



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTULO DEL TFG: Impacto ambiental de la fibra óptica

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación

AUTOR: Javier Sevillano San Lorenzo

DIRECTOR: Juan Carlos Aguado Chao

FECHA: 5 de julio del 2018

TÍTULO DEL TFG: Impacto ambiental de la fibra óptica

AUTOR: Javier Sevillano San Lorenzo

DIRECTOR: Juan Carlos Aguado Chao

FECHA: 5 de julio del 2018

Resumen

En este proyecto analizaremos cuál es el impacto ambiental (incluyendo aspectos socioeconómicos) de la fibra óptica.

Inicialmente detallaremos el impacto que tiene la fibra óptica en la economía de un país. Para ello será necesario explicar el concepto de banda ancha y cuáles son las tecnologías que la forman. Una vez explicado este concepto hemos escogido dos países punteros en el despliegue de la fibra como son España y Rumanía para analizar cuál ha sido su progreso en los últimos años.

A continuación explicaremos cuál es el impacto ambiental de la fibra óptica, detallando los diferentes materiales base, los tipos de fibra, sus procesos de fabricación, el reciclado y los problemas asociados al uso y manejo de fibra óptica.

Posteriormente introduciremos el concepto de fibra óptica plástica como alternativa a la fibra convencional. En este apartado detallaremos cuáles son los diferentes tipos de fibra óptica plástica y sus principales características.

Para acabar realizaremos unos balances de potencia para poder comparar las prestaciones que ofrecen cada una de ellas, de esta manera se podrá ejemplificar en que ámbitos es más adecuado utilizar este tipo de fibra.

Title: Impacto ambiental de la fibra óptica

Author: Javier Sevillano San Lorenzo

Director: Juan Carlos Aguado Chao

Date: July 5th, 2018

Overview

In this project we will analyze what is the environmental impact (including socio-economic aspects) of fiber optics.

Initially we will detail the impact that fiber optics has on a country's economy. For this it will be necessary to explain the concept of broadband and what are the technologies that form it. Once explained this concept we have chosen two leading countries in the deployment of fiber such as Spain and Romania to analyze what has been its progress in recent years. Next, we will explain the environmental impact of fiber optic, detailing the different base materials, the types of fiber, its manufacturing processes, recycling and the problems associated with the use and handling of optical fiber.

Later we will introduce the concept of plastic optical fiber as an alternative to conventional fiber. In this section we will detail what are the different types of plastic optical fiber and its main characteristics.

To finish we will make some power balances to be able to compare the features offered by each of them, in this way we can exemplify in which areas it is more appropriate to use this type of fiber.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO	2
1.1 Motivación	2
1.2 ¿Qué es la banda ancha?	4
1.2.1 Acceso móvil.....	5
1.2.2 Acceso inalámbrico	5
1.2.3 Acceso cableado	6
1.3 Estudio de la fibra óptica en España.....	7
1.3.1 Evolución	7
1.3.2 Cobertura FTTH	8
1.3.3 Penetración FTTH	11
1.3.4 Inversiones y precio.....	12
1.4 Estudio de la fibra óptica en Rumanía	14
1.4.1 Evolución	15
1.4.2 Cobertura FTTH	16
1.4.3 Penetración FTTH	17
1.4.4 Inversiones y precio.....	17
CAPÍTULO 2. IMPACTOS AMBIENTALES	19
2.1 Materiales de partida	19
2.1.1 Fibra de sílice	19
2.1.2 Fibra de vidrio chalcogenide.....	20
2.1.3 Fibra de vidrio halide	20
2.2 Fabricación de la fibra de sílice	22
2.2.1 Partes del cable	22
2.2.2 Procesos de fabricación	22
2.3 Vida Útil	30
2.3.1 Aumento del coeficiente de atenuación	30
2.3.2 Disminución de la resistencia mecánica a la tracción	32
2.3.3 Aumento de la dispersión por modo de polarización (PMD).....	34
2.4 Desecho o reciclaje	34
2.4.1 Fibraigua.....	35
2.5 Seguridad y medidas de protección	37
2.5.1 Tensión producida por el cable	37
2.5.2 Seguridad ocular	38
2.5.3 Uso de disolventes para la limpieza	42
2.5.4 Fragmentos procedentes de la fibra.....	42
2.5.5 Propagación del fuego.....	43

CAPÍTULO 3. EL FUTURO: FIBRA ÓPTICA PLÁSTICA	44
3.1. Motivación	44
3.2. Materiales de partida	44
3.3. Tipos de fibra	45
3.3.1. Fibra SI-POF	45
3.3.2. Fibra GI-POF	47
3.4. Proceso de instalación	49
3.5. Vida útil y reciclaje	50
3.6. Seguridad y medidas de protección.....	50
3.7. Cálculos	52
3.7.1. Enlace SI-POF	52
3.7.2. Enlace GI-POF	53
3.7.3. Enlace fibra multimodo	53
4. CONCLUSIONES	54
5. REFERENCIAS.....	55
6. ANEXO	58
6.1 Fichas técnicas.....	58
6.1.1. Enlace SI-POF	58
6.1.2. Enlace GI-POF	59
6.1.3. Enlace fibra multimodo	61

INTRODUCCIÓN

Este documento tiene como objetivo ofrecer una visión del impacto social, económico y ambiental que está teniendo la fibra óptica. El trabajo está dividido en 3 capítulos cada uno con objetivos bien definidos.

En el primer capítulo se pretende explicar porque es necesario utilizar la fibra óptica en la actualidad. Para ejemplificarlo analizaremos los datos móviles del último año. Una vez explicado estudiaremos la evolución de dos países europeos para caracterizar la evolución desde diferentes puntos de vista.

En el segundo capítulo se analizará cual es el impacto ambiental de la fibra óptica. Para ello estudiaremos el ciclo de vida de los cables de fibra óptica, desde sus materiales de inicio hasta su etapa final.

Finalmente en el tercer capítulo se pretende introducir el concepto de fibra plástica como una alternativa a la fibra óptica de sílice. Para demostrarlo se detallarán cuáles son sus ventajas e inconvenientes, de esta manera podremos elegir en que situaciones es recomendable el uso de este tipo de fibra.

CAPÍTULO 1. IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO

1.1 Motivación

Para realizar este apartado se ha consultado [1].

En la actualidad la fibra óptica se ha posicionado como alternativa a la red de cobre debido a que ofrece mejores prestaciones en términos de velocidad de transmisión y reducción de los tiempos de espera. Además ofrece mejor seguridad y una tasa de error más baja en comparación con el cobre.

En sus inicios la fibra óptica ha tenido algunos inconvenientes. Entre ellos destaca su alto coste. Este coste está relacionado con el despliegue de su propia infraestructura y con el uso de componentes específicos. Todo esto junto con la crisis sufrida por algunos países dificultó que la fibra no se hubiera promovido antes.

A nivel mundial se ha considerado que el desarrollo de la fibra óptica permite mejorar la economía de un país en términos de PIB. La fibra además de mejorar la conectividad de un país puede ser muy útil en sectores como la sanidad o la educación, pilares básicos de una economía.

Para justificar el uso de la fibra como alternativa al par de cobre analizaremos cual ha sido el aumento de datos móviles en diferentes zona geográficas y la cantidad de datos generados. Para ello utilizaremos los últimos datos ofrecidos por CISCO SYSTEMS¹.

La **Fig. 1.1** determina cual ha sido el crecimiento de datos móviles en 2017 con respecto al año anterior. Se puede apreciar que Oriente Medio y África han sido las zonas donde se ha producido un mayor crecimiento. Estos países llevan años promoviendo el uso de redes móviles frente a otras tecnologías debido a su bajo coste en el despliegue. La última posición de Norte América viene precedida por el cambio de la tendencia que está teniendo en esta zona, actualmente se utilizan más la banda ancha fija que las redes de acceso móviles.

¹ Empresa dedicada a la fabricación, venta y mantenimiento de equipos de telecomunicaciones

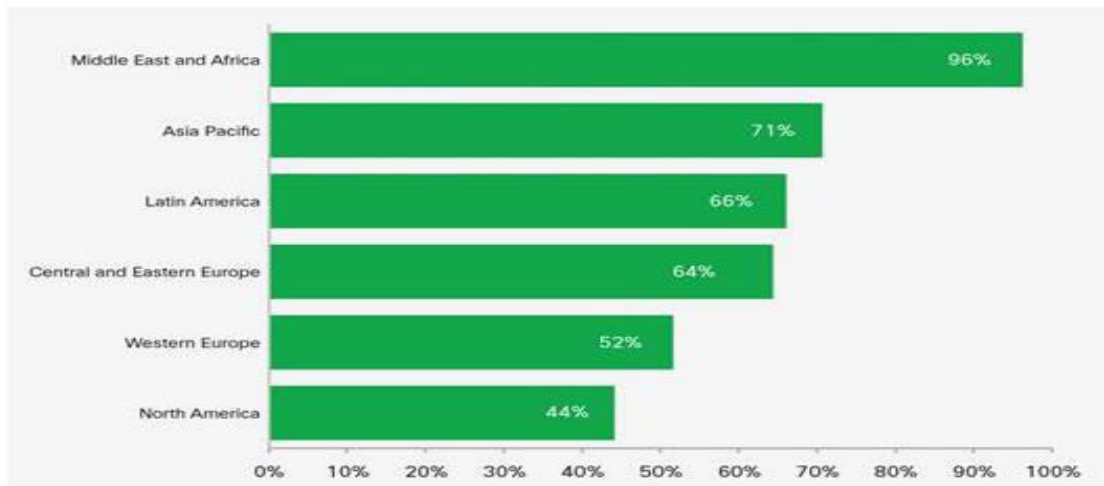


Fig. 1. 1. Crecimiento del tráfico de datos móviles en 2017

Actualmente se generan 17 exabytes cada mes a nivel global, 6 EB superior al año 2017 y 10 EB con respecto 2016. Se estima que en los siguientes años este crecimiento vaya aumentando con un CAGR² del 47% hasta 2021. Este crecimiento es debido al gran volumen de datos que se generarán con el “Internet of things” o las “Smart cities”. En 2021 se espera que se generen 49EB por mes, valor 7 veces más grande que el obtenido en 2016, ver **Fig. 1.2.**

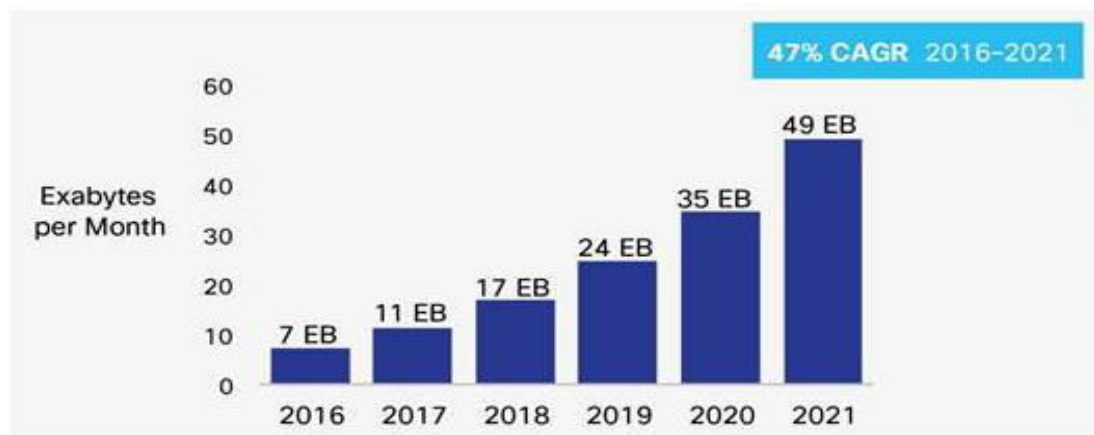


Fig. 1. 2. Estimación exabytes por mes

Estos datos provienen de diferentes zonas geográficas, en la **Fig. 1.3** podemos evidenciarlo. Se puede apreciar que la mayor parte de los datos proceden de Asia Pacífico seguidos de África y Oriente Medio. Según CISCO en 2021 se espera que el 46,7% del tráfico mundial de redes móviles venga de Asia Pacífico, un 15% de Oriente Medio y África, un 13% de Norte América, el 10,7% de Europa Central, el 8,6% de Europa del Este y finalmente un 6% de América Latina.

² El CAGR es la tasa de crecimiento anual compuesto y se utiliza para medir el crecimiento sobre un periodo de tiempo.

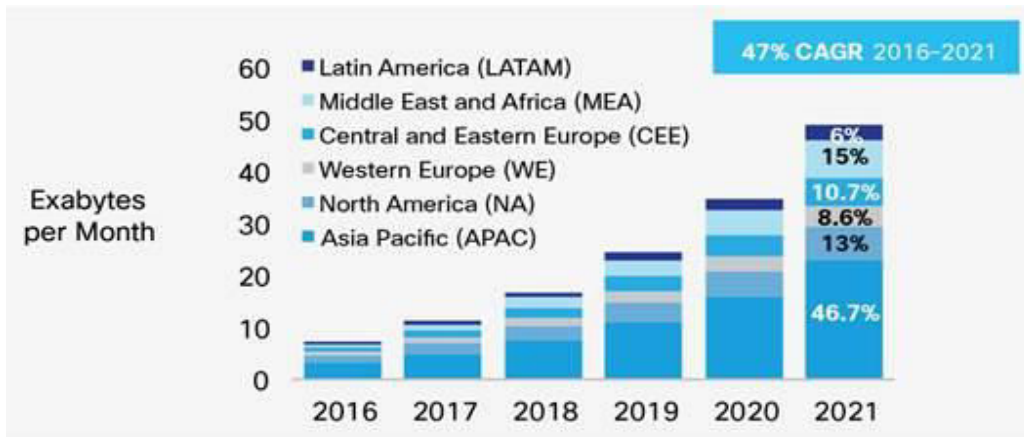


Fig. 1. 3. Estimación exabytes por mes según zona geográfica

Uno de los principales motivos de este incremento es el aumento del uso de Internet en la sociedad. Hace unos años no se dedicaba tiempo al uso de Internet, pero esta tendencia ha cambiado por completo. Cada vez se consume más Internet y desde diferentes dispositivos, ya sea TV, PC, tablet o smartphone. La tendencia actual de los datos móviles está basada en el consumo de video. Según la **Fig. 1.4**, en 2021 el 60% del tráfico móvil será video.

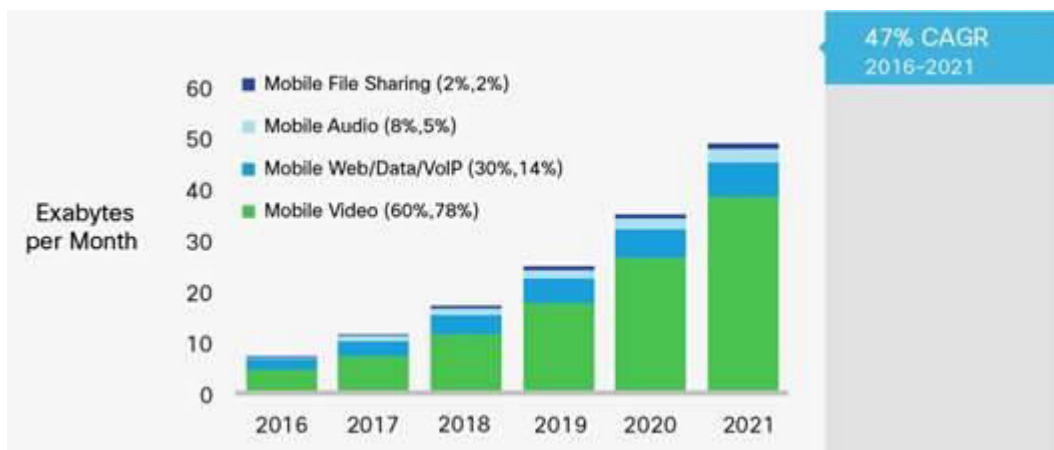


Fig. 1. 4. Estimación de las diferentes tendencias móviles

1.2 ¿Qué es la banda ancha?

En la realización de este apartado se ha consultado [2], [3] y [4].

Si queremos entender el papel fundamental que tiene la fibra óptica en los sistemas de telecomunicaciones hace falta introducir el concepto de banda ancha.

La banda ancha se puede definir como aquellos servicios que permiten al usuario, utilizando un terminal específico (ordenador, móvil, etc.) disponer de una conexión de datos y capacidad de transmisión elevada. Estos servicios suelen venir acompañados con otros servicios de telecomunicaciones como el servicio telefónico o móvil.

Para prestar el servicio de banda ancha existen diferentes tipos de tecnologías. Las podemos clasificar en los siguientes tipos: Acceso móvil, acceso inalámbrico o acceso fijo.

1.2.1 Acceso móvil

Conjunto de accesos que no requieren cables y permiten una movilidad completa al usuario. Esta movilidad se consigue mediante múltiple puntos de acceso inalámbrico, de esta forma el usuario final tiene una zona de cobertura más amplia que si tuviera un solo punto de acceso.

Las principales tecnologías que lo forman son:

3G: Conocido como UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System* o *Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles*) es una tecnología móvil de tercera generación (3G), sucesora de la tecnología GSM (*Global System for Mobile*) o 2G.

4G: El LTE (*Long Term Evolution*) es una evolución de la tecnología UMTS (3G). Introduce importantes mejoras en cuanto a la gestión de las conexiones de datos y la eficiencia en la transmisión.

1.2.2 Acceso inalámbrico

Conjunto de accesos que no requieren una conexión por cable hasta el terminal del usuario, debido a que la comunicación se realiza de forma inalámbrica a través de ondas electromagnéticas. El usuario debe estar a una distancia inferior al alcance máximo permitido.

Las principales tecnologías que lo forman son:

Wi-Fi: Esta tecnología permite la comunicación entre dispositivos de forma inalámbrica a través de ondas electromagnéticas. Es una de las tecnologías más utilizadas debido a su fácil instalación y funcionamiento. Permite sustituir la conexión por cable desde el terminal hasta el *router*.

WiMAX: Es una tecnología que permite la comunicación inalámbrica entre dispositivos a través de ondas electromagnéticas. Ofrece un rendimiento similar al Wi-Fi pero permite una cobertura y calidad de servicio mayores. Tiene un alcance teórico de hasta 50 Km para accesos inalámbricos desde una ubicación fija y alrededor de 15 Km para accesos en movilidad.

Satélite: Las comunicaciones por satélite también están basadas en tecnologías inalámbricas. Actualmente se utilizan para la provisión de servicios

tanto de telefonía y televisión como de acceso a Internet de banda ancha. La principal ventaja que ofrece esta tecnología es que puede proveer cobertura en cualquier lugar.

1.2.3 Acceso cableado

Conjunto de accesos que requieren una conexión a través de un cable hasta el terminal del usuario. El principal problema de estos accesos es que no permiten movilidad al usuario.

Las tecnologías más destacadas son:

xDSL: Del inglés (*Digital Subscriber Line*), son un familia de tecnologías que utilizan las líneas de cobre de la red telefónica para transportar la información. Es capaz de soportar envío simultaneo de voz y datos .Las tecnologías más destacables son el ADSL, ADSL2 y ADSL2+. Estas últimas evolucionaron a tecnologías con más velocidad de transmisión como vDSL y vDSL2 con velocidades de 52Mbit/s y 100Mbit/s respectivamente.

HFC: Del inglés (*Hybrid Fiber Coaxial*), es una tecnología que combina el uso de la fibra óptica y el cable coaxial. El cable coaxial es utilizado en el tramo de conexión con el usuario y la fibra en los tramos troncales. HFC utiliza el estándar DOCSIS3.0 que permite velocidades de 100Mbps o superiores.

FTTX: Tecnología basada exclusivamente en fibra óptica para ofrecer acceso a Internet. Son las redes más rápidas debido a la gran capacidad de la fibra óptica para transmitir datos.

Esta tecnología la podemos encontrar con diferentes configuraciones que van variando según la distancia que hay entre la fibra y el usuario final .Las más significativas las podemos observar en la **Tabla 1.1** y en la **Fig. 1.5**.

Tipos	Características
FTTH(fibber to the home)	La fibra óptica llega hasta el hogar.
FTTB (fibber to the building)	La fibra óptica llega hasta un punto de distribución intermedio situado en el interior del edificio. Después se llega al abonado mediante VDSL.
FTTC (fibber to the curb o cabinet)	La fibra óptica llega hasta el cuarto de telecomunicaciones situado a 300m.El tramo restante se realiza mediante VDSL.

Tabla 1.1 Características básicas de los tipos de FTTX

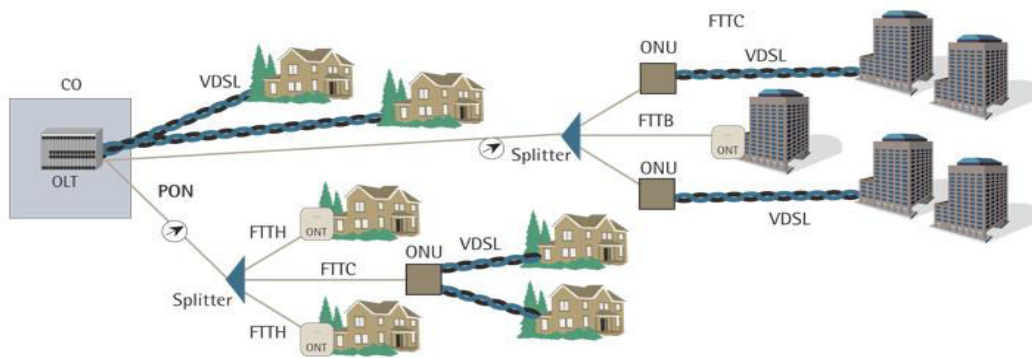


Fig. 1. 5. Tipos de FTTX

Para hacer posible el acceso a la tecnología FTTX existe un tipo de red llamada PON. La red óptica pasiva, también llamada PON (del inglés *Passive Optical Network*) permite dividir el ancho de banda entre todos los usuarios. Este tipo de red elimina los componentes activos entre el servidor y el cliente, sustituyendo estos por componentes ópticos pasivos. Dentro de la red PON existen varios tipos, uno de los más importantes es la GPON (*Gigabit PON*) estandarizada en 2002 (ITU-T G.984). Este es uno de los más utilizados en la actualidad ya que permite elevadas velocidades de conexión.

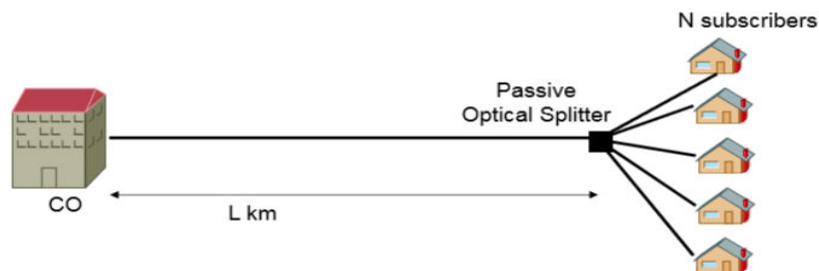


Fig. 1. 6. Red óptica pasiva

1.3 Estudio de la fibra óptica en España

Para realizar este apartado se ha consultado [5],[6],[7],[8] y [9].

En este apartado explicaremos cual ha sido la evolución de la fibra óptica en España, para ellos analizaremos su cobertura, la tasa de penetración y las inversiones.

1.3.1 Evolución

En España se ha utilizado el ADSL como principal tecnología de banda ancha desde hace 18 años. Debido a esto es la que tiene el mayor despliegue de todas las tecnologías que tenemos hoy en día. Por suerte en la actualidad

existe otras tecnologías con mejores prestaciones, entre ellas destacan el HFC y FTTH.

A continuación explicaremos cual ha sido la evolución de estas últimas tecnologías.

Por el año 2005 Telefónica empezó las primeras pruebas piloto de la fibra óptica en ciudades como Barcelona o Madrid con velocidades de 50Mbps.No fue hasta 2008 cuando Telefónica empezó a distribuir la fibra óptica de 50Mbps.A finales de ese mismo año la empresa ONO empezó el despliegue de redes con tecnología HFC, una alternativa que combina coaxial y fibra.

En esa época Telefónica tenía el monopolio de los servicios de banda ancha fija, para cambiar esta situación la CNMC³ impuso un plan llamado NEBA. En este plan se obligaba a Telefónica a compartir su red de fibra con otros operadores. De esta manera se aplicaría una justa competitividad entre los diferentes operadores.

1.3.2 Cobertura FTTH

En este apartado se analizarán cual es la cobertura asociada a cada plataforma tecnológica de banda ancha fija en España gracias a los datos obtenidos de MINETAD⁴.

En la **Fig. 1.7** se puede apreciar cual ha sido la evolución de la cobertura de cada plataforma tecnológica entre los años 2015,2016 y 2017. En los últimos tres años se puede apreciar que el ADSL sigue siendo la tecnología con mayor cobertura, con un valor del 90%, esto es debido a que la infraestructura que utiliza el ADSL lleva implementada hace tiempo. En el peor caso se encuentra el vDSL con un 12% que no ha variado durante los dos últimos años.

Las tecnologías que usan fibra óptica como es el caso de HFC y FTTH han tenido valores más pequeños de cobertura con respecto al ADSL, debido a que aún no está instalada toda la infraestructura necesaria para el uso de estas. En el caso del HFC ha tenido un valor constante del 49%. Los problemas técnicos y las interferencias entre usuarios han provocado que los usuarios elijan otras opciones para el acceso a Internet. Por su parte el FTTH ha sido la tecnología que más ha aumentado, con respecto a 2015 ha aumentado un 15% y con respecto 2016 un 8%.Esto es debido al esfuerzo inversor de los operadores privados que optaron por desplegar sus propias redes y al plan de ayudas del gobierno español.

³ La Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) es el organismo que promueve y defiende el buen funcionamiento de todos los mercados en interés de los consumidores y de las empresas

⁴ MINETAD hace referencia al ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.

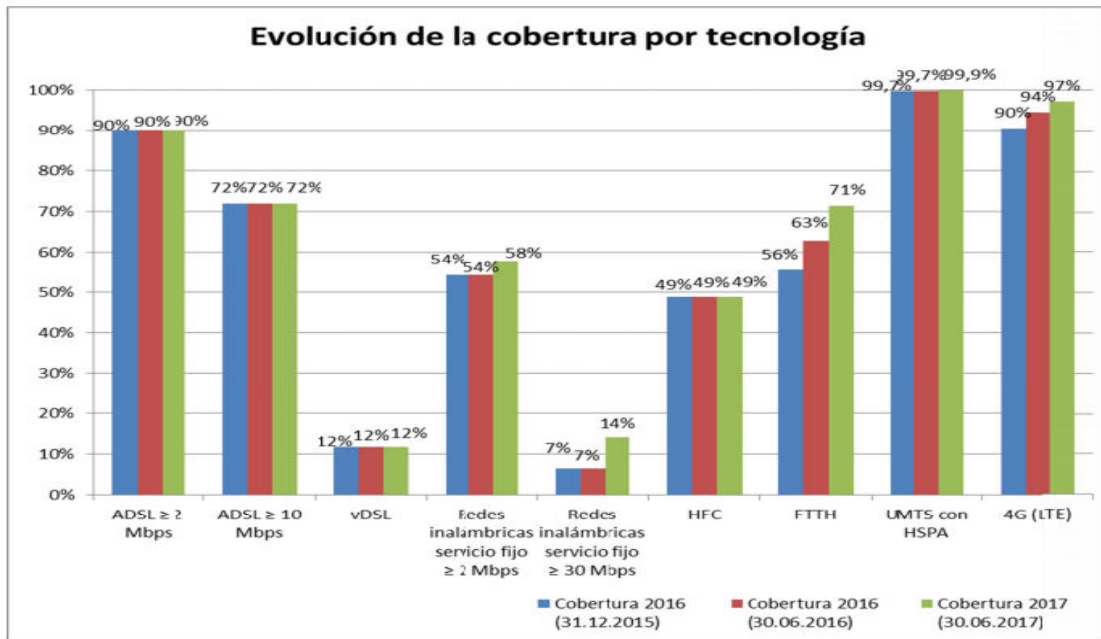


Fig. 1. 7. Evolución de la cobertura según tipo de tecnología

En la Fig. 1.8 se puede apreciar cual ha sido la cobertura de FTTH según cada comunidad autónoma en España. El valor medio de la cobertura de FTTH es de 71,4%. Podemos apreciar que la comunidad autónoma con menos cobertura actualmente es Galicia con un valor de 41,3%. Melilla es presentada como la comunidad autónoma con mejor cobertura de FTTH con un valor del 100%.

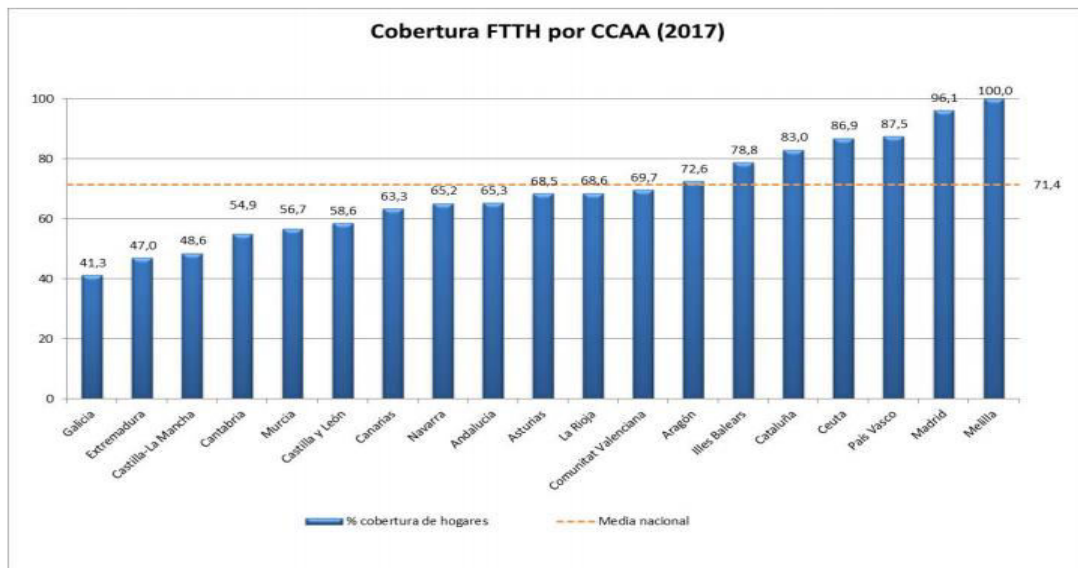


Fig. 1. 8. Cobertura FTTH por comunidad autónoma

En la tabla 1.2 podemos observar la distribución de municipios por rango de cobertura de FTTH. En 2017 se lograron cubrir con FTTH en 12.828 hogares aproximadamente un 71,4 del valor total. Se puede apreciar que hay 558 municipios con una cobertura de 90-100%, estos se concentran en áreas de

Cataluña, Madrid y País Vasco. Aun así todavía hay 6.782 municipios donde la cobertura es inferior al 10% ,en estos municipios la tecnología utilizada es el ADSL.

Rango de cobertura	Nº Municipios	Nº de habitantes totales	Nº hogares totales	Hogares cubiertos FTTH
90≤x≤100	558	26.161.718	10.227.095	10.057.941
80≤x<90	172	3.744.206	1.393.958	1.189.853
70≤x<80	121	1.855.303	701.177	529.246
60≤x<70	112	1.846.635	684.946	449.063
50≤x<60	90	886.077	334.234	183.185
40≤x<50	82	1.095.837	419.206	189.879
30≤x<40	76	901.770	341.352	117.903
20≤x<30	68	685.664	257.549	65.184
10≤x<20	64	577.592	215.946	33.333
0≤x<10	6.782	8.802.206	3.392.187	13.342
Totales	8.125	46.557.008	17.967.650	12.828.929

Tabla 1.2 Distribución de municipios por rango de cobertura

Uno de los problemas que hay con respecto a la cobertura de fibra óptica es el acceso a zonas rurales o zonas de difícil acceso. En España hay 8.125 municipios, de los cuales 6.682 son considerados rurales o de difícil acceso. Las empresas que despliegan FTTH no están interesadas en el despliegue en estas zonas debido los costes que conlleva, en la figura 9 podemos evidenciar este hecho. En esta podemos apreciar que las zonas con menos de 5000 habitantes obtienen valor de cobertura inferior al 16,4%, ver **Fig. 1.9**.

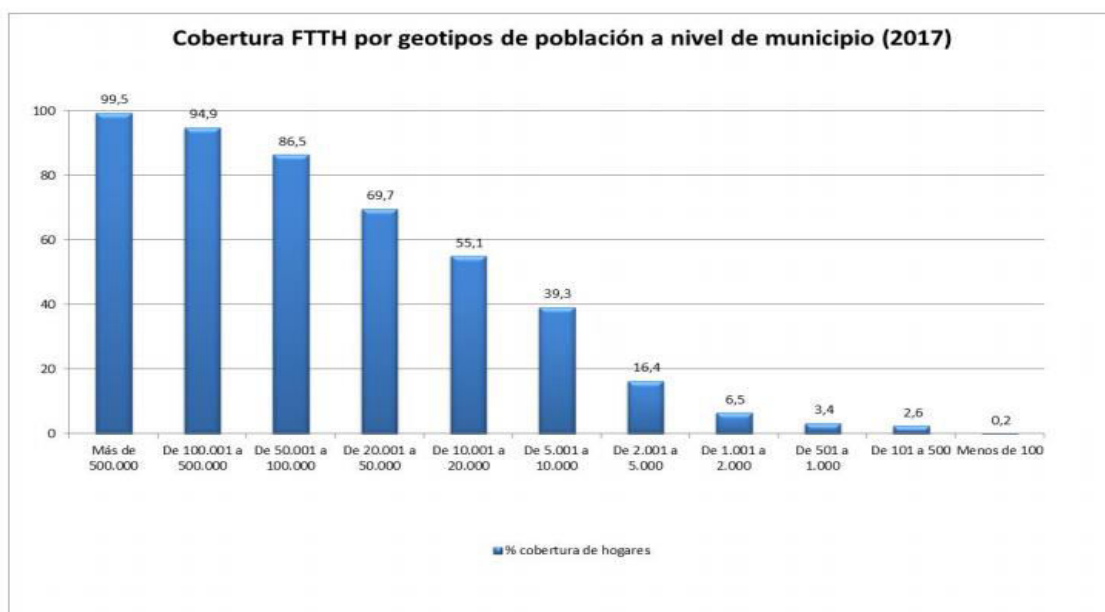


Fig. 1.9. Cobertura FTTH por geo tipos de población a nivel de municipio

1.3.3 Penetración FTTH

A continuación se hará un análisis de cuál ha sido el crecimiento de la tasa de penetración de la fibra óptica en algunos países de la zona euro.

Según los últimos datos del FTTH Council Europe ⁵, el número de abonados de FTTH y FTTB en Europa creció un 20,4% llegando a 51,6 millones de subscripciones en setiembre de 2017. Esto ha provocado que la tasa penetración aumentara hasta el 34,8%.

En la **Fig. 1.10** podemos apreciar el ranking de penetración de fibra óptica con FTTH y FTTB entre algunos países de Europa. Este ranking está liderado por Letonia con un 50,6%, Suecia con un 43,4% y Lituania con un 42,6%. Cabe destacar que estos tres países están utilizando la tecnología FTTH y FTTB algo que ayuda en el incremento de la tasa de penetración.

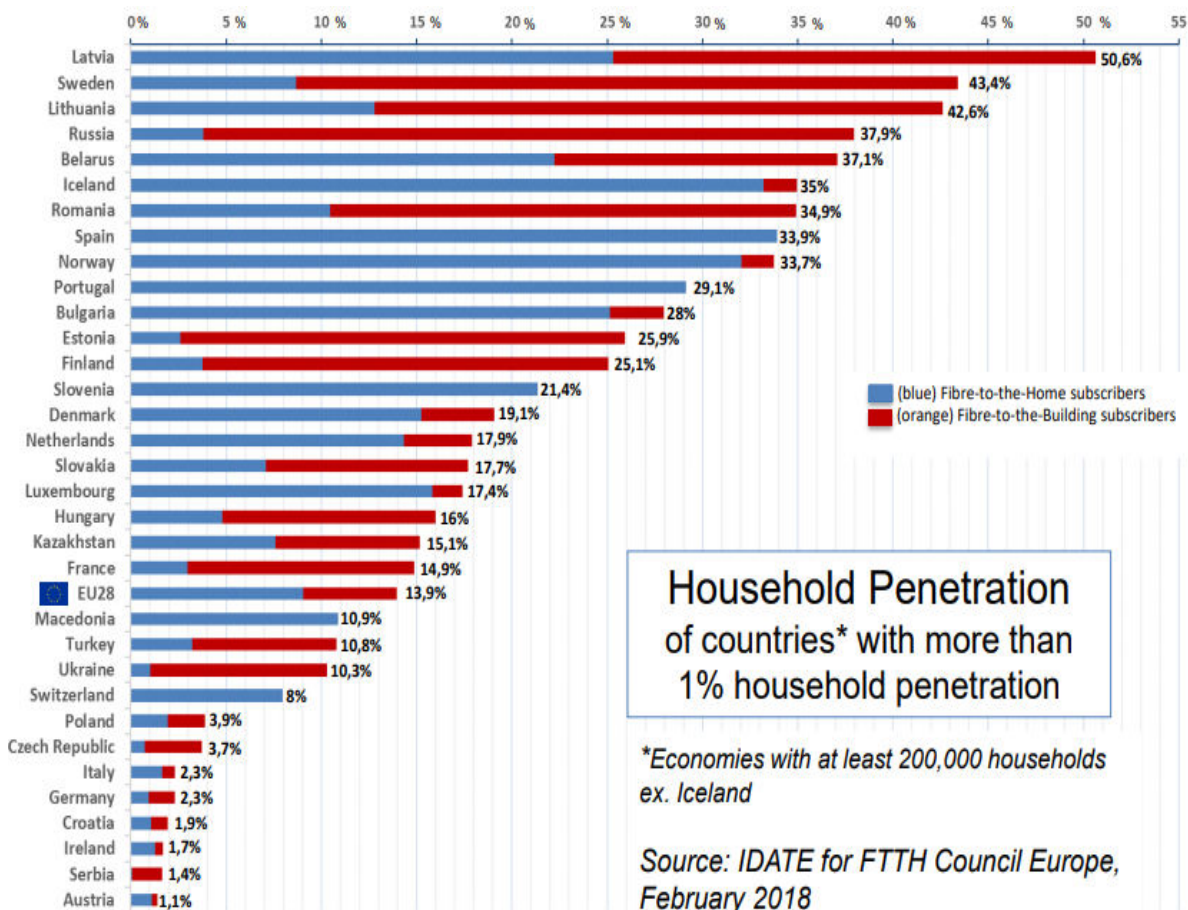


Fig. 1. 10. Ranking tasa de penetración FTTH/B europeo

⁵ Organización creada en 2004 por cinco miembros fundadores (Alcatel-Lucent, Cisco, Corning, Emelle y OFS). Con el objetivo de acelerar la conectividad mediante el uso de fibra óptica.

España por su parte se sitúa en el octavo país con mayor penetración de fibra óptica con un valor de 33,9% con FTTH, un valor que está por encima del 13,9% de la media europea.

La posición de España en el ranking viene determinada por el cambio de tendencia en la banda ancha en nuestro país en los últimos años. Según datos de la CNMC en el último año las líneas asociadas a la fibra óptica han superado por primera vez a las de la DSL (Fig. 1.11). Con respecto a 2016 las líneas asociadas a la fibra óptica han aumentado su valor en 1,6M, valor que se espera que aumente el próximo año.

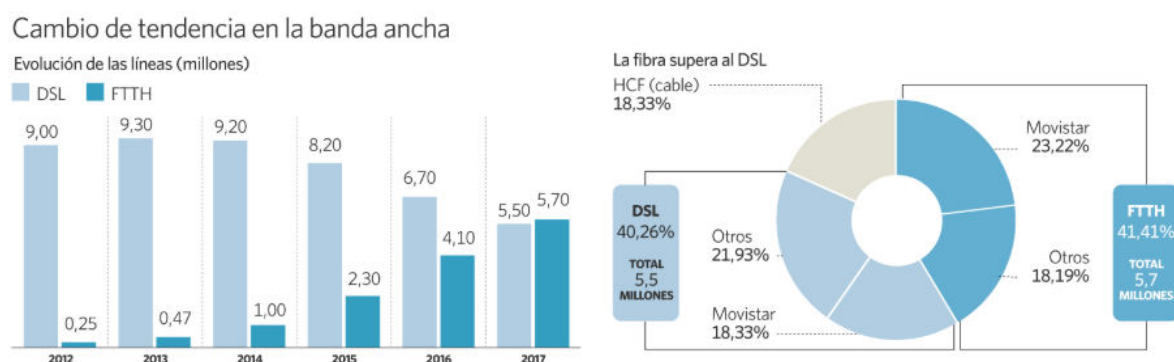


Fig. 1. 11 Evolución de las líneas de DSL-FTTH

1.3.4 Inversiones y precio

En este apartado explicaremos la importancia que tiene las inversiones sobre el PIB y qué consecuencias tiene. Además se cuantificara cual ha sido la inversión en el desarrollo de redes de fibra óptica y que subvención ha tenido por parte del gobierno.

Según estudios realizados en 2011 por Arthur D.Little, Ericsson y la Universidad Tecnológica de Chalmers duplicar la velocidad de la banda ancha implica un aumento del PIB de entre un 0,3-0,6% anual. Para duplicar esta velocidad se necesitan mejoras en la infraestructura de la red, para ello es fundamental una gran inversión por parte de empresas privadas y en forma de ayudas por los gobiernos.

Además de mejorar el PIB implica una mejora en el sector de las TIC, este traerá nuevas oportunidades de desarrollo en la educación, la cultura, la sanidad y la inclusión social.

En los próximos años se espera la implantación total de la telemedicina en la sanidad. Un aumento en la velocidad mejoraría la calidad del servicio conllevando una mejora en la calidad de vida de las personas.

La educación y la cultura están relacionadas, con una velocidad de conexión mayor se podrán descargar contenidos de manera más rápida y se incentivará el uso de las nuevas tecnologías.

También tiene un impacto positivo en la inclusión social. Todas aquellas personas que no se puedan permitir un acceso de banda ancha podrán ir a

centros públicos y beneficiarse de las ventajas que ofrece una banda ancha con velocidades elevadas.

Una vez hemos explicado la importancia que tiene las inversiones en el crecimiento económico de un país explicaremos cual ha sido la evolución de las inversiones y ayudas en España.

España es uno de los países donde más se ha invertido en fibra óptica, esto es gracias el impacto que ha tenido la Agenda Digital, el gobierno español y los operadores privados en el desarrollo de este tipo de redes.

Por parte del gobierno español en 2013 se inició un programa de ayudas para extender la cobertura de redes capaces de proporcionar servicios de banda ancha de alta velocidad conocido como PEBA-NGA. Con el fin de cumplir los requisitos de la Agenda Digital para 2015-2020. Este programa de ayudas ha sido financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

En la **Fig. 1.12** se puede observar que en España se han invertido 482,42 millones de euros en el desarrollo de redes de fibra óptica desde 2013. En este último año se ha hecho una inversión de 169,48M€, de los cuales 105M han sido ayudas públicas y el resto las operadoras. Las comunidades autónomas con mayor inversión en 2017 han sido Andalucía con 33,93M€ seguido de Comunidad Valenciana con 25,20M€ y Galicia con 19,02M€. Este último caso es sorprendente porque es la tercera comunidad autónoma con mayor inversión pero es una de las peores en cobertura.

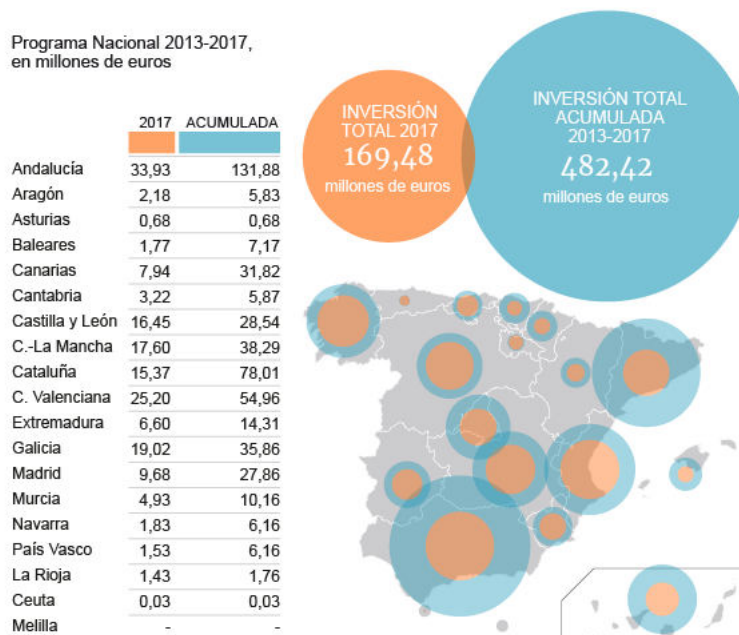


Fig. 1. 12. Inversión en Banda ancha fija (FFTH)

Estas inversiones han provocado que el 76% de la población tenga velocidades superiores a los 100Mbit/s en 2017.

Aun así el gobierno español quiere mejorar este valor con un programa de ayudas llamado “Plan 300x100”. Este programa pretende ofrecer fibra óptica de

300Mbit/s al 100% de los núcleos de población. Además tiene como objetivo cerrar la brecha digital geográfica que hay actualmente entre los núcleos urbanos y las zonas rurales. Esta inversión será un factor determinante en la implementación de la red 5G en nuestro país, algo que nos situará entre los más avanzados en el desarrollo de esta tecnología. Para conseguir este objetivo el gobierno español dotara de 525 M€ para los próximos cuatro años.

En la **Tabla 1.3** podemos observar cuales son las magnitudes de este programa de ayudas. La comunidad autónoma que recibirá más ayudas es Andalucía con 144 M€ seguido de Galicia con 69 M€. En las provincias de Barcelona, Madrid, Melilla, Guipúzcoa y Vizcaya ya han conseguido un 95% de cobertura con el plan PEBA 2013-17 debido a esto se realizarán acciones especiales de mantenimiento.

Comunidad Autónoma	Habitantes	Población a la que se prevé proporcionar cobertura con Plan 300*100	Ayudas Plan 300*100	Ayuda por ciudadano en período 2018-2021	Nucleos de población con cobertura tras Plan 300*100	Cobertura estimada tras Plan 300*100
ANDALUCÍA	8.388.107	1.315.656	114.321.422 €	86,89 €	100,00%	95,0%
ARAGÓN	1.308.563	216.036	18.771.998 €	86,89 €	100,00%	95,0%
ASTURIAS (PRINCIPADO DE)	1.042.608	154.544	13.428.795 €	86,89 €	100,00%	95,0%
BALEARS (ILLES)	1.107.220	103.262	8.972.748 €	86,89 €	100,00%	95,0%
CANARIAS	2.101.924	379.952	33.015.165 €	86,89 €	100,00%	95,0%
CANTABRIA	582.206	106.789	9.279.219 €	86,89 €	100,00%	95,0%
CASTILLA-LA MANCHA	2.041.631	463.924	40.311.738 €	86,89 €	100,00%	95,0%
CASTILLA Y LEÓN	2.447.519	578.309	50.251.006 €	86,89 €	100,00%	95,0%
CATALUÑA (*)	7.522.596	580.653	50.454.729 €	86,89 €	100,00%	95,7%
CIUDAD AUTÓNOMA DE CEUTA	84.519	6.487	563.665 €	86,89 €	100,00%	95,0%
COMUNITAT VALENCIANA	4.959.968	479.021	41.623.573 €	86,89 €	100,00%	95,0%
EXTREMADURA	1.087.778	344.169	29.905.886 €	86,89 €	100,00%	95,0%
GALICIA	2.718.525	803.685	69.834.674 €	86,89 €	100,00%	95,0%
RIOJA (LA)	315.794	49.630	4.312.545 €	86,89 €	100,00%	95,0%
MADRID (COMUNIDAD DE) (*)	6.466.996				100,00%	98,2%
CIUDAD AUTÓNOMA DE MELILLA	86.026				100,00%	100,0%
MURCIA (REGIÓN DE)	1.464.847	298.196	25.911.193 €	86,89 €	100,00%	95,0%
NAVARRA (COMUNIDAD FORAL)	640.647	70.047	6.086.619 €	86,89 €	100,00%	95,0%
PAIS VASCO (*)	2.189.534	4.402	382.503 €	86,89 €	100,00%	97,4%
ACCIONES ESPECIALES			7.945.109 €			
ESPAÑA	46.557.008	5.955.359	525.372.586 €	86,89 €	100,00%	95,7%

Tabla 1.3 Estimaciones plan 300x100

El precio de fibra óptica en España es uno de los más elevados en Europa solo por detrás de Chipre (43 euros de media). Podemos encontrar la oferta más barata alrededor de los 40 euros, esto representa el 2.3% del sueldo medio.

1.4 Estudio de la fibra óptica en Rumanía

Las fuentes utilizadas son [10],[11],[12] y [13].

En este apartado explicaremos cual ha sido la evolución de la fibra óptica en España, para ellos analizaremos su cobertura, la tasa de penetración y las inversiones.

1.4.1 Evolución

Según los datos ofrecidos por el FTTH Council Rumanía (**Fig 1.10**) está en la séptima posición por delante de España, un hecho sorprendente si comparamos sus economías.

El caso de Rumanía es bastante singular, a continuación se explicará cuáles son los principales motivos por los cuales está tan bien posicionada.

Rumanía ha sido un país donde la implantación de redes de telecomunicaciones ha sido difícil de promover, debido a que desde el gobierno rumano no se le daba el suficiente interés. Hasta 2004 las conexiones a Internet se realizaban mediante micro-ISP⁶, también llamadas redes de bloque o redes de vecindario. Estas redes de bloque trabajan de manera local proporcionan sus servicios mediante cable UTP con conexiones hasta 100Mbps. Cabe destacar que este tipo de redes estaban avaladas por el gobierno de Rumanía.

En 2004 Rumanía entró en la unión europea y decidió mejorar su red de telecomunicaciones con el despliegue del ADSL.

En 2005 la principal operadora de ADSL era Telekom, conllevando el monopolio del acceso a banda ancha fija. En los siguientes años varias operadoras emergentes (UPC, DIGI, RCS-RDS) decidieron ofrecer servicios de ADSL, pero Telekom se negó a compartir su red de cobre. Este hecho cambió radicalmente la situación de la banda ancha en Rumanía. Ante la negativa de Telekom las operadoras emergentes decidieron crear sus propias redes de fibra.

Finalmente estas operadoras se negaron a soterrar los cables, de esta manera se abarataron los costes del despliegue de la fibra óptica y se redujeron considerablemente el tiempo de despliegue de la red. El principal problema de esta situación fue la contaminación visual de los cables, en la **Fig. 1.13** podemos apreciar este efecto.



Fig. 1. 13. Imagen cables fibra óptica en Rumanía

⁶ Se refiere al proveedor de servicios de Internet. Su principal función es conectar a sus clientes a Internet mediante las diferentes tecnologías disponibles.

1.4.2 Cobertura FTTH

En este apartado se analizará cual es la cobertura asociada a cada plataforma tecnológica de banda ancha fija en Rumanía. Gracias a los datos obtenidos de ANCOM⁷ podemos evaluar cuál ha sido la evolución de la fibra óptica en los últimos años.

En la **Tabla 1.4** podemos observar cual ha sido la cobertura para cada una de las tecnologías de banda ancha en 2017 por cada 100 habitantes. Las conexiones mediante cable UTP, TFP son las que tienen mejor cobertura (41,6%).

La segunda mejor cobertura es la de FTTX con un 18,5%, valor que ha superado por primera vez al xDSL por un 0,2%. A su vez el HFC no ha variado con respecto al año anterior, consiguiendo un 17,1%. Finalmente la tecnología con menor cobertura ha sido la inalámbrica con un valor de 4,3%.

Tecnología	Cobertura 2017
xDSL	18,3%
Inalámbricas	4,3%
FTTX	18,5%
HFC	17,1%
Cable UTP,FTP	41,6%

Tabla 1.4 Cobertura según tipo de tecnología por cada 100 habitantes

Como hemos comentado anteriormente la tecnología FTTH es una de las más utilizadas en Rumania. En la **Tabla 1.5** podemos observar que las configuraciones de FTTX más utilizadas son el FTTB (*fiber to the building*) o la FTTC (*fiber to the cabinet*). Ambos suman 3003 conexiones en el último año. Este es uno de los principales motivos por los cuales Rumania está por encima de España en la lista del FTTH Council.

Tipo de conexión FTTX	Conexiones en 2017
FTTH	855
FTTB	1.622
FTTC	1.381
FTTN	473

Tabla 1.5 Conexiones según tipo de FTTX

Uno de los problemas asociados a la fibra óptica es su despliegue en zonas rurales. El caso de Rumanía no es una excepción aunque tiene valores muy positivos. En la siguiente **Tabla 1.6** se puede apreciar las diferentes velocidades según la zona geográfica. En las zonas rurales todavía hay conexiones con tasas de transmisión bajas. Sin embargo esta tendencia está cambiando ya que en el 2017 se consiguieron 368mil conexiones con velocidades superiores a 100Mbps.

⁷ Institución que regula el mercado electrónico y las telecomunicaciones en Rumanía

Velocidades	Conexiones zona urbana (miles)	Conexiones zona rural (miles)
144kbps<x<2Mbps	9	17
2Mbps<x<10Mbps	123	299
10Mbps<x<30Mbps	277	326
30Mbps<x<100Mbps	327	293
X>100Mbps	2.577	368

Tabla 1.6 Número de conexiones según zona y velocidad

1.4.3 Penetración FTTH

En el siguiente apartado se detallara cual ha sido la tasa de penetración de Rumanía con respecto a otros países de Europa.

Rumanía permanece en la séptima posición en el ranking con 34,9%. Esta tasa tiene valores superiores a países como España o Noruega, países con PIB más elevado. Es importante destacar que este valor viene precedido por uso de dos tecnologías de FTTX y por la evolución que ha tenido la fibra en este país, explicado en el apartado 1.4.1.

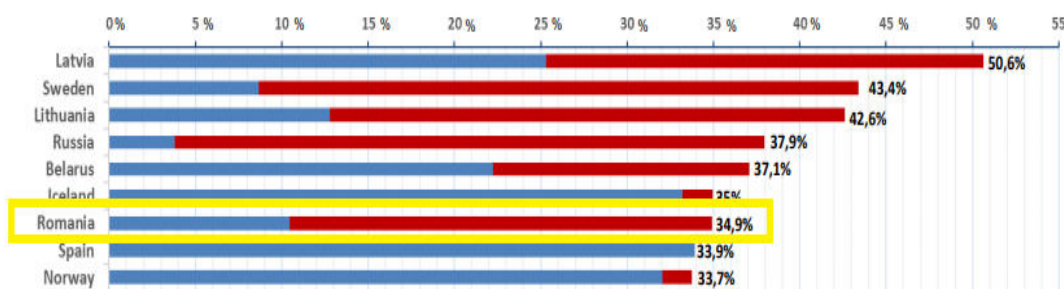


Fig. 1. 14. Fragmento de la lista de penetración FTTH/B europeo

En los siguientes años se espera que esta tasa aumente hasta el 40% debido a las futuras inversiones.

1.4.4 Inversiones y precio

Según el Ministerio para la Sociedad de la información de Rumanía se estima una inversión entre 3.300 y 5.550 millones de euros para cumplir con los objetivos impuestos por la agenda europea para 2020. Esta inversión vendría de fondos públicos, inversores privados y fondos estructurales de la UE.

En la **Tabla 1.7** podemos observar cuales son las inversiones necesarias para cada campo de acción con el fin de cumplir los objetivos específicos de la agenda Europea. Es importante destacar que el 78,2% de la inversión se utilizaría para mejorar la red de telecomunicaciones, lo que conllevaría una mejora del ancho de banda.

Programa operacional	Necesidad de inversión (EUR)	%
e-gobierno e interoperabilidad	247.487.375	6,2%
Cloud computing	70.187.239	1,8%
TI en la educación	207.365.877	5,2%
TI en la sanidad	119.116.509	3%
TI en la cultura	37.500.000	0,9%
e-commerce	171.489.313	4,3%
I+D+i en las TI	10.564.304	0,3%
Ancho de banda	3.100.000.000	78,2%
Total	3.963.760.617	100%

Tabla 1.7 Inversión total en Rumanía

En el caso que se realicen las inversiones comentadas anteriormente se prevé que haya un aumento del PIB del 13%, un aumento del 11% en el sector de las TIC y una reducción del 12% del coste de la administración.

Finalmente están inversiones van llegando de forma paulatina. Entre los años 2014 y 2017 únicamente se han invertido 160 millones de euros, valor muy alejado de las inversiones esperadas por parte del gobierno de Rumanía. Aun así se espera que en los siguientes años se aumente significativamente las ayudas.

El precio de fibra óptica en Rumanía es uno de los más bajos de Europa. Podemos encontrar varias ofertas que rondan los 13€/mes, esto representa un 2,27% del sueldo medio de un trabajador rumano ver **Fig. 1.15**. Actualmente Rumanía está entre los 10 países con el precio de banda ancha más barato.

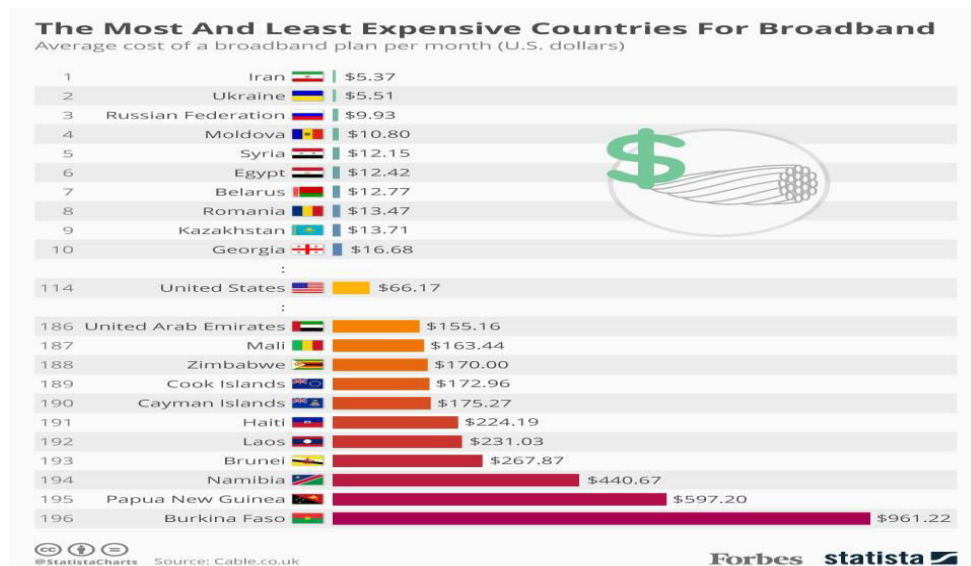


Fig. 1. 15. Lista de los países con banda ancha más cara

En este caso tener un precio de banda ancha bajo no implica peor calidad o velocidad de conexión más lenta. Rumanía es un ejemplo de esto ya que en 2015 fue uno de los países con mayor velocidad de la unión europea. Superando a países como Letonia o Suecia.

CAPÍTULO 2. IMPACTOS AMBIENTALES

2.1 Materiales de partida

Para realizar este apartado se ha consultado desde la [14] y [15].

En el proceso de fabricación de la fibra óptica pueden intervenir diferentes tipos de materiales, estos han de cumplir una serie de requisitos para considerarse adecuados.

Los principales requisitos que han de tener estos materiales son:

- Coste reducido y con alta disponibilidad.
- El material debe permitir fabricar fibras delgadas, que sean flexibles y largas.
- Debe ser un material transparente en una cierta longitud de onda, para poder transmitir la luz de forma eficiente. De no ser así no podría enviar los pulsos de luz por la fibra.
- Ha de ser compatible físicamente con otros materiales que tengan diferente índice de refracción. Es algo básico ya que el núcleo y el revestimiento han de tener índices diferentes.

Los materiales que cumplen estos requisitos son el *vidrio* y el *plástico*.

Con estos materiales podemos crear varios tipos de fibra entre los cuales destacan la fibra de sílice, la fibra de vidrio chalcogenide, la fibra de vidrio halide y la fibra de plástico, esta última se explicará detalladamente en el capítulo 3.

2.1.1 Fibra de sílice

La fibra de sílice, comúnmente llamada fibra de cuarzo es una de las más utilizadas en fabricación de cables de fibra óptica. Está formada principalmente por dióxido de silicio (SiO_2). Este elemento se puede encontrar mezclado en la arena común pero no se puede aprovechar debido a su alto grado de impureza. En la fabricación de este tipo de fibras se necesita el dióxido de silicio de la forma más pura posible, para ello se utiliza un proceso químico donde se mezclan SiCl_4 con O_2 y se obtiene el SiO_2 .

Para la formación del núcleo y el revestimiento es necesario tener dos materiales con índices de refracción (IOR) distintos. El material con índice mayor será el núcleo y el de menor índice será el revestimiento. De no ser así la onda reflejada podría travesar la superficie y no se transmitiría el haz de luz. Los dos índices de refracción distintos se consiguen añadiendo dopantes al dióxido de silicio. Según el dopante que se le añada tendrá un mayor o menor IOR.

En la **Fig. 2.1** podemos encontrar los diferentes dopantes. Por un lado tenemos el GeO_2 y el P_2O_5 que aumentan el IOR y por otro lado tenemos el F y el B_2O_3 que disminuyen el IOR.

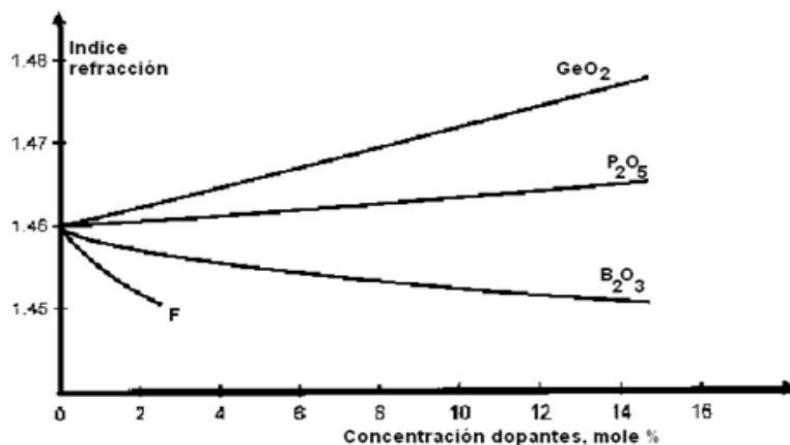


Fig. 2.1. Dopantes para incrementar o disminuir el IOR

Entre las características más importantes podemos destacar su resistencia a las altas temperaturas y una alta translucidez en la región visible e infrarroja.

2.1.2 Fibra de vidrio chalcogenide

La fibra de vidrio chalcogenide (calcogenuros) tiene este nombre debido a que está formado por una mezcla de elementos calcógenos. Los elementos calcógenos o anfígenos son el grupo 16 de la tabla periódica, formado por el oxígeno (O), el azufre (S), el selenio (Se) y el telurio (Te). A estos se les suele añadir arsénico, germanio y antimonio para la formación del vidrio.

Las mezclas de vidrios más habituales son el sulfuro de arsénico (As_2S_3) y el seleniuro de arsénico (As_2Se_3), ambas tienen una baja pérdida óptica con un valor inferior a los 0,1dB/m. Tienen un índice de refracción muy alto y no linealidades muy elevadas, esto les permite transmitir en el infrarrojo medio y lejano. Su rango espectral está comprendido entre los 1-10 μm . Sus aplicaciones están centradas en la fabricación de láseres y switches.

2.1.3 Fibra de vidrio halide

Este tipo de fibra es llamada fibra de vidrio halide o fibra de flúor, esto es debido a que se usan elementos del grupo 17 de la tabla periódica, los llamados halógenos. Los principales elementos que lo forman son el flúor (F), cloro (Cl), bromo (Br) y yodo (I).

Para la fabricación de este tipo de fibra se necesita crear un vidrio mezclando un elemento de la familia de los halógenos (F) con zirconio (Zr), bario (Ba), lantano (La), sodio (Na) y aluminio (Al). De estos elementos las combinaciones que han tenido más éxito han sido el ZrF_4 , BaF_2 , LaF_3 , AlF_3 . Estas combinaciones tienen el nombre de ZBLAN y fueron inventadas en la universidad de Rennes en Francia.

Habitualmente se utiliza ZBLAN para el núcleo debido a que tiene un índice de refracción mayor, en cambio para el revestimiento se utiliza el ZHBLAN. El ZHBLAN es similar al ZBLAN pero cambiando el ZrF_4 por el HaF_4 .

Las características más representativas son su baja atenuación en dB/km con valores cercanos a 0,01 (**Fig. 2.2.**). La fibra de vidrio halide es la que tiene mayor transparencia de todos los tipos de fibra existentes.

Este tipo de fibras tienen dos inconvenientes. El primero de ellos está relacionado con el fundido. El peso de la gravedad provoca un proceso llamado dilución de corte, donde el fundido de la mezcla se vuelve más fluido de lo que debería, esto hace que el fundido se cristalice antes de formarse el vidrio, por este motivo se necesita hacer en lugares específicos. El segundo está relacionado con la absorción de humedad. Este tipo de fibra tiene facilidad para absorber la humedad del ambiente, algo que afecta negativamente a vida útil de la fibra.

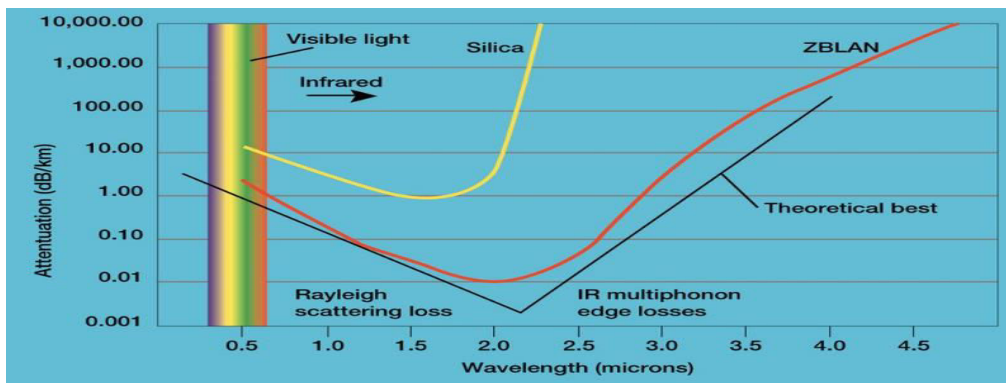


Fig. 2.2. Gráfica de atenuación en las fibras de sílice y halide

En la **tabla 2.1** podemos observar una comparativa entre las diferentes tipos de fibra mencionados anteriormente:

Composición	As_2S_3	As_2Se_3	SiO_2	Halide
Densidad(g/cm^3)	3,2	4,62	2,2	4,33
Coefficiente de expansión térmica ($10^{-6} / ^\circ C$)	24	21	0,55	17,2
Índice de refracción (longitud de onda)	2.395(3 μm)	2,8275(3 μm)	1.455(3 μm)	1,499(3 μm)
$\Delta N / \Delta T @ 10 \mu m$ ($10^{-6} / ^\circ C$)	<1	30	12	-15
Rango de transmisión (μm)	1-6	1-10	0,24-2	0,25-4
Pérdida óptica (dB / m) (longitud de onda)	0,1-0,2(3 μm)	0,5(4,55 μm)	800(3 μm)	0,05(3 μm)
Temperatura de transición del vidrio ($^\circ C$)	185	170	1120	265

Tabla 2.1 Resumen de los principales tipos de vidrio

2.2 Fabricación de la fibra de sílice

Para realizar este apartado se ha consultado [16] ,[17].

2.2.1 Partes del cable

En los cables de fibra óptica se pueden observar unas secciones bien diferenciadas, cada una con una función determinada.

Las principales secciones son:

- **Núcleo:** Sección encargada de guiar la luz por el cable. Tiene un elevado índice de refracción. Puede tener diferentes tamaños según el tipo de fibra que se escoja (multimodo o monomodo). Puede estar fabricado con vidrio o plástico.
- **Revestimiento:** Parte que cubre al núcleo y funciona como aislante óptico. Este aislamiento es provocado por la diferencia de índice de refracción que hay entre el núcleo y revestimiento. Puede tener diferentes tamaños según el tipo de fibra que se escoja. Suele estar fabricado en vidrio.
- **Cubierta protectora:** Material que esta adherido al revestimiento y que proporciona a la fibra fuerza y resistencia. Permite evitar pérdidas por daños mecánicos y humedad. Generalmente está fabricado en plástico.



Fig. 2. 3. Secciones de un cable de fibra óptica

2.2.2 Procesos de fabricación

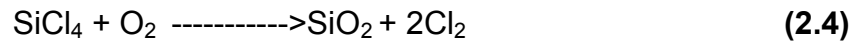
En el capítulo anterior se han explicado cuales son los tipos de fibra que existen, de todos ellos el más común es la fibra de sílice (SiO_2). Por este motivo se explicará detalladamente cuáles son sus procesos de fabricación.

El proceso de fabricación de la fibra de sílice consta de tres fases, la preforma, el estirado y las pruebas.

2.2.2.1 Fase de preforma

La fase de preforma tiene como objetivo fabricar un cilindro o varilla de 50-110cm de largo y diámetro de unos 10-24cm en estado sólido. Este cilindro se le llama preforma y es un estado previo a lo que conocemos como fibra óptica de aquí erradica su nombre.

Para la creación de la preforma se utilizan una mezcla de gases que reaccionan entre si y generaran dióxido de silicio cuando se les aplica una fuente de calor. En la **Fig 2.4** podemos observar la reacción química.



En este proceso también se suelen añadir una serie de dopantes para incrementar o disminuir su índice de refracción.

La preforma se fabrica mediante una serie de métodos, los más importantes son:

- Métodos de fase líquida
- Métodos de deposición de vapor.

Métodos de fase líquida

- *Método de la varilla en tubo (rod in tube)*

Este método consiste en introducir una varilla de vidrio con un elevado índice de refracción dentro de un tubo de vidrio hueco con menor índice. En este caso la varilla de vidrio sería el núcleo y el tubo el revestimiento. Las medidas de ambos han de estar entre unos márgenes determinados para que encajen a la perfección, de no ser así se formaría una capa de aire entre ambos que dañaría por completo el resultado final.

Una vez encajan las dos partes se calienta el extremo que tienen en contacto hasta que el vidrio se ablande. Hay que ir con cuidado de no introducir impurezas en todo el proceso de fabricación, de no ser así se pueden ver dañadas las características de la fibra resultante e introducir pérdidas del orden de 400 a 1000dB/Km.

Este método se utiliza en la creación de fibras del tipo multimodo de salto de índice debido a que la fibra resultante tiene pequeñas imperfecciones en la superficie que provocan atenuaciones elevadas.

Es importante resaltar que es uno de los métodos con menor consumo energético y uno de los más antiguos en la creación de fibra óptica.

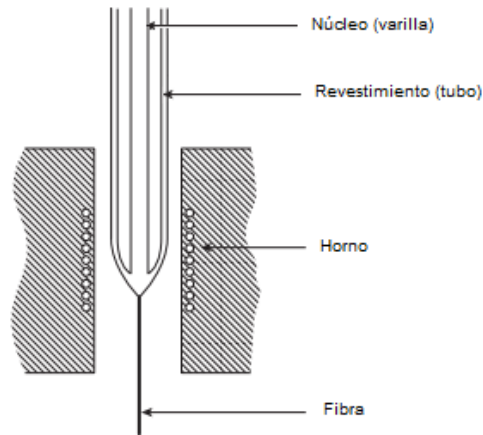


Fig. 2. 5. Método de la varilla en tubo

- *Método de los dos crisoles (compound melting)*

Este método se basa en el uso de diferentes crisoles para crear la fibra. Mediante las tuberías de alimentación se introducen el vidrio fundido en cada crisol. En el crisol⁸ central se situará el vidrio con mayor índice para crear el núcleo y en el crisol exterior se situará el vidrio del revestimiento. Finalmente ambos vidrios se unen en los extremos y por arrastre se crea la fibra.

Se utiliza para la fabricación de fibras de salto de índice y índice gradual.

Los problemas de este método están relacionados con la limpieza de los crisoles, dependiendo de la cantidad de impurezas se obtendrá una fibra con atenuaciones que oscilarán entre 5-20dB/Km en 850nm. Aun así es una buena alternativa al método "Rod in tube" debido a que introducen menos pérdidas.

Tiene un consumo energético similar al método de la varilla en tubo, siendo una de las mejores opciones en términos de ahorro energético.

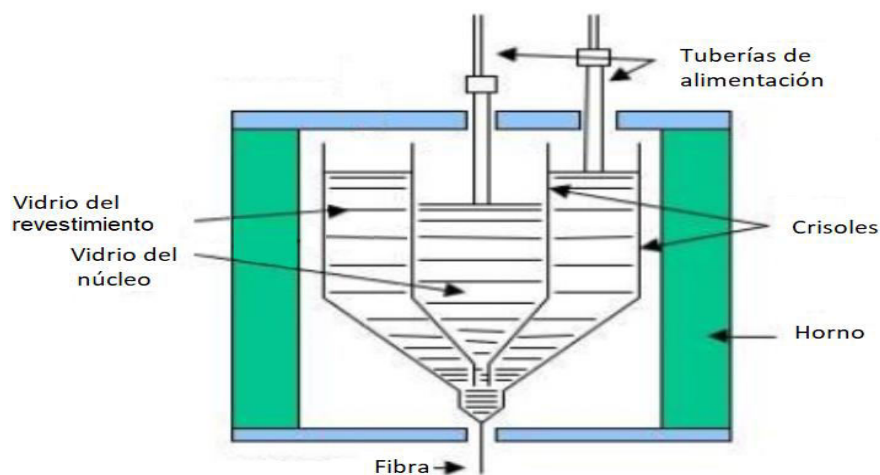


Fig. 2. 6. Método de los dos crisoles

⁸

Cavidad que forma parte del horno dónde se introducen metales fundidos.

Métodos de deposición de vapor

En los métodos de deposición de vapor se realiza un proceso llamado deposición. Este proceso consiste en calentar una mezcla de gases que reaccionan y se van depositando en forma sólida en las paredes de los tubos para obtener SiO_2 de forma pura.

Existen varios métodos, estos van variando según la zona dónde se deposite. Los métodos más significativos son:

- VAD (Vapor Axial Deposition)
- OVD (Outside Vapor Deposition)
- MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition)
- PMCVD (Plasma Modified Chemical Vapor Deposition)

- *Método de deposición de vapor axial (VAD)*

En este método se utilizan varios quemadores, una varilla de vidrio de cuarzo, oxígeno, hidrógeno y los haluros metálicos como el SiCl_4 , BCl_3 , GeCl_4 , POCl_3 .

El primer paso consisten en introducir oxígeno, hidrógeno y los metales halógenos en los quemadores. Para fabricar el núcleo y revestimiento se utilizan dos quemadores con diferentes elementos para generar vidrios con diferentes índices de refracción. Este conjunto de gases son aplicados en la cara frontal de la varilla de cuarzo que está girando continuamente para que el proceso de deposición se aplique homogéneamente. Una vez realizada la deposición se consigue un cilindro poroso. Este cilindro es poroso debido al agua procedente de las reacciones químicas entre los gases introducidos en el inicio. Para arreglarlo se introduce en un horno a 700°C que elimina gran parte de la humedad y las imperfecciones. Para acabar se estira en sentido axial para obtener la fibra.

La fibra resultante de este método tiene atenuaciones que oscilan entre 0,7 y 2dB/Km debido a la absorción de agua. Con este método podemos conseguir fibras de salto de índice e índice gradual.

El hecho de tener funcionando a la vez dos quemadores hace que sea uno de los procesos con mayor consumo energético.

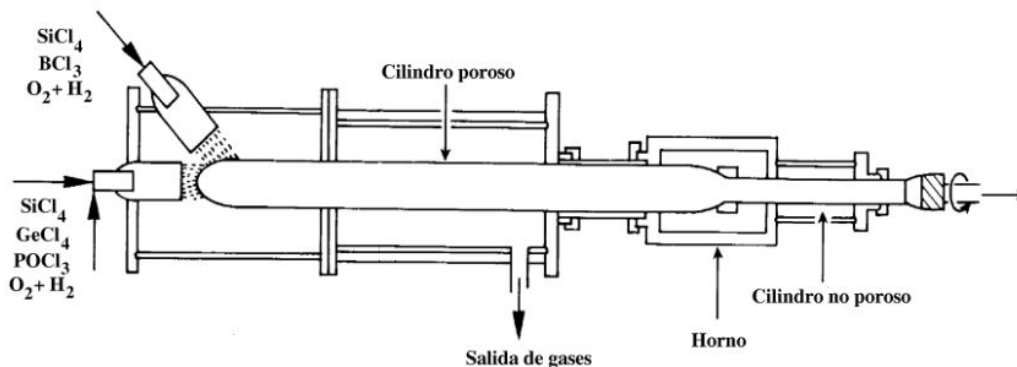


Fig. 2. 7. Método de deposición de vapor axial

- *Método de deposición de vapor exterior(OVD)*

En este método se utiliza un mandril (tubo de soporte) de material cerámico o grafito, un quemador móvil, oxígeno, hidrogeno y haluros metálicos entre los cuales destacan el SiCl_4 , BCl_3 , GeCl_4 , POCl_3 .

El primer paso consiste en enfriar el mandril. A continuación se introducen el oxígeno, hidrogeno y los haluros en el quemador. A diferencia del método anterior únicamente se necesita un quemador para la fabricación del núcleo y revestimiento. Esta mezcla genera una serie de vapores que se oxidan y se condensan en la parte exterior del mandril formando una capa. Este proceso se tiene que realizar dos veces, la primera para la fabricación del núcleo y la otra para el revestimiento.

Una vez depositado el material se obtiene una masa porosa con un mandril en su interior. A continuación se extrae el mandril y se congela la masa porosa para eliminar el aire de su interior. Una vez se elimina el aire se coloca en un horno para reducir la humedad **Fig. 2.8 a**).

Finalmente se introduce nuevamente en un horno a mayor temperatura donde se estira para eliminar el hueco interno y acabar formando una fibra.

Este método introduce una serie de problemas. Aunque se utilicen dos hornos en el proceso todavía quedan algunas partículas de agua que provocan atenuación. El mandril también causa problemas ya que en la zona interior se generan micro fisuras que agravaran el proceso de dispersión.

Con este método se fabrica fibras de índice gradual.

Tiene un consumo energético inferior al método de deposición axial, principalmente porque únicamente utiliza un quemador.

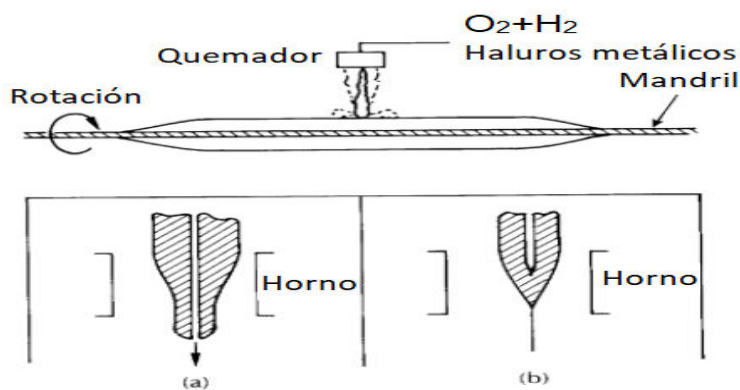


Fig. 2. 8. Método de deposición de vapor exterior

- *Deposición de Vapor Químico modificado (MCVD)*

En este método se utiliza un tubo hueco de sílice, oxígeno, hidrogeno, los haluros metálicos (SiCl_4 , BCl_3 , GeCl_4 , POCl_3) y un quemador móvil.

El primer paso consiste en enfriar el tubo de SiO_2 . A continuación se introduce el O_2 y los haluros metálicos dentro del tubo mientras este va girando.

Una vez la mezcla gaseosa está en el interior se calienta la parte exterior del tubo con ayuda de un quemador móvil. El calor procedente del quemador hace que se active el proceso de deposición de los gases que hay en el interior. Esta deposición acaba generando una capa vítrea que formará parte del núcleo o el revestimiento.

En la fabricación del núcleo o revestimiento se sigue un orden determinado, primero se fabrica la parte del revestimiento con menor IOR y luego el núcleo con mayor IOR. Cuando el proceso de deposición ha acabado se vuelve a calentar el tubo a 2000°C para que colapse. Para acabar se introduce todo en un horno para facilitar el proceso de estirado.

En la actualidad es el método que más se utiliza debido a la baja atenuación provocada por el agua y las impurezas. Esta atenuación toma valores de 0,35dB/Km

Con este proceso se pueden fabricar fibras multimodo de índice gradual.

El consumo es bastante similar al método de deposición de vapor exterior.

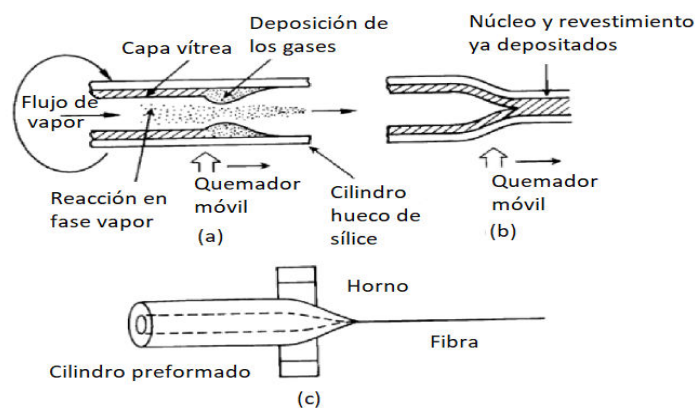


Fig. 2. 9. Método de deposición de Vapor Químico modificado

- *Deposición de Vapor Químico Modificado reforzado con plasma (PMCVF)*

Este método es similar al MCVD pero con diferencias en la forma de deposición.

En el PMCVF se utiliza un microondas móvil, este emite una serie de ondas que generan una especie de plasma. El plasma consiste en una ionización de las moléculas de los gases introducidos dentro del tubo de SiO₂. Los haluros son descompuestos y luego se mezclan con el oxígeno formando SiO₂ dopado en forma de plasma. Cuando se aplica calor al plasma se empieza a formar una capa de vidrio. A continuación se introduce la preforma en un horno para que las capas colapsen y finalmente por estirado se forme la fibra.

La principal ventaja que tiene el plasma frente a la deposición es la duración del proceso. El plasma se genera en cuestión de minutos mientras que la deposición puede durar horas

Las fibras resultantes pueden llegar a tener 2000 capas, algo que permitirá el control sobre el perfil de la fibra. Estas fibras suelen ser del tipo índice gradual.

El hecho de tener un microondas móvil afecta al consumo energético de forma positiva. Este tiene un consumo no muy elevado ya que utiliza un microondas en vez de quemadores.

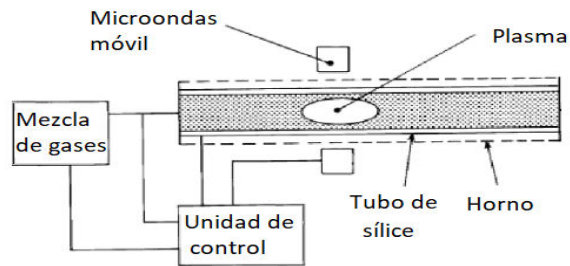


Fig. 2. 10. Método de deposición de Vapor Químico modificado reforzado con plasma

2.2.2.2 Fase de estirado

En cada uno de los métodos explicados anteriormente se debe hacer un proceso de estirado de la preforma para obtener unas dimensiones normalizadas. Este proceso se realiza en una máquina y sigue el siguiente procedimiento:

Inicialmente se introduce la preforma en la parte superior la máquina, esta debe estar centrada, para ello se utiliza unos engranajes para ajustar la posición de la preforma de forma manual. Una vez la fibra está centrada se introduce en un horno para fundir el vidrio hasta el punto que se deslice hacia abajo por la gravedad. Después se utiliza un medidor de diámetro para controlar sus dimensiones. A continuación se coloca un recubrimiento primario de acrilato para que la fibra esté protegida, ofreciendo resistencia a la fragilidad. En este paso también se utiliza un medidor de diámetro para que el recubrimiento esté dentro de unos márgenes establecidos. En caso contrario se volvería a introducir en un horno para reducir el diámetro. Posteriormente se introduce la fibra en un horno de secado con temperaturas de 100-450 °C para eliminar cualquier imperfección que haya introducido el recubrimiento primario. Para acabar la fibra óptica se recoge en una bobina mediante el cabrestante de estirado.

En la **Fig. 2.11** podemos observar las partes más significativas del proceso de estirado.

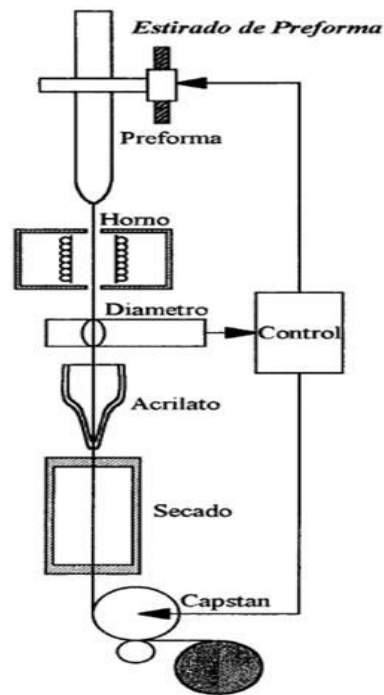


Fig. 2. 11. Imagen del proceso de estirado

2.2.2.3 Fase de pruebas

Una vez se ha fabricado el cable de fibra óptica se debe comprobar una serie de parámetros y su correcto funcionamiento. En cada uno de los cables se realizan tres pruebas.

Primero se realiza una prueba llamada "proof test", esta consiste en ejercer una fuerza de tracción en ambos sentidos para minimizar las posibles microfisuras generadas en el proceso de fabricación. Es muy importante reducir el número de microfisuras ya que estas reducen el tiempo de vida útil de la fibra.

A continuación se comprueba el correcto funcionamiento del cable en términos de longitud de onda. Mediante un *reflectómetro* analiza los valores de la atenuación, dispersión cromática, la apertura numérica y el ancho de banda.

Finalmente se realiza un último test que comprueba las características físicas como el diámetro del revestimiento y la cubierta. En este test también se comprueba el correcto funcionamiento de la fibra a una cierta temperatura y humedad.

En el caso que la fibra falle en alguno de los test mencionados se descarta y se desecha.

2.3 Vida Útil

Para realizar este apartado se ha consultado [18] y [19].

El tiempo de vida útil de una fibra no está tabulado, únicamente podemos observar algunas características que van variando con el paso de los años y que hacen que una fibra óptica tenga una duración finita. Estas características pueden variar según el tipo de instalación previa y el grado de humedad. Las principales características que acortan la vida útil de la fibra son:

- Aumento del coeficiente de atenuación
- Disminución de la resistencia mecánica a la tracción
- Aumento de la dispersión por modo de polarización (PMD)

2.3.1 Aumento del coeficiente de atenuación

El paso de los años afecta a la fibra óptica, concretamente provoca un aumento del coeficiente de atenuación (dB/km). Esto es debido al hidrogeno que se introduce en el núcleo de la fibra como vapor de agua (humedad) o como gas hidrógeno puro.

Esta atenuación debida al efecto que tiene hidrogeno la podemos dividir en dos grupos:

- Absorción debida a la difusión de moléculas del hidrógeno
- Absorción debida a las reacciones químicas del hidrógeno

2.3.1.1 *Absorción debida a la difusión de moléculas de hidrogeno*

Uno de los principales materiales con los que se fabrica la fibra es el SiO₂, dióxido de silicio, comúnmente llamado sílice. Su estructura molecular es una red cristalina covalente, esto hace que otras moléculas como el hidrogeno se puedan introducir.

En este tipo de absorción las moléculas de H₂ se introducen en la estructura molecular del SiO₂ sin reaccionar o combinarse. Este proceso puede variar según la longitud de onda, la concentración de H₂ y de la temperatura ambiente. Este es un proceso reversible, si eliminamos la fuente de H₂ la atenuación vuelve a valores normales.

En la **Fig. 2.12** podemos apreciar los diferentes picos de atenuación que produce este tipo de absorción. Los principales picos de atenuación están situados en 1080nm, 1130nm, 1170nm, 1196nm , 1240nm y en 1580nm.

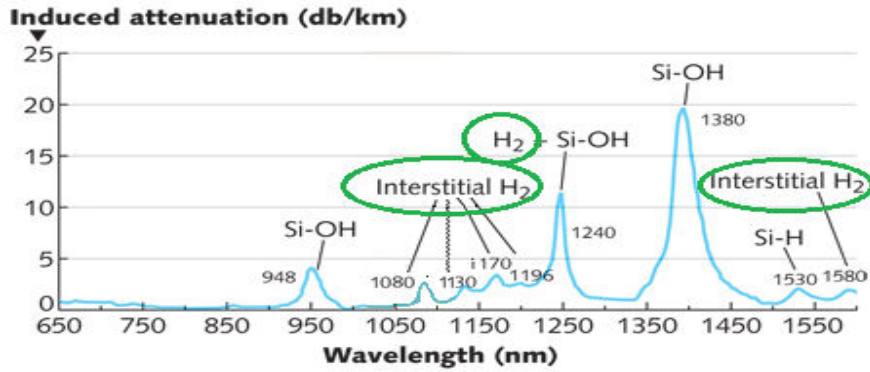


Fig. 2. 12. Atenuaciones provocas por el H₂

El aumento de atenuación debido a este tipo de absorción se puede calcular de la siguiente manera:

$$L_{H_2}(\lambda) = C_{H_2}(\lambda) * e^{\frac{2,24}{RT}} * p \quad (2.13)$$

En la **Fig. 2.13** podemos observar diferentes parámetros entre los cuales destacan la “R” (constante del gas 1,986 x 10⁻³ kcal / mol °K), la “T” (temperatura absoluta en °K), la “p” (presión parcial del hidrogeno en atm) y el “C_{H₂}” (coeficiente que depende de la longitud de onda en dB/km*atm).

2.3.1.2 Absorción debida a las reacciones químicas del hidrogeno

Este proceso es similar al caso anterior, el hidrogeno se introduce en la estructura molecular del SiO₂ pero en este caso hay una reacción química no reversible que genera otros compuestos no deseados como por ejemplo Si-OH, Si-H.

La cantidad de dopaje que tenga el SiO₂ es importante, más dopaje implica que hay más huecos entre las moléculas y que a su vez generará más compuestos no deseados.

En la **Fig. 2.14** podemos apreciar los diferentes picos de atenuación que produce este tipo de absorción. Los principales picos de atenuación están situados en 950nm, 1240nm,1380nm y en 1530nm.

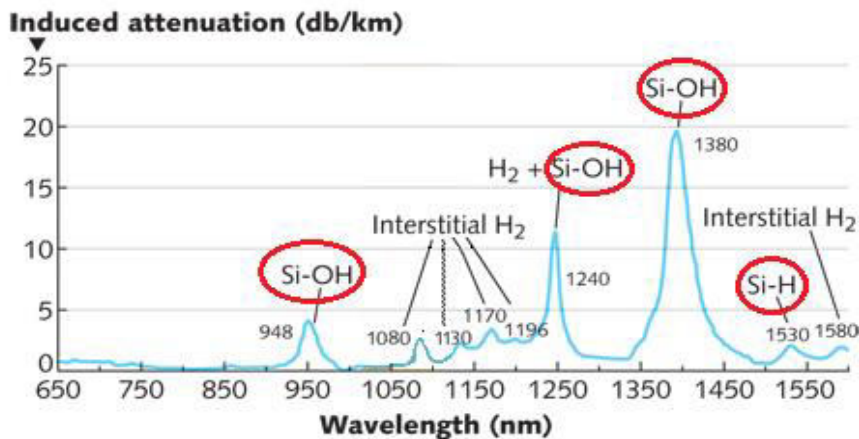


Fig. 2. 14. Atenuaciones provocas por el Si-OH, Si-H

El aumento de atenuación debido a este tipo de absorción se puede calcular de la siguiente manera:

$$L_{OH}(\lambda) = C_{OH}(\lambda) * e^{\frac{-10,79}{RT}} * p^{0,5} * t^{0,38} \quad (2.15)$$

En la **Fig. 2.15** podemos observar diferentes parámetros entre los cuales destacan la “R” (constante del gas 1,986 x 10⁻³ kcal / mol K), la “T” (temperatura absoluta en K), la “p” (presión parcial del hidrogeno en atm), la “t” (tiempo en horas) y el “C_{OH}” (coeficiente que depende de la longitud de onda en dB/ km·atm·h).

2.3.2 Disminución de la resistencia mecánica a la tracción

Uno de las principales características de la fibra óptica es su alta resistencia a la tracción, concretamente puede soportar valores de 0,35 hasta 1,4GPa de presión hacia sus extremos. Estos valores se pueden ver afectados cuando una fibra permanece en tensión durante un largo periodo de tiempo.

Este valor de tracción también se puede ver modificado si se somete más tensión de la necesaria en alguna de sus etapas. Las principales etapas que tiene un cable de fibra óptica son:

- *El cableado*, proceso donde las fibras son protegidas por las cubiertas y introducidas en un cable, aquí el nivel de esfuerzo es alto.
- *Instalación*, etapa donde las fibras son instaladas en algún lugar físico, el nivel de esfuerzo es alto.
- *En servicio o explotación*, etapa que tiene mayor duración pero implica menos esfuerzo, el cable permanece instalado hasta que sea inservible o defectuoso.

En la **Fig. 2.16** podemos ver resumido cada una de estas etapas:

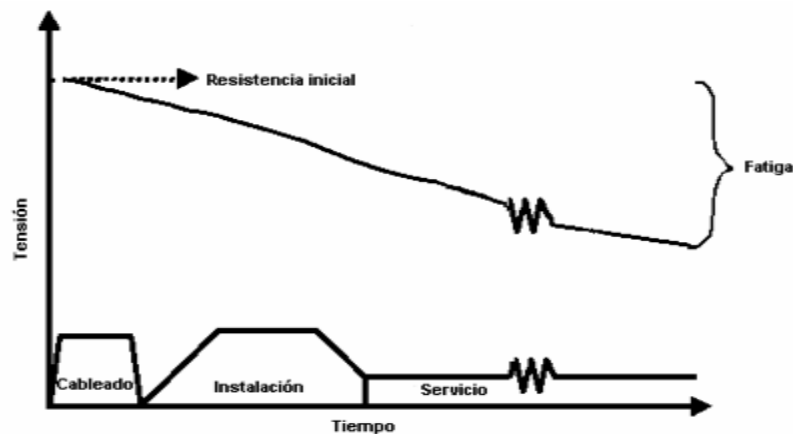


Fig. 2.16 Etapas de un cable de fibra óptica

Aunque parezca sorprendente someter a la fibra una cierta tensión puede tener aspectos positivos para esta, si se le aplica una cierta tensión no muy elevada (0,7GPa) se puede reparar pequeñas fisuras que hayan podido aparecer.



Fig. 2.17 Fisuras en un cable de fibra óptica

Estas fisuras son un factor clave en la vida útil de las fibras ópticas. Durante su vida útil se someten a diferentes tipos de tensiones que acaban generando pequeñas imperfecciones en su superficie llamadas fisuras. Estas generan daños mecánicos e introducen iones que puedan ser absorbidos a través de las fisuras como el caso del hidrogeno explicado anteriormente.

Existe un modelo que trata de calcular la vida útil de la fibra tomando en cuenta las tensiones que soportan. Este modelo tiene la siguiente expresión:

$$t_f = \frac{s_i^{n-2}}{s_a^n} * B \quad (2.18)$$

En la **Fig. 2.18** podemos observar diferentes parámetros entre los cuales destacan la "n" (valor final de la curva de fatiga en N/mm²x s), la "a" (valor inicial de la curva de fatiga en N/mm²x s), el "s_i" (valor resistencia inicial en GPa), el "S" (valor resistencia final en GPa), la "B"(es la pendiente de la curva de resistencia).

2.3.3 Aumento de la dispersión por modo de polarización (PMD)

Este tipo de dispersión depende del uso que haya tenido la fibra, hay factores como la tensión, los golpes o la torsión que afectan a la geometría circular de la fibra. Por este motivo la geometría tiende a tener una forma birrefringente.

Esta forma birrefringente hace que dentro de la fibra haya dos modos de polarización con diferentes velocidades y que acaban llegando con un cierto retardo (**Fig. 2.19**).

Este suceso es conocido como PMD introduce problemas de interferencia intersímbolo (ISI), un aumento de la tasa de error (BER) y un ensanchamiento de los pulsos. Su valor se suele medir en laboratorios y es difícil de estimar con exactitud, por este motivo se suelen hacer estadísticas con sus valores. Desde la ITU establece un valor mínimo de dispersión PMD $\leq 0,02 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$.

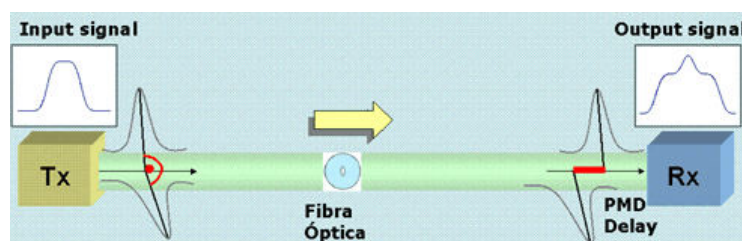


Fig. 2.19 Funcionamiento de la dispersión por modo de polarización

2.4 Desecho o reciclaje

Para realizar este apartado se ha consultado [20] y [21].

Actualmente a nivel mundial se generan millones de toneladas en residuos. Según los últimos datos de la UNESCO se generan 228 mil toneladas de residuos cada hora. Para eliminar una parte de estos residuos muchas empresas deciden arrojarlo al mar o quemarlo, produciendo efectos tan negativos como la contaminación atmosférica o los desechos marinos. Este es un problema que nos afecta a todos, por este motivo los gobiernos de todo el mundo han incentivado medidas para reducir la cantidad de estos residuos mediante el proceso de reciclaje.

La fibra óptica como cualquier otro material fabricado, ha tenido un proceso de creación, uso y desecho. En este caso los cables que han sido retirados por su mal funcionamiento acaban siendo quemados, triturados o depositados en vertederos, generando aún más contaminación. Estos cables han de seguir la directiva WEEE 2011/65/UE⁹, en ella se obliga a hacer un uso responsable de sus desechos. También han de respetar la directiva ROHS 2011/65/UE¹⁰ para disminuir el uso de sustancias peligrosas.

⁹ La Directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (WEEE en inglés) pretende promover el reciclaje, la reutilización y la recuperación de los residuos para reducir la contaminación.

¹⁰ Directiva orientada a reducir el uso de sustancias peligrosas en aparatos electrónicos.

El reciclado de la fibra no es sencillo debido a que dentro de un cable de fibra óptica podemos encontrar diferentes tipos de materiales como fibra de vidrio, polietileno, geles hidrófugos, fibras de Armida o aluminio y acero en los más antiguos. Actualmente se hace un proceso de triturado pero este no es muy útil debido a que el resultado es una mezcla de trozos y gel que no se le puede dar un segundo uso.

Por suerte desde 2016 la unión europea está financiando un proyecto llamado L-FIRE. Este proyecto pretende separar cada una de las capas que tiene el cable, desde la cubierta exterior hasta el núcleo de la fibra. De esta manera los geles no afectan al proceso de reciclado y pueden ser sustituidos por otros. Una vez separado los materiales se vuelven a introducir en el proceso de fabricación de los cables de fibra óptica. Cabe destacar que el único material que no se recicla son los geles, ya que con el paso del tiempo pierden sus propiedades.

El proceso que presenta L-FIRE es una alternativa económica a la quema o el triturado de cables, en media se puede ahorrar entre 50-350€ por cada tonelada de residuo generada.

Hoy en día este proyecto está en fase de pruebas y se está llevando a cabo en Holanda.

2.4.1 Fibraigua

Uno de los problemas de la fibra es su proceso de despliegue. Este se puede realizar por el aire o dentro del suelo. Ambos tienen un efecto negativo, ya sea visual o ambiental. Para evitar este problema FIBRAIGUA ofrece un servicio en España que permite aprovechar las canalizaciones existentes de agua potable para introducir los cables de fibra óptica (**Fig. 2.20**).

Este proyecto ofrece conexión de banda ancha en zonas que sean de difícil acceso, donde por motivos económicos, técnicos o ambientales no se puede implementar. De esta manera se garantiza que cualquier lugar que tenga acceso al suministro de agua tendrá acceso a conexión de banda ancha.

Podemos destacar los siguientes beneficios:

- Permite una instalación de hasta 2 Km por día, siendo la metodología más rápida de despliegue.
- La red de agua potable ya dispone de un conjunto de registros, arquetas, que alojan los elementos propios de la misma, ideal para poder alojar elementos de la red de fibra óptica.
- Permite el tendido de tramos de gran distancia sin necesidad de realizar zanjas.
- Ahorro económico.
- Ahorro de tiempo en el despliegue e instalación.
- Menor impacto ambiental.
- Sin impacto visual o ecológico.

El proceso de implementación consiste en utilizar una red de agua existente como recubrimiento exterior y alojar dentro un microducto¹¹, de esta manera se crea un nuevo canal que permite introducir cables de fibra óptica sin problemas. La fibra no entra en ningún momento con el agua y el cableado es totalmente dieléctrico. Este sistema está homologado y cumple las normativas NSF/ANSI 61 , NSF/ANSI 372 y WRAS ¹².



Fig. 2.20 Sistema FIBRAIGUA

El microducto está formado por polietileno de alta densidad, material que habitualmente se utiliza en las canalizaciones de agua potable. Su interior está hueco, de manera que se pueden introducir los cables de fibra óptica sin ningún problema. Los cables de fibra óptica no cubren el 100% de la sección interior del cable, esto provoca una cierta flotabilidad que hará que el microducto permanezca en la parte superior de la canalización del agua.



Fig. 2.21 Imagen del microducto utilizado por FIBRAIGUA

Uno de los principales problemas de este proyecto son los elementos hidráulicos que dividen la red en diferentes secciones, entre ellos destacan las válvulas, depósitos y los reguladores de presión. La fibra no puede introducirse dentro de estos elementos ya que los dejaría inutilizables. Para solucionar este problema se utilizan un “bypass”, este consiste en salir de la tubería antes de cada elemento para poder entrar después del mismo, todo ello con una simple fusión de fibras. Podemos observar varios ejemplos en la **Fig. 2.22**.

¹¹ Pequeños conductos de polietileno de alta densidad especialmente diseñados para ser instalados en conductos existentes

¹² Normativa relacionada con los materiales que están en contacto con agua potable. https://www.nsf.org/newsroom_pdf/nsf61-372_lead_insert_LWD-1350-0513.pdf

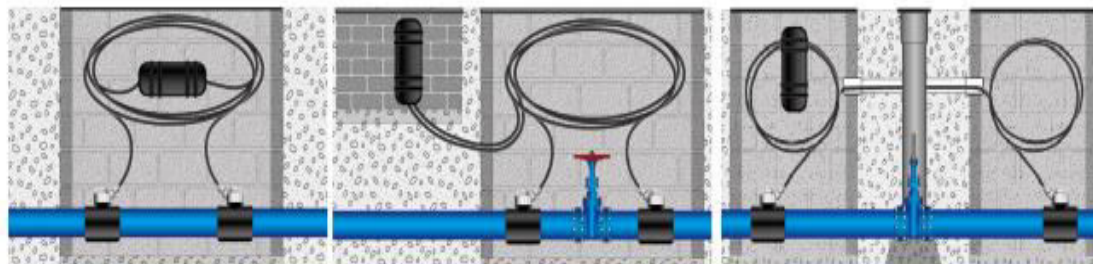


Fig. 2.22 Imagen de los diferentes “bypass”

2.5 Seguridad y medidas de protección

Para realizar este apartado se ha consultado [22] y [23].

Cuando se trabaja con fibras ópticas se deben tomar una serie de precauciones y seguir una serie de reglas de seguridad para evitar posibles accidentes.

Todo el personal relacionado con la fabricación, manejo o instalación de la fibra ha de conocer los riesgos físicos que conlleva y utilizar las medidas de protección adecuadas.

Estos riesgos los podemos clasificar en los siguientes tipos: tensión producida por el cable, seguridad ocular, uso de disolventes para la limpieza, fragmentos procedentes de la fibra y la propagación del fuego.

2.5.1 Tensión producida por el cable

En ocasiones los cables pueden almacenar mucha energía elástica, estos pueden provocar algún latigazo cuando vuelven a su posición natural y causar hematomas en los operarios.

Suele suceder en la etapas de cableado e instalación (explicado en 2.3.2), etapas donde los cables son sometidos a altos esfuerzos y tensión mecánica.

La situación más habitual donde suele ocurrir es en el tendido de cable aéreo. En estos casos el cable suele sufrir más tensión de lo habitual debido a que van colocados encima de postes (**Fig. 2.23**).

Por este motivo es obligatorio el uso del casco y gafas para evitar problemas de más gravedad.

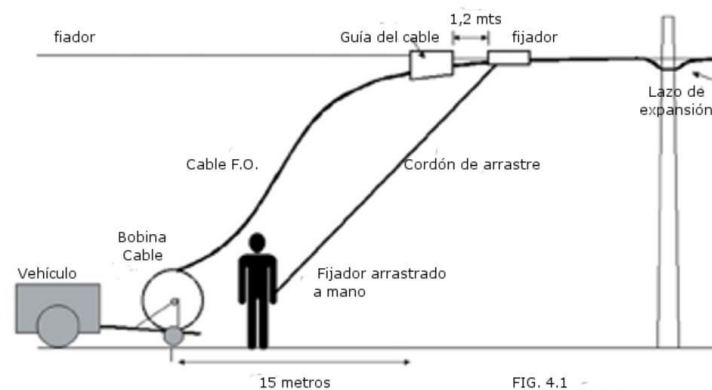


Fig. 2.23 Imagen de cableado aéreo

2.5.2 Seguridad ocular

Si trabajamos con cables de fibra óptica hemos de tener precaución con la luz procedente de su interior ya que esta puede dañar el ojo.

Antes de manipular cualquier cable que este en uso se debe desconectar todas las fuentes de luz, de esta evitaremos que la luz se propague por la fibra. En el caso que la luz incida en nuestro ojo existen dos factores que determinarán el grado de afectación, entre ellos están la potencia y la longitud de onda.

2.5.2.1 Potencia

Habitualmente los sistemas de comunicaciones de fibra óptica utilizan poca potencia, esto es debido a que utilizan fuentes controladas en una velocidad de modulación ajustada y no a máxima potencia. Estas fuentes son las encargadas de convertir la señal eléctrica en óptica.

En estos sistemas se utilizan las siguientes fuentes de baja potencia:

- **LED** : Fuente emisora de luz infrarroja de baja intensidad. Se suele utilizar en distancias cortas. Tiene un espectro de emisión muy ancho lo que provoca una mayor dispersión cromática.
- **Láser Fabry-Perot y Laser DFB**: Tienen un espectro de emisión angosto que provoca poca dispersión cromática. Permiten velocidades de transmisión mayores que el LED. Ambos se suelen utilizar en largas distancias, aunque el láser DFB también se puede utilizar en sistemas DWDM¹³. A diferencia del LED, estos láseres emiten la luz desde un lado del chip.

¹³ El DWDM del inglés Dense Wavelength Division Multiplexing , es una técnica de transmisión de señales a través de la fibra óptica utilizando la banda de los 1550nm.

- **VCSEL** : También llamado láser emisor de superficie de cavidad vertical (VCSEL en inglés). Este un diodo semiconductor que emite luz en un haz cilíndrico vertical que es perpendicular al plano de la región activa. Emiten la luz desde la superficie del chip igual que en los láseres FP y DFB. Pueden ser contruidos con GaAs, InGaAs y son de tamaño reducido. Tiene una baja corriente umbral y es de fabricación barata.

En la **Tabla 2.2** podemos observar un resumen de las principales características de cada una de las fuentes mencionadas anteriormente.

Tipo de dispositivo	Longitud de onda [nm]	Potencia dentro de la fibra [dbm]	Ancho de banda	Tipo de fibra
Led	400, 1300	30 a -10	<250 MHz	Multimodo
Láser Fabry-Perot	850,1310 (1280-1330), 1550 (1480-1650)	0 a +10	>10 GHz	Multimodo, Monomodo
Láser DFB	1550 (1480-1650)	0 a + 13 (+25 con amplificador óptico)	>10 GHz	Monomodo
VCSEL	850	-10 a 0	>10 GHz	Multimodo

Tabla 2.2 Resumen de los diferentes tipos de fuentes ópticas.

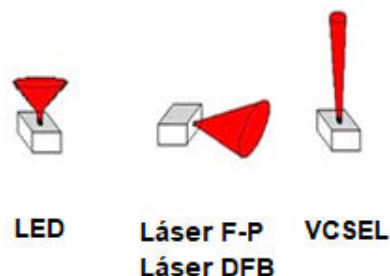


Fig. 2.24 Haz de luz Led, Láser F-P, Láser DFB, Vcsel

No obstante también existen dos tipos de conexiones que tienen una alta potencia (alrededor de 100 veces mayor). Estas conexiones son *la televisión por cable* o conexiones de video a 1550nm y *las conexiones DWDM*.

Las conexiones de televisión por cable que se utilizan en la fibra hasta el hogar pueden utilizar amplificadores ópticos. Estos provocan un aumento significativo de la potencia, echo que puede ser peligroso si la luz incide en nuestros ojos.

Las conexiones DWDM se suelen utilizar en enlaces de larga distancia. El problema que conlleva este tipo de conexiones es la acumulación longitudes de onda. La potencia que generan por separado no es muy elevada, pero DWDM puede multiplexar 16,32,64 o 128 longitudes de onda en una misma

fibra, esto provoca que en la salida haya una gran cantidad de potencia. En este tipo de conexiones también se utilizan amplificadores ópticos.

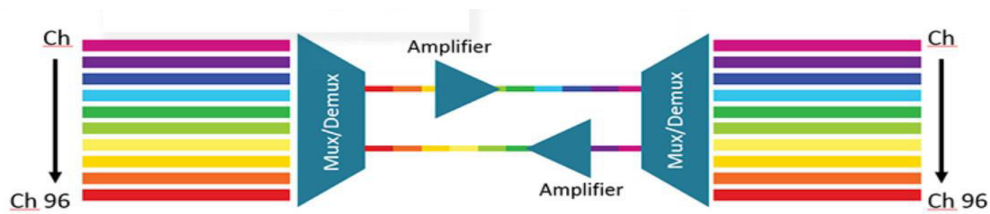


Fig. 2.25 Imagen de un sistema DWDM

Debido a que las fuentes de tipo laser pueden llegar a ser un riesgo para la salud se ha hecho una clasificación en 7 clases, recogidas en la norma UNE EN 60825-1/A2. En la **Fig. 2.26** podemos apreciar esta clasificación.

Clase 1	Productos láser que son seguros en todas las condiciones de utilización razonablemente previsibles, incluyendo el uso de instrumentos ópticos en visión directa.
Clase 1M	Láseres que emitiendo en el intervalo de longitudes de onda (λ) entre 302,5 y 4000 nm son seguros en condiciones de utilización razonablemente previsibles, pero que pueden ser peligrosos si se emplean instrumentos ópticos para visión directa. (Ver 8.2 en la norma).
Clase 2	Láseres que emiten radiación visible en el intervalo de longitudes de onda comprendido entre 400 y 700 nm. La protección ocular se consigue normalmente por las respuestas de aversión, incluido el reflejo parpebral. Esta reacción puede proporcionar la adecuada protección aunque se usen instrumentos ópticos.
Clase 2M	Láseres que emiten radiación visible (400 y 700 nm). La protección ocular se consigue normalmente por las respuestas de aversión, incluido el reflejo parpebral, pero la visión del haz puede ser peligrosa si se usan instrumentos ópticos. (Ver 8.2)
Clase 3R	Láseres que emiten entre 302,5 y 106 nm, cuya visión directa del haz es potencialmente peligrosa pero su riesgo es menor que para los láseres de Clase 3B. Necesitan menos requisitos de fabricación y medidas de control del usuario que los aplicables a láseres de Clase 3B. El límite de emisión accesible es menor que 5 veces el LEA de la Clase 2 en el rango 400-700 nm, y menor de 5 veces el LEA de la Clase 1 para otras longitudes de onda.
Clase 3B	Láseres cuya visión directa del haz es siempre peligrosa (por ej. dentro de la Distancia Nominal de Riesgo Ocular). La visión de reflexiones difusas es normalmente segura (véase también la nota 12.5.2c).
Clase 4	Láseres que también pueden producir reflexiones difusas peligrosas. Pueden causar daños sobre la piel y pueden también constituir un peligro de incendio. Su utilización precisa extrema precaución.

Fig. 2.26 Clasificación de los láseres según los riesgos que conlleva

Es obligatorio que cada fuente de luz lleve un etiquetado con el símbolo de peligro por radiación laser y otro en forma rectangular donde se explica cuál es el riesgo al que se expone y como evitarlo.



Fig. 2.27 Ejemplos de etiquetado

2.5.2.2 Longitud de Onda

La fibra óptica trabaja en el infrarrojo, una longitud de onda que no es visible por el ojo humano pero puede producir ceguera.

En el caso que el haz de luz entre en nuestro ojo se puede dañar el cristalino o la córnea y no se verá afectada la retina. Esto es debido al líquido intraocular o humor acuoso que hay en el ojo absorbe la mayoría de luz infrarroja evitando que el haz penetre en la retina (**Fig. 2.28**). Cabe destacar que esto únicamente se puede aplicar en fuentes de luz relacionadas con sistemas de fibra óptica.

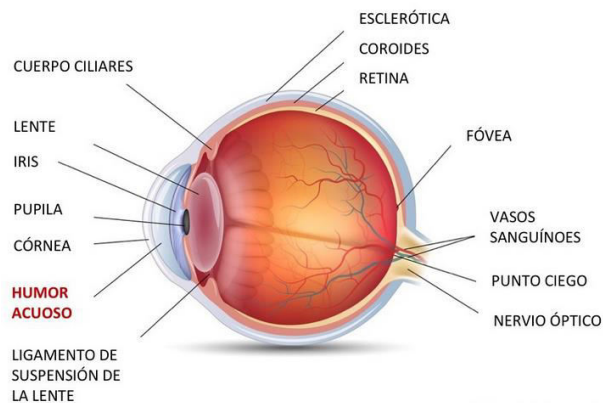


Fig. 2.28 Partes del ojo humano

El modo de propagación que sigue la luz dentro de la fibra es un mecanismo que ayuda a evitar posibles lesiones oculares.

La luz que sale de una fibra óptica se expande en forma de cono con un cierto ángulo que depende del valor de la apertura numérica¹⁴. Debido a este parámetro la luz no puede ser enfocada directamente en la retina.

¹⁴

Numero adimensional que caracteriza el rango de angulos para los cuales el sistema acepta luz. Cuanto mayor es la magnitud de la apertura numérica de una fibra, mayor es la cantidad de luz que puede guiar.

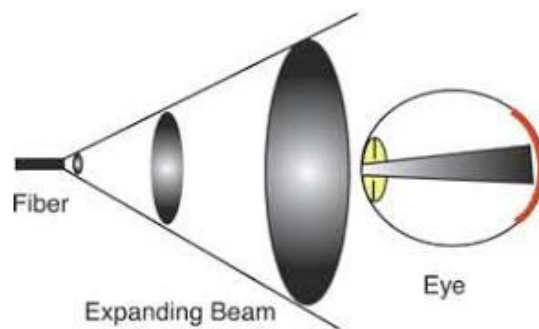


Fig. 2.29 Expansión del haz de la luz

2.5.3 Uso de disolventes para la limpieza

En el mantenimiento y limpieza de las fibras ópticas se suele utilizar productos que pueden irritar los ojos y la piel (**Fig. 2.30**).

Uno de los más comunes es el alcohol isopropílico (isopropanol). Este alcohol es incoloro, inflamable y con un olor intenso. Se utiliza en concentraciones elevadas del 70%-100%. En caso de inhalación prolongada puede producir náuseas o cefalea. Por este motivo es aconsejable el uso de mascarilla, guantes y gafas.



Fig. 2.30 Imagen alcohol isopropílico

2.5.4 Fragmentos procedentes de la fibra

En la fabricación y en la instalación de la fibra óptica se pueden desprender algún fragmento de dimensiones reducidas. Debido a su tamaño es habitual que los instaladores de fibra óptica y personal de la fábrica pueden inhalar algún fragmento. Este puede quedar depositado en la boca o en la nariz y en el peor de los casos puede llegar a los alveolos, siendo una causa para la disminución de la capacidad pulmonar. El polvo producido por la fibra de sílice es un problema ya que puede generar silicosis.

Estos fragmentos también se pueden quedar enganchados en la piel produciendo dermatitis en los trabajadores. Para evitar estos problemas es obligatorio utilizar mascarilla y guantes. También se aconseja limpiar la zona de trabajo antes y después de trabajar, de esta manera evitaremos esparcir los posibles fragmentos.

2.5.5 Propagación del fuego

Uno de los problemas que tiene los cables de fibra óptica es su propagación del fuego. Dentro de una fibra existen varios tipos de materiales que son inflamables, desde la cubierta de plástico hasta los geles que hay en su interior. Hace unos años se utilizaba materiales halógenos (*Flúor, Cloro, Bromo, Yodo y Astató*) en las cubiertas de los cables de fibra óptica. El principal problema de estos era su alta capacidad para ser inflamables. Por este motivo en 2003 se impuso la norma IEC 60754 en la cual se prohibía el uso de estos materiales en cualquier tipo de cable. En la actualidad los cables han de seguir la norma IEC 60331-25. En esta se establecen cuáles son los requisitos mínimos para considerarse resistente al fuego. Los requisitos más destacados son:

- Resistencia a la llama: Los cables han de seguir su funcionamiento normal durante y después de un fuego prolongado.
- No propagación del incendio: Se garantiza que el cable en caso de estar en llamas no propagará el incendio a otras zonas.

Otro problema relacionado con el fuego es la toxicidad de los gases generados. Para ello también existe una norma UNE 50267 donde se especifica que los humos procedentes de la quema de cables generarán bajos niveles de CO y de CIH.

La densidad del humo y la transparencia también son un factor importante. Los antiguos cables con halógenos tenían un valor de transmitancia¹⁵ cercano al 0 pasados 5 minutos. En cambio los cables sin halógenos llegan a un nivel de transmitancia del 85% para tiempos superiores a los 35 minutos. Podemos observarlo más detalladamente en (**Fig. 2.31**).

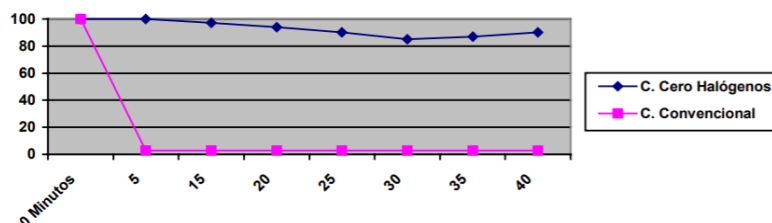


Fig. 2.31 Imagen de la transmitancia en los cables con y sin halógenos

¹⁵ Magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en la unidad de tiempo.

CAPÍTULO 3. EL FUTURO: FIBRA ÓPTICA PLÁSTICA

3.1. Motivación

Para realizar este apartado se ha consultado [24].

En los últimos años varias empresas coreanas y japonesas han realizado diversos estudios para conseguir una fibra similar a la de silicio en cuanto a prestaciones pero de coste reducido. Estas empresas observaron que el plástico era una opción adecuada ya que tenía propiedades similares al vidrio y su coste era menor. La fibra óptica plástica ofrece una serie de características únicas, entre ellas destaca su inmunidad a las interferencias, soporta temperaturas hasta los 75 °C y ofrece una gran capacidad de flexión.

Las fibras plásticas están orientadas para distancias cortas con velocidades de transmisión bajas, aunque existe una configuración que permite velocidades de 1Gbps.

3.2. Materiales de partida

Para realizar este apartado se ha consultado [25] y [26].

La fibra óptica plástica (*plastic optical fiber, POF*) se fabrica con diferentes tipos de polímeros, entre ellos están el polimetil metacrilato (PMMA) y el polímero fluorado (PF).

A continuación se explicarán cuáles son las propiedades físicas de cada uno de los materiales.

- El PMMA (*Polymethyl methacrylate*), también llamado polimetil metacrilato, se fabrica a partir de etileno, ácido cianhídrico y alcohol metílico. Entre sus características más importantes podemos destacar su resistencia frente a los arañazos y su resistencia a la tracción, con valores de 7-8 kN/cm². Tiene una temperatura de fusión de 95°C, valor que facilita su proceso de fabricación. Su índice de refracción es de 1,492.
El principal problema de este material es su capacidad para absorber la humedad del ambiente, algo que afecta negativamente a la atenuación. Las fibras resultantes con este tipo de material suelen tener atenuaciones superiores a los 100dB/Km.
- El PF (Fluorinated Polymers), también llamado polímero fluorado o CYTOP, fue fabricado por una empresa japonesa en 1990. Entre sus características más importantes podemos destacar su resistencia frente a ácidos y una gran dureza. Tiene una temperatura de fusión de 108°C. Ofrece una transparencia del 95%. Introduce una baja dispersión cromática. Su índice de refracción es de 1,423.

Las fibras resultantes tienen valores de atenuación inferiores a los 40dB/Km, debido a esto se suelen utilizar en distancias largas superiores a los 100m.

3.3. Tipos de fibra

En este apartado explicaremos cuales son los diferentes tipos de fibra óptica plástica y cuáles son sus características más relevantes. Estos tipos están definidos en IEC 60793-2-20 en las clases A4a hasta A4h.

3.3.1. Fibra SI-POF

Para realizar este apartado se ha consultado [27],[28] y [29].

Las fibras ópticas SI-POF tienen el núcleo fabricado en PMMA y el revestimiento fabricado en PF, materiales explicados en el apartado anterior. Este tipo de fibra sigue un perfil de índice escalonado, en la **Fig. 3.1** podemos ver su funcionamiento.

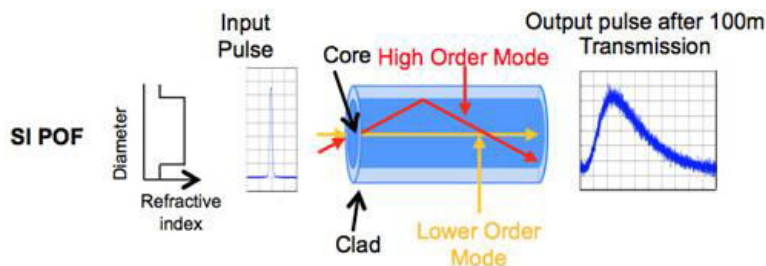


Fig. 3.1 Modo de propagación de la SI-POF

A continuación explicaremos cuales son las características más importantes de este tipo de fibra.

- El diámetro del núcleo y revestimiento es de 980 y 1000 μm respectivamente. Tiene una apertura numérica de 0,5, valor muy superior a las fibras de silicio. Este valor de la apertura numérica implica una serie de problemas, entre los cuales está la dispersión modal. Esta dispersión modal provoca que las fibras resultantes no puedan llegar a distancias superiores a 100m ni superar los 40MHz de ancho de banda. La tasa de transmisión también es afectada de igual manera, sin llegar a los 150Mbps.
- Una característica de las POF es su capacidad de flexión. La fibra de sílice permite valores ínfimos de radio de curvatura, algo que dificulta la instalación de los cables. En este aspecto la SI-POF permite un radio mínimo de curvatura de unos 2,5mm con pérdidas de 3.2dB.

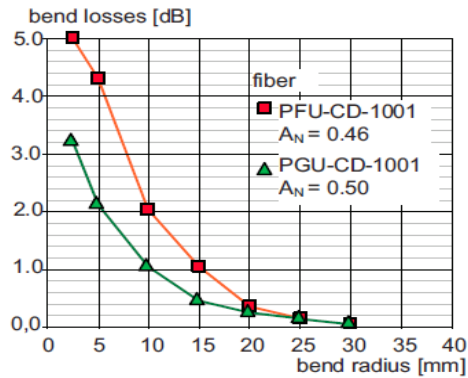


Fig. 3.2 Perdidas por flexión de la SI-POF

- La atenuación y la longitud de onda están relacionadas. Ambos parámetros dependen de las propiedades físicas del PMMA, material el cual está fabricado el núcleo. El PMMA tiene picos de atenuación situados en el espectro visible que permiten trabajar en tres ventanas de transmisión. Estas están situadas en 520nm(luz verde), 570nm (luz amarilla) y 650nm (luz roja). Podemos apreciar que tienen diferentes atenuaciones, aunque la mayoría son superiores a los 100dB/Km.

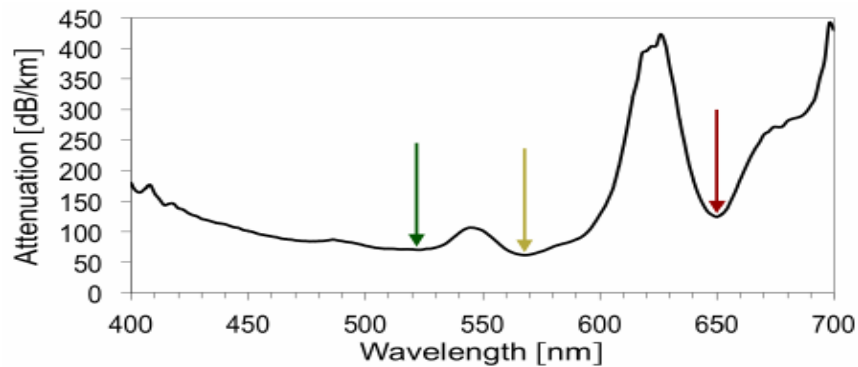


Fig. 3.3 Picos de atenuación del PMMA

- Las fuentes utilizadas en las fibras SI-POF son del tipo LED. Estas generalmente están fabricadas con GaAlAs y trabajan a 650nm (luz roja), una de las ventanas de transmisión del PMMA.

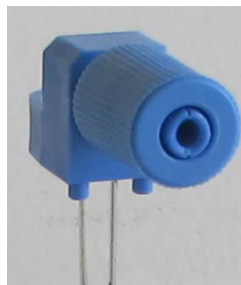


Fig. 3.4 Fuente de tipo LED

- Los cables pueden tener dos configuraciones, “simplex” o “complex”, dependiendo si queremos una transmisión *half-duplex* o *full-duplex*.

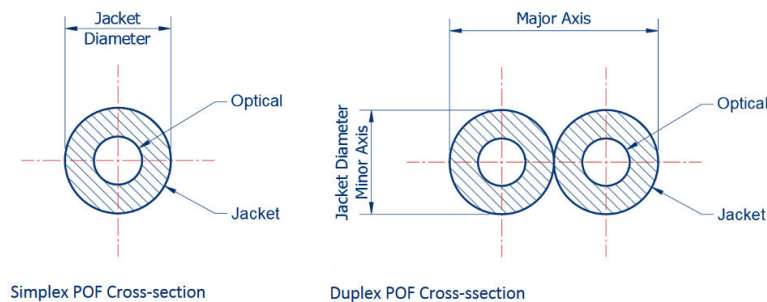


Fig. 3.5 Imagen con configuración simplex o dúplex

- La fabricación de la SI-POF tiene un proceso similar al método de los dos crisoles (explicado en el apartado 2.2.2). La única diferencia está en los materiales de origen, en este caso se utiliza PMMA y PF en vez de SiO_2 .
- Este tipo de fibra se lleva utilizando desde hace años en varios sectores, entre los cuales destacan el sector automovilístico, sector aeroespacial, sector TIC y el sector industrial.

3.3.2. Fibra GI-POF

Para realizar este apartado se ha consultado [30],[31],[32],[33].

Las fibras ópticas GI-POF tienen el núcleo y el revestimiento fabricado en PF. Este tipo de fibras siguen un perfil de índice gradual, en la siguiente imagen podemos ver su funcionamiento.

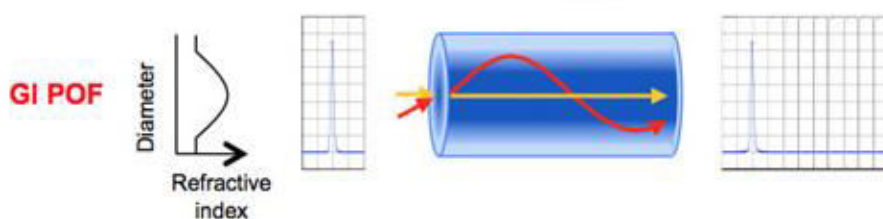


Fig. 3.6 Modo de propagación de la GI-POF

A continuación explicaremos cuales son las características más importantes de este tipo de fibra.

- El diámetro del núcleo y revestimiento es de $62.5 \mu\text{m}$ y $490 \mu\text{m}$ respectivamente. Tiene una apertura numérica que puede variar entre

los 0,19 y 0,29. Debido a este valor reducido las fibras GI-POF introducen poca dispersión modal. Esto afecta positivamente al ancho de banda y al alcance. Se han alcanzado longitudes superiores a los 100m con un ancho de banda de 50MHz y una tasa de transmisión de 1Gpbs.

- Introduce unas pérdidas por doblado de alrededor de 1db para radios de curvatura superiores a los 10mm con una apertura numérica de 0,21. En el caso de tener una apertura numérica superior a los 0,21 las pérdidas aumentan rápidamente, obteniendo 20db con un radio de 10mm.

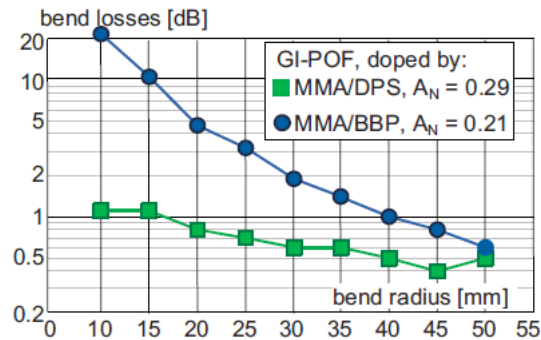


Fig. 3.7 Pérdidas por flexión de la GI-POF

- De la misma manera que en las SI-POF, la atenuación y la longitud vienen determinadas por las características físicas del material el cual está fabricada la fibra. El polímero fluorado (PF) tiene varios picos de atenuación situados entre el margen visible y el infrarrojo. Estos permiten trabajar en una ventana de transmisión comprendida entre 650nm y los 1300nm. Podemos apreciar que en este rango de longitudes de onda las pérdidas son inferiores a los 40dB/Km, ver **Fig. 3.8**.

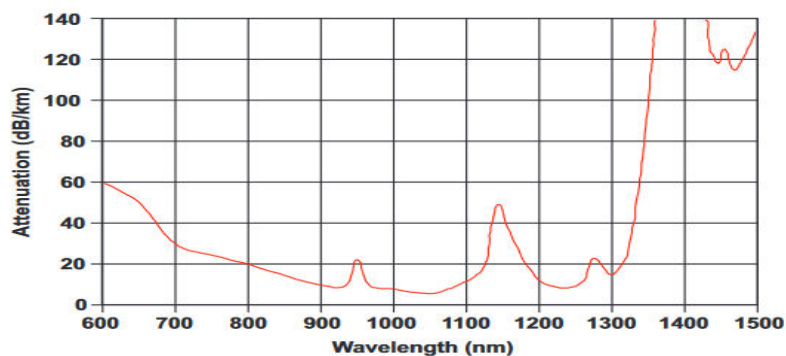


Fig. 3.8 Picos de atenuación debidas al PF

- Tener una gran ventana de transmisión permite una gran variedad de fuentes de emisión. Podemos escoger entre LED o VCSEL. En el caso

de dar prioridad a la tasa de transmisión la opción más recomendable es el VCSEL, en caso contrario elegiríamos el LED.

- Los cables pueden tener dos configuraciones, “simplex” o “complex”, igual que las fibras del tipo SI-POF.
- Las fibras del tipo GI-POF se fabrican con un método llamado extrusión (ver **Fig. 3.9**). Este método permite fabricar las fibras de manera continua, algo que reduce considerablemente la duración de todo el proceso. Otro aspecto a destacar es su abaratamiento de los costes ya que no necesita elementos especiales como hornos industriales o varillas de algún material específico.

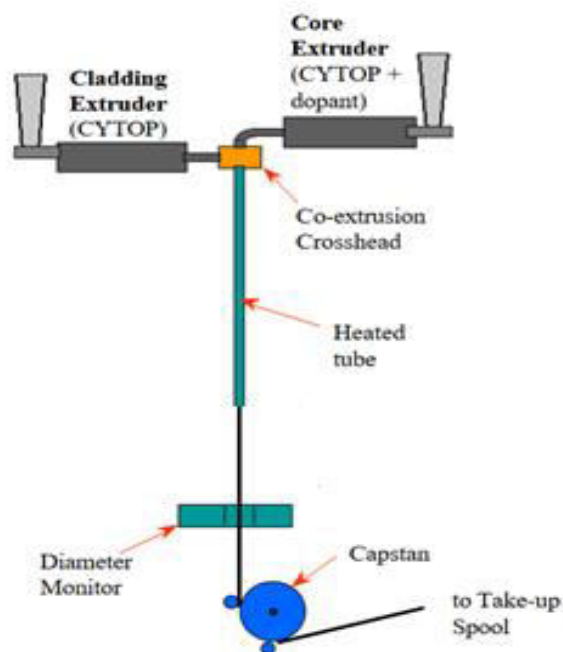


Fig. 3.9 Método de extrusión GI-POF

- Actualmente las fibras GI-POF están pensadas para usarse en el sector TIC. En 2017 la empresa española MOVISTAR aprobó el despliegue de este tipo de fibra en el último tramo de la red, de esta manera los usuarios finales podrán beneficiarse de sus propiedades.

3.4. Proceso de instalación

Para realizar este apartado se ha consultado [34] y [35].

El proceso de instalación de la POF no tiene una gran complejidad. Se utilizan herramientas que no necesitan una preparación previa como es el caso de la cortadora plástica o un pelacables.



Fig. 3.10 Imagen de una cortadora POF y un pelacables

Los instaladores de POF no hacen uso de máquinas especiales para insertar los conectores en la fibra ya que estos se pueden colocar de forma manual debido al gran tamaño del núcleo y revestimiento.

Los cables de POF son inmunes a las interferencias, esto permite que se puedan introducir por conductos dónde hayan cables eléctricos, facilitando el trabajo a los instaladores.

3.5. Vida útil y reciclaje

Para realizar este apartado se ha consultado [36].

La vida útil de la fibra óptica no está tabulada. De la misma manera que en las fibras ópticas de sílice existen diversos factores que acortan la vida útil, entre ellos está el aumento de atenuación, la disminución de la tracción y el aumento del PMD. La principal diferencia entre ambos tipos de fibra es la resistencia a los ácidos. En el caso de la fibra óptica plástica, esta es resistente a la gran mayoría de ácidos, algo que aumenta su vida útil en el caso de estar expuesta a estas sustancias.

De la misma manera que las fibras de sílice también han de cumplir con las directivas WEEE 2011/65/UE y la ROHS 2011/65/UE.

Respecto al reciclaje actualmente no existe ningún proceso similar al de L-FIRE. Algo que tiene un gran impacto ambiental ya que este tipo de fibras están construidas con polímeros, uno de los materiales más contaminantes y con proceso de descomposición más lento.

3.6. Seguridad y medidas de protección

Para realizar este apartado se ha consultado [37] y [38].

En este apartado explicaremos cuales son los problemas asociados al manejo de POF y que medidas de protección debemos tomar en cada situación.

Si trabajamos con POF se deben tomar una serie de precauciones y seguir las reglas de seguridad de la misma manera que en las fibras de sílice. El personal de trabajo ha de conocer los riesgos que conlleva y que medidas de seguridad se deben llevar a cabo.

Estos riesgos los podemos clasificar en los siguientes tipos: tensión producida por el cable, seguridad ocular, uso de disolventes para la limpieza, fragmentos procedentes de la fibra y la propagación del fuego.

- **Tensión producida por el cable**

En la actualidad se está empezando a utilizar las POF en el tramo final de las redes en forma de acometidas. En esta situación los cables sufren una tensión mínima algo que hace improbable algún daño por golpe.

- **Seguridad ocular**

Las fuentes utilizadas en este tipo de fibras son de baja potencia (LED o VCSEL). Esto permite una cierta seguridad a los operarios que trabajan con este tipo de cables ya que en caso de que la luz incida en sus ojos el grado de afectación será mucho menor. Para evitar este tipo de problemas es obligatorio el uso de gafas especiales de la misma manera que las fibras convencionales.

- **Uso de disolventes para la limpieza**

La limpieza y el mantenimiento de las POF se realizan sin necesidad de usar productos especiales. De esta manera evitaremos problemas de cefalea o náuseas por el uso de alcoholes.

- **Fragmentos procedentes de la fibra**

De la misma manera que en las fibras de sílice también se debe de tener precaución con los fragmentos generados. Los trabajadores del proceso de fabricación y los instaladores están expuestos de igual manera a los posibles problemas relacionados con los fragmentos. Estos problemas están relacionados con la piel y los pulmones. Para evitar posibles problemas es obligatorio el uso de guantes y mascarillas.

- **Propagación del fuego**

Uno de los problemas de la POF son los materiales que la forman. Como hemos comentado anteriormente pueden estar fabricadas con PMMA o PF, este último contiene flúor, elemento halógeno que es inflamable. Esto provoca que en caso de incendio la fibra sea un mecanismo de propagación del fuego. El principal problema de este tipo de fibras es la toxicidad que generan al ser quemados. Como hemos explicado anteriormente la POF puede estar fabricada de dos posibles polímeros el PMMA y el PF, ambos generan unos gases tóxicos que al ser inhalados pueden causar problemas en las vías respiratorias.

3.7. Cálculos

El objetivo de este apartado es justificar la correcta elección del tipo de fibra óptica. Para ello se realizarán varios enlaces con los diferentes tipos de POF y con la fibra multimodo de sílice. De esta manera podremos observar cuáles son sus diferencias en términos de potencia, atenuación y precio.

Nuestro enlace estará formado por una fuente de luz, dos conectores y un receptor. Las fuentes utilizadas serán del tipo LED y VCSEL. Los conectores utilizados serán de tipo SC para las POF y el ST para la multimodo. La distancia del enlace será de 100m debido a que la fibra tipo SI-POF está limitada a este valor. En la siguiente imagen podemos observar la configuración de este esquema.

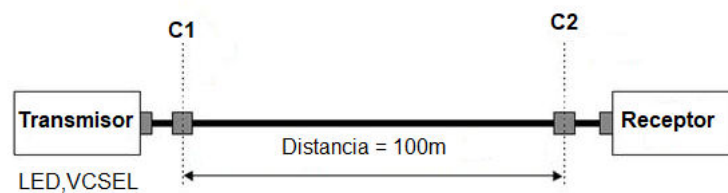


Fig. 3.11 Imagen Diseño del enlace óptico

Para calcular la potencia recibida en el receptor utilizaremos la siguiente expresión:

$$P_{rx} = P_{tx} - L_{CABLE} - L_{CONECTOR1} - L_{CONECTOR2} \quad (3.12)$$

En la **Fig. 3.12** podemos observar la potencia recibida [dBm], la potencia transmitida [dBm], las pérdidas por atenuación de cable [dB/m] y las pérdidas asociadas a los conectores en [dB].

El coste asociado a cada enlace se calculará mediante la siguiente expresión:

$$Coste\ final = Coste\ fuente\ emisora + Coste\ Cable + Coste\ conectores \quad (3.13)$$

3.7.1. Enlace SI-POF

Calculamos cual es la potencia recibida:

$$P_{rx} = P_{tx} - L_{CABLE} - L_{CONECTOR1} - L_{CONECTOR2}$$

$$P_{rx} = -7dBm, L_{CABLE} = 19dB, L_{CONECTOR1} = 1,5dB, L_{CONECTOR2} = 1,5 dB$$

$$Prx = -7dBm - 19dB - 1,5dB - 1,5dB = -29dBm$$

Calculamos el coste total asociado:

$$Coste\ final = Coste\ fuente\ emisora + Coste\ Cable + Coste\ conectores$$

$$Coste\ final = 3,57 + 55,8 + 9 = \mathbf{68,37€}$$

3.7.2. Enlace GI-POF

Calculamos cual es la potencia recibida:

$$Prx = Ptx - L_{CABLE} - L_{CONECTOR1} - L_{CONECTOR2}$$

$$Prx = 30,4dBm , L_{CABLE} = 6dB , L_{CONECTOR1} = 1,5dB , L_{CONECTOR2} = 1,5 dB$$

$$Prx = 30,4dBm - 6dB - 1,5dB - 1,5dB = \mathbf{21,4 dBm}$$

Calculamos el coste total asociado:

$$Coste\ final = Coste\ fuente\ emisora + Coste\ Cable + Coste\ conectores$$

$$Coste\ final = 10,14 + 150 + 9 = \mathbf{169,14€}$$

3.7.3. Enlace fibra multimodo

Calculamos cual es la potencia recibida:

$$Prx = Ptx - L_{CABLE} - L_{CONECTOR1} - L_{CONECTOR2}$$

$$Prx = 30,4dBm , L_{CABLE} = 0,3dB , L_{CONECTOR1} = 0,3dB , L_{CONECTOR2} = 0,3 dB$$

$$Prx = 30,4dBm - 0,3dB - 0,3dB - 0,3dB = \mathbf{29,5dBm}$$

Calculamos el coste total asociado:

$$Coste\ final = Coste\ fuente\ emisora + Coste\ Cable + Coste\ conectores$$

$$Coste\ final = 10,14 + 672 + 14,20 = \mathbf{696,34€}$$

4. CONCLUSIONES

Los datos ofrecidos en el capítulo 1 dejan claro que el cobre no es la opción más recomendable. Se necesita una tecnología con capacidad y ancho de banda elevados para soportar grandes volúmenes de datos. Hoy en día la única tecnología que cumple estos requisitos es la fibra óptica.

Invertir en banda ancha tiene efectos positivos en la economía de un país, entre ellos destaca el crecimiento del PIB. Además implica una mejora en la educación, la cultura, la sanidad y la inclusión social.

Como hemos podido observar el desarrollo de las redes con fibra óptica viene determinado por el número de empresas que hayan hecho el despliegue. Es muy importante tener iniciativa pero sin olvidarnos de la gran inversión que conlleva.

En este proyecto ha quedado clara la gran diferencia que hay entre las zonas rurales y los núcleos urbanos en términos de despliegue de la fibra óptica. La solución más adecuada para resolver este problema sería el uso del proyecto de FIBRAIGUA, de esta manera las zonas más inaccesibles tendrían cobertura.

La fibra óptica plástica es adecuada para el tramo final de las redes ópticas, pero aún no se puede incorporar en las redes troncales debido a que únicamente soporta velocidades de 1Gbps.

Según mi punto de vista el futuro de la fibra óptica está complicado. No creo que la POF sea una alternativa real para utilizarse a largo plazo. Hemos podido observar que introduce una significativa reducción del coste y una mejora en el proceso de instalación, pero también tiene varios inconvenientes como su alta atenuación. Esto provoca que la fuente emisora tenga que proporcionar más potencia para llegar a unos mínimos de potencia recibida.

Desde el punto de vista medio ambiental la POF introduce serios problemas ya que está fabricada básicamente por polímeros y no se pueden reciclar. Además tiene un impacto negativo en la salud ya que cuando se queman generan gases tóxicos.

5. REFERENCIAS

[1] Fuente: CISCO. Artículo: "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update,2016-2021". Consultado el 2/07/2018 en <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>

[2] Fuente: MINISTERIO DE ECONOMIA Y EMPRESA. Nombre: "Banda Ancha". Consultado el 2/07/2018 en <http://www.mincotur.gob.es/telecomunicaciones/banda-ancha/Paginas/Index.aspx>

[3] Fuente: MINISTERIO DE ECONOMIA Y EMPRESA. Nombre: "Acceso cableado: Fibra óptica hasta el hogar ". Consultado el 2/07/2018 en <http://www.mincotur.gob.es/telecomunicaciones/bandaancha/tecnologias/cableado/Paginas/fibra-optica.aspx>

[4] Fuente: GAPTEL. Nombre: "Banda Ancha". Consultado el 2/07/2018 en http://www.ontsi.red.es/ontsi/sites/ontsi/files/6_0_0.pdf

[5] Fuente: Ministerio de economía y empresa. Nombre: "Regulación a nivel mayorista". Consultado el 2/07/2018 en <http://www.mincotur.gob.es/telecomunicaciones/banda-ancha/regulacion/nivel-mayorista/Paginas/acceso-indirecto.aspx>

[6] Fuente: Ministerio de energía, turismo y agenda digital. Artículo: "Informe de la cobertura de banda ancha en España en el 2017". Consultado el 2/07/2018 en <http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/banda-ancha/cobertura/Documents/Cobertura-BA-2017.pdf>

[7] Fuente: El español. Artículo: "España lideró el crecimiento de fibra en Europa con 1,6 millones de nuevas altas". Consultado el 2/07/2018 en https://www.elespanol.com/economia/empresas/20180215/espana-lidero-crecimiento-europa-millones-nuevas-altas/284972803_0.html

[8] Fuente: Ericsson. Artículo: "Measuring the impact of broadband on income". Consultado el 2/07/2018 en <https://www.ericsson.com/res/docs/2013/micro-report-summary-4pp.pdf>

[9] Fuente: Ministerio de energía, turismo y agenda digital. Artículo: "Plan 300x100 para llevar la fibra a todos los núcleos de población en España". Consultado el 2/07/2018 en <http://www.mincotur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/2018/documents/180321%20np%20plan%20300x100.pdf>

[10] Fuente: Ancom. Artículo: "Servicios de comunicación en Rumanía". Consultado el 2/07/2018 en https://statistica.ancom.org.ro:8000/sscpds/public/files/141_en

[11] Fuente: ITU. Artículo: "Strategies for the promotion of broadband services and infrastructure: a case study on Romania". Consultado el 2/07/2018 en https://www.itu.int/ITU-D/treg/broadband/BB_MDG_Romania_BBCOM.pdf

[12] Fuente: Innometalia Artículo: "Nota sobre el sector de las TIC en Rumanía". Consultado el 2/07/2018 en <http://www.innometalia.es/webcms/usuario/documentos/tics%20rumania.pdf>

[13] Cornel Bărbuț. "Fiber Optic Networks in Romania -ready for Next Generation Network or Future Networks?". Fiber optic Association from Romania. Bucharest 2017

[14] John M.Senior. "Optical fiber communications",Cap. 4 en *Optical fibers and cables*,pp. 169-213, 2009.

[15] Fuente: Irflex. Nombre: "Chalcogenide class". Consultado el 2/07/2018 en <https://www.irflex.com/about/faqs/>

[16] Govind P.Agrawal. "Fiber-optic communication systems", Cap. 2.7 en *Fiber manufacturing*. 66-72, 2002.

[17] Fuente: IUMA. Artículo: "Técnicas de fabricación de las fibras". Consultado el 2/07/2018 en http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Com_Opt_I/download/Com_Opt_I/Temario/fabricacion.pdf

[18] Ariel L.López, Hugo Z.Farías. "Vida útil de fibras ópticas en cables". Departamento Universidad de Santiago de Chile,2008.

[19] Herwig K.,Robert M.,Jopson L. "Optical fiber telecommunications IV", Cap. 15 en *Polarization-mode dispersion*, pp 725-861, 2002.

[20] Fuente: Cordis. Artículo: "L-FIRE". Consultado el 2/07/2018 en https://cordis.europa.eu/result/rcn/89452_es.html

[21] Fuente: Fibraigua. Artículo: "Despliegue de redes de fibra óptica a partir de las redes de suministro de agua". Nombre: Joan Vilaseca i villa. Consultado el 2/07/2018 en <http://fibraigua.com/wp-content/uploads/2017/06/Ponencia-Jornadas-Tecnicas-AEAS-Tarragona-2017.pdf>

[22] Fuente: FOA. Nombre: "Seguridad". Consultado el 25/06/2018 en <http://www.thefoa.org/ESP/Instalacion.htm>

[23] Fuente: C3comunicaciones. Nombre: "La seguridad ante el fuego y los cables de fibra óptica". Consultado el 2/07/2018 en <https://www.c3comunicaciones.es/Documentacion/LA%20SEGURIDAD%20ANTE%20EL%20FUEGO.pdf>

- [24] Olaf Z., Peter E., Jürgen K., Werner D. "POF Handbook". Cap 1 Basics of POF, pp 1-7, 2008.
- [25] Olaf Z., Peter E., Jürgen K., Werner D. "POF Handbook". Cap 2.7.1 PMMA fibers, pp 155-160, 2008.
- [26] Olaf Z., Peter E., Jürgen K., Werner D. "POF Handbook". Cap 2.7.5 Fluorinated Polymers, pp 173-179, 2008.
- [27] Olaf Z., Peter E., Jürgen K., Werner D. "POF Handbook". Cap 2.2.1 Step index profile fibers, pp 92-94, 2008.
- [28] Olaf Z., Peter E., Jürgen K., Werner D. "POF Handbook". Cap 2.5.3 Bandwidth of SI-POF, pp 107-108, 2008.
- [29] Olaf Z., Peter E., Jürgen K., Werner D. "POF Handbook". Cap 2.6.1 Bending losses in SI-POF, pp 144-146, 2008.
- [30] Olaf Z., Peter E., Jürgen K., Werner D. "POF Handbook". Cap 2.2.6 GI-POF, pp 74-76, 2008.
- [31] Olaf Z., Peter E., Jürgen K., Werner D. "POF Handbook". Cap 2.8.3 Manufacturing GI-POF, pp 191-194, 2008.
- [32] Olaf Z., Peter E., Jürgen K., Werner D. "POF Handbook". Cap 2.5.3 Bandwidth of GI-POF, pp 120-122, 2008.
- [33] Olaf Z., Peter E., Jürgen K., Werner D. "POF Handbook". Cap 2.6.1 Bending losses in GI-POF, pp 144-146, 2008.
- [34] Fuente: KDPOF. Nombre: "POF Tecnología". Consultado el 2/07/2018 en <https://www.kdpof.com/>
- [35] Fuente: Siemens. Nombre: "Industrial-communications". Consultado el 25/06/2018 en <https://w3.siemens.com/mcms/industrial-communication/es/ie/sistema-de-cableado/cables-de-fibra-optica-pof-y-pcf/pages/cables-de-fibra-optica-pof-y-pcf.aspx>
- [36] Ana M., Jorge M., Camilo Q., Santiago F. "Estimation for plastic optical fiber in harsh acid environments".
- [37] Fuente: Pofito. Consultado el 2/07/2018 en <http://www.pofito.org/home/>
- [38] Williams S.J, Baker B.B, Lee K.P. "Formation of acute pulmonary toxicants following thermal degradation of perfluorinated polymers: Evidence for a critical atmospheric reaction". Cap 3. *Pulmonary toxicants*, pp 177-185, 1987.

6. ANEXO

6.1 Fichas técnicas

A continuación se detallaran cada uno de los componentes utilizados en los cálculos del capítulo 3.

6.1.1. Enlace SI-POF

- Cable fibra óptica plástica compatible con SI-POF

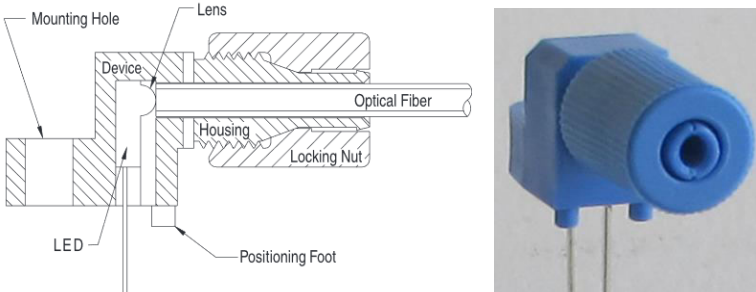
NOMBRE	F-FC-500-0SS
PROVEEDOR	Firecoms
PRECIO	55,8€
PROPIEDADES ÓPTICAS	
Atenuación a 650nm (dB/km)	190
Ancho de banda a 650nm (MHz*100m)	30
Apertura numérica	0,465
PROPIEDADES FÍSICAS	
Diámetro núcleo-revestimiento	1.0 ± 0.06
Material Núcleo	PMMA
Material Revestimiento	Fluoro Polymer
IMAGEN	
	

Enlace:

<https://store.fiberfin.com/index.php/products/fiber-and-cable/jacketed-pof/500m-reel-industrial-si-pof-simplex-cable-85-c-ul-vw-1-rated.html>

- Fuente de tipo LED para SI-POF


NOMBRE	IF E97
PROVEEDOR	I-fiberoptics
PRECIO	3,57€
CARACTERÍSTICAS	
Longitud de onda (nm)	650
Ancho de banda espectral (nm)	20

Potencia (dBm)	-7
Voltaje (V)	1,9
IMAGEN	
	

Enlace :

<http://www.i-fiberoptics.com/pdf/ife97.pdf>

- Conector SC compatible con SI-POF

NOMBRE	IF E97
PROVEEDOR	I-fiberoptics
PRECIO	9€ (50unidades)
CARACTERÍSTICAS	
Tipo de conector	FC
diámetro (mm)	2
Peso(g)	7
Perdidas (dB)	1,5
Rango temperaturas (° C)	-40 ~ 85
IMAGEN	
	


Enlace :

<http://www.i-fiberoptics.com/connector-detail.php?id=204&cat=&subcat=>

6.1.2. Enlace GI-POF

- Cable fibra óptica plástica compatible con GI-POF

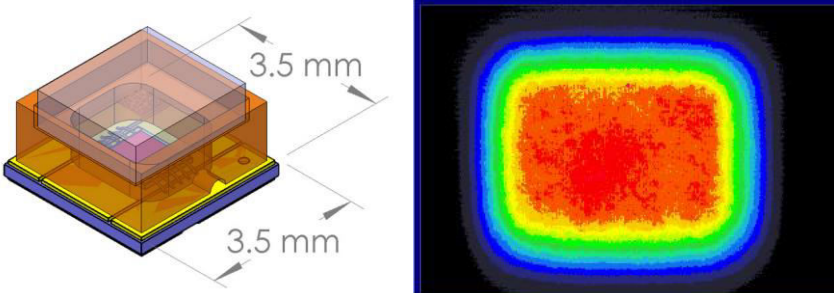
NOMBRE	GigaPOF-62SR
PROVEEDOR	Chromis Fiberoptics
PRECIO	150€
PROPIEDADES ÓPTICAS	
Atenuación a 850nm (dB/km)	60
Atenuación a 1300nm (dB/km)	60
Ancho de banda a 850nm (MHz*km)	300
Apertura numérica	0,185 ± 0,015

PROPIEDADES FÍSICAS	
Diámetro del Núcleo (μm)	62.5 ± 5
Diámetro del Revestimiento (μm)	490 ± 5
Material núcleo - revestimiento	Fluoro Polymer
IMAGEN	
	

Enlace :

<https://store.fiberfin.com/media/custom/upload/File-1403278487.pdf>

- Fuente de tipo VCSEL compatible con GI-POF


NOMBRE	PCW-SMV-1-W0850-1-D60-45
PROVEEDOR	Princeton Optronics
PRECIO	10,14€
CARACTERÍSTICAS	
Longitud de onda (nm)	850
Ancho de banda espectral (nm)	0,8
Potencia (dBm)	30,4
Voltaje (V)	2,1
IMAGEN	
	

Enlace :

<http://www.princetonoptronics.com/wp-content/uploads/PCW-SMV-1-W0850-1-D60-45-datasheet.pdf>

- Conector SC compatible con GI-POF

NOMBRE	IF E97
PROVEEDOR	I-fiberoptics
PRECIO	9€ (50unidades)


CARACTERÍSTICAS	
Tipo de conector	FC
Diámetro (mm)	2
Peso(g)	7
Perdidas (dB)	1,5
Rango temperaturas (° C)	-40 ~ 85
IMAGEN	
	

Enlace :

<http://www.i-fiberoptics.com/connector-detail.php?id=204&cat=&subcat=>

6.1.3. Enlace fibra multimodo

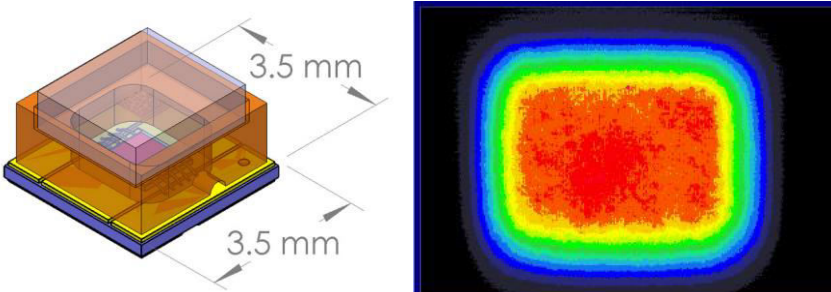
- Cable fibra óptica de sílice de tipo multimodo

NOMBRE	MM62
PROVEEDOR	Optral
PRECIO	672€
PROPIEDADES ÓPTICAS	
Atenuación a 850nm (dB/km)	3.0
Atenuación a 1300nm (dB/km)	0,7
Ancho de banda a 850nm (MHz*km)	200
Apertura numérica	0.275 ± 0.015
PROPIEDADES FÍSICAS	
Diámetro del Núcleo (µm)	62.5 ± 2,5
Diámetro del Revestimiento (µm)	125 ± 2
IMAGEN	
	

Enlace :

<http://www.optral.es/icalogofibras-opticas/multimodo-62-125/>


- Fuente de tipo VCSEL compatible con fibra multimodo

NOMBRE	PCW-SMV-1-W0850-1-D60-45
PROVEEDOR	Princeton Optronics
PRECIO	10,14€
CARACTERÍSTICAS	
Longitud de onda (nm)	850
Ancho de banda espectral (nm)	0,8
Potencia (dBm)	30,4
Voltaje (V)	2,1
IMAGEN	
 <p>El diagrama muestra un componente VCSEL cuadrado con dimensiones de 3.5 mm por 3.5 mm. A la derecha se muestra un patrón de emisión térmica que indica una distribución de intensidad cuadrada y homogénea.</p>	

Enlace :

<http://www.princetonoptronics.com/wp-content/uploads/PCW-SMV-1-W0850-1-D60-45-datasheet.pdf>

- Conector ST compatible con fibra multimodo de sílice

NOMBRE	ST Epoxy 0,9mm
PROVEEDOR	OPENETICS
PRECIO	14,20 (30unidades)
CARACTERÍSTICAS	
Tipo de conector	ST
Diámetro (mm)	0,9
Peso(g)	8
Perdidas (dB)	0,3
Rango temperaturas (° C)	-40 ~ 85
IMAGEN	
 <p>Se muestra un conector ST de fibra óptica con un cuerpo metálico plateado y un cable de fibra amarillo.</p>	

Enlace:

http://www.openetics.com/document/1/p978_openetics_ficha_conectores_fibra_optica_multimodo_5051.pdf