

Fibras ópticas ultradelgadas: Revisión de métodos de fabricación y aplicaciones en ingeniería avanzada.

Ultra-thin optical fibers: Review of manufacturing methods and applications in advanced engineering.

Julián Moisés Estudillo Ayala* (1).

Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km 3.5 + 1.8 km, Salamanca, 36885, México.

julian@ugto.mx.

Juan Carlos Hernández García (2). Investigadoras e investigadores por México SECIHTI Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Demarcación Territorial Benito Juárez, Ciudad de México, 03940 CDMX, México.

jchernadez@ugto.mx.

Juan Manuel Sierra Hernández (3). Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km 3.5 + 1.8 km, Salamanca, 36885, México. jm.sierrahernandez@ugto.mx.

Daniel Juaregui Vázquez (4). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), División de Física Aplicada-Departamento de Óptica, Carretera Ensenada-Tijuana, No. 3918, Zona Playitas, Ensenada, 22860, México. djauregui@cicese.mx.

José Roberto Reyes Ayona (5). Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km 3.5 + 1.8 km, Salamanca, 36885, México. jr.reyes@ugto.mx.

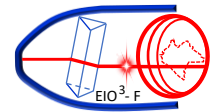
Roberto Rojas Laguna (6). Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km 3.5 + 1.8 km, Salamanca, 36885, México. rlaguna@ugto.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en septiembre 08, 2025; aceptado en octubre 10, 2025.

Resumen.

Este documento presenta una revisión de métodos de fabricación y aplicaciones de fibras ópticas ultradelgadas en ingeniería avanzada. Se enfoca en el estudio de fibras con diámetros reducidos, típicamente entre 1 y 40 μm , y en cómo estas microfibras pueden optimizarse para la detección avanzada de parámetros físicos, químicos y biológicos. La investigación contempla técnicas destinadas a mejorar la sensibilidad, disminuir el tamaño y ampliar el rango operativo de estos dispositivos, y examina diversas aplicaciones y sensores desarrollados en la Universidad de Guanajuato. Se exponen los principios físicos que rigen la propagación de la luz en estas estructuras, incluyendo el aprovechamiento de la onda evanescente y los fenómenos de interferencia. Asimismo, se analizan distintos métodos de fabricación como el de barrido con flama, adelgazamiento por plasma, uso de láser CO_2 y técnicas de arco eléctrico, evaluando sus ventajas y limitaciones para producir microfibras con propiedades específicas. El documento profundiza en las aplicaciones de estas fibras en interferómetros Mach-Zehnder y Sagnac, así como en sensores de



campo magnético, temperatura e índice de refracción detallando los principios que rigen su funcionamiento y los resultados experimentales.

Palabras claves: Fibras ópticas, fibras ópticas adelgazadas, láseres, sensores ópticos.

Abstract.

This document presents a review of manufacturing methods and applications of ultrathin optical fibers in advanced engineering. It focuses on the study of fibers with reduced diameters, typically between 1 and 40 μm , and on how these microfibers can be optimized for advanced detection of physical, chemical, and biological parameters. The research considers techniques aimed at improving sensitivity, reducing size, and expanding the operating range of these devices, and examines various applications and sensors developed at the University of Guanajuato. The physical principles governing light propagation in these structures are presented, including the use of evanescent waves and interference phenomena. Different manufacturing methods are also analyzed, such as flame brushing, plasma thinning, CO₂ laser processing, and electric-arc techniques, evaluating their advantages and limitations for producing microfibers with specific properties. The document delves into applications of these fibers in Mach-Zehnder and Sagnac interferometers, as well as in magnetic-field, temperature, and refractive-index sensors, detailing the principles governing their operation and the experimental results.

Keywords: Optical fibers, optical fibers tapered, optical sensors, lasers.

1. Descripción de la conferencia.

Desde la invención del primer láser las fibras ópticas surgieron con gran interés por las ventajas que mostraron para las comunicaciones ópticas y detección: baja dispersión a larga distancia, inmunidad al ruido electromagnético y costo eficiente por el uso de sílice. Los científicos Kao y Hockham propusieron la guía de onda de vidrio cilíndrica que permitió su aplicación en transmisión de datos. A lo largo de décadas se desarrollaron dispositivos como láseres y amplificadores de fibra (EDFA y ASE), que emplean dopantes de tierras raras para aumentar la intensidad de la luz. Además, las fibras se usan en detección óptica, biodetección y sistemas de seguridad aprovechando su alta sensibilidad para medir cambios en la propagación de la luz con resoluciones nanométricas o picométricas en monitorización en tiempo real.

Las fibras ópticas ultradelgadas, también llamadas Tapers, fibras cónicas o microfibras ópticas, cuando su diámetro alcanza escalas micro o nanométricas, aprovechan las propiedades de guiado de las fibras convencionales, pero con geometrías que aumentan notablemente su interacción con el entorno. Al disminuir el diámetro de la sección transversal en la región cónica, aumenta la fracción de campo óptico al salir del núcleo e interactúa con medio circundante en forma de onda evanescente (EW) (Taha B., 2021). Este incremento de la EW se traduce en una mayor sensibilidad frente a variaciones del índice de refracción del entorno o a la presencia de sustancias químicas cercanas a la superficie de la microfibra. La sección reducida de la fibra se puede implementar en la detección óptica guiando la luz a través de la fibra óptica y recogiendo la para medir la señal transmitida, un proceso conocido como detección extrínseca, o utilizando la fibra microfibra directamente como transductor, un proceso conocido como detección intrínseca.

La implementación de estos dispositivos ópticos se ha vuelto cada vez más atractiva debido a su capacidad para mejorar aún más la EW en la región cónica para medir sustancias químicas específicas cubriendo una fina capa metálica (por ejemplo, oro) y un medio dieléctrico (por ejemplo, capas receptoras) como sensores basados en la resonancia plasmónica superficial (SPR) (Navarrete M., 2013). Los tapers comenzaron a utilizarse en la década de 1980, a medida que los científicos se dieron cuenta de que, al reducir el diámetro de la fibra, se podía incrementar la interacción entre la luz y el entorno mediante la onda evanescente, como ya se menciona esta técnica permite que los tapers actúen como sensores ópticos extremadamente sensibles, detectando incluso cambios mínimos en el índice de refracción.

2. Fibras ópticas ultradelgadas.

Una fibra óptica adelgazada o estrechada es una fibra con dimensiones reducidas a lo largo de una sección específica de una fibra monomodo (SMF) como se muestra en la **Fig. 1**. Existen varios métodos para reducir el diámetro de la fibra, que se mencionan a continuación y se describen en detalle en este artículo: 1) barrido de flama; 2) plasma; 3) láser de CO₂; 4) microcalentador cerámico; y 5) arco eléctrico. Estas técnicas para adelgazar la fibra emplean calentamiento, alcanzando temperaturas superiores a 1900 °C.



Figura 1. Ilustración de una fibra óptica adelgazada (Granados-Zambrano, 2024).

Los parámetros a considerar en una fibra adelgazada son las magnitudes que la definen: el diámetro de su cintura (región más adelgazada), la longitud del estrechamiento y el perfil de la región de transición. Si el estrechamiento se realiza adecuadamente, se puede conseguir un nivel de pérdidas muy bajo, de modo que la mayor parte del campo guiado por la fibra atraviesa la fibra óptica adelgazada.

La parte adelgazada la dividiremos en tres secciones (**Fig. 2**):

Fibra sin estrechar: se refiere a la fibra sin modificación alguna.

Transiciones cónicas: el segmento en el que la fibra disminuye desde el tamaño estándar de la SMF hasta la cintura se denomina «transición descendente», mientras que la «transición ascendente» es el segmento en el que las dimensiones de la fibra aumentan desde la cintura hasta la SMF.

Cintura: esta sección corresponde al diámetro más pequeño, que permanece constante a lo largo de la región cónica.

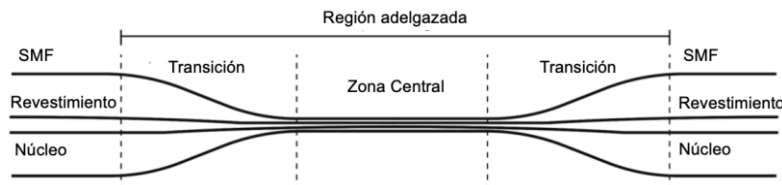
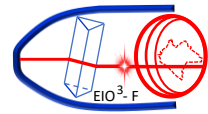


Figura 2. Regiones de una fibra óptica adelgazada (Granados-Zambrano, 2024).

Una fibra óptica adelgazada (cónica) se considera adiabática si el ángulo de transición en una sección de fibra cuya geometría (diámetro del núcleo y/o del revestimiento) cambia gradualmente a lo largo de una cierta longitud de forma suficientemente lenta para que la luz que se propaga permanezca en el mismo modo (o en un conjunto controlado de modos) sin acoplarse a modos no deseados o radiación garantizando pérdidas de potencia mínimas. Dentro de una conicidad adiabática de una fibra monomodo, los campos y la constante de propagación pueden describirse con precisión mediante los del modo fundamental local, que conserva la potencia durante la propagación (Love J., 1991). Por el contrario, un adelgazamiento (cónico) se considera no adiabático si el ángulo de inclinación de las transiciones cónicas es lo suficientemente abrupto como para excitar modos de orden superior, lo que garantiza que el acoplamiento se produzca principalmente entre el modo fundamental de la fibra sin adelgazamiento y los dos primeros modos de la guía de ondas adelgazada (Black R.J, 1991), lo que da lugar a pérdidas de propagación del modo.



3. Propagación y Propiedades de las fibras ópticas ultradelgadas.

El modelo matemático de una fibra óptica adelgazada se muestra en la **Fig. 3**, en la que se tiene que los índices de refracción de la fibra adelgazada y del material de revestimiento son n_1 y n_2 , respectivamente, y el radio de la fibra adelgazada es a .

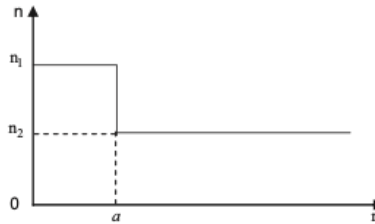


Figura 3. Perfil de índice de una fibra óptica adelgazada (Tong L., 2012).

El perfil de índice del sistema de guía de ondas se expresa entonces como:

$$n(r) = \begin{cases} n_1, & 0 < r < a \\ n_2, & a \leq r < \infty \end{cases} \quad (1a)$$

Para materiales de la micro fibra no absorbentes, las propiedades de la guía de onda pueden obtenerse resolviendo analíticamente las ecuaciones de Helmholtz:

$$\begin{aligned} (\nabla^2 + n^2 k^2 - \beta) \vec{e} &= 0 \\ (\nabla^2 + n^2 k^2 - \beta) \vec{h} &= 0 \end{aligned} \quad (1b)$$

Donde $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ es la longitud de onda de la luz en el vacío y β es la constante de propagación.

Gracias a la sección transversal circular de la microfibras, la **Ecuación 1** puede resolverse analíticamente en coordenadas cilíndricas, con ecuaciones de eigenvalores:

HE_{vm} y EH_{vm} modos

$$\left\{ \frac{J'_v(U)}{U J_v(U)} + \frac{K'_v(W)}{W K_v(W)} \right\} \left\{ \frac{J'_v(U)}{U J_v(U)} + \frac{n_2^2 K'_v(W)}{n_1^2 W K_v(W)} \right\} = \left(\frac{v\beta}{kn_1} \right)^2 \left(\frac{V}{UW} \right)^4 \quad (2)$$

Los modos TE_{0m}

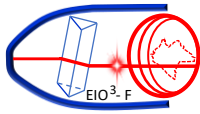
$$\frac{J_1(U)}{U J_0(U)} + \frac{K_1(W)}{W K_0(W)} = 0 \quad (3)$$

Los modos TM_{0m}

$$\frac{n_1^2 J_1(U)}{U J_0(U)} + \frac{n_2^2 K_1(W)}{W K_0(W)} = 0 \quad (4)$$

Donde J_v es la función de Bessel de primera clase, y K_v es la función de Bessel modificada de segunda clase, y $U = a(k_0^2 n_1^2 - \beta^2)^{1/2}$, $U = a(\beta^2 - k_0^2 n_1^2)^{1/2}$, $V = k_0 a(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$.

Resolviendo numéricamente las **Ecuaciones 2 y 3**, se pueden obtenerse los modos guiados (β) soportados por la fibra óptica adelgazada. Por lo general, cuando su diámetro se aproxima o es inferior a la longitud de onda de la luz guiada, una microfibras óptica con un índice de refracción de revestimiento bajo (por ejemplo, vacío, aire o agua) ofrece propiedades inusuales, como un gran confinamiento óptico, campos evanescentes elevados y grandes dispersiones de guía de ondas que pueden ser adaptables, que ofrecen nuevas oportunidades para manipular la luz a micro o nano escala.



3.1. Confinamiento óptico estrecho.

El confinamiento óptico estrecho permite el guiado de ondas ópticas con un pequeño radio de curvatura, lo que facilita el guiado de ondas de bajas pérdidas a través de curvas cerradas. Además, presenta un área de modo pequeño, lo que ofrece ventajas para el desarrollo de dispositivos ópticos con caminos ópticos cortos y/o bajo consumo de energía. Por otro lado, el área de modo pequeña y la mejora del campo generada por el confinamiento estrecho sugieren un enfoque prometedor para lograr efectos ópticos no lineales de bajo umbral o baja potencia (Leon-Saval, 2004).

Los campos evanescentes fuertes permiten una interacción de campo cercano fuerte y/o rápida entre la luz guiada y el entorno, lo que ofrece una detección óptica de la fibra óptica adelgazada con alta sensibilidad y/o respuesta rápida (Villatoro J, 2005), además de facilitar el acoplamiento evanescente entre una fibra óptica adelgazada y otra guía de ondas. Especialmente, el acoplamiento evanescente convierte a las fibras adelgazadas en anillos/lazos/bobinas en cavidades ópticas a microescala para sensores ópticos (Shi L., 2007) y láseres (Jiang, 2007). Una fibra óptica adelgazada de guía de ondas también puede proporcionar campos evanescentes con gradiente pronunciado, que pueden generar una gran fuerza de gradiente para el atrapamiento óptico y pozos de potencial suficientemente profundos para el atrapamiento y guiado de átomos fríos. Además, dentro de un cierto rango espectral, la potencia fraccional de los campos evanescentes (que se propagan fuera de la fibra) depende fuertemente de la longitud de onda de la luz guiada o del diámetro de la fibra, lo que indica la posibilidad de modificar significativamente la velocidad de grupo de los modos guiados, y dar lugar a una dispersión de la guía de ondas grande o manejable en funcionamiento monomodo (Lou, 2006).

4. Técnicas de fabricación de fibras ópticas ultradelgadas.

En esta sección describiremos de forma corta las técnicas para adelgazar fibras ópticas que son las siguientes:

4.1. Barrido de flama.

La técnica de calentamiento por barrido con flama es muy versátil, ya que permite fabricar fibras ópticas adelgazadas con buenas propiedades físicas. La conicidad se obtiene estirando la fibra mientras se calienta con la flama, lo que ablanda el vidrio y reduce su diámetro a lo largo de unos pocos milímetros o centímetros. El núcleo se adelgaza en la misma proporción que el conjunto de la fibra. Este método emplea principalmente un soplete de oxibutano, un microcontrolador para la mezcla de gases y una plataforma lineal con motores paso a paso y soportes para las fibras (Fig. 4). La mezcla de gases se realiza en la cámara del soplete. El flujo de aire de la flama se mantiene en un nivel bajo y la temperatura es suficiente para calentar y ablandar la sílice. Aumentar la presión de oxígeno eleva la temperatura, pero puede apagar la flama por debilitamiento rápido del gas combustible; además, un flujo de aire excesivo puede flexionar la fibra caliente e incrementar significativamente la pérdida por inserción en la fibra cónica.

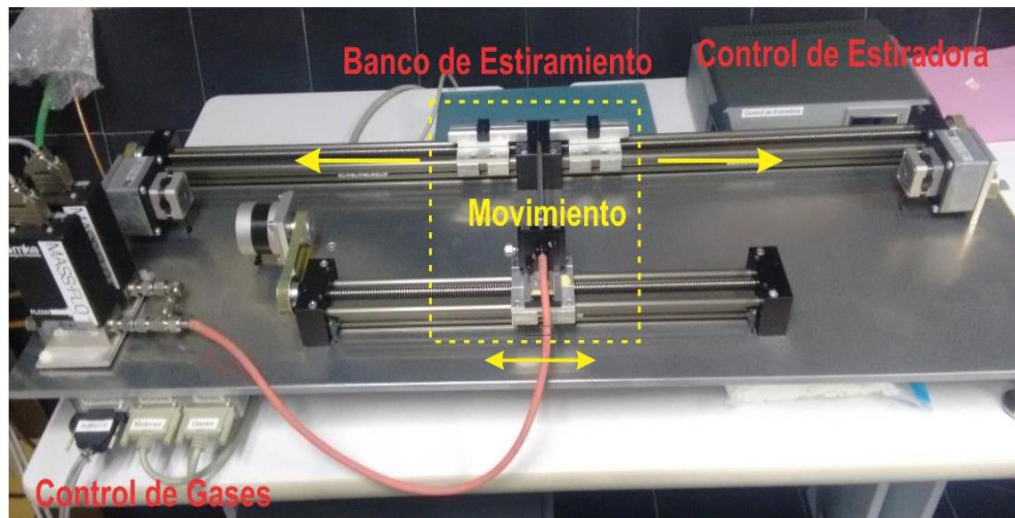


Figura 4. Fotografía de de la MFEOA utilizada en el laboratorio de fibras ópticas de la Universidad de Guanajuato.

La Máquina de Fabricación de Fibra Óptica Adelgazada mediante Fusión y Estiramiento (MFEOA) está compuesta por dos módulos principales: el banco de estiramiento y el módulo de control, ver **Fig. 5**. El banco de estiramiento alberga los elementos mecánicos de estiramiento, sujeción y el quemador necesario para la fabricación de fibras ópticas estrechadas; sus dimensiones son 1160 mm de largo, 400 mm de profundidad y 10 mm de altura. En él se encuentran tres servomotores: dos dedicados al estiramiento de la fibra (cada uno con motor paso a paso, reductor acoplado, husillo, carro de sujeción y guía lineal; esta disposición es doble y simétrica) y un tercero que mueve el mini-soplete. El quemador consta de un motor paso a paso unido a un husillo que transforma movimiento angular en lineal, un carro que fija el mini-soplete y una guía lineal por donde se desliza dicho carro.

El módulo de control es el sistema electrónico encargado de suministrar tensión a los motores y a los controladores másicos de flujo, además de generar las señales de movimiento y regulación de gas conforme a los parámetros fijados desde el software en la computadora. Para el encendido de la llama se utiliza un cerillo o encendedor; el procedimiento incluye seleccionar y dejar fluir el butano hasta que salga por los orificios del mini-soplete, encender la llama y enriquecerla con oxígeno ajustando el indicador correspondiente. Los valores recomendados en el indicador analógico son 0.7 para butano y 1.2 para oxígeno; la relación flujo/valor analógico es 10 cm³ por cada unidad analógica en condiciones estándar. Se recomienda usar gases de alta pureza para una llama homogénea y estable, ya que el control preciso de la llama es crucial para lograr tapers de calidad y un proceso repetible.



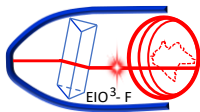
a)



b)

Figura 5. a) imagen del banco de estiramiento de la MFEOA b) imagen de los módulos de control de la MFEOA.

La MFEOA incluye además un software de control compatible con Windows que proporciona un entorno gráfico para introducir los parámetros de fabricación de los tapers y la mezcla de gases del mini-soplete; entre sus menús, destacan las opciones de gestión de gases y del proceso de estirado.



4.2. Adelgazamiento por Plasma.

La fuente de calor utilizada para ablandar la fibra óptica es el plasma, generado por la aplicación de un intenso campo eléctrico entre un par de electrodos de tungsteno. Ese campo ioniza el gas entre los electrodos, en este caso, el aire, creando un gran número de portadores de carga en un medio que, a temperatura ambiente, es un excelente aislante. Así el aire experimenta una transición a un estado conductor, lo que provoca temperaturas extremadamente altas debido al movimiento a gran velocidad de electrones e iones.

Este fenómeno se denomina ruptura eléctrica y es uno de los métodos más comunes para ionizar el aire y generar plasma. El plasma, frecuentemente llamado el cuarto estado de la materia, se diferencia de los estados sólido, líquido y gaseoso. A diferencia de las transiciones sólido-líquido y líquido-gaseoso, que dependen principalmente de la temperatura, el plasma implica la descomposición de las moléculas del gas en átomos y, posteriormente, la separación de esos átomos en electrones e iones positivos.

En la **Fig. 6** el proceso comienza con el desplazamiento de la fibra hacia la derecha; la etapa de traslación derecha se mueve notablemente más rápido para generar el efecto de tracción mientras la fibra atraviesa la zona de plasma. Este método se empleó por la limitada extensión de la región caliente del plasma ($\approx 0,5$ mm) y porque no es posible cepillar el calentador sin provocar perturbaciones que comprometan la estabilidad del plasma. Además, como el plasma supera el umbral de fusión de la sílice (>1200 °C), no es necesario precalentar la fibra antes del estirado: se ablanda de inmediato al entrar en contacto con el plasma.

La distancia L corresponde a la longitud total de la fibra óptica adelgazada, es decir, la distancia que recorre la fibra a través del plasma entre los electrodos. La longitud L y la velocidad de desplazamiento están gobernadas principalmente por la etapa de traslación de mayor rapidez, que determina la velocidad con la que la fibra atraviesa el plasma. Además, antes del estirado, el plasma está apagado cuando la fibra se encuentra en la posición inicial ($L = 0$) y con velocidad $v = 0$.

Estos dos parámetros, según el modelo de Birks 1992, determinan el radio a lo largo de la fibra óptica adelgazada. Dicho modelo solo puede estimar las dimensiones de la fibra en condiciones ideales, como una zona de calentamiento uniforme y conservación de la masa. No obstante, en pruebas experimentales usando la técnica basada en la técnica de plasma, la velocidad v y la longitud del estrechamiento L determinan el radio de la cintura. Si la fibra avanza demasiado despacio hacia el plasma, corre el riesgo de quemarse; por el contrario, si se transporta a demasiada velocidad, las dimensiones del estrechamiento no se formarán correctamente.

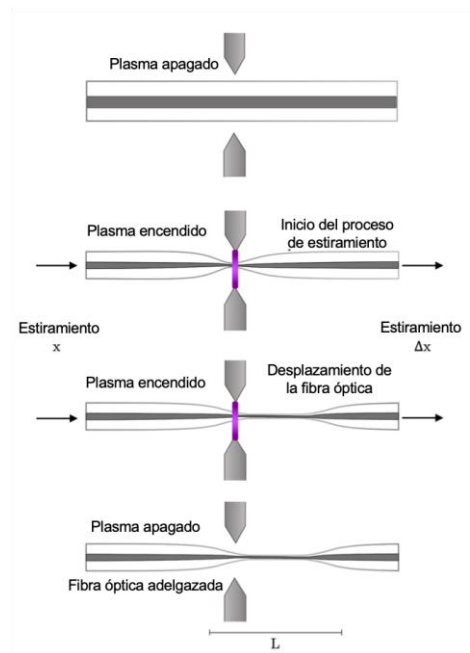


Figura 6. Equipo de adelgazamiento de fibra óptica por pasos (Granados-Zambrano, 2024).

Por tanto, el plasma actúa como un calentador eficaz que ablanda la fibra. En consecuencia, el radio de la sección adelgazada puede reducirse hasta aproximadamente 8 μm de diámetro a lo largo de la zona de adelgazamiento.

El calentamiento por plasma permite obtener adelgazamientos no adiabáticos altamente simétricos, con transiciones cónicas abruptas. El objetivo de esta técnica es ofrecer una alternativa para implementar un calentador capaz de generar transiciones abruptas y adelgazamientos muy simétricos. (Granados-Zambrano et. al., 2024) Construyeron un equipo para adelgazar fibra óptica utilizando la técnica de plasma.

El equipo de adelgazamiento de fibras ópticas propuesto en este trabajo consta de una estructura electromecánica controlada por un circuito, el cual recibe instrucciones operativas desde una computadora. Esta configuración posibilita la cooperación entre sus componentes, resultando en un sistema semiautomático para la fabricación de fibras ópticas adelgazadas. La **Fig. 7** muestra la ilustración del equipo electromecánico y sus elementos: 1) módulo de control del motor; 2) computadora; 3) módulo de plasma; 4) etapas de traslación de vibración ultra baja; 5) guías lineales; 6) motores paso a paso; 7) sección de calentamiento con dos electrodos de tungsteno sujetos por postes ópticos y 8) mesa óptica.

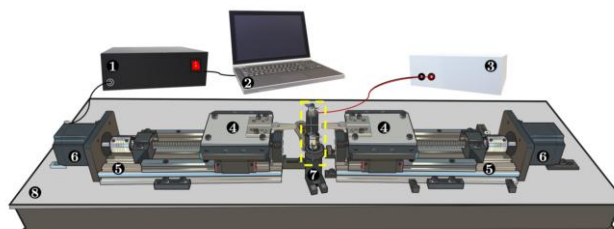


Figura 7. Ilustración del equipo de adelgazadora de fibra óptica (Granados-Zambrano, 2024).

El principio de funcionamiento de la maquina adelgazadora de fibra por plasma comienza tensionando la fibra mediante dos etapas de traslación de baja vibración montadas en un módulo de guía lineal. Las etapas se mueven en la misma dirección, pero la etapa derecha se mueve a una velocidad 35 veces mayor que la plataforma izquierda, cubriendo una distancia 35 veces mayor que la izquierda, para tirar y transportar simultáneamente la fibra a través del plasma (véase la [Fig. 4](#)).

Las etapas logran un movimiento lineal preciso mediante la utilización de motores paso a paso estándar de alta precisión que hacen girar un husillo (tornillo sin fin), lo que permite el movimiento bidireccional de las etapas. La plataforma se desliza suavemente sobre dos r lineales metálicos con un bajo coeficiente de fricción, lo que garantiza un movimiento estable y reduce las vibraciones. El movimiento de los motores permite al usuario definir la distancia de recorrido lineal deseada de las etapas con una resolución de $\sim 20 \mu\text{m}$ mediante la utilización del controlador de micro pasos TB6600. Este controlador amplifica la resolución del movimiento angular del motor, lo que aumenta la resolución de la distancia lineal. La aceleración y la velocidad de las etapas se pueden personalizar en el código de programación, donde la aceleración desempeña un papel crucial en el proceso de fabricación de fibras ópticas adelgazada. Cuando la acción de tracción se realiza a una velocidad mayor, las dimensiones del diámetro de la cintura se reducen significativamente. Por el contrario, si la tracción se realiza a una velocidad menor, el diámetro de la cintura disminuye menos. La aceleración dicta esencialmente la velocidad de ejecución del movimiento, y optar por la mayor aceleración posible. Durante el proceso de tensión de la fibra, un módulo de conmutación de voltaje cero (ZVS) que utiliza una bobina Tesla genera plasma induciendo alto voltaje ($>10 \text{ kV}$), descargas que ionizan el aire entre un par de electrodos de tungsteno. La fibra se fija con un imán de neodimio en la ranura en V, colocando la sección de fibra desnuda entre los electrodos de tungsteno (véase la [Fig. 4](#)), que actúa como zona de calentamiento donde se genera el plasma, con temperaturas que superan los 2000 grados Celsius (Hauer B., 2014). Este calor extremo ablanda eficazmente la fibra, lo que posteriormente permite reducir su diámetro a medida que se estira, dando como resultado una estructura bicónica o fibra óptica adelgazada y mecánicamente estable.

En la [Fig. 8a](#) se muestra los elementos que componen la adelgazadora de fibra óptica de plasma: a) fibra óptica, b) electrodos de tungsteno, c) imanes de neodimio y d) ranura en V, e) plataformas, f) guía lineal y g) husillo (tornillo sin fin). En la [Fig. 8b](#) del lado derecho se muestra los electrodos con el plasma encendido de la maquina adelgazadora de fibra óptica.

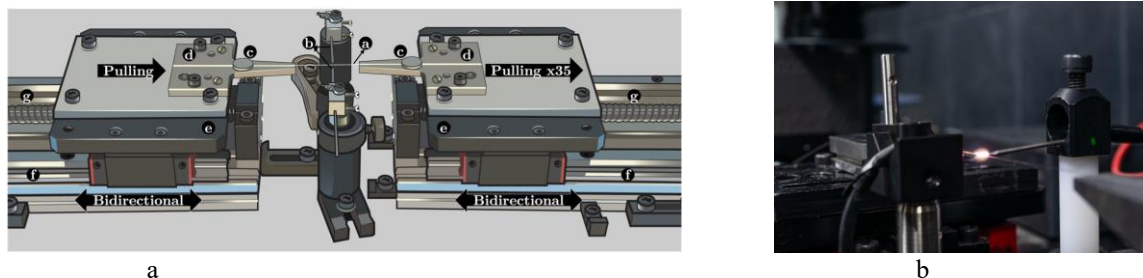


Figura 8. a) Elementos que componen la maquina adelgazadora de Plasma, **b)** Fotografía del plasma generado y electrodos de la maquina adelgazadora de plasma.

4.3. Adelgazamiento por la técnica láser de CO_2

Este método utiliza un láser de CO_2 que funciona como una fuente de calor eficiente: al dirigir su radiación hacia la fibra, se produce absorción y ablandamiento local. Este procedimiento evita problemas de contaminación, ya que los residuos de combustión se eliminan rápidamente durante el proceso, y permite una respuesta térmica rápida y un control preciso de la temperatura mediante la aplicación ajustada de voltaje (Hidayat H., 2023), (Ward et al., 2006) reportaron que el diámetro mínimo obtenido mediante calentamiento con láser de CO_2 fue de $3\text{--}4 \mu\text{m}$. En el proceso de fabricación, ni la potencia de salida ni la capacidad de escaneo del haz a través de la fibra se ven afectadas por

corrientes de aire u otras condiciones ambientales adversas. La temperatura del haz láser suele oscilar entre 1500 y 2000 K (Grellier, 1998), según la potencia empleada. No obstante, cabe destacar que la implementación de esta técnica requiere una inversión inicial muy elevada en el láser de CO₂ y que su operación exige un estricto cumplimiento de las normas de seguridad, dado que se trata de un láser de clase 4. En la Fig. 9 se muestra el arreglo experimental para adelgazar fibras ópticas por la técnica del láser de CO₂, además del láser se utiliza un espejo para enviar el haz en dirección a la fibra óptica que se quiere adelgazar, el ángulo del espejo se varia barriendo la longitud de la fibra que se desea adelgazar, los extremos de la fibra se tensionan para obtener una velocidad de adelgazamiento mayor.

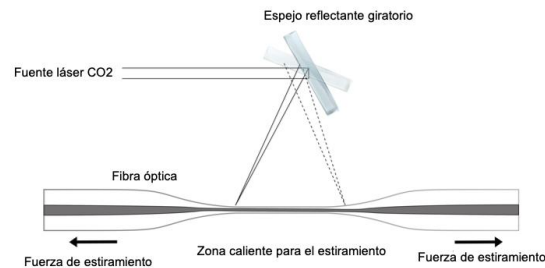


Figura 9. Arreglo experimental para adelgazar fibras ópticas por la técnica del láser de CO₂.

4.4. Adelgazamiento de fibras por el método arco eléctrico.

Existen varias máquinas para empalmar fibra óptica en el mercado que incorporan la capacidad de adelgazar la fibra; algunas tienen costos muy elevados. Entre las marcas destacan Fujikura® y Fitel®. Estas unidades emplean un sistema complejo de cámaras y electrodos que alinean automáticamente las fibras mediante dos etapas de traslación. De este modo se genera, entre los electrodos, una descarga de arco eléctrico que crea una zona de calentamiento eficaz para adelgazar las fibras ópticas. La Fig. 10a muestra el proceso de aplicación de la descarga de arco eléctrico para adelgazar la fibra óptica. La traslación de los electrodos o de la fibra permite cubrir mayor longitud, ya que el arco es reducido y alcanza solo unos pocos milímetros por paso. El arco eléctrico pasa a estado de plasma, ioniza el aire y crea una fuente de calor eficaz, con temperaturas cercanas a los 2100 °C.

Las fibras adelgazadas por el método de arco eléctrico con empalmadoras presentan algunas limitaciones: por ejemplo, los taper son cortos, con longitud de cuello de aproximadamente 0,1 mm y longitud total de alrededor de 1 mm, mostrando transiciones muy abruptas; en algunos casos, los parámetros fundamentales no se controlan adecuadamente. En la Fig. 10b se muestra la imagen de un taper realizado con una empalmadora FITEL V2000; se observa que el adelgazamiento de la fibra no es simétrico ni uniforme.

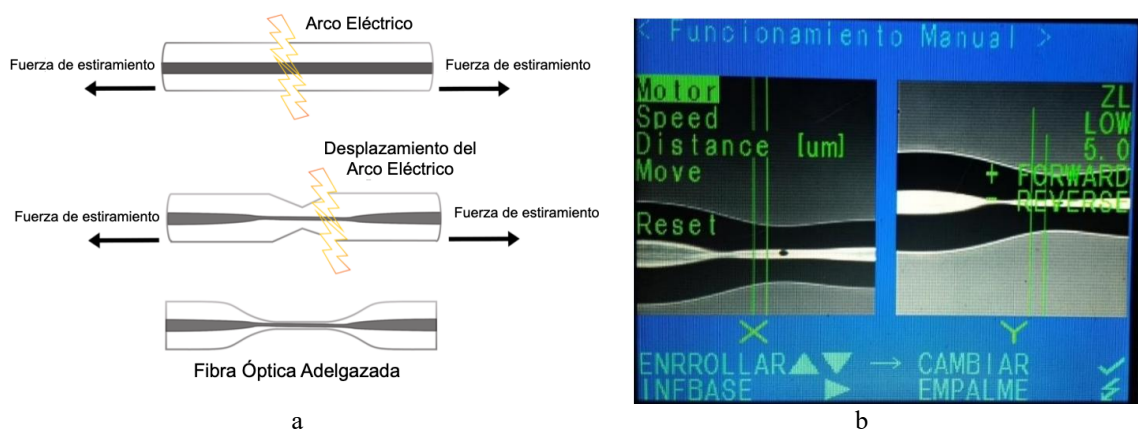


Figura 10. a) diagrama del proceso de aplicación de la descarga de arco eléctrico, b) Fotografía de una fibra adelgazada obtenida con una empalmadora FITEL V2000.

5. Aplicaciones de las fibras ópticas adelgazadas en ingeniería avanzada.

5.1. Fabricación de interferómetros Mach–Zehnder.

La estructura y el tamaño de las fibras ópticas las hacen muy útiles en el área del sensado. Al someter la fibra a deformaciones como curvatura, torsión o tensión, se producen cambios en las características de la luz que se propaga (amplitud, fase, polarización, entre otros). Para aumentar la sensibilidad de los sensores, una estrategia eficaz es reducir el diámetro de la fibra mediante adelgazamiento y emplear configuraciones interferométrías. Al disminuir el diámetro se incrementa la sensibilidad del dispositivo. A continuación, se muestran interferómetros Mach–Zehnder (MZI) fabricados con fibras ópticas adelgazadas.

La **Fig. 11** muestra un esquema del principio de operación del interferómetro fabricado con dos fibras adelgazadas. La primera hace la función de espejo semitransparente (como en el caso de un interferómetro Mach–Zehnder con espejos), de modo que se generan dos ondas una reflejada y otra transmitida que posteriormente se recombinan, formando el patrón de interferencia.

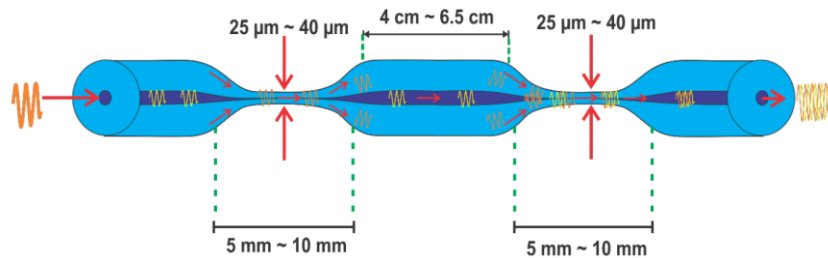


Figura 11. Principio de Operación de un Interferómetro Mach- Zehnder fabricado con doble fibra óptica adelgazada (Hernández-Robles. 2017).

Para entenderlo mejor, si lo analizamos por secciones: en la primera fibra óptica adelgazada se produce la separación de los haces, ya que en ella los modos del revestimiento son excitados desde el modo central, para posteriormente ingresar a una sección de la fibra óptica sin adelgazar que actúa como el brazo del interferómetro. Antes de que el modo central y los modos del revestimiento lleguen a la segunda fibra adelgazada, los diferentes modos generados poseen distintas fases, lo que origina una diferencia de fase modal. En la segunda fibra adelgazada se lleva a cabo la recombinación del modo del núcleo y los modos del revestimiento, produciendo interferencias modales.

La intensidad de transmisión del MZI puede ser expresada por:

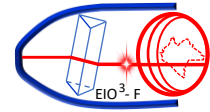
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi \quad (5)$$

Donde I_1 , I_2 son las intensidades del modo del núcleo y el modo del revestimiento; $\Delta\phi$ es la diferencia de fase entre el modo del núcleo y el modo del revestimiento, la cual puede ser definida como:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_{eff}^{core} - n_{eff}^{cl}) L \quad (6)$$

donde λ_0 es la longitud de onda central; n_{core} y n_{cl} son los índices de refracción efectivos del modo del núcleo y el modo del revestimiento, respectivamente y L es la longitud del brazo del interferómetro.

Son los índices de refracción efectivos del modo del núcleo y el modo del revestimiento, respectivamente y L es la longitud del brazo del interferómetro. La longitud del brazo del interferómetro y el índice de refracción efectivo del modo de revestimiento de orden m cambiarían con los parámetros del entorno externo, como la temperatura, la tensión y el índice de refracción, lo que da como resultado variaciones de interferencia del MZI.



5.2. Sensor de temperatura con interferómetro Mach–Zehnder de dos fibras adelgazadas concatenadas.

Se realizó una prueba aplicando temperatura a un interferómetro de doble fibra adelgazada, fabricado experimentalmente con la máquina de flama. Para ello se usó un control de temperatura desarrollado en la Universidad de Guanajuato, que consta de un peltier. El peltier es el encargado del aumento y la disminución rápida de la temperatura; tiene la limitación de registrar un máximo de 50 °C, pero permite aplicar temperaturas desde 25 °C. Estas variaciones de temperatura se controlan mediante Arduino y una PC.

Para realizar las mediciones se utilizó un diodo láser fijo con una potencia de 300 mW, correspondiente a la potencia de saturación de la fibra dopada con erbio. En el experimento se colocó el interferómetro fabricado con tapers de diámetro de cintura de 25 μm , 5 mm de longitud y 4 cm de separación en el control de temperatura con peltier para calentar y enfriar rápidamente. En la Fig. 12 se presenta el gráfico característico del comportamiento del interferómetro en su forma espectral. A continuación, se aumentó la temperatura en pasos de 5 °C hasta 50 °C en ambas direcciones para observar el comportamiento tanto en calefacción como en refrigeración. Los 50 °C constituyeron la temperatura límite del peltier utilizado.

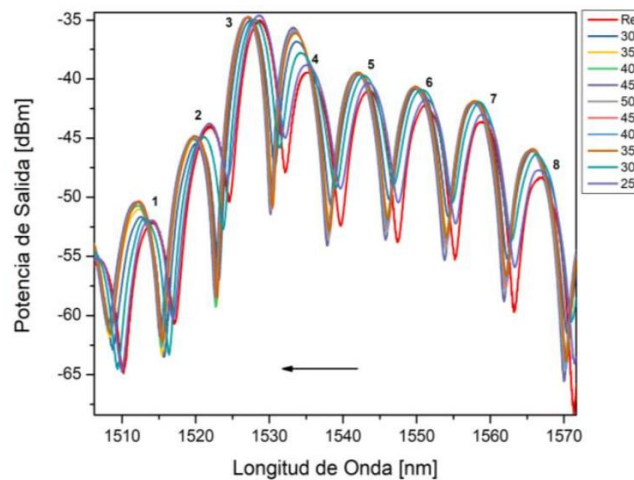


Figura 12. graficas características con diferentes temperaturas con desplazamiento hacia la izquierda. (Hernández-Robles, 2017).

Se observó un desplazamiento de fase y de amplitud hacia la izquierda, como se muestra en la Fig. 12. Podemos elegir diferentes longitudes de onda porque los picos de atenuación presentan prácticamente la misma profundidad y anchura. Se puede mejorar el experimento optimizando el control de temperatura y aumentando el rango térmico, dado que en la industria se usan temperaturas mayores; teóricamente, una de las características de las fibras ópticas es que pueden soportar temperaturas más altas para otros tipos de aplicaciones de detección. mostrando el comportamiento, tanto al momento de aplicar la temperatura, como al momento de enfriarse, esto para ver si el cambio provocado es recíproco, es decir que el desplazamiento provocado al momento de aplicar la temperatura sea el mismo a la hora de retornar a su estado normal, y se pueda concluir que realmente el sensor esté funcionando, la Fig. 13a, muestra una comparación del comportamiento en diferentes franjas seleccionadas. Se realizó una prueba de potencia con respecto a la temperatura es mostrada la Fig. 13b, donde se puede apreciar el comportamiento lineal del sensor presentado, obteniendo un ajuste de regresión lineal de 0.98388.

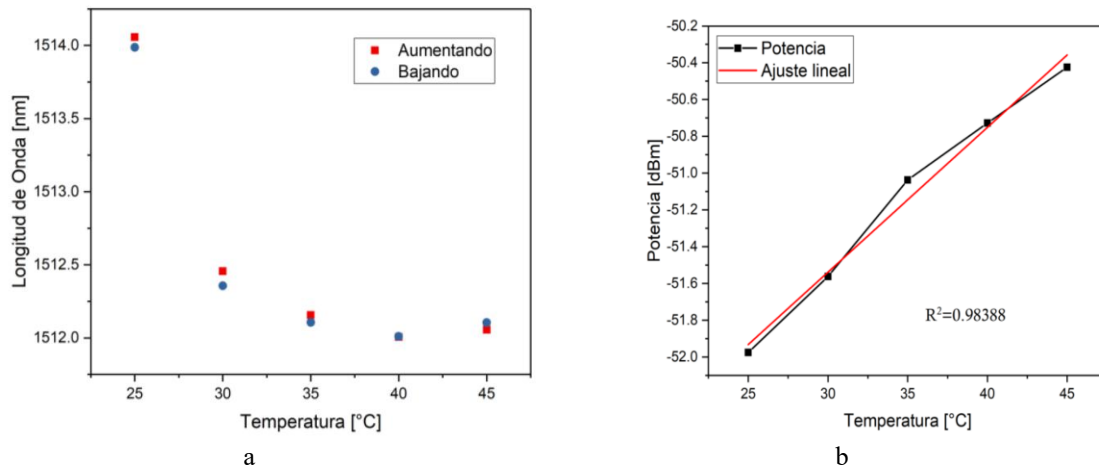
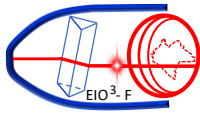


Figura 13. a) Longitud de onda contra temperatura, al aplicar aumentos y disminución de temperatura, **b)** Potencia contra temperatura, con ajuste lineal.

5.3 Detección de Campo Magnético con fibra óptica adelgazada

El campo magnético se usa en aplicaciones cotidianas y a veces es necesario medirlo. Algunos de los primeros intentos de detectar el campo magnético consistieron en analizar los efectos de polarización y los cambios de intensidad generados al deformar una fibra monomodo utilizando un material magnético sensible externo. Estos trabajos utilizan un material externo que responde cuando se aplica un campo magnético. De hecho, los trabajos contemporáneos combinan materiales especiales con interferómetros Fabry-Perot (FPI) o láseres de fibra lineales para proponer un sensor de campo magnético. En este trabajo proponemos un método alternativo de procesamiento de señales para detectar cualquier parámetro físico que modifique la fase, se introducimos el término «fibra óptica biconical» para referirnos a la fibra óptica adelgazada y enfatizar que nuestros dispositivos constan de dos transiciones (en vez de una) y una cintura. Para validar el método, estudiamos un sensor de campo magnético basado en una fibra óptica de doble conicidad (BTOF). El diseño, que opera en modo reflexión, se coloca sobre una cinta magnética económica y de reducido espesor como se muestra en la [Fig. 14](#). Nuestro sensor es compacto requiere solo un centímetro de fibra e insensible a variaciones de polarización, por lo que resulta apropiado para aplicaciones fuera del laboratorio. El campo magnético aplicado alcanza hasta 30 mT mediante un imán permanente desplazable sobre la cinta magnética. La flexión inducida en el BTOF alteró el índice de refracción efectivo de los modos involucrados, y el perfil del índice de refracción puede aproximarse según el radio de curvatura, R_c , mediante (Taylor H. F., 1984, [Yao L.](#), 2009):

$$n(R_c) = n_s \left(1 + \frac{x(1+x)}{R_c} \right) \quad (7)$$

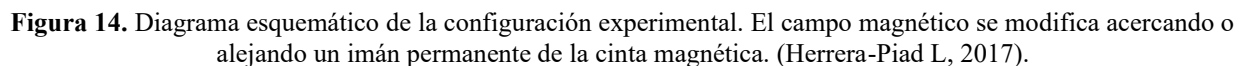


Figure 4 is a line graph showing the reflection coefficient (dB) on the y-axis (ranging from -15 to -3) versus the wavelength (nm) on the x-axis (ranging from 1528 to 1544). Multiple curves are plotted for different magnetic field strengths: 59 mT (solid black), 37 mT (dashed red), 26 mT (dotted blue), 19 mT (dash-dot green), 14 mT (long-dash magenta), 11 mT (solid olive), and 8 mT (solid orange). All curves exhibit a resonance peak. As the magnetic field strength decreases, the peak shifts to longer wavelengths. Three specific points are marked: Z1 is at the peak of the 59 mT curve; Z2 is on the 8 mT curve at a wavelength of approximately 1535 nm; Z3 is on the 14 mT curve at a wavelength of approximately 1541 nm. A green circle highlights the peak region, and a green dashed line connects Z2 and Z3. An arrow labeled 'Desplazamiento' points to the right, indicating the direction of the shift.

Para detectar el campo magnético, se propone un método alternativo de análisis de señales que emplea la frecuencia espacial dominante extraída del espectro de señales. En nuestro caso, utilizamos la frecuencia espacial de interferencia centrada en 5 nm^{-1} , la cual se encuentra en ambos BTOF fabricados, mostrando frecuencias centradas similares. Además, este pico se mantiene prácticamente constante en frecuencia, presentando solo ligeras variaciones en su intensidad. Dichas variaciones no son lineales y cualquier cambio puede atribuirse al campo magnético aplicado.

Para visualizar los cambios inducidos por el campo magnético en el espectro de longitud de onda de BTOF, filtramos el segundo componente en Fourier (véase la Fig. 16a) y se extrae su fase. Posteriormente, trazamos esta fase para una longitud de onda específica de forma arbitraria (véase la Fig. 16b). Como se observa en dicha figura, los incrementos en el campo magnético se identifican claramente por los cambios en la fase, y además, la sensibilidad del método no depende de la región marginal del espectro.

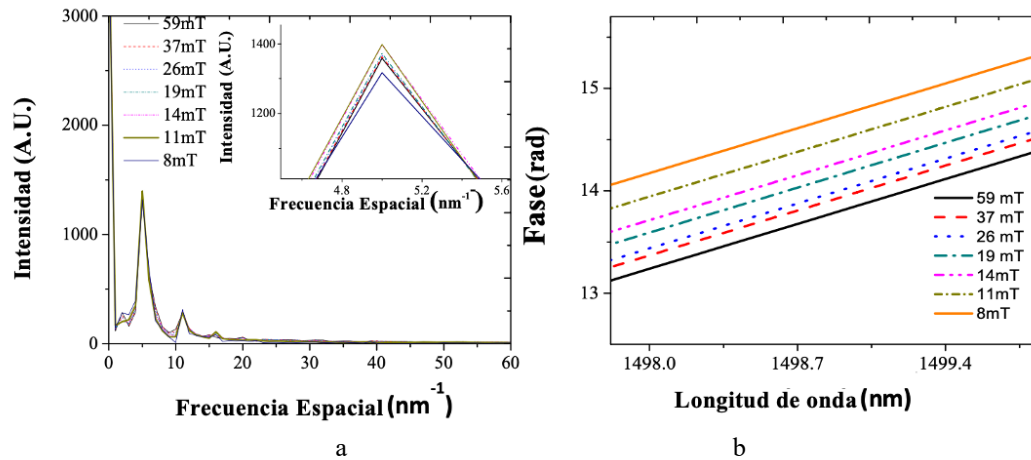


Figura 16. a) Espectro de frecuencia espacial para BTOF cuando se aplica un campo magnético; **b)** Cambios de fase del componente de Fourier filtrado de BTOF cuando se aumenta el campo magnético (Herrera-Piñal, 2017).

5.4 Interferómetro de Sagnac con fibra óptica adelgazadas para detectar cambios en índice de refracción en líquidos.

Uno de los dispositivos de fibra más utilizados en el área de sensores es el interferómetro de Sagnac (IS). El interés por determinar con alta precisión el índice de refracción de líquidos responde a aplicaciones como el control de calidad en industrias químicas y alimentarias, sensores de concentración y salinidad, detección de contaminantes o biomoléculas, monitorización de procesos microfluídicos y mediciones científicas de propiedades ópticas de fluidos. En este trabajo desarrollamos un interferómetro de Sagnac en fibra que incorpora una sección de fibra adelgazada situada en el centro del lazo (Fig. 17). Primero fabricamos fibras ultradelgadas con diámetros menores a $10\ \mu\text{m}$ mediante los métodos de flama y plasma; estas fibras fueron caracterizadas y, al observar franjas de interferencia, se colocaron en el centro del lazo del IS para incrementar la sensibilidad del sensor.

El montaje experimental consta de un diodo láser de bombeo a $980\ \text{nm}$ acoplado a un WDM y empalmado a una sección de fibra dopada con erbio para generar una fuente de amplio espectro ($\sim 1500\text{--}1600\ \text{nm}$) a partir del ruido ASE (Amplified Spontaneous Emission). A la salida de la fibra dopada se conectó un acoplador 70/30; la fibra adelgazada se situó en el lazo del IS y la salida se dirigió a un analizador de espectro óptico. Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica de la Fig. 18.

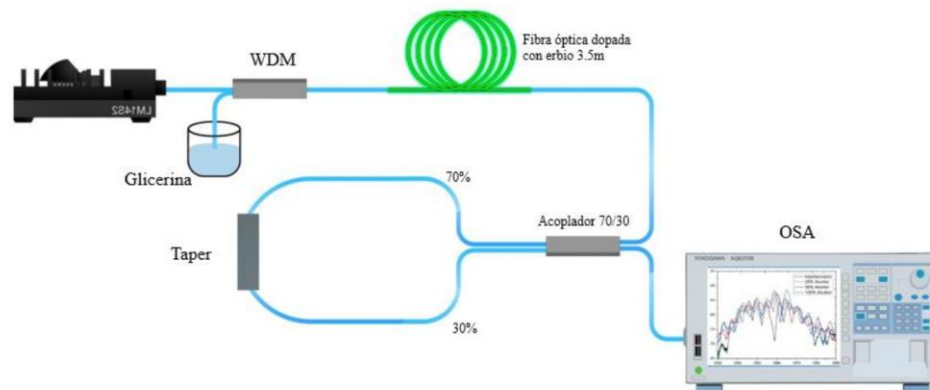
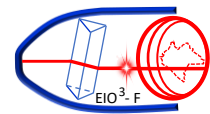


Figura 17. Arreglo experimental para detectar cambios en el índice de refracción en soluciones de agua y alcohol (Cano-García, 2025).



En la gráfica de la **Fig. 18** se presentan los cambios en el espectro de transmisión a la salida del interferómetro de Sagnac, donde la fibra óptica adelgazada fue fijada y sumergida en diferentes soluciones y concentraciones de alcohol. Estos cambios se deben a la variación del índice de refracción para cada solución.

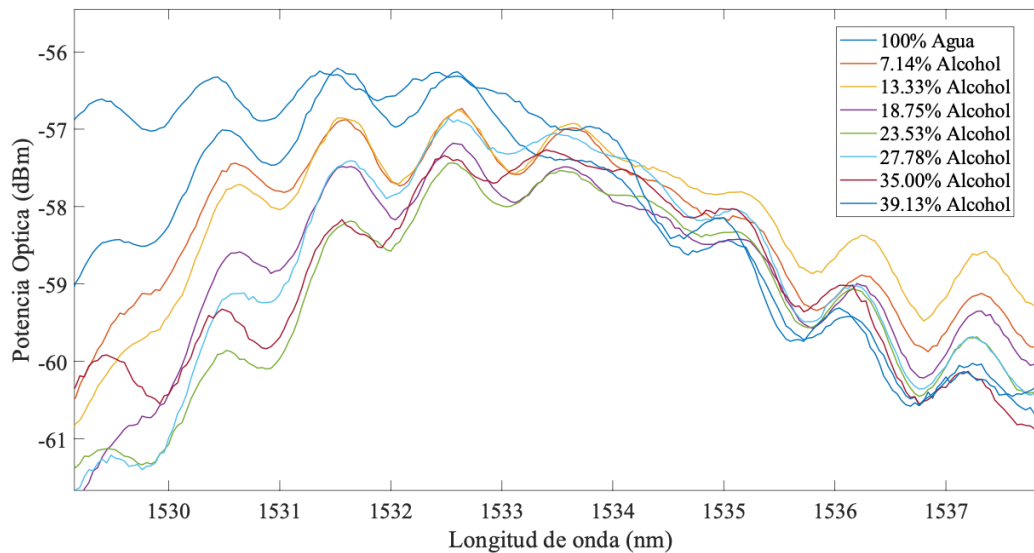


Figura 18. Espectro de salida del arreglo experimental de la **Fig. 17** al cambiar la concentración de la solución agua alcohol (Cano-García, 2025).

Con los resultados obtenidos que se muestran en la **Fig. 18** se analizó en la longitud de onda de 1533nm obteniendo las variaciones de potencia contra concentración de alcohol se observa en la gráfica de la **Fig. 19a** una variación lineal descendiente con forme se incrementa la concentración de alcohol esto demuestra que el dispositivo puede detectar cambios en potencia, así como en longitud de onda al variar el índice de refracción. Se utilizó un refractómetro comercial para medir el índice de refracción, se muestra la gráfica de índice de refracción contra la concentración de alcohol.

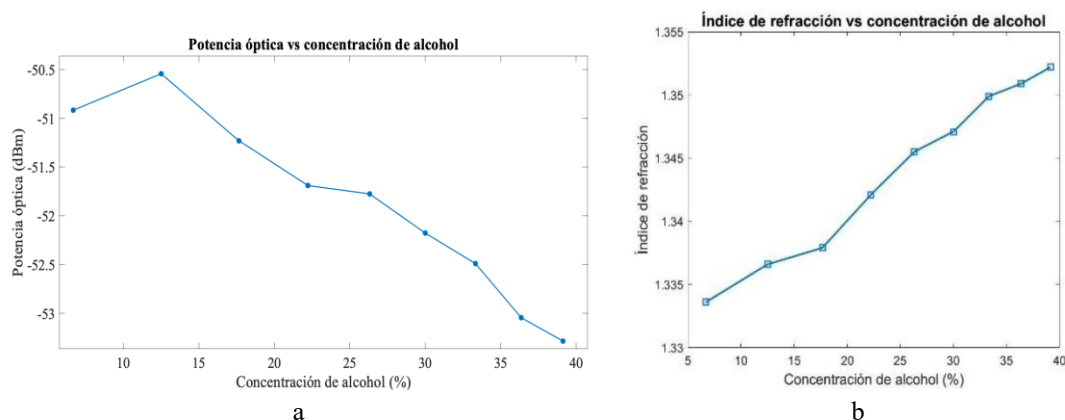
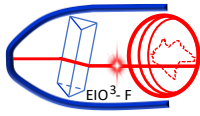


Figura 19. a) Comportamiento de la potencia óptica frente a la concentración de alcohol para el sensor de fibra adelgazada a una longitud de operación de 1533 nm. B) Índice de refracción contra concentración de alcohol para 1553.nm

En la **Fig. 19a** se observa una clara tendencia decreciente en la potencia óptica reflejada a medida que aumentaba la concentración de alcohol. Esta relación se ajustó mediante una regresión lineal con una pendiente de $-0.081 \text{ dBm}/\%$, lo que indica que por cada 1% de incremento en la concentración de alcohol, la potencia óptica reflejada disminuye aproximadamente 0.081 dBm. Esta pérdida de potencia puede atribuirse al aumento del índice de refracción del medio,



lo cual modifica las condiciones de interferencia dentro del sensor y genera una mayor atenuación óptica, ya sea por desajuste modal o por cambios en el acoplamiento de fase.

Conclusiones.

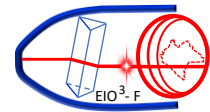
Presentamos una revisión sobre las fibras ópticas ultradelgadas destacando la importancia en la ingeniería avanzada, mostramos cuatro métodos para adelgazar fibras con el fin de dar opciones para fabricar las fibras ópticas ultradelgadas para aplicaciones en áreas de sensado, óptica no lineal y micro resonadores, el método de flama logra hacer fibras adelgazadas del orden de 10 cm de longitud y 1 micra de diámetro de cuello, tiene algunas desventajas debido a que se vuelven frágiles al manipularlos, las fibras adelgazadas con plasma se elaboran hasta con 2 cm de longitud y 8 micras de diámetro de cuello pero son más robustas al manipularlas. Las fibras adelgazadas fabricadas con empalmadora para unir fibras son más difíciles para conservar los parámetros de fabricación y por lo tanto las fibras adelgazadas no son muy uniformes, esto provoca que los espectros sean irregulares. El método que mostró mejores características como menos pérdidas en la transmisión y espectros más uniformes fue el método de plasma, esto se debe a que el plasma alcanza mayores temperaturas al fabricarlas. Mostramos que las fibras adelgazadas pueden tener aplicaciones en diferentes parámetros como sensor de temperatura, sensor de campo magnético, de índice de refracción en líquidos, sensores de curvatura y tensión. Las fibras ópticas ultradelgadas tienen un futuro en aplicaciones biológicas, plasmónica, micro cavidades, Optomecánica, generación de supercontinuo, óptica no lineal entre otras aplicaciones importantes.

Créditos.

Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías campus Irapuato-Salamanca y departamento de Ingeniería Electrónica laboratorio de fibras ópticas.

Referencias bibliográficas.

- Black, R. J., Lacroix, S., Gonthier, F., & Love, J. D. (1991).** *Tapered single-mode fibres and devices. ii. experimental and theoretical quantification.* <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:135698329>
- Birks, T. A., & Li, Y. W. (1992).** *The shape of fiber tapers.* *Lightwave Technology, Journal*, 10(4), 432–438. doi:[10.1109/50.134196](https://doi.org/10.1109/50.134196)
- Cano-García K. L. (2025).** *Fabricación y diseño de dispositivos de fibra óptica para aplicaciones de Sensado óptico*, Tesis: Repositorio Institucional de la Universidad de Guanajuato
- Grellier, A. J. C., Zayer, N. K., & Pannell, C. N. (1998).** *Heat transfer modelling in CO₂ laser processing of optical fibres.* *Optics Communications*, 152(4), 324–328. doi:[10.1016/S0030-4018\(98\)00164-3](https://doi.org/10.1016/S0030-4018(98)00164-3)
- Hernández-Robles E.A. (2017).** *Investigación de Estrechamiento en Fibras Ópticas para Aplicaciones de Sensado Óptico* Tesis: Repositorio Institucional de la Universidad de Guanajuato
- Herrera-Piad, L., Haus, J., Jauregui-Vazquez, D., Sierra-Hernandez, J., Estudillo-Ayala, J., Lopez-Diequez, Y., & Rojas-Laguna, R. (2017).** *Magnetic Field Sensing Based on Bi-Tapered Optical Fibers Using Spectral Phase Analysis.* *Sensors*, 17(8), 2393.
- Hidayat, H., Aziz, M. S., Krishnan, G., Johari, A. R., Nur, H., Taufiq, A., Mufti, N., Mukti, R. R., & Bakhtiar, H. (2023).** *Tapered optical fibers using co2 laser and their sensing performances.* *Journal of Physics: Conference Series*, 2432(1), 012013. <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2432/1/012013>

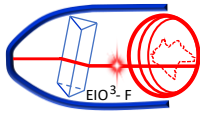


- Hauer, B. D., Kim, P. H., Doolin, C., & et al. (2014).** *On-chip cavity optomechanical coupling*. EPJ Techniques and Instruments, 1(1), 4. doi:[10.1140/epjti4](https://doi.org/10.1140/epjti4)
- Leon-Saval, S. G., Birks, T. A., Wadsworth, W. J., Russell, P. St. J., & Mason, M. W. (2004).** *Optical microfibers and nanofibers: A tutorial*. Optics Express, 12, 2864.
- Love, J. D. (1991).** *Tapered single-mode fibres and devices. Part 1: Adiabaticity criteria*. IEE Proceedings J (Optoelectronics), 138(5), 343–354. <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-j.1991.0060>
- Mart Yeh, R. M., Bachok, N. N., Mashhadany, Y. A., & Arsad, N. (2021).** *Comprehensive review tapered optical fiber configurations for sensing application: Trend and challenges*. Biosensors, 11(8), 2021. doi:[10.3390/bios11080253](https://doi.org/10.3390/bios11080253)
- Navarrete, M. C., Díaz-Herrera, N., González-Cano, A., & Esteban, O. (2014).** *Surface plasmon resonance in the visible region in sensors based on tapered optical fibers*. Sensors and Actuators B: Chemical, 190, 881–885. doi: [10.1016/j.snb.09.066](https://doi.org/10.1016/j.snb.09.066)
- Shi, L., Xu, Y. H., Tan, W., & Chen, X. F. (2007).** *Sensors*, 7, 689.
- Taylor, H. F. (1984).** *Bending Effects in Optical Fibers*. Journal of Lightwave Technology, 2(5), 617–628.
- Tong, L., Zi, F., Guo, X., & Lou, J. (2012).** *Optical microfibers and nanofibers: A tutorial*. Optics Communications, 285(23), 4641–4647.
- Villatoro, J., & Monzón-Hernández, D. (2005).** *Fast detection of hydrogen with nano fiber tapers coated with ultra-thin palladium layers*. Optics Express, 13(13), 5087–5092.
- Ward, J., O'Shea, D., Shortt, B., Morrissey, M., Deasy, K., & Chormaic, S. N. (2006).** *Heat-and-pull rig for fiber taper fabrication*. Review of Scientific Instruments, 77, 05. doi:[10.1063/1.2](https://doi.org/10.1063/1.2)

Biografía de los investigadores.



Julián Moisés Estudillo Ayala, (julian@ugto.mx). Licenciado en Electrónica por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; Maestro y Doctor en Ciencias, con especialidad en fibras ópticas, por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Profesor investigador titular de la Universidad de Guanajuato desde 2001. Sus líneas de investigación incluyen fenómenos no lineales en fibras ópticas, láseres y sensores basados en fibra óptica. Realizó una estancia Sabática en el Centro de Fotónica y Materiales Fotónicos en la Universidad de Bath en Reino Unido. Asesor del capítulo estudiantil IEEE-UG Photonics. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, vigente al 2030.



Juan Carlos Hernández-García, nació en el año de 1982 en Salamanca, Gto. Recibió los títulos de Ing. en Comunicaciones y Electrónica, M. en I. Eléctrica en la Facultad de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Electrónica (Universidad de Guanajuato, México) en el 2006 y 2009. Finalizó su Doctorado en Ciencias en el Centro de Investigaciones en Óptica, A. C. (León, Guanajuato) en el 2012. Realizó una estancia posdoctoral en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (Tonantzintla, Puebla) en el 2013. Del 2014 a la fecha, labora en la División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca (Universidad de Guanajuato) como personal académico del programa Investigadoras e investigadores por México comisionado por la SECIHTI, desempeñando actividades de investigación y docencia. Sus áreas de investigación abarcan: estudios experimental-numérico con láseres en el régimen CW y pulsado (así como aplicaciones y el uso de nuevas tecnologías), fibras ópticas especiales, interferómetro de Sagnac no lineal en comunicaciones ultrarrápidas, y generación de supercontinuo. Pertenecer al nivel 3 del SNII. Cuenta con la participación en más de 19 proyectos de investigación financiados por el SECIHTI, CIO y la UG. Es autor de 82 artículos en revistas indexadas JCR (con más de 1,600 citas), más de 145 publicaciones en proceeding, 4 capítulos de libros, contando con participación en congresos internacionales y/o nacionales.

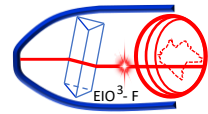


Juan Manuel Sierra-Hernández. Es profesor titular de la Universidad de Guanajuato, campus Irapuato-Salamanca, México. Sus intereses de investigación incluyen sensores de fibra óptica, dispositivos microestructurados de fibra óptica y láseres de fibra óptica. Obtuvo los títulos de máster en Ingeniería y doctor en Ingeniería por la Universidad de Guanajuato en 2011 y 2014, respectivamente.



Daniel Jáuregui Vázquez. Profesor en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada Baja California, Investigador en óptica y fotónica con experiencia en estudios experimentales y teóricos sobre sensores de fibra óptica y láseres. Diseña sensores de fibra óptica compactos y miniaturizados capaces de detectar múltiples parámetros. Investiga dispositivos basados en cristales fotónicos para desarrollar sistemas de comunicación totalmente ópticos. También participa en el estudio y diseño láseres completamente en fibra para aplicaciones en biología e industria.





José Roberto Reyes Ayona. Es profesor asociado en la Universidad de Guanajuato, Salamanca, México. Sus áreas de interés en investigación incluyen las líneas de transmisión, la tecnología de microondas, los metamateriales y la propagación de ondas en la materia. Obtuvo la licenciatura en Electrónica en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, en 2001, así como la maestría y el doctorado en Electrónica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Cholula, México, en 2010 y 2015, respectivamente.



Roberto Rojas Laguna. Es profesor de Cálculo, Álgebra Lineal, Teoría Electromagnética y Aplicaciones de Fibra Óptica en el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Guanajuato, campus Irapuato-Salamanca, México. Dirige proyectos sobre sensores de fibra óptica y la simulación de fenómenos no lineales en fibras ópticas.