



**FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**TRABAJO FIN DE GRADO
TÍTULO: LA FIBRA DE VIDRIO Y SUS
APLICACIONES MÉDICAS**

Autor: Alba Serrano Casillas

Fecha: Junio 2019

Tutor: Maria Teresa Gutierrez Rios

ÍNDICE

1. RESUMEN:	2
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1 Historia.....	3
2.2 Composición y estructura química	4
2.3 Propiedades	5
2.4 Tipos de fibras y aplicaciones.....	5
2.5 Procesos de fabricación	7
2.6 Formas comerciales de fibras de vidrio	9
3. OBJETIVOS	10
4. MATERIALES Y MÉTODOS	10
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
5.1 APLICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN IMAGEN MÉDICA: TOMOGRAFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA Y ESPECTROSCOPIA.....	11
5.2 APLICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN EL LÁSER.....	13
5.3 LA APLICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA COMO BIOSENSOR.....	14
5.4 APLICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA: EL FIBROSCOPIO	16
5.5 APLICACIONES RECIENTEMENTE DESCUBIERTAS DE LA FIBRA ÓPTICA.....	17
6. CONCLUSIONES	18
7. BIBLIOGRAFÍA	18

1. RESUMEN:

Hoy en día, el gran avance tecnológico supone un impulso en la innovación de las técnicas médicas. La evolución de dichas técnicas repercute de forma significativa en la mejora de la calidad de vida de los pacientes y en la mejora de las terapias.

Por ello, esta revisión bibliográfica se centra en las nuevas aplicaciones que tiene la fibra de vidrio, evolucionada a fibra óptica, en el ámbito biomédico.

Las fibras ópticas, formadas por fibras flexibles ultrafinas de sílice combinado con óxidos, están revolucionando las técnicas de diagnóstico, terapia y obtención de imágenes de partes del cuerpo humano que antes eran impensables de observar o que tenían una baja calidad. Como resultado de ello, las técnicas endoscópicas clásicas están siendo sustituidas por los nuevos fibroscopios. Es más, cada día se están incorporando nuevas investigaciones sobre posibles usos en la medicina, lo que hace que su campo de aplicación no deje de expandirse.

Las **palabras clave** empleadas en su búsqueda han sido: fibra vidrio, fiberglass, fibra óptica, optic-fiber, estructura química, propiedades, fabricación, aplicaciones, tomography, sensors, endoscope, uses biomedical field...

ABSTRACT:

Nowadays, the technological advance supposes a boost in the innovation of medical techniques. The evolution of these techniques has a significant impact on the improvement of patients' quality of life and the improvement of therapies.

Therefore, this bibliographical review focuses on the new applications that fiberglass has, evolved to optical fiber, in the biomedical field.

The optical fibers, which are formed by ultrafine flexible fibers of silica combined with oxides, are revolutionizing the diagnostic techniques, the therapy and the obtaining of images of the parts of the human body that previously were unthinkable to observe or that have a low quality. As a result of this, endoscopic techniques are being replaced by the new fibroscopes. Moreover, every day new research on uses in medicine is being incorporated, which means that its field of application does not stop expanding.

Keywords: glass fiber, fiberglass, fiber optics, optic-fiber, chemical structure, properties, manufacturing, applications, tomography, sensors, endoscope, uses biomedical field ...

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Historia

El origen del vidrio se remonta a hace más de cinco mil años, cuando los egipcios de forma accidental se dieron cuenta que cuando calentaban comida sobre unas piedras se formaban unos pequeños filamentos de vidrio, formados por la fusión de la arena con el fuego. Así, distintos objetos hallados testimonian, que ya 3800 años a. C. los egipcios sabían manipular el vidrio ^[1]. Pero es a partir de los años 1500-1200 a. C. cuando los egipcios logran desarrollar los primeros métodos propios para manufacturar el vidrio en cierta escala; pudiéndose observar, en el Museo de Londres, algunos adornos confeccionados en Egipto con fibras de vidrio ya que lo utilizaban para ^[2] armar vasos y ánforas en las tumbas de los faraones.

Se estima que los primeros estudios específicos sobre la fibra de vidrio son del siglo XVIII. Durante la Revolución Industrial, la fibra de vidrio comienza a masificarse, con finalidades exclusivamente estilísticas ^[3].

En 1713 se tiene la primera referencia precisa de la fibra de vidrio, cuando Antoine de Réaumur muestra algunos tejidos de vidrio en la Academia de las Ciencias de París. Venise hizo ensayos para perfeccionar los métodos de estirado, pero las fibras que se obtenían eran de alto precio, quebradizas y sin flexibilidad.

Es en 1931 cuando empiezan a producirse a escala industrial las primeras fibras de vidrio de pequeño diámetro aptas para ser tejidas, como resultado de las investigaciones llevadas a cabo en Norteamérica, Italia, Francia, Alemania, Inglaterra... En 1936 la empresa norteamericana Owens Corning Fiberglas Corporation inventa el producto, aunque su presentación definitiva tardará dos años, cuando en 1938 el ingeniero norteamericano Rusell Games Slayter presenta la lana de vidrio para material aislante en construcción de edificios, bajo el nombre de Fiberglas ^[3].

Fue al terminar la Segunda Guerra Mundial cuando la fibra de vidrio se extendió por las principales naciones europeas como Francia, España, Italia... por la reducción de los costes de la materia prima y los nuevos procesos de fabricación.

2.2 Composición y estructura química

La fibra de vidrio está compuesta por sílice combinado con óxidos (alúmina, alcalinos y alcalinotérreos) siendo su forma más pura el polímero $(\text{SiO}_2)_n$.

La elevada resistencia que poseen las fibras de vidrio se debe a los enlaces covalentes entre el silicio y los radicales de oxígeno, que forman una red tridimensional con estructura amorfa ^[4].

No tiene un punto de fusión exacto, pero a los 2000°C se empieza a degradar. Por eso, si es extruido y se enfría rápidamente, será incapaz de formar una estructura ordenada, ya que se forman grupos SiO_4 que se configuran como un tetraedro con el átomo de silicio en el centro, y los cuatro átomos de oxígeno en las esquinas ^{[5][6]}.

Los estados vítreo (figura 1) y cristalino de la sílice (figura 2) (vidrio y cuarzo) tienen niveles similares de energía sobre una base molecular, que también implica que la forma cristalina sea extremadamente estable. Con el fin de inducir la cristalización, debe ser calentado a temperaturas superiores a 1200°C durante largos periodos de tiempo.

A pesar de que la sílice pura es un vidrio perfectamente viable para la fibra de vidrio, esta debe ser trabajada a temperaturas muy altas y combinada con otros óxidos los cuales bajen su punto de fusión, ya que al ser enfriado rápidamente la sílice no va a formar una estructura ordenada sino que se presentará en un estado amorfo

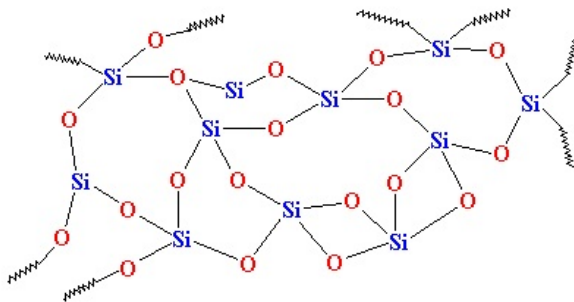


Figura 1. SiO_2 en estado amorfo, formando el vidrio ^[7]

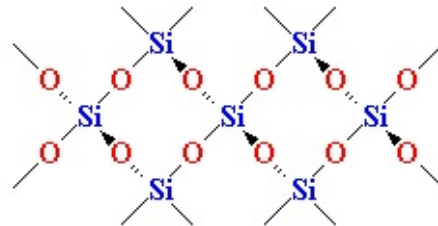


Figura 1 SiO_2 en forma cristalina, formando el cuarzo ^[7]

2.3 Propiedades

Entre las principales características de las fibras de vidrio podemos destacar:

- a) Excelente resistencia mecánica específica (resistencia a la tracción/densidad), siendo su resistencia específica superior a la del acero.
- b) Alta adherencia fibra-matriz, gracias a recubrimientos apropiados para la mayoría de las matrices orgánicas.
- c) Es poco sensible a las variaciones de temperatura y humedad. Esta propiedad de aislante térmico se debe a su alta proporción de superficie respecto al peso [8]. Sin embargo, debe evitarse la humedad antes de la laminación porque perjudica la unión con la resina.
- d) Resistencia al ataque de agentes químicos.
- e) Buenas propiedades como aislante eléctrico en espesores reducidos. Tiene buena permeabilidad dieléctrica. Permeable a las ondas electromagnéticas.
- f) Compatibilidad con las materias orgánicas. Su aptitud de recibir diferentes ensimajes creando un puente de unión entre el vidrio y la matriz le confieren la posibilidad de asociarse a numerosas resinas sintéticas, así como a ciertas matrices minerales, tales como el yeso o el cemento.
- g) Débil conductividad térmica, lo cual permite ahorrar puentes permitiendo un ahorro de calefacción.
- h) Propiedades isotrópicas, es decir, son las mismas a lo largo y ancho de la fibra [8].
- i) Incombustibilidad, no propaga llama ni origina con el calor humos ni toxicidad.
- j) Imputrescibilidad, es insensible a la acción de los roedores y de los insectos.

En la tabla 1 se muestran los valores teóricos de las propiedades mecánicas de las fibras más usuales, pero estas pueden verse disminuidas por los procesos de transformación [9]

Tipo	Vidrio E	Vidrio R/S	Vidrio C
Resistencia a la tracción (GPa)	3,4 – 3,5	3,4 – 4,6	3,1
Módulo elástico (GPa)	72 -73	85 - 87	71
Densidad (Kg/m ³)	2600	2500 - 2530	2450
Alargamiento a la rotura (%)	3,3 – 4,8	4,2 – 5,4	3,5
Resistencia específica (GPa * cm ³ /g)	1,3 – 1,35	1,7 – 1,85	1,3
Módulo E específico (GPa * cm ³ /g)	27,7 – 28,2	34 – 34,9	29
Chef. Transmisión térmica (10 ⁻⁶ /°K)	5	4 – 5,1	7,2
Diámetro del filamento (µm)	8 -20	10	20

Tabla 1. Principales propiedades de la fibra de vidrio

2.4 Tipos de fibras y aplicaciones

- **Vidrio E (eléctrico):** es el tipo de fibra más empleado, ya que tiene buenas propiedades eléctricas. Además de su alta resistividad eléctrica y buena resistencia mecánica, es el tipo de vidrio de más reducido coste. La primera gran aplicación industrial de fibra de vidrio E fue el aislamiento de conductores eléctricos sometidos a altas temperaturas.

Aplicaciones

- Construcción: tejidos para decoración en locales públicos, aislante.
 - Automoción: composites para componentes de vehículos.
 - Deporte: composites para utensilios o aparejos para la práctica de deportes, como esquís, canoas, pértigas...
 - Usos industriales: para todo tipo de composites para usos industriales, como piezas plásticas reforzadas con éste tipo de fibra, componentes para ordenadores, fibra óptica...
- **Vidrio A (alcalino):** posee buena resistencia al ataque de soluciones químicas y ácidas, producto de los elevados porcentajes de alcálisis que contiene. Sin embargo, esos elevados porcentajes repercuten negativamente en su resistencia al agua. Ha sido suplantado por el vidrio E porque es menos resistente y tiene un módulo más bajo.

Aplicaciones

Es ampliamente usado como impermeabilizantes en:

- Paneles de fachadas
 - Sustitución del amianto en tejados
 - Refuerzo en morteros a base de cemento
- **Vidrio R (resistente):** es el tipo de fibra de vidrio de mayor resistencia. La relación resistencia/peso es superior al vidrio E. Ofrece mayor resistencia a la tracción y a la fatiga. Su principal terreno de aplicación se encuentra en los campos militar y aeroespacial.

Aplicaciones

- Usos industriales: se utiliza como fibra de refuerzo en palas de helicópteros, componentes en aeronáutica, cisternas de cohetes, misiles, lanzamisiles...
- **Vidrio C (corrosivo):** alta resistencia a la corrosión química, por ello se suele aplicar para aquellos productos dónde se necesite dicha propiedad. Las propiedades mecánicas están entre el vidrio A y E y es más caro.

Aplicaciones:

- Sectores químicos: en tinas de baño, tanques de agua, tuberías
 - Sector alimenticio
 - Usos industriales: en torres de refrigeración, material para techos...
- **Vidrio D (dieléctrico):** gracias a sus altas propiedades dieléctricas, presentan muy débiles pérdidas eléctricas y de aquí su empleo como material permeable a las ondas electromagnéticas.

Aplicaciones:

- Construcción de materiales electrónicos de telecomunicación
- Fabricación de radares
- Fabricación de ventanas electromagnéticas
- Circuitos impresos de alta gama

- **Vidrio AR (álcali resistente):** posee un alto contenido en óxido de circonio, el cuál le confiere una buena resistencia a los álcalis. Esto le hace ser el único tipo de vidrio que puede combinarse con el hormigón o cemento, ya que cualquier otro sería atacado por los álcalis liberados en la hidratación de estos.

Aplicaciones:

- Usos industriales: se utiliza como fibra de refuerzo en morteros a base de cemento, sustitución de amianto en tejados, paneles de fachadas, piezas de recubrimiento, de decoración...

- **Vidrio B (Boro):** de excelentes propiedades eléctricas y gran durabilidad. Es borosilicato de calcio de bajo contenido en álcali.

- **Vidrio S:** más caro que el vidrio E pero tiene un módulo de Young¹ mayor y es más resistente a la temperatura.

Aplicaciones especiales: tales como la industria aeronáutica en la que un módulo de Yung superior puede justificar el coste adicional. [10] [11] [12]

2.5 Procesos de fabricación

Fusión

Hay dos métodos principales de fabricación de fibra de vidrio. A partir de un proceso de fusión directa (figura 3) o por un proceso de refundición (figura 4). Ambos comienzan con las materias primas en estado sólido. Los materiales se mezclan y se funden en un horno.

Para el proceso de refundición, el material fundido es cortado y enrollado en bolitas con un diametro aproximado de 20mm. Estas son enfriadas y se vuelven a introducir en un horno donde el material es refundido. El vidrio fundido se extruye a traves de un cabezal de boquillas, denominado *bushing*, que lo conforma en filamentos.

En el proceso de fusión directa, el vidrio fundido del horno va directamente a pasar por los agujeros de la superficie del *bushing*.

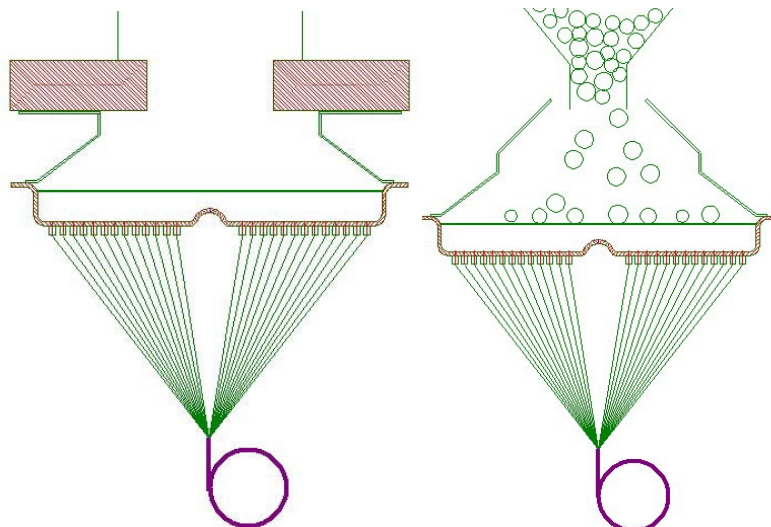


Figura 3. Proceso de fusión directa

Figura 4. Proceso de refundición

¹ Módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal: es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, en función de la dirección en la que se aplique la fuerza.

Conformación

La placa del bushing (figura 7) es la parte más importante de la maquinaria para la fabricación de la fibra. Esta placa caliente tiene unas boquillas a través de las cuales se formarán las fibras. El material de la placa suele ser una aleación platino-rodio porque además de que es más dura, el platino es un material caro y que se desgasta con facilidad.

Esta placa debe estar caliente porque actúa como distribuidora del calor para que el vidrio esté a la temperatura adecuada, se funda y se puedan formar las fibras.



Figura 7. Placa del bushing con boquillas

Ensimado

Los filamentos que se han formados son inutilizables tal y como están, ya que no tienen cohesión entre ellos y por tanto, no resisten a la abrasión, al agua... Para evitar esto, se recubren los filamentos con una fina película denominada *ensimaje* a una temperatura de 80-120°C. Esta fina película es una disolución acuosa compuesta por varios agentes químicos los cuales determinarán la función posterior de la fibra.

Los principales tipos de ensimajes se clasifican en tres categorías:

- Ensimajes textiles: aportan las características necesarias para soportar las operaciones textiles como la resistencia a abrasión, deslizamiento...
- Ensimajes plásticos: aportan las características necesarias para su transformación mediante los procesos de la industria de los materiales compuestos. Además, el ensimaje les hace ser compatibles con las resinas.
- Ensimajes textil-plásticos: aportan soluciones intermedias entre los dos anteriores.

Proceso de filamento continuo

En el proceso de filamento continuo (figura 8), después de que la fibra se extrae, se aplica un *apresto*. Este ayuda a proteger la fibra al enrollarse en una bobina. El apresto concreto aplicado es relativo al uso final que tenga la fibra.

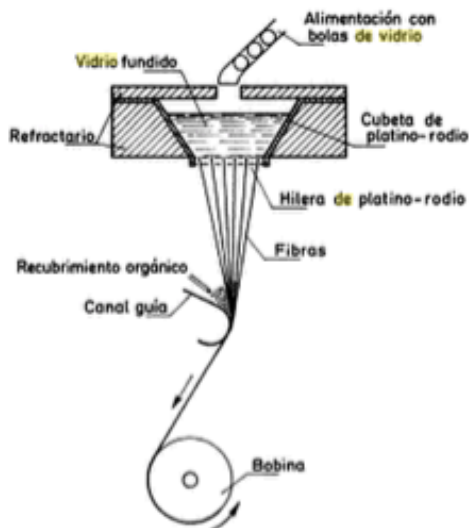


Figura 8. Proceso de filamento continuo

Proceso de fibras discontinuas

La fabricación de fibra de vidrio corriente se puede hacer mediante dos métodos: por soplado o que sean tratadas con calor o vapor después de salir de la máquina de formación (figura 9).

Sin embargo, el proceso más común es el rotativo en donde el vidrio se mete en un rotor, que por la fuerza centrífuga es lanzado horizontalmente y al mismo tiempo una corriente de aire lo empuja hacia abajo donde recibe el aglutinante. A continuación, la felpa de fibra de vidrio es conformada por vacío en un filtro y luego entra en un horno para el curado del aglutinante. ^{[13] [14] [15] [16]}



Figura 9. Proceso de filamento discontinuo

2.6 Formas comerciales de fibras de vidrio

Dependiendo de la pieza, como el método de conformación utilizado, existen diferentes formas de fibras de vidrio comercializadas.

- Hilo cortado (fibra larga): está formado por hilos continuos de vidrios cortados a longitudes específicas, los cuales están diseñados para usarse en compuestos moldeables de resinas poliéster y epoxi, así como para mezclarlo en seco en aplicaciones con resinas fenólicas. Tiene múltiples aplicaciones en la industria eléctrica, del transporte y en compuestos moldeables.
- Hilo cortado (fibra corta): está formado por hilos continuos cortados a longitudes específicas, se usa como refuerzo de termoplásticos.

- MAT de hilos cortados: se componen de fibras de vidrio cortas unidas entre sí utilizando un aglutinante en emulsión o polvo de poliéster.
- MAT de filamento continuo: son fibras de vidrio continuos que forman una tela no tejida constituyendo un aglomerado compacto como felpa.
- Fibra molida: compuesta por filamentos de vidrio recubiertos con un apresto especial para hacerlos compatibles con resinas específicas y molidos para proporcionar una densidad específica a granel. Esta fibra es molida y se obtiene una longitud promedio, determinándose ésta por el tipo de hilo base y las condiciones del proceso. El producto está diseñado para usarse en una variedad de compuestos termoplásticos y termofijos.
- Roving: es una hebra de hilos continuos de filamentos con cierta torsión mecánica. Se utiliza para pultursión y boninado filamentario. EL roving sin torsión s eutiliza para el proceso de laminado por spray.
- Tejidos: estas telan están conformadas por rovings tejidos, son telas de alto rendimiento, se usa para producir telas de alta resistencia, para aplicaciones estructuralmente sólidas, tales como contenedores de transporte, armadura balística, alas de aeronaves y puertas.
- Velos: son finas telas de fibra de vidrio que presentan una superficie lisa y altamente uniforme. Se utilizan generalmente como capa superficial en laminados para ar un acabado suave a las piezas conformadas. ^[15] ^[17]

3. OBJETIVOS

Para la realización de este estudio sobre las diferentes aplicaciones de la fibra de vidrio en el campo biomédico y de la industria farmacéutica, se han fijado los siguientes objetivos:

1. Conocer la estructura química, sus propiedades, los diferentes tipos de fibras, los procesos de fabricación y sus formas comerciales.
2. Estudio de los diferentes usos de la fibra óptica en el campo médico de la imagen, iluminación, endoscopios y biosensores.
3. Conocer nuevas aplicaciones de la fibra óptica recientemente descubiertas.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de revistas, artículos y libros científicos; tesis doctorales y páginas webs especializadas, utilizando buscadores como Google Académico y bases de datos como Scielo, ScienceDiret y Pubmed.

Además también se ha recogido información de libros y artículos de bibliotecas de diferentes universidades como Universidad Complutense de Madrid, Universidad Politénica de Madrid y de Valencia.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 APLICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN IMAGEN MÉDICA: TOMOGRAFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA Y ESPECTROSCOPIA

La **tomografía de coherencia óptica**, conocida como OCT (optical coherence tomography), es una nueva tecnología de imagen. Es capaz de obtener imágenes de sección transversal de alta resolución a través de muestras no homogéneas, como los tejidos biológicos.

Los resultados son imágenes en dos y tres dimensiones del tejido, a una resolución de imagen próxima al nivel celular, a una profundidad muy parecida de la biopsia convencional.

La OCT se basa en la interferencia entre un campo óptico de banda ancha dividido y luego re-combinado. Como se puede ver en la figura 10, el campo dividido viaja por una ruta de referencia y se refleja en un espejo de referencia. También viaja por en una ruta de muestra donde se refleja por múltiples capas dentro de una muestra. Debido a la naturaleza de banda ancha de la luz, la interferencia entre los campos ópticos solo se observa cuando las longitudes de la trayectoria óptica de referencia y del brazo de muestra coinciden con la longitud de coherencia de la luz. Por lo tanto, la resolución en profundidad (axial) de un sistema de OCT está determinada por la coherencia temporal de la fuente de luz^[18].

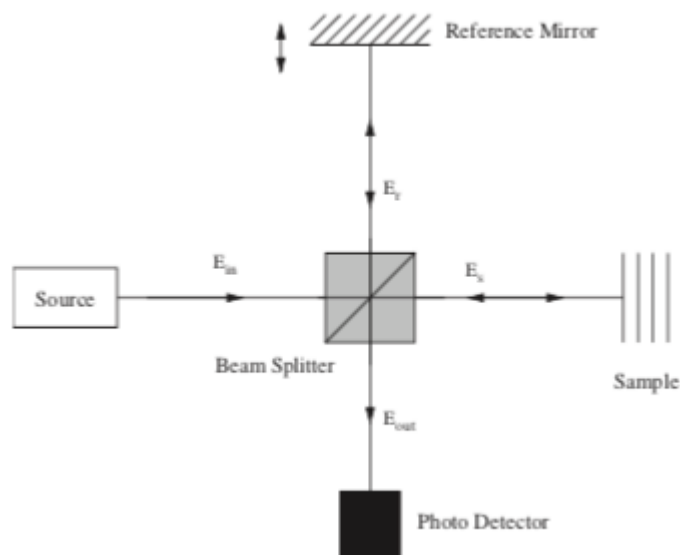


Figura 10. Sistema básico de OCT, basado en el interferómetro de Michelson.

Se aplicó por primera vez en oftalmología, para la imagen de estructuras transparentes, como la retina y el ojo anterior, siendo capaz detectar cambios sutiles en el ojo causados durante las primeras etapas de la enfermedad ocular, como el glaucoma. Pero los avances en la técnica de OCT han permitido la obtención de imágenes de tejidos no transparentes como el tracto gastrointestinal, la piel y el sistema nervioso.

Su capacidad para obtener a altas resoluciones una imagen del tejido, la convierte en una de las tecnologías más aptas para la evaluación invasiva mínima del tracto gastrointestinal.

Por otra parte, la OCT ha permitido avances de caracterización óptica de tejidos tumorales. Así, estudios sobre el cáncer de mama han revelado que las células tumorales absorben y dispersan la luz del infrarrojo más que el tejido sano circundante, sin embargo, esto no es suficiente para diferenciar células cancerígenas. Pero el uso de longitudes de onda ópticas específicas para investigar la oxigenación de tumores sí ha dado buenos resultados.

La OCT ha permitido contrastar el epitelio escamoso estratificado del esófago en estado normal, con el esófago de Barrett con naturaleza desorganizada y no uniforme de las capas mucosas. Siendo esta displasia desapercibida con la endoscopia convencional y la ecografía.

Las *ventajas específicas* de la OCT en comparación con las técnicas ópticas alternativas son:

- Es una técnica no invasiva y sin contacto, ya que la imagen se puede obtener a través del aire sin contacto directo con el tejido y sin necesidad de contrastes.
- Alta profundidad y resolución transversal
- Se puede realizar in situ y a tiempo real junto con la endoscopia
- Al ser una fibra óptica puede utilizar pequeños accesorios endoscópicos que se adaptan a un endoscopio
- Es compacta y portátil, lo cual es importante para un dispositivo clínico viable. Además permite almacenar la imagen en alta resolución

La *principal desventaja* de la OCT en comparación con las modalidades de imagen alternativas en medicina es su limitada profundidad de penetración en medios de dispersión [18] [19] [20].

Para aumentar la funcionalidad de la OCT, y mejorar su sensibilidad y especificidad, la OCT se puede utilizar como una plataforma a la que se pueden agregar otras modalidades de imagen. Se han desarrollado ejemplos de tales sistemas híbridos. Por ejemplo, en un estudio, se combinó un sistema OCT endoscópico con un sistema de imagen de fluorescencia para demostrar la guía quirúrgica.

En otros estudios se ha incorporado microscopía de fluorescencia excitada por dos fotones y una microscopía de fluorescencia confocal en el sistema OCT. [18]

Otra de las aplicaciones de la fibra óptica en imagen es la **espectroscopia de fluorescencia**. Esta técnica se emplea cuando las aplicaciones de espectroscopía son incompatibles con la luz en espacio abierto ya que su detección remota es adecuada, porque no es destructiva, es portátil y adaptable para medir una variedad de muestras. Se han desarrollado muchas sondas de fibra óptica para su uso en diagnósticos biológicos de tejidos. Además, estas sondas de fibra óptica permiten mediciones repetidas de la muestra y así caracterizar una gran superficie de tejido con relativa rapidez.

El diseño de la sonda depende de la técnica óptica que se quiera emplear. Dos modalidades con diseños de sonda similares son las espectroscopias de fluorescencia y de reflectancia, porque ambas técnicas sondan cambios de amplio espectro en el rango de longitud de onda visible a UV.

Uno de los diseños de sonda más simples emplea una única fibra óptica orientada perpendicular a la superficie del tejido. Cuando la sonda entra en contacto con el tejido, los fotones de excitación crean una bola luminosa, con un diámetro de volumen excitado por fotones relacionado con el coeficiente de dispersión de la muestra que tiene un diámetro del orden de magnitud del diámetro de la sonda, dependiendo del coeficiente de dispersión. Las

aplicaciones comunes involucran muestras a granel en las que se detecta fluorescencia a partir de un gran volumen de muestra [21].

En la tomografía computarizada moderna, la transmisión de datos a alta velocidad se hace por medio de contactos rotativos con fibra óptica (Fiber Optic Rotary Joints, FORJ). Cuando se requiere transmitir una gran cantidad de datos se utiliza la tomografía computarizada ya que es una forma pasiva bidireccional para transmitir señales a través de una interface en rotación. La transmisión se efectúa entre dos fibras de vidrio las cuales, una de ellas o las dos, rotan sobre un mismo eje.

Esta transmisión se realiza por medio de luz modulada la cual se propaga a través del aire o de un fluido situado entre los terminales de la fibra. Así, no se produce contacto físico entre el medio transmisor y el receptor, por lo que el desgaste es cero. [22]

5.2 APLICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN EL LÁSER

Las fibras ópticas son un buen instrumento para facilitar el manejo del rayo láser y, siempre que sea posible, sustituyen lentes y espejos.

Un dispositivo muy interesante es el "bisturí de guía de onda dieléctrico de fotocoagulación con láser" (figura 11) el cual combina la eficiencia del rayo láser de argón con la eficiencia de corte de la cuchilla afilada en frío.

La cuchilla, hecha de sílice fundida, sirve para llevar a cabo la incisión y como conducto para transportar radiación láser desde una fibra óptica flexible hasta el borde afilado de la guía de onda cónica.

La luz desciende por la guía de ondas y se acopla al medio circundante por la zona cónica de la cuchilla, que es un borde afilado capaz de cortar los tejidos. A medida que la cuchilla realiza una incisión se proporciona una pequeña radiación láser para sellar los vasos sangrantes.

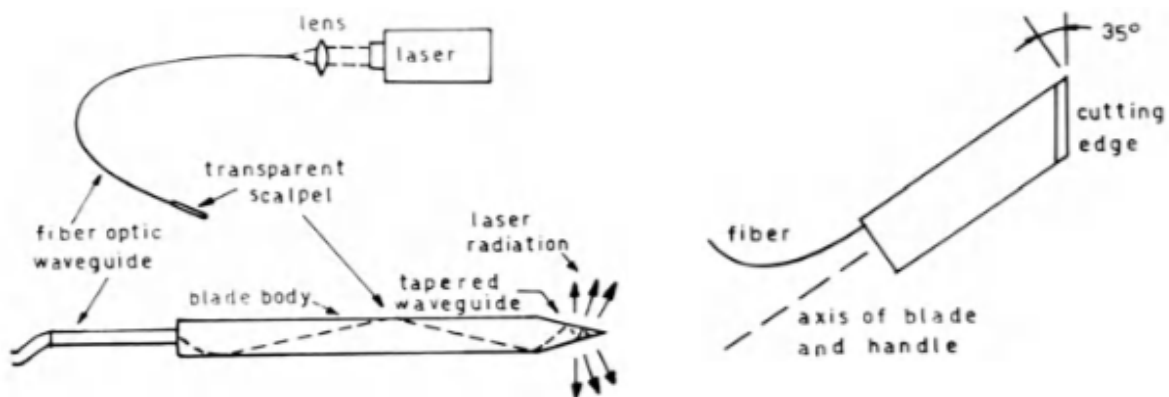


Figura 11. Esquema de la cuchilla láser fotocoagulante [23]

Las *fibras individuales* se utilizan generalmente para la fotocoagulación en la dermatología. Este tratamiento para un lesión que sea bastante grande, requiere mucho tiempo ya que se realiza punto por punto; además, se requiere que tanto paciente como cirujano estén preparados. Por ello, se ha desarrollado una nueva técnica de escáner óptico rápido que administra el rayo láser sobre un gran punto de la superficie de la piel.

Consiste en *múltiples fibras* cuyos extremos de entrada están alineados y escaneados a través del rayo láser (figura 12). Las salidas de los haces divergentes de los extremos de salida de las fibras irradian sucesivamente diferentes puntos de la lesión.

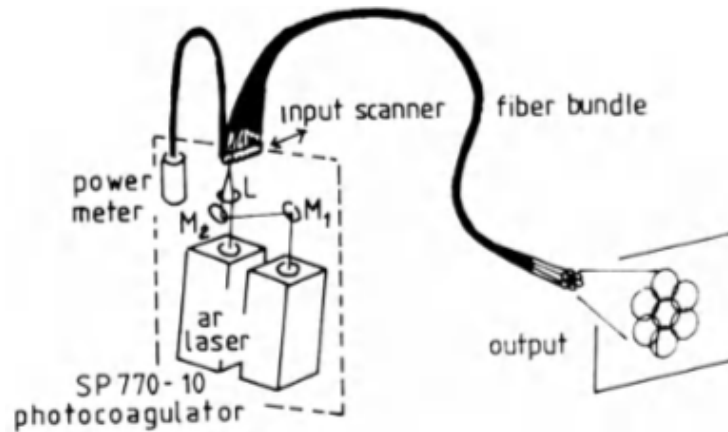


Figura 12. Escaner óptico con 12 fibras ópticas [23]

Otro instrumento similar al anterior es el que se utiliza en fotoquimioterapia. Este consiste en un fibra óptica incorporada a una aguja, la cual administra radiación láser a la masa tumoral

5.3 LA APLICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA COMO BIOSENSOR

Las fibras ópticas tienen un papel importante en el desarrollo de sensores químicos ópticos en medicina, bien por su alto grado de miniaturización, su versatilidad geométrica o bien por su extremada manejabilidad, las cuales permiten un rendimiento único en aplicaciones invasivas. Además, el hecho de que no haya contacto eléctrico las hacen útiles, no solo para aplicaciones invasivas, sino también en aplicaciones no invasiva con solo el elemento sensor cerca del paciente. Este hecho cobra gran importancia cuando se utiliza en pacientes críticos en unidades de cuidados intensivos o en el quirófano, donde el espacio disponible para los instrumentos es muy limitado.

Estos biosensores han evolucionado al mismo ritmo que la tecnología en fibras ópticas, que los láseres semiconductores a multiples longitudes de onda y la fabricación de onda integradas.

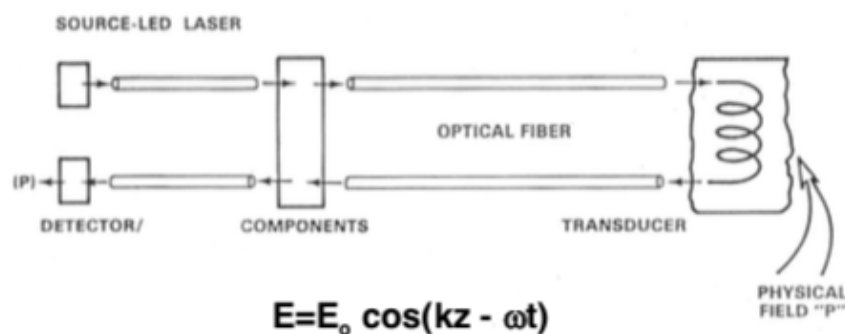


Figura 13. Esquema biobásico sensor de fibra óptica [24]

Como se puede ver en la Figura 13, el mecanismo básico de un sensor de fibra óptica está basado en la detección de uno o más cambios en las propiedades de luz como la intensidad, la frecuencia, la fase, la polarización... Las fibras ópticas envían luz desde una fuente de luz a un mecanismo de detección ubicado en el extremo de la fibra, que está acoplado al medio (por ejemplo, tejido). Aquí, la luz experimenta una modulación por el tejido y se devuelve a través de la misma o diferentes fibras a un dispositivo de medición de luz donde se puede detectar y analizar. La fuente de luz suele ser un láser (pulsado, modulado o en estado estable) o luz blanca que se utiliza para sondear o excitar el tejido. Como se ha dicho anteriormente, las características de la fuente de luz proporcionan una amplia gama de propiedades para la exploración óptica de tejidos, incluida la intensidad, la fase, el estado de polarización y el contenido de longitud de onda.

La detección de estas modulaciones del tejido se debe en la mayoría de los casos a cambios de presión en el organismo. Esta presión se debe a una superposición de fuerzas externas y movimientos internos generados por los músculos, como los latidos del corazón, o se debe a afecciones relacionadas con enfermedades o traumas, como la presión intracraneal.

A la hora de diseñar una herramienta de diagnóstico como son los biosensores, hay que tener en cuenta varios aspectos: (1) el tamaño del área activa y el cableado, ya que el sensor no puede ser una obstrucción para el órgano que se va a observar; (2) el esquema de detección, basado en sensores únicos, sensores múltiples en la misma fibra o sensores separados múltiples; (3) las características metrológicas, como la precisión, el tiempo de respuesta, repetibilidad e inmunidad al ambiente exterior; y (4) el empaquetamiento, ya sea en un catéter rígido o flexible.

Los sensores de fibra óptica se pueden dividir en dos categorías principales según el mecanismo de detección: directo e indirecto.

Los sensores directos (por ejemplo, sensores fotométricos) utilizan el propio tejido para modular la luz de iluminación, por lo que la luz recolectada es el resultado de la retrodispersión directamente del tejido interrogado o la fluorescencia del tejido inducida por una fuente óptica.

Los sensores indirectos emplean un intermediario en respuesta a la propiedad tisular de interés (por ejemplo, temperatura, presencia de enzimas). Los sensores indirectos pueden subdividirse en *intrínsecos*, que utilizan la propia fibra (núcleo y/o revestimiento) como elemento de detección, y *extrínsecos*, que incorporan un elemento de detección adicional en el extremo de la fibra (por ejemplo, transductor o sustrato).

A pesar del gran número de biosensores de fibra óptica desarrollados hasta la actualidad, al mercado llegan muy pocos de ellos. Esto se debe en primer lugar, a que su diseño y desarrollo requieren la participación de diferentes expertos como físicos, químicos, biólogos, bioquímicos, ingenieros; en segundo lugar, a que las fibras ópticas no se pueden producir en grandes cantidades, lo que supone un aumento del coste de producción; y en tercer lugar, estos biosensores de fibra óptica en medicina deben superar el cumplimiento de la Directiva Europea sobre Dispositivos Médicos y la FDA estadounidense.

Así, la biomedicina se convierte en el campo en el que la presencia de sensores químicos de fibra óptica es la más extendida, ya que en muchas ocasiones son la única opción para acceder al cuerpo humano y detectar compuestos biológicos, cuya vigilancia continua es considerada obligatoria por los médicos.

Ejemplo de ello es la creciente aplicación de los sensores de fibra óptica en la terapia IAB (globo intraaórtico) para la lectura de presión. Los sensores FPI tienen un tamaño muy pequeño, lo que permite un funcionamiento sin funda reduciendo el volumen de la luz interior y, por lo tanto, el tamaño total del cableado, consiguiendo así una mayor eficiencia y una menor impedancia al flujo sanguíneo. Además, las sondas FPI tienen una respuesta instantánea, que es crítica para la inflación sincronizada y la deflación del globo.

Otra aplicación que está emergiendo de forma muy rápida es el uso de sensores FPI en la medición de la reserva de flujo fraccional (FFR). La FFR es una técnica de medición dirigida a detectar, y posiblemente localizar, la presencia de una estenosis, es decir, un estrechamiento de un vaso sanguíneo, a menudo en la arteria coronaria

5.4 APLICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA: EL FIBROSCOPIO

El fibroscopio (fiberscope) surgió en los años 50, como resultado del gran progreso de la tecnología de fibra óptica. Este fue creado por Brian O'Brien de la American Optical Company y fue una de las primeras aplicaciones prácticas de la fibra de vidrio [28].

A diferencia del endoscopio rígido, un fibroscopio está constituido por un haz de fibras de vidrio que transmiten la luz a través de su longitud y en su interior dispone de otro haz de fibra óptica acoplado a una fuente de luz.

Como se muestra en la figura 14, el extremo distal de un fibroscopio, denominado *objetivo*, está constituido por dos sistemas de lentes, uno para el haz incoherente que recibe la luz que proviene del haz y la emite en forma de un cono de diámetro progresivo para iluminar la superficie homogéneamente, y otro para el coherente. Este último recibe la luz reflejada por el objeto y la integra en un cono convergente a la superficie distal del haz.

El extremo proximo del endoscopio, denominado *ocular*, está formado por un sistema de lentes que recibe la luz del haz coherente e integra una imagen dirigida hacia el observador.

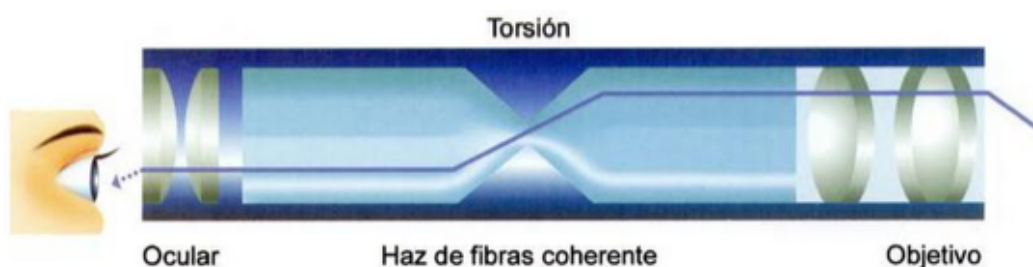


Figura 14. Sistema de transmisión de imagen de un fibroscopio [29]

El tamaño de la imagen va a depender de la distancia entre el objetivo, el objeto y el ángulo de visión. A esto se debe la dificultad de la endoscopia para apreciar la exactitud del tamaño de lo observado. Además, el número de píxeles de la calidad de las imágenes va a depender del diámetro de alcance. A mayor diámetro más píxeles tendrá la imagen [30].

En un principio, se comenzó a usar el fibroscopio para facilitar la intubación endotraqueal. Sin embargo, ha pasado de utilizarse en patologías de las vías aéreas, a otras situaciones clínicas. Así, los fibroscopios se han ido especializando en función a cuál vaya a ser su utilidad, ya que hay numerosas herramientas para acomodar para biopsias, aspiración de líquidos, para insuflación en órganos, inyección de líquidos claros para mejor visualización...

Los **broncofibroscopios** se han utilizado para la eliminación de secreciones, en el diagnóstico precoz del cáncer de pulmón y en la visualización de los bronquios hasta el 6º orden.

Los **gastrofibroscopios** fueron los primeros endoscopios de fibra óptica. Tienen el diámetro algo mayor que los broncofibroscopios y poseen disposiciones más elaboradas. Se han utilizado para diagnosticar cánceres gástricos, los más largos llegan hasta el duodeno.

El **colonoscopia** de fibra óptica es el primer endoscopio considerado para el examen de rutina de colon, tanto en medicina preventiva como en el tratamiento de pacientes postoperatorios. Además, tiene gran importancia en la detección de carcinomas tempranos que no se detectan en radiografías ya que la extirpación de pólipos benignos disminuye la incidencia de carcinoma de colon. Así, su uso ha hecho que se reduzcan las lesiones en muchos pacientes ancianos.

5.5 APLICACIONES RECIENTEMENTE DESCUBIERTAS DE LA FIBRA ÓPTICA

Un grupo de investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) y de la Escuela de Medicina de Harvard, en Estados Unidos, han desarrollado una **fibra óptica biodegradable y elástica** que se podría implantar en el cuerpo humano. Esta ha sido fabricada con un hidrogel elástico compuesto mayoritariamente por agua.

Esta fibra consta de una estructura revestida que permite limitar la luz dentro del núcleo rodeado por una capa revestida, lo cual ha demostrado una excelente eficiencia y estabilidad de guía dentro de los tejidos biológicos vivos. Por otra parte, se ha utilizado hidrogeles biocompatibles para el núcleo y el revestimiento, los cuales permiten incorporar varios fluoróforos y nanopartículas en su estructura porosa para construir distintos tipos de fibras.

El estudio lo llevaron a cabo en ratones vivos a los cuales se les insertó una fibra de hidrogel a través del recto, lo cual no había sido posible con una fibra óptica convencional, y se confirmó que el suministro de luz era eficiente.

Por otra parte, también se probó la viabilidad de la detección óptica de los niveles de oxigenación de la sangre mediante espectroscopia de absorbancia. Para ello se implantaron dos fibras de hidrogel en el tejido subcutáneo de un ratón anestesiado. Una de ellas suministró la luz de excitación y la otra recolectó la luz difundida por el tejido, de esta forma se obtuvo las concentraciones de oxi y desoxihemoglobina de la sangre.

Así, se ha comprobado que la fibra puede implantarse en el interior del organismo sin dañarlo y sin descomponerse dentro de él. Con una técnica similar a la optogenética, el dispositivo podría suministrar impulsos terapéuticos de luz de diferentes colores, detectando cuándo se estira la fibra y hacia dónde.

Además, esta fibra biodegradable también podría servir para el diagnóstico a largo plazo de tumores. Esto se lograría detectando, mediante la capacidad lumínica de la fibra, un estiramiento de la misma, lo que podría ser indicio de una inflamación dentro del organismo, y que a su vez podría indicar la presencia de un tumor.^{[32] [33]}

6. CONCLUSIONES

Los avances tecnológicos han supuesto una innovación de las técnicas médicas, lo cual ha permitido que la fibra de vidrio, y en particular la fibra óptica, están siendo cada vez más utilizadas en nuevas aplicaciones debido a sus particulares propiedades.

Entre ellas destacan su alta capacidad de transmisión de información y su poder de obtención de imágenes en 2D y 3D, lo cual ha dado lugar a técnicas como la tomografía de coherencia óptica (OCT). A partir de la cual se obtienen imágenes de tejidos a altas resoluciones.

Además, el hecho de que las imágenes se puedan obtener a través del aire sin contacto con los tejidos, hace que sea una de las tecnologías más aptas para la evaluación invasiva mínima. Esta última característica es de gran importancia en la aplicación como biosensor, donde su espacio disponible es muy pequeño. A esto hay que sumarle su resistencia a los diferentes medios del organismo (ácidos o básicos).

Sin embargo, a mi parecer las propiedades que hacen de la fibra de vidrio un material muy versátil en función de su aplicación son su flexibilidad y su pequeño volumen. Estas propiedades permiten llegar a zonas de gran profundidad o de difícil acceso, de las cuales no se tenía información y ha sido una de las razones por las que los antiguos endoscopios han sido sustituidos por los fibroscopios.

Finalmente, un dato que cabe destacar es que para que se den buenos resultados en la utilización de la fibra óptica, no solo basta con excelentes innovaciones y buenas propiedades, sino que se precisa de un alto conocimiento por parte del profesional que lleve a cabo su uso ya que todos los procesos son llevados a cabo en zonas concretas y en espacios muy rigurosos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Miravete, A. (2002). *Los nuevos materiales en la construcción*, 2ª Edición, Barcelona, Reverté.
- [2] Morales Ontuño, S. (2008). *Fibra de vidrio, pruebas y aplicaciones*. Tesis doctoral, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. MÉXICO D.F. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4698/129.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3] Arkiplus (2019): *Historia de la fibra de vidrio*. Disponible en: <https://www.arkiplus.com/historia-de-la-fibra-de-vidrio/>
- [4] Besednjak Dietrich, A. (2005). *Materiales compuestos*. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=gMSg5rURr6sC&pg=PA39&dq=FIBRA+DE+VIDRIO&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi6itfAje3gAhVDiRoKHb2ACfEQ6AEIWD AJ#v=onepage&q=FIBRA%20DE%20VIDRIO&f=false>
- [5] Ojeda, M. (2011): "Fibra de vidrio". *Tecnología de los plásticos*, 6 de diciembre. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>
- [6] Ecured.cu (2019). *Fibra de vidrio*. Disponible en: [https://www.ecured.cu/Fibra de vidrio](https://www.ecured.cu/Fibra_de_vidrio)
- [7] Scribd (2019). *Estructura Química Fibra de Vidrio*. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/248918376/Estructura-Quimica-Fibra-de-Vidrio>

- [8] Alvarez Uchuya, A.; Fuentes Tasayco, E.; Luyo Narsiso, L.; Sevillano león, A. (2015): *Fibra de vidrio*, Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica, universidad Nacional “San Luis Gonzaga” de ICA, ICA. Disponible en: https://www.slideshare.net/uchuya_5/fibra-de-vidrio-80530402
- [9] Miravete, A (2007). *Materiales compuestos Vol I*, Barcelona, Reverté
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/universidadcomplutense-ebooks/reader.action?docID=3429381&query=materiales+compuestos+>
- [10] Rodriguez, JA (2019): *Cursos Máxima Tecnología*. Disponible en: <http://www.cursos.maximatec.com/downloads/Fibra%20de%20Vidrio.pdf>
- [11] Peralta Espejo, MN (2016): *Fibras inorgánicas. Fibra de vidrio*. Disponible en: <https://docplayer.es/3454456-Fibras-1-fibras-inorganicas-fibras-de-vidrio.html>
- [12] Hull, A. (2003): *Materiales Compuestos*, Edición en Español, Barcelona, Reverté.
- [13] Rougeron, C. (1977): *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*, Primera edición española, Barcelona, Editores técnicos asociados S.A.
- [14] Engineering Design Handbook- Discontinuous Fiberglass Reinforced Thermoplastics
- [15] Faus Ferrer, J.; Marquina, A. (2013): *Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio y fibra de carbono para aplicaciones estructurales*, Proyecto Final de Grado, Universidad politécnica de Valencia, Valencia.
- [16] Ordoñez Roldan, A. (2014): *Prezi*. Disponible en; <https://prezi.com/acom3hjxwi6r/fibra-de-vidrio/>
- [17] García Diez, S. (2011): “Fibras y materiales de refuerzo: los poliésteres reforzados aplicados a la realización de piezas en 3D”, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(5), pp.268-282.
- [18] Wang, RK., Tomlins, PH (2005): “Theory, developments and applications of optical coherence tomography”, *Journal of physics D: Applied Physics*, 38, pp. 2519-2535.
- [19] Pitris, C., Jesser, C., Boppart, S.A., Stamper, D., Brezinski M.E., Fujimoto, J.G (2000): “Feasibility of optical coherence tomography for high-resolution imaging of human gastrointestinal tract malignancies”, *Journal of gastroenterology*, 35(2), pp. 87-92.
- [20] Fercher, AF., Drexler, W., Hitzenberger, CK., Lasser, T (2003): “Optical coherence tomography- principles and applications”, *Reports in progress in physics*, 66, pp.239-303
- [21] Morgan, S.P., Rose, F.R.A., Matcher, S.J (2014): *Optical techniques in regenerative medicine*, Broken Sound Parkway NW, Taylor & Francis Group
<https://books.google.es/books?id=fYLRBQAAQBAJ&pg=PA201&lpg=PA201&dq=FIBER+OPTIC+neoplastic+tissues&source=bl&ots=JhXvGTiLS6&sig=ACfU3U1SEYFi4quFIGO-gfb-Z5bbUQZznA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewi2iPKluMXhAhXtxoUKHVCTBuA4ChDoATABegQIBhAB#v=onepage&q=FIBER%20OPTIC%20neoplastic%20tissues&f=false>
- [22] Tucci Reali, A. (2010): “Tomografía computada”, *Obtención de imágenes médicas*. Disponible en:

<https://books.google.es/books?id=WZGAgAAQBAJ&pg=PA328&dq=instrumentación+medica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjZm - A67HhAhWJxIUkHVdfB4kQ6AEISzAH#v=onepage&q=fibra&f=false>

[23] Spitz, E. Ostrowsky D.B. (1984): "New Directions in Guided Wave and Coherent Optics", *NATO ASI Series*, Volume I (78)

[24] Mendez, A. (2015): *Biomedical fiber poptic sensor applications*, Tutorial, Alameda, CA.

[25] Baldini, F., Giannetti, A., Mecaglia, A.M., Trono, Cosimo. (2008): "Fiber optic sensors for biomedical applications", *Current Analytical Chemistry*, 4 (4), 378-390.

[26] Tosi, A., Poeggel, Sven., Iordachita, I., Schena, Emiliano. (2008): "Fiber optic sensors for biomedical applications", H, Alemohammad, *Opto-Mechanical Fiber Optic Sensors*, Elsevier, pp. 301-333.

[27] Chin, CL., Whelan WM and Vitkin IA (2011): "Optical fiber sensors for biomedical applications", en Welch, A.J., van Gemert, M.J.C., *Optical-Thermal Response of Laser-Irradiated Tissue*, Toronto, Springer Science+Business Media, pp. 661-712.

[28] Serrano Santoyo, A., Cabrera Flores M.R., Martínez Martínez, E. (2010): "Evolución de la convergencia digital" en *Digitalización y Convergencia Global*. Disponible en:

<https://books.google.es/books?id=l8nz21k4D64C&pg=PA66&dq=fibroscopio+tecnolog%C3%ADa&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiFyJqL-LHhAhVwD2MBHfi-CyQQ6AEIMjAC#v=onepage&q=fibroscopio%20tecnolog%C3%ADa&f=false>

[29] De la Torre Bravo, A., Córdova Villalobos, J.A. (2009): "Principios físicos de la fibra óptica" en *Procedimientos endoscópicos en gastroenterología*. Disponible en:

<https://books.google.es/books?id=qxqZsAnD4d8C&pg=PA15&dq=fibroscopio+tecnolog%C3%ADa&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiFyJqL-LHhAhVwD2MBHfi-CyQQ6AEIPjAE#v=onepage&q=fibroscopio%20tecnolog%C3%ADa&f=false>

[30] Malukas, M., Baidya, A., Raaj, H., Vithalani, P., Trivedi, P., Banerjee, D., Bapna, S (2019): "Top uses for advance inspection fiberscopes". *Droidmen*, 5 de marzo. Disponible en: <https://www.droidmen.com/uses-for-inspection-fiberscopes/>

[31] Madrid Rondón, V., Charco Mora, P., Mesa Mesa, A. (2016): "Intubación facilitada con técnicas fibroscópica", *Fibroscopia*.

[32] Choi, M., Humar, M., Kim, S., Yun, S. (2015): "Step-Index Optical Fiber Made of Biocompatible Hydrogels", *Advanced materials*, 27(27) pp.4081-4086.

[33] Guo, J., Liu, X., Jiang, N., Yetisen, A.K., Yuk, H., Yang, C., Khademhosseini, A., Zhao, X., Yun, S. (2016): "Highly Stretchable, Strain Sensing Hydrogel Optical Fibers", *Advanced materials*, 28(46) pp. 10244-10249.