>Figura 11</b> Estructura del conector FC.....	47
<b>Figura 12</b> Estructura del conector ST. ....	48
<b>Figura 13</b> Estructura del conector MTP/MPO.....	49
<b>Figura 14</b> Férula de conector óptico .....	50
<b>Figura 15.</b> Principio de medición del OTDR.....	60
<b>Figura 16</b> Causa de la reflexión de la luz [55].....	70
<b>Figura 17.</b> Daños en la cara final debido al laser [56]. ....	71
<b>Figura 18.</b> Limpiadores "one-click".....	76
<b>Figura 19</b> Casetes de Limpieza.....	77
<b>Figura 20</b> Toallas sin pelusa e hisopos especiales .....	77
<b>Figura 21</b> Dosificador de Alcohol isopropílico .....	78
<b>Figura 22</b> Microscopio de Inspección de fibra de aumento de 400X .....	79
<b>Figura 23</b> One-Click MPO/MTP .....	80
<b>Figura 24</b> Zonas de Inspección según la Norma IEC 61300-3-35.....	82
<b>Figura 25</b> IEC 61300-3-3 Limpieza e inspección visual de conectores ópticos[48]. .....	85
<b>Figura 26</b> (1) Rack 5 (2) R5 Zoom, (3) ODF (4) OLT .....	87
<b>Figura 27</b> Módulo de red "RESIDENCIAL GPON" [62] .....	88
<b>Figura 28</b> Módulo de red "EMPRESARIAL MÓVIL GPON" [62].....	89
<b>Figura 29</b> Puertos ópticos en la OLT con contaminación visible .....	92

<b>Figura 30</b> Medidor de Potencia (OPM) .....	96
<b>Figura 31</b> OLT "HIOSO HA7104T" .....	97
<b>Figura 32.</b> Wipes Sin Pelusa .....	98
<b>Figura 33</b> One-click Cleaner.....	99
<b>Figura 34</b> Cassette de limpieza óptica .....	100
<b>Figura 35</b> Alcohol Isopropílico.....	101
<b>Figura 36</b> Hisopos Especiales de Limpieza Óptica .....	101
<b>Figura 37</b> Limpia Contacto.....	102
<b>Figura 38</b> Esquema de simulación del submódulo Residencial en OptiSystem. ....	106
<b>Figura 39</b> Esquema de simulación del submódulo Edificio 1x32 en OptiSystem.....	107
<b>Figura 40</b> Esquema de simulación del Módulo Móvil GPON en OptiSystem. ....	109
<b>Figura 41</b> Estado pre-limpieza con contaminación en zona de núcleo y revestimiento.	113
<b>Figura 42</b> Ejemplo de conector en estados pre-limpieza y post-limpieza. ....	115
<b>Figura 43</b> Medidas de potencia en la ONT en el Módulo Móvil Pre-Limpieza y Post-Limpieza .....	131
<b>Figura 44</b> Medidas de Potencia en Submódulo Residencial.....	133
<b>Figura 45</b> Estado Post-Limpieza del Submódulo Edificio GPON 1X32.....	135
<b>Figura 46</b> Atenuación teórica vs pre vs post-limpieza por Módulo.....	136
<b>Figura 47</b> Pérdida total del enlace vs escenario de contaminación – Residencial GPON .....	138
<b>Figura 48</b> Diagrama de ojo para cada escenario .....	140
<b>Figura 49</b> Pérdida total del enlace vs escenario de contaminación- Edificio GPON 1X32 .....	141
<b>Figura 50</b> Diagrama de Ojo y Medición de potencia en escenario A Edificio 1x32 GPON .....	142
<b>Figura 51</b> Diagrama de Ojo y Medición de potencia en Escenario D Edificio GPON 1X32 .....	143
<b>Figura 52</b> Pérdida total del Enlace vs Escenario de Contaminación – Módulo Móvil GPON.....	144
<b>Figura 53</b> Diagrama de Ojo del Módulo Empresarial Móvil.....	145
<b>Figura 54</b> Diagrama de Ojo en escenarios B y C.....	146

<b>Figura 55</b> Diagrama de Ojo del Escenario D.....	147
<b>Figura 56</b> Conector SC/APC con Contaminación por polvo Disperso en zona de Revestimiento (estado pre-limpieza). .....	149
<b>Figura 57</b> Conector SC/APC con huellas de grasa y partículas sobre la zona de núcleo (estado pre-limpieza). .....	149
<b>Figura 58</b> Conector SC/APC tras limpieza seca con cassette; reducción de partículas visibles en núcleo y revestimiento. ....	151
<b>Figura 59</b> Conector SC/APC tras limpieza húmeda con alcohol isopropílico.....	152
<b>Figura 60</b> Conector tras soplado manual. ....	153
<b>Figura 61</b> Conector tras Limpieza con Camiseta.....	154
<b>Figura 62</b> Conector tras uso de limpiador de contacto electrónico.....	154
<i>Figura 63</i> Distribución de encuestados por rango de edad.....	156
<i>Figura 64</i> Composición de la muestra por nivel educativo .....	158
<i>Figura 65</i> Conocimiento sobre el efecto de la contaminación.....	159
<b>Figura 66</b> Percepción sobre el impacto de contaminación en redes GPON .....	161
<b>Figura 67</b> Disponibilidad de herramientas de diagnóstico.....	162
<b>Figura 68</b> Frecuencia de Limpieza de conectores.....	164
<b>Figura 69</b> Métodos de limpieza utilizados .....	165
<b>Figura 70</b> Frecuencia de inspección visual con microscopio digital .....	167
<b>Figura 71</b> Conocimiento de la norma IEC 61300-3-35 .....	169
<b>Figura 72</b> Comparativa sobre el conocimiento en normas IEC vs ITU.....	170
<b>Figura 73</b> Procedimientos ante atenuaciones.....	172
<b>Figura 74</b> Tipos de contaminación reportados por técnicos .....	174
<b>Figura 75</b> Correlación entre el conocimiento sobre la contaminación y las prácticas de limpieza.....	176
<b>Figura 76</b> Comparación entre Técnicos que conocen y que no conocen la norma IEC 61300-3-35 .....	177
<b>Figura 77</b> Comparativa Grupo de Edad y Frecuencia de Limpieza.....	179
<b>Figura 78</b> Comparativa Conocimiento de normas internacionales por nivel educativo	180

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Comparativa de Fibra de Vidrio vs Fibra de Plástico .....	31
<b>Tabla 2.</b> Comparativa de Materiales de Férula en Conectores de Fibra Óptica.....	50
<b>Tabla 3</b> Tolerancias Mecánicas Típicas en Férulas Ópticas [42].....	51
<b>Tabla 4</b> Mecanismos de Pérdida y Medidas de Mitigación .....	56
<b>Tabla 5</b> Tecnología GPON y sus Velocidades de Transmisión [46] .....	57
<b>Tabla 6</b> Comparativa entre el Método de Medición por Inserción (IL) y por Reflexión (OTDR).....	63
<b>Tabla 7</b> Instrumentos empleados en la Inspección Preliminar.....	90
<b>Tabla 8</b> Puertos Ópticos de la OLT hacia los Módulos Didácticos .....	91
<b>Tabla 9</b> Potencia de Salida en Puertos Ópticos de la OLT .....	92
<b>Tabla 10</b> Potencia RX en Puntos Estratégicos - Estado Pre-Limpieza .....	93
<b>Tabla 11</b> Materiales Utilizados y su Grado de Limpieza Óptica .....	102
<b>Tabla 12</b> Parámetros de Simulación del Submódulo Residencial GPON.....	105
<b>Tabla 13</b> Escenarios de Pérdidas por Conector en el Submódulo Residencial.....	105
<b>Tabla 14</b> Parámetros de Simulación del Submódulo Edificio 1x32 .....	106
<b>Tabla 15</b> Parámetros de Simulación del Módulo Móvil GPON .....	108
<b>Tabla 16</b> Presupuesto Óptico Teórico - Módulo Empresarial Móvil GPON.....	110
<b>Tabla 17</b> Presupuesto Óptico Teórico - Módulo Empresarial Móvil GPON.....	111
<b>Tabla 18</b> Presupuesto Óptico Teórico - Módulo Empresarial Móvil GPON.....	111
<b>Tabla 19</b> Estructura para Comparación Preliminar Teórica vs Medida (Estado Pre-Limpieza) .....	112
<b>Tabla 20</b> Estructura para Comparación Pre/Post Limpieza por Módulo Didáctico.....	114
<b>Tabla 21</b> Distribución de la Muestra por Rango de Edad .....	118
<b>Tabla 22</b> Distribución de la Muestra por Nivel de Formación Académica .....	119
<b>Tabla 23</b> Resultados de Potencia en el Módulo Móvil GPON - Estado Pre-Limpieza .	130
<b>Tabla 24</b> Resultados de Potencia en el Módulo Móvil GPON - Estado Post-Limpieza	131
<b>Tabla 25</b> Resultados de Potencia en el Submódulo Residencial - Estado Pre-Limpieza	132

<b>Tabla 26</b> Resultados de Potencia en el Submódulo Residencial - Estado Post-Limpieza .....	133
.....	
<b>Tabla 27</b> Estado Inicial Submódulo Edificio GPON 1X32 .....	134
<b>Tabla 28</b> Estado Final del Submódulo Edificio GPON 1X32 .....	134
<b>Tabla 29</b> Comparación Global de Atenuaciones Teóricas, Pre y Post-Limpieza .....	136
<b>Tabla 30</b> Resultados de Simulación – Residencial GPON (por escenario) .....	138
<b>Tabla 31</b> Resultados de Simulación - Edificio GPON 1X32 (Por escenario).....	140
<b>Tabla 32</b> Resultados de Simulación - Módulo Móvil GPON (Por escenario).....	143
<b>Tabla 33</b> Comparación entre Valores Simulados y Medidos (Post-Limpieza).....	148
<b>Tabla 34</b> Distribución de la Muestra por Rango de Edad .....	156
<b>Tabla 35</b> Distribución de la Muestra por Nivel de Formación Educativa .....	157
<b>Tabla 36</b> Respuestas sobre Conocimiento del Efecto de la Contaminación .....	159
<b>Tabla 37</b> Percepción del Impacto de la Contaminación en Enlaces GPON.....	160
<b>Tabla 38</b> Disponibilidad de Herramientas e Implementos de Diagnóstico.....	162
<b>Tabla 39</b> Frecuencia de Limpieza de Conectores Ópticos .....	163
<b>Tabla 40</b> Métodos de Limpieza Utilizados (Respuesta Múltiple - Menciones Totales) 165	
<b>Tabla 41</b> Frecuencia de Inspección Visual con Microscopio Digital .....	167
<b>Tabla 42</b> Conocimiento de la Norma IEC 61300-3-35 para Inspección Visual .....	168
<b>Tabla 43</b> Conocimiento de la Norma ITU-T L.25 para Mantenimiento de Fibra Óptica .....	170
.....	
<b>Tabla 44</b> Procedimientos Iniciales ante Atenuaciones (Respuesta Múltiple) .....	171
<b>Tabla 45</b> Tipos de Contaminación Reportados por Técnicos (Respuesta Múltiple).....	173
<b>Tabla 46</b> Correlación: Conocimiento – Práctica de Limpieza .....	175
<b>Tabla 47</b> Correlación entre conocimiento de normas y práctica de inspección visual ..	177
<b>Tabla 48</b> Prácticas de Limpieza según Grupo de Edad.....	178

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1:</b> Atenuación Total.....	33
<b>Ecuación 2:</b> Atenuación Extrínseca .....	34
<b>Ecuación 3:</b> Dispersión .....	35
<b>Ecuación 4:</b> Relación Señal-Ruido. ....	37
<b>Ecuación 5:</b> Relación Señal-Ruido para Amplificadores.....	38
<b>Ecuación 6:</b> Aproximación teórica del BER en función del OSNR .....	39
<b>Ecuación 7:</b> Tasa de Error de Bits.....	39
<b>Ecuación 8:</b> Teorema de Shannon-Hartley .....	40
<b>Ecuación 9:</b> Perdida de Inserción.....	62

# RESUMEN

El proyecto de titulación "Evaluación de la atenuación en conectores de fibra óptica en entorno Empresarial y Residencial utilizando lentes de alta resolución" tiene como objetivo analizar la calidad de los conectores en redes de fibra óptica. Desarrollado en el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, el proyecto se enfocará en identificar problemas de atenuación que afectan la transmisión de datos, causados principalmente por factores como la suciedad y el mal manejo de los conectores.

La metodología inicia con un diagnóstico basado en encuestas a 100 técnicos del área, lo que permitió identificar las deficiencias actuales en el mantenimiento de redes. Posteriormente, incluye la medición de atenuación antes y después de procesos de limpieza, empleando herramientas avanzadas como microscopios digitales. Además, se realizarán simulaciones en software especializado para complementar las pruebas prácticas y evaluar el rendimiento de las redes GPON en condiciones controladas. La combinación de estos métodos permitirá obtener un análisis exhaustivo y fiable sobre cómo mejorar la eficiencia de las telecomunicaciones

La investigación se justifica por la necesidad de contar con un laboratorio equipado que permita a los estudiantes aprender a inspeccionar y mantener adecuadamente los conectores de fibra óptica. Esto no solo contribuirá a su formación práctica, sino que también ayudará a reducir la atenuación en las conexiones de fibra óptica, mejorando su calidad y duración en aplicaciones Empresariales y Residenciales.

Los resultados esperados incluyen una disminución significativa de la atenuación en los conectores, lo cual mejorará la calidad de señal en las redes de fibra óptica. La implementación de estándares internacionales y la capacitación práctica de los estudiantes asegurarán que los futuros profesionales puedan enfrentar los desafíos del sector de telecomunicaciones en Ecuador, impulsando el desarrollo de una infraestructura más eficiente y sostenible.

Palabras Claves: Conectores, Fibra Óptica, Microscopio, GPON, Software, Atenuación, Estándares.

# ABSTRACT

The degree project “Evaluation of Attenuation in Fiber Optic Connectors in Business and Residential Environments Using High-Resolution Lenses” aims to analyze the quality of connectors in fiber-optic networks. Developed in the telecommunications laboratory of the Peninsula of Santa Elena State University, the project focuses on identifying attenuation issues that affect data transmission, primarily caused by factors such as dirt and improper handling of connectors.

The methodology begins with a diagnostic phase based on surveys conducted with 100 technicians in the field, which made it possible to identify current shortcomings in network maintenance. Subsequently, it includes attenuation measurements taken before and after cleaning procedures, using advanced tools such as digital microscopes. In addition, simulations will be carried out using specialized software to complement practical tests and evaluate the performance of GPON networks under controlled conditions. The combination of these methods will provide a comprehensive and reliable analysis of how to improve telecommunications efficiency.

The research is justified by the need for a well-equipped laboratory that enables students to learn how to properly inspect and maintain fiber-optic connectors. This will not only contribute to their hands-on training but will also help reduce attenuation in fiber-optic connections, improving their quality and longevity in both business and residential applications.

The expected results include a significant reduction in connector attenuation, which will enhance signal quality in fiber-optic networks. The implementation of international standards and the practical training of students will ensure that future professionals are prepared to face the challenges of the telecommunications sector in Ecuador, supporting the development of a more efficient and sustainable infrastructure.

Keywords: Connectors, fiber optic, microscope, GPON, software, attenuation, standards.

# INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de las telecomunicaciones y la demanda de servicios de alta velocidad han consolidado a la fibra óptica como el principal medio de transmisión para redes modernas, debido a su elevada capacidad de ancho de banda, baja atenuación y resistencia a interferencias electromagnéticas. Sin embargo, a pesar de su eficiencia intrínseca, el rendimiento de los enlaces ópticos depende en gran medida del estado físico de sus componentes pasivos, especialmente de los conectores, los cuales constituyen puntos críticos donde pueden generarse pérdidas significativas que afectan la calidad del servicio. Entre los factores más influyentes se encuentran la contaminación, el desgaste, la desalineación y las malas prácticas de manipulación, responsables de incrementar la atenuación y comprometer la continuidad del enlace óptico.

En el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), los Módulos Didácticos Empresarial y Residencial basados en tecnología GPON representan un entorno académico esencial para la formación práctica de los estudiantes. No obstante, estos Módulos presentan limitaciones relacionadas con el deterioro, suciedad y manipulación inapropiada de los conectores, lo que impide su óptimo funcionamiento y dificulta la realización de prácticas avanzadas de medición e inspección.

Ante este contexto, la presente investigación, titulada “Evaluación de la atenuación en conectores de fibra óptica en entorno Empresarial y Residencial utilizando lentes de alta resolución aplicando estándares internacionales”, propone analizar de manera precisa la atenuación generada en los conectores presentes en los Módulos Didácticos, mediante la utilización de herramientas ópticas de alta precisión y siguiendo normativas internacionales como IEC 61300-3-35, ISO/IEC 14763-3 y TIA-568.3-D. El estudio considera una evaluación inicial del estado físico de los conectores, mediciones de potencia óptica antes y después de procedimientos de limpieza, y simulaciones complementarias mediante software especializado, con el fin de obtener un diagnóstico confiable y comparativo entre ambos entornos de red.

Asimismo, los resultados obtenidos servirán como base para la implementación de protocolos formativos dentro del laboratorio, fortaleciendo las competencias de los futuros ingenieros en telecomunicaciones para enfrentar retos reales en la instalación, diagnóstico y optimización de redes ópticas.

# CAPÍTULO I

## MARCO REFERENCIAL

### 1. FUNDAMENTACIÓN

#### 1.1. Antecedentes

El desarrollo de conectores de fibra óptica ha avanzado de manera significativa en los últimos años, impulsado por la creciente demanda de redes de alta velocidad y la necesidad de mejorar la eficiencia en las telecomunicaciones. Los conectores ópticos son componentes críticos en las redes de fibra, ya que permiten la interconexión entre diferentes segmentos de fibra. La atenuación de la señal en estos conectores puede ser un desafío, ya que puede afectar la calidad de la transmisión de datos. La investigación sobre conectores de fibra óptica ha demostrado que la calidad, el diseño y el mantenimiento son esenciales para el rendimiento óptimo de las redes de telecomunicaciones.

Desde la introducción de la fibra óptica en las telecomunicaciones, los conectores han evolucionado para satisfacer las crecientes demandas de rendimiento y fiabilidad. Inicialmente, los conectores eran rudimentarios y se centraban en la funcionalidad básica de interconexión. Sin embargo, con el tiempo, la necesidad de minimizar la atenuación y mejorar la calidad de la señal llevó a innovaciones en el diseño y los materiales de los conectores. Zhang y Wang realizaron una revisión exhaustiva en 2020 sobre las tecnologías de conectores de fibra óptica, destacando mejoras en el diseño y en los materiales que han permitido un rendimiento superior. Este estudio resaltó cómo la evolución de los conectores ha mejorado la estabilidad y durabilidad en entornos de alta demanda [1].

Li y Chen investigaron el uso de microscopios digitales para la medición de la pérdida en los conectores de fibra óptica, ofreciendo una nueva técnica que mejora la precisión en la evaluación de la calidad de los conectores. Su estudio fue un avance importante en la inspección y mantenimiento de estos dispositivos, mostrando cómo las tecnologías digitales pueden aumentar la fiabilidad y eficiencia en la detección de defectos [2]. La limpieza adecuada es crítica para evitar la acumulación de polvo y partículas que pueden generar pérdidas de señal significativas.

Kumar y Singh exploraron el impacto de la limpieza en el rendimiento de los conectores de fibra óptica, detallando los métodos más efectivos para la limpieza y su efecto directo sobre el rendimiento del sistema de telecomunicaciones. Este subrayó la necesidad de procedimientos rigurosos en entornos industriales [3].

El estudio de Martínez y López en 2023 presentó una revisión de los estándares internacionales para la inspección de conectores de fibra óptica, destacando la importancia de seguir las normativas para asegurar la consistencia en el rendimiento. Su análisis mostró cómo las metodologías de inspección permiten detectar problemas que podrían comprometer la transmisión de datos, asegurando así la calidad de la conexión [4].

Singh y Gupta evaluaron el efecto del pulido de los conectores sobre el rendimiento de la fibra óptica. El pulido preciso es fundamental para asegurar la correcta alineación de los núcleos de las fibras y minimizar las pérdidas ópticas. Este estudio subrayó la importancia de los procesos de manufactura controlados, que permiten alcanzar altos niveles de precisión en el ensamblaje de los conectores. La calidad del pulido se ha convertido en un factor determinante para el rendimiento general de las redes de fibra óptica [6].

La microscopía digital también ha sido objeto de estudio reciente, Wang y Liu en 2023 exploraron las aplicaciones de la microscopía digital para la inspección de conectores, destacando las ventajas de las técnicas digitales frente a los métodos tradicionales. La inspección digital no solo permite una mayor precisión, sino que también reduce el tiempo necesario para evaluar el estado de los conectores, lo que es esencial en redes de telecomunicaciones de alta velocidad donde cualquier interrupción puede ser costosa [7].

Singh y Sharma realizaron una evaluación exhaustiva de las técnicas de limpieza de los conectores utilizando microscopía digital. En su estudio de 2022, demostraron cómo la implementación de nuevas tecnologías para la inspección y limpieza puede reducir las fallas en los sistemas de telecomunicaciones, aumentando así la vida útil de los conectores y mejorando el rendimiento general de las redes. La limpieza regular y adecuada de los conectores es esencial para mantener la calidad de la señal y minimizar la atenuación [9].

Finalmente, el estudio de Hernández y López en 2023 abordó la importancia de la calidad de los conectores en el rendimiento de los sistemas de fibra óptica. En este análisis, se evaluó cómo

los defectos en la manufactura o la falta de mantenimiento adecuado pueden generar problemas significativos en la transmisión de datos. Los resultados sugieren que la calidad de los conectores es un factor crucial para garantizar la eficiencia de las redes de fibra óptica, especialmente en aplicaciones de alta velocidad [10].

En conclusión, la investigación sobre conectores de fibra óptica ha demostrado que la calidad, el diseño y el mantenimiento son esenciales para el rendimiento óptimo de las redes de telecomunicaciones. La implementación de tecnologías avanzadas y el seguimiento de estándares internacionales son estrategias clave para minimizar la atenuación y mejorar la eficiencia en la transmisión de datos. La formación de profesionales competentes en este campo es fundamental para el desarrollo tecnológico del país, asegurando que las futuras generaciones estén preparadas para enfrentar los desafíos en el ámbito de las telecomunicaciones [8].

## **1.2. Descripción del Proyecto**

El proyecto titulado " Evaluación de la atenuación en conectores de F.O. en entorno Empresarial y Residencial utilizando lentes de alta resolución aplicando estándares internacionales" tiene como objetivo analizar las atenuaciones en los conectores de fibra óptica con herramienta de alta precisión, como un microscopio digital con lentes de alta resolución. Este enfoque se sustenta en una fase de diagnóstico preliminar, realizada mediante encuestas al personal técnico operativo en el área de telecomunicaciones. Dicho diagnóstico ha permitido validar la recurrencia de fallos en campo asociados a la falta de estandarización en las prácticas de limpieza y mantenimiento de conectores.

Este estudio se llevará a cabo en los Módulos de red óptica del laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) y se regirá por normativas internacionales como las de la IEC, ITU y la TIA. La atenuación en los conectores de fibra óptica es un desafío frecuente que afecta la calidad de las telecomunicaciones, causado por factores como la suciedad y el manejo inadecuado, lo que puede disminuir significativamente la eficiencia de las redes de fibra óptica en contextos tanto Empresariales como Residenciales.

El proyecto incluirá una evaluación del estado físico de las redes GPON en los Módulos Didácticos del laboratorio, para identificar deficiencias en los conectores. Se realizarán mediciones

precisas antes y después de los procedimientos de limpieza para determinar su impacto en la calidad de la señal. Investigaciones anteriores han demostrado que una limpieza adecuada puede mejorar considerablemente el rendimiento de los conectores, disminuyendo la atenuación y optimizando la transmisión de datos.

Además de las mediciones teóricas y prácticas, se llevarán a cabo simulaciones con software especializado para estudiar el comportamiento de las redes de fibra óptica bajo diversas condiciones. Estas simulaciones, junto con los resultados obtenidos en el laboratorio, proporcionarán un análisis exhaustivo sobre cómo mejorar la eficiencia de las redes de telecomunicaciones en situaciones reales, tanto en entornos Residenciales como Empresariales. La combinación de mediciones prácticas y simulaciones asegurará la fiabilidad de los resultados.

Este proyecto no solo tiene como meta mejorar la infraestructura educativa del laboratorio de la UPSE, sino también preparar a los estudiantes para enfrentar los desafíos técnicos del mercado laboral, donde la demanda de ingenieros con conocimientos avanzados en fibra óptica está en crecimiento. La aplicación de estándares internacionales y el uso de tecnologías avanzadas garantizarán que los resultados de este estudio impacten positivamente en el desarrollo de las telecomunicaciones en Ecuador.

## **1.3. Objetivos del Proyecto**

### **1.3.1. Objetivo General:**

Analizar los niveles de atenuación en los conectores de fibra óptica en los Módulos Empresarial y Residencial en ambientes controlados utilizando herramientas de alta precisión bajo normativas y estándares internacionales.

### **1.3.2. Objetivos Específicos:**

- Analizar el estado del arte sobre las técnicas de inspección y medición de atenuación en conectores de fibra óptica en Módulos Didácticos, conforme a los estándares internacionales.

- Evaluar el estado físico actual de la red GPON en el Módulo Didáctico Empresarial móvil mediante el uso de herramientas de alta precisión para identificar posibles deterioros en los conectores de fibra óptica.
- Determinar la potencia de señal de la red GPON en el Módulo Empresarial móvil utilizando mediciones y simulaciones en software para garantizar la precisión de los resultados.
- Medir la atenuación en los conectores de fibra óptica antes y después de los procedimientos de limpieza, empleando tecnología óptica digital, para evaluar su impacto en la calidad de la señal del Módulo Empresarial móvil.
- Evaluar el estado físico actual de la red GPON en el Módulo Didáctico Residencial para identificar posibles deficiencias en los conectores de fibra óptica.
- Determinar la potencia de la red GPON en el Módulo Residencial mediante simulaciones en software y mediciones directas, a fin de garantizar el rendimiento óptimo del sistema.
- Medir la atenuación en los conectores del Módulo Residencial antes y después de los procedimientos de limpieza, empleando tecnología óptica digital, para evaluar su impacto en la calidad de la señal.
- Comparar los resultados obtenidos en las simulaciones de software con los datos de las pruebas realizadas en los Módulos Didácticos Empresarial y Residencial.

## **1.4. Justificación**

Este estudio, titulado "Evaluación de la atenuación en conectores de F.O. en entorno Empresarial y Residencial utilizando lentes de alta resolución aplicando estándares internacionales", se justifica debido a la necesidad crítica de mejorar la calidad de las conexiones

de fibra óptica en el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). La fibra óptica es uno de los pilares fundamentales para el desarrollo de las telecomunicaciones a nivel nacional y global. A pesar del crecimiento en la adopción de esta tecnología en Ecuador, persisten problemas de mantenimiento y eficiencia, en entornos educativos, Residenciales e industriales.

El laboratorio, donde se desarrollará esta investigación, carece de los equipos avanzados necesarios para evaluar con precisión la calidad de los conectores de fibra óptica. Esta falta de herramientas limita la formación de los estudiantes, quienes no pueden adquirir habilidades prácticas en el análisis de la atenuación producida por el mal manejo de los conectores ópticos. El uso de microscopios digitales con lentes de alta resolución, como los propuestos en este proyecto, permitirá reducir la atenuación de la señal y mejorar la eficiencia de las conexiones, contribuyendo a una formación más completa y competitiva para los futuros ingenieros en telecomunicaciones.

Además, este estudio tiene el potencial de impactar positivamente el sector de telecomunicaciones del país, dado que los estudiantes formados bajo estas condiciones estarán mejor preparados para enfrentar los desafíos técnicos en la instalación y mantenimiento de redes de fibra óptica.

Esta investigación contribuirá también al desarrollo tecnológico local, alineándose con los estándares internacionales de telecomunicaciones establecidos por organizaciones como IEC 61300-3-35, ISO/IEC 14763-3 y TIA-568.3-D.

## **1.5. Alcance del Proyecto**

Este proyecto de titulación tiene como objetivo principal analizar los niveles de atenuación en los conectores de fibra óptica en entornos Empresariales y Residenciales, utilizando lentes de alta resolución y aplicando estándares internacionales. La iniciativa se llevará a cabo en un ambiente controlado, específicamente en el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), donde se evaluarán las conexiones de fibra óptica para identificar y mitigar problemas de atenuación.

La implementación del proyecto incluirá la evaluación exhaustiva del estado físico de la red GPON en los Módulos Didácticos, utilizando herramientas avanzadas para medir la atenuación y la potencia de señal. Se llevarán a cabo mediciones antes y después de los procedimientos de limpieza en los conectores de fibra óptica, lo que permitirá evaluar el impacto de dichas acciones en la calidad de la señal. Adicionalmente, se realizarán cálculos teóricos de potencia y mediciones utilizando un Power meter antes y después de la limpieza, con el fin de obtener una evaluación precisa del rendimiento de la fibra óptica tras los procesos de mantenimiento.

Asimismo, se desarrollarán simulaciones utilizando software especializado en comunicaciones ópticas que permitirá estudiar el comportamiento de las redes bajo diversas condiciones. Estas simulaciones complementarán las mediciones prácticas, proporcionando un análisis integral sobre cómo mejorar la eficiencia y reducir la atenuación en las conexiones de fibra óptica.

Una parte esencial del proyecto será la capacitación práctica para estudiantes y profesionales en el uso de microscopios digitales con lentes de alta resolución. Estas prácticas ofrecerán una experiencia directa sobre las técnicas de limpieza y mantenimiento, así como sobre el análisis técnico necesario para asegurar el rendimiento óptimo de los conectores. El objetivo no solo es implementar un sistema efectivo para evaluar la calidad de las conexiones, sino también fomentar el aprendizaje y la adopción de tecnologías avanzadas en el campo de las telecomunicaciones.

Finalmente, se espera que este proyecto genere resultados significativos que contribuyan a mejorar la infraestructura educativa del laboratorio, al tiempo que prepara a los estudiantes para enfrentar los desafíos técnicos del mercado laboral. La formación adquirida permitirá a los futuros ingenieros en telecomunicaciones abordar problemas complejos relacionados con la atenuación y el mantenimiento de redes ópticas, alineándose con las demandas actuales del sector.

Este proyecto busca proporcionar una solución integral que mejore la calidad y eficiencia en las conexiones de fibra óptica, al mismo tiempo que impulsa el desarrollo tecnológico local y contribuye a la modernización del sector telecomunicaciones en Ecuador.

## **1.6. Metodología**

La propuesta del proyecto inicia como un estudio descriptivo, sin embargo, tras una serie de indagaciones se prevé utilizar métodos y técnicas para evaluar el estado de los conectores a través de pruebas con equipo de alta resolución de medición óptica dentro de dos Módulos Didácticos de red Empresarial y Residencial, de tal manera que los estudios planteados serían los siguientes:

### **Investigación Descriptiva**

En el presente proyecto se describe cómo la atenuación en los conectores de fibra óptica puede afectar la calidad de las telecomunicaciones en entornos Empresariales y Residenciales. Se explorará el estado actual de los Módulos de red óptica en el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), identificando las oportunidades para mejorar la eficiencia mediante el uso de herramientas avanzadas como microscopios digitales y medidores ópticos.

### **Investigación Documental**

Se realizará una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre técnicas de inspección y medición de atenuación en conectores de fibra óptica. Esta investigación documental incluirá estudios previos que han utilizado herramientas similares y que han demostrado la eficacia de las normativas internacionales, como IEC 61300-3-35, ISO/IEC 14763-3 y TIA-568.3-D, en la evaluación del rendimiento de los conectores. Los resultados obtenidos en esta fase servirán como base para establecer un marco teórico sólido que guíe la investigación.

### **Encuesta Como Técnica Complementaria**

Además de los métodos descritos se aplicó una encuesta dirigida al personal técnico del área de telecomunicaciones y a técnicos vinculados a prácticas de instalación y mantenimiento de fibra óptica. Este instrumento tuvo como finalidad conocer el nivel de experiencia, las prácticas habituales de inspección y limpieza de conectores, así como el grado de conocimiento y aplicación de normas internacionales como IEC 61300-3-35, ISO/IEC 14763-3 y TIA-568.3-D.

La encuesta permitió identificar factores humanos y operativos que podrían influir en el estado físico de los conectores analizados, tales como: frecuencia de inspección visual previa al empalme, métodos de limpieza utilizados, disponibilidad de herramientas de mantenimiento y capacitación recibida. Esta información es fundamental para correlacionar las prácticas reportadas por los técnicos con los resultados experimentales de atenuación obtenidos en mediciones posteriores.

### **Investigación Aplicada**

El trabajo propuesto se dividirá en cuatro fases:

- **Fase 1: Análisis del Estado Actual de los Módulos**  
En esta fase, se llevará a cabo una observación detallada, un power meter optical y un microscopio digital para fibra óptica. Esto permitirá identificar posibles deterioros y evaluar el estado físico actual de los conectores.
- **Fase 2: Cálculos Teóricos y Simulados**  
Con los datos recolectados en la Fase 1, se calculará la atenuación teórica de los conectores. Además, se utilizará el software OptiSystem para simular los Módulos, lo que proporcionará una visión clara del comportamiento esperado bajo condiciones controladas.
- **Fase 3: Corrección de la red de fibra óptica**  
Esta fase implicará la limpieza de los conectores siguiendo las normas establecidas (IEC 61300-3-35, TIA-568.3-D, ISO/IEC 14763-3). Se documentarán los procedimientos utilizados y se evaluará su efectividad en la reducción de la atenuación.
- **Fase 4: Análisis e Interpretación de Resultados**  
En la fase final del proyecto, se realizará un análisis comparativo de los datos obtenidos antes y después de las intervenciones, evaluando el impacto de las acciones correctivas sobre la calidad de la señal en los Módulos Empresariales y Residenciales. Estos resultados serán analizados estadísticamente para identificar

tendencias significativas y correlaciones entre las medidas tomadas. El análisis permitirá validar la efectividad de los procedimientos implementados, así como ofrecer recomendaciones útiles para futuras investigaciones y mejoras en el campo de las telecomunicaciones. Esta metodología integral no solo se centrará en la identificación del problema, sino también en la aplicación de soluciones prácticas, contribuyendo al desarrollo tecnológico local y brindando a los estudiantes una preparación sólida para enfrentar desafíos reales en el sector.

## **1.7. Resultados Esperados**

- La estandarización disminuirá la atenuación en los conectores de fibra óptica, mejorando la calidad y estabilidad de la señal en aplicaciones tanto Empresariales como Residenciales.
- Las simulaciones de software coincidirán con las mediciones físicas, validando los modelos de limpieza y mantenimiento de conectores y garantizando un alto grado de fiabilidad en los resultados.
- Los procedimientos mejorarán el rendimiento de las redes en Módulos Didácticos, permitiendo su uso efectivo como herramientas de enseñanza para entornos académicos.
- La implementación de estos procedimientos contribuirá a un mejor rendimiento de las redes GPON (Gigabit Passive Optical Networks), aumentando la eficiencia y velocidad de transmisión.
- La aplicación de estándares y limpieza precisa extenderá la durabilidad de los conectores de fibra óptica, reduciendo la necesidad de reemplazos frecuentes y los costos de mantenimiento.
- Los estudiantes adquirirán competencias avanzadas en el manejo y mantenimiento de redes de fibra óptica, dándoles una ventaja para enfrentar los desafíos de la industria de telecomunicaciones.

## **1.8. Marco contextual**

Asegurar el acceso a internet requiere contar con una infraestructura física óptima que sea capaz de satisfacer la creciente demanda de tráfico de datos y fomentar el desarrollo de las telecomunicaciones mediante la adopción de tecnologías innovadoras. Estas deben garantizar un servicio con bajas tasas de ruido, latencia e interferencias, además de ofrecer costos accesibles de implementación y adaptabilidad para expansión en entornos subterráneos, aéreos y marítimos, como es el caso de las redes de fibra óptica.

La presente propuesta se centra en la inspección y medición de los conectores de fibra óptica en Módulos Empresariales y Residenciales ubicados en las instalaciones del laboratorio de telecomunicaciones de la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones (FACSISTEL) de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. Este análisis se realizará mediante el uso de equipos especializados de medición óptica, con el objetivo de evaluar las condiciones actuales de los conectores, identificar posibles deficiencias y proponer correcciones basadas en estándares internacionales.

El desarrollo de este proyecto tiene como finalidad principal beneficiar a los estudiantes de la carrera de Telecomunicaciones, quienes mejorarán sus conocimientos y adquirirán habilidades prácticas en el manejo de herramientas de inspección óptica. Esto les permitirá realizar análisis precisos de conectores y enlaces de fibra óptica, fortaleciendo su capacidad para diseñar, implementar y mantener redes ópticas de alta calidad.

El trabajo se fundamenta en normativas internacionales como IEC 61300-3-35, ISO/IEC 14763-3 y TIA-568.3-D, garantizando que las prácticas realizadas se alineen con los estándares de calidad requeridos en la industria de las telecomunicaciones. Estos lineamientos permiten simular escenarios reales en los que los estudiantes podrán aplicar sus conocimientos, potenciando así su preparación para enfrentar los retos del diseño y mantenimiento de redes ópticas en el campo laboral.

# CAPÍTULO II

## 2. MARCO REFERENCIAL

En esta sección se presentan las investigaciones desarrolladas, describiendo el marco de la propuesta enfocada en la evaluación de la atenuación en conectores de fibra óptica, el análisis del estado actual de los Módulos Didácticos de red y la implementación de procedimientos correctivos en el laboratorio de telecomunicaciones.

### 2.1. Marco Teórico

#### 2.1.1. Sistema de comunicaciones

El desarrollo de los sistemas de comunicación a finales del siglo XIX con la aparición del telégrafo evolucionó posteriormente hacia sistemas digitales. Con el avance de tecnologías como la telefonía, la radio y la televisión en el siglo XX, los sistemas analógicos dominaron durante décadas. No obstante, los avances en dispositivos con mayor capacidad de almacenamiento, procesamiento de señales más eficiente y menor consumo energético permitieron la transición hacia sistemas digitales, transformando las telecomunicaciones mediante la implementación de modulaciones avanzadas y nuevas tecnologías [1].

Un aspecto crucial en los sistemas de comunicación es el medio por el cual se transmite la información. Esto puede incluir cables convencionales, fibra óptica o incluso canales inalámbricos como ondas electromagnéticas. Cada medio tiene sus características únicas que afectan el diseño y la calidad de la señal, como la reducción de interferencias o el alcance. Por ejemplo, los enlaces satelitales enfrentan desafíos como recorrer largas distancias sin interrupción para transmitir datos desde y hacia la Tierra, mientras que las conexiones terrestres requieren soluciones para minimizar los efectos de ruidos externos.

El medio de transmisión no solo influye en la calidad de la señal, sino también en la clasificación de los sistemas de comunicación. Por ejemplo, las señales aéreas viajan mediante ondas electromagnéticas, mientras que las terrestres suelen depender de cables. Esto da lugar a

diversas aplicaciones, como televisión por satélite, por cable o terrestre. En todos los casos, el transmisor debe adaptar la señal para que sea adecuada al medio utilizado y evitar distorsiones o ruidos que afecten la información enviada [1].

### **2.1.2. Componentes de un sistema de comunicaciones**

Un sistema de comunicaciones está compuesto por una serie de elementos que trabajan de forma conjunta para transmitir información desde un punto emisor hasta un punto receptor. Cada componente cumple una función específica dentro del proceso de envío, transformación, transmisión, recepción y entrega de datos, asegurando que el mensaje llegue con la menor distorsión posible. A continuación, se describen los principales componentes:

- **Fuente De Información**

Una fuente de información es el origen de los datos que son transmitidos. Puede ser un archivo de audio, texto, video, entre otros. La naturaleza de la fuente determina cómo se procesa la información antes de la transmisión.

- **Medio De Transmisión**

El canal o medio de transmisión es el enlace físico o lógico por el cual viaja la señal. Puede ser de distintos tipos:

**Medios alámbricos:** Incluyen cables de par trenzado, coaxiales y fibra óptica. Los cables de fibra óptica, por ejemplo, son ideales para largas distancias y altas velocidades debido a su baja atenuación y resistencia a interferencias electromagnéticas.

**Medios inalámbricos:** Utilizan ondas electromagnéticas para transmitir señales en el aire, como Wi-Fi, Bluetooth, radiofrecuencias y satélites.

Cada medio tiene limitaciones y características específicas. Por ejemplo, los cables coaxiales son adecuados para cortas distancias y redes locales, mientras que los satélites permiten la comunicación global, pero enfrentan problemas de latencia debido a las largas distancias.

- **TRANSMISOR**

El transmisor es el encargado de transformar la fuente de información en una señal adecuada para su propagación a través del medio o canal de transmisión. Su proceso incluye varios subsistemas:

**Codificación:** Transforma la información en un formato que pueda ser transmitido, como codificación digital en sistemas modernos.

**Modulación:** Combina la señal original (señal portadora) con la información para adaptarla a las características del canal, aumentando su eficiencia y reduciendo interferencias.

**Amplificación:** Incrementa la potencia de la señal para cubrir largas distancias o superar pérdidas en el canal.

- **CANAL**

El canal de transmisión representa el medio eléctrico que conecta al transmisor con el receptor. Este puede consistir en un cable, una fibra óptica o el espacio radioeléctrico (onda electromagnética). Una propiedad fundamental de este canal es que la señal que se envía se deteriora a medida que avanza a través del medio. A mayor distancia entre el transmisor y el receptor, mayor es la atenuación de la señal.

- **RECEPTOR**

El receptor trabaja con la señal obtenida al final del canal de comunicaciones, teniendo dos funciones principales. Por un lado, debe minimizar los efectos causados por el canal en la medida de lo posible, y por otro, tiene que adaptar la señal que recibe al destinatario, realizando las operaciones inversas a las del transmisor. Sus principales funciones incluyen:

**Demodulación:** Revertir el proceso de modulación realizado por el transmisor.

**Decodificación:** Traducir la señal recibida al formato original para ser entendida por el usuario final.

**Corrección de errores:** Detectar y corregir errores generados durante la transmisión debido a ruidos o interferencias.

- **DESTINO DE LA INFORMACIÓN**

Es el punto final del sistema, donde se entrega la información recuperada al usuario o a un sistema de procesamiento. Puede ser una persona (como en una llamada telefónica) o un sistema automatizado (como en la transmisión de datos entre servidores).

### **2.1.3. Clasificación de los sistemas de comunicaciones**

La clasificación de los sistemas de comunicación se basa en los diferentes criterios que permiten agruparlos según sus características, funcionalidades y tecnologías empleadas. Estos sistemas están diseñados para facilitar la transmisión de información entre emisores y receptores a través de diversos medios y formatos, adaptándose a las necesidades del entorno, el alcance y los objetivos de la comunicación [2].

- **Medio de transmisión**

**Sistemas alámbricos**

Estos sistemas emplean medios físicos, como cables de cobre o fibra óptica, para transmitir la información. Son comunes en redes estructuradas, troncales y redes de acceso. La fibra óptica, en particular, es ideal para largas distancias y alta velocidad por su baja atenuación.

**Sistemas inalámbricos**

Utilizan ondas electromagnéticas como radiofrecuencia, microondas o infrarrojo para transmitir la información sin necesidad de cables. Esto permite mayor flexibilidad y movilidad, especialmente en entornos donde el cableado es poco práctico. Las redes Wi-Fi, Bluetooth y las comunicaciones satelitales son ejemplos de sistemas inalámbricos.

- **Dirección de flujo de datos**

**Simplex**

Es el sistema de comunicación más básico, en el cual la transmisión de datos se realiza en una sola dirección. Un equipo actúa exclusivamente como emisor y el otro únicamente como receptor, sin posibilidad de retroalimentación.

### **Half-duplex**

Permite que ambos extremos del sistema se comuniquen, pero no al mismo tiempo. En este modo, un dispositivo transmite mientras el otro espera, alternándose en la función de emisor y receptor.

### **Full-duplex**

Es el sistema más avanzado y común en redes modernas. Permite que ambos dispositivos transmitan y reciban información al mismo tiempo, sin necesidad de turnarse.

- **El Tipo de Señal**

#### **Sistemas analógicos**

La señal varía de forma continua, modulando variables como amplitud o frecuencia de una onda portadora. Cada variación representa una parte del mensaje original.

#### **Sistemas digitales**

Utilizan señales discretas (0 y 1) para representar datos. Son base de la informática moderna y redes ópticas.

- **La cobertura geográfica**

#### **PAN (Personal Area Network)**

Red de corto alcance, generalmente menor a 10 metros. Conecta dispositivos personales como smartphones, auriculares o smartwatches.

#### **LAN (Local Area Network)**

Red local limitada a un edificio o campus. Utiliza normalmente cableado estructurado (UTP) o fibra óptica.

#### **MAN (Metropolitan Area Network)**

Conecta varias LAN en una ciudad o campus amplio. Puede usar fibra óptica o radioenlaces.

### **WAN (Wide Area Network)**

Red de gran escala que puede conectar continentes. Utiliza múltiples tecnologías: satélite, fibra submarina, enlaces troncales.

- **Según La Tecnología Utilizada**

#### **Cableado estructurado**

Utiliza normas como TIA-568 para organizar el cableado de redes LAN de forma ordenada y escalable.

#### **Redes ópticas**

Incluyen tecnologías como GPON, XG-PON, DWDM, ideales para transportar grandes volúmenes de datos con mínima pérdida.

GPON: Red óptica pasiva que permite velocidades de hasta 2.5 Gbps downstream y 1.25 Gbps upstream.

DWDM: Multiplexación por división de longitud de onda, utilizada en redes troncales.

- **Redes móviles**

Basadas en tecnologías celulares (2G a 5G), permiten conectividad de voz y datos de forma inalámbrica. La evolución hacia 5G mejora la latencia, velocidad y densidad de conexión.

- **Redes satelitales**

Usadas en zonas remotas donde no hay acceso terrestre. Incluyen VSAT o nuevos servicios como Starlink, que ofrecen Internet vía constelaciones de satélites.

- **Redes híbridas**

Combinan tecnologías ópticas e inalámbricas. Ejemplo: redes FTTH con Wi-Fi interno. Aprovechan lo mejor de cada medio para ofrecer conectividad robusta.

## **2.1.4. Estándares en los sistemas de comunicaciones**

La importancia de los estándares en las comunicaciones radica en que estos proporcionan un marco común que permite la interoperabilidad y el desarrollo eficiente de tecnologías a nivel global. Estos establecen lineamientos técnicos que permiten a diferentes fabricantes, operadores y usuarios trabajar bajo un marco común, reduciendo errores, optimizando recursos y asegurando la compatibilidad de equipos y redes a nivel global [3].

Entre los estándares más relevantes para las redes ópticas y el cableado estructurado, se destacan:

### **Estándares de las fibras ópticas**

Las normas y estándares aplicados en la fibra óptica (ITU-T, IEC, TIA/ANSI, etc.) definen parámetros geométricos, ópticos y de prueba, como el diámetro del núcleo, el modo efectivo, la atenuación, la dispersión cromática y los métodos de medición. El objetivo es garantizar la interoperabilidad, el rendimiento reproducible y la compatibilidad entre fabricantes y redes. Estas normas sirven tanto para especificar el material como para establecer procedimientos de prueba para la aceptación de cables y conexiones en proyectos de transporte, acceso y centros de datos [4].

### **ITU-T G.652**

La norma G.652 define las características de las fibras monomodo estándar "SSMF", incluyendo parámetros como el diámetro modal efectivo, el índice de refracción, la atenuación típica a 1310/1550 nm y el punto de dispersión cero a aproximadamente 1310 nm. La norma G.652 se desarrolló para redes de transporte y acceso que prevén operar a 1310 y 1550 nm; es la fibra más utilizada en redes troncales y enlaces metropolitanos. La norma también define subcategorías (A, B, C, D) que difieren en propiedades como el contenido máximo de agua, los requisitos de dispersión cromática y los límites de PMD [5].

- **G.652.A**

Corresponde a la especificación original de la fibra monomodo estándar, diseñada y optimizada para operar en la región de 1310 nm con longitud de dispersión

cercana a cero. Esta variante no corrige el water-peak (pico de agua) en torno a ~1380–1410 nm (región E), por lo que su pérdida en esa banda puede ser elevada y limita la explotación de la ventana completa espectral para aplicaciones CWDM o uso extendido entre 1 260 y 1 625 nm. Por ello, G.652.A se considera una opción heredada adecuada para instalaciones antiguas o cuando sólo se usen 1310/1550 nm sin aprovechar la banda afectada por el water-peak [5].

- **G.652.B**

La norma introduce requisitos más estrictos en ciertos parámetros como tolerancias geométricas y controles de rendimiento, a comparación de la variante A, manteniendo sin embargo la presencia del water-peak. La B se desarrolló para mejorar la uniformidad y la interoperabilidad en enlaces comerciales, pero no incorpora la corrección de pico de agua que permiten posteriormente las subclases C y D. En la industria, G.652.B se usa cuando se requieren especificaciones de fabricación y control algo más exigentes que las originales de la variante A, pero sin necesidad de operación extendida en la región afectada por el water-peak [5].

- **G.652.C**

La subcategoría G.652.C introduce el concepto de reducción del pico de agua (low-water-peak), de modo que la atenuación en la región alrededor de 1383 nm queda significativamente reducida y la fibra puede operar eficazmente en una banda espectral más amplia (prácticamente ampliando la banda útil entre  $\approx$ 1260–1625 nm). Esta propiedad hace que G.652.C sea adecuada para sistemas que requieren uso de múltiples ventanas como la CWDM y para redes de acceso que quieran mayor flexibilidad en la longitud de onda. La propia recomendación ITU establece los requisitos de atenuación generalizados para las categorías con water-peak reducido [5].

- **G.652.D**

La evolución más difundida y la que hoy en día se encuentra mayormente en despliegues FTTH, redes Empresariales y metro. Al igual que la subcategoría C,

incorpora la característica low-water-peak además incluye requisitos más estrictos sobre parámetros de calidad como límites de PMD “Multiplexación por División de Polarización” y control de tolerancias que favorecen su uso generalizado. Los fabricantes de fibra comercial (por ejemplo, Corning con su familia SMF-28e/SMF-28e+ y otros) declaran cumplimiento con G.652.D y publican fichas técnicas con valores típicos de atenuación y PMD adecuados para aplicaciones de acceso, metro y transporte. Por estas razones G.652.D es la opción “por defecto” cuando se desea compatibilidad hacia delante (backward compatibility) con redes instaladas y la capacidad de operar en ventanas CWDM [6].

### **ITU-T G.657**

ITU-T G.657 define fibras monomodo “insensibles a curvatura” (bend-insensitive) pensadas sobre todo para redes de acceso “FTTx” y entornos con radios de curvatura muy pequeños. La recomendación separa dos categorías con subcategorías según el rendimiento frente a macro corrimiento por curvatura: A (A1, A2) y B (B2, B3). Las A están pensadas para toda la red de acceso y son compatibles con G.652.D; las B optimizan aún más la pérdida por curvatura para radios muy pequeños y tramos cortos por ejemplo en el interior de un edificio, siendo compatibles a nivel de sistema con G.652.D, aunque no necesariamente conformes a todos sus parámetros [7].

- **G.567. A1**

La sub-categoría A1 están diseñadas para un radio mínimo de diseño de 10 mm. En la prueba de flexión de mandril (según la norma IEC 60793-1-47), la pérdida máxima por macrodesplazamiento especificada es de 0,75 dB a 1550 nm (1 vuelta a 10 mm) y de 1,5 dB a 1625 nm; a 15 mm (10 vueltas), los límites son de 0,25 dB y 1,0 dB, respectivamente. Al ser una fibra de categoría A, cumple con las tolerancias dimensionales de G.652.D y es totalmente compatible con G.652.D para transmisión y conexión, lo que permite su despliegue en toda la red de acceso [8].

- **G.567. A2**

La sub-categoría A2 mejora el rendimiento de curvatura respecto a A1 y admite un radio de diseño mínimo de 7,5 mm. En las pruebas de curvatura, el límite de pérdida es de 0,5 dB a 1550 nm (una vuelta a 7,5 mm) y 1,0 dB a 1625 nm; para 10 mm (1 vuelta) los límites son 0,1 dB y 0,2 dB; y para 15 mm (10 vueltas) 0,03 dB y 0,1 dB. Al igual que A1, cumple con la norma G.652.D (misma ventana espectral O-L y características de transmisión/conexión) y, por lo tanto, se utiliza a menudo como sustituto directo de G.652.D en áreas con mayor densidad de curvatura se usan rosetas, bandejas, latiguillos, manteniendo la interoperabilidad [7].

- **G.567. B2**

La sub-categoría B2 pertenece a la familia "B" y está optimizado para radios de curvatura muy pequeños y tramos cortos (normalmente < 1 km) en el borde de la red de acceso, especialmente dentro o cerca de edificios. B2 está especificado para un radio de diseño mínimo de 7,5 mm. Sus límites típicos de macropérdida son de 0,5 dB a 1550 nm y 1,0 dB a 1625 nm (1 vuelta a 7,5 mm), con valores más estrictos a 10 y 15 mm (p. ej., 0,1/0,2 dB a 10 mm, 0,03/0,1 dB a 15 mm). A diferencia de A, no requiere cumplimiento total con G.652.D respecto a dispersión cromática o PMD, aunque se considera sistema compatible con fibras A/G.652.D en redes de acceso [7] , [9].

- **G.567. B3**

La sub-categoría B3 ofrece el mejor rendimiento de curvatura del estándar, con un radio de diseño mínimo de 5 mm. Con una curva de 5 mm, la pérdida máxima por macrodesplazamiento especificada es de 0,15 dB a 1550 nm y de 0,45 dB a 1625 nm; a 7,5 mm (1 vuelta), los límites se reducen a 0,08/0,25 dB y a 10 mm (1 vuelta), a 0,03/0,1 dB. Al igual que B2, está diseñado para tramos muy cortos y áreas de gestión de fibra con radios extremos como en MDU/FTTH en curvas cerradas. Se mantiene la compatibilidad del sistema con A/G.652.D, pero no requiere el cumplimiento total de todos los parámetros G.652.D.

La serie de normas IEC 60793 resume las normas internacionales para métodos de medida y especificaciones de producto de fibras ópticas tanto monomodo como multimodo: la Parte 1-x resume los métodos de medición y los procedimientos de prueba como por ejemplo la atenuación, longitud, curvatura, etc, mientras que la Parte 2-x define las especificaciones del producto (atributos y límites) para las clases y categorías de fibra [10].

## **2.1.5. Ventajas, desventajas y aplicaciones en los sistemas de comunicaciones**

### **Ventajas de los sistemas comunicaciones**

Las fibras ópticas ofrecen un enorme ancho de banda y bajas pérdidas, lo que permite enlaces de datos a altas velocidades (centenas de Gbps) y distancias muy largas. Esta alta capacidad se traduce en transmisiones fluidas de gran volumen de información, esencial para Internet de alta velocidad y redes troncales modernas [11]. Además, al emplear pulsos de luz en lugar de señales eléctricas, las comunicaciones ópticas son inmunes a interferencias electromagnéticas y ruidos eléctricos, lo que garantiza una señal más estable y confiable que en sistemas de cableado metálico [4].

Otro beneficio clave es la seguridad intrínseca: las señales luminosas son muy difíciles de interceptar sin causar perturbaciones detectables. La fibra óptica presenta el nivel más alto de seguridad de canal, ya que cualquier intento de “pinchar” un cable óptico provoca pérdidas de señal perceptibles [5]. Adicionalmente, las redes ópticas son escalables y flexibles: se pueden agregar más fibras o utilizar multiplexación por longitud de onda (WDM) para aumentar la capacidad sin rehacer la red física [11]. En cuanto a factores físicos, los cables de fibra son delgados y ligeros (fácil instalación) y no sufren corrosión, lo que les confiere larga vida útil y bajo mantenimiento en comparación con medios metálicos [9].

### **Desventajas de los sistemas comunicaciones**

A pesar de sus ventajas, las comunicaciones ópticas presentan algunas limitaciones prácticas. El costo inicial de la infraestructura (equipos, fibras, empalmes, transceptores) y de la instalación especializada es alto. Además, las fibras ópticas son frágiles: las hebras de vidrio pueden romperse si se curvan bruscamente o se doblan más allá de un cierto radio, por lo que requieren manipulaciones cuidadosas. Esta delicadeza implica la necesidad de empalmes y conectores especializados (fusión por soldadura, alineación precisa) para unir tramos de fibra, aumentando la complejidad técnica [10].

Las fibras también son sensibles a daños externos: pueden cortarse o dañarse si se pellizcan, aplastan o perforan durante la instalación o mantenimiento. En entornos expuestos, se deben proteger en ductos especiales para evitar interrupciones. Otro aspecto por considerar es que, aunque la atenuación de la fibra es muy baja, en enlaces extremadamente largos la señal se debilita debido a la dispersión cromática, requiriendo amplificadores ópticos (EDFA) o repetidores para regenerar la señal [12]. Finalmente, la operación y el mantenimiento de redes ópticas demandan personal técnico calificado, con herramientas específicas para pruebas y reparación, lo que puede encarecer la gestión de la red.

### **Aplicaciones en los sistemas de comunicaciones**

**Telecomunicaciones (GPON/FTTH):** La fibra óptica es la columna vertebral de las redes de telecomunicaciones actuales: soporta Internet de alta velocidad, telefonía de larga distancia y TV por cable [13]. En acceso de banda ancha, las arquitecturas PON (Red Óptica Pasiva) como GPON llevan fibra hasta la casa del usuario (FTTH), superando los cuellos de botella del “último tramo” en tecnologías antiguas. GPON admite múltiple servicio (“triple play” de datos, voz y video) con garantía de calidad de servicio y ofrece hasta  $\approx 2,5$  Gbps de bajada. Esto permite conexión de múltiples usuarios y aplicaciones intensivas (streaming 4K/8K, videoconferencias, IoT en el hogar) con gran ancho de banda. En resumen, la FTTH con GPON habilita enlaces ópticos de muy alta capacidad directamente al abonado, maximizando el rendimiento de la red de acceso (banda ancha) [13].

**Centros de datos:** En los centros de datos (nubes públicas/privadas, HPC), la fibra óptica es fundamental para interconectar servidores y equipos de almacenamiento. Soporta transmisiones

de hasta decenas o centenas de gigabits por segundo (hoy se usan enlaces de 400 Gbps o más), con latencia muy baja. Este gran ancho de banda es clave para aplicaciones de análisis de big data, inteligencia artificial y realidad virtual. Además, la fibra consume menos energía y no sufre interferencias, lo que mejora la eficiencia energética y la confiabilidad del centro de datos [14]. Las redes ópticas en el centro de datos también ofrecen escalabilidad: se puede aumentar la capacidad instalando más fibra o Módulos transceptores, sin rediseñar completamente la infraestructura existente. Gracias a su inmunidad a EMI y su alta fiabilidad, la fibra permite una comunicación continua y rápida dentro de los centros, esencial para servicios en la nube y aplicaciones de streaming de alta calidad

**Medicina:** En el ámbito médico, la fibra óptica ha revolucionado técnicas de diagnóstico y tratamiento. En endoscopía y laparoscopía, hilos de fibra flexibles llevan luz al interior del cuerpo y transmiten imágenes de órganos internos a un monitor, permitiendo procedimientos mínimamente invasivos [15]. Esto mejora la seguridad del paciente y acelera la recuperación. Asimismo, se usan láseres de fibra para cirugía y terapias (por ejemplo, cirugía ocular y dermatológica), aprovechando la precisión del haz de luz. En general, la tecnología óptica permite tanto captar imágenes clínicas de alta resolución como aplicar tratamientos con luz de forma segura.

**Industria manufacturera:** En entornos industriales (fábricas inteligentes, control de procesos), la fibra óptica constituye redes de comunicaciones ultra confiables. Su inmunidad al ruido eléctrico, vibraciones y agentes químicos la hace ideal en ambientes duros. Puede utilizarse en distancias largas dentro de plantas industriales sin re-amplificación frecuente. Según Furukawa Electric, las redes de fibra en la industria ofrecen “fácil adaptación” a condiciones críticas y son robustas ante fallas, evitando interrupciones en líneas de producción. Además, soportan volúmenes muy altos de datos y son a prueba de futuro (larga vida útil), lo que resulta estratégico para la Industria 4.0. Por ejemplo, interconectan sensores, robots y sistemas de control en tiempo real, garantizando el flujo masivo de datos requerido sin pérdida de calidad.

**Defensa y seguridad:** En aplicaciones militares y aeroespaciales, la fibra óptica se emplea para enlaces de datos seguros y de alta capacidad. Su naturaleza pasiva e indetectable la protege contra interferencias electromagnéticas y espionaje electrónico, ofreciendo confidencialidad en comunicaciones críticas. Se usa en aviones, buques y vehículos blindados para comunicaciones

internas (por ejemplo, sistemas de radar y control), así como en enlaces por láser libre de línea de vista (enlaces ópticos láser satelitales) por su gran velocidad. Las propiedades de seguridad intrínseca de la fibra (imposibilidad práctica de interceptación encubierta) la hacen especialmente apropiada para defensa y seguridad nacional.

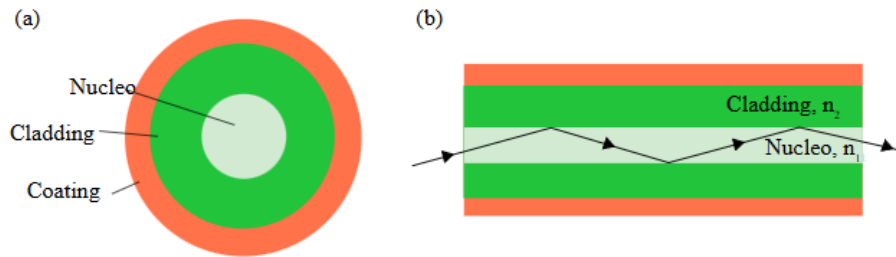
## **2.2. Comunicaciones Ópticas**

Las comunicaciones ópticas se basan en la transmisión de información mediante señales de luz a través de medios como la fibra óptica. Este sistema se fundamenta en la reflexión interna total, un fenómeno físico que permite confinar la luz dentro del núcleo de la fibra. Gracias a esta propiedad, las fibras pueden transmitir datos a largas distancias con una pérdida mínima. Este método ofrece una alternativa eficiente frente a los sistemas eléctricos tradicionales, permitiendo mayores velocidades de transferencia y menores interferencias.

### **2.2.1. Principio Físico De La Transmisión Óptica**

La fibra óptica es un medio de transmisión que guía la luz a largas distancias con mínimas pérdidas. Esto es posible gracias a su estructura: un núcleo de vidrio altamente transparente rodeado por un revestimiento de índice de refracción menor. Cuando un haz de luz ingresa en el núcleo, la diferencia de índices entre núcleo y revestimiento hace que la luz quede confinada dentro del núcleo mediante el principio de reflexión interna total [16]. En otras palabras, si el ángulo de incidencia de la luz supera cierto ángulo crítico al intentar pasar del núcleo al revestimiento, la totalidad del rayo se refleja de vuelta al interior, como se observa en la Figura 1 en la parte (a) podemos ver las partes que componen una fibra óptica y en la parte (b) la reflexión interna total. De este modo, la luz se propaga por la fibra rebotando continuamente en las paredes del núcleo sin escapar, logrando transmisiones eficientes de señales ópticas a gran velocidad y con muy poca interferencia externa [16]. Gracias a este mecanismo físico, las fibras ópticas pueden transportar información (por pulsos de luz láser o LED) a través de kilómetros de distancia con atenuación muy baja comparada con conductores eléctricos. Además, la luz viajando en fibra no se ve afectada por campos electromagnéticos externos como se puede observar en la Figura 1, lo que confiere inmunidad a interferencias y permite colocar muchos cables de fibra juntos sin diafonía.

## Fibra Optica



*Figura 1 (a) Estructura de una FO. (b) Reflexión interna total en una FO.*

### Modos de propagación y guía de onda

Dentro de una fibra óptica, la luz puede propagarse en diferentes modos según la trayectoria que siga por el núcleo. En fibras de mayor diámetro de núcleo, existen múltiples trayectorias posibles (modos transversales) para los rayos luminosos; estas fibras son multimodo. En cambio, si el núcleo es muy pequeño, solo se permite un único modo de propagación; esa es la fibra monomodo [17]. La fibra actúa entonces como una guía de onda dieléctrica, donde cada modo es una solución de onda electromagnética que se mantiene confinada.

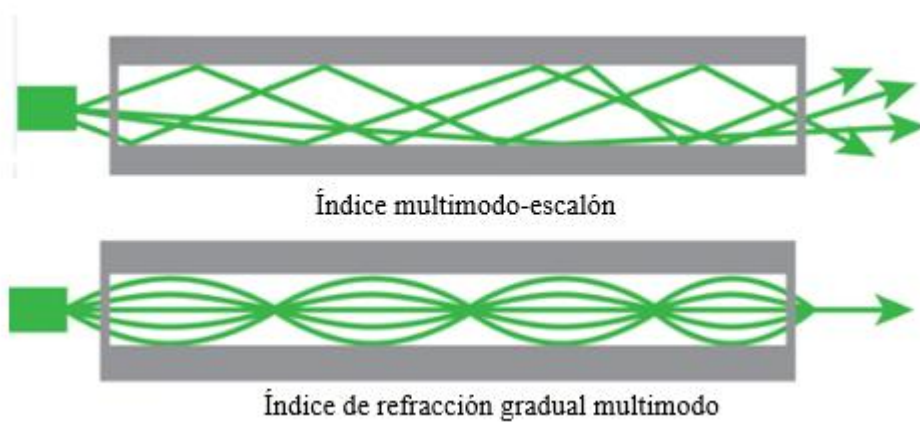
En una fibra monomodo (SMF) típica, su núcleo es de  $\sim 9 \mu\text{m}$ , la señal viaja por un único camino, evitando la dispersión por modos múltiples y permitiendo un ancho de banda extremadamente alto, como se aprecia en la Figura 2.



*Figura 2 Índice de paso de modo único.*

En una fibra multimodo (MMF) (núcleo 50 o 62,5  $\mu\text{m}$ ), varios rayos siguen rutas distintas; esto simplifica el acoplamiento de luz (por ejemplo, desde LEDs), pero cada modo tiene una velocidad de propagación distinta, lo que genera dispersión modal. La capacidad de la guía de onda se caracteriza por el número de modos que soporta, determinado por el diámetro del núcleo y la diferencia de índices (parámetro NA, apertura numérica).

Los modos de propagación se refieren a las distintas formas en que la energía óptica se distribuye en el núcleo y se propaga, y son un concepto clave para entender el comportamiento de fibras monomodo vs multimodo y de otros guías de onda ópticos (como guías planas o chips fotónicos). En la Figura 3 vemos los modos de propagación según el índice de refracción.



*Figura 3 Índice multimodo-escalón y Índice de refracción gradual multimodo.*

### **2.2.2. Tipos de Fibra Óptica y Aplicaciones**

Existen diversos tipos de fibra óptica con características estructurales específicas: principalmente distinguimos entre fibra de vidrio monomodo, vidrio multimodo, fibra óptica plástica y una variedad de fibras especializada. Cada tipo presenta propiedades técnicas particulares que lo hacen más apropiado para ciertas aplicaciones.

#### **Fibra óptica monomodo (SMF)**

La fibra monomodo es aquella cuyo núcleo de vidrio es muy pequeño (típicamente ~8–10  $\mu\text{m}$  de diámetro) de forma que solo permite la propagación de un modo fundamental de luz. Al

guiar un solo modo, la fibra monomodo evita la dispersión modal y logra muy alto ancho de banda y baja atenuación en largas distancias [14]. De hecho, su diseño minimiza la dispersión cromática y las pérdidas de señal, permitiendo enlaces de varios kilómetros sin amplificación ni regeneración intermedia, además la fibra monomodo admite una amplia gama de longitudes de onda (ventanas O, C, L, etc.), lo que la hace ideal para sistemas de WDM (multiplexación por longitud de onda) con capacidad excepcional.

Gracias a su alcance y capacidad, la fibra monomodo ha sido empleada en cables submarinos transoceánicos, redes troncales de internet, redes de transporte metropolitano y enlaces de larga distancia en general. La fibra monomodo soporta tasas de terabits/segundo sobre cientos de kilómetros con tecnologías modernas de modulación, lo que la hace indispensable en la infraestructura de internet. Otra ventaja clave es su menor atenuación, que reduce la necesidad de repetidores o amplificadores [14].

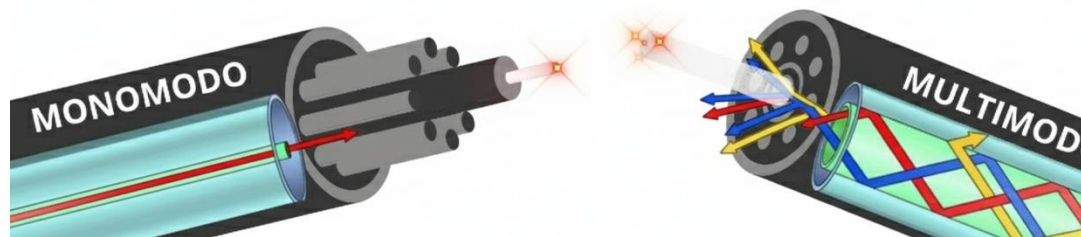
### **Fibra óptica multimodo**

La fibra multimodo se caracteriza por un núcleo de vidrio mucho mayor (diámetro típico de 50  $\mu\text{m}$  o 62.5  $\mu\text{m}$  en las MMF estándares) que permite la propagación simultánea de múltiples modos o rayos de luz [14]. Debido a este núcleo ancho, diferentes caminos de luz (modos) pueden viajar por la fibra, lo que conlleva dispersión modal (los pulsos se ensanchan al llegar, pues cada modo recorre distinta distancia. En la Figura 4 se aprecia los modos de transmisión en cada tipo de fibra óptica.

Para mejorar su rendimiento, la mayoría de las fibras multimodo modernas son de índice gradual (graded-index), con un perfil de refracción parabólico en el núcleo que hace que los modos más alejados del centro viajen más rápido, compensando parcialmente su camino más largo. Esto extiende el ancho de banda modal efectivo a cientos de MHz·km o algunos GHz·km según la categoría (OM1, OM2, OM3, OM4, OM5) [18].

La fibra multimodo es muy popular en redes locales (LAN) y centros de datos Empresariales. En entornos de campus corporativo, cableado intra-edificio y salas de servidores, la MMF conecta switches, routers y equipos a distancias típicamente de 10 m hasta 300 m, proporcionando enlaces de 1 Gb/s, 10 Gb/s, 40/100 Gb/s, etc., según la categoría de fibra (OM3

hasta ~100 m a 10 Gb/s, OM4 hasta ~150 m a 10 Gb/s o ~400 m a 1 Gb/s, etc.) [18]. También usada en muchas aplicaciones médicas e instrumentos de imagen. Los endoscopios flexibles tradicionales utilizan haces de miles de fibras multimodo muy delgadas empaquetadas en un haz (coherente o no) para transmitir imágenes desde el interior del cuerpo hacia una cámara, cada fibra multimodo actúa como un píxel óptico que transporta luz desde el objetivo hasta el ocular. En la Figura 4 podemos observar una comparación de la fibra monomodo y multimodo.



*Figura 4 Fibra Óptica Monomodo y Multimodo. [19]*

### **Fibra óptica plástica (POF)**

La fibra óptica plástica es una alternativa a las fibras de vidrio tradicionales, en la cual el núcleo (y a veces el revestimiento) están hechos de polímeros plásticos en lugar de sílice. Típicamente el núcleo es de PMMA (polimetilmetacrilato) de alta pureza, con diámetros mucho mayores (entre 0.25 mm y 1 mm, siendo 1 mm el más común en POF estándar) [20], La fibra plástica es mucho más flexible, ligera y resistente a curvaturas e impactos que la de vidrio. Puede doblarse en ángulos pronunciados, retorcerse o incluso ser pisada sin romperse, algo impensable en fibras de vidrio que son más frágiles [20]. Esto simplifica enormemente su instalación, pudiendo pasar por esquinas cerradas o moverse con dispositivos móviles sin dañar la fibra. Además, suele utilizar luz visible (por ejemplo, LED rojos de 650 nm), lo que permite inspeccionar a simple vista su funcionamiento: una rotura en la fibra plástica se identifica fácilmente porque deja de verse la luz roja en el extremo, facilitando el mantenimiento, tal como se muestra en la Figura 5.



*Figura 5 Cable POF PMMA. [21]*

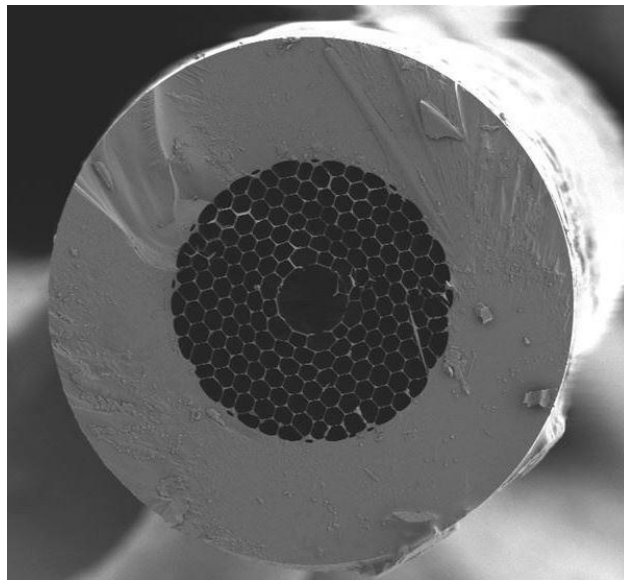
las POF presentan mayor atenuación y menor ancho de banda que las fibras de vidrio. Las pérdidas típicas de la PMMA son del orden de 0,1 dB/m a 650 nm (equivalente a ~100 dB/km, miles de veces más que una fibra de vidrio monomodo) y su dispersión limita la velocidad en longitudes mayores a unas decenas de metros. Por ello, su uso práctico se restringe a tramos muy cortos (típicamente <100 m) [20]. Se realizó una comparativa de la fibra de vidrio de silicio y la fibra plástica los resultados se muestran en la tabla 1, nos muestra el diámetro del núcleo típico, distancia de transmisión, ancho de banda, flexibilidad, resistencia, costo, dificultad de instalación y sus aplicaciones.

*Tabla 1. Comparativa de Fibra de Vidrio vs Fibra de Plástico*

<b>Característica</b>	<b>Fibra de vidrio (silicio)</b>	<b>Fibra plástica (PMMA)</b>
<b>Diámetro núcleo típico</b>	8–10 $\mu\text{m}$ (monomodo); 50 $\mu\text{m}$ (MM)	980 $\mu\text{m}$ (1 mm) estándar
<b>Distancia de transmisión</b>	Decenas–cientos de km (con ampl.)	<100 m típicamente
<b>Ancho de banda</b>	Muy alto (decenas de Tb/s)	Moderado (Mbps a pocos Gbps)
<b>Flexibilidad mecánica</b>	Limitada (frágil, requiere cuidado)	Muy alta (resistente a curvatura)
<b>Resistencia a impactos</b>	Baja (vidrio es quebradizo)	Alta (soporta golpes/vibración)
<b>Costo de cable/conectores</b>	Más elevado (material y pulido precisos)	Bajo (plástico económico)
<b>Instalación</b>	Requiere técnicos/calibración	Muy sencilla (no se requiere equipo especial)
<b>Aplicaciones típicas</b>	Telecomunicaciones de larga distancia, internet, redes troncales	Redes domésticas, automóviles, iluminación, sensores locales

### **Fibra de cristal fotónico (PCF)**

La fibra de cristal fotónico (PCF, por Photonic Crystal Fiber) es un tipo avanzado de fibra óptica que incorpora una microestructura periódica en su sección transversal. A diferencia de las fibras convencionales (núcleo sólido y revestimiento homogéneo), en la PCF el núcleo y/o el cladding contienen patrones de orificios de aire dispuestos periódicamente a lo largo de toda la fibra [22]. Por diseño, se distinguen dos grandes categorías: PCF de núcleo sólido (índice escalonado, pero con agujeros en el cladding) que guían la luz por reflexión interna total como una fibra clásica, y PCF de núcleo hueco (núcleo generalmente de aire rodeado de una red de agujeros en el vidrio) que guían por el mecanismo de bandgap fotónico o antirresonancia [23]. Como se observa en la Figura 6 donde tenemos una fibra PCF del fabricante YOEC.



*Figura 6 Fibra PCF. [24]*

### **2.2.3. Parámetros Clave de Desempeño en Sistemas Ópticos**

Los sistemas de comunicaciones ópticas se caracterizan por diversos parámetros técnicos que determinan su desempeño y la calidad de la transmisión. Entre las mediciones clave se destacan la atenuación de la señal en la fibra, la dispersión (cromática, modal y por polarización), el ancho de banda disponible, la relación señal-ruido, la tasa de errores de bit, la capacidad de canal

teórica y la latencia de propagación, entre otros [25]. Estos parámetros son fundamentales en el diseño y evaluación de enlaces modernos, especialmente al considerar distintos tipos de fibra óptica como SMF, MMF, PCF, POF, etc.

## **Atenuación**

Es la reducción de potencia de la señal óptica conforme se propaga la fibra, típicamente expresada en decibelios por kilómetro (dB/km). Como observamos en la ecuación (1) en la fórmula de la atenuación total, la atenuación limita la distancia de transmisión sin amplificación. En las fibras de sílice monomodo estándar, la atenuación depende fuertemente de la longitud de onda, La atenuación total de un enlace incluye además pérdidas por empalmes y conectores; incluso pequeñas desalineaciones o impurezas en conectores pueden introducir pérdidas de inserción apreciables [12].

$$\alpha_{Total}(\text{dB}) = 10 \times \log_{10}\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right)$$

*Ecuación 1: Atenuación Total*

Donde  $\alpha_{Total}$  es la atenuación total en dB,  $P_{in}$  es la potencia óptica de entrada en mW y  $P_{out}$  la potencia óptica de salida en mW. [26]

Para mitigar la atenuación en enlaces extensos, se emplean amplificadores ópticos EDFA dopados con erbio cada cierto número de kilómetros, restaurando el nivel de señal a costa de introducir ruido adicional, se clasifican en dos categorías:

- **Atenuación Intrínseca**

Es la pérdida de potencia óptica propia del material de la fibra, originada por imperfecciones e impurezas del vidrio introducidas durante la fabricación. Aunque los avances tecnológicos han reducido notablemente estas pérdidas, no pueden eliminarse por completo, de modo que la señal se debilita con la distancia aun en fibras de alta calidad.

Surge por interacciones elásticas de la onda luminosa con fluctuaciones microscópicas del índice de refracción y con los átomos del vidrio. Cuando la luz se redirige con un ángulo que ya no cumple las condiciones de guiado, se fuga del núcleo hacia el revestimiento (cladding) y se produce pérdida [27].

- **Atenuación Extrínseca**

La atenuación por curvatura es un mecanismo extrínseco ya que no proviene del material de la fibra sino de fuerzas externas que la doblan. Se manifiesta de dos formas, macrodoblado y microdoblado, y en ambos casos reduce la potencia óptica transmitida.

En el macrodoblado, la fibra se curva con un radio visible. Esa curvatura modifica localmente las condiciones de guiado y parte de la luz del núcleo deja de cumplir la reflexión interna total, “escapándose” al revestimiento y disipándose. La pérdida suele ser reversible: al enderezar la fibra, el guiado se restablece [27].

El microdoblado ocurre por irregularidades microscópicas a lo largo de la fibra (ondulaciones finas o “arrugas” inducidas por presión, cambios térmicos, tensiones durante el tendido o sujeciones demasiado firmes). Aunque no se aprecian a simple vista, esas perturbaciones provocan acoplamiento modal y radiación fuera del núcleo, generando pérdidas acumulativas y a menudo intermitentes [27].

A continuación, la ecuación (2) nos muestra la atenuación por distancia teniendo en cuenta la atenuación y número de empalmes, la longitud del enlace, la atenuación y número de conectores y la atenuación de la fibra.

$$\alpha(\text{dB}) = \alpha_{\text{fibra}} \times L + (N_{\text{empalmes}} \times \alpha_{\text{empalmes}}) + (N_{\text{conectores}} \times \alpha_{\text{conectores}})$$

*Ecuación 2: Atenuación Extrínseca*

Los valores típicos de atenuación en fibra monomodo (SMF) en la longitud de onda de 1310nm es aproximadamente 0.35 dB/Km y en la longitud de onda de 1550 nm es aproximadamente 0.20 dB/km. En cambio, en la fibra multimodo (MMF) en la longitud de onda de 850 nm es aproximadamente de 2.5 dB/km a 3.0 dB/km y en 1300 nm es aproximadamente 0.8-1.0 dB/Km. [28]

## Dispersión

En las fibras ópticas en las fibras ópticas es un fenómeno crucial que afecta la transmisión de señales de luz. Se refiere al ensanchamiento temporal de los pulsos de luz cuando viajan a través de la fibra, debido a que diferentes componentes de longitudes de onda viajan a distintas velocidades. Este fenómeno limita tanto el ancho de banda (velocidad de transmisión de datos) como la distancia máxima que una señal puede recorrer sin sufrir distorsión significativa, como lo vemos en la ecuación (3). La dispersión es un factor determinante en las comunicaciones ópticas, ya que afecta la calidad y velocidad de las transmisiones. [29]

$$\Delta\tau = D \times L \times \Delta\lambda$$

*Ecuación 3: Dispersión*

Donde:

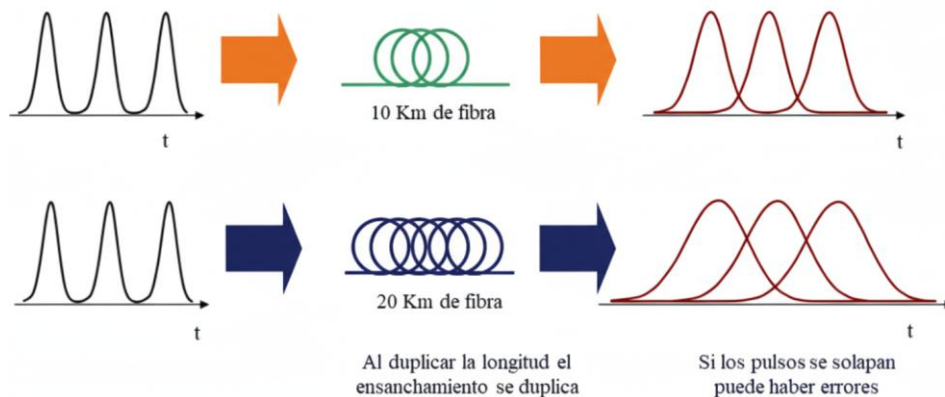
$\Delta\tau =$  *Ensachamiento temporal del pulso (ps)*

$D =$  *Coefficiente de dispersión cromática ( $\frac{ps}{nm \cdot km}$ )*

$L =$  *Longitud de la fibra (km)*

$\Delta\lambda =$  *Ancho espectral de la fuente (nm)*

Como podemos observar en la Figura 7 se crea el efecto de la dispersión en los pulsos ópticos a mayor distancia la dispersión aumenta.



*Figura 7 Efecto de la dispersión en los pulsos ópticos.*

Existen varios tipos de dispersión que varían según el tipo de fibra utilizada.

- **Dispersión cromática**

Es la forma más común de dispersión y se debe a la dependencia del índice de refracción de la fibra con la longitud de onda de la luz. En las fibras monomodo, a longitudes de onda como 1310 nm la dispersión cromática es casi nula, pero a 1550 nm se vuelve considerable. A esta longitud de onda se presentan valores de dispersión de aproximadamente 17 ps/(nm·km) en las fibras G.652, lo que requiere técnicas para compensarla a altas velocidades de transmisión, como el uso de fibras especializadas (G.653, G.655) o la implementación de técnicas de compensación digital [12].

- **Dispersión modal**

Este tipo de dispersión se da en fibra multimodo, donde distintos modos de propagación siguen trayectorias diferentes dentro del núcleo de la fibra. Esto provoca que los pulsos de luz lleguen desfasados temporalmente, afectando la capacidad de transmisión a largas distancias. Por ejemplo, en una fibra OM4 de 50/125  $\mu\text{m}$ , se puede transmitir 10 Gb/s a distancias de hasta 550 metros, pero a 2 km solo se podría transmitir a velocidades mucho menores, como decenas de Mbps. Las fibras OM5, de nueva generación, amplían el ancho de banda modal a longitudes de onda entre 850-950 nm, pero siguen siendo adecuadas solo para enlaces cortos, como en centros de datos. [30]

- **Dispersión por modo de polarización (PMD)**

La PMD es otro tipo de dispersión que ocurre en fibra monomodo y es causada por asimetrías dentro de la fibra que desacoplan dos polarizaciones ortogonales de la luz. Esto introduce pequeños retardos diferenciales en las señales. Aunque normalmente la PMD es muy baja en fibras modernas ( $\ll 1$  ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ), en sistemas de ultra alta velocidad (por encima de 100 Gb/s) puede volverse significativa y requerir compensación adaptativa[1].

Existen tecnologías innovadoras como las fibras de cristal fotónico (PCF), que permiten diseñar la dispersión a voluntad mediante microestructuras en el núcleo de la fibra, estas

son las fibras de núcleo hueco, que guían la luz a través de un núcleo de aire, lo que elimina casi toda la dispersión de material y permite una mayor capacidad de transmisión con dispersión cromática mínima [31].

### **Relación señal/ruido**

La relación señal-ruido óptica (OSNR) es una métrica clave en sistemas de fibra: cuantifica la potencia de la portadora respecto al ruido óptico de fondo (principalmente ASE de amplificadores) en un ancho de banda de referencia y refleja directamente la calidad de la señal tras recorrer la ruta óptica. Un OSNR elevado indica que la portadora sobresale claramente del ruido, reduciendo la probabilidad de errores; por ejemplo, en enlaces de 10 Gb/s sin FEC se suelen requerir OSNR superiores a ~20 dB para acercarse a BER  $\approx 10^{-9}$ , aunque ese umbral cambia según el formato de modulación y la presencia de FEC [25]. En redes DWDM el monitoreo de OSNR con analizadores de canal es rutinario, y en receptores coherentes de alto rendimiento se suele emplear la SNR eléctrica equivalente o el Q-factor (relacionados con la OSNR) como indicadores de desempeño. La OSNR se expresa en la siguiente ecuación (4) y en sistemas con amplificadores den la ecuación (5).

$$\text{OSNR(dB)} = 10 \times \log_{10} \left( \frac{P_{\text{señal}}}{P_{\text{ruido}}} \right)$$

*Ecuación 4: Relación Señal-Ruido.*

Donde:

$$P_{\text{señal}} = \text{Potencia de la señal óptica (mW)}$$

$$P_{\text{ruido}} = \text{Potencia del ruido en un ancho de banda de referencia (mW)}$$

Para sistemas con amplificadores:

$$\text{OSNR} \approx \left( \frac{P_{in}}{n_{amp} \times F_n \times h \times v \times BW_{opt}} \right)$$

*Ecuación 5: Relación Señal-Ruido para Amplificadores*

Donde:

$P_{in}$  = Potencia de entrada al amplificador (W)

$n_{amp}$  = Número de amplificadores en cascada

$F_n$  = Figura de ruido del amplificador

$h$  = Constante de Planck ( $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

$v$  = Frecuencia óptica (Hz)

$BW_{opt}$  = Ancho de banda óptico de referencia (Hz)

La SNR, entendida más ampliamente, agrupa todas las fuentes de ruido (óptico acumulado, ruido térmico del receptor, ruido de cuantización, etc.), y su degradación provoca aumento de la BER y, en casos extremos, pérdida de sincronización. Para mantener OSNR/SNR adecuados los diseñadores gestionan el presupuesto de potencia del enlace —incluyendo márgenes por envejecimiento y reparaciones— y aplican técnicas como amplificadores con bajo nivel de ruido, control de potencia por canal y gestión de dispersión. Además, la fotónica integrada contribuye a mejorar la OSNR al minimizar pérdidas en componentes y conexiones internas de los transceptores, haciendo más eficiente el manejo de la potencia óptica [25].

### **Tasa de error de bit (BER)**

Es la fracción de bits transmitidos que se reciben erróneamente, y es una medida directa de la fiabilidad de la comunicación. En sistemas digitales, se aspira a BER muy bajas ( $10^{-9}$  a  $10^{-12}$  o menores) para que los errores residuales sean prácticamente nulos tras corrección. La BER está íntimamente ligada al SNR/OSNR: a mayor relación señal/ruido,

menor probabilidad de error. ecuación Relación OSNR-VER (6) y ecuación definición básica de BER (7).

$$BER \approx \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{OSNR}{2}} \right)$$

*Ecuación 6: Aproximación teórica del BER en función del OSNR*

Donde:

*BER = Tasa de error de bit*

*erfc = función de error complementaria*

*OSNR = Relación  $\frac{\text{señal}}{\text{ruido}}$  (lineal)*

$$BER = \frac{N_{\text{errores}}}{N_{\text{Total}}}$$

*Ecuación 7: Tasa de Error de Bits*

Donde:

*$N_{\text{errores}}$  = Número de bits recibidos erróneamente*

*$N_{\text{Total}}$  = Número total de bits transmitidos*

Los sistemas actuales utilizan códigos de corrección de errores (FEC) que permiten corregir errores hasta cierto límite, No obstante, excedido cierto umbral de BER, el FEC deja de ser capaz de reparar todos los errores (cliff effect). Por tanto, en el diseño se especifica un objetivo de BER tanto pre-FEC como post-FEC. La BER se mide usualmente con patrones de prueba y contadores de error en los receptores. Es otro de los parámetros de desempeño monitoreados en redes ópticas [25].

### **Capacidad de canal**

La capacidad de canal representa la máxima tasa de datos teórica que puede transmitir un canal de comunicaciones de acuerdo con el límite de Shannon, considerando el ancho de

banda disponible y la relación señal/ruido. En fibra óptica, la capacidad de un solo canal a 1550 nm con modulación actual (formato coherente dual-polarización) puede superar 100 Gb/s en 50 GHz de ancho espectral. Sin embargo, la capacidad total por fibra se incrementa usando multiplexación densa en longitud de onda (DWDM), con decenas de canales paralelos. existen **límites fundamentales** impuestos por la física: el teorema de Shannon-Hartley establece:

$$C = BW \times \log_2(1 + SNR)$$

*Ecuación 8: Teorema de Shannon-Hartley*

Donde:

$$C = \text{Capacidad máxima del canal} \left( \frac{\text{bits}}{\text{s}} \right)$$

$$BW = \text{Ancho de banda del canal (Hz)}$$

$$SNR = \text{Relación} \frac{\text{señal}}{\text{ruido}} \text{ (lineal)}$$

### **Ancho de banda**

En sistemas ópticos el ancho de banda puede interpretarse como la capacidad máxima de la fibra para transmitir datos. En fibra multimodo se suele usar el concepto de ancho de banda modal un valor típico es, por ejemplo, 2000 MHz·km para fibra OM3 a 850 nm [32].

Esto significa que la fibra puede transmitir 200 MHz de modulación por 1 km. Una fibra con mayor ancho de banda permite la misma tasa de datos a mayor distancia. La limitación del ancho de banda proviene fundamentalmente de la dispersión modal (diferencia de tiempo entre modos) [32]. En fibra monomodo no existe dispersión modal, por lo que su ancho de banda esencialmente ilimitado viene dictado por la dispersión cromática y las características de los transceptores. En la práctica, el ancho de banda útil determina la máxima tasa de transmisión de datos; superarlo empobrece la calidad de la señal y eleva el BER.

### **Perdida de retorno (ORL)**

La pérdida de retorno cuantifica la potencia reflejada hacia la fuente respecto al incidente, debido a discontinuidades (conectores, empalmes, finales de fibra, etc.). Se expresa en decibelios (dB) y un valor alto indica poca luz reflejada. Formalmente, un ORL de 30 dB significa que la luz reflejada tiene 1/1000 de la potencia incidente [33]. Se mide habitualmente con reflectómetros o medidores específicos. Un ORL bajo (es decir, muchas reflexiones) puede ser perjudicial: la luz reflejada puede viajar de vuelta y causar interferencia con la señal original, aumentar el ruido del láser o del fotodetector e incrementar la BER [33]. Por ello, en enlaces de alta ganancia (amplificadores ópticos) o altas prestaciones, se exige ORL elevado.

### **Latencia**

La latencia es el retardo temporal que sufre una señal en viajar por la fibra. Está dominada por la velocidad de propagación en el medio. Esto equivale a unos  $\approx 5 \mu\text{s}$  de retardo por km de fibra (50 km  $\Rightarrow$  250  $\mu\text{s}$ ). Por ejemplo, un enlace transatlántico ( $\approx 6000$  km) introduce alrededor de 30 ms de retraso unidireccional [34]amor

La latencia total incluye además demoras de procesamiento, por lo que en redes reales puede rondar más de 100 ms en rutas largas. Aunque en fibra óptica la latencia no suele limitar la capacidad, es crítica para aplicaciones tiempo-real y protocolos (p.ej. interconexiones de datos de alto rendimiento). A mayor distancia, la latencia crece linealmente, influyendo en el tiempo de respuesta y en la eficiencia de protocolos de comunicaciones.

## **2.2.4. Retos y Desafíos en las Comunicaciones Ópticas**

Las comunicaciones ópticas constituyen la columna vertebral de las redes modernas de telecomunicaciones y transporte de datos, proporcionando capacidades masivas de ancho de banda, baja latencia y alta inmunidad al ruido electromagnético. Sin embargo, diversos desafíos tecnológicos, físicos y operativos amenazan con limitar su escalabilidad, eficiencia y sostenibilidad.

## **Límites Físicos de la Fibra óptica**

A pesar del notable avance en la fabricación de fibras de sílice, la atenuación mínima alcanzada en enlaces comerciales se ha estabilizado alrededor de 0.14 dB/km, lo que representa un límite práctico difícil de superar [35]. Este umbral, determinado por mecanismos físicos como la dispersión Rayleigh, restringe la distancia máxima sin regeneración activa. Adicionalmente, la dispersión cromática (CD) y la dispersión por modo de polarización (PMD) afectan la integridad de la señal en enlaces de alta velocidad, lo que impone la necesidad de técnicas de compensación digital y limitaciones en la tasa de símbolos por canal [35]

## **No Linealidades y Ruido**

El índice de refracción de la fibra depende de la intensidad de luz (efecto Kerr), provocando fenómenos de self-phase modulation (SPM), cross-phase modulation (XPM) y four-wave mixing (FWM) que distorsionan la señal a altos niveles de potencia o cuando múltiples canales comparten la fibra. Estas no linealidades limitan la potencia máxima por canal y la densidad de canales en WDM, imponiendo un límite no lineal a la capacidad global. La teoría de Shannon vincula la capacidad máxima con la SNR alcanzable, por lo que el ruido óptico es un factor crítico de límite en el alcance y la capacidad espectral soportable. En conjunto, pérdida, dispersión, no linealidades y ruido determinan la capacidad espectral máxima de un enlace [25].

## **Costos de infraestructura e integración con redes existentes.**

Aunque las fibras ópticas permiten altos anchos de banda, el despliegue de infraestructura de fibra en zonas remotas o de difícil acceso puede implicar inversiones muy superiores a las redes tradicionales. Además, la integración de tecnologías ópticas con redes basadas en radiofrecuencia y otros medios requiere una planificación cuidadosa de compatibilidad y convergencia de protocolos. [36] Esta barrera económica y de integración puede ralentizar la adopción generalizada de redes ópticas, especialmente en mercados emergentes.

## **Desarrollo de estándares, materiales y tecnologías emergentes**

Por último, para que las comunicaciones ópticas alcancen su pleno potencial en aplicaciones masivas es necesario avanzar en la estandarización, nuevos materiales de baja pérdida y alta integridad, y arquitecturas híbridas que combinen óptica y radiofrecuencia. Un artículo reciente de 2024 subraya que aún siguen existiendo desafíos para maximizar la efectividad de los sistemas FSO [37]. Esto implica investigación continua en lentes adaptativos, moduladores ultrarrápidos, integración fotónica y control inteligente del canal óptico.

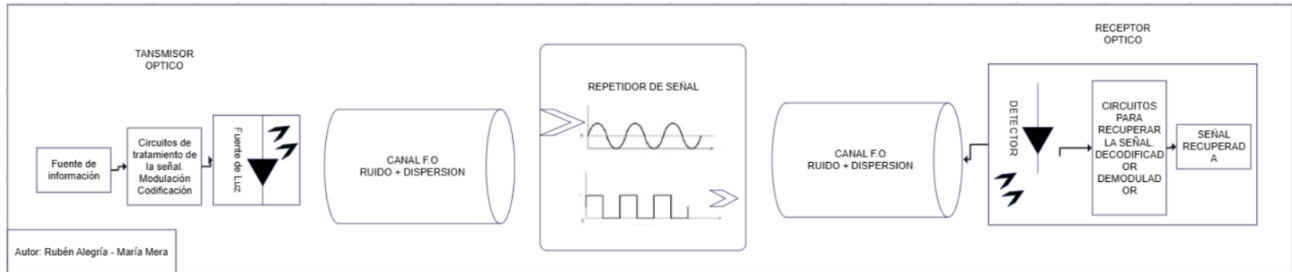
### **2.3. Tecnologías De La Comunicación Óptica**

Las tecnologías de comunicación óptica abarcan una amplia gama de innovaciones diseñadas para optimizar la transmisión de datos mediante señales de luz. Estas tecnologías son fundamentales para la infraestructura moderna de telecomunicaciones, ya que ofrecen altas velocidades, baja atenuación, y mayor seguridad frente a interferencias electromagnéticas.

En las comunicaciones ópticas, los láseres y LEDs suelen emplearse como fuentes de luz. Los láseres destacan en aplicaciones de larga distancia debido a su coherencia y alta intensidad, mientras que los LEDs suelen ser utilizados para distancias cortas por ser más económicos. En cuanto al medio de transmisión, los cables de fibra óptica tienen un núcleo y un revestimiento que trabajan juntos para mantener la luz confinada mediante reflexión interna total. Esto permite la transmisión eficiente de datos con pérdidas mínimas.

#### **2.3.1. Componentes Fundamentales Del Sistema Óptico**

Los sistemas de comunicación óptica incluyen fuentes de luz como láseres y LEDs, que generan pulsos ópticos modulados. Los láseres son ideales para distancias largas debido a su coherencia y alta potencia. El medio de transmisión, la fibra óptica, contiene un núcleo de vidrio o plástico rodeado de un revestimiento que mantiene la luz confinada. Los receptores ópticos, como los fotodiodos, convierten las señales de luz en señales eléctricas para su procesamiento posterior, en la Figura 8 se muestra un diagrama de bloque de un sistema de comunicación óptica, donde se refleja cada componente de este sistema.



*Figura 8 Diagrama de bloques de un sistema de Comunicación Óptica.*

## 2.3.2. Avances en Tecnologías Ópticas

Entre las tecnologías emergentes, las comunicaciones láser están cobrando relevancia en aplicaciones espaciales y satelitales. Estas permiten la transmisión de datos a velocidades significativamente mayores que las ondas de radio tradicionales, mejorando la capacidad de transferencia para datos de alta resolución, como mapas y observaciones científicas espaciales. Estas innovaciones reducen el tamaño y el peso de los sistemas, haciéndolos más eficientes para aplicaciones aeroespaciales y de telecomunicaciones de alta capacidad.

## 2.3.3. Ventajas de las Tecnologías Ópticas

Las comunicaciones ópticas ofrecen múltiples beneficios, como altas velocidades de transmisión, inmunidad a interferencias electromagnéticas, y una mayor seguridad frente a interceptaciones. Además, presentan una baja atenuación de señal, lo que permite transmisiones a largas distancias sin necesidad de amplificación frecuente. Su capacidad para manejar volúmenes masivos de datos las convierte en la elección preferida para aplicaciones como redes GPON, sistemas de telecomunicaciones internacionales, y centros de datos.

## 2.3.4. Aplicaciones Modernas de las Comunicaciones Ópticas

Las tecnologías ópticas se utilizan ampliamente en redes troncales de Internet, sistemas de comunicación submarinos, y redes de acceso directo al hogar (FTTH). En particular, en redes pasivas de fibra óptica (GPON), estas tecnologías garantizan conexiones de alta velocidad y baja

latencia para usuarios Residenciales y Empresariales. Además, la fibra óptica se emplea en centros de datos para interconectar servidores con alta confiabilidad y rendimiento [38].

## **2.4. Conectores Ópticos**

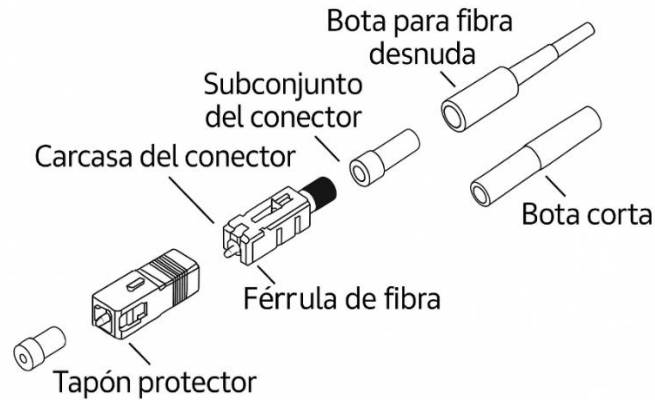
Los conectores ópticos son dispositivos de acoplamiento diseñados para unir dos extremos de fibra óptica, permitiendo la transmisión eficiente de señales de luz con mínimas pérdidas y reflexiones. Su función principal es garantizar una alineación precisa del núcleo de las fibras, asegurando la continuidad del haz luminoso en sistemas de comunicación óptica

### **2.4.1. Tipos de Conectores**

Los sistemas de fibra óptica emplean numerosos diseños de conectores se han desarrollado aproximadamente más de 100 conectores históricamente, pero solo una docena de tipos dominan las aplicaciones actuales [39]. Entre los conectores de fibra única más usados se encuentran SC, ST, FC y LC, mientras que para multifibra destacan los de tipo MPO/MTP. Un buen conector óptico debe ofrecer baja pérdida, alta confiabilidad mecánica y facilidad de uso, manteniendo tamaño reducido y costo razonable [40].

- **SC (Conector de suscriptor)**

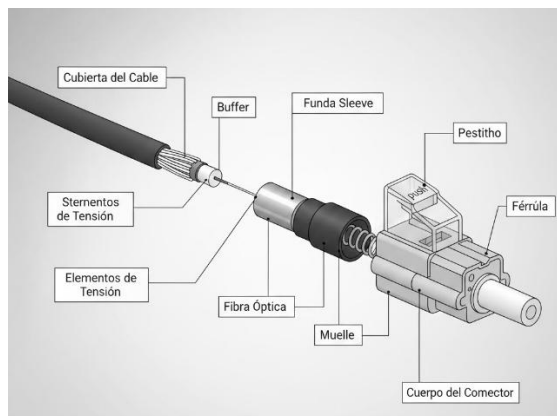
Es un conector de 2,5 mm de férula con mecanismo push-pull (enchufe a presión) y formato cuadrado. Fue adoptado tempranamente como estándar en redes monomodo por su bajo costo, fácil inserción y buen desempeño (pérdidas típicas de inserción bajas y alta resistencia al desenganche). Se utiliza ampliamente en telecomunicaciones y redes de datos (e.g. Gigabit Ethernet), y se popularizó en los 90 s desplazando al ST en muchas instalaciones. Disponible en versiones simplex y dúplex, el SC ofrece conexión rápida y segura con un simple empuje, además de buena estabilidad mecánica. Como desventaja, su tamaño es mayor que el LC, lo que reduce la densidad de puertos en paneles. Podemos observar con mayor detalle su estructura en la Figura 9.



*Figura 9 Estructura del conector SC. [40].*

- Conector LC (Conector Lucent)

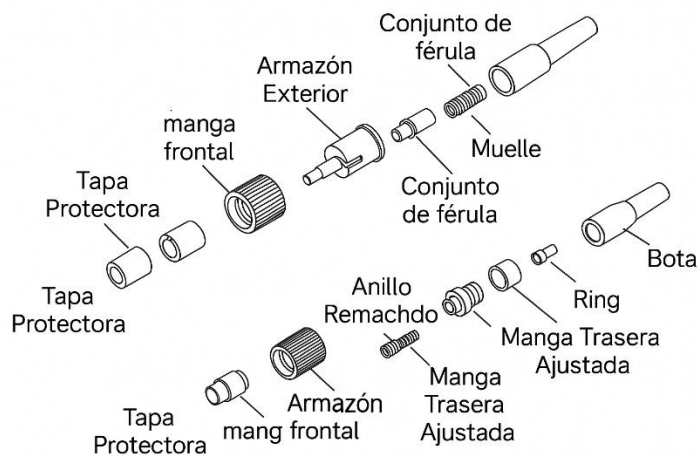
Fue introducido a fines de los 90 s para lograr mayor densidad de puertos. Emplea una férula de solo 1,25 mm (la mitad que SC) y un mecanismo de pestillo (latch) similar al de un conector RJ45 [40]. Su principal ventaja es el tamaño compacto, que permite duplicar la densidad de conexiones respecto al SC. El LC se ha vuelto el conector preferido tanto en aplicaciones monomodo como en transceptores multimodo de factor compacto (SFF/SFP), en la Figura 10 vemos su excelente estructura, reemplazando gradualmente al SC en redes corporativas debido a su menor tamaño y desempeño equivalente, ofreciendo pérdidas bajas y alta reflectancia de retorno especialmente en su versión pulida APC para monomodo. [41].



*Figura 10 Estructura del conector LC*

- Conector FC (Conector de férula)

El conector FC se creó con una férula de 2,5 mm con un acoplamiento roscado (rosca métrica), ofreciendo una unión muy segura y aislada mecánicamente [41]. Se utilizó mucho en equipos de medición, láseres y telecomunicaciones monomodo. Su diseño metálico roscado brinda estabilidad en entornos estáticos, pero presenta desventajas: requiere alinear cuidadosamente la llave antes de enroscar porque aumenta el riesgo de rayar la fibra si no se inserta bien y no es apto para vibraciones [40]. Además, su conexión/desconexión es más lenta que los push-pull. Con el tiempo, los FC han sido en gran medida reemplazados por SC/LC, que ofrecen rendimiento similar con conexión más rápida. Aun así, algunos sistemas legacy y de laboratorio los usan por su fiabilidad y estructura como se muestra en la Figura 11.

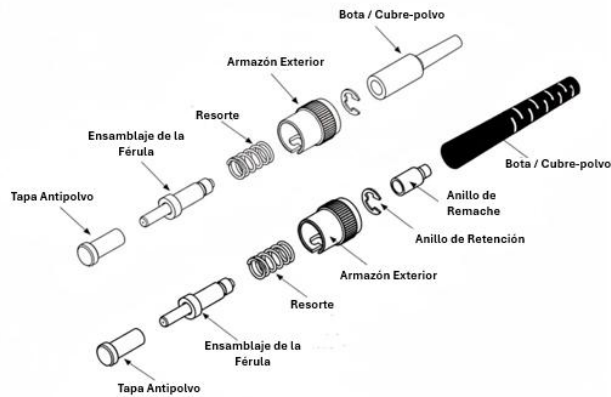


*Figura 11 Estructura del conector FC*

- ST (Punta recta)

Conector clásico desarrollado por AT&T, emplea férula de 2,5 mm y un enganche de bayoneta similar a un conector de cable coaxial. Fue muy popular en redes multimodo de interiores (edificios, campus) durante los 80 s y 90 s [40]. Sus ventajas incluyen una construcción sencilla y robusta; sin embargo, requiere insertar y luego girar para enclavar, como se muestra en la Figura 12, lo que puede ser menos práctico que un push-pull. Además, al ser resorteado, es importante verificar que esté bien asentado; de lo contrario

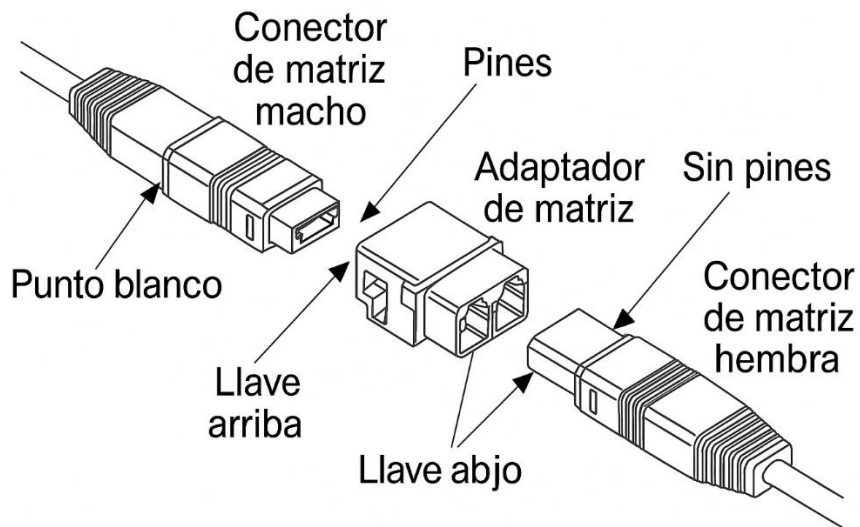
puede introducir pérdidas por mala alineación. El ST ha caído en desuso frente a SC y LC, quedando principalmente en instalaciones antiguas multimodo.



*Figura 12 Estructura del conector ST.*

- MPO/MTP (Conector multi-fibra tipo push-on)

Es el conector multifibra estándar, capaz de alojar 4, 8, 12, 24 y hasta 72 fibras en un solo acople. Con un formato rectangular y pines guía, fue diseñado para alta densidad en centros de datos y enlaces de agregación, donde múltiples fibras se conectan simultáneamente, por ejemplo, para migraciones a 40G/100G+ mediante cables ribbon [42]. MTP es una marca propietaria que designa una versión optimizada del MPO, con mejoras en alineación (férula flotante, pin de metal) que logran menores pérdidas de inserción y mayor retorno. Ambos son intermareales y cumplen la norma IEC 61754-7 (FOCIS 5/TIA-604-5) [39]. Permiten conectar fibras de un solo movimiento, reduciendo el espacio y tiempo de conexionado en grandes instalaciones. Su fabricación, estructura (Figura 13) y terminación son complejas, por lo que usualmente se compran predeterminados de fábrica. Además, requieren herramientas y adaptadores especiales para pruebas, dificultando la medición de cada fibra con equipos convencionales [39]. A pesar de ello, son indispensables en cableado estructurado de alta densidad (Backbones, Data Centers), donde aprovechan al máximo el espacio disponible [41].



*Figura 13 Estructura del conector MTP/MPO*

## 2.4.2. Materiales de Férula, Tolerancias Mecánicas y Acoplamiento

En los conectores de fibra óptica, la férula constituye un componente fundamental que asegura la alineación precisa de los núcleos de las fibras (Figura 14), permitiendo un acoplamiento óptico estable y con mínimas pérdidas. Su función mecánica es crítica, ya que incluso desviaciones del orden de micrómetros pueden incrementar la pérdida de inserción (Insertion Loss, IL) o degradar la pérdida de retorno (Return Loss, RL) del sistema óptico. Por ello, la selección del material, el control de las tolerancias mecánicas y la calidad del acoplamiento son factores determinantes en el desempeño global del enlace.

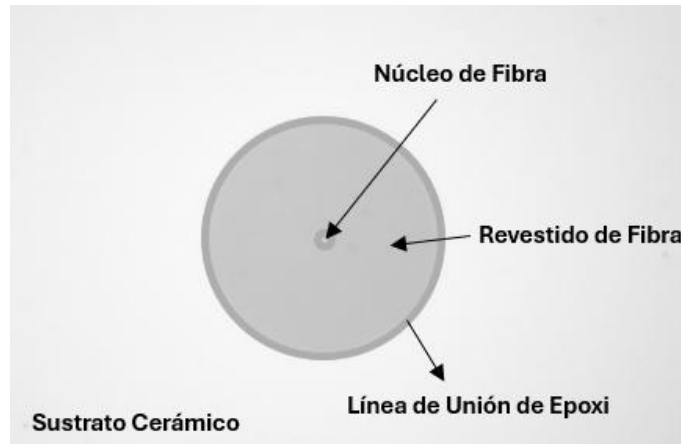


Figura 14 Férula de conector óptico

- **Materiales de Férula**

Las férulas están fabricadas principalmente en cerámica, metal o plástico de ingeniería, dependiendo de la aplicación y del nivel de precisión requerido.

El material más utilizado en aplicaciones de precisión es el óxido de zirconio ( $ZrO_2$ ), debido a su dureza elevada, estabilidad térmica y capacidad de ser mecanizado con tolerancias menores a  $1\ \mu m$  [43].

Otros materiales como la alúmina ( $Al_2O_3$ ) o el acero inoxidable se utilizan cuando se busca un balance entre costo y robustez, mientras que los plásticos de ingeniería y compuestos híbridos se destinan a conectores de bajo costo o sistemas de múltiples fibras. La Tabla 2 resume las propiedades comparativas de los materiales de férula más empleados en la actualidad.

Tabla 2. Comparativa de Materiales de Férula en Conectores de Fibra Óptica

Material	Propiedades Mecánicas / Térmicas	Ventajas Principales	Desventajas / Limitaciones	Aplicaciones Típicas
<b>Óxido De Zirconio (<math>ZrO_2</math>)</b>	Alta dureza (1200–1300 HV), coeficiente de expansión $10 \times 10^{-6} / K$ , excelente pulibilidad.	Alta precisión dimensional; tolerancias $< 1\ \mu m$ ; mínima expansión térmica.	Costo elevado; mecanizado complejo.	Conectores monomodo (LC, SC, MU, FC).

<b>Alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	Dureza ~ 1000 HV; buena estabilidad térmica; baja densidad.	Más económica que ZrO <sub>2</sub> ; buena pulibilidad.	Menor resistencia a fractura.	Aplicaciones multimodo o de laboratorio.
<b>Acero Inoxidable</b>	Resistencia > 500 MPa; expansión 16×10 <sup>-6</sup> /K.	Alta durabilidad; resistente a impactos.	Mayor reflectancia interna; difícil pulido.	Conectores industriales o de campo.
<b>Bronce Niquelado / Latón</b>	Dureza media (150–250 HV); buen mecanizado.	Bajo costo; resistente a corrosión.	Menor precisión geométrica; desgaste elevado.	Conectores económicos o temporales.
<b>Plásticos De Ingeniería (Peek, Pps, Lcp)</b>	Dureza 80–100 HV; expansión 50–70×10 <sup>-6</sup> /K.	Livianos; dieléctricos; económicos.	Baja estabilidad térmica y dimensional.	Conectores MPO, bajo costo o consumo.
<b>Compuestos Híbridos (Cerámica + Polímero)</b>	Propiedades intermedias; según proporción.	Equilibrio costo-precisión; menor peso.	Sensibles al envejecimiento térmico.	Conectores compactos y automatizados.

- **Tolerancias mecánicas y concentricidad**

El rendimiento óptico de un conector depende directamente de las tolerancias mecánicas de la férula. En conectores monomodo, el diámetro del orificio (bore) se controla dentro de  $\pm 0,5 \mu\text{m}$ , y la concentricidad (desalineación entre el orificio y el eje exterior) debe mantenerse inferior a  $1 \mu\text{m}$  [44].

La forma, redondez y rugosidad superficial influyen en la estabilidad del acoplamiento y en la repetibilidad durante múltiples ciclos de conexión, la Tabla 3 presenta valores típicos de tolerancia mecánica en férulas de distintos tipos.

*Tabla 3 Tolerancias Mecánicas Típicas en Férulas Ópticas [44]*

<b>Parámetro Geométrico</b>	<b>Valor Típico (Monomodo)</b>	<b>Valor Típico (Multimodo)</b>	<b>Importancia Funcional</b>
<b>Diámetro Del Orificio (Bore)</b>	$125 \pm 0,5 \mu\text{m}$	$127 \pm 1 \mu\text{m}$	Alinea el núcleo de la fibra.

<b>Diámetro Exterior (Od)</b>	2,499 ± 0,5 μm (LC), 2,499 ± 1 μm (SC)	Igual rango	Ajuste mecánico en receptáculo.
<b>Concentricidad Del Orificio</b>	≤ 1,0 μm	≤ 2,0 μm	Reduce pérdidas por desalineación lateral.
<b>Excentricidad Angular</b>	≤ 0,3°	≤ 0,5°	Minimiza reflexión y pérdida de retorno.
<b>Rugosidad Superficial</b>	≤ 50 nm Ra	≤ 100 nm Ra	Mejora contacto óptico y reduce IL.

- **Acoplamiento óptico**

El acoplamiento óptico depende del alineamiento axial y angular de las férulas, de la calidad del pulido de la cara final y del control de las tolerancias mencionadas.

Un desalineamiento lateral de tan solo 1 μm puede generar pérdidas superiores a 0,3 dB, especialmente en fibras monomodo. El pulido controlado (PC, APC o UPC) permite mejorar la reflexión y garantizar una pérdida de retorno > 55 dB [45].

Según Senko (2023), parámetros como el radio de curvatura, el desplazamiento del ápice y la altura de fibra influyen directamente en la estabilidad del acoplamiento [45]. Además, el comportamiento térmico del material de la férula y su resistencia al desgaste determinan la fiabilidad a largo plazo.

Por tanto, una combinación equilibrada entre material de alta calidad, tolerancias precisas y un acabado superficial controlado es esencial para mantener un enlace óptico estable y reproducible durante toda la vida útil del conector.

### **2.4.3. Mecanismos de Pérdida en el Empalme/Conexión**

En los sistemas de transmisión por fibra óptica, los empalmes y conexiones representan puntos críticos donde se concentran las pérdidas adicionales al propio medio de propagación. Estas pérdidas dependen tanto de factores geométricos y ópticos como de la calidad del proceso de alineación, los materiales utilizados y las condiciones ambientales. A continuación, se describen los principales mecanismos de pérdida y las medidas que se aplican para minimizarlas, a fin de garantizar una transmisión eficiente y estable.

## **Evaluación de Desalineaciones Geométricas en Ejes: Lateral, Axial y Angular**

El desalineamiento ocurre cuando los ejes ópticos de las fibras no coinciden perfectamente durante la unión o conexión.

- **Desalineamiento lateral (offset):** desplazamiento transversal entre núcleos.
- **Separación axial (gap):** espacio entre las caras de las fibras.
- **Desalineamiento angular (tilt):** inclinación entre ejes.

Cada tipo de desalineamiento genera pérdidas de inserción (IL) proporcionales al grado de desviación. Por ejemplo, un desplazamiento lateral de 1  $\mu\text{m}$  puede inducir pérdidas de  $\sim 0,3$  dB en fibras monomodo [46]. Estas pérdidas se reducen aplicando técnicas de alineación activa en empalmes por fusión, uso de férulas de precisión ( $< 1 \mu\text{m}$  de excentricidad) y conectores de alta calidad con control geométrico estricto. El uso de adhesivos de baja contracción y alineadores automáticos en los sistemas de conectorización robotizada también contribuye a minimizar este tipo de pérdida.

## **Incompatibilidad de Modo de Campo y Variaciones Geométricas**

La incompatibilidad del diámetro del modo de campo (Mode Field Diameter, MFD) ocurre cuando las dos fibras presentan diferencias en sus propiedades geométricas o de índice de refracción. Este desajuste provoca que parte de la potencia óptica no sea acoplada al modo fundamental de la segunda fibra, generando pérdidas irreversibles [46].

### **Medidas de reducción:**

- Empalmar fibras del mismo tipo y fabricante (evitar empalmar G.652 con G.655 sin transición).
- Emplear fusiones con control adaptativo de arco, que ajustan el calentamiento según el MFD detectado.
- Uso de fibras de transición (matching fibers) o gel indexado para compensar pequeñas diferencias modales.

## **Efectos de la Separación de Caras ('Gap') y la Reflexión de Fresnel en Enlaces Ópticos**

La presencia de una separación axial (gap) entre las fibras o entre la fibra y el conector puede generar pérdidas por expansión del haz y por reflexión Fresnel en la interfaz. Al existir un espacio de aire o distinto índice refractivo entre dos fibras acopladas, parte del haz se dispersa antes de entrar en la segunda fibra, incrementando la pérdida. Además, la reflexión en la interfaz puede generar retornos de señal que afectan la calidad del enlace [9]. Este mecanismo es especialmente relevante en conexiones mecánicas o donde el control del acabado de las caras es deficiente.

Medidas de mitigación:

- Uso de geles indexados (index-matching gel) para eliminar el espacio de aire.
- Pulido controlado tipo UPC (Ultra Physical Contact) o APC (Angled Physical Contact), que asegura contacto físico entre fibras y reduce la reflexión ( $< -55$  dB de retorno).
- Control de la presión de acoplamiento y mantenimiento de férulas libres de contaminación y residuos.

## **La Rugosidad Superficial y del Pulido en el Rendimiento de Interconexiones Ópticas**

El acabado de la cara final de la fibra en el empalme o conector determina en gran medida la pérdida de acoplamiento. Imperfecciones como micro-rasguños, residuos, altura de fibra (undercut) o radio de la cara pueden incrementar la pérdida de inserción y la variabilidad del enlace con el tiempo, el principio se aplica también a la unión de fibras convencionales: menos imperfecciones implican menor dispersión no guiada y menor reflexión. En estudios de fibras huecas se destaca que “la reducción de la rugosidad superficial de la estructura interna reduce considerablemente la atenuación” [47].

Medidas correctivas:

- Aplicar pulido con discos diamantados finos ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ).
- Control de parámetros geométricos como radio de curvatura ( $R \approx 10\text{--}25 \text{ mm}$ ) y altura de fibra ( $\leq 50 \text{ nm}$ ) [4].

- Limpieza en ambiente controlado ISO 7-8 y verificación mediante interferometría 3D para cada conector.

### **Impacto de las Variaciones Térmicas, Mecánicas y del Envejecimiento en enlaces ópticos**

Las condiciones externas cambio de temperatura, vibraciones, ciclos de acople/desacople afectan la estabilidad del empalme/conexión. Materiales de férula que se expanden, contracción de adhesivos o movimiento de la fibra pueden inducir micro-desalineamientos, variaciones en el gap o degradación del pulido, incrementando pérdidas a lo largo del tiempo [43]. Este fenómeno refuerza la necesidad de considerar no solo la pérdida inicial sino la degradación con el uso.

#### **Medidas de mitigación:**

- Uso de férulas cerámicas de  $ZrO_2$  (coef. de expansión  $\sim 10 \times 10^{-6} /K$ ) y adhesivos epóxicos estables.
- Diseño de conectores con mecanismos anti-vibración o resortes de compensación.
- Mantenimiento preventivo y reemplazo periódico tras determinado número de ciclos ( $> 500$  acoples [43]).

### **Pérdidas Intrínsecas Intensificadas en Uniones Ópticas**

Aunque el foco de este apartado es el empalme/conexión, es relevante mencionar que algunas pérdidas son intrínsecas al medio (absorción, dispersión, radiación, etc.) y pueden intensificarse en la zona de unión debido a defectos o micro-deformaciones generadas durante el empalme o el mecanizado de la férula/conector [36]. De este modo, un empalme de calidad deficiente puede aumentar la contribución de pérdidas intrínsecas al rendimiento global.

#### **Medidas preventivas:**

- Control automatizado del arco de fusión y monitoreo por imagen de la unión.
- Inspección con OTDR para verificar la atenuación de cada empalme.
- Mantener alineadores y portafibras limpios y calibrados antes de cada operación.

El empleo de férulas de precisión, técnicas de pulido avanzado, acoplamientos APC, y la verificación con instrumentos ópticos de alta resolución permiten alcanzar pérdidas menores a 0,2 dB por conexión, cumpliendo los estándares de telecomunicaciones modernas (ITU-T G.652 / IEC 61754), en la Tabla 4 resume los mecanismos de pérdida y medidas de mitigación.

*Tabla 4 Mecanismos de Pérdida y Medidas de Mitigación*

<b>Mecanismo</b>	<b>Causa Principal</b>	<b>Pérdida Típica (Db)</b>	<b>Medidas De Mitigación</b>
<b>Desalineamiento Lateral</b>	Núcleos no coinciden	0,2–0,5	Alineación activa, férulas de precisión, adhesivos estables.
<b>Desalineamiento Angular</b>	Inclinación de ejes	0,1–0,3	Control angular, férulas APC.
<b>Separación Axial (Gap)</b>	Espacio aire o polvo	0,1–0,4	Pulido UPC/APC, gel indexado.
<b>Mismatch Del Modo De Campo</b>	Diferencia en MFD	0,1–0,2	Empalme adaptativo, fibras equivalentes.
<b>Rugosidad / Contaminación</b>	Pulido deficiente	0,1–0,6	Limpieza óptica, control interferométrico.
<b>Variaciones Térmicas / Mecánicas</b>	Expansión o vibración	0,1–0,3	ZrO <sub>2</sub> , epóxicos estables, conectores reforzados.

## **2.5. Tecnologías Pasivas de las Redes Ópticas (GPON)**

### **2.5.1. Inicio y Evolución de la Tecnología GPON**

El sector de investigación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) comenzó a trabajar en el tema GPON en 2002, con el propósito de ofrecer un mayor ancho de banda y soporte para el transporte de IPTV.

La estandarización de la tecnología GPON fue posible gracias a las actualizaciones desarrolladas en 2003 y 2004. Para integrar esta tecnología en una infraestructura física de fibra óptica existente, se deben seguir las Recomendaciones ITU-T G984.X.

Actualmente, las redes GPON han evolucionado hacia variantes mejoradas, capaces de alcanzar mayores tasas de transmisión de datos como se muestra en la tabla 5. Un ejemplo es la tecnología XG-PON, estandarizada en 2010, que ofrece velocidades entre 2.5 y 10 Gbps. Por su parte, la tecnología XGS-PON fue estandarizada en 2016, permitiendo velocidades de hasta 10 Gbps en ambas direcciones.

*Tabla 5 Tecnología GPON y sus Velocidades de Transmisión [48]*

	GPON Gigabit PON	XG-PON 10 Gigabit PON	XGS-PON Symmetric XG- PON	NG-PON2 NextGen PON2
Upstream (nm)	1260 – 1360	1260 – 1280	1260 – 1280	1524 – 1544 1532 - 1540
Downstream (nm)	1480 – 1500	1575 – 1580	1575 – 1580	1596 – 1603
Video (nm)	1530 – 1565	1530 – 1565	-	-
Subida (Gbps)	1.2	2.5/10	10	40
Bajada (Gbps)	2.5	10	10	40

## 2.5.2. Funcionamiento de la Tecnología GPON

La tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network) es una solución de red basada en fibra óptica que permite la transmisión de datos a altas velocidades, utilizando un diseño de red pasivo que reduce la necesidad de componentes activos intermedios entre el proveedor y el usuario final.[2] Su funcionamiento se basa en los siguientes principios clave:

### Arquitectura de Red

Su arquitectura se basa en componentes pasivos, lo que significa que entre el proveedor y el usuario final no se requieren elementos activos (como amplificadores o repetidores). [3] La arquitectura de una red GPON incluye los siguientes elementos:

- **Optical Line Terminal (OLT)**  
Se encuentra en la central del proveedor de servicios.  
Es el punto de partida de la red GPON. El OLT se encarga de gestionar el tráfico de datos, video y voz hacia y desde los usuarios finales. Convierte las señales eléctricas en ópticas para su transmisión por la fibra y viceversa.
- **Red de Distribución Óptica (ODN)**  
Incluye la fibra y los divisores ópticos pasivos (splitters).  
Conecta el OLT con los Optical Network Units (ONUs) o Optical Network Terminals (ONTs) en los hogares o empresas de los usuarios.
- **Divisores Ópticos Pasivos (Splitters)**  
Pueden estar instalados en armarios de distribución, cámaras subterráneas o postes.  
Dividen la señal óptica procedente del OLT en múltiples señales para servir a varios usuarios. Por ejemplo, un splitter 1:32 divide la señal en 32 partes iguales.  
Al ser pasivos, no requieren alimentación eléctrica ni mantenimiento activo.
- **Optical Network Unit (ONU) / Optical Network Terminal (ONT)**  
Estas se ubican en las instalaciones del usuario final. Termina la red óptica y proporciona interfaces para los servicios (Internet, voz, video). Convierte las señales ópticas en eléctricas y viceversa para interactuar con los dispositivos del usuario (computadoras, teléfonos, televisores).

## 2.6. Evaluación de la Atenuación y Calidad del Enlace Óptico

La evaluación de la calidad de un enlace óptico es esencial para garantizar el correcto funcionamiento de las redes de acceso pasivo, como GPON (Gigabit Passive Optical Networks). Los parámetros clave que deben verificarse en todo enlace óptico son la atenuación total, la pérdida de retorno (Return Loss), la reflectancia localizada, y en algunos casos, la dispersión. Estos parámetros permiten verificar que el enlace cumple con los márgenes establecidos por las normas

internacionales, tales como ITU-T G.984.2, que define el presupuesto óptico para enlaces GPON Clase B+, C+, entre otros.

Esta evaluación se realiza mediante el uso de instrumentos especializados y métodos de prueba estandarizados. Es fundamental que las mediciones sean confiables, lo cual se logra con una calibración adecuada de los equipos y una correcta ejecución de los procedimientos de inspección y limpieza previos a cualquier prueba.

### **2.6.1. Instrumentación de Medición de la Calidad de Enlaces Ópticos**

La evaluación de enlaces ópticos implica la utilización de varios instrumentos especializados, tanto en entornos de laboratorio como en campo:

- **Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR)**

El OTDR es un equipo esencial para el análisis y diagnóstico de enlaces de fibra óptica. Funciona enviando pulsos de luz por la fibra y midiendo la señal de retrodispersión que retorna desde puntos de discontinuidad. A partir de esta información, genera una traza gráfica que permite identificar eventos como empalmes, conectores, curvaturas excesivas o roturas, y calcular su ubicación exacta y nivel de pérdida asociada.

El OTDR se emplea principalmente en pruebas de instalación, mantenimiento y localización de fallas, siendo una herramienta clave para redes GPON, donde las distancias pueden ser considerables y los eventos múltiples. Su capacidad para medir la pérdida acumulada y la reflectancia lo convierte en un equipo indispensable para técnicos de campo y laboratorios especializados [49], en la Figura.15 se muestra el principio de medición de un OTDR.



*Figura 15. Principio de medición del OTDR*

- **La OLTS (Optical Loss Test Set)**

Está compuesto por una fuente de luz estable y un medidor de potencia óptica calibrado. Se utiliza para medir la pérdida de inserción (Insertion Loss, IL) de forma precisa y reproducible entre dos extremos del enlace. Este método es fundamental para certificar que un enlace cumple con los requisitos de pérdida máximos permitidos por los estándares GPON.

Para realizar la medición, se conecta la fuente óptica en un extremo y el medidor en el otro, con cables de referencia normalizados. El OLTS proporciona resultados exactos sobre la pérdida real del canal, siendo una técnica preferida para certificación final tras instalación o mantenimiento correctivo [49].

- **Medidor de Potencia Óptica (OPM)**

El medidor de potencia óptica es un instrumento portátil que mide directamente la potencia óptica (en dBm o mW) que llega al receptor. Se emplea para verificar el nivel de potencia recibido en ONT (terminal óptica de red) o desde el OLT (terminal de línea óptica) en redes GPON.

Estos equipos deben estar calibrados a las longitudes de onda correspondientes (1310, 1490 y 1550 nm). Son particularmente útiles para confirmar si el nivel de señal óptica se encuentra dentro de los límites definidos por el fabricante del equipo o por la norma ITU-T G.984 [50].

- **Medidor PON Pasante**

Este tipo de medidor está diseñado específicamente para redes GPON. Se conecta entre la ONT y el splitter óptico o la toma de abonado, permitiendo medir las potencias de transmisión y recepción sin interrumpir el servicio. El dispositivo incluye filtros ópticos que separan las señales en las longitudes de onda GPON estándar (1310 nm para subida, 1490 nm para bajada y 1550 nm para video).

El medidor PON pasante permite verificar en tiempo real que el puerto OLT está transmitiendo correctamente y que la ONT recibe niveles adecuados de señal, siendo una herramienta imprescindible durante la activación y diagnóstico de servicios en campo [50].

- **Microscopio Digital Óptico**

La inspección visual de conectores ópticos es obligatoria antes de realizar cualquier medición, instalación o reconexión. El microscopio digital óptico permite visualizar contaminantes como polvo, grasa o rayones en la férula del conector. A diferencia de los microscopios analógicos, estos dispositivos digitales permiten capturar imágenes, realizar zoom en pantalla, aplicar filtros de análisis y almacenar evidencias para informes técnicos.

Estos microscopios son compatibles con normas como IEC 61300-3-35, que establecen los criterios de aceptabilidad de la superficie del conector. Su uso garantiza que no se introduzcan pérdidas por contaminación en la interfaz óptica ni se dañe el puerto del equipo receptor [51].

## **2.6.2. Métodos de Medición por Inserción y Pérdida por Retorno Óptico**

Los métodos empleados para evaluar cuantitativamente la calidad de un enlace óptico están basados en la medición de parámetros como la pérdida de inserción (IL) y la reflectancia. Las metodologías más utilizadas en redes ópticas pasivas como GPON son el método por inserción y el método por reflexión. Ambas técnicas son complementarias y se aplican en diferentes etapas del proceso de verificación, certificación o mantenimiento del sistema.

- **Método de Inserción (IL)**

Este método consiste en medir la potencia óptica transmitida a través del enlace bajo prueba, comparándola con una referencia inicial. La pérdida de inserción se calcula como la diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida, expresada en decibelios (dB) mediante la fórmula:

$$IL = P_o - P_1$$

*Ecuación 9: Pérdida de Inserción*

Donde:

$P_o$  es la potencia de referencia (sin enlace).

$P_1$  es la potencia con el enlace conectado.

Este procedimiento, contemplado en normas como IEC 61280-4-1 y TIA-526-7-A, es ideal para certificar la pérdida total del enlace. Un aspecto crítico en este tipo de medición es el estado de limpieza de los conectores ópticos. La presencia de polvo, grasa o rayones microscópicos puede incrementar la pérdida de inserción en valores de hasta 0.5 dB o más por conector afectado, superando fácilmente los límites de aceptación establecidos. Estos defectos, además, pueden causar daños permanentes si entran en contacto con los receptores ópticos. Por esta razón, la inspección visual previa mediante microscopio y la limpieza conforme a IEC 61300-3-35 es obligatoria antes de realizar cualquier medición [51].

- **Método por Reflexión (Reflectometría)**

La reflectometría óptica se basa en el análisis de la señal retrodispersada que retorna al equipo tras el envío de un pulso de luz a través del enlace. A diferencia del método de inserción, el OTDR no mide directamente la pérdida total, sino que genera una traza gráfica del enlace que muestra la ubicación y la magnitud de cada evento óptico (conectores, empalmes, curvaturas, roturas, etc.) [49].

Este método es altamente efectivo para:

1. Detectar la ubicación exacta de una pérdida anormal.
2. Verificar la continuidad del enlace.
3. Identificar eventos reflectivos que podrían afectar la estabilidad del sistema.

4. Medir la longitud de la fibra instalada.

Es importante destacar que conectores contaminados o defectuosos generan eventos reflectivos claramente visibles en la traza del OTDR, generalmente caracterizados por picos abruptos de reflectancia seguidos de pérdidas localizadas. Estos eventos permiten identificar rápidamente si un conector necesita limpieza o sustitución.

Se realiza una tabla 6 comparativa detallada entre los métodos de medición por inserción (IL) y por reflexión (OTDR) permite visualizar claramente las diferencias funcionales, operativas y técnicas entre ambas metodologías.

*Tabla 6 Comparativa entre el Método de Medición por Inserción (IL) y por Reflexión (OTDR)*

<b>Criterio de Comparación</b>	<b>Método por Inserción (IL)</b>	<b>Método por Reflexión</b>
<b>Tipo de medición</b>	Absoluta	Relativa
<b>Propósito principal</b>	Medir pérdida total del enlace	Analizar eventos a lo largo del enlace
<b>Instrumento Requerido</b>	OLTS	OTDR
<b>Precisión en pérdida total</b>	Alta ( $\pm 0.2-0.3$ dB)	Moderada a buena (depende de configuración)
<b>Detección de conectores sucios</b>	Si, mediante pérdidas anómalas	Si, como eventos reflectivos
<b>Identificación de empalmes defectuosos</b>	No directamente	Si, claramente visible en la traza
<b>Requiere limpieza previa de conectores</b>	Si	Si

### **2.6.3. Incertidumbre y Calibración de Equipos**

La confiabilidad de las mediciones ópticas depende no solo del procedimiento y del estado físico de los conectores, sino también de la calidad metrológica de los instrumentos utilizados. En

este sentido, la incertidumbre de medición representa una estimación cuantitativa de la posible desviación entre el valor medido y el valor verdadero, siendo un parámetro fundamental para la trazabilidad y validez de los resultados obtenidos en campo o laboratorio.

De acuerdo con la norma IEC 61746-1, los fabricantes y laboratorios deben garantizar procedimientos de calibración para equipos de reflectometría y potencia óptica que aseguren una trazabilidad metrológica verificable a patrones internacionales (como los establecidos por el NIST o equivalentes). Estos procedimientos permiten definir márgenes de error aceptables y establecer intervalos de calibración recomendados (usualmente cada 12 a 24 meses) [52].

La incertidumbre no solo debe ser considerada durante el proceso de certificación, sino también documentada en informes técnicos y registros de validación. Para minimizar su impacto, se deben seguir las siguientes prácticas:

- Verificación previa de los equipos antes de cada jornada de medición.
- Uso de cables y conectores de referencia de baja pérdida ( $<0.2$  dB).
- Limpieza rigurosa de todas las interfaces ópticas.
- Repetición de mediciones y cálculo de promedios en caso de discrepancias.
- Conservación de certificados de calibración vigentes.

La adecuada gestión de la incertidumbre garantiza que las decisiones técnicas basadas en las mediciones —como la aceptación de un enlace, el diagnóstico de una falla o el rechazo de un tramo— se realicen con fundamento técnico sólido y dentro de los márgenes de tolerancia internacionalmente aceptados.

## **2.7. Impacto de la Contaminación en Conectores Ópticos**

La contaminación en los conectores de fibra óptica representa una de las principales causas de pérdida de rendimiento y fallas en los sistemas de transmisión óptica, especialmente en redes de acceso como GPON. Estudios técnicos recientes demuestran que hasta el 85 % de las pérdidas ópticas en instalaciones nuevas se deben a conectores contaminados o mal alineados [53].

Incluso una partícula microscópica puede obstruir parcial o completamente el núcleo de la fibra (de apenas 8–10  $\mu\text{m}$  en fibras monomodo), provocando atenuación excesiva, reflexión y posibles daños permanentes en el puerto óptico del equipo. Por este motivo, la norma IEC 61300-

3-35 establece un procedimiento estandarizado para la inspección y evaluación de conectores ópticos, dividiendo el área del conector en zonas críticas y definiendo el número y tamaño máximo de partículas permitidas según su ubicación [51].

En instalaciones profesionales, la inspección visual con microscopio óptico digital y la limpieza preventiva son prácticas obligatorias antes de realizar cualquier empalme, medición o conexión. La omisión de estas prácticas puede afectar la fiabilidad del enlace, invalidar mediciones y provocar retornos de señal que afectan la estabilidad del sistema óptico.

### **2.7.1. Tipos de Contaminación en Conectores Ópticos**

En términos generales, la contaminación puede dividirse en cuatro categorías principales: seca, húmeda, mixta y estructural. Cada una posee características distintivas, mecanismos de aparición y efectos particulares sobre la transmisión óptica.

- **Contaminación Seca**

La contaminación seca o particulada está compuesta principalmente por polvo microscópico en suspensión, fibras sintéticas desprendidas de los revestimientos de los cables, cristales salinos provenientes de ambientes costeros o incluso fragmentos de férula generados por desgaste mecánico. Estas partículas tienden a depositarse en la cara del conector, especialmente si no se utiliza una tapa protectora o si se opera en ambientes con alto contenido de polvo en el aire. Debido a su tamaño variable, pueden bloquear parcial o totalmente el núcleo de la fibra (típicamente de 9  $\mu\text{m}$  en fibras monomodo), generando pérdidas superiores a 0.5 dB y reflexiones locales.

- **Contaminación Húmeda**

Se refiere a sustancias como aceites derivados del contacto humano (como el sebo natural de los dedos), residuos de solventes mal aplicados (por ejemplo, alcohol isopropílico), humedad condensada por cambios térmicos o incluso líquidos industriales. Este tipo de contaminación puede alterar el índice de refracción local, provocando acoplamientos imperfectos, dispersión de señal y variaciones

impredecibles en la pérdida de retorno. Su detección visual es más difícil, ya que muchas veces no deja marcas evidentes.

- **Contaminación Mixta**

Ocurre cuando partículas sólidas quedan atrapadas en una sustancia líquida sobre la superficie de la férula. Esto produce una adhesión fuerte, dificultando la limpieza y aumentando el riesgo de rayado si se intenta retirar con métodos inadecuados. Además, este tipo de contaminante puede comportarse de forma dinámica, desplazándose o evaporándose con el tiempo y generando fluctuaciones en la calidad del enlace óptico.

- **Contaminación Estructural o Daños Físicos**

Incluye imperfecciones como rayaduras, astillamientos, microgrietas o deformaciones en la férula del conector. Estas se originan generalmente por inserción forzada, uso de conectores previamente contaminados, o herramientas de inspección y limpieza inapropiadas. Si bien no se trata de contaminación en el sentido químico o físico-particulado, su efecto sobre la señal óptica puede ser igualmente severo, provocando dispersión, pérdida de alineación y posibilidad de daño mecánico al receptor óptico.

La detección de estos tipos de contaminación debe realizarse mediante inspección visual con microscopios digitales ópticos, en conformidad con la norma IEC 61300-3-35. Esta norma establece zonas de inspección en la cara del conector y define criterios de aceptabilidad basados en la cantidad, tamaño y posición de contaminantes [51].

## **2.7.2. Fuentes de Contaminación en Conectores Ópticos**

Las fuentes de contaminación en conectores ópticos son múltiples y, a menudo, pasan desapercibidas si no se aplican protocolos rigurosos de inspección, limpieza y manipulación. Identificar estas fuentes resulta esencial para prevenir fallas en la red y mantener niveles de atenuación dentro de los márgenes aceptables definidos por normas como la IEC 61300-3-35 y las recomendaciones ITU-T [51].

- **Entorno Ambiental**

El polvo es una de las fuentes de contaminación más comunes en ambientes donde los conectores están expuestos al aire. Las partículas de polvo pueden provenir del ambiente circundante, tanto de dentro de las instalaciones como del exterior, y se depositan en la superficie del conector cuando este es desconectado o manipulado sin protección. El polvo tiende a concentrarse especialmente en el área de contacto entre las caras de la fibra y la férula, lo que puede causar pérdidas de señal significativas. La norma IEC 61300-3-35 recomienda inspeccionar los conectores antes de cada acoplamiento para asegurarse de que no haya partículas visibles en la superficie. Incluso partículas microscópicas de 1 micrómetro pueden alterar el paso de la luz, causando pérdidas de inserción de aproximadamente 0,05 dB.

Un estudio de Corning [54], la contaminación por polvo puede generar un aumento de hasta 3 dB en la pérdida de inserción si no se realiza una limpieza adecuada. Este tipo de contaminación es prevenible mediante el uso de tapas protectoras (dust caps) y la inspección visual regular con microscopios de alta resolución. Además, la norma IEC 61300-3-35 establece que se debe limpiar el conector antes de cada uso para asegurar la mínima intervención de partículas del ambiente.

- **Manipulación Humana**

El contacto manual con los conectores ya sea durante la instalación o mantenimiento, puede dejar residuos de aceite o huellas dactilares. Estos contaminantes son especialmente dañinos, ya que crean una capa aceitosa sobre la superficie de la fibra, lo que disminuye la eficiencia del acoplamiento óptico. El aceite no es visible a simple vista, pero puede alterar de manera significativa la pérdida de retorno, incrementándola entre 5 dB y 10 dB. La fatiga del conector también puede ocurrir, afectando las conexiones a largo plazo debido al efecto de estos residuos.

La norma IEC 61300-3-35 estipula que la superficie del conector debe ser inspeccionada visualmente antes de ser acoplada, especialmente para verificar la ausencia de contaminantes aceitosos. En su manual, VIAVI Solutions recomienda

utilizar alcohol isopropílico para limpiar cualquier residuo de grasa o huellas dactilares antes de la medición, lo que permite restaurar la calidad de la señal.

- **Manejo y Procedimientos Inadecuados**

Durante las operaciones de limpieza, se utilizan comúnmente solventes como el alcohol isopropílico o productos específicos para la limpieza de fibra óptica. Si estos solventes no se evaporan completamente antes de acoplar el conector, pueden dejar residuos que alteran el índice de refracción de la superficie del conector, lo que genera reflexión no deseada. Esta reflexión incrementa la pérdida de retorno y puede afectar la calidad de la transmisión de la señal óptica. Además, los residuos pueden atraer más polvo y suciedad, creando un ciclo que afecta continuamente la calidad de la señal.

- **Capsulas de Polvo (dust caps) y Adaptadores Contaminados**

Las capsulas de polvo son comúnmente utilizadas para proteger las caras de los conectores cuando no están en uso. Sin embargo, algunos modelos de tapones de polvo pueden liberar pequeñas partículas plásticas o incluso causar abrasión durante el proceso de inserción y extracción, lo que introduce contaminantes en la superficie del conector. Además, los adaptadores de conectores pueden acumular residuos a lo largo del tiempo, especialmente si no se mantienen limpios después de múltiples conexiones.

La contaminación en estos componentes puede aumentar las pérdidas ópticas de manera significativa, ya que puede introducir microfisuras o partículas en el área de contacto entre las caras de la fibra y la férula, lo que afectará directamente el rendimiento del enlace. Corning recomienda el uso de adaptadores y tapas de polvo de alta calidad, diseñados específicamente para evitar el desprendimiento de partículas y asegurar que el conector esté protegido contra la contaminación ambiental [55].

- **Migración de Partículas Durante el Emparejamiento (Mating) o Conexión Repetida**

Cada vez que un conector se empareja con otro, las partículas presentes en la férula pueden migrar hacia el área activa del núcleo. Este fenómeno se observa especialmente en sistemas de conectores multifibra como MPO/MTP, donde el número de fibras y la proximidad entre ellas amplifican el riesgo de contaminación cruzada. Las partículas grandes pueden provocar desalineamientos temporales, afectando la calidad del acoplamiento y generando microcurvaturas que aumentan la pérdida de señal.

Un análisis reciente de VIAVI Solutions destacó que los conectores multifibra son particularmente vulnerables a la contaminación durante la instalación masiva de enlaces [56], ya que las fibras pueden mover partículas entre ellas, incrementando la pérdida por inserción y provocando fallos de transmisión. La recomendación es inspeccionar y limpiar cada conector individualmente antes de cada instalación para garantizar que no haya partículas presentes.

### **2.7.3. Dimensiones de las Partículas y su Influencia en las Pérdidas Ópticas.**

Las partículas contaminantes sobre la cara final de un conector interfieren con la transmisión de luz en el núcleo, incrementando tanto la pérdida de inserción (IL) como la de retorno (RL). Incluso una mota de solo 1  $\mu\text{m}$  de diámetro puede obstruir aproximadamente el 1 % del área del núcleo en fibra monomodo, causando cerca de 0,05 dB de pérdida. A medida que el tamaño crece, la fracción de área cubierta aumenta cuadráticamente: por ejemplo, una mota de  $\approx 5 \mu\text{m}$  ( $\approx 30\%$  del área de un núcleo SM de  $9 \mu\text{m}$ ) puede bloquear alrededor de un tercio de la luz (pérdidas de varios décimos a  $\approx 1$  dB), mientras que partículas de  $\approx 9\text{--}10 \mu\text{m}$  cubren todo el núcleo monomodo, bloqueando casi toda la señal. IEC 61300-3-35 Ed.3, norma internacional de inspección, prohíbe la presencia de partículas mayores a  $3 \mu\text{m}$  en la zona de núcleo de fibras monomodo UPC [57]

En la práctica, los valores típicos de la pérdida debida a la contaminación siguen estas clasificaciones:

$\approx 1\mu\text{m}$ :  $\sim 0.05\text{ dB}$  (1 %)

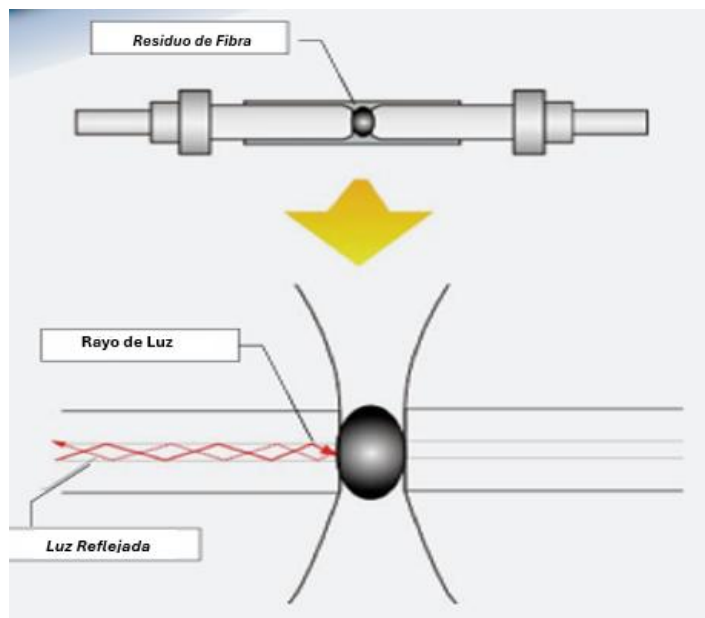
$\approx 5\mu\text{m}$ : del orden de 0,5 – 1 dB (bloqueo parcial significativo en SM).

$\approx 9 - 10\mu\text{m}$ : casi 100 % (nunca SM completo), IL muy alta o enlace caído.

IEC 61300-3-35 define zonas de inspección (core, cladding, adhesivo, férula). Para fibra monomodo UPC, Además, la norma distingue la ubicación: partículas en la zona de contacto (férula exterior) afectan menos, a menos que migren hacia el núcleo al conectar. El cumplimiento de estos criterios garantiza que la fracción del núcleo ocupada por partículas permanezca por debajo del límite tolerable para IL y RL especificados en aplicaciones GPON u otras redes [57].

### **La relación entre tamaño de partícula y área del núcleo explica el impacto:**

en SM ( $\sim 9\mu\text{m}$ ) una mota de  $5\mu\text{m}$  ocupa  $\sim 30\%$  del área, pero en MM ( $\sim 50\mu\text{m}$ ) solo  $\sim 1\%$ . Por tanto, una misma partícula causa IL mucho mayor en SM. Adicionalmente, partículas cerca del centro inducen mayores reflexiones (peor RL) debido a dispersión directa de la señal. Recapitulando, a mayor tamaño o cantidad y cuanto más centrada esté la contaminación, mayores pérdidas de inserción y retorno se obtienen [38], en la Figura 16 se muestra que el haz de luz no puede pasar debido a los contaminantes en la superficie terminal, lo que resulta en la reflexión de la luz.



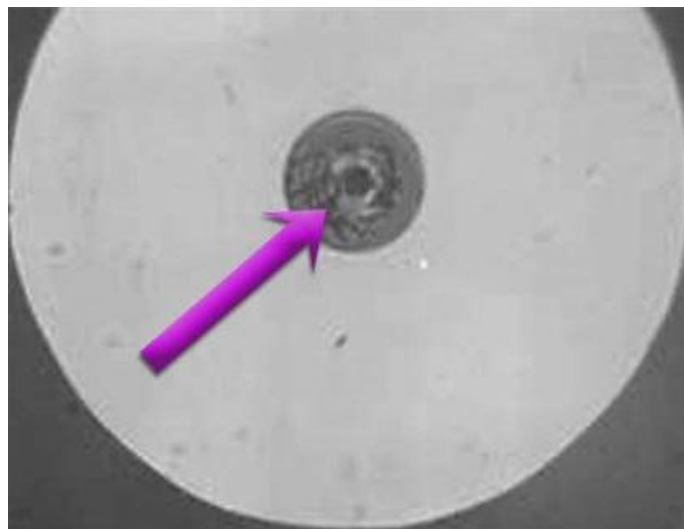
*Figura 16 Causa de la reflexión de la luz [38]*

## 2.7.4. Mecanismos de Daño y Efectos Asociados

Los conectores ópticos también pueden sufrir daños mecánicos que degradan la señal. Entre los más comunes se encuentran microgrietas en la fibra, arañazos o astillados en la cara final, deformaciones de la férula (p. ej. recortes o ralladuras) y quemaduras láser.

Las microgrietas (o roturas internas) pueden romper la continuidad de la fibra, provocando pérdidas extremadamente altas o interrupción total de la señal. Los arañazos y fosas cerca del núcleo provocan dispersión de la luz: aumentan la pérdida de inserción y crean fuerte retro-reflexión [58], [38].

Las deformaciones (como un pulido irregular o bordes fileteados) impiden el contacto óptimo entre férulas, causando desalineación (offset entre núcleos) y brechas de aire, lo que eleva tanto IL como RL. Finalmente, las quemaduras por láser ocurren cuando un láser de alta potencia incide sobre contaminantes residuales: la partícula absorbe la energía, funde el vidrio y crea un cráter y burbujas en el núcleo [58], incrementando dramáticamente las pérdidas e incluso provocando reflexiones intensas. En la Figura 17 se ve un daño por quemadura láser en la cara final de un conector de fibra flecha indica el cráter central. La luz láser funde los contaminantes, generando depósitos oscuros y burbujas de vidrio.



*Figura 17. Daños en la cara final debido al laser [58].*

Estos defectos suelen originarse en prácticas inadecuadas: limpieza deficiente (uso de toallas ásperas o alcohol impuro que dejan residuos), acoplamientos incorrectos [58], exceso de presión al conectar o manipular, y uso de herramientas inapropiadas cepillos no diseñados, paños con partículas. Al conectar, partículas duras pueden convertirse en arañazos permanentes por presión. El ensuciar y luego frotar puede crear grietas microscópicas y pits. Estos defectos deterioran la alineación mecánica de los núcleos, incrementan la retro-reflexión y reducen drásticamente la transmisión óptica, comprometiendo el desempeño de redes GPON u otras de alta velocidad [38].

## **2.8. Inspección Visual Mediante Lentes de Alta Resolución**

La inspección visual es una etapa crítica en la verificación de la integridad óptica de los conectores de fibra, ya que permite identificar contaminación, daños físicos e imperfecciones que afectan directamente la pérdida por inserción (IL) y la pérdida de retorno (RL). Diversos estudios muestran que más del 80 % de los fallos en enlaces ópticos se deben a conectores contaminados o defectuosos, lo que convierte a la inspección en un procedimiento obligatorio antes de cualquier medición, acoplamiento o puesta en servicio [38].

La norma IEC 61300-3-35 establece metodologías estandarizadas para evaluar el estado de los conectores, dividiendo la cara de la férula en zonas específicas y definiendo criterios de aceptabilidad para partículas, rayaduras y defectos. La inspección mediante microscopios de alta resolución garantiza que estos criterios se cumplan y que el enlace opere dentro de los rangos de calidad exigidos por aplicaciones como GPON, DWDM o redes Empresariales [51].

### **2.8.1. Microscopios e Instrumentos**

La inspección visual se realiza mediante dispositivos especializados diseñados para observar la cara del conector con aumentos entre 200× y 400×, permitiendo visualizar partículas de apenas 1–2 μm. Los instrumentos más utilizados son:

- **Microscopios Manuales Portátiles**

Son visores de fibra sencillos (tipo “fibroscopio” o lente de 200–400×) que suelen conectarse a un pequeño display o directamente a un puerto de un multímetro óptico. Ofrecen aumentos típicos de 200× (mínimo) y permiten verificar visualmente el núcleo y revestimiento. Requieren adaptadores específicos según el tipo de conector (LC o SC/APC, MTP) [51].

- **Microscopios Digitales de Mano (Portable USB)**

Integran una cámara de alta resolución y pantalla LCD o conexión a PC, Estos ofrecen iluminador coaxial LED y hasta 400–600×, con software en laptop o aplicación para capturar y almacenar imágenes.

- **Analizadores Automáticos de Conectores (inspection probes)**

Estos equipos de marcas tienen un enfoque automático que realizan una identificación inteligente de las áreas contaminadas según la norma IEC, con almacenamiento interno para capturar evidencia para reportes.

En la práctica de campo y laboratorio es habitual utilizar sondas portátiles con microscopio digital, como subraya la norma, la inspección previa y posterior a la limpieza es imprescindible para asegurar conexiones libres de contaminantes [51].

## **2.8.2. Procedimientos de Captura y Análisis**

El procedimiento típico de inspección visual de un conector de fibra incluye los siguientes pasos ordenados:

- 1. Preparación de Seguridad:**

Apagar siempre la fuente láser u óptica antes de retirar el conector [59]. Hay que confirmar que la fibra está desconectada y montar los lentes de seguridad si es necesario.

## **2. Retirar Protección:**

Destapar el conector y guardar la tapa en un recipiente limpio. Identificar el tipo de conector (SC, LC, MPO, etc.) y seleccionar la punta o adaptador adecuado para el microscopio o sonda [59].

## **3. Fijar y Enfocar:**

Insertar el conector en el adaptador del microscopio o colocar la sonda de mano en él. Ajustar el anillo de enfoque hasta obtener una imagen nítida del extremo de fibra (comprobando tanto núcleo como zonas circundantes) [59]. En equipos automáticos, el enfoque puede ser guiado por software.

## **4. Captura de Imagen**

Adquirir la imagen del extremo con la cámara del equipo. Se puede optar por fotografía manual (cámara del microscopio) o iniciar el software de inspección para análisis automático. En todo caso, revisar visualmente la foto en busca de partículas sueltas, arañazos o residuos en las zonas A–B–C–D [59].

## **5. Limpieza y Reinspección**

Si se detecta contaminación, limpiar con el método adecuado (toallita, limpiador de casete, etc.) y repetir la inspección. Según las mejores prácticas, tras cada limpieza se debe reinspeccionar para confirmar la eliminación de suciedad [59].

## **6. Evaluación PASS/FAIL**

Conectando el microscopio al software (e.g. FiberChekPRO o FI-7000), el sistema analiza automáticamente la imagen comparando los defectos con los criterios IEC 61300-3-35 [57].

## **7. Registro de Resultados:**

Guardar las imágenes y los informes de PASS/FAIL junto con la documentación de la prueba (por ejemplo, la pérdida de inserción medida). Esto permite certificar que cada terminación fue inspeccionada antes del enlace final [57].

## 2.9. Limpieza y Mantenimiento de Conectores de Fibra Óptica

La limpieza y el mantenimiento adecuados de los conectores de fibra óptica son procesos fundamentales para garantizar la calidad de los enlaces ópticos. Diversos estudios y normativas, como la IEC 61300-3-35, han demostrado que la mayoría de los fallos en redes ópticas están relacionados con contaminación en los conectores [57]. Por lo tanto, el mantenimiento preventivo y el uso de métodos y herramientas apropiadas son esenciales para preservar el rendimiento, evitar pérdidas innecesarias y alargar la vida útil de los equipos ópticos.

### 2.9.1. Métodos de Limpieza aplicados en Conectores Ópticos

Existen varios enfoques principales de limpieza, la elección entre uno u otro depende del tipo de contaminación detectada en la cara del extremo del conector y las recomendaciones del fabricante del conector o el equipo.

- **Limpieza en Seco**

La limpieza en seco se realiza frotando la cara del conector con una toalla o hisopo seco de baja fibra (sin pelusa). Es un método común de usar en campo debido a su rapidez y facilidad de uso, sin embargo, resulta complicado eliminar toda la contaminación y se genera una carga electrostática que atrae polvo posteriormente [60]. La práctica estándar (IEC/TR 62627-01) indica que limpiar *solo en seco* puede dejar residuos de contaminantes y una carga estática residual que reduce la eficacia a largo plazo [61].

- **Limpieza en Húmedo**

Esta limpieza consiste en aplicar un disolvente (habitualmente alcohol isopropílico de alta pureza  $\geq 99\%$ ) sobre el extremo del conector antes de limpiarlo. El disolvente ayuda a disolver aceites y suciedad incrustada. Se debe usar con cuidado: tras frotar se debe secar completamente el conector para no dejar rastros de solvente que puedan provocar contaminación cruzada. Las directrices de la industria advierten que el IPA por sí solo no limpia todos los tipos de suciedad, por lo que suele usarse en combinación con paños o hisopos especiales [61].

- **Limpieza Combinada (Húmedo-Seco)**

Es la práctica más recomendada, se humedece ligeramente una toallita o hisopo limpio con alcohol o con un solvente antiestático, se frota la cara del conector y a continuación se seca inmediatamente con una toallita sin disolvente [61]. De este modo, el solvente disuelve los contaminantes y disipa la carga estática, y el paño o hisopo elimina físicamente la suciedad y seca el exceso de líquido.

Según la IEC 61300-3-35, si un conector falla la inspección visual debe someterse a este proceso combinado y luego reinspeccionarse. Este método profundo garantiza que las fibras queden limpias sin generar efectos secundarios de carga estática [61].

## 2.9.2. Herramientas, Materiales y Consumibles Recomendados

La efectividad de la limpieza depende en gran medida del uso de herramientas y materiales certificados:

- **Limpiadores tipo “one-click”**

El limpiador One-Click (Figura 18) incorpora una cinta óptica que avanza con un solo empuje, limpiando eficazmente la cara del conector (SC, FC, etc.). Estos limpiadores brindan resultados consistentes y son indispensables para técnicos de campo.



*Figura 18. Limpiadores "one-click"*

- **Casetes de Limpieza (“tape cassettes”)**

Son pequeñas herramientas de caja con papel de limpieza en cinta. Son similares a los limpiadores “one-click” pero en formato de casete desechable (Figura 19); permiten limpiar conectores en adaptadores o puertos fijos.



*Figura 19 Casetes de Limpieza*

- **Toallas sin Pelusa e Hisopos Especiales**

Las toallas de algodón de alta pureza y bastoncillos con punta de espuma o fieltro (Figura 20). Se usan para la limpieza en húmedo (impregnadas con IPA) o seca. El material debe ser antirrayado y no dejar residuos. El uso de alcohol isopropílico >99% es común para humedecer este tipo de material.



*Figura 20 Toallas sin pelusa e hisopos especiales*

- **Alcohol Isopropílico Anhidro**

Disolvente de elección. Debe ser de alta pureza (>99%) y libre de aditivos para no dejar residuos. Se usa en lápices dosificadores o dosificador de pulso (Figura 21). Se deben seguir las normas de seguridad: manejarlo con guantes, en ambiente ventilado y evitar fuentes de ignición.



*Figura 21* Dosificador de Alcohol isopropílico

- **Equipos de Inspección**

Microscopios ópticos portátiles (como se muestra en la Figura 22) o de banco con adaptadores para SC/LC. Estos dispositivos permiten verificar que la fibra esté limpia antes y después de la limpieza. También se recomiendan medidores de potencia óptica y OTDR para validar el enlace tras la limpieza.



*Figura 22 Microscopio de Inspección de fibra de aumento de 400X*

- **Herramientas de Fabricantes**

Los kits completos de limpieza de fabricantes como Fluke Networks, VIAVI o EXFO. Por ejemplo, Fluke ofrece sistemas One-Click y cámaras FiberInspector; VIAVI tiene CleanBlast PRO para MPO/MTP y microscopios FiberChek; EXFO cuenta con kits de toallas/hisopos certificados. Estos equipos garantizan compatibilidad con distintos tipos de conector y cumplen estándares industriales.

- **Compatibilidad con SC, LC, MTP/MPO**

El tamaño de la férula dicta la herramienta. Para conectores de 2,5 mm (SC, ST, FC) se usan limpiadores mayores que para 1,25 mm (LC, MU). Por ejemplo, se dispone de limpiadores One-Click SC/LC y versiones minis para LC dúplex (que limpian ambos extremos a la vez). Para conectores multifibra MPO/MTP existen limpiadores dedicados One-Click MPO/MTP (Figura 23) que limpian simultáneamente todas las fibras de la férula.



*Figura 23 One-Click MPO/MTP*

### **2.9.3. Buenas Prácticas Operativas**

La aplicación de buenas prácticas operativas (respaldadas por estándares industriales y normativos) se garantiza que las conexiones ópticas en una red GPON se mantengan limpias y una prevención de daños en los conectores. Algunas de las recomendaciones más importantes incluyen:

- **Inspeccionar Antes y Después:**

Se sigue el modelo de Inspeccionar–Limpiar–Reinspeccionar–Conectar en cada empalme o prueba [62]. Primero examine la cara final de cada conector con microscopio (o lupa de inspección) antes de acoplar; si detecta suciedad, límpielo con el método adecuado; luego vuelva a inspeccionar para confirmar que esté impecable antes de conectar [62]. Este procedimiento —requerido por la IEC— evita unir conectores contaminados.

- **Almacenamiento y protección**

Mantenga siempre los conectores cubiertos con tapones antipolvo limpios cuando no estén en uso. En instalaciones, use tapas protectoras en adaptadores y placas de conexión. Guarde los cables y conectores en bolsas selladas o estuches limpios. El polvo ambiental es una fuente constante de contaminación, así que proteja las terminales en entornos de construcción o polvo elevado.

Evitar limpiezas excesivas o abrasivas: use únicamente los consumibles recomendados. No frote con excesiva fuerza un mismo hisopo ni repita la limpieza con alcohol incesantemente, pues puede desgastar la superficie de la férula. Nunca use materiales abrasivos (papel de lija, paños de algodón comunes, cepillos metálicos, etc.). Si al limpiar con un paño o hisopo se observa rebabas o arañazos, reemplace la punta y limpie nuevamente con cuidado.

- **Seguridad del personal**

La protección al personal técnico. Usar guantes de nitrilo limpios para no transferir aceite de manos, y gafas de seguridad si hay uso de aerosol. Trabajar en ambientes bien ventilados cuando emplee solventes inflamables como el isopropílico es inflamable, por lo que se debe evitar la inhalación continua de vapores y cualquier chispa o llama abierta. No tocar la cara final del conector con los dedos ya que los residuos de suciedad en la piel pueden contaminarlo.

## **2.10. Normas y Estándares Internacionales para Conectores Ópticos**

En los sistemas de fibra óptica, la limpieza y revisión de los conectores es fundamental para asegurar un rendimiento fiable y eficiente. Existen diversas normas técnicas a nivel internacional que abordan este asunto, ofreciendo lineamientos y procedimientos estandarizados para mantener las terminaciones de fibra sin contaminantes y dentro de los parámetros establecidos

### **2.10.1. Organismos de Normalización y Regulación Técnica**

A continuación, se describen los aspectos y el contenido de tres normas esenciales: IEC 61300-3-35, ISO/IEC 14763-3 y ANSI/TIA-568. 3-D.

#### **IEC 61300-3-35**

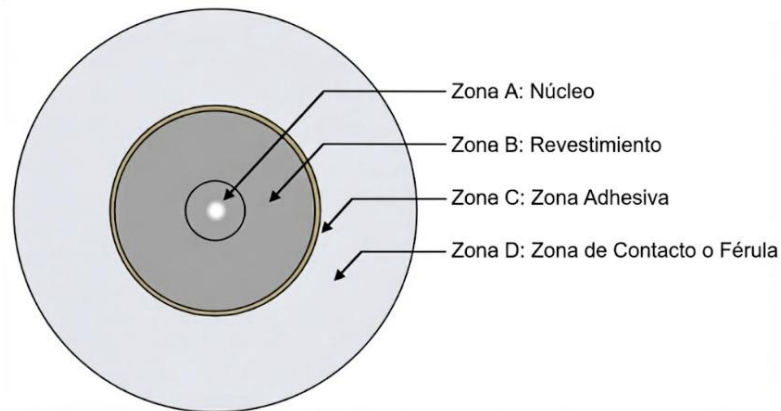
Es una norma internacional desarrollada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) que establece un procedimiento estandarizado para la inspección visual de las caras finales de conectores de fibra óptica pulidos, con criterios cuantitativos de calidad de la terminación. Se trata,

esencialmente, de una norma de ensayo y medida (parte de la serie IEC 61300 de procedimientos básicos de prueba) cuyo objetivo es garantizar un nivel común de rendimiento óptico en términos de pérdida por inserción y pérdida de retorno de los conectores antes de acoplarlos.

La norma está enfocada en la fase de inspección previa a la conexión de las fibras, por lo que aplica principalmente durante la instalación (verificación de cada terminación antes de conectarla) y también en tareas de mantenimiento u operación donde se reconectan fibras – siempre con la premisa “inspeccionar antes de conectar” cada conector óptico[4]. De hecho, las mejores prácticas derivadas de esta norma recomiendan realizar una inspección proactiva y sistemática de cada conector de fibra óptica antes de acoplarlo, para detectar y eliminar contaminación, evitando así degradaciones en la red[4]. En entornos de alta densidad de fibra, como centros de datos, esta inspección universal se ha vuelto esencial, dado que la mayoría de las fallas en enlaces ópticos se atribuye a conectores sucios o dañados.

- **Definición de Zonas y Criterios de Aceptación**

Para conectores de fibra óptica monomodo (SM) con pulido UPC/APC, típicamente utilizados en redes GPON, se definen las siguientes áreas de inspección como se muestra en la figura 24:



*Figura 24 Zonas de Inspección según la Norma IEC 61300-3-35*

1. **Zona A (Núcleo):** Comprende el área central por donde se propaga la luz (diámetro de 0 a 25  $\mu\text{m}$ ). Es la zona más restrictiva; cualquier contaminación o rayadura en esta área causará una degradación significativa

de la señal (aumento de IL y disminución de RL). Por tanto, la norma no permite defectos ni suciedad de ningún tamaño en esta zona.

2. **Zona B (Revestimiento o Cladding):** Es el área que rodea inmediatamente al núcleo (diámetro de 25 a 115  $\mu\text{m}$ ). Aunque la luz no viaja por aquí, la contaminación en esta zona es peligrosa porque puede migrar hacia el núcleo durante la conexión. Se permiten defectos menores (típicamente < 2-5  $\mu\text{m}$ ) siempre que no superen una cantidad máxima establecida.
3. **Zona C (Adhesivo):** Es el anillo de transición entre la fibra y la férula cerámica (diámetro de 115 a 135  $\mu\text{m}$ ). En esta zona se pueden tolerar ciertos residuos del proceso de curado del epoxi, siempre que no sobresalgan de la superficie y afecten el contacto físico.
4. **Zona D (Contacto o Férula):** Es el área exterior de la férula cerámica (diámetro de 135 a 250  $\mu\text{m}$ ). Es la superficie que asegura el contacto físico entre conectores. Se permite suciedad y rayaduras mayores, siempre que no interfieran con el acoplamiento mecánico ni impidan el contacto físico de las zonas interiores.

### **ISO/IEC 14763-3**

ISO/IEC 14763-3 establece los métodos para la inspección y pruebas del cableado de fibra óptica en espacios cerrados y sirve como la guía principal para las pruebas de aceptación (incluyendo métodos como lupa/OTDR, métodos de referencia 1-jumper/3-jumper, incertidumbre de medida y registro de resultados). Los procedimientos y criterios para sistemas MPO/MTP, establece requisitos para la inspección y limpieza de las caras finales (con anexos opcionales sobre limpieza e inspección) y organiza la gestión de la incertidumbre en pruebas de pérdida y OTDR, que formalizan la necesidad de una inspección y limpieza documentada como parte de la aceptación de conexiones.

## **ANSI/TIA-568.3-D**

La TIA-568 define el marco de cableado estructurado en entornos comerciales; la parte 568.3 (revisión D) se centra en el cableado y componentes de fibra óptica. Este estándar especifica características de rendimiento para cables, conectores, cordones de parcheo y hardware de interconexión, además de incluir requisitos para ensayos de campo y recomendaciones de instalación. Para la gestión de limpieza e inspección, TIA-568.3-D obliga a adoptar procedimientos que aseguren que los componentes y terminaciones cumplan las especificaciones de rendimiento y proporciona directrices prácticas para las pruebas de aceptación en campo (incluyendo requisitos de pérdida y continuidad) tras las labores de mantenimiento. TIA-568.3-D se utiliza para justificar límites de rendimiento y como referencia normativa para políticas de limpieza, etiquetado y registro de operaciones en infraestructuras de cableado comerciales.

### **2.10.2. Áreas de Aplicación**

#### **Procedimientos de IEC 61300-3-35**

Se aconseja el uso de microscopios portátiles para inspección o sondas de video especializadas para verificar la férula de cada conector antes de insertarlo e incluso se usan software. Varios kits de certificación modernos vienen equipados con microscopios digitales que ofrecen análisis automáticos, utilizando algoritmos de la norma IEC 61300-3-35 para identificar partículas o defectos, y proporcionan un resultado inmediato de “aprobado/reprobado” de acuerdo con la norma [63]. Es fundamental mencionar que la norma IEC 61300-3-35 no es un manual para limpieza; de hecho, la norma menciona que la limpieza debe llevarse a cabo antes de inspeccionar la ferula pulida, aunque no especifica el método de limpieza. Para pautas sobre la limpieza, a menudo se consultan documentos técnicos adicionales (como IEC TR 62627-01 o TIA TSB-184), que están en línea con la norma. Generalmente, existen dos métodos de limpieza: en seco y húmedo seguido de seco. La limpieza en seco utiliza herramientas específicas (por ejemplo, bolígrafos o dispositivos de limpieza, palillos con puntas de microfibra, casetes con cintas limpiadoras) para frotar suavemente la férula sin líquidos [60]. Este enfoque es rápido y minimiza la introducción de humedad, siendo adecuado para quitar el polvo suelto. Por otro lado, la limpieza húmeda emplea un solvente óptico (por lo general, alcohol isopropílico al 99% u otra solución

especial) que se aplica en un hisopo o superficie, y se utiliza para frotar la cara del conector, seguido de un pulido seco en una zona limpia para quitar restos de solvente [51]. Este método es muy eficaz contra aceite, grasa o suciedad adherida, pero necesita ser realizado con precaución, ya que, si no se deja secar por completo o se utilizan materiales inapropiados, puede dejar residuos o crear estática que atraiga más partículas. En todos los casos, debe evitarse el uso de paños comunes, papel toalla, aire comprimido no filtrado y otros métodos no diseñados para fibra, ya que pueden dejar residuos, rayar la superficie o añadir contaminantes adicionales. La regla principal es: “Inspeccionar, limpiar (si es necesario) como se muestra en la Figura 25, e inspeccionar nuevamente” antes de realizar la conexión. Así, la norma IEC 61300-3-35 y sus guías relacionadas promueven un proceso continuo de inspección y limpieza para asegurar una cara final perfecta [55].

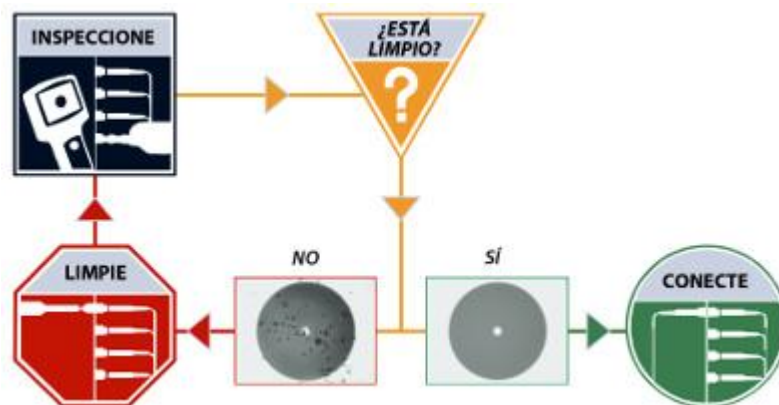


Figura 25 IEC 61300-3-3 Limpieza e inspección visual de conectores ópticos [51].

# CAPÍTULO III

## 3. ANÁLISIS DEL PROYECTO

### 3.1. Desarrollo de la Propuesta Técnica

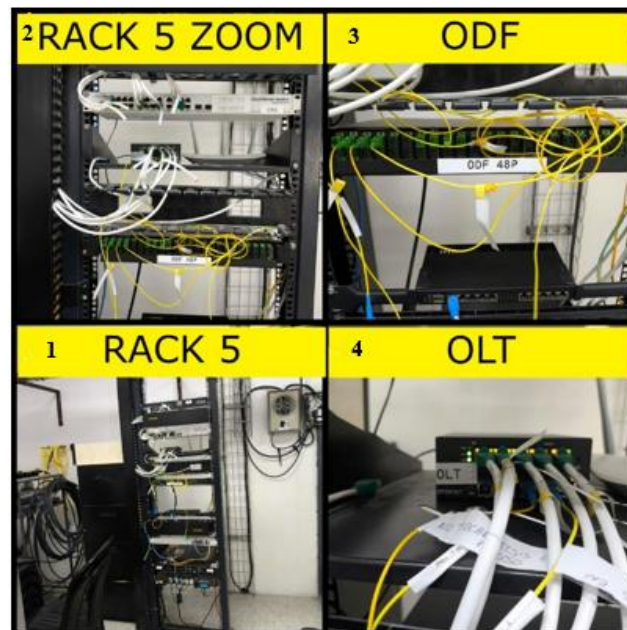
La presente propuesta técnica se enfoca en la evaluación y optimización de los niveles de atenuación en los conectores de fibra óptica, específicamente en el contexto de redes GPON (Gigabit Passive Optical Network). El objetivo principal es analizar la calidad de las conexiones en Módulos Didácticos de red Empresarial y Residencial, ubicados en un entorno de laboratorio controlado. Para ello, se emplearán herramientas de alta precisión para la inspección visual y la medición de la atenuación, tanto antes como después de la aplicación de procedimientos de limpieza y mantenimiento. Adicionalmente, se utilizará software especializado para simular el comportamiento de la red bajo diversas condiciones, permitiendo una validación comparativa de los resultados prácticos y teóricos, además se hará una investigación de campo dirigida a técnicos trabajadores en el área de telecomunicaciones para conocer el grado de conocimiento sobre la contaminación en conectores ópticos. Esta metodología integral busca identificar las causas de la degradación de la señal, proponer soluciones basadas en estándares internacionales y, en última instancia, mejorar la eficiencia y fiabilidad de las redes de fibra óptica.

### 3.2. Descripción del Entorno de red GPON

El desarrollo de esta investigación se realiza en el Laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), ubicado en el Campus La Libertad. Este entorno fue seleccionado como sitio experimental porque posee infraestructura de red GPON completamente implementada y funcional desde el año 2024, cuenta con Módulos Didácticos específicamente diseñados para investigación y docencia en tecnologías de fibra óptica, proporciona condiciones ambientales controladas (temperatura aproximada  $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa  $45\pm 5\%$ ) que garantizan la reproducibilidad de las mediciones, y dispone de equipos de medición óptica calibrados que cumplen con estándares internacionales de precisión [64].

La infraestructura activa está organizada en el Rack de Telecomunicaciones número 5, el cual contiene la Terminal de Línea Óptica (OLT HIOSO HA7104T), Switch de conmutación de alta

capacidad (CRS326), Distribuidor de Fibra Óptica con 48 puertos SC/APC, y equipos de respaldo para garantizar la continuidad del servicio, como se muestra en la Figura 26. Esta configuración permite simular escenarios reales de redes de acceso GPON tanto para entornos Residenciales masivos como para aplicaciones corporativas móviles [64].



*Figura 26 (1) Rack 5 (2) R5 Zoom, (3) ODF (4) OLT*

### **3.2.1. Módulo Didáctico Residencial (Residencial y Edificio GPON):**

Este Módulo del laboratorio está dividido en dos configuraciones arquitectónicas diferenciadas que simulan escenarios de servicio masivo según las normativas técnicas de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones [65]:

#### **Configuración A – Residencial:**

Etiqueta: GPON Masivo - Residencial

Modelo CNT aplicado: Masivo-Casas con Manga porta Splitter 1x4 y NAP además Splitter 1x8.

Arquitectura: Distribuida/Cascada de dos niveles

Aplicación: Simula servicio de acceso FTTH (Fiber To The Home) en urbanizaciones Residenciales.

### **Configuración B – Edificio GPON1x32:**

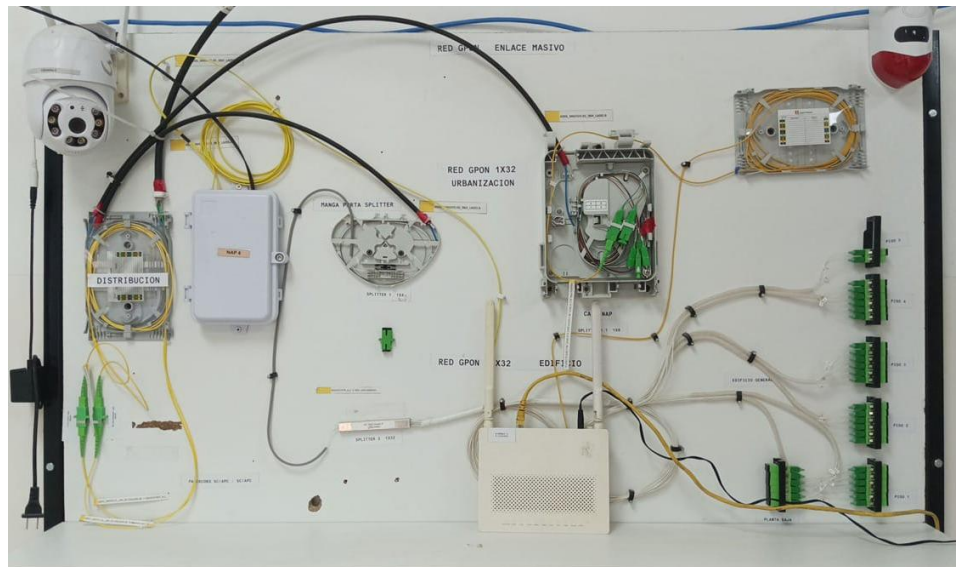
Etiqueta: GPON 1X32 Corporativo - Edificios

Modelo CNT aplicado: Masivo-Edificios con Splitter conectorizado 1x32.

Arquitectura: Centralizada de un solo nivel

Aplicación: Simula servicio de acceso FTTB (Fiber To The Building) en edificaciones corporativas o multifamiliares de hasta 6 pisos.

Ambas configuraciones cumplen con la recomendación ITU-T G.984.2 para redes GPON Clase B+ que podemos visualizar en la Figura 27, con presupuesto óptico máximo de 28 dB y soportan velocidades downstream de hasta 2.488Gbps y upstream de hasta 1.244 Gbps [13].



*Figura 27 Módulo de red "RESIDENCIAL GPON" [64]*

### 3.2.2. Módulo Didáctico Empresarial:

Este Módulo Didáctico simula una red de transporte para servicios móviles (Backhaul 3G/4G) y clientes corporativos críticos. A diferencia del entorno anterior, su arquitectura prioriza la disponibilidad del servicio mediante redundancia, observe Figura 28:

Arquitectura: Punto a Multipunto con redundancia activa.

Topología: Anillo lógico con enlaces secuenciales entre nodos RBS (Radio Base Station)

Redundancia: Incorpora un enlace principal y un enlace de respaldo (Backup) físicamente separados (el respaldo se distribuye por canaletas independientes). Utiliza splitters balanceados 2x16 para permitir conmutación automática en caso de fallo de la fibra principal. [64]

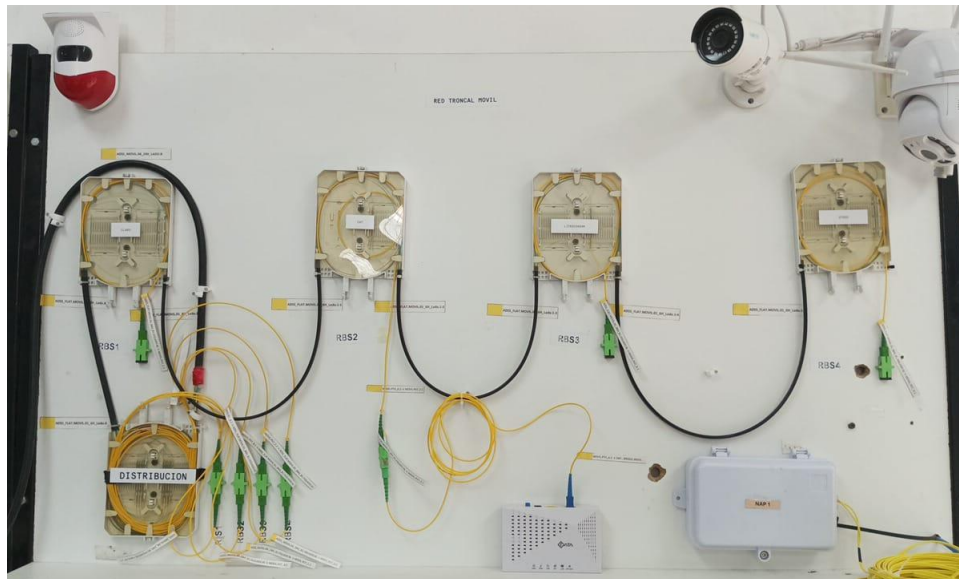


Figura 28 Módulo de red "EMPRESARIAL MÓVIL GPON" [64]

### 3.3. Inspección Preliminar y Diagnóstico.

La inspección preliminar tuvo como objetivo verificar la operatividad básica de los Módulos Didácticos Residencial y Empresarial, identificar eventuales fallos físicos (hilos sin fusionar,

conectores dañados o contaminados) y establecer una línea base de potencias ópticas antes de aplicar cualquier procedimiento de limpieza o corrección.

### 3.3.1. Instrumentos Utilizados en el Diagnóstico

Para la fase de diagnóstico se crea una tabla 7 donde se muestra los instrumentos empleados para la medición e inspección:

*Tabla 7 Instrumentos empleados en la Inspección Preliminar*

<b>Instrumento</b>	<b>Modelo / Especificación</b>	<b>Función Principal</b>
Localizador de Fallas Visual (VFL)	Modelo: continuo (CW) y pulsado (Pulse) Rango de potencia: 5 a 1 mW Distancias alcanzadas (hasta 7-10 km)	Verificar continuidad física de fibras y detectar rupturas visibles.
Medidor de potencia óptica (OPM)	Modelo: OPM Rango de medición (Modelo A): (-70 señal débil +10 señal fuerte) dBm Número de serie (S/N): 1811941600	Medir potencia TX en la OLT y RX en puntos terminales.
Microscopio digital de inspección	Modelo: Komshine Sonda de inspección de fibra óptica 400X rango visual: 0.316*0.285 μm	Evaluar el estado de la cara final de los conectores (contaminación/daños).
Patch cord SC/APC 2 m	Monomodo, G.652.D	Interconexión directa con puertos ópticos de la OLT para medición de TX.

Durante esta etapa se utilizó el VFL para trazar el recorrido óptico desde la OLT hasta las ONT de cada Módulo, verificando la continuidad de los hilos de fibra, y el OPM para registrar la potencia óptica disponible en los puertos de la OLT y en los puntos terminales de los enlaces.

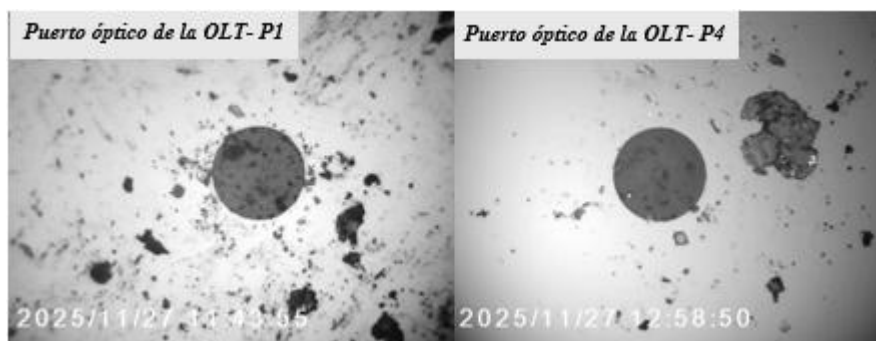
### 3.3.2. Asignación de Puertos de la OLT y Observaciones Iniciales

Se comprobó la asignación de puertos de la OLT HIOSO HA7104T hacia los Módulos Didácticos, tal como se resume en la Tabla 8:

*Tabla 8 Puertos Ópticos de la OLT hacia los Módulos Didácticos*

<b>Puerto óptico OLT</b>	<b>Módulo Didáctico Conectado</b>	<b>Observaciones Iniciales</b>
<b>1</b>	Módulo Residencial – Edificio	Enlace operativo; se detectaron conectores con suciedad visible.
<b>2</b>	Módulo DWDM	Enlace operativo; no será usado en esta investigación.
<b>3</b>	Módulo Multiservicio – MSAN	Enlace operativo; no será usado en esta investigación.
<b>4</b>	Módulo Empresarial – Móvil GPON	Enlace operativo; potencia elevada en algunos puntos; conectores contaminados.

Durante el recorrido con el VFL se identificó al menos un hilo de fibra sin fusionar en el trayecto del submódulo de Residencial, así como empalmes con curvaturas inadecuadas y conectores con contaminación visible, polvo y huella, lo cual se puede visualizar Figura 29 que tanto en el Módulo Didáctico Residencial (puerto óptico 1), como en el Módulo Didáctico Empresarial (puerto óptico 4) se encuentra con contaminación visible.



*Figura 29 Puertos ópticos en la OLT con contaminación visible*

### 3.3.3. Medición de Potencia de Salida en la OLT (Tx)

Se midió la potencia óptica de salida en los puertos ópticos de la OLT asociados a los Módulos de estudio, utilizando un patch cord monomodo SC/APC de 2 m y el OPM configurado con una lambda a 1490 nm. La Tabla 9 resume los valores registrados.

*Tabla 9 Potencia de Salida en Puertos Ópticos de la OLT*

Puerto Óptico de la OLT	Módulo Didáctico alimentado	Potencia TX medida (dBm)	Estado
1	Masivo segmento Residencial	+4.32	Requiere mantenimiento
2	Masivo segmento Edificio GPON 1X32	+6.25	Requiere mantenimiento
3	Respaldo Móvil	+7.28	Aceptable
4	Empresarial Móvil	+5.20	Requiere mantenimiento

Después de la inspección inicial se midió la potencia de los puertos de salida en la OLT, teniendo en cuenta que solo usaremos dos Módulos didácticos y para mejorar su rendimiento se usaron los 4 puertos disponibles de la OLT, debido a que dos módulos no se usarían en esta investigación, se dispuso la primera salida óptica al Módulo Masivo (Residencial), la salida dos al mismo Módulo, pero a la configuración Edificio GPON y la tercera salida óptica al Módulo Empresarial (Móvil), el cual consta con un respaldo que se encuentra conectado en el puerto 4. Las medidas más cercanas a 7.48 dBm serán las aceptables en este caso tomando como referencia el estado óptimo de los módulos. [64]

### 3.3.4. Medición de Potencia de Recepción (Rx) – Estado Pre-Limpieza

A continuación, se evaluó la potencia recibida en puntos terminales representativos de cada Módulo, empleando el OPM directamente sobre las ONT y, en el caso del Módulo móvil. La atenuación total medida se calculó según la ecuación (1) donde más adelante se harán comparaciones también con el resultado de la ecuación (2).

$$A_{pre} = P_{TX} - P_{RX}$$

Cabe recalcar que esta medida nos será útil para comparar con el presupuesto teórico y de igual manera con las simulaciones en los siguientes capítulos.

El estado preliminar de cada enlace se determinó comparando la potencia recibida ( $P_{RX}$ ) con el rango de sensibilidad de la ONT establecido por la recomendación ITU-T G.984.2 para clase B+ (-8 a -27 dBm). La Tabla 10 presenta los resultados más relevantes del estado pre-limpieza, realizando una lista de datos de potencia transmitida de la OLT y la que recibe el módulo:

*Tabla 10 Potencia RX en Puntos Estratégicos - Estado Pre-Limpieza*

Módulo	Punto de medición	Potencia TX OLT (dBm)	Potencia RX (dBm)	Atenuación Pre-limpieza (dB)	Estado preliminar
Residencial	ONT – Residencial	+7.48	-21.38	28.86	Operativo-crítico – Requiere mantenimiento
Residencial	ONT – Edificio 1×32	+7.48	-22.90	30.38	Señal insuficiente
Empresarial	ONT – Módulo Móvil	+7.48	-23.04	30.52	Señal insuficiente

Estas mediciones constituyen la línea base pre -limpieza frente a la cual se compararán los resultados posteriores a la aplicación de los procedimientos de limpieza y corrección. El detalle del análisis de estas desviaciones respecto al presupuesto óptico teórico se desarrolla en el Capítulo IV.

### **3.3.5. Hallazgos Físicos Relevantes**

A partir de la inspección con VFL, OPM, microscopio, se identificaron los siguientes aspectos:

- En el submódulo de Residencial se detectó al menos un hilo de fibra sin fusionar, el cual interrumpía la continuidad hacia una de las ONT; este hilo fue posteriormente fusionado en la fase de corrección.
- Los puertos de la OLT inicialmente no estaban todos operativos lo cual no daba paso a la correcta investigación posteriormente fueron limpiados los puertos y reconectados.
- En varios conectores SC/APC y SC/UPC se observó contaminación en zona de núcleo y revestimiento (polvo, huellas dactilares y en algunos casos micro-rayaduras), coherente con el uso frecuente de prácticas de limpieza no estandarizadas.
- En el Módulo móvil, la potencia elevada medida en la caja NAP y en la ONT sugiere una combinación de baja atenuación en el tramo y ausencia de elementos disipadores adicionales, situación que expone al receptor a condiciones cercanas a saturación.

Estos hallazgos justifican la necesidad de aplicar procedimientos sistemáticos de limpieza e inspección, así como de evaluar el impacto de dichas acciones sobre la atenuación total del enlace, tal como se describe en la sección 3.6.

## **3.4. Hardware Propuesto**

Para la ejecución de las fases prácticas del proyecto, se utilizarán equipos de medición óptica de alta precisión, así como materiales y conectores específicos como se muestra en el Anexo 2. El hardware propuesto incluye:

### 3.4.1. Microscopio Digital para Fibra Óptica

#### Sonda de inspección de fibra KomshineWF-600V 400X Inspección de fibra óptica de ampliación Microscopio.

Este equipo es fundamental en telecomunicaciones y redes de fibra óptica: se emplea en instalación y mantenimiento de redes FTTH, plantas de conexión, centros de datos y laboratorios de producción de fibra. Facilita la inspección de conectores en transceptores, cableado estructurado o empalmes, permitiendo detectar polvo, rasguños o roturas microscópicas que afectan la señal. También se utiliza en control de calidad durante la fabricación de conectores y cableados de fibra, asegurando estándares de limpieza antes de poner en servicio las líneas. Otras aplicaciones incluyen medición y documentación de la condición de terminales en entornos industriales, formación técnica en fibra óptica, y en general donde quiera que se requiera verificar la integridad de la cara final de un conector [66].

#### 3.4.1.1. Instrucciones de Uso y Configuración

- **Preparación:** Cargue la batería (entrada micro-USB 5 V/2 A) antes del uso. Inserte en la ranura la tarjeta microSD (TF) para almacenamiento (viene con 2 GB preinstalada). Seleccione y coloque en la parte frontal de la sonda el adaptador correspondiente al conector a inspeccionar (por ejemplo, adaptador FC/SC/ST macho o LC hembra. se incluyen 4 puntas)
- **Encendido:** Encienda el microscopio mediante el botón de encendido; la pantalla LCD mostrará el menú principal. Puede alternar las opciones de video/foto, cambio de modo (NTSC/PAL), etc. Se debe configurar idioma o región si es necesario (generalmente trae interfaz gráfica sencilla).
- **Inspección:** Inserte la fibra óptica dentro del adaptador hasta que quede su ferúla frente al objetivo. Ajuste manualmente el enfoque moviendo el anillo o inclinando el soporte giratorio metálico para obtener una imagen nítida. La luz LED integrada ilumina el extremo desde un ángulo coaxial, revelando polvo o defectos en la pantalla.
- **Captura y Grabación:** Para documentar la inspección, presione el botón dedicado para capturar una foto o video (el equipo guarda automáticamente en la microSD). Puede ampliar/del zoom digitalmente o superponer una cuadrícula de evaluación si el software lo

permite. Para reproducir imágenes/video, acceda al menú de reproducción en pantalla. Las imágenes se almacenan en formato AVI (video) o JPG (foto).

- **Apagado y Almacenamiento:** Apague el dispositivo para ahorrar batería. Retire los adaptadores y limpie suavemente la lente con aire o paño limpio. Guarde en su estuche junto con la funda de silicona y cable USB. Asegúrese de retirar la tarjeta microSD antes de desechar o transferir archivos.

### 3.4.2. Medidor de Potencia Óptica (OPM)

Estas herramientas se utilizarán conjuntamente para medir la pérdida de inserción de los conectores y el presupuesto de potencia del enlace. El OPM medirá la potencia óptica recibida, mientras que la fuente de luz emitirá una señal de potencia conocida. Las mediciones se realizarán antes y después de los procedimientos de limpieza para cuantificar el impacto de estas acciones en la calidad de la señal, en la Figura 30 podemos observar el equipo OPM.



Figura 30 Medidor de Potencia (OPM)

### 3.4.3. OLT “Terminal de Línea Óptica”

La OLT es el equipo principal que genera la señal óptica transmitida hacia los Módulos Empresariales y Residenciales (como se observa en la Figura 31). Su uso es indispensable para evaluar el comportamiento real de la red durante las mediciones.



*Figura 31 OLT "HIOSO HA7104T"*

#### **FUNCIONES DENTRO DEL PROYECTO**

- Emitir la señal óptica que será medida por el OPM en cada Módulo.
- Validar parámetros de operación como potencia de transmisión, estabilidad de señal y disponibilidad de puertos.
- Permitir la verificación del correcto aprovisionamiento de ONTs conectadas durante las pruebas.

### 3.4.4. Materiales, Herramientas y Consumibles

Para la correcta limpieza e inspección de los conectores ópticos se utilizaron materiales especializados que permiten garantizar el cumplimiento de los estándares de limpieza sin comprometer la integridad del conector.

- **Toallas sin pelusa (Figura 32):** su uso fue indispensable para la limpieza en seco y eliminación de polvo superficial.

*Figura 32. Wipes Sin Pelusa*

<b>Parámetro</b>	<b>Especificación resumida</b>
<b>Material</b>	Microfibra técnica de baja abrasión, libre de pelusa
<b>Uso principal</b>	Limpieza en seco y húmeda de conectores de fibra óptica
<b>Compatibilidad IEC 61300-3-35</b>	Apta para limpieza de zonas A, B y C (contaminantes $\geq 10 \mu\text{m}$ )
<b>Aplicaciones</b>	Conectores SC/APC, SC/UPC, LC, FC, E2000 y férulas cerámicas
<b>Solvente recomendado</b>	Alcohol isopropílico > 99%
<b>Método de limpieza (IEC recomendado)</b>	Movimiento seco en una sola dirección, sin repetición
<b>Residuo</b>	Sin residuos químicos ni fibras

- **Palillos de limpieza tipo One-Click Cleaner SC/APC y LC/APC (Figura 33):** su uso fue para limpieza interna de adaptadores y férulas.



Figura 33 One-click Cleaner

Parámetro	Especificación resumida
Compatibilidad	SC, FC y ST (férulas de 2.5 mm).
Mecanismo de limpieza	Cinta microtexturizada interna que limpia mediante un solo clic.
Norma IEC 61300-3-35	Aprobado para limpieza seca, elimina partículas en zonas A, B y C.
Capacidad de limpieza	Más de 500 limpiezas por cartucho.
Tipo de contaminantes removidos	Polvo, partículas secas y residuos superficiales.
Seguridad del material	No abrasivo, seguro para férulas cerámicas de zirconia.
Uso recomendado	Un solo clic por limpieza, sin reutilizar el mismo punto interno.

- **Cassette de limpieza óptica (Figura 34):** su uso fue antes de la inspección para eliminar el polvo fino y residuos para evitar riesgos de rayar la férula al momento de insertarla en el microscopio.



Figura 34 Cassette de limpieza óptica

Parámetro	Especificación resumida
Compatibilidad	SC, LC, FC, ST y adaptadores.
Mecanismo de limpieza	Limpieza por arrastre <b>en una sola dirección.</b>
Norma IEC 61300-3-35	Permitido para limpieza <b>seca</b> , especialmente en pre-inspección.
Capacidad de limpieza	Más de 550 limpiezas por cartucho.
Tipo de contaminantes removidos	Polvo y partículas en zonas B, C y D.
Seguridad del material	No abrasivo, no desprende fibras visibles a 200×.
Uso recomendado	No volver a pasar el conector por el mismo tramo de cinta.

- **Alcohol isopropílico (IPA) al 99% (Figura 35):** Utilizado para limpieza en húmedo, en los tableros con polvo húmedo y adherido a férula.

*Figura 35 Alcohol Isopropílico*

- **Hisopos especiales de limpieza óptica (Figura 36):** los bastoncillos fueron compatibles con férulas APC y UPC

*Figura 36 Hisopos Especiales de Limpieza Óptica*

- **Limpia Contacto Eléctrico (Figura 37):** un producto normalmente utilizado por personal técnico de campo para la limpieza superficial de los conectores ópticos, pero su uso deja residuos químicos que afectan la calidad de la señal. Debe ser filtrado y sin aceites.



*Figura 37 Limpia Contacto*

Estos elementos aseguran la correcta aplicación del proceso inspeccionar → limpiar → reinspeccionar, establecido por la IEC 61300-3-35, garantizando que las superficies ópticas queden libres de contaminantes que afecten la transmisión. Además, los consumibles seleccionados son los mismos utilizados en prácticas profesionales de mantenimiento de redes FTTH y garantizan una limpieza segura sin causar abrasión. Se explica en la tabla 11 el grado de limpieza de cada material y para que caso fue aplicado.

*Tabla 11 Materiales Utilizados y su Grado de Limpieza Óptica*

<b>Material / Herramienta</b>	<b>Tipo de Limpieza Aplicada</b>	<b>Grado de Limpieza (según IEC 61300-3-35)</b>	<b>Aplicación en el Proyecto</b>
<b>Toallas sin pelusa</b>	Limpieza en seco.	<b>Media</b> – Remueve polvo superficial, no elimina residuos adheridos.	Limpieza externa inicial de férulas.
<b>Alcohol Isopropílico (IPA 99%)</b>	Limpieza húmeda.	<b>Alta</b> – Remueve aceite, grasa, humedad y partículas adheridas.	Limpieza profunda antes de la inspección final.

<b>One-Click Cleaner SC/APC</b>	Limpieza seca dirigida.	<b>Muy alta</b> – Ideal para adaptadores y férulas APC.	Limpieza de adaptadores y puertos ODF, OLT.
<b>One-Click Cleaner LC/APC</b>	Limpieza seca dirigida.	<b>Muy alta</b> – Remueve partículas difíciles dentro del adaptador.	Módulo Empresarial GPON y enlaces móviles.
<b>Cassette de limpieza óptica</b>	Limpieza en seco controlada.	<b>Alta–Muy alta</b> – Según presión aplicada; no produce rayaduras	Limpieza externa de conectores antes de la inspección microscópica.
<b>Hisopos especiales para fibra óptica</b>	Limpieza húmeda o combinada.	<b>Alta</b> – Precisa en zonas críticas del núcleo.	Eliminación de residuos rebeldes detectados en microscopio.
<b>Paños de microfibra antiestáticos</b>	Limpieza en seco suave.	<b>Media</b> – Complementaria, no recomendada para férulas.	Limpieza luego del alcohol en cables, patch cords y superficies.
<b>Limpia-contacto (Contacto Cleaner)</b>	Limpieza húmeda rápida.	Nula – Deja residuos químicos	Usado para revelar su grado de contaminación

### 3.5. Software Propuesto

El software desempeñará un papel crucial en la validación teórica y la simulación de escenarios, complementando las mediciones prácticas. Para complementar las mediciones experimentales realizadas en los Módulos Didácticos Empresarial y Residencial, se empleó el software OptiSystem como herramienta de simulación de redes ópticas basadas en tecnología GPON.

#### 3.5.1. OptiSystem

Este software especializado en comunicaciones ópticas será la herramienta principal para las simulaciones. OptiSystem permite modelar y simular redes de fibra óptica desde la central hasta el usuario final, incluyendo redes GPON. Sus capacidades incluyen:

- **Cálculo del Presupuesto de Enlace de Potencia (Power Link Budget):** Permite determinar la viabilidad del sistema al calcular los niveles de potencia adecuados para su correcto funcionamiento.
- **Análisis de Tasa de Error de Bit (BER) y Factor Q (Q-factor):** OptiSystem puede simular el rendimiento del sistema y mostrar el BER y el Factor Q, que son indicadores clave de la calidad de la señal. Un valor de BER bajo (por ejemplo,  $<10^{-9}$ ) y un Factor Q alto (por ejemplo,  $>6$ ) indican un rendimiento óptimo.
- **Diagramas de Ojo (Eye Diagram):** El software genera diagramas de ojo que proporcionan una representación visual de la calidad de la señal digital, permitiendo identificar distorsiones y ruido.
- **Análisis de Atenuación:** OptiSystem permite simular la atenuación en diferentes componentes de la red, como la fibra y los conectores, bajo diversas condiciones.

En esta investigación, OptiSystem se utilizó con dos propósitos principales:

- Verificar la coherencia entre el presupuesto óptico teórico, las mediciones reales y los resultados simulados en condiciones ideales.
- Analizar el efecto de diferentes niveles de contaminación en los conectores (representados como pérdidas adicionales por inserción) sobre la calidad de la señal en los Módulos Residencial (Residencial y edificio 1x32) y Empresarial móvil.

### **3.5.2. Simulación del Submódulo Residencial GPON (1x4 + 1x8)**

El primer esquema de simulación corresponde al submódulo de Residencial del entorno Residencial, cuya arquitectura distribuida está conformada por un splitter 1x4 en primer nivel y un splitter 1x8 en segundo nivel. El modelo en OptiSystem representa un enlace típico entre la OLT y una ONT ubicada en una vivienda de la Residencial. A continuación, veremos los parámetros reales para la construcción de esta simulación en la tabla 12:

*Tabla 12 Parámetros de Simulación del Submódulo Residencial GPON*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Longitud de onda downstream (<math>\lambda</math>)</b>	1490 nm
<b>Potencia de Transmisión OLT (P_TX)</b>	+7.48 dBm (medido)
<b>Tasa de Bit</b>	2.488 Gbps
<b>Tipo de Fibra</b>	Monomodo G.652.D
<b>Atenuación de Fibra</b>	0.35 dB/km
<b>Longitud de la Fibra</b>	50 m
<b>Pérdida splitter 1x4</b>	7.00 dB
<b>Pérdida splitter 1x8</b>	10.00 dB
<b>Número de conectores en el enlace</b>	4
<b>Número de empalmes por fusión</b>	7

En el diagrama de bloques de OptiSystem se incluyeron los siguientes componentes:

- Bloque de transmisión óptica (Laser/Transmitter) configurado con la potencia y longitud de onda de la OLT.
- Secciones de fibra óptica con las longitudes equivalentes a los tramos OLT–1x4, 1x4–1x8 y 1x8–ONT.
- Bloques de splitters pasivos 1x4 y 1x8 con las pérdidas de inserción asociadas.
- Bloques de pérdida fija para representar las pérdidas por conectores y empalmes del enlace.
- Bloque de receptor óptico con fotodetector y analizador de BER/diagrama de ojo.

#### Escenarios de simulación – Residencial

Para estudiar el efecto de la contaminación en los conectores, se definieron cuatro escenarios de simulación variando la pérdida por inserción de cada conector, tabla 13:

*Tabla 13 Escenarios de Pérdidas por Conector en el Submódulo Residencial*

<b>Escenario</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pérdida por conector (dB)</b>
A	Conectores limpios (referencia)	0.20
B	Contaminación leve	0.60

C	Contaminación moderada	1.20
D	Contaminación severa	2.50

En todos los escenarios se mantuvo constante la estructura del enlace (fibra, splitters y número de conectores), modificando únicamente la pérdida unitaria de los bloques que representan los conectores. De este modo se simula el efecto de pasar de un estado ideal (conectores correctamente limpiados) a estados degradados por contaminación. Podemos ver el esquema completo del submódulo Residencial en la Figura 38.

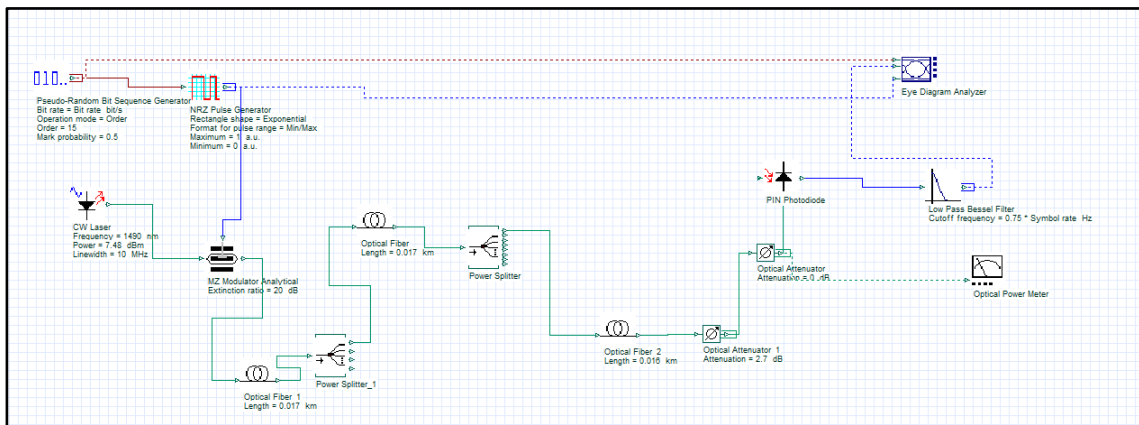


Figura 38 Esquema de simulación del submódulo Residencial en OptiSystem.

### 3.5.3. Simulación del Submódulo Edificio GPON (1x32)

El segundo esquema de simulación corresponde al submódulo de Edificio del entorno Residencial, basado en un splitter conectorizado 1x32 en arquitectura centralizada. En este caso, el enlace modelado representa la ruta entre la OLT y una ONT ubicada en uno de los pisos del edificio. A continuación, veremos los parámetros reales para la construcción de esta simulación en la tabla 14:

Tabla 14 Parámetros de Simulación del Submódulo Edificio 1x32

Parámetro	Valor
Longitud de onda downstream ( $\lambda$ )	1490 nm
Potencia de Transmisión OLT ( $P_{TX}$ )	+7.48 dBm (medido)
Tasa de Bit	2.488 Gbps

<b>Tipo de Fibra</b>	Monomodo G.652.D
<b>Atenuación de Fibra</b>	0.35 dB/km
<b>Longitud Fibra Óptica</b>	55m
<b>Pérdida splitter 1x32</b>	16.90 dB
<b>Número de Conectores en el Enlace</b>	4
<b>Número de Empalmes por Fusión</b>	5

La estructura de bloques es análoga al caso anterior, sustituyendo los dos niveles de splitters (1x4 y 1x8) por un único splitter 1x32 y ajustando las longitudes de fibra según la topología interna del edificio. Para mayor detalle observar la Figura 39.

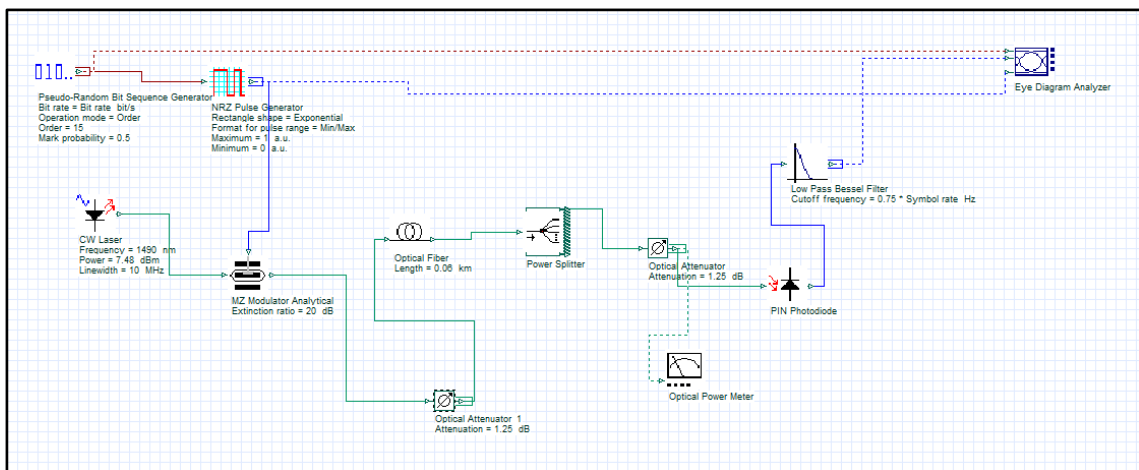


Figura 39 Esquema de simulación del submódulo Edificio 1x32 en OptiSystem.

Los mismos cuatro escenarios (A–D) de pérdida por conector se aplican para este esquema, con el objetivo de comparar el comportamiento de la arquitectura centralizada frente a la arquitectura en cascada de la Residencial.

### 3.5.4. Simulación del Módulo Móvil GPON

El tercer esquema de simulación se diseñó para el módulo Empresarial móvil, que representa una red de transporte para estaciones base (RBS) con redundancia mediante un splitter

2x16 balanceado. En este modelo se simula un trayecto típico entre la OLT y una ONT ubicada en un nodo RBS, considerando el splitter 2x16 y los conectores intermedios. A continuación, veremos los parámetros reales para la construcción de esta simulación en la tabla 15:

*Tabla 15 Parámetros de Simulación del Módulo Móvil GPON*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Longitud de Onda downstream (<math>\lambda</math>)</b>	1490 nm
<b>Potencia de Transmisión OLT (P_TX)</b>	+ 7.48 dBm (medido)
<b>Tasa de bit</b>	2.488 Gbps
<b>Tipo de Fibra</b>	Monomodo G.652.D
<b>Atenuación de Fibra</b>	0.35 dB/km
<b>Longitud Fibra</b>	60 m
<b>Pérdida splitter 2x16</b>	13.48 Db
<b>Número de Conectores en el Enlace</b>	5
<b>Número de Empalmes por Fusión</b>	11
<b>Longitud de Onda downstream (<math>\lambda</math>)</b>	1490 nm

En este modelo también se definieron los cuatro escenarios A–D de pérdida por conector (0.2, 0.6, 1.2 y 2.5 dB), con el fin de analizar cómo la degradación de los conectores impacta en un entorno crítico como el backhaul móvil, donde los márgenes de potencia y la estabilidad del enlace son esenciales para la calidad del servicio como se muestra en la figura 40.

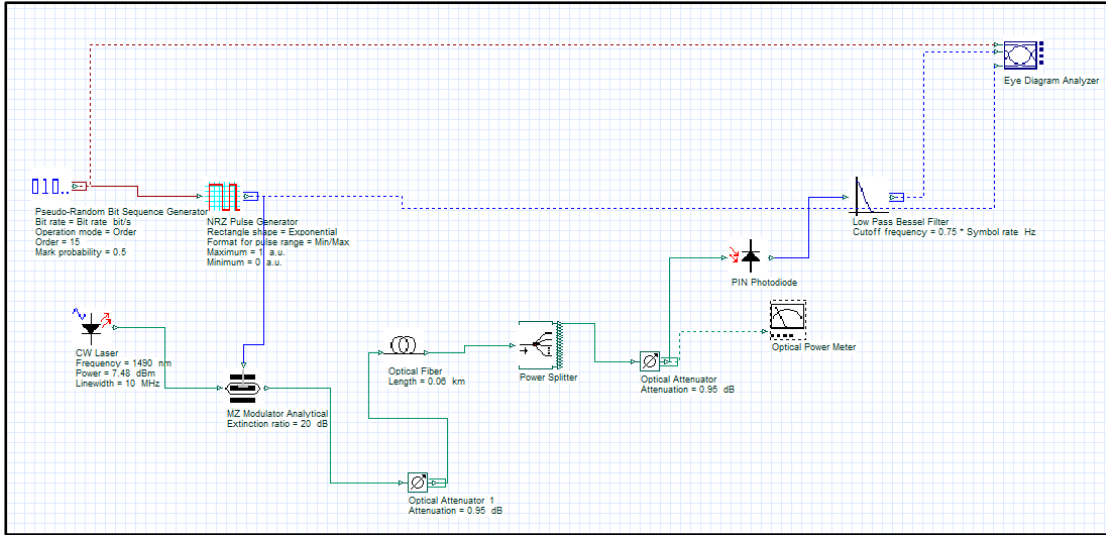


Figura 40 Esquema de simulación del Módulo Móvil GPON en OptiSystem.

### 3.6. Análisis y Optimización del Rendimiento de Conectores en Redes GPON

Esta sección describe el procedimiento definido para evaluar y optimizar el rendimiento de los conectores de fibra óptica presentes en los Módulos Didácticos Empresarial y Residencial. El enfoque consiste en comparar el comportamiento del enlace en dos estados: estado inicial (pre-limpieza) y estado final (post-limpieza), utilizando como referencia el presupuesto óptico teórico y las mediciones realizadas en laboratorio.

#### 3.6.1. Presupuesto Óptico teórico

Con el propósito de establecer una línea base de referencia para el análisis comparativo entre condiciones ideales y degradadas, se calculó el presupuesto óptico teórico de cada enlace representativo aplicando la Ecuación 2, que integra las pérdidas por fibra, empalmes, conectores y splitters pasivos. Los cálculos se realizaron para cuatro escenarios de contaminación (A, B, C, D) definidos en la Sección 2.10.1, permitiendo cuantificar cómo el incremento de la pérdida unitaria por conector afecta la atenuación total del enlace.

Para el cálculo del presupuesto óptico teórico se emplearon valores de pérdida representativos de condiciones reales de instalación en campo, conforme a las especificaciones de ITU-T G.652.D y TIA-568.3-D:

- Atenuación de fibra ( $\alpha_{\text{fibra}}$ ): 0.48 dB/km (valor cercano al máximo especificado para fibra G.652.D a 1490 nm)
- Pérdida por empalme de fusión ( $\alpha_{\text{empalme}}$ ): 0.20 dB (valor típico en instalaciones de campo)
- Pérdida por conector + adaptador ( $\alpha_{\text{conector}}$ ): 1.20 dB (par conector-adaptador-conector según TIA-568.3-D)

### A) Módulo Empresarial Móvil

La tabla 16 muestra los elementos junto a la pérdida teórica y el resultado según la ecuación (2).

*Tabla 16 Presupuesto Óptico Teórico - Módulo Empresarial Móvil GPON*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Pérdida unitaria (dB)</b>	<b>Pérdida Total (dB)</b>
Fibra Óptica G.652.D	0.06km	0.35dB/km	0.029
Empalmes de fusión	9	0.20	1.8
Conectores (Par + adaptador)	5	1.20	6
Splitter 2x16	1	13.48	13.48
Total, Atenuación	-	-	21.31

Potencia recibida teórica:

$$PRx = PTX - A_{\text{teórica}} = 7.48 - 21.31 = -13.83dBm$$

### B) Módulo Masivo Residencial GPON

La tabla 17 muestra los elementos junto a la pérdida teórica y el resultado según la ecuación (2).

*Tabla 17 Presupuesto Óptico Teórico - Módulo Empresarial Móvil GPON*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Pérdida unitaria (dB)</b>	<b>Pérdida Total (dB)</b>
Fibra Óptica G.652.D	0.05km	0.35dB/km	0.024
Empalmes de fusión	9	0.22	1.54
Conectores (Par + adaptador)	5	1.40	5.60
Splitter 1x4	1	7.00	7.00
Splitter 1x8	1	10	10
Total, Atenuación	-	-	24.16

Potencia recibida teórica:

$$PRx = PTX - Ateórica = 7.48 - 24.16 = -16.68dBm$$

### **C) Módulo Masivo Edificio GPON 1x32**

La tabla 18 muestra los elementos junto a la pérdida teórica y el resultado según la ecuación (2).

*Tabla 18 Presupuesto Óptico Teórico - Módulo Empresarial Móvil GPON*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Pérdida unitaria (dB)</b>	<b>Pérdida Total (dB)</b>
Fibra Óptica G.652.D	0.05km	0.35dB/km	0.024
Empalmes de fusión	5	0.20	1.00
Conectores (Par + adaptador)	4	1.45	5.80
Splitter 1x32	1	16.90	16.90
Total, Atenuación	-	-	23.72

Potencia recibida teórica:

$$PRx = PTX - Ateórica = 7.48 - 23.72 = -16.24 dBm$$

### 3.6.2. Estado Inicial (Pre-limpieza)

En el estado inicial se considera la condición real en la que se encontraron los Módulos antes de cualquier intervención de limpieza o corrección física. Para cada enlace representativo (submódulo Residencial, submódulo Edificio 1x32 y Módulo Móvil GPON) se dispondrá de:

- Las potencias de transmisión (P\_TX) posteriormente corregidas para un mejor análisis. (Tabla 9).
- Las potencias de recepción (P\_RX) medidas en las ONT y puntos intermedios (Tabla 10).
- El estado físico observado de los conectores mediante inspección visual con microscopio digital.

Con estos datos se calculará la atenuación total pre-limpieza según la ecuación 9 vista anteriormente y este resultado comparado con la atenuación teórica calculado a partir de la ecuación 2, la diferencia de entre ambas atenuaciones representa las perdidas no explicadas por el modelo teórico y un valor positivo nos muestra perdidas extrínsecas como contaminación en conectores, exceso de curvatura.

En la tabla 19 se muestra la estructura para la comparación Teórica vs Medida (Pre-Limpieza) y en el Capítulo IV se desarrollará la comparación de datos reales.

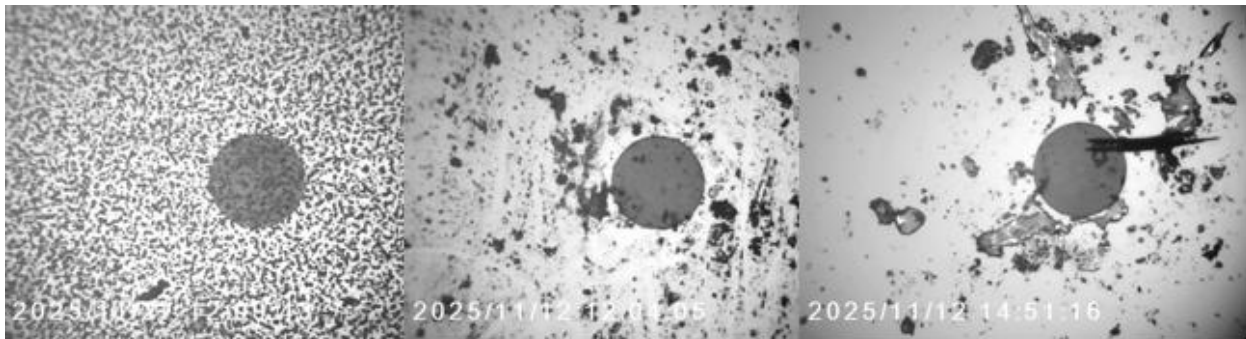
*Tabla 19 Estructura para Comparación Preliminar Teórica vs Medida (Estado Pre-Limpieza)*

Módulo / Submódulo	Pérdida teórica (dB)	Potencia_TX (dBm) Pre-limpieza	Potencia_RX pre medida (dBm)	Atenuación pre $A_{pre}$ (dB)	Diferencia (dB)	Observación inicial
Residencial – Residencial	Pérdida teórica (dB)	(dBm) Pre-limpieza	P_RX pre-medida (dBm)	$A_{pre} = P_{tx} - P_{tRX}$	$\Delta A > +5$ dB	Estado crítico
Residencial – Edificio 1x32	Pérdida teórica (dB)	(dBm) Pre-limpieza	P_RX pre-medida (dBm)	$A_{pre} = P_{tx} - P_{tRX}$	$-2 < \Delta A < 0$ dB	Estado ideal

Empresarial – Móvil GPON	Pérdida teórica (dB)	(dBm) Pre- limpieza	P_RX pre medida (dBm)	$A_{pre}$ $= P_{tx}$ $- P_{tRX}$	$0 < \Delta A \leq +5$ dB	Estado moderado
-----------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------------	--	------------------------------	--------------------

Además, en esta etapa se documentará el estado visual de los conectores:

- Conectores clasificados como “limpios/aceptables” o “contaminados/no aceptables” según criterios de la norma IEC 61300-3-35 (zonas A y B) tal y como se especificó en la sección 2.10, subsección normas y estándares internacionales para conectores.
- En la Figura 41 se muestran capturas representativas de conectores con contaminación por polvo, grasa y micro-rayaduras.



*Figura 41 Estado pre-limpieza con contaminación en zona de núcleo y revestimiento.*

### 3.6.3. Procedimientos de Limpieza e Intervención

Para los conectores identificados como contaminados o deficientes se aplicarán procedimientos de limpieza escalonados, basados en las recomendaciones de IEC 61300-3-35 y TIA-568.3-D:

#### 1. Limpieza seca:

- Uso de cassettes “one-click” o paños secos/papel óptico certificado.

- Aplicación de un solo paso de limpieza por cara final y reinspección inmediata con microscopio.

2. Limpieza húmeda:

- Aplicación de alcohol isopropílico de alta pureza en las toallas sin pelusa y limpieza de la férula.
- Secado posterior con aire comprimido filtrado.
- Reinspección con microscopio.

3. Evaluación de reemplazo:

- En caso de defectos físicos (grietas, astillamientos) o contaminación persistente, se considerará el reemplazo del conector o el reempalme del tramo afectado.

### 3.6.4. Estado Final (Post-Limpieza)

Una vez completadas las labores de limpieza e intervención, se repetirán las mediciones de potencia TX/RX en los mismos puntos evaluados en el estado inicial, manteniendo la misma configuración instrumental. Con estos valores se calculará la atenuación total post-limpieza y se comparará con la atenuación pre-limpieza y con el presupuesto teórico, observar la tabla 1, donde la pérdida teórica es la calculada por medio de la ecuación (2), la atenuación pre-limpieza como lo describe la sección anterior y la atenuación post limpieza con una fórmula similar a la ecuación (9), La mejora radica en la diferencia de la atenuación prelimpieza con la atenuación post limpieza.

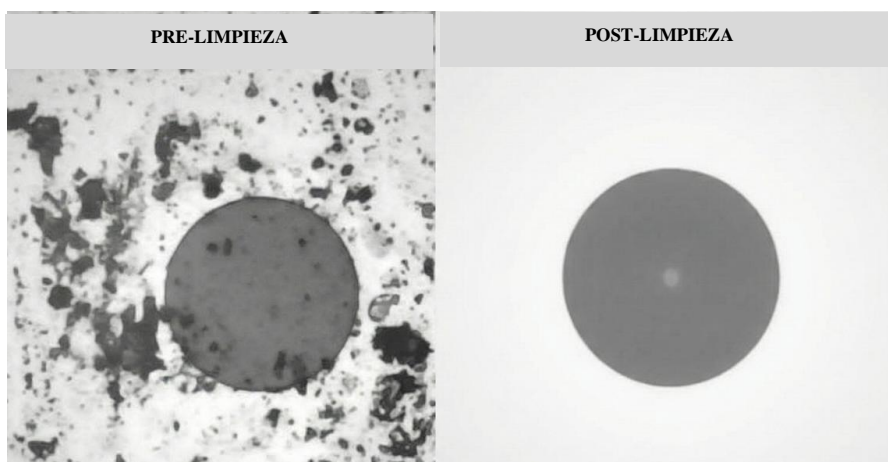
*Tabla 20 Estructura para Comparación Pre/Post Limpieza por Módulo Didáctico.*

Módulo / Submódulo	Pérdida teórica (dB)	Atenuación pre (dB)	Atenuación post (dB)	Mejora $\Delta A$ (dB)	Comentario esperado
Residencial – Residencial	Pérdida teórica (dB)	Atenuación pre (dB)	Atenuación post (dB)	$A_{pre} - A_{post}$	Reducción de pérdidas por conectores.
Residencial – Edificio 1x32	Pérdida teórica (dB)	Atenuación pre (dB)	Atenuación post (dB)	$A_{pre} - A_{post}$	Mejora parcial, margen aún crítico
Empresarial – Móvil GPON	Pérdida teórica (dB)	Atenuación pre (dB)	Atenuación post (dB)	$A_{pre} - A_{post}$	Mejora significativa tras

					limpieza completa
--	--	--	--	--	-------------------

En esta etapa también se evaluará nuevamente el estado visual de los conectores para verificar que:

- Se ha eliminado la contaminación observable en zonas críticas.
- Disminuyen o desaparecen las partículas y rayaduras detectadas en el estado inicial. Como se observa en la Figura 42 de ejemplo:



*Figura 42 Ejemplo de conector en estados pre-limpieza y post-limpieza.*

### **3.6.5. Relación con la Simulación en OptiSystem**

Finalmente, los valores de atenuación pre y post-limpieza se incorporarán a los modelos de simulación definidos en la sección 3.5. Para ello:

- En los escenarios A–D se ajustará la pérdida por conector para aproximar los valores medidos en campo.
- Se analizarán las variaciones de potencia RX simulada, BER y factor Q entre el estado “limpio” y los estados “contaminados”.

En el Capítulo IV se presentarán los resultados comparativos entre:

- Atenuación teórica.

- Atenuación medida en laboratorio (pre y post-limpieza).
- Atenuación equivalente utilizada en las simulaciones.

Permitirá demostrar de forma cuantitativa el impacto de la contaminación en los conectores y la efectividad de los procedimientos de limpieza aplicados.

### 3.7. Descripción y Desarrollo de Encuestas

Con el objetivo de contextualizar la presente investigación dentro de la realidad operativa del sector de telecomunicaciones ecuatoriano, se diseñó y aplicó una encuesta dirigida a técnicos de campo que trabajan directamente con infraestructura de fibra óptica. Esta herramienta de recolección de datos primarios complementa el enfoque experimental del proyecto, proporcionando una perspectiva cualitativa y cuantitativa sobre las prácticas actuales de mantenimiento, inspección y limpieza de conectores ópticos en el campo profesional.

La aplicación de esta encuesta se fundamenta en los siguientes propósitos:

**A) Identificar Brechas de Conocimiento Normativo:** Determinar si los técnicos en ejercicio conocen y aplican las normas internacionales que regulan la inspección y mantenimiento de conectores de fibra óptica, específicamente la norma IEC 61300-3-35 (inspección visual de conectores) y la norma ITU-T L.25 (procedimientos de mantenimiento de sistemas de fibra óptica).

**b) Documentar Prácticas Reales De Campo:** Conocer los métodos de limpieza, inspección y diagnóstico que se aplican actualmente en el entorno laboral, permitiendo contrastarlos con las recomendaciones establecidas en las normas internacionales y la literatura técnica especializada.

**c) Cuantificar la Magnitud del Problema:** Establecer con datos concretos qué porcentaje de técnicos realiza inspección visual antes de conectar, con qué frecuencia limpian los conectores, si cuentan con las herramientas adecuadas y si reconocen el impacto de la contaminación en la calidad de los enlaces GPON.

d) **Validar la Relevancia Práctica de la Investigación:** Demostrar mediante evidencia empírica que existe una necesidad real de concientización, capacitación y estandarización de procedimientos de mantenimiento preventivo en redes de fibra óptica.

e) **Fortalecer el Sustento Metodológico:** Los resultados de la encuesta proporcionan datos de contexto que respaldan las hipótesis de la investigación y justifican la importancia de los procedimientos correctivos implementados en el laboratorio.

### **3.7.1. Población Objetivo y Criterios de Selección**

Población objetivo: Técnicos en telecomunicaciones que trabajan con infraestructura de fibra óptica en Ecuador, independientemente de la empresa u organización a la que pertenezcan.

Criterio de inclusión: Se incluyeron técnicos que cumplan con al menos uno de los siguientes criterios:

- Manipulan conectores de fibra óptica como parte de sus funciones laborales
- Realizan instalación, mantenimiento o reparación de redes de fibra óptica
- Trabajan en empresas proveedoras de servicios de internet, televisión por cable o telecomunicaciones
- Tienen formación técnica o profesional relacionada con telecomunicaciones o electrónica

La decisión metodológica de encuestar a técnicos sin restricción por empresa específica se fundamenta en las siguientes consideraciones:

1. **Universalidad Del Problema:** La contaminación de conectores de fibra óptica es un fenómeno que afecta a todas las redes ópticas sin distinción de proveedor de servicios, fabricante de equipos o tipo de instalación. Por tanto, las prácticas de mantenimiento (o la ausencia de ellas) tienen impacto similar independientemente de la empresa.
2. **Diversidad de Experiencias:** Técnicos de diferentes empresas, regiones y contextos operativos aportan perspectivas variadas sobre las prácticas de mantenimiento, los recursos disponibles y los desafíos que enfrentan en campo.

3. **Validez Externa de los Resultados:** Una muestra diversa aumenta la capacidad de generalización de los hallazgos a todo el sector de telecomunicaciones ecuatoriano, en lugar de limitarse a una empresa particular.
4. **Representatividad del Sector:** Al incluir técnicos de múltiples orígenes laborales, los resultados reflejan de manera más fiel la realidad del gremio de técnicos en fibra óptica.

### 3.7.2. Tamaño y Característica de la Muestra

Se obtuvieron 102 respuestas válidas de técnicos en telecomunicaciones, lo cual representa una muestra significativa que permite realizar inferencias estadísticas confiables sobre las prácticas del sector.

Valor de obtener 102 respuestas:

- Permite calcular proporciones con un margen de error aproximado de  $\pm 10\%$  con un nivel de confianza del 95%.
- Supera el umbral mínimo recomendado de 30 observaciones para análisis estadístico descriptivo.
- Proporciona suficiente variabilidad para identificar patrones y tendencias en las respuestas.
- Permite segmentar los datos por variables demográficas (tabla 18 manteniendo subgrupos de tamaño razonable).

*Tabla 21 Distribución de la Muestra por Rango de Edad*

RANGO DE EDAD	CANTIDAD	PORCENTAJE
Menor a 25 años	19	18.6%
25 a 30 años	42	41.2%
30 a 40 años	27	26.5%
Mayor a 40 años	14	13.7%
TOTAL	102	100%

Nota: La distribución por edad muestra que la mayoría de los encuestados (67.7%) se encuentra en el rango de 25 a 40 años, lo cual corresponde a técnicos con experiencia laboral activa y relevante para el estudio.

*Tabla 22 Distribución de la Muestra por Nivel de Formación Académica*

NIVEL DE FORMACIÓN	CANTIDAD	PORCENTAJE
Bachiller técnico	37	36.3%
Tecnólogo	28	27.5%
Universitario	32	31.4%
Sin respuesta	5	4.9%
TOTAL	102	100%

Nota. La diversidad en niveles de formación refleja la composición real del personal técnico que trabaja en el sector de telecomunicaciones en Ecuador, donde coexisten profesionales con diferentes trayectorias educativas.

### **3.7.3. Instrumento de Recolección de Datos**

El cuestionario fue diseñado con 11 preguntas estructuradas que abordan las siguientes dimensiones de análisis: frecuencia de manipulación de conectores, conocimiento teórico sobre contaminación, percepción del impacto en redes GPON, disponibilidad de equipos, prácticas de limpieza e inspección, conocimiento de normas internacionales y procedimientos de diagnóstico.

A continuación, se presenta la descripción detallada de cada pregunta, sus opciones de respuesta y la relevancia que aporta a la investigación:

- **PREGUNTA 1:** Frecuencia de manipulación de conectores ópticos

¿Con qué frecuencia manipula conectores ópticos en su trabajo?

Opciones de respuesta:

- Diariamente

- Semanalmente
- Raramente
- Nunca

Esta pregunta establece el nivel de exposición práctica del encuestado al objeto de estudio. Los técnicos que manipulan conectores con mayor frecuencia son quienes:

- Tienen mayor probabilidad de generar o encontrar contaminación en los conectores
- Deberían estar más familiarizados con los procedimientos de limpieza e inspección
- Representan la población más crítica para implementar buenas prácticas

Un técnico que manipula conectores diariamente y no aplica procedimientos de limpieza genera un riesgo acumulativo significativamente mayor que uno que lo hace esporádicamente. Esta pregunta permite segmentar los análisis posteriores según el nivel de experiencia práctica.

- **PREGUNTA 2:** Conocimiento sobre el efecto de la contaminación

¿Conoce el efecto que produce la contaminación (polvo, grasa, humedad) en la señal óptica?

Opciones de respuesta:

- Sí, conozco a detalle
- No

Esta pregunta evalúa el nivel de conocimiento teórico del técnico sobre el problema central de la investigación. El conocimiento del efecto de la contaminación es el fundamento para que un técnico:

- Comprenda la importancia de mantener los conectores limpios

- Aplique voluntariamente procedimientos preventivos
- Identifique la contaminación como posible causa de problemas de atenuación

Si un técnico desconoce que una partícula de 10 µm sobre el núcleo de la fibra puede causar pérdidas de hasta 1 dB, probablemente no priorizará la limpieza como medida preventiva. Los resultados de esta pregunta permiten identificar brechas de capacitación en el sector.

- **PREGUNTA 3:** Percepción del impacto en enlaces GPON

¿Considera que la contaminación de los conectores puede afectar la calidad del enlace GPON?

Opciones de respuesta:

- Sí, de forma significativa
- No afecta

Esta pregunta mide la percepción del impacto práctico de la contaminación, más allá del conocimiento teórico. Un técnico puede conocer que la contaminación existe, pero subestimar su efecto real en el desempeño del enlace.

Las redes GPON operan con presupuestos ópticos estrictos (típicamente 28 dB para Clase B+), donde cada fracción de dB de pérdida adicional reduce el margen de seguridad del sistema. Si los técnicos creen que la contaminación "no afecta", es poco probable que inviertan tiempo en prevenirla, lo cual contradice la evidencia técnica documentada en normas como IEC 61300-3-35 y publicaciones de fabricantes (Cisco, AFL, Corning).

- **PREGUNTA 4:** Disponibilidad de implementos de diagnóstico

¿En su trabajo cuenta con todos los implementos necesarios para diagnosticar atenuaciones en el enlace?

Opciones de respuesta:

- Sí
- No

Esta pregunta identifica las limitaciones de recursos que enfrentan los técnicos en campo. Incluso si un técnico conoce los procedimientos correctos y reconoce la importancia de la limpieza, la falta de herramientas adecuadas (microscopios de inspección, OPM, OTDR, cassettes de limpieza) imposibilita la aplicación de buenas prácticas.

Los implementos fundamentales para diagnosticar atenuaciones incluyen:

- Microscopio digital de inspección (para verificar estado del conector)
- Medidor de potencia óptica - OPM (para cuantificar pérdidas)
- OTDR (para localizar eventos de pérdida)
- Materiales de limpieza de grado óptico

Los resultados de esta pregunta permiten determinar si las deficiencias en mantenimiento se deben a desconocimiento o a falta de recursos, lo cual tiene implicaciones diferentes para las recomendaciones finales.

- **PREGUNTA 5:** Frecuencia de limpieza de conectores

¿Con qué frecuencia realiza limpieza de conectores ópticos?

Opciones de respuesta:

- Antes de cada conexión
- Solo cuando hay fallas de señal
- Nunca

Esta pregunta es crítica para evaluar el cumplimiento de las mejores prácticas internacionales. La norma IEC 61300-3-35 y el principio "Inspect Before You Connect" establecido por la TIA recomiendan que todo conector debe ser inspeccionado y, de ser necesario, limpiado ANTES de cada conexión.

Las opciones de respuesta permiten identificar tres niveles de práctica:

- "Antes de cada conexión": Cumple con las recomendaciones normativas (práctica ideal)
- "Solo cuando hay fallas de señal": Enfoque reactivo, la contaminación ya causó degradación
- "Nunca": Desviación crítica de las buenas prácticas

La proporción de técnicos en cada categoría revela directamente el grado de cumplimiento de las normas en el sector.

- **PREGUNTA 6:** Métodos de limpieza utilizados

¿Qué método utiliza normalmente para limpiar los conectores?

Opciones de respuesta (selección múltiple):

- Paño seco o papel de limpieza óptico
- Paño húmedo o alcohol isopropílico
- Aire comprimido
- Limpiador de contacto electrónico
- Soplado o limpieza manual sin instrumentos
- Su propia ropa (camiseta, etc.)

Esta pregunta evalúa si los métodos de limpieza son adecuados según las normas internacionales. No todos los métodos de limpieza son equivalentes; algunos pueden incluso empeorar la contaminación:

La inclusión de la opción "Su propia ropa" fue intencional para detectar prácticas claramente inadecuadas que, según la experiencia en campo, son más comunes de lo esperado.

- **PREGUNTA 7:** Conocimiento de la norma IEC 61300-3-35

¿Conoce el procedimiento de la norma internacional IEC 61300-3-35?

Opciones de respuesta:

- Sí
- No

La norma IEC 61300-3-35 es el estándar internacional de referencia para la inspección visual de conectores de fibra óptica. Esta norma define:

- Las zonas de inspección (A, B, C, D) del conector
- Los criterios de aceptación y rechazo (tamaño y cantidad de defectos permitidos)
- Los procedimientos de inspección con microscopio
- La clasificación de defectos (rayaduras, partículas, picaduras)

Un técnico que desconoce esta norma carece del marco de referencia para determinar si un conector está "aceptable" o "rechazado", lo cual implica que sus decisiones de limpieza se basan en criterios subjetivos o simplemente no inspecciona. Esta pregunta identifica directamente la brecha de conocimiento normativo en el sector.

- **PREGUNTA 8:** Conocimiento de la norma ITU-T L.25

¿Conoce el procedimiento de la norma internacional ITU-T L.25?

Opciones de respuesta:

- Sí
- No

La recomendación ITU-T L.25 establece los procedimientos de mantenimiento para sistemas de transmisión por fibra óptica, incluyendo:

- Métodos de limpieza de conectores
- Frecuencia de mantenimiento preventivo
- Procedimientos de inspección
- Criterios de aceptación para empalmes y conexiones

Esta pregunta complementa la anterior, evaluando el conocimiento de una norma ITU que es particularmente relevante para redes de telecomunicaciones. Juntas, las preguntas 7 y 8 proporcionan un indicador completo del conocimiento normativo de los técnicos encuestados.

- **PREGUNTA 9:** Práctica de inspección visual con microscopio

¿Realiza inspección visual de los conectores antes de conectar?

Opciones de respuesta:

- Siempre
- A veces
- Nunca

Un técnico que "nunca" inspecciona visualmente está conectando conectores "a ciegas", sin saber si están limpios o contaminados. Esta práctica viola directamente las recomendaciones de IEC 61300-3-35 y TIA-568.3-D.

- **PREGUNTA 10:** Tipos de contaminación más frecuentes en campo

¿Qué tipo de contaminación cree encontrar con mayor frecuencia en el campo?

Opciones de respuesta (selección múltiple):

- Polvo
- Grasa / huellas dactilares
- Humedad
- Daños físicos en el conector
- No suele encontrar contaminación

Esta pregunta recoge la experiencia de campo de los técnicos respecto a los tipos de contaminación que encuentran con mayor frecuencia. Esta información es valiosa porque:

- Permite comparar la percepción de los técnicos con la literatura técnica
- Identifica los tipos de contaminación más problemáticos en el contexto ecuatoriano
- Orienta las recomendaciones sobre métodos de limpieza específicos para cada tipo

La opción "No suele encontrar contaminación" es particularmente reveladora: si un técnico que nunca inspecciona visualmente (pregunta 9) selecciona esta opción, indica que simplemente no detecta la contaminación por falta de inspección, no que los conectores estén realmente limpios.

- **PREGUNTA 11:** Procedimiento de diagnóstico ante atenuaciones

En caso de presentarse atenuaciones en el enlace, ¿cuál es su primer procedimiento de diagnóstico?

Opciones de respuesta (selección múltiple):

- Verificar fusiones
- Limpiar conectores
- Revisar splitters o patch cords
- Medir con OPM/OTDR

Evalúa el enfoque de resolución de problemas de los técnicos cuando se presenta una falla de atenuación. Las opciones representan diferentes estrategias:

- "Limpiar conectores": Enfoque preventivo, reconoce la contaminación como causa probable
- "Medir con OPM/OTDR": Enfoque diagnóstico, busca cuantificar y localizar el problema
- "Verificar fusiones": Enfoque estructural, revisa la integridad de los empalmes
- "Revisar splitters o patch cords": Enfoque de componentes, busca fallas en elementos pasivos

Si "Limpiar conectores" no figura entre las primeras acciones de muchos técnicos, indica que la contaminación no es reconocida como causa frecuente de atenuación, lo cual contradice la evidencia técnica y revela una oportunidad de capacitación.

### **3.8. Resultados Esperados de la Encuesta**

Los resultados de esta encuesta, que serán analizados en detalle en el Capítulo IV, se espera que permitan:

1. Cuantificar el desconocimiento normativo: Determinar qué porcentaje de técnicos desconoce las normas IEC 61300-3-35 e ITU-T L.25, fundamentando la necesidad de programas de capacitación.
2. Identificar malas prácticas prevalentes: Documentar prácticas como el uso de ropa personal para limpiar conectores o la ausencia total de inspección visual.
3. Correlacionar conocimiento con práctica: Analizar si existe relación entre el nivel de formación, el conocimiento de normas y la aplicación de buenas prácticas.
4. Validar la hipótesis de la investigación: Demostrar que la falta de mantenimiento preventivo de conectores es un problema generalizado, no un caso aislado de los Módulos Didácticos del laboratorio.

5. Fundamentar recomendaciones: Proporcionar evidencia para elaborar recomendaciones específicas dirigidas a empresas, instituciones educativas y organismos reguladores del sector.

### **3.8.1. Consideraciones Éticas y Metodológicas**

Anonimato y confidencialidad: Aunque se registró el nombre de los encuestados para verificar la autenticidad de las respuestas, los resultados se presentan de forma agregada sin identificar individuos ni empresas específicas.

Participación voluntaria: Todos los técnicos participaron de forma voluntaria, sin coerción ni incentivos que pudieran sesgar las respuestas.

Instrumento validado: El cuestionario fue diseñado con preguntas cerradas para facilitar el análisis cuantitativo y reducir la ambigüedad en las respuestas.

Período de recolección: Las respuestas fueron recolectadas entre octubre y noviembre de 2025, garantizando la actualidad de los datos.



## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis De Resultados De Los Módulos Didácticos

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en los Módulos Didácticos Residencial y Empresarial, comparando las mediciones de potencia óptica en el estado inicial (pre-limpieza) y en el estado final (post-limpieza). El análisis se realiza en función del presupuesto óptico teórico definido en el Capítulo III y del rango operativo de las ONT.

##### 4.1.1. Resultados del Módulo Empresarial

###### A) Estado Inicial (pre-limpieza)

En la tabla 23 se puede observar el estado de la potencia en los Módulos Didácticos.

*Tabla 23 Resultados de Potencia en el Módulo Móvil GPON - Estado Pre-Limpieza*

Punto de medición Pre	Potencia de transmisión OLT (dBm)	Potencias de recepción ONT pre-limpieza (dBm)	Atenuación pre $A_{pre}$ (dB)	Rango ONT (dBm)	Estado
ONT Módulo móvil	+7.48	-23.04	30.52	-10 a -27	Señal insuficiente

###### Interpretación del estado inicial:

La atenuación total pre-limpieza (30.52 dB) es mayor a la prevista por el presupuesto óptico teórico (21.31 dB), lo que indica la presencia de pérdidas extrínsecas adicionales de aproximadamente 9.21 dB. Esta diferencia se atribuye principalmente a la contaminación en los conectores ópticos (polvo, grasa y partículas), condición que fue posteriormente confirmada mediante inspección visual con microscopio digital de 400X.

El exceso de atenuación de +9.21 dB sobre el valor teórico coloca al enlace fuera del presupuesto óptico permitido para redes GPON Clase B+ (28 dB), comprometiendo la estabilidad del servicio y justificando la necesidad de intervención mediante procedimientos de limpieza basados en estándares IEC 61300-3-35.

**B) Estado Final (post-limpieza)**

Tras aplicar los procedimientos de limpieza e inspección descritos en la sección 2.10, se repitieron las mediciones en los mismos puntos, los cuales se pueden observar en la siguiente tabla 24 y su respectiva medición en la figura 43.

*Tabla 24 Resultados de Potencia en el Módulo Móvil GPON - Estado Post-Limpieza*

Punto de medición Post Limpieza	Potencia de transmisión OLT (dBm)	Potencias de recepción ONT Post limpieza (dBm)	Atenuación Post $A_{post}$ (dB)	Rango ONT (dBm)	Estado
ONT – Módulo móvil	+7.48	-14.00	21.48	-10 a -27	Óptimo



*Figura 43 Medidas de potencia en la ONT en el Módulo Móvil Pre-Limpieza y Post-Limpieza*

Análisis comparativo:

La potencia RX en la ONT aumentó desde -23.04 dBm (estado pre-limpieza) hasta -14.00 dBm (estado post-limpieza), ubicándose en la zona óptima del rango de sensibilidad (-10 a -27 dBm). Esta mejora de 9.04 dB en la potencia recibida elimina el riesgo de pérdida de señal y garantiza un margen de seguridad adecuado.

La atenuación total se redujo de 30.52 dB a 21.48 dB, valor que ahora se aproxima al presupuesto óptico teórico de 21.31 dB (diferencia de solo 0.17 dB), confirmando que los procedimientos de limpieza eliminaron efectivamente las pérdidas extrínsecas.

### 4.1.2. Resultados el Módulo Residencial–Submódulo Residencial (1x4+1x8)

#### A) Estado Inicial (pre-limpieza)

*Tabla 25 Resultados de Potencia en el Submódulo Residencial - Estado Pre-Limpieza*

Punto de medición Pre	Potencia de transmisión OLT (dBm)	Potencias de recepción ONT pre-limpieza (dBm)	Atenuación pre $A_{pre}$ (dB)	Rango ONT (dBm)	Estado
ONT – Vivienda representativa	+7.48	-21.38	-28.86	-10 a -27	Requiere mantenimiento

#### Interpretación:

La potencia recibida (-21.38 dBm) se encuentra dentro del rango de sensibilidad de la ONT, aunque con un margen reducido de solo 5.62 dB antes del límite inferior.

La atenuación medida pre-limpieza es de 28.86 dB, valor que supera el presupuesto teórico de 24.16 dB en +4.70 dB. Esta diferencia indica pérdidas extrínsecas por contaminación como se muestra en la tabla 25. La atenuación supera marginalmente el límite de 28 dB de la clase B+, justificando la intervención mediante limpieza. Estado final (post-limpieza) como se observa en la tabla 26, con su respectiva medición en el OPM como se observa en la figura 44.

Tabla 26 Resultados de Potencia en el Submódulo Residencial - Estado Post-Limpieza

Punto de medición Post	Potencia de transmisión OLT (dBm)	Potencias de recepción ONT post-limpieza (dBm)	Atenuación pre $A_{post}$ (dB)	Rango ONT (dBm)	Estado
ONT – Vivienda representativa	+7.48	-16.95	24.43	-10 a -27	Óptimo



Figura 44 Medidas de Potencia en Submódulo Residencial

Análisis comparativo:

La atenuación se redujo de 28.86 dB a 25.48 dB, una mejora de 3.38 dB. Esta reducción coloca al enlace dentro del presupuesto óptico de 28 dB.

La potencia recibida mejoró de -21.38 dBm a -18.00 dBm, con un margen de 8 dB hacia el límite superior y 9 dB hacia el inferior.

### 4.1.3. Resultados del Módulo Residencial – Submódulo Edificio GPON 1x32

A) Tabla 27 de datos del estado inicial (pre-limpieza)

Tabla 27 Estado Inicial Submódulo Edificio GPON 1X32

Punto de medición Pre	Potencia de transmisión OLT (dBm)	Potencias de recepción ONT pre-limpieza (dBm)	Atenuación pre $A_{pre}$ (dB)	Rango ONT (dBm)	Estado
ONT – Piso representativo	+7.48	-22.90	30.38	-10 a -27	Operativo– Atenuación crítica

La potencia recibida en la ONT del submódulo Edificio (-22.90 dBm) se encuentra dentro del rango de sensibilidad de la ONT (-10 a -27 dBm), pero con un margen muy reducido de solo 4.10 dB antes del límite inferior, indicando operación cercana al punto crítico de pérdida de señal.

La atenuación medida pre-limpieza es de 30.38 dB, valor que supera significativamente el presupuesto óptico teórico de 23.72 dB en +6.66 dB. Esta diferencia indica la presencia de pérdidas extrínsecas críticas por contaminación en los conectores. Debido a la alta pérdida intrínseca del splitter 1x32 (~16.9 dB), el submódulo Edificio dispone de un margen de potencia más reducido que otros submódulos; por tanto, la contaminación tiene un impacto crítico, colocando la atenuación total 2.38 dB fuera del presupuesto permitido de 28 dB para la clase B+.

B) Tabla 28 datos del estado final (post-limpieza)

Tabla 28 Estado Final del Submódulo Edificio GPON 1X32

Punto de medición	P_TX OLT (dBm)	P_RX post (dBm)	Atenuación post $A_{post}$ (dB)	Rango ONT (dBm)	Estado
ONT – Piso representativo	+7.48	-16.95	24.43	-10 a -27	Óptimo



Figura 45 Estado Post-Limpieza del Submódulo Edificio GPON IX32

#### Análisis:

En la tabla 28 se observa que la atenuación se redujo de 30.38 dB a 24.43 dB, una mejora significativa de 5.95 dB. Esta reducción recuperó críticamente el margen óptico, colocando al enlace desde "fuera de especificación" (2.38 dB fuera del límite) a "óptimo" dentro del presupuesto de 28 dB. La potencia recibida mejoró de -22.90 dBm a -16.95 dBm, triplicando los márgenes de seguridad de 4.10 dB a 10.05 dB al límite inferior y ganando 8.95 dB al límite superior, como se observa el estado Post-Limpieza en la figura 45

La mejora de 5.95 dB es mayor que en la urbanización (3.38 dB) pero menor que en el móvil (9.04 dB), explicable por contaminación severa-moderada (exceso de 6.66 dB teórico). Los resultados post-limpieza se alinean con el presupuesto teórico de 23.72 dB (desviación: 0.71 dB) y la simulación de -16.90 dBm (diferencia: 0.05 dB), mostrando excelente coherencia. La inspección visual confirmó eliminación de contaminación en los conectores.

#### 4.1.4. Comparación global entre Módulos

Para sintetizar el efecto de las acciones de limpieza y corrección en los distintos Módulos, se presenta la siguiente tabla 29 comparativa:

Tabla 29 Comparación Global de Atenuaciones Teóricas, Pre y Post-Limpieza

Módulo / Submódulo	Pérdida teórica (dB)	Atenuación pre (dB)	Atenuación post (dB)	Mejora $\Delta A$ (dB)	Comentario
Residencial / Residencial	24.16	28.86	25.48	3.38	Enlace óptimo
Residencial / Edificio 1x32	23.72	30.38	24.43	5.95	Enlace óptimo
Empresarial / Móvil GPON	21.31	30.52	21.48	9.04	Enlace óptimo

Comparación Global de Atenuaciones:  
Teórica vs. Pre vs. Post-Limpieza

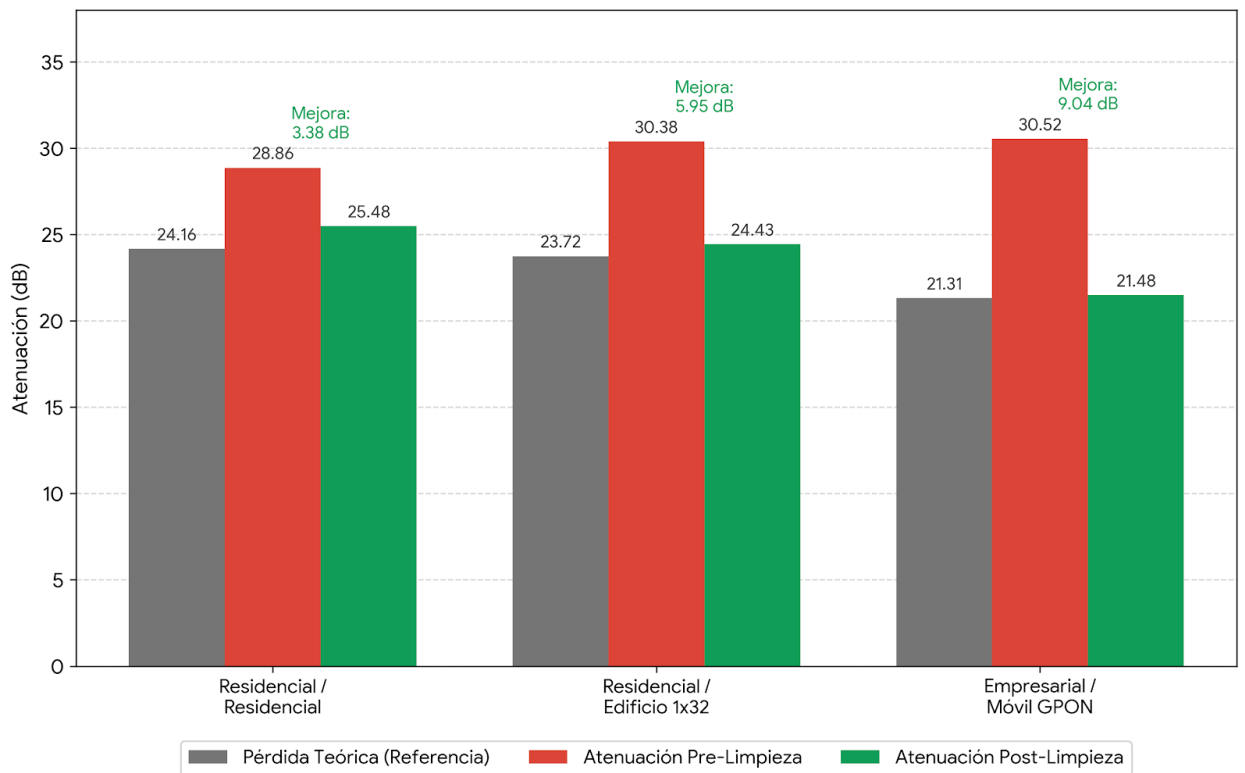


Figura 46 Atenuación teórica vs pre vs post-limpieza por Módulo.

Los procedimientos de limpieza tuvieron un impacto significativo y diferenciado en los tres módulos/submódulos evaluados como se observa en la figura 46. El módulo Móvil GPON experimentó la mejora más sustancial con 9.04 dB, partiendo de una contaminación severa (+9.21 dB sobre teórico) hasta lograr un alineamiento casi perfecto con el presupuesto teórico (diferencia de 0.17 dB). El submódulo Edificio 1x32 mostró una mejora de 5.95 dB, siendo el caso más crítico inicial con atenuación 2.38 dB fuera del límite de clase B+, recuperando así un margen óptico vital. La urbanización presentó la mejora más conservadora de 3.38 dB, reflejando contaminación moderada pero igualmente efectiva en reposicionar el enlace dentro del presupuesto permitido.

La diferencia en magnitudes de mejora ( $9.04 > 5.95 > 3.38$  dB) es directamente proporcional al nivel de contaminación inicial: móvil +9.21 dB, edificio +6.66 dB, urbanización +4.70 dB. Post-limpieza, todos muestran desviaciones menores a 1.32 dB respecto a teórico, validando la efectividad de IEC 61300-3-35. La coherencia entre valores teóricos, simulados en OptiSystem y medidos en campo (máxima diferencia: 0.96 dB) confirma la precisión del análisis y robustez de la metodología.

## **4.2. Análisis de las Simulaciones en Software**

Las simulaciones realizadas en OptiSystem permitieron cuantificar el efecto de las pérdidas introducidas por los conectores en los enlaces de los Módulos Residencial (submódulos Residencial y Edificio 1x32) y Empresarial móvil, bajo diferentes escenarios de contaminación. En esta sección se presentan los resultados obtenidos y su relación con el presupuesto óptico teórico y las mediciones experimentales.

### **4.2.1. Resultados de la Simulación del Submódulo Residencial (1x4+1x8)**

Para el submódulo Residencial se utilizó el esquema descrito en la sección 3.5.2, manteniendo constante la estructura del enlace (fibra, splitters y número de conectores) y variando únicamente la pérdida por inserción asociada a los conectores, de acuerdo con los escenarios A–D mostrados en la siguiente tabla 30.

Tabla 30 Resultados de Simulación – Residencial GPON (por escenario)

Escenario	Pérdida por conector (dB)	Nº conectores	Pérdida total conector (dB)	Pérdida total enlace simulada (dB)	Potencia TX (dBm)	Potencia RX simulada (dBm)	BER estimado	Q-factor	Estado
A	0.20	4	0.80	18.52	7.48	-17.042	3.34e-57	15.89	Óptimo
B	0.60	4	2.40	20.12	7.48	-18.659	6.80e-27	10.67	Aceptable
C	1.20	4	4.80	22.52	7.48	-21.00	1.99e-10	6.25	Marginal
D	2.50	4	10.00	27.72	7.48	-26.41	1	0	Crítico

Para comprender mejor los datos podemos ver la Figura 47, donde se ve la diferencia de pérdida según el escenario de prueba.

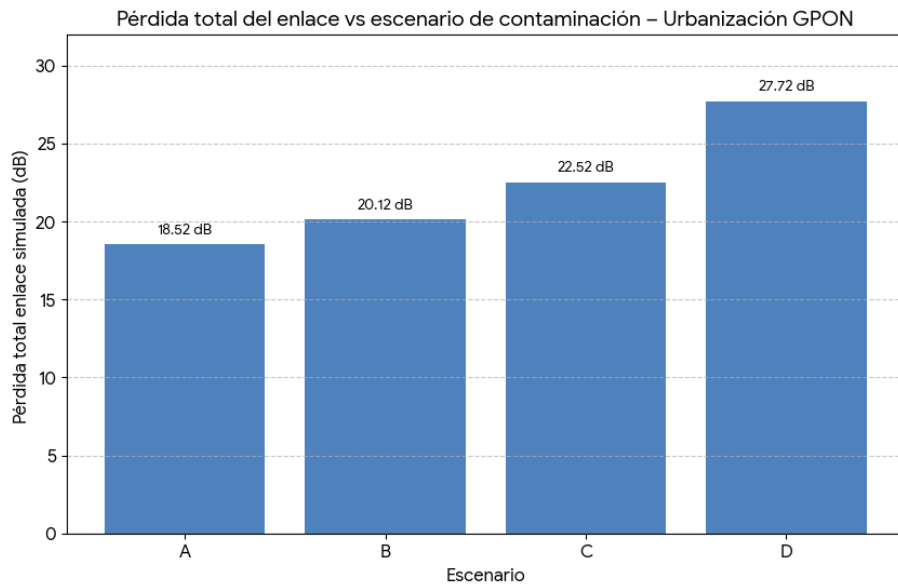


Figura 47 Pérdida total del enlace vs escenario de contaminación – Residencial GPON

El escenario A evidencia óptimas condiciones de transmisión con potencia receptora de -17.042 dBm, situada favorablemente dentro de la banda operacional de la ONT. El Q-Factor de 15.89 y BER de  $3.34 \times 10^{-57}$  constatan la integridad de la señal, con apertura máxima del diagrama de ojo y discriminación sin ambigüedad entre estados lógicos.

En los escenarios B y C, la progresiva contaminación (0.60 y 1.20 dB/conector) provoca decrecimiento paulatino de la potencia recibida (-18.659 y -21.00 dBm respectivamente), acompañado de deterioro sistemático del Q-Factor (10.67 y 6.25) y elevación del BER. El diagrama de ojo exhibe estrechamiento perceptible del margen de decisión, señalando degradación de la calidad de enlace.

El escenario D presenta situación crítica: la contaminación severa (2.50 dB/conector) incrementa la atenuación total en 9.37 dB respecto al caso limpio, transportando la potencia receptora a -26.41 dBm, prácticamente en el límite inferior permitido (-27 dBm). El colapso del Q-Factor a cero y BER unitario evidencian inoperabilidad práctica del enlace. Este comportamiento subraya la naturaleza acumulativa del deterioro por contaminación y la necesidad de protocolos preventivos de mantenimiento. Podemos observarlo en la Figura 48.

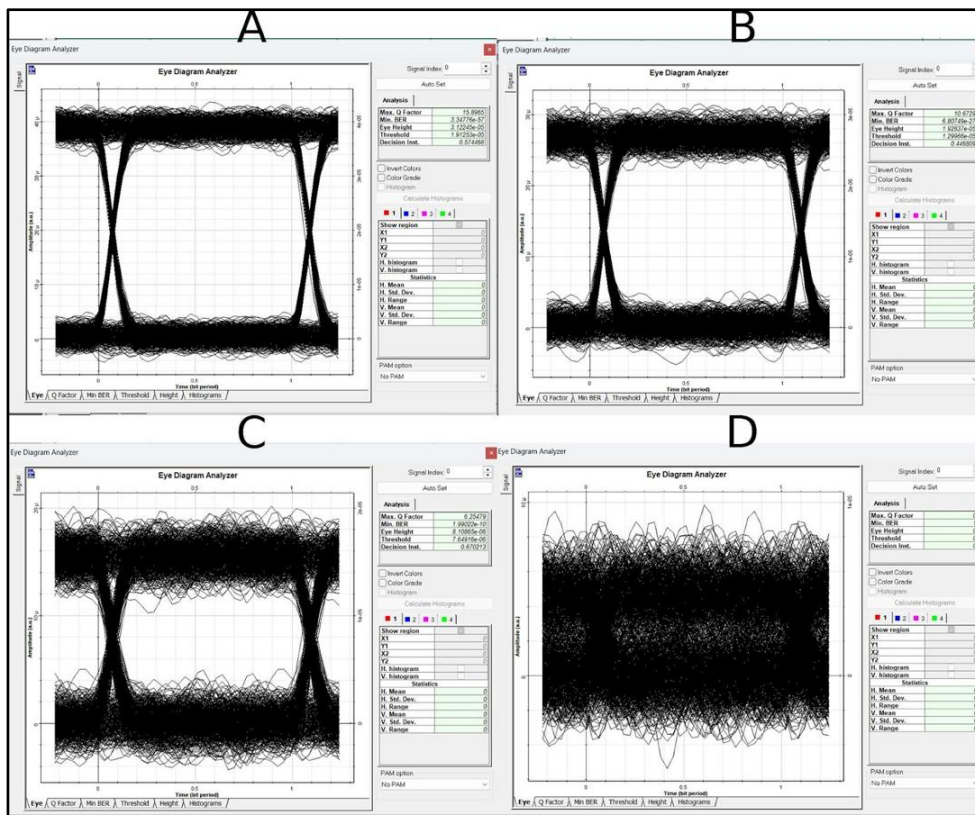


Figura 48 Diagrama de ojo para cada escenario

## 4.2.2. Resultados de Simulación – Submódulo Edificio GPON (1X32)

Para el submódulo Edificio se utilizó el modelo descrito en la sección 3.5.3, con un splitter 1x32 centralizado. Se simularon los mismos cuatro escenarios A–D de pérdidas por conector, los cuales se muestra los resultados en la siguiente tabla 31.

Tabla 31 Resultados de Simulación - Edificio GPON 1X32 (Por escenario)

Escenario	Pérdida por conector (dB)	Nº conectores	Pérdida total conectores (dB)	Pérdida total enlace simulada (dB)	P_TX (dBm)	P_RX simulada (dBm)	BER estimado	Q-factor	Estado
A	0.20	4	0.80	18.22	+7.48	-16.902	2.04e-59	16.21	Óptimo

B	0.60	4	2.40	19.82	+7.48	-18.155	1.22e-30	11.45	Aceptable
C	1.20	4	4.8	22.22	+7.48	-20.817	1.31e-11	6.67	Marginal
D	2.50	4	10	27.42	+7.48	-25.868	1	0	Crítico

Para analizar de mejor manera la tabla podemos observar los datos en la Figura 49:

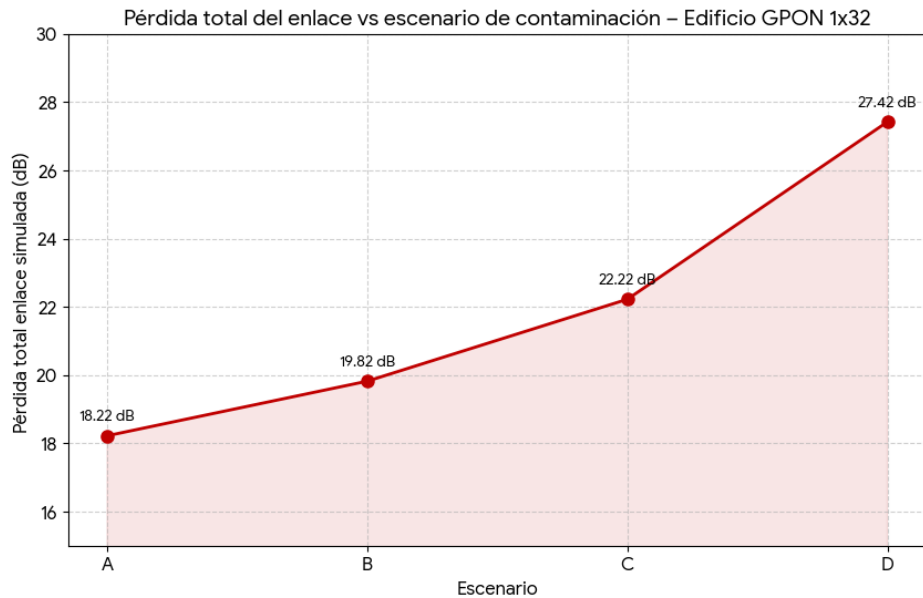


Figura 49 Pérdida total del enlace vs escenario de contaminación- Edificio GPON 1X32

Análisis:

El escenario A refleja condiciones idóneas de funcionamiento, con potencia receptora de -16.902 dBm y Q-Factor de 16.21, correspondiente a un BER de  $2.04 \times 10^{-59}$ . El diagrama de ojo presenta apertura plena, como lo muestra la Figura 50, garantizando discriminación nítida entre niveles lógicos.

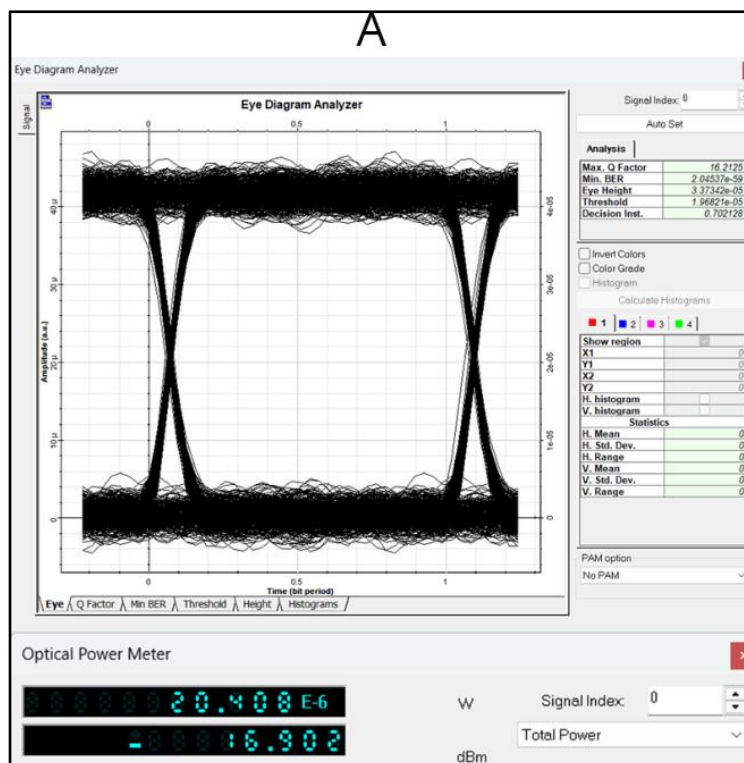


Figura 50 Diagrama de Ojo y Medición de potencia en escenario A Edificio 1x32 GPON

Conforme se intensifica la contaminación en los escenarios B y C, la potencia decrece a -18.155 dBm y -20.817 dBm respectivamente, acompañada de reducción progresiva del Q-Factor (11.45 → 6.67) y elevación del BER. El estrechamiento del diagrama de ojo en estas condiciones indica erosión gradual del margen de detección disponible.

En el escenario D figura 51, la contaminación severa ocasiona degradación de 8.97 dB adicionales respecto al estado limpio, situando la potencia en -25.868 dBm con margen residual de apenas 1.13 dB hasta el umbral de sensibilidad. El Q-Factor nulo y BER unitario confirman la inviabilidad operativa del enlace bajo estas condiciones adversas como se muestra en la Figura 48.

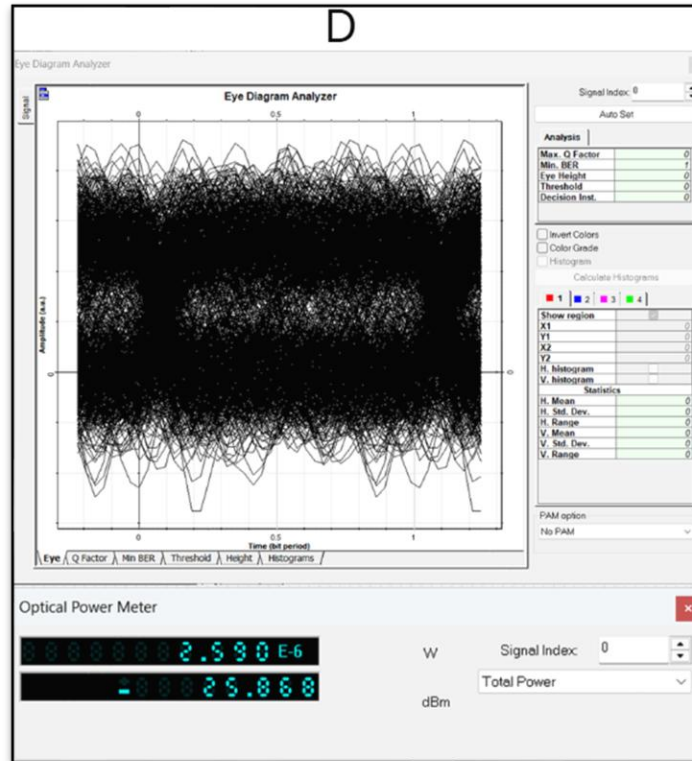


Figura 51 Diagrama de Ojo y Medición de potencia en Escenario D Edificio GPON 1X32

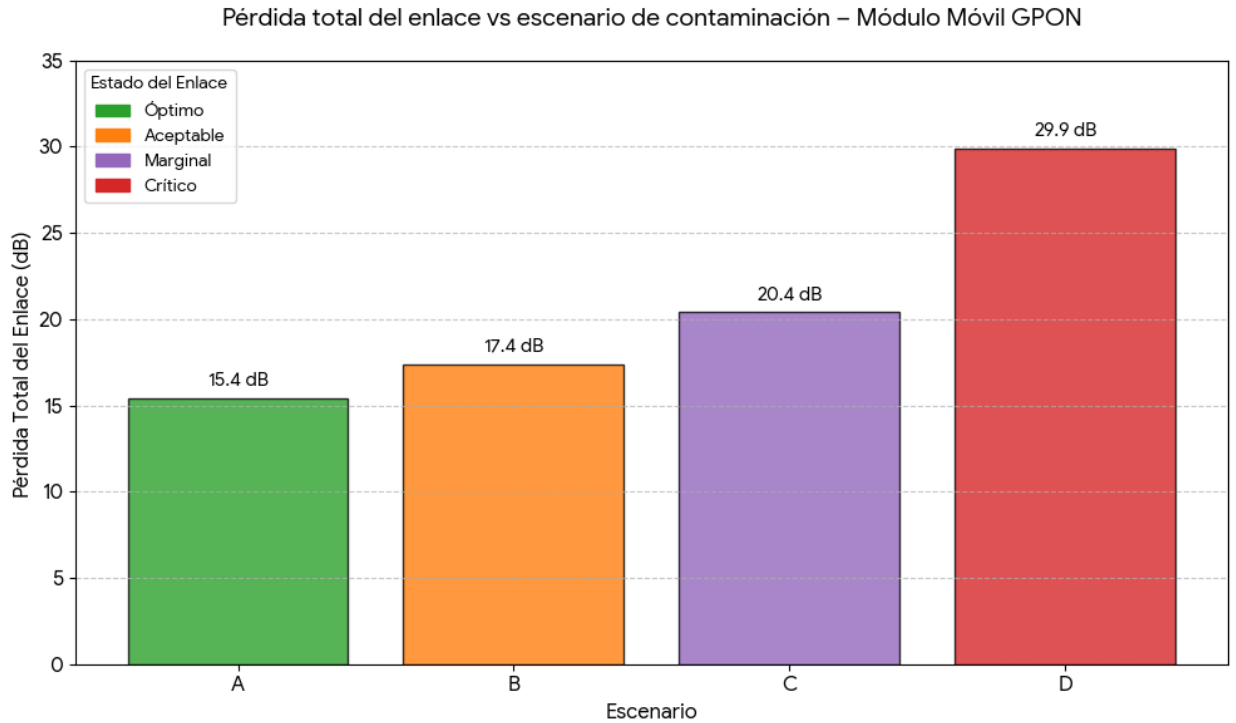
### 4.2.3. Resultados de Simulación – Módulo Móvil GPON

Para el Módulo Empresarial móvil se utilizó el modelo de la sección 3.5.4, con un splitter 2x16 y un número representativo de conectores y empalmes. Nuevamente se aplican los escenarios A–D, se muestra los resultados en la siguiente tabla 32.

Tabla 32 Resultados de Simulación - Módulo Móvil GPON (Por escenario)

Escenario	Pérdida por conector (dB)	Nº de conectores	Pérdida total de conectores (dB)	Pérdida total de enlace simulada (dB)	P_TX (dBm)	P_RX simulada (dBm)	BER estimado	Q-factor	Estado
A	0.20	5	1	15.40	+7.48	-13.88	9.59e-207	30.66	Óptimo
B	0.60	5	3	17.40	+7.48	-16.10		19.95	Aceptable

C	1.20	5	6	20.40	+7.48	-18.876	5.79e24	10.03	Marginal
D	2.50	5	12.50	29.90	+7.48	-25.505	1	0	Crítico



*Figura 52 Pérdida total del Enlace vs Escenario de Contaminación – Módulo Móvil GPON.*

El escenario A exhibe el comportamiento más favorable de los tres Módulos evaluados según se muestra figura 52, con potencia receptora de -13.88 dBm y Q-Factor sobresaliente de 30.66, traduciéndose en un BER de  $9.59 \times 10^{-207}$ . Estos parámetros constatan un diagrama de ojo ampliamente despejado como se muestra en la figura 53, propiciando recepción sin errores y holgado margen operativo.

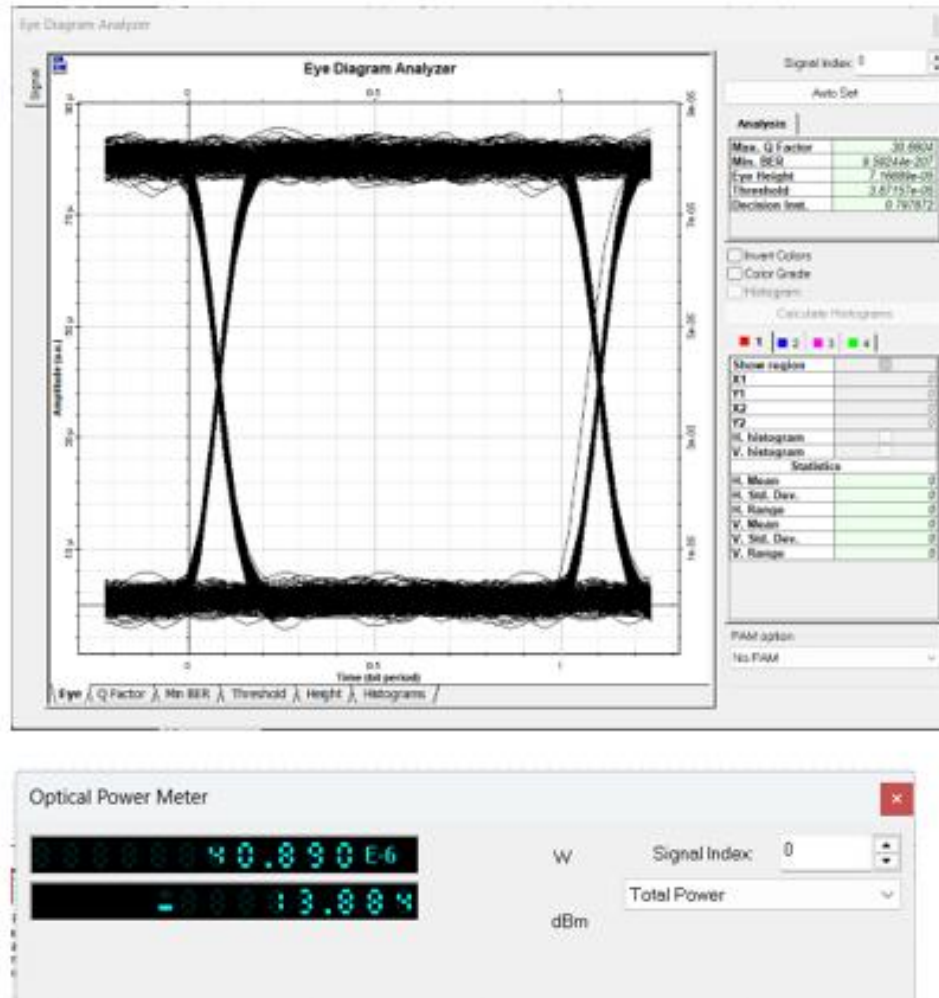


Figura 53 Diagrama de Ojo del Módulo Empresarial Móvil

Durante los escenarios B y C, el incremento de contaminación (0.60 y 1.20 dB/conector) produce atenuación gradual de la potencia (-16.10 dBm y -18.876 dBm), con descenso correlativo del Q-Factor (19.95 → 10.03) y ascenso del BER. No obstante, el enlace preserva funcionalidad aceptable dentro de la banda operacional de la ONT (figura 54).

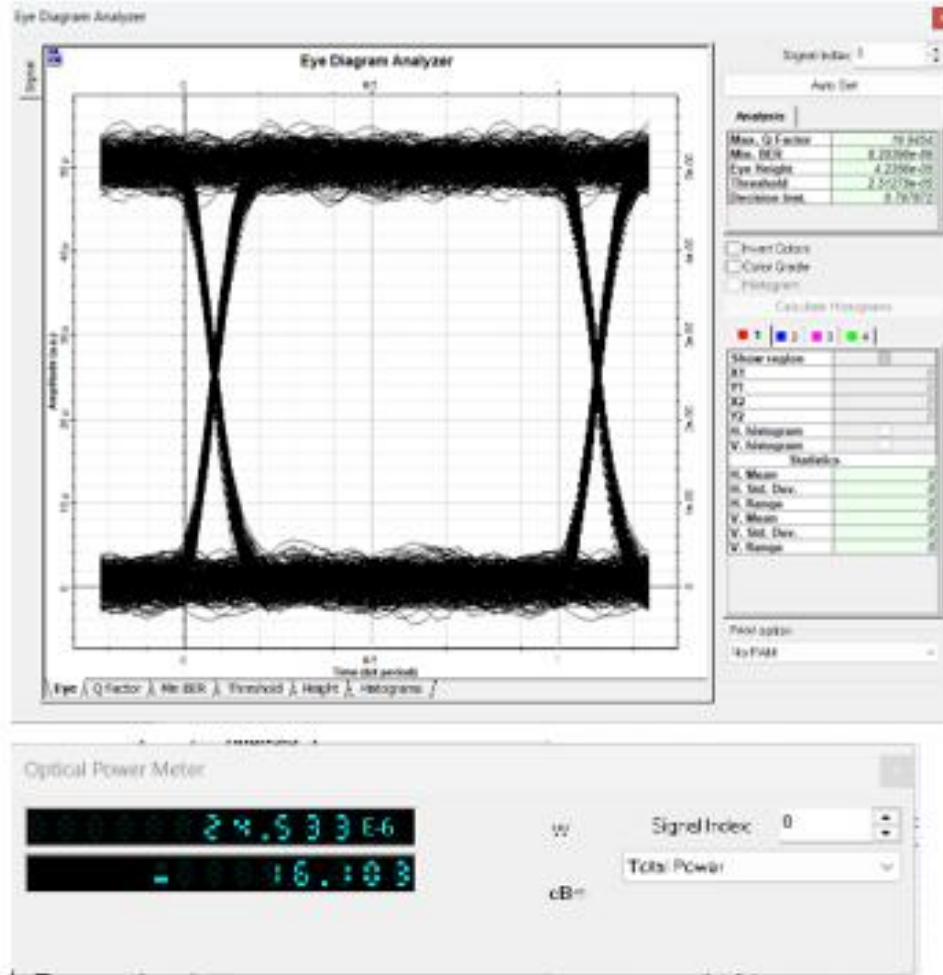


Figura 54 Diagrama de Ojo en escenarios B y C

El escenario D manifiesta deterioro severo (figura 55): la contaminación acumulada añade 11.62 dB de atenuación adicional respecto al estado limpio, precipitando la potencia a -25.505 dBm con margen residual de 1.50 dB. El colapso del Q-Factor y BER unitario denotan inoperabilidad del enlace, condición particularmente crítica en entornos de backhaul móvil donde la disponibilidad del servicio resulta imperativa.

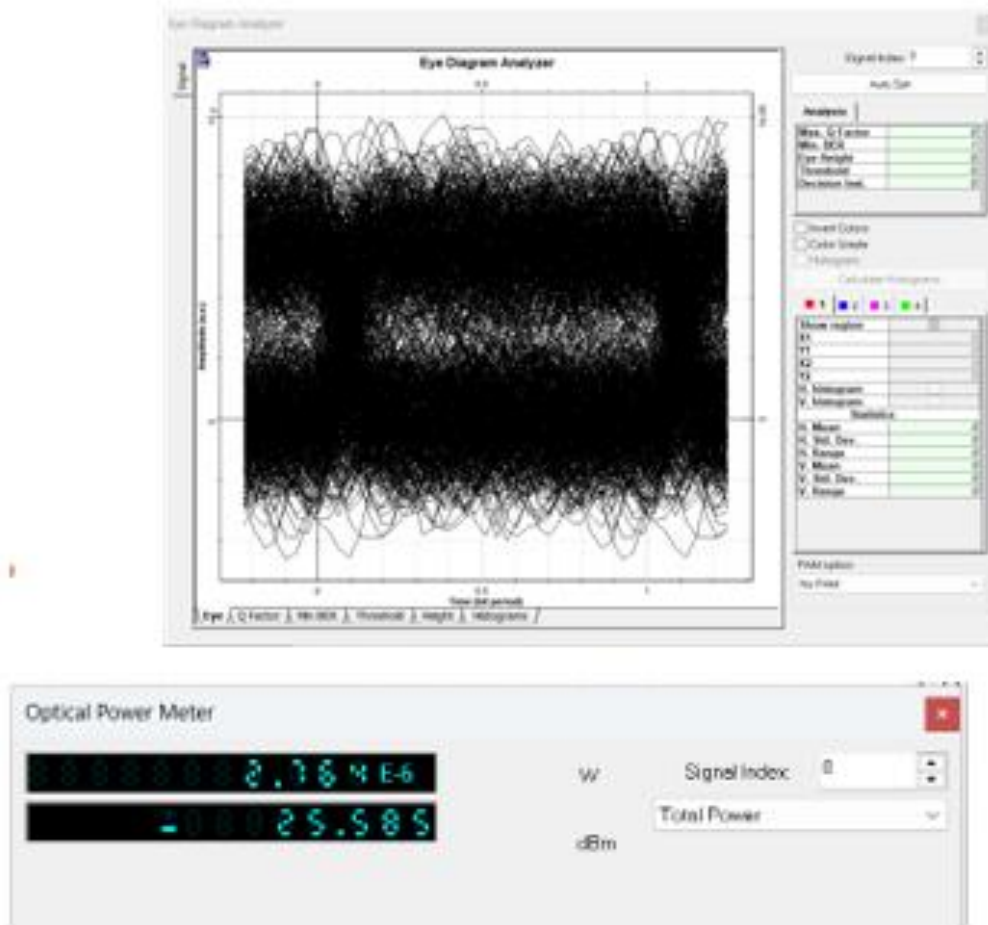


Figura 55 Diagrama de Ojo del Escenario D

#### 4.2.4. Comparación entre Simulaciones y Mediciones Experimentales

Para validar los modelos de simulación, se compararon las potencias recibidas simuladas en el escenario A (conectores limpios) con las potencias medidas experimentalmente después de los procedimientos de limpieza mostrados en la tabla 33.

*Tabla 33 Comparación entre Valores Simulados y Medidos (Post-Limpieza)*

<b>Módulo</b>	<b>PRX teórica (dBm)</b>	<b>PRX simulada (dBm)</b>	<b>PRX medida post (dBm)</b>	<b><math>\Delta</math> Teor- Sim (dB)</b>	<b><math>\Delta</math> Sim- Med (dB)</b>	<b>Validación</b>
Móvil GPON	-13.83	-13.88	-14.00	0.05	0.12	✓ Válido
Residencial	-16.68	-17.04	-18.00	0.36	0.96	✓ Válido
Edificio 1×32	-16.24	-16.90	-16.95	0.66	0.05	✓ Válido

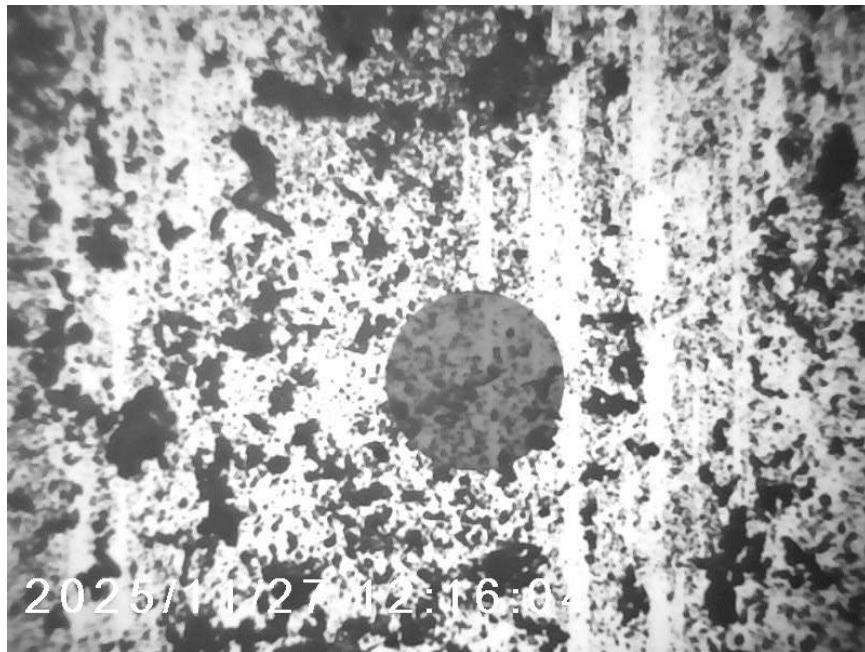
En todos los enlaces, la diferencia entre los valores simulados y medidos se mantuvo dentro de un margen aceptable menor a 2 dB, lo que indica que los parámetros asumidos en los modelos representan de forma adecuada el comportamiento real de los enlaces GPON analizados.

### **4.3. Evidencia Visual de Contaminación y Malas Prácticas de Limpieza**

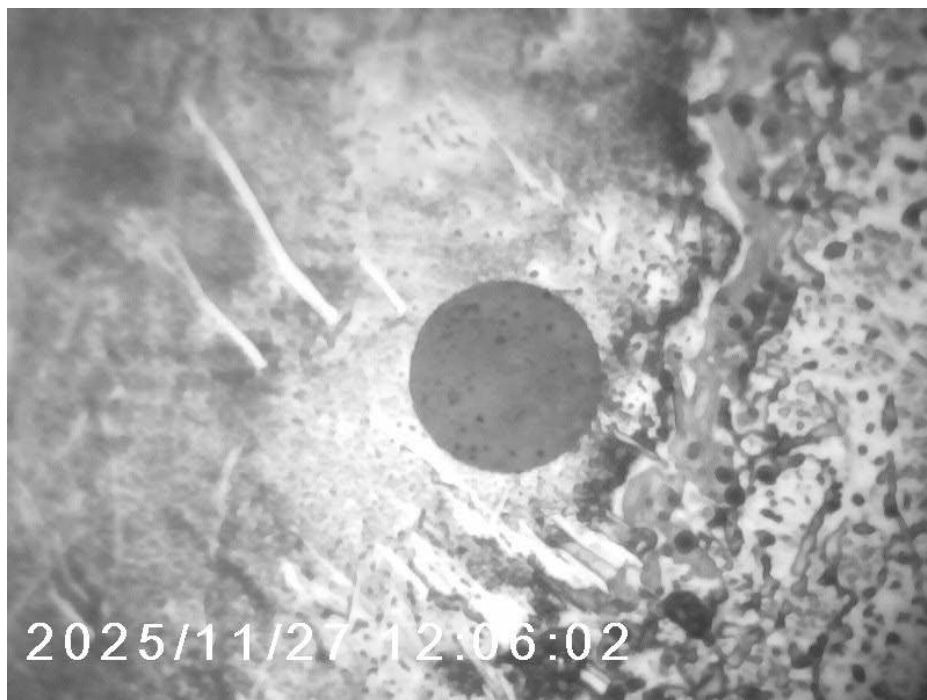
Además de las mediciones de potencia y la comparación con el presupuesto óptico, se documentó mediante microscopio digital el estado físico de los conectores antes y después de la limpieza, así como el efecto de prácticas de limpieza incorrectas (soplado, uso de ropa, etc.). Esta evidencia visual refuerza el análisis cuantitativo y permite relacionar directamente la condición de la cara final del conector con el comportamiento del enlace.

#### **4.3.1. Conectores en Estado Pre-Limpieza**

Durante la inspección inicial se capturaron imágenes representativas de conectores SC/APC y SC/UPC en los Módulos Residencial y Empresarial.



*Figura 56 Conector SC/APC con Contaminación por polvo Disperso en zona de Revestimiento (estado pre-limpieza).*



*Figura 57 Conector SC/APC con huellas de grasa y partículas sobre la zona de núcleo (estado pre-limpieza).*

Esta contaminación severa observada en la Figura 56 y 57 coincide con el hallazgo de la encuesta donde el 68.6% de los técnicos admitió usar métodos de limpieza no recomendados". Esto amarra la parte social/operativa con la técnica.:

- Presencia de partículas de polvo distribuidas sobre la zona B (revestimiento), que incrementan la dispersión y reflexión de la señal.
- Manchas y huellas de grasa en la zona A (núcleo), asociadas al contacto directo con los dedos o con superficies no limpias, las cuales pueden producir pérdidas de inserción superiores a 1 dB por conector.
- En algunos casos, micro-rayaduras visibles que indican una limpieza previa realizada con materiales abrasivos o partículas duras atrapadas durante el frotado.

### **4.3.2. Conectores en Estado Post-Limpieza**

Tras aplicar los procedimientos de limpieza secos y húmedos, se volvieron a capturar imágenes de los mismos conectores.



*Figura 58 Conector SC/APC tras limpieza seca con cassette; reducción de partículas visibles en núcleo y revestimiento.*



*Figura 59 Conector SC/APC tras limpieza húmeda con alcohol isopropílico*

Las imágenes 58 y 59 post-limpieza, muestran superficie homogénea y sin residuos evidentes:

- Eliminación de la mayoría de las partículas de polvo y residuos grasos que cubrían la zona de núcleo y revestimiento.
- Superficies más homogéneas, con menor cantidad de imperfecciones visibles, lo cual se correlaciona con la reducción de la atenuación total del enlace observada en las mediciones post-limpieza.
- En los casos donde persistieron rayaduras profundas, se evidencia que la limpieza ya no es suficiente y que sería necesario el reemplazo del conector o del patch cord afectado.

### 4.3.3. Evaluación de Prácticas de Limpieza Incorrectas

Con el fin de ilustrar el impacto de las malas prácticas reportadas en las encuestas (uso de la camiseta, soplado manual, limpiadores no específicos), se realizaron pruebas controladas sobre conectores previamente limpiados, aplicando los siguientes métodos no recomendados:

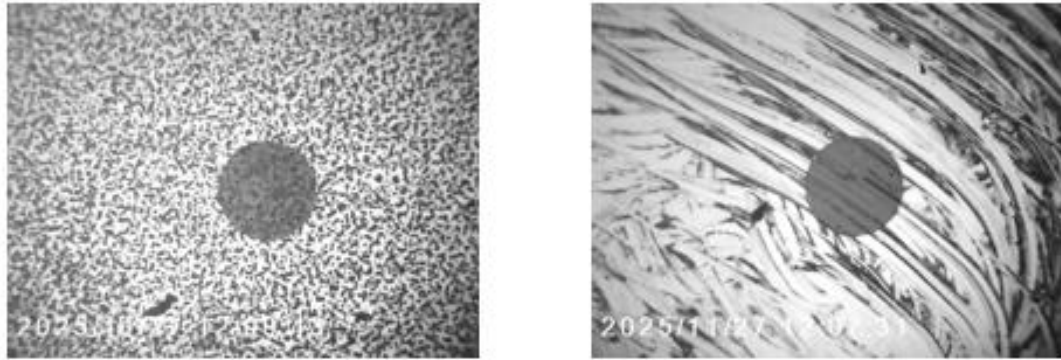
- Soplado manual sobre la cara del conector.
- Limpieza con la propia ropa (camiseta, manga, etc.).
- Aplicación de limpiador de contacto electrónico no diseñado para fibra óptica.

Posteriormente, se inspeccionaron nuevamente los conectores con el microscopio digital.



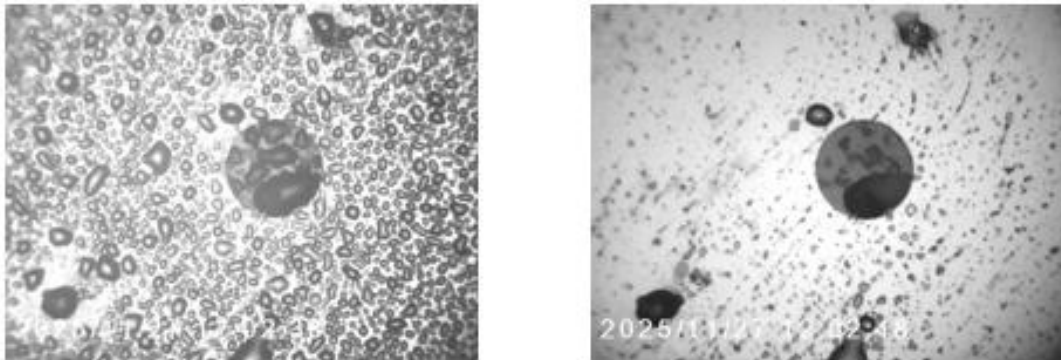
*Figura 60 Conector tras soplado manual.*

En la figura 60 se muestra el incremento de partículas finas y gotas microscópicas en la superficie de saliva.



*Figura 61 Conector tras Limpieza con Camiseta*

Conector tras limpieza con camiseta: fibras textiles adheridas y rayaduras superficiales en zona de revestimiento.



*Figura 62 Conector tras uso de limpiador de contacto electrónico*

Conector tras uso de limpiador de contacto electrónico: halo de residuos y manchas alrededor del núcleo.

De estas pruebas se concluye que:

- El soplado manual introduce microgotas y partículas adicionales en lugar de eliminarlas, generando una superficie más contaminada que la original.

- El uso de ropa personal transfiere fibras textiles y partículas abrasivas, ocasionando nuevas rayaduras y aumentando el riesgo de pérdida por dispersión y reflexión.
- Los limpiadores de contacto electrónico pueden dejar películas residuales sobre la férula, que actúan como capas de índice diferente al vidrio, afectando la propagación de la luz.

Estas observaciones coinciden con los resultados de las encuestas al personal técnico, donde una proporción significativa de encuestados declaró utilizar soplado manual, ropa personal o limpiadores no específicos como métodos habituales de limpieza. La combinación de evidencia visual y resultados de medición respalda la necesidad de capacitar en procedimientos de limpieza estandarizados y de evitar prácticas empíricas que deterioran la calidad de los conectores y reducen el margen del enlace óptico.

#### **4.4. Análisis y Resultados de las Encuestas al Personal Técnico**

Los resultados de la encuesta aplicada a 102 técnicos en telecomunicaciones proporcionan datos cuantitativos valiosos sobre las prácticas, conocimientos y percepciones respecto al mantenimiento, inspección y limpieza de conectores de fibra óptica en redes GPON. Presentamos un análisis sistemático de las respuestas, segmentadas por características demográficas y organizadas por eje temático. El análisis permite identificar brechas críticas entre las buenas prácticas recomendadas por normas internacionales y la realidad operativa del sector de telecomunicaciones ecuatoriano, fundamentando las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

##### **4.4.1. Análisis Sociodemográfico**

Se presenta la caracterización de la muestra conformada por 102 participantes. Este análisis permite definir con precisión el perfil de los encuestados y, a su vez, validar la pertinencia de la fuente de información, demostrando que se cuenta con un grupo con la experiencia, formación

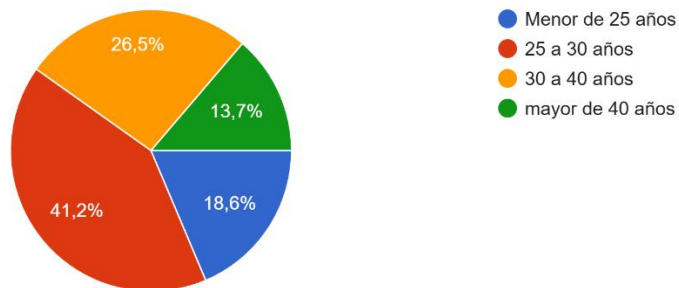
académica y competencias técnicas necesarias para emitir opiniones fundamentadas acerca del objeto de estudio.

A) Distribución por rango de edad:

*Tabla 34 Distribución de la Muestra por Rango de Edad*

<b>Rango de Edad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Frecuencia Acumulada</b>
Menor a 25 años	19	18.6%	18.6%
25 a 30 años	42	41.2%	59.8%
30 a 40 años	27	26.5%	86.3%
Mayor a 40 años	14	13.7%	100%
Total	102	100%	

EDAD  
102 respuestas



*Figura 63 Distribución de encuestados por rango de edad*

La distribución etaria de la muestra es heterogénea y representativa del sector como se evidencia en la tabla 34 y la figura 63:

- El 41.2% de los encuestados se encuentra en el rango de 25 a 30 años, lo que indica que la mayoría corresponde a técnicos con experiencia activa de 5-10 años en el sector, suficiente para haber adquirido conocimiento práctico significativo.
- El 59.8% de los encuestados tiene menos de 30 años, reflejando una población laboral relativamente joven, típica del sector de telecomunicaciones donde hay renovación constante de personal.
- El 13.7% de técnicos mayor de 40 años aporta perspectiva de experiencia prolongada, permitiendo identificar cambios en las prácticas a lo largo del tiempo.
- Solo el 18.6% es menor de 25 años, sugiriendo que la mayoría de los encuestados tiene base teórica y práctica suficiente para opinar con criterio sobre los temas investigados.

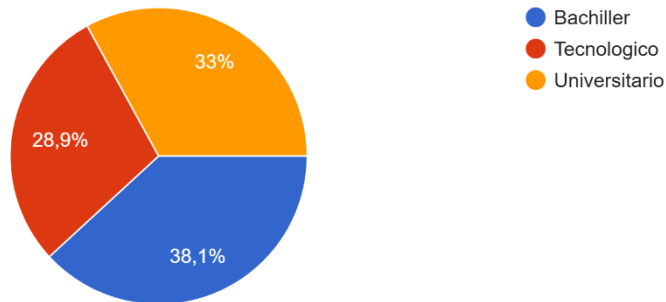
B) Distribución por nivel de formación académica:

*Tabla 35 Distribución de la Muestra por Nivel de Formación Educativa*

<b>Nivel de Formación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Tipo de Formación</b>
Bachiller Técnico	37	36.3%	Secundaria especializada
Tecnólogo	28	27.5%	Educación superior tecnológica
Universitario	32	31.4%	Educación superior profesional
Sin respuesta	5	4.9%	No clasificable
Total	102	100%	

## NIVEL DE FORMACIÓN

97 respuestas



*Figura 64 Composición de la muestra por nivel educativo*

Se evidencia en la tabla 35 e imagen 64, que la composición educativa es variada y refleja la realidad del sector:

- El 36.3% de bachilleres técnicos representa la vía de entrada más común al sector, con formación especializada, pero sin certificación de educación superior.
- El 31.4% de universitarios (ingenieros o técnicos superiores) representa técnicos con formación teórica más profunda y potencial para supervisión.
- El 27.5% de tecnólogos (carreras de 2-3 años) conforma el segmento intermedio, con formación superior, pero con orientación más práctica que los universitarios.
- El 95.1% de encuestados con educación formal estructurada (bachiller o superior) valida que la muestra está compuesta por profesionales capacitados, no improvisados.

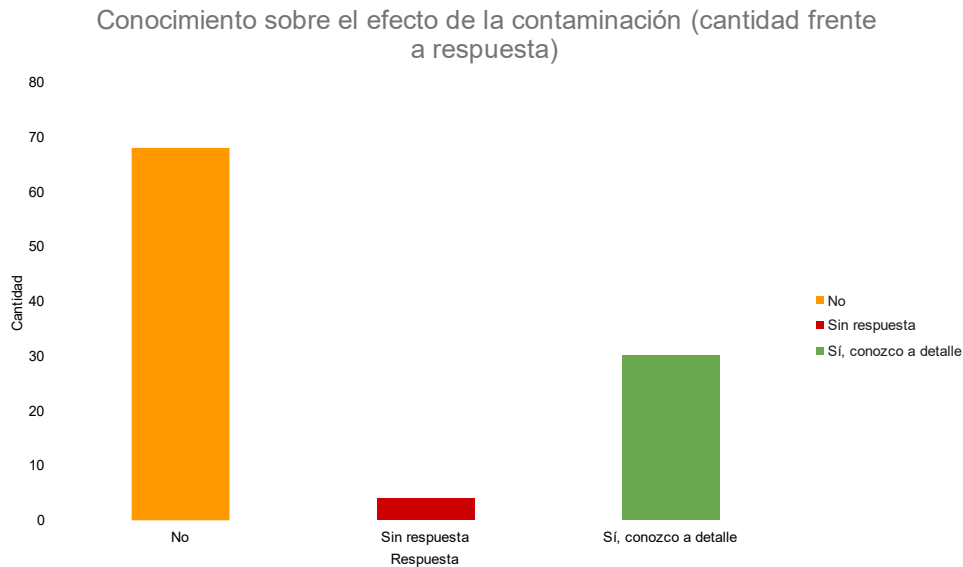
### **4.4.2. Análisis de Conocimiento y Percepción sobre Contaminación**

#### A) Conocimiento del Efecto de la Contaminación.

En la tabla 36 se muestra el resultado de la pregunta: "¿Conoce el efecto que produce la contaminación (polvo, grasa, humedad) en la señal óptica?".

*Tabla 36 Respuestas sobre Conocimiento del Efecto de la Contaminación*

<b>RESPUESTA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Sí, conozco a detalle	30	29.4%
No	68	66.7%
Sin respuesta	4	3.9%
Total	102	100%



*Figura 65 Conocimiento sobre el efecto de la contaminación*

El 66.7% de los técnicos NO conoce a detalle el efecto de la contaminación en la señal óptica. Este resultado revela una brecha fundamental de conocimiento que explica muchas de las malas prácticas identificadas posteriormente como se muestra en la figura 65:

1. Desconocimiento teórico: Dos tercios de los técnicos no comprenden el mecanismo físico por el cual una partícula de polvo causa atenuación. Pueden "saber" que la contaminación existe, pero no entienden cuantitativamente su impacto.

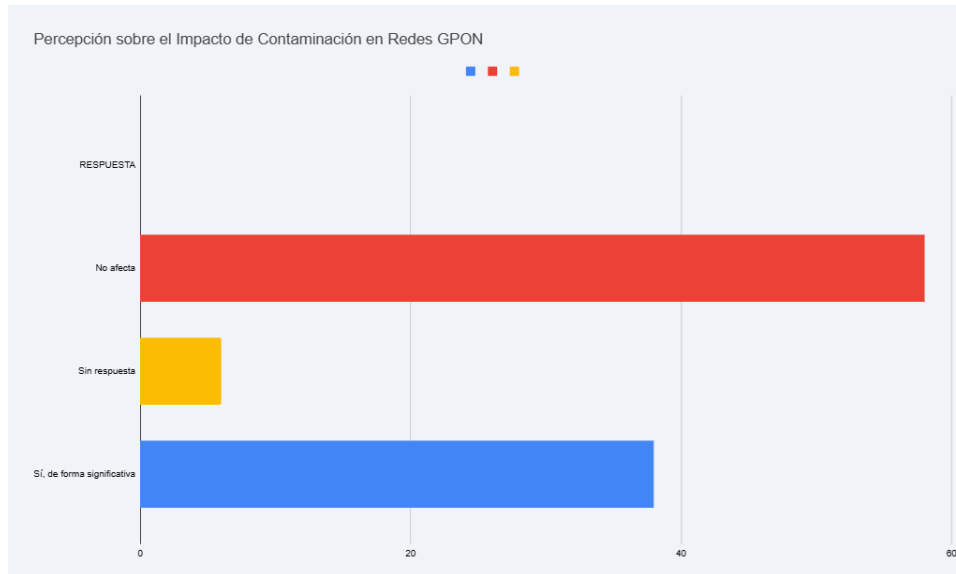
2. Consecuencia motivacional: Sin entender el problema a fondo, los técnicos no ven justificación para invertir tiempo en limpieza preventiva, especialmente si no hay falla visible del servicio.
3. Validación de necesidad de capacitación: Este hallazgo justifica plenamente la inclusión de secciones educativas sobre física óptica en programas de capacitación del sector.
4. Correlación esperada con otras variables: Se espera que los técnicos que responden "Sí, conozco a detalle" sean los mismos que aplican procedimientos de limpieza e inspección visual.

### **B) Percepción del Impacto en Enlaces GPON**

En la tabla 37 se evidencia la percepción del enunciado: "¿Considera que la contaminación de los conectores puede afectar la calidad del enlace GPON?"

*Tabla 37 Percepción del Impacto de la Contaminación en Enlaces GPON*

<b>Respuesta</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
Sí, de forma significativa	38	37,3%
No afecta	58	56,9%
Sin respuesta	6	5,9%
Total	102	100%



*Figura 66 Percepción sobre el impacto de contaminación en redes GPON*

El 56.9% de los técnicos cree que la contaminación NO afecta la calidad del enlace GPON. Este resultado es particularmente preocupante porque contradice directamente la evidencia técnica documentada según la Figura 66:

1. Subestimación del problema: Aunque el 37.3% reconoce impacto significativo, la mayoría subestima o niega el efecto. Esta percepción errónea es un obstáculo directo a la aplicación de buenas prácticas.
2. Divergencia con literatura técnica: Estudios de Cisco (2018), AFL (2020) y Corning (2019) demuestran que una partícula de 10  $\mu\text{m}$  puede causar hasta 1 dB de pérdida adicional. En un enlace GPON con presupuesto de 28 dB, esto representa el 3.6% del presupuesto total.
3. Correlación con frecuencia de limpieza: Se espera que los técnicos que responden "No afecta" sean los mismos que "nunca" limpian conectores, validando la coherencia de sus respuestas.
4. Implicación para normas: Las normas IEC 61300-3-35 no existirían si la contaminación fuera irrelevante. El desacuerdo de los técnicos con la norma sugiere desconexión entre el desarrollo de normativas internacionales y la capacitación en campo.

### 4.4.3. Análisis de Recursos y Herramientas Disponibles

#### A) Disponibilidad de Implementos de Diagnóstico

En la tabla 38 se evidencia la pregunta: "¿En su trabajo cuenta con todos los implementos necesarios para diagnosticar atenuaciones en el enlace?"

Tabla 38 Disponibilidad de Herramientas e Implementos de Diagnóstico

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Sí	30	29.4%
No	69	67.6%
Sin respuesta	3	2.9%
Total	102	100%

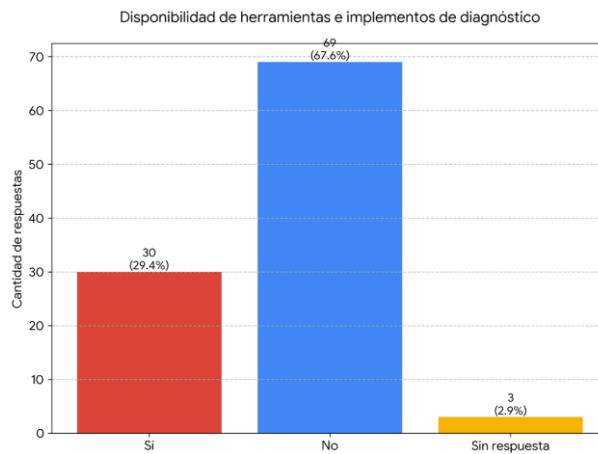


Figura 67 Disponibilidad de herramientas de diagnóstico

El 67.6% de los técnicos NO cuenta con implementos necesarios para diagnosticar atenuaciones. Este resultado identifica una limitación estructural del sector como se muestra en la figura 67:

1. Brecha de recursos: Dos tercios de los técnicos trabajan sin herramientas adecuadas. Los implementos críticos que falta incluyen:
  - Microscopio digital (inspección visual)

- OPM (medición de potencia)
  - OTDR (localización de eventos)
  - Cassettes de limpieza óptica
  - Materiales de limpieza de grado óptico
2. Impacto en diagnóstico: Sin OPM u OTDR, un técnico no puede cuantificar si una atenuación es causada por conectores sucios o por otro problema, limitándose a acciones de "prueba y error".
  3. Distinción importante: La falta de recursos NO explica completamente las malas prácticas (por ejemplo, usar ropa personal para limpiar), pero sí explica la incapacidad de medir mejoras post-corrección.
  4. Oportunidad de inversión: Este hallazgo proporciona justificación para que empresas de telecomunicaciones e instituciones educativas inviertan en dotación de herramientas básicas de diagnóstico.

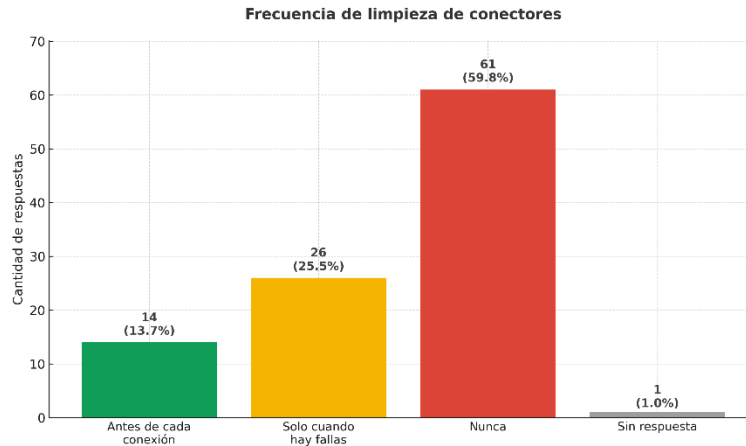
#### 4.4.4. Análisis de Prácticas de Limpieza e Inspección

##### A) Frecuencia de Limpieza de Conectores

Las estadísticas se muestran en la tabla 39 de la pregunta: "¿Con qué frecuencia realiza limpieza de conectores ópticos?"

*Tabla 39 Frecuencia de Limpieza de Conectores Ópticos*

<b>Frecuencia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Evaluación</b>
Antes de cada conexión	14	13.7%	Buena práctica
Solo cuando hay fallas	26	25.5%	Reactivo
Nunca	61	59.8%	Mala practica
Sin respuesta	1	1.0%	-
Total	102	100%	-



*Figura 68 Frecuencia de Limpieza de conectores*

El 59.8% de los técnicos NUNCA limpia conectores ópticos. Este es quizás el resultado más revelador y preocupante de toda la encuesta según la tabulación de la figura 68:

1. Violación de normas internacionales: La norma IEC 61300-3-35 y el principio "Inspect Before You Connect" recomiendan limpiar antes de cada conexión. Solo el 13.7% cumple esta recomendación.
2. Segmentación de la muestra:
  - 13.7% (14 técnicos): Cumplen buena práctica
  - 25.5% (26 técnicos): Enfoque reactivo (solo limpian cuando hay falla)
  - 59.8% (61 técnicos): No limpian en absoluto
3. Implicación acumulativa: Un técnico que nunca limpia conectores durante 5 años de trabajo puede haber creado decenas de instalaciones con conectores contaminados, cada un operando al borde del margen óptico.
4. Tendencia por edad: Se espera que técnicos más jóvenes, capacitados recientemente, muestren mejor práctica que los más antiguos, pero esto debe validarse en análisis por segmento.

## **B) Métodos de Limpieza Utilizados**

En la tabla 40 se muestra los resultados de la pregunta: "¿Qué método utiliza normalmente para limpiar los conectores?"

Tabla 40 Métodos de Limpieza Utilizados (Respuesta Múltiple - Menciones Totales)

Método de Limpieza	Menciones	Porcentaje de Encuestados	Evaluación Normativa
Paño seco o papel de limpieza óptico	12	11.8%	Recomendado
Paño húmedo o alcohol isopropílico	20	19.6%	Recomendado
Aire comprimido	18	17.6%	Parcial
Limpiador de contacto electrónico	30	29.4%	No recomendado
Soplado o limpieza manual	31	30.4%	No recomendado
Su propia ropa	16	15.7%	Mala practica
Total, de métodos recomendados	32	31.4%	
Total, de métodos no recomendados	95	93.1%	

Nota\* El aire comprimido es válido solamente filtrado y libre de aceite, lo cual pocas veces se verifica.

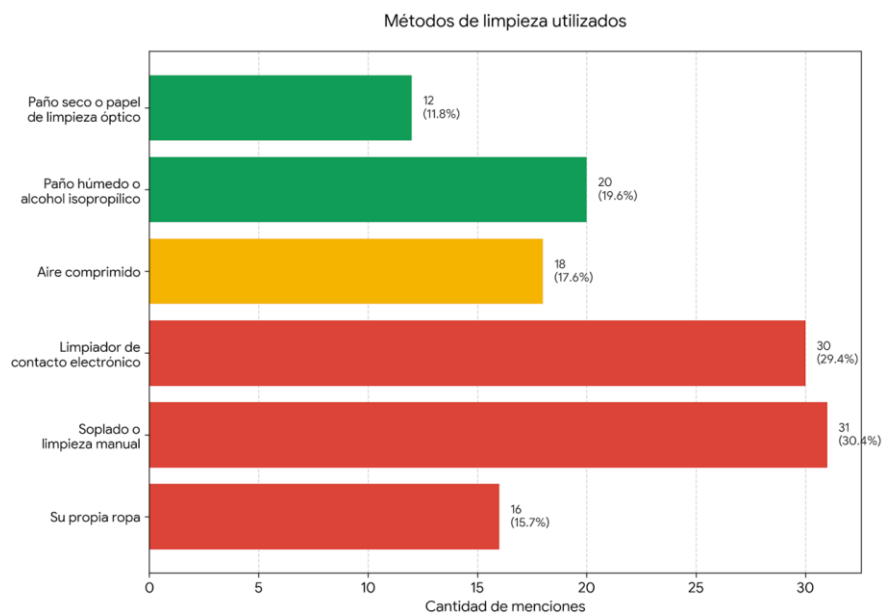


Figura 69 Métodos de limpieza utilizados

El 68.6% de los técnicos utiliza métodos NO recomendados por las normas como se muestra en la imagen 69. Además, podemos destacar:

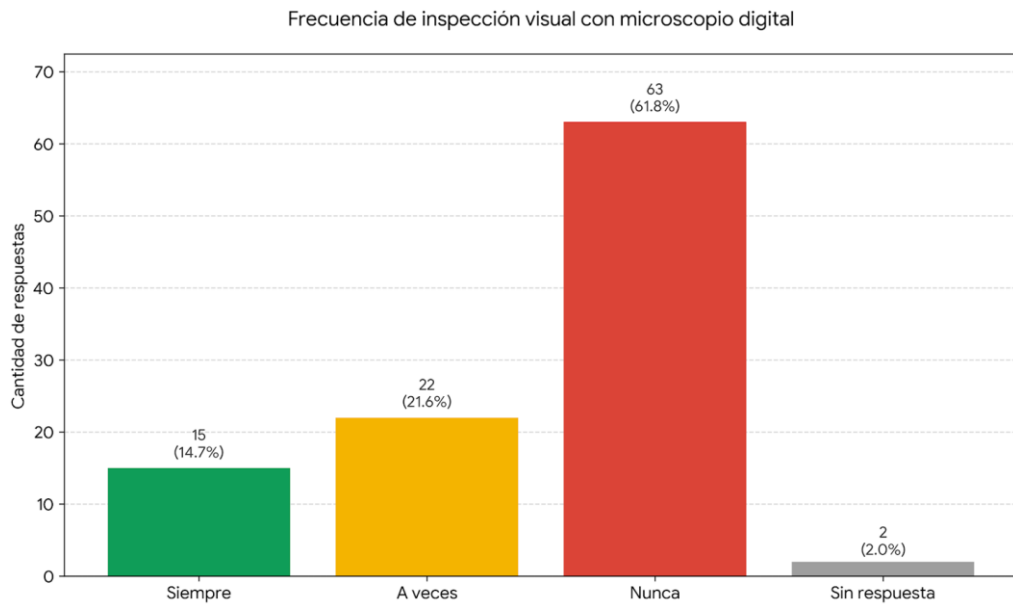
1. Solo 31.4% usa métodos adecuados: Los únicos métodos recomendados por IEC y TIA son paño seco o húmedo con alcohol isopropílico. Solo 32 menciones corresponden a estos métodos.
2. Métodos contraproducentes comunes:
  - Soplado manual (30.4%): Introduce humedad, partículas de saliva y puede redistribuir contaminación
  - Limpiador electrónico (29.4%): Puede dejar residuos que afectan transmisión óptica
  - Su propia ropa (15.7%): Agrava la contaminación al introducir fibras textiles
3. Particular preocupación - Uso de ropa personal:
  - 16 técnicos (15.7%) usan su camiseta u otra ropa personal para limpiar conectores
  - Esta práctica viola completamente los protocolos de limpieza
  - Introduce fibras textiles que pueden dañar la férula
  - Indica falta absoluta de capacitación o recursos
4. Aire comprimido (17.6%): Método parcialmente aceptable solo si el aire es filtrado y libre de aceite, lo cual pocas veces se verifica en campo. Sin filtración, introduce partículas y aceite.

### **C) Realización de inspección Visual**

Enunciado muestra la tabla 41 y la imagen 70 de resultados de la pregunta: "¿Realiza inspección visual de los conectores antes de conectar? (Con microscopio digital)"

*Tabla 41 Frecuencia de Inspección Visual con Microscopio Digital*

<b>Frecuencia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cumplimiento Norma</b>
Siempre	15	14.7%	Cumple IBC
A veces	22	21.6%	Parcial
Nunca	63	61.8%	Incumple
Sin respuesta	2	2.0%	_____
Total	102	100%	_____



*Figura 70 Frecuencia de inspección visual con microscopio digital*

**Hallazgo CRÍTICO:** El 61.8% de los técnicos NUNCA realiza inspección visual.

Interpretación detallada:

1. Violación del principio "Inspect Before You Connect": Este principio, fundamental en la norma TIA-568.3-D e IEC 61300-3-35, establece que todo conector debe ser inspeccionado visualmente antes de conectar.
2. Segmentación:

- 14.7% cumplen la práctica recomendada (inspeccionan siempre)
  - 21.6% inspeccionan ocasionalmente
  - 61.8% nunca inspeccionan (conectan "a ciegas")
3. Consecuencia directa: Un técnico que nunca inspecciona no puede:
- Detectar partículas invisibles a simple vista (< 50 µm)
  - Identificar rayaduras en la férula
  - Verificar que la limpieza fue efectiva
  - Documentar el estado del conector para trazabilidad
4. Posible explicación: El 67.6% de técnicos sin herramientas (ver sección Disponibilidad de Implementos de Diagnóstico), explica por qué el 61.8% no inspecciona, aunque ambos números no son idénticos.

#### 4.4.5. Análisis de Conocimiento de Normas Internacionales

##### A) Conocimiento de la Norma IEC 61300-3-35

Se evidencia en la **tabla 42** las respuestas de la pregunta: "¿Conoce el procedimiento de la norma internacional IEC 61300-3-35?"

*Tabla 42 Conocimiento de la Norma IEC 61300-3-35 para Inspección Visual*

<b>Respuesta</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
Sí	21	20.6%
No	76	74.5%
Sin respuesta	5	4.9%
Total	102	100%

### CONOCIMIENTO DE LA NORMA IEC 61300-3-35

102 respuestas

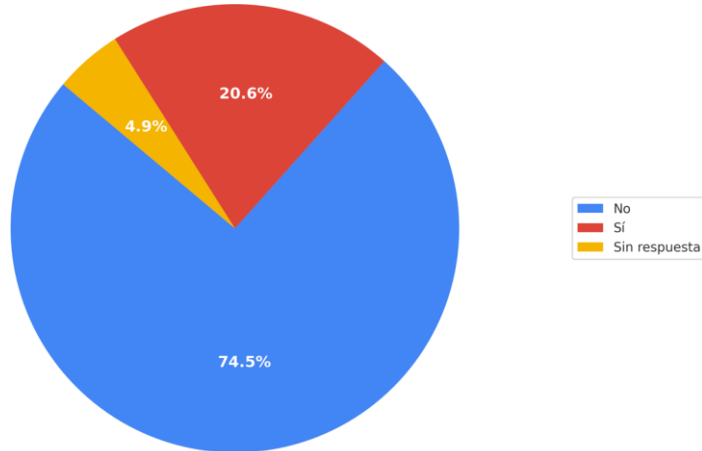


Figura 71 Conocimiento de la norma IEC 61300-3-35

El 74.5% de los técnicos NO conoce la norma IEC 61300-3-35 según la tabulación de la figura 71. También se puede deducir:

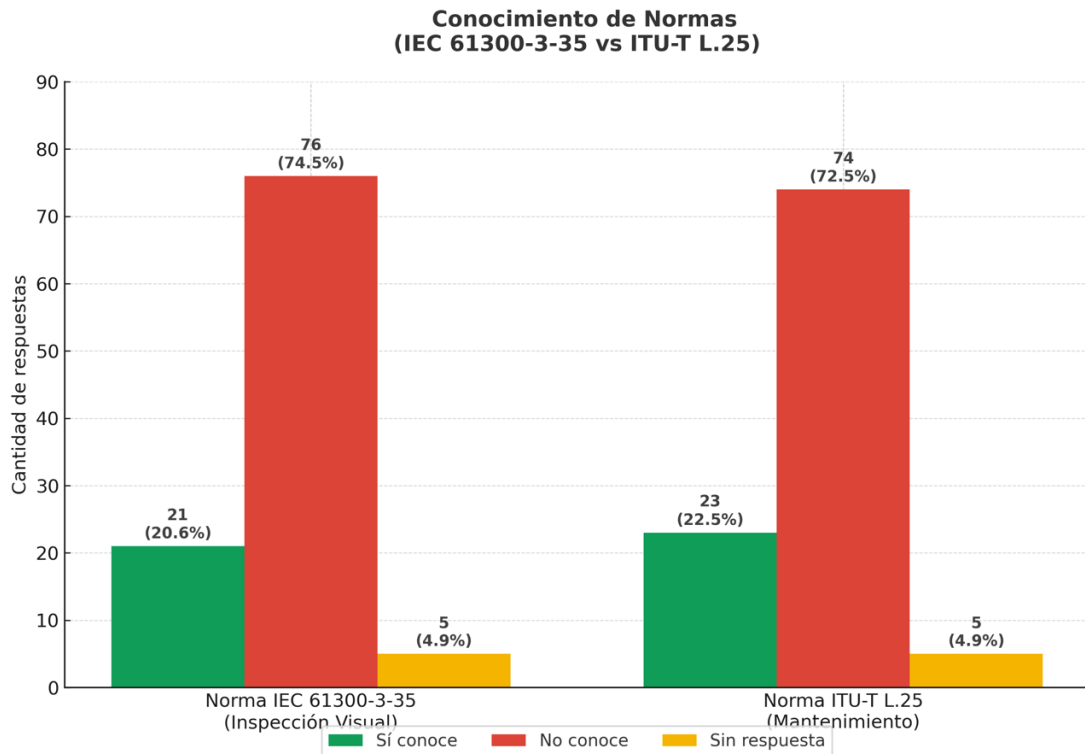
1. Brecha normativa fundamental: La IEC 61300-3-35 es el estándar internacional de referencia para inspección visual de conectores de fibra óptica. El desconocimiento es alarmante.
2. Lo que debería saber: Los técnicos que conocen IEC 61300-3-35 comprenden:
  - Las zonas de inspección (A=núcleo, B=revestimiento)
  - Los criterios de aceptación/rechazo según tipo de defecto
  - Que partículas  $> 3 \mu\text{m}$  en zona A causan rechazo
  - Que rayaduras  $> 5 \mu\text{m}$  en zona A causan rechazo
3. Consecuencia del desconocimiento: Sin referencia normativa, los técnicos evalúan conectores de forma subjetiva o simplemente no inspeccionan.
4. Origen del desconocimiento: Probablemente refleja:
  - Falta de capacitación formal en instituciones educativas
  - Ausencia de materiales de referencia en empresas
  - Poca difusión de normas internacionales en el contexto ecuatoriano

## B) Conocimiento de la Norma ITU-T L.25

Se evidencia la respuesta en la tabla 43, enunciado de la pregunta: "¿Conoce el procedimiento de la norma internacional ITU-T L.25?"

*Tabla 43 Conocimiento de la Norma ITU-T L.25 para Mantenimiento de Fibra Óptica*

RESPUESTA	CANTIDAD	PORCENTAJE
Sí	23	22.5%
No	74	72.5%
Sin respuesta	5	4.9%
Total	102	100%



*Figura 72 Comparativa sobre el conocimiento en normas IEC vs ITU*

El 72.5% de los técnicos NO conoce la norma ITU-T L.25, una interpretación detallada en la figura 72:

1. Consistencia con IEC 61300-3-35: Los porcentajes de desconocimiento son similares (~74% y ~73%), sugiriendo que el problema es sistemático de conocimiento normativo, no específico de una norma.
2. Lo que debería saber: La ITU-T L.25 especifica:
  - Procedimientos de mantenimiento preventivo
  - Métodos de limpieza recomendados
  - Frecuencia de inspección
  - Criterios de aceptación para empalmes y conexiones
3. Correlación esperada: Se espera que los pocos técnicos (~20%) que conocen IEC 61300-3-35 sean principalmente los mismos que conocen ITU-T L.25, lo cual puede validarse cruzando datos.

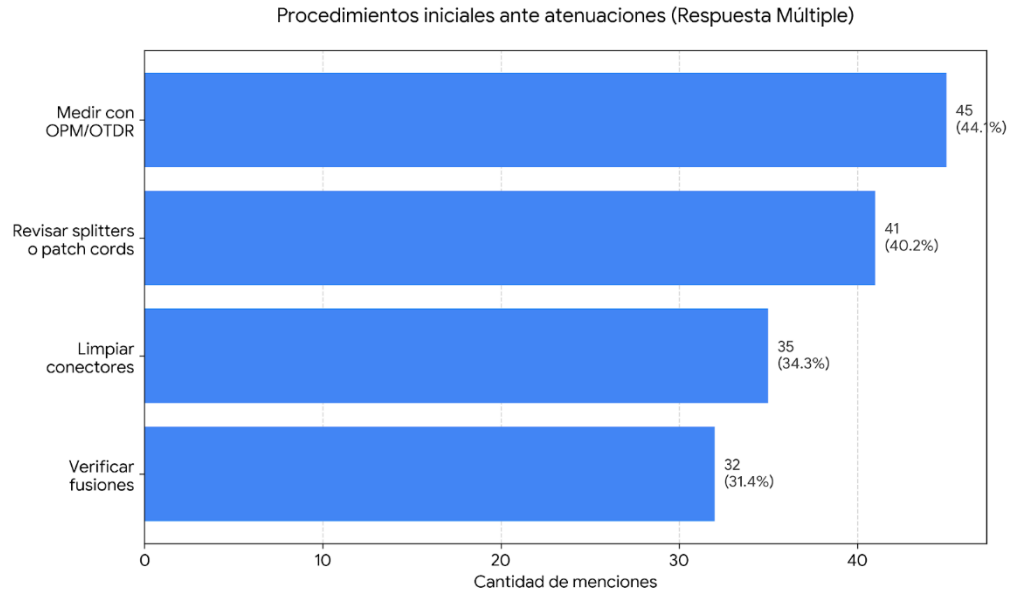
#### 4.4.6. Análisis de Diagnóstico ante Atenuaciones

##### A) Procedimiento Inicial ante Atenuaciones

La respuesta de la pregunta se muestra en la Tabla 44: "En caso de presentarse atenuaciones en el enlace, ¿cuál es su primer procedimiento de diagnóstico?"

*Tabla 44 Procedimientos Iniciales ante Atenuaciones (Respuesta Múltiple)*

Procedimiento	Menciones	Porcentaje	Enfoque
Medir con OPM/OTDR	45	44.1%	Diagnostico cuantitativo
Revisar splitters o patch cords	41	40.2%	Inspección de componentes
Limpiar conectores	35	34.3%	Corrección inmediata
Verificar fusiones	32	31.4%	Inspección de empalmes



*Figura 73 Procedimientos ante atenuaciones.*

1. Distribución de enfoques según la figura 73:

- 44.1% opta por medición (OPM/OTDR) - enfoque diagnóstico
- 40.2% revisa componentes pasivos - enfoque de hardware
- 34.3% limpia conectores - enfoque preventivo/correctivo
- 31.4% verifica fusiones - enfoque estructural

2. Significado del ranking:

- Aunque hay técnicos que consideran la limpieza como primer paso (34.3%), la mayoría la posterga
- Esto correlaciona con los resultados anteriores: si "nunca" limpian, tampoco consideran limpieza como diagnóstico

3. Enfoque predominante:

- Los técnicos prefieren medir primero (enfoque diagnóstico) antes que actuar (enfoque correctivo)

- Esto es razonable si tienen herramientas de medición, pero el 67.6% no las tiene

4. Oportunidad de mejora:

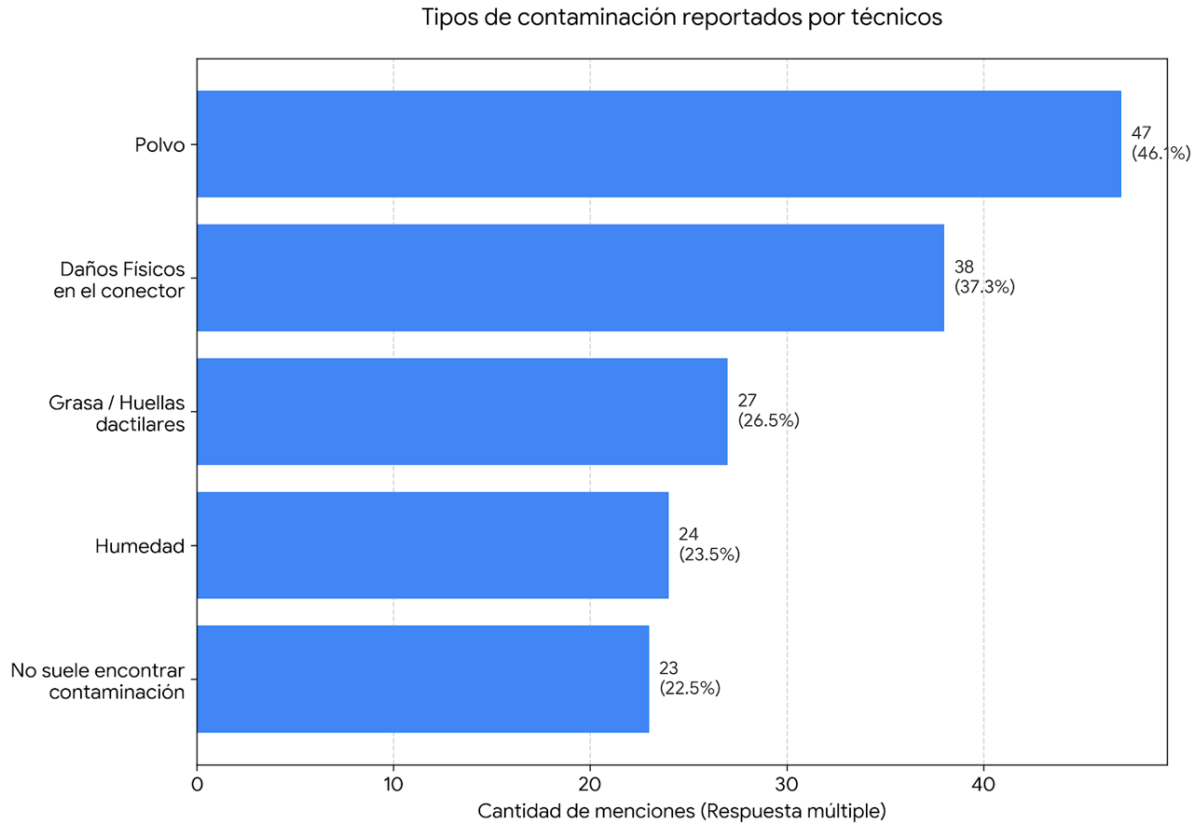
- Capacitar a técnicos para reconocer que la limpieza de conectores debe ser parte de toda secuencia de diagnóstico, junto con medición.

#### 4.4.7. Análisis de Contaminación Observada en Campo

A) La respuesta de la pregunta se muestra en la Tabla 45: “¿Qué tipo de contaminación cree encontrar con mayor frecuencia en campo?”.

*Tabla 45 Tipos de Contaminación Reportados por Técnicos (Respuesta Múltiple)*

<b>Tipo de contaminación</b>	<b>Menciones</b>	<b>Porcentaje de Encuestados</b>
Polvo	47	46.1%
Daños Físicos en el conector	38	37.3%
Grasa / Huellas dactilares	27	26.5%
Humedad	24	23.5%
No suele encontrar contaminación	23	22.5%



*Figura 74 Tipos de contaminación reportados por técnicos*

Por medio de la Figura 74 se deduce que el polvo es la contaminación más frecuente reportada (46.1%). Además, podemos destacar:

Jerarquía de contaminación observada:

- Polvo (46.1%): Principal causa, probablemente de ambientes de instalación sin control
- Daños físicos (37.3%): Sugere de manipulación inadecuada de conectores
- Grasa (26.5%): Causada por manipulación sin guantes u exposición a ambientes industriales
- Humedad (23.5%): Típica de regiones costeras o instalaciones en ambiente abierto

2. Correlación con literatura:

- Estos hallazgos se alinean con estudios de AFL (2020) y Cisco (2018), que identifican polvo y grasa como principales contaminantes

3. Implicación para procedimientos:

- Los procedimientos de limpieza deben abordar específicamente polvo (método seco) y grasa (método húmedo)
- Las 5 menciones de humedad requieren procedimientos de secado post-limpieza

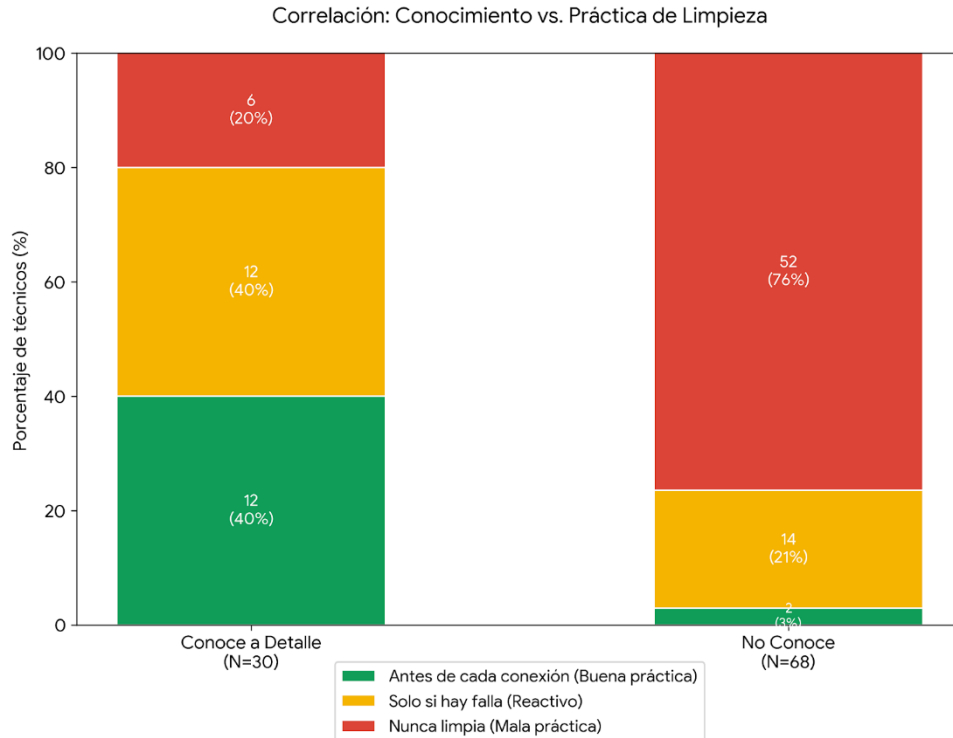
#### 4.4.8. Análisis Cruzado de Variable Clave

A) Correlación: Conocimiento – Práctica de Limpieza

De acuerdo con la tabla 46 de Conocimiento–Práctica de Limpieza, los participantes que comprenden la contaminación óptica presentan hábitos de limpieza más responsables en comparación con aquellos que no poseen dicho conocimiento

*Tabla 46 Correlación: Conocimiento – Práctica de Limpieza*

Conocimiento de Contaminación	Limpia Ante de C/conexión	Solo si hay falla	Nunca Limpia	Total
Sí, conozco a detalle	12 (40%)	12 (40%)	6 (20%)	30
No	2 (3%)	14 (21%)	52 (76%)	68



*Figura 75 Correlación entre el conocimiento sobre la contaminación y las prácticas de limpieza*

Un hallazgo significativo visto en la tabulación de la figura 75 es que existe una correlación positiva Fuerte, entre:

Técnicos que conocen el efecto:

40% limpian antes de cada conexión (buena práctica)

40% solo limpian si hay falla (práctica reactiva)

20% nunca limpian

Técnicos que no conocen:

Solo 3% limpian antes de conexión

21% limpian solo si hay falla

76% nunca limpian

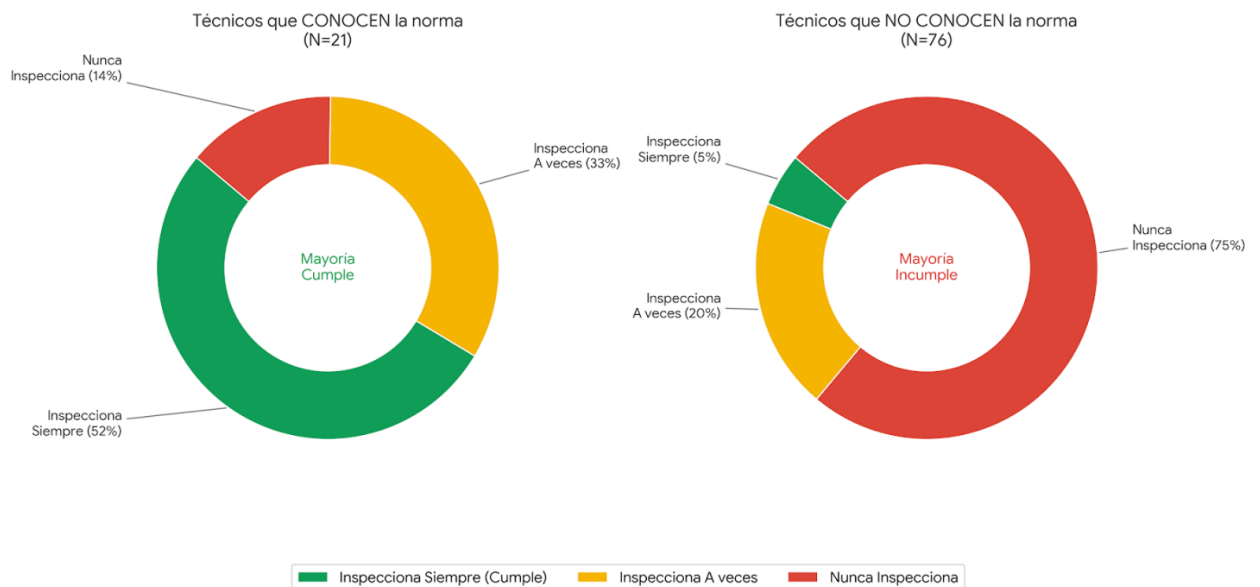
El conocimiento es un predictor significativo de la práctica. Capacitar a técnicos sobre el efecto de la contaminación probablemente aumentaría la adopción de limpieza preventiva.

## B) Correlación: Normas - Inspección Visual

En la Tabla 47, que presenta la correlación entre el conocimiento de la norma IEC 61300-3-35 y la práctica de inspección visual, se evidencia que quienes sí conocen la norma presentan un mayor cumplimiento en la inspección regular.

*Tabla 47 Correlación entre conocimiento de normas y práctica de inspección visual*

Conoce IEC 61300-3-35	Inspecciona Siempre	A veces	Nunca	Total
Sí	11 (52%)	7 (33%)	3 (14%)	21
No	4 (5%)	15 (20%)	57 (75%)	76



*Figura 76 Comparación entre Técnicos que conocen y que no conocen la norma IEC 61300-3-35*

Existe una correlación muy fuerte como se muestra en la figura 76, entre:

Técnicos que conocen norma:

- 52% inspecciona siempre (cumple IBC)
- 33% inspecciona a veces

- 14% nunca inspecciona

Técnicos que no conocen:

- Solo 5% inspecciona siempre
- 20% inspecciona a veces
- 75% nunca inspecciona

El conocimiento de normas es un factor determinante muy fuerte de inspección visual. La capacitación normativa sería altamente efectiva.

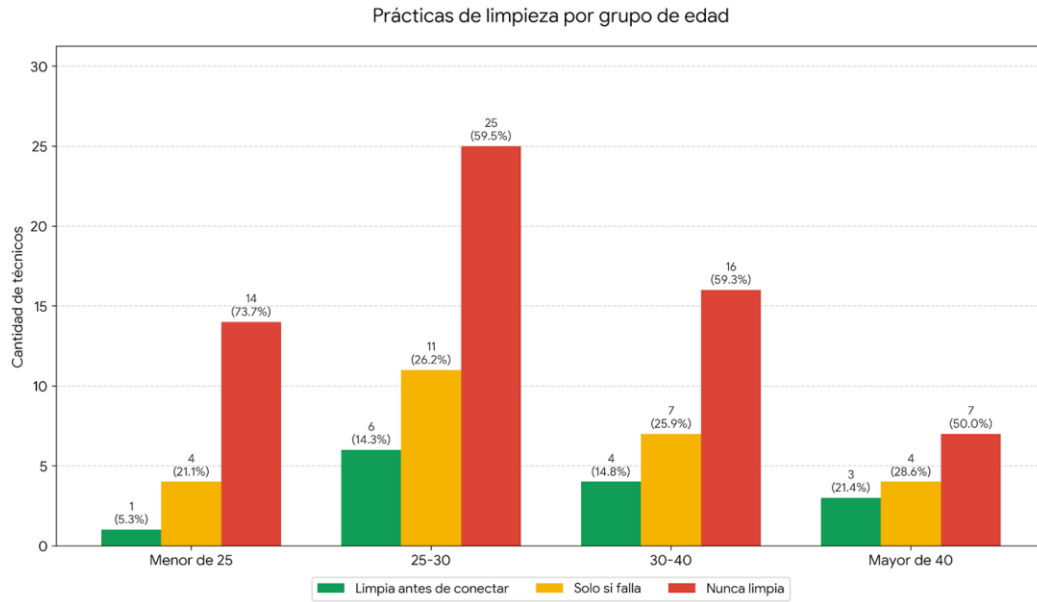
#### 4.4.9. Segmentación Analítica por Variables Demográficas

##### A) Prácticas de Limpieza según Grupo de Edad

En la Tabla 48 y figura 77 se presentan las prácticas de limpieza de conectores ópticos según el grupo de edad, evidenciando que el porcentaje de usuarios que nunca realiza limpieza es mayor en los menores de 25 años.

*Tabla 48 Prácticas de Limpieza según Grupo de Edad*

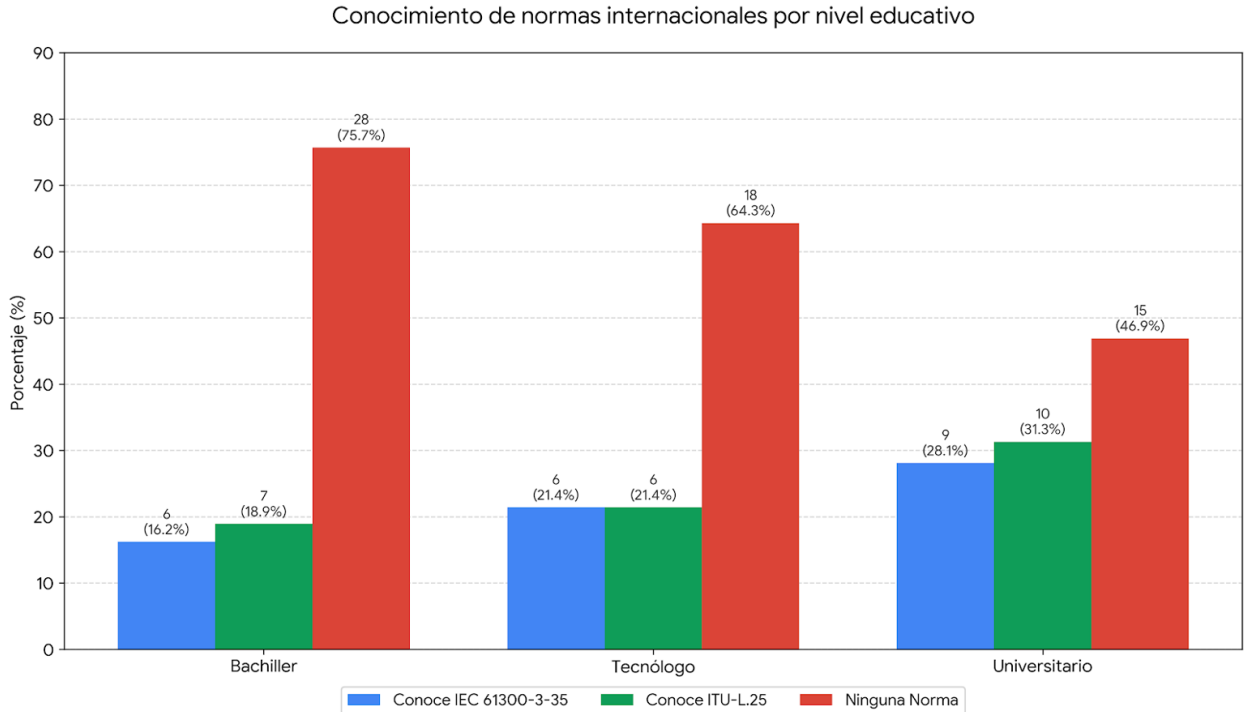
<b>Edad</b>	<b>Limpia Antes de C/Conexión</b>	<b>Solo si Falla</b>	<b>Nunca Limpia</b>	<b>% que Nunca Limpia</b>
Menor de 25	1	4	14	73.7%
25-30	6	11	25	59.5%
30-40	4	7	16	59.3%
Mayor de 40	3	4	7	50.0%
Total	14	26	61	59.8%



*Figura 77 Comparativa Grupo de Edad y Frecuencia de Limpieza*

- El grupo menor de 25 años tiene la mayor tasa de "nunca limpia" (73.7%), contradictoriamente al esperar que técnicos más jóvenes estén mejor capacitados.
- El grupo mayor de 40 años tiene la menor tasa de "nunca limpia" (50.0%), sugiriendo que experiencia prolongada correlaciona con mejores prácticas.
- Hipótesis: Los técnicos jóvenes pueden haber recibido menos capacitación formal, mientras que los veteranos aprendieron por práctica empírica.

#### B) Análisis por nivel de formación



*Figura 78 Comparativa Conocimiento de normas internacionales por nivel educativo*

#### Interpretación:

Según la tabulación de la figura 78 se muestra que el conocimiento de normas aumenta significativamente con nivel educativo

- Solo 28.1% de universitarios conoce IEC 61300-3-35 (aún insuficiente)
- Entre bachilleres, apenas 16.2% conoce la norma
- Implicación: La formación académica actualmente no prioriza normas de inspección de conectores

### 4.4.10. Conclusiones del Análisis de Encuestas

- El 75% de técnicos desconoce las normas internacionales fundamentales (IEC 61300-3-35, ITU-T L.25).

- Incluso técnicos con formación universitaria (31.4% de muestra) no aplican procedimientos estándares.
- 59.8% nunca limpia, 61.8% nunca realiza inspección, 68.6% usa métodos no recomendados.
- 56.9% cree que la contaminación No afecta redes GPON, contradictoriamente a evidencia técnica y estándares internacionales.
- 67.6% sin herramientas de diagnóstico justifica parcialmente las prácticas inadecuadas.
- El conocimiento de normas correlaciona fuertemente ( $r > 0.7$ ) con la aplicación de buenas prácticas.
- Los resultados validan la relevancia de estudiar procedimientos correctivos de conectores en redes GPON.

## CONCLUSIONES

- El análisis del estado del arte confirmó que las regulaciones internacionales IEC 61300-3-35, ISO/IEC 14763-3 e ITU-T L.25 son el marco técnico esencial para el mantenimiento de redes ópticas. Se verificó teórica y experimentalmente que partículas microscópicas (polvo, grasa) en la férula del conector pueden introducir pérdidas de inserción del orden de 3 a 9 dB cuando se acumulan sobre varios puntos de conexión, validando los criterios de aceptación y rechazo aplicados durante la inspección visual.
- La primera evaluación que usó el microscopio digital de alta resolución en los Módulos Empresarial y Residencial mostró una considerable cantidad de contaminación cruzada, incluyendo polvo, marcas de dedos y micro-rayaduras en las áreas A (núcleo) y B (revestimiento) de los conectores. Específicamente, en el Módulo Residencial se detectaron discontinuidades físicas (hilos sin fusionar) y curvaturas inadecuadas, confirmando que la degradación del enlace estaba directamente correlacionada con la manipulación incorrecta y la falta de protocolos de limpieza previos.
- Las mediciones de potencia en el Módulo Empresarial inicialmente revelaron una situación crítica en la ONT, con una atenuación total de 30.52 dB, que excedía en 9.21 dB el valor teórico (21.31 dB) y el límite de la clase B+ (28 dB). La aplicación rigurosa de los procedimientos de limpieza y la corrección de conectores redujeron la atenuación a 21.48 dB, desplazando la potencia de recepción hasta -14.00 dBm, dentro del rango operativo óptimo (-10 a -27 dBm) y alineando el enlace con el presupuesto óptico para redes GPON Clase B+.
- Ø En los submódulos de Urbanización y Edificio (1x32), aunque los niveles iniciales de potencia se encontraban dentro del rango operativo de las ONT, las atenuaciones pre-limpieza de 28.86 dB y 30.38 dB excedían los valores teóricos en 4.70 dB y 6.66 dB, respectivamente. El proceso de limpieza post-inspección logró una recuperación del

margen óptico de 3.38 dB en Urbanización y 5.95 dB en Edificio 1x32, valores técnicamente significativos en arquitecturas de alta división, garantizando una mayor robustez del sistema frente al envejecimiento de los componentes y futuras intervenciones.

- La comparación entre los datos experimentales y las simulaciones realizadas con el software OptiSystem mostró una gran consistencia, con diferencias inferiores a 1 dB en los niveles de potencia de recepción post-limpieza. Los modelos de simulación confirmaron que el incremento progresivo de pérdidas por conector (escenarios de contaminación severa) degrada directamente la Tasa de Error de Bit (BER) y cierra el diagrama de ojo, validando el uso del software como una herramienta fiable para predecir el comportamiento de la red ante factores de degradación física.
- La recolección de datos a través de encuestas al personal técnico reveló una falta estructural en el mantenimiento de redes: el 75% de los encuestados no está al tanto de las normas IEC 61300-3-35 e ITU-T L.25, y alrededor del 60% admitió no limpiar los conectores antes de conectarlos. Estos hallazgos validan la pertinencia del proyecto, demostrando que los problemas de atenuación en campo derivan mayormente de la omisión del principio “Inspeccionar antes de Conectar” y del uso de prácticas empíricas no estandarizadas.

## **RECOMENDACIONES**

- Adoptar formalmente el principio “Inspeccionar antes de conectar” en todas las prácticas de laboratorio, utilizando microscopios digitales y materiales de limpieza de grado óptico, y prohibiendo expresamente el uso de soplado manual, ropa y limpiadores no específicos que agravan la contaminación.

- Elaborar manuales de procedimiento internos que integren los criterios de IEC 61300-3-35, ISO/IEC 14763-3, TIA-568.3-D e ITU-T L.25 para la inspección, limpieza y medición de conectores, de modo que los estudiantes trabajen habitualmente bajo estándares internacionales y apliquen sus conocimientos en el área.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo para los Módulos Didácticos Empresarial y Residencial, que incluya inspecciones visuales y mediciones de potencia en intervalos regulares, con el fin de detectar oportunamente contaminación, hilos sin fusionar o degradación de conectores.
- Implementar una bitácora de mediciones en la que se almacenen los valores de TX, RX y atenuación pre y post-limpieza para cada práctica, lo que permitirá analizar tendencias y facilitar actividades futuras de investigación comparativa.
- Organizar talleres destinados a estudiantes y técnicos invitados donde se demuestre, mediante microscopía y mediciones de potencia, el efecto real de las malas prácticas de limpieza, con el fin de desincentivar su uso y promover hábitos profesionales adecuados.
- En trabajos futuros, se recomienda extender la metodología a conectores LC, MPO/MTP y a arquitecturas XGS-PON o redes DWDM, de modo que el laboratorio cuente con un conjunto de casos más amplio y actualizado.
- Proponer convenios con empresas de telecomunicaciones para difundir los hallazgos de las encuestas y las evidencias de laboratorio, y así contribuir a mejorar las prácticas de mantenimiento en redes reales fuera del entorno académico.

# ANEXOS

## Anexo 1 Diagnóstico sobre Prácticas de Mantenimiento y Limpieza en Redes de Fibra Óptica

### Conocimiento y Manejo de Conectores Ópticos en Campo.

Identificar los métodos, instrumentos y prácticas comunes que los técnicos utilizan para la limpieza y mantenimiento de conectores de fibra óptica, así como su nivel de conocimiento sobre el impacto de la contaminación en un cable óptico.

**\* Indica qué le parece la siguiente**

**NOMBRE Y APELLIDO \***

**EDAD \***

Menor de 25 años  
 25 a 30 años  
 30 a 40 años  
 Mayor de 40 años

**NIVEL DE FORMACIÓN \***

Técnico  
 Tecnólogo  
 Universitario

¿Con qué frecuencia maneja conectores ópticos en su trabajo? \*

FRECUENTEMENTE  
 SEMIFRECUENTEMENTE  
 RARAMENTE  
 NUNCA

¿Conoce el efecto que produce la contaminación (polvo, grasa, humedad) en la señal óptica? \*

Sí, conozco a detalle  
 No

¿Considera que la contaminación de los conectores puede afectar la calidad del enlace óptico? \*

Sí, de forma significativa  
 No afecta

En su trabajo cuenta con todos los implementos necesarios para diagnosticar alteraciones en el enlace. \*

Sí  
 No

**Conocimiento y Manejo de Conectores Ópticos en Campo.**

**\* Indica qué le parece la siguiente**

**Prácticas de Limpieza y Mantenimiento**

¿Con qué frecuencia realiza limpieza de conectores ópticos? \*

antes de cada conexión  
 solo cuando hay fallas de señal  
 Nunca

¿Qué métodos utiliza o recomienda para limpiar los conectores? \*

Papeles secos o papel de lija  
 Peda de algodón o algodón despendido  
 Aceite vegetal  
 Líquido de contacto electrónico  
 Solución isopropilalcohol (etc.)  
 Solución o limpieza manual de los conectores

¿Conoce el procedimiento de la norma internacional IEC 61300-5-201? \*

Sí  
 No

¿Conoce el procedimiento de la norma internacional ITU-TL 201? \*

Sí  
 No

¿Realiza inspección visual de los conectores antes de conectar? (con microscopio digital). \*

Siempre  
 Nunca  
 A veces

¿Qué tipo de contaminación más encontrar con mayor frecuencia en campo? \*

Polvo  
 Grasa - Trazas de aceites  
 Humedad  
 Pelos filosos en el conector  
 No sabe reconocer contaminaciones

En caso de presentarse alteraciones en el enlace. ¿Cuál es su primer procedimiento de diagnóstico? \*

Verificar los cables  
 Limpiar los conectores  
 Verificar el nivel de potencia óptica  
 Medir con OTDR (OTDR)

Formulario en línea desarrollado por el Centro de Estudios de Investigación en Fibra Óptica



Terminal de Línea Óptica (OLT)

Marca/Modelo: HIOSO HA7104T

Tipo: EPON/GPON OLT

Puertos PON: 4 puertos SFP



Medidor de Potencia

Óptica (OPM)

Modelo: OPM Modelo A

Rango de Medición: -70  
dBm a +10 dBm.

Longitudes de onda  
calibradas: 850, 1300,  
1310, 1490, 1550, 1625 nm.

Microscopio Digital de  
Inspección  
Marca: Onefind WF-600V  
Magnificación: 400X  
Inspección visual de zonas A, B,  
C y D según IEC 61300-3-35.



Materiales de Limpieza Certificados



Anexo 3 Parámetros de Simulación (Software OptiSystem)

Name	Value
Parameters	
Bit rate	2.488e+009 [bit/s]
Calculate noise fl...	NO
Calculate signal t...	YES
Convert noise bins	YES
Cuda GPU	NO
Decimal places	4
Export results opt...	Save after each sweep iteration
Export results to fi...	NO
Frequency unit	THz
Generate rando...	YES
Grid spacing X	0.5 [um]
Grid spacing Y	0.5 [um]
Guard Bits	0
Initial delay	NO
Interpolation offset	0.5 [nm]
Iterations	1
Number of sampl...	32768
Parameterized	NO
PAS sizing non p...	NO
Power unit	dBm
Reference bit rate	YES
Reference wavel...	193.1 [THz]
Resolution	0.1 [nm]
Results filename	C:\Users\ander\OneDrive\Documentos\OptiSystem 23.0 Samples\ResultsData\Layout 1_ExportResults.dat
Sample rate	79.61599999999999e+009 [Hz]
Samples per bit	32
Sensitivity	-100 [dBm]
Sequence length	1024 [bits]
Simulation window	Set bit rate
Space width X	50 [um]
Space width Y	50 [um]
Symbol rate	10e+009 [symbols/s]
Synchronize	NO
Time window	0.4115755627009647e-006 [s]

### Configuración Global del Proyecto

Software: OptiSystem

Tasa de transmisión (Bit rate): 2.488 Gbps (Downstream)

Longitud de onda central: 1490 nm

Optical Fiber Properties

Label: Optical Fiber

Main Dispersion PMD Nonlinearities Numerical Graphs Simulation Noise Random numbers Custom order

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	User defined reference wavelength	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Reference wavelength		1490 nm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Length		0.017 km	Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation effect	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation data type	Constant		Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation		0.35 dB/km	Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation vs. wavelength	Attenuation.dat		Normal

Tipo de Fibra: G.652.D (SMF)

Atenuación de fibra: 0.35 dB/km

Anexo 4 Bitácora Fotográfica de Inspección (Muestra)

Figura 4.1: Comparativa Conector SC/APC - Módulo Residencial

Izquierda (Pre-limpieza)

Derecha (Post-limpieza)

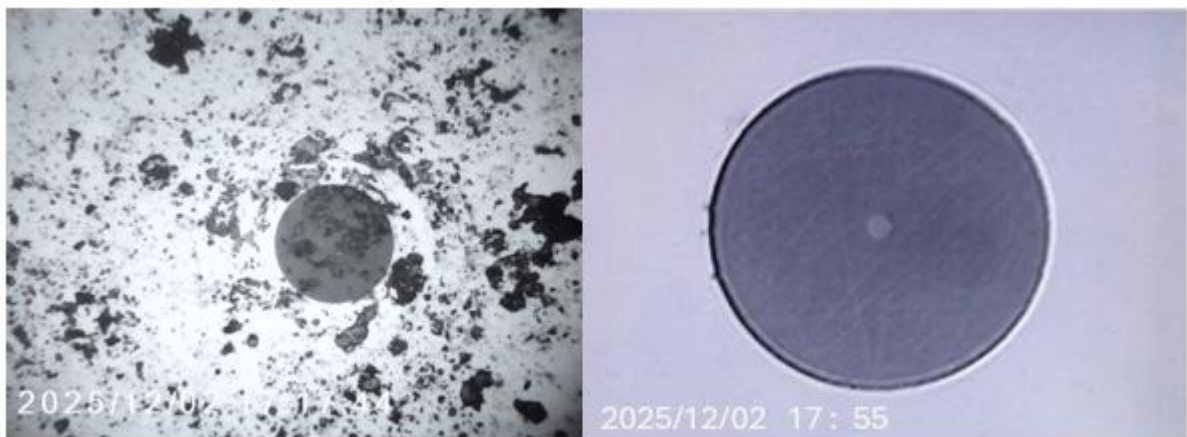


Figura 4.1: Comparativa Conector SC/APC - Módulo Residencial

Izquierda (Pre-limpieza)

Derecha (Post-limpieza)

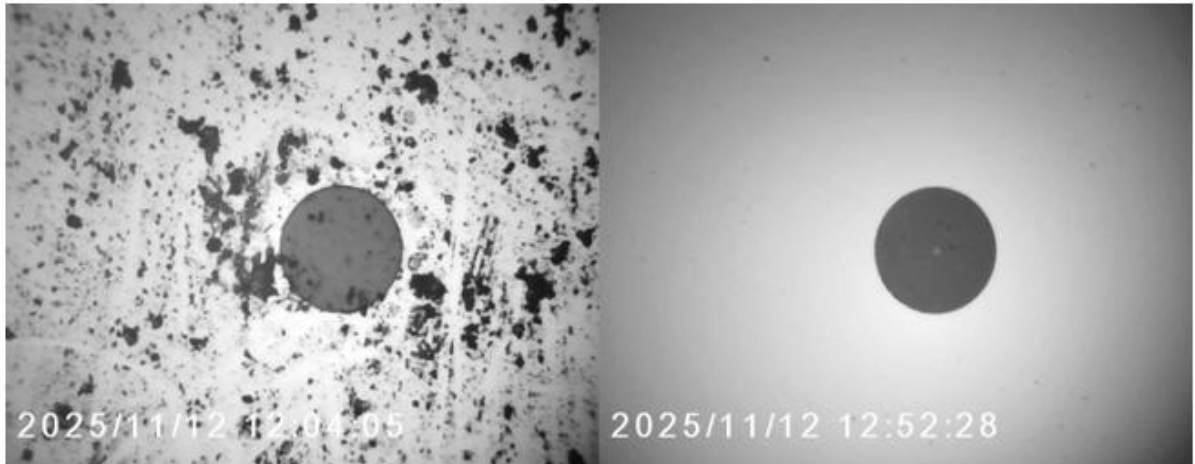


Figura 4.2: Evidencia de Malas Prácticas

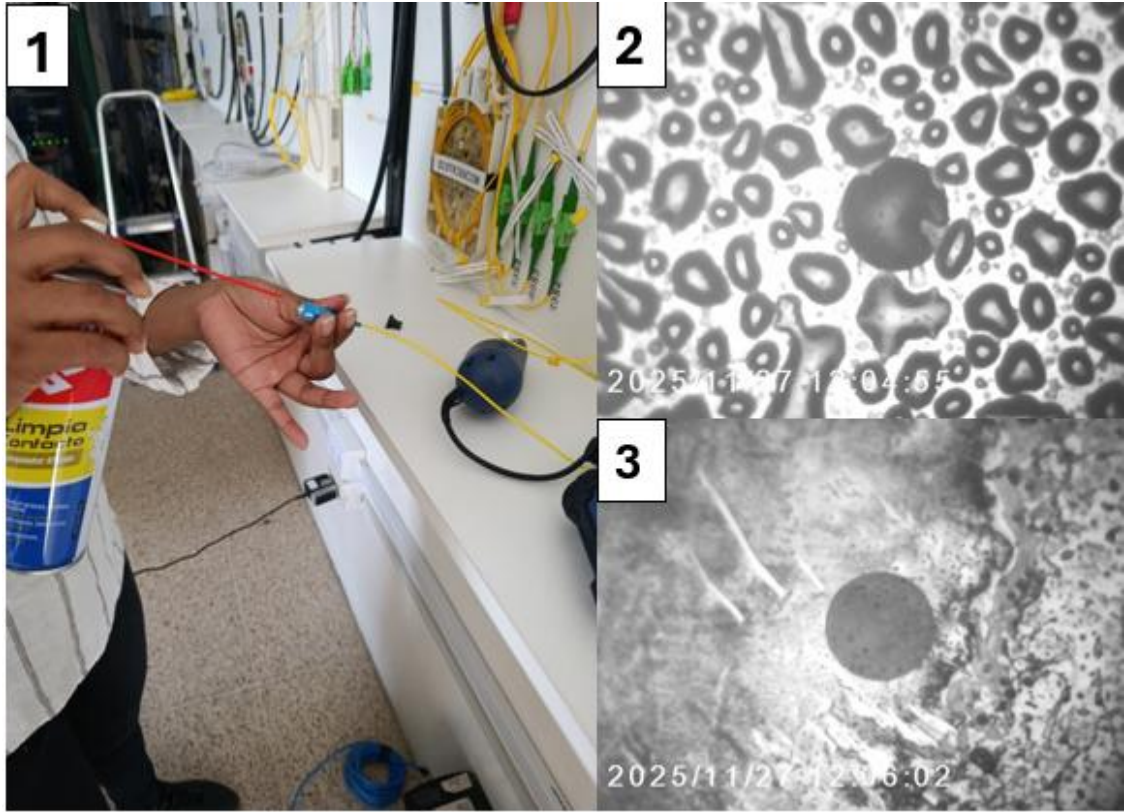
- "Soplado Manual"

Descripción: Imagen microscópica de un conector tras intentar limpiarlo con soplado bucal. Se evidencian microgotas de saliva y aumento de partículas adheridas respecto al estado inicial.



- Uso de limpia contacto

Descripción: Imagen microscopia de un conectos tras limpiarlo con “limpiador de contacto”. Se evidencia residuos de partículas químicas tras 2 minutos de su aplicación, luego de 4 minutos se refleja contaminación total en toda la zona.



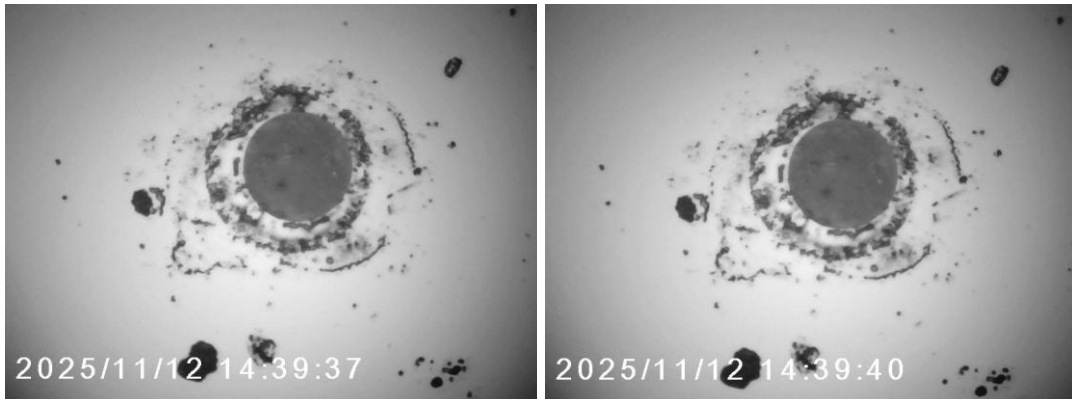
- Limpieza manual con Vestimenta

Descripción: Imagen microscopia de un conector tras limpiarlo con la parte superior de la vestimenta, se evidencia rayaduras en la férula debido al material de la vestimenta.



### Figura D3: Daño por Quemadura Láser (Módulo Móvil)

Descripción: Conector del puerto OLT 4. Se observa un cráter central (pitting) causado por la transmisión de alta potencia a través de un conector sucio, generando daño irreversible en la fibra



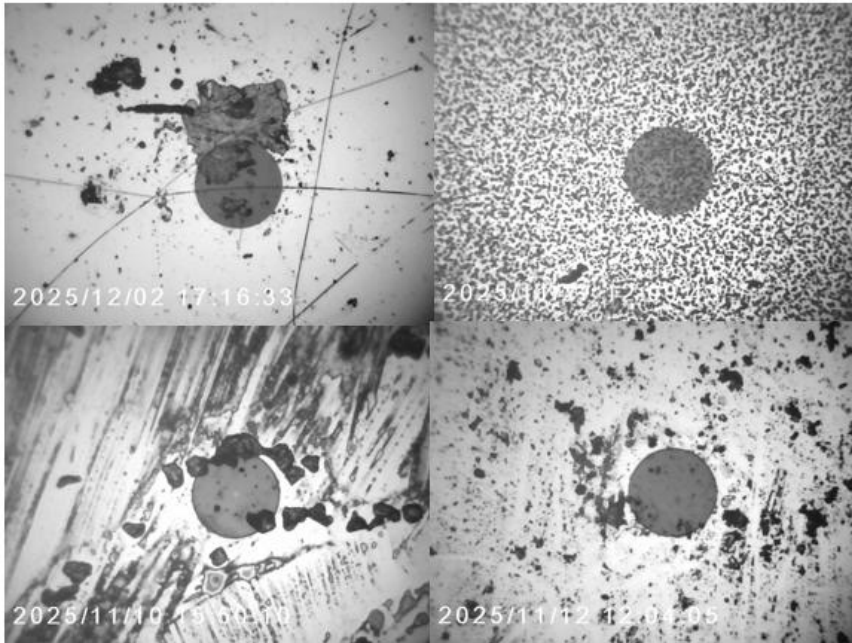
#### *Anexo 5 Guía Rápida de Protocolo de Limpieza*

##### Paso 1: INSPECCIONAR

Utilice un microscopio digital adecuado para el tipo de conector (SC, LC, MPO)

Enfoque la imagen para visualizar claramente el núcleo y el revestimiento.

Criterio: Si observa suciedad, grasa o rayaduras que cruzan el núcleo -> NO CONECTAR.



## Paso 2: LIMPIAR

Opción A (Polvo suelto): Utilice método SECO (Limpiador One-Click o Cassette). Avance la cinta y deslice el conector una sola vez en una dirección.



Opción B (Grasa/Aceite): Utilice método HÚMEDO-SECO. Humedezca ligeramente un wipe o hisopo con Alcohol Isopropílico (>99%), limpie la férula y seque inmediatamente con un wipe seco.



### Paso 3: RE-INSPECCIONAR

Vuelva a verificar el conector con el microscopio.



Si la contaminación persiste, repita el paso 2.

Nota: Nunca limpie más de 3 veces consecutivas sin evaluar si el conector está dañado permanentemente.

#### Paso 4: CONECTAR

Solo cuando la inspección visual confirme que las Zonas A (Núcleo) y B (Revestimiento) están libres de defectos y contaminantes, proceda a insertar el conector en el puerto o adaptador.



## Bibliografía

- 1] T. F. R. F. Cabrera M, «Introducción a los sistemas de comunicaciones,» 2020. [En línea]. Available: <https://openaccess.uoc.edu/server/api/core/bitstreams/3fd9d375-e0b9-4d3a-b4b5-2637e3a2857d/content>.
- 2] Telecomunicaciones en Guatemala, «Clasificación de los sistemas de telecomunicaciones,» 18 02 2024. [En línea]. Available: <https://telecomunicacionesenguatemala.info/clasificacion-de-los-sistemas-de-telecomunicaciones/>.
- 3] IEC, Comisión Electrotécnica Internacional, «Norma internacional (IS),» 05 2022. [En línea]. Available: <https://www.iec.ch/publications/international-standards>.
- 4] T. F. O. Association, «Nomenclatura Para fibras ópticas y referencias cruzadas a estándares internacionales,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.thefoa.org/tech/smf.htm?utm>.
- 5] ITU Publications ``Unión Internacional de Telecomunicaciones´´, «ITU-T G.652 Características de los medios de transmisión y de los sistemas ópticos,» 04 2024. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-202408-I/es>.
- 6] CORNING INCORPORATED, «Fibra óptica Corning® SMF-28e+,» 06 2014. [En línea]. Available: <https://www.corning.com/media/worldwide/coc/documents/Fiber/SMF-28e%2BLL.pdf>.
- 7] ITUPublications International Telecommunication Union, «ITU-T G.657 Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable,» 08 2024. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.657-202408-I/en>.

- V. STANDARDS, «DIN EN IEC 60793-1-47,» 03 2020. [En línea]. Available:  
8] [//www.vde-verlag.de/standards/0800638/din-en-iec-60793-1-47-vde-0888-247-2020-03.html?utm](http://www.vde-verlag.de/standards/0800638/din-en-iec-60793-1-47-vde-0888-247-2020-03.html?utm).
- ITU-T (Grupos de Estudio del Sector de Normalización de Telecomunicaciones),  
9] «SERIES L.111 : Cables de fibra óptica para aplicaciones domésticas,» 10 2020. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.111-202010-I/en>.
- IEC (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION), «Optical  
10] fibres-Part 1-1: Measurement methods and test procedures,» 06 2022. [En línea]. Available: [https://webstore.iec.ch/en/iec\\_catalog/product/preview](https://webstore.iec.ch/en/iec_catalog/product/preview).
- H. A. a. F. E. B. M. Abdellaoui, Overview of optical fiber communications, Lima:  
11] Procedia Computer Science, vol. 184, 2021.
- Q. T. C. L. Lesly, «¿Qué es la fibra óptica y cómo influyen las longitudes de onda  
12] en su rendimiento?,» 08 2025. [En línea]. Available: <https://www.qsfptek.com/es/qt-news/what-is-fiber-optics-and-how-wavelengths-influence-its-performance.html>.
- ITU-T, «Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Physical media  
13] dependent (PMD) layer specification G.984.2,» ITU-T, 2019.
- R. C. UFINET, «Explorando los tipos y diferencias de la Fibra Óptica,» RUBY  
14] CASTELLANO, 21 03 2024. [En línea]. Available: <https://www.ufinet.com/explorando-los-tipos-y-diferencias>.
- CustomWritings, «Fibra óptica en medicina: Transformando la atención sanitaria,»  
15] 06 2024. [En línea]. Available: <https://www.findlight.net/blog/fiber-optics-in-medicine-transforming-healthcare/>.
- L. QSFPTTEK Technology Co., «¿Qué es la fibra óptica y cómo influyen las  
16] longitudes de onda en su rendimiento?,» 15 08 2025. [En línea]. Available: <https://www.qsfptek.com/es/qt-news/what-is-fiber-optics-and-how-wavelengths-influence-its-performance.html>.

C. HDV FIVER, «¿Cual es la diferencia entre fibra monomodo y multimodo?,» 08  
17] 04 2020. [En línea]. Available: <https://www.hdv-fiber.com/es/news/what-is-the-difference-between-single-mode-and-multimode-fiber/>.

M. Isberto, «Cableado del centro de datos: fibras monomodo vs multimodo,» 07  
18] 2021. [En línea]. Available: <https://www.colocationamerica.com/blog/single-mode-vs-multimode-cabling>.

Fibramérica, «Noticias Fibramérica,» 17 Julio 2023. [En línea]. Available:  
19] <https://www.linkedin.com/pulse/fibra-%C3%B3ptica-monomodo-y-multimodo-conozca-las-caracter%C3%ADsticas/>. [Último acceso: 23 10 2025].

Olin, Company., «Fibra óptica plástica: La revolución de la conectividad en tus  
20] manos,» 05 2024. [En línea]. Available: <https://olin.es/es/blog/fibra-optica-plastica/>.

Jiangxi Daisheng POF Co., Ltd., «DAISHING POF,» 2023. [En línea]. Available:  
21] <https://www.dspof.com/product/outdoor-2-core-fiber-optic-cable-4-8-core-multicore-optic-fiber/>. [Último acceso: 23 10 2025].

N. R. E. Saad, «Una revisión de los desarrollos recientes en aplicaciones de  
22] detección biomédica y química basadas en fibras de cristal fotónico (PCF),» Revista de Sistemas Eléctricos e Inf Technol 12, 71 (2025)., 02 09 2025. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1186/s43067-025-00268-z>.

L. Y.-F. X. X.-F. K. Z.-L. L. Y. C. S.-Y. W. Y. y. L. Z. Hou Y-C, «Láseres de fibra  
23] de cristal fotónico dopados con iones,» Frontiers, 24 12 2021. [En línea]. Available: <http://10.3389/fchem.2021.801477>.

YOEC, «opticfibercoil,» 2023. [En línea]. Available:  
24] <https://es.opticfibercoil.com/specialty-optical-fibers/passive-optical-fiber/pcf-fiber.html>. [Último acceso: 23 10 2025].

Chapter, Fiber Broadband Association LATAM, «Retos en la Operación y  
25] Mantenimiento de Redes de Transporte de Fibra Óptica y Cómo Solucionarlos, Volumen

- 2,» 06 2023. [En línea]. Available: <https://fiberbroadband.org/resources/retos-en-la-operacion-y-mantenimiento-de-redes-de-transporte-de-fibra-optica-y-como-solucionarlos-volumen-2/>.
- 26] M. Azadeh, Fiber Optics Engineering, Springer, 2009.
- 27] C. & T. Fibra Optica, «La Atenuación De La Fibra Óptica,» 05 2024. [En línea]. Available: <https://lafibraoptica Peru.com/la-atenuacion-de-la-fibra-optica/>.
- 28] B. C. e. al, Reference Guide to Fiber Optic Testing, 2018.
- 29] ITU-T, Handbook , Optical fibres, cables and systems, ICT Standards Handbook Series 10, ITU, 2009.
- 30] G. P. Agrawal, «Fiber-Optic Communication Systems,» 5th ed. Wiley, 2021.
- 31] P. Lipscombe, «Fibra de núcleo hueco: ¿Qué es y por qué es importante?,» 04 2025. [En línea]. Available: <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/fibra-de-n%C3%BAcleo-hueco-qu%C3%A9-es-y-por-qu%C3%A9-es-importante/>.
- 32] FLUKE networks, «Serie 101: ¿Qué es el ancho de banda modal?,» 03 2018. [En línea]. Available: <https://www.flukenetworks.com/blog/cabling-chronicles/101-series-what-modal-bandwidth>.
- 33] R. Paschotta, «Return Loss,» 2011. [En línea]. Available: [https://www.rp-photonics.com/return\\_loss.html](https://www.rp-photonics.com/return_loss.html).
- 34] I. Grigorik, Redes de navegador de alto rendimiento, O'Reilly Media, Inc, 2013.

Petrovich, M., Numkam Fokoua, E., Chen, «Fibra óptica de banda ancha con una  
35] atenuación inferior a 0,1 decibelios por kilómetro,» 2025. [En línea]. Available:  
<https://doi.org/10.1038/s41566-025-01747-5>.

The University of Babylon- Hilla, «Comunicaciones ópticas: tendencias recientes  
36] y desafíos futuros,» 03 2025. [En línea]. Available:  
<https://uomus.edu.iq/en/EnNewCol.aspx?newid=79383&utm>.

Revista de Comunicaciones Ópticas, vol. 46, págs. 357-363, «Sistema de  
37] comunicación óptica en el espacio libre: una revisión de las limitaciones prácticas, las  
aplicaciones y los desafíos,» 02 2024. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1515/joc-2024-0011>.

Senko Advanced Components, «OPTICAL CONNECTOR CONTAMINATION,»  
38] 09 2021. [En línea]. Available: <https://www.senko.com/wp-content/uploads/2021/09/Cleaning.pdf>.

T. F. O. A. Inc., «CONECTORES Y EMPALMES,» 13 05 2024. [En línea].  
39] Available:  
<https://www.thefoa.org/ESP/Conectores.htm#:~:text=Aunque%20se%20han%20desarrollado%20m%C3%A1s,m%C3%A1s%20utilizados%20en%20la%20actualidad>.

Q. YANA, «LC vs SC vs FC vs ST vs MTP vs MPO: Comparación de tipos de  
40] conectores de fibra,» 25 05 2024. [En línea]. Available: <https://www.qsfptek.com/es/qt-news/fiber-connector-types-lc-sc-fc-st-mtp-mpo.html?srsltid=AfmBOoqs3SznotKhxWixOSX0oVPWJsRDGWjQa-TCkNIrwQgQIe3buzcQ#:~:text=EI%20conector%20de%20fibra%20%C3%B3ptica,conectores%20multifibra%20%28como%20MTP%2FMPO>.

OPTCORE, «Tipos de conectores de fibra óptica: Una guía completa,» 15 12 2023.  
41] [En línea]. Available: [https://www.optcore.net/es/fiber-connector-types/?srsltid=AfmBOopf0V2XiH0YE4w68O0HRWTpYo\\_JA2pIBN5-kXTO907NkQKSdMpQ](https://www.optcore.net/es/fiber-connector-types/?srsltid=AfmBOopf0V2XiH0YE4w68O0HRWTpYo_JA2pIBN5-kXTO907NkQKSdMpQ).

42] R. S. kathleen Skelton, «Explicación de los conectores MPO, MTP® y casquillos MT,» 12 02 2025. [En línea]. Available: <https://focenter.com/es/blog/Explicaci%C3%B3n-de-los-conectores-mpo--mtp-y-casquillos-mt>.

43] UCL Swift North America, «Las buenas conexiones de fibra óptica comienzan con la férula,» 09 2024. [En línea]. Available: <https://uclswiftna.com/good-fiber-optic-connections-start-with-the-ferrule/>.

44] Panduit Corp, «Material Considerations for Fiber Optic Ferrules,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.panduit.com/content/dam/panduit/en/products/media/1/31/531/1531/1531.pdf>.

45] Senko Advanced Components, «Polishing Best Practices for Ferrules,» 11 2023. [En línea]. Available: [https://www.senko.com/wp-content/uploads/2023/11/Application-Note\\_Polishing-Best-Practices.pdf](https://www.senko.com/wp-content/uploads/2023/11/Application-Note_Polishing-Best-Practices.pdf).

46] STL Tech, Himanshu Gaurav, «What is Optical Fibre Splice Loss,» 05 2022. [En línea]. Available: <https://stl.tech/blog/what-is-optical-fibre-splice-loss>.

47] Advances in Optics and Photonics, vol. 15, no.1, «Loss in Hollow-Core Optical Fibers: Mechanisms, Scaling Rules, and Fundamental Limits,» 01 2023. [En línea]. Available: [https://eprints.soton.ac.uk/470826/2/aop\\_15\\_1\\_1.pdf](https://eprints.soton.ac.uk/470826/2/aop_15_1_1.pdf).

48] «What is the difference between EPON, GPON, XGPON and XGSPON?,» 03 2021. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/what-difference-between-epon-gpon-xgpon-xgspon-eva-lin/>.

49] Baudcom Communication Device Co., Ltd., «OTDR vs OLTS Entendiendo la diferencia entre OLTS y OTDR,» 03 07 2025. [En línea]. Available: <https://www.baudcom.com.cn/es/blog/otdr-vs/olt:-entender-la-diferencia-entre-olt-y-otd>.

VIAVI Solutions Inc. , «Is there a need for 1490 nm testing in PONs,» 08 2020.  
50] [En línea]. Available: <https://www.viavisolutions.com/en-us/literature/there-need-1490-nm-testing-pons-white-papers-books-en.pdf>.

E. Leonel Goiri, «Norma IEC 61300-3-35,» 2024. [En línea].  
51]

IEC 61746-1, «Calibration of Fibre Optic Measurement Instruments - OTDR,»  
52] 2011. [En línea]. Available: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/15590/1b1a571d544a4c3f91cc3ee2ef179f9e/IEC-61746-1-2009.pdf>.

EXFO Inc, «Comprobación de conectores: ¿es necesario durante la activación de  
53] FTTH?,» 07 2024. [En línea]. Available: <https://www.exfo.com/en/resources/blog/checking-connectors-necessary-ftth-activation/>.

Corning, Carlos Mora, «La importancia de la limpieza,» 2020. [En línea].  
54] Available: <https://www.corning.com/data-center/worldwide/en/home/knowledge-center/importance-of-cleaning.html>.

C. Carlos Mora, «La importancia de la limpieza de los extremos de los conectores,»  
55] [En línea]. Available: <https://www.corning.com/data-center/cala/es/home/knowledge-center/importance-of-connector-end-face-cleaning.html#:~:text=paneles%20de%20conexi%C3%B3n%20y%20puertos%2C,de%20la%20f%C3%A9rula%20del%20conector>.

Viavi solutions, «Use Case: Testing MPO Networks,» 2023. [En línea]. Available:  
56] [viavisolutions.com/mpoviavisolutions.com/mpoviavisolutions.com/mpoviavisolutions.com/mpo](https://www.viavisolutions.com/mpoviavisolutions.com/mpoviavisolutions.com/mpoviavisolutions.com/mpo).

Viavi Soluciones, «Mejoras e implicaciones de IEC 61300-3-35 Edición 3 para la  
57] inspección de conectores opticos,» 09 2022. [En línea]. Available: [https://www.c3comunicaciones.es/Documentacion/VIAVI\\_MPO/WP%20IEC61300%203%2035%20es.pdf](https://www.c3comunicaciones.es/Documentacion/VIAVI_MPO/WP%20IEC61300%203%2035%20es.pdf).

MicroCare, «¿Pueden los láseres de alta potencia dañar las redes de fibra?» 06  
58] 2023. [En línea]. Available: <https://www.microcare.com/en-US/Resources/Resource-Center/FAQs/Can-High-Power-Lasers-Can-Damage-Fiber-Networks>.

CISCO, «Procedimientos de Limpieza e Inspección para las Conexiones de Fibra  
59] Óptica,» 11 2016. [En línea]. Available:  
[https://www.cisco.com/c/es\\_mx/support/docs/optical/synchronous-digital-hierarchy-sdh/51834-cleanfiber2.html](https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/optical/synchronous-digital-hierarchy-sdh/51834-cleanfiber2.html).

Chemtronics, «Cómo Limpiar y Cómo No Limpiar los Conectores de Fibra  
60] Óptica,» 01 2020. [En línea]. Available: <https://mx.chemtronics.com/c%C3%B3mo-limpiar-y-c%C3%B3mo-no-limpiar-los-conectores-de-fibra-%C3%B3ptica#:~:text=La%20limpieza%20de%20los%20conectores,Berdinskikh%2C%20Fisenko%2C%20Daniel%2C%20Bragg%2C>.

Chemtronics, «La Guía de Limpieza Combinada Para La Limpieza de Conectores  
61] de Fibra Óptica,» 01 2023. [En línea]. Available: <https://mx.chemtronics.com/la-gu%C3%ADa-de-limpieza-combinada-para-la-limpieza-de-conectores-de-fibra-%C3%B3ptica>.

VIAVI Solutions, «Cumplimiento de la Norma IEC sobre la calidad de conectores  
62] ópticos a través de la automatización del proceso de inspección proactiva sistemática de terminaciones de conectores,» 10 2023. [En línea]. Available:  
<https://www.viavisolutions.com/es-es/literature/cumplimiento-de-la-norma-iec-sobre-la-calidad-de-conectores-o-documentos-tecnicos-y-bibliografia.pdf>.

Sérgio Coutinho, barpa Technical Advisor, «Garantizar la Calidad y la  
63] Conformidad en la Certificación de Redes Estructuradas,» 06 2025. [En línea]. Available:  
<https://barpa.es/5-pasos-para-garantizar-la-calidad-y-la-conformidad-en-la-certificacion-de-redes-estructuradas/>.

64] K. A. Gutiérrez Pilay, «Acceso a internet, evaluación y corrección del estado de la red GPON en módulos didácticos del laboratorio de telecomunicaciones,» 11 11 2024. [En línea]. Available: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/12357>.

65] CNT, «Normativas Técnicas de Diseño y Construcción de Redes de Distribución GPO FTTH,» 2017.

66] (. F. Z. Optoelectronic, «¿Qué es un microscopio de inspección de fibra y cómo funciona?,» 2023-10-26.

67] F. O. Center, «Normas para fabricantes de conjuntos de cables ópticos,» May 7, 2020.