

MÁSTER EN NUEVAS TECNOLOGÍAS ELECTRÓNICAS Y FOTÓNICAS

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER - CURSO 2025-2026

PROPUESTA

Título:	<i>Modulación de Pulsos Avanzada para sensado distribuido en fibras ópticas</i>
Título en inglés:	<i>Advanced Pulse Modulation Formats for distributed optical fibre sensing</i>
Tutor/es:	<i>Hugo Fidalgo Martins / Miguel Soriano Amat</i>
Correos-e:	hugo.martins@csic.es / miguel.soriano.amat@csic.es
Lugar de realización:	Instituto de Óptica CSIC Calle Serrano 144, Madrid

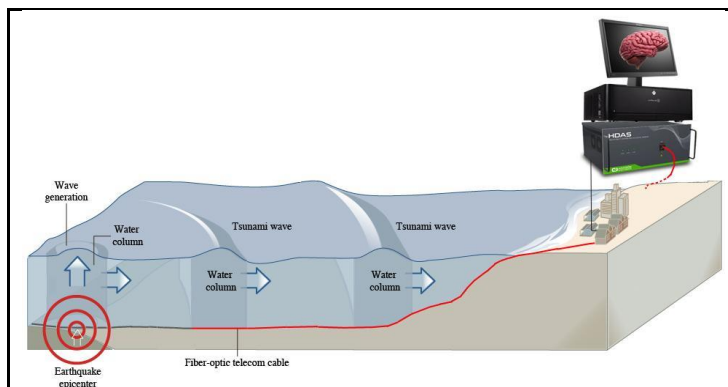
Resumen:

-[Oferta de TFM y Practicas - Se recomienda encarecidamente que se haga el TFM y las practicas la vez]

-[Se estudiará la posibilidad de optar a becas o contratos asociados a estas prácticas]

-[Posibilidad de incorporación a doctorado al final del TFM]

Los sistemas de sensado distribuido constituyen hoy una de las aplicaciones más innovadoras y versátiles de la fotónica moderna. Aunque las fibras ópticas se asocian habitualmente con las telecomunicaciones e Internet, su potencial va mucho más allá de la transmisión de datos. Una misma fibra puede convertirse en un sensor continuo a lo largo de decenas de kilómetros, capaz de registrar temperatura, deformación o vibraciones con una densidad de información inalcanzable para otros sistemas. En lugar de medir en un punto concreto, la fibra actúa como un “nervio óptico” que capta lo que ocurre en todo su recorrido.



Schematic representation of a submarine fiber-optic monitoring system. [Source: A. Ugalde].

Estas capacidades han abierto la puerta a aplicaciones en monitorización estructural de puentes, presas o túneles, en la supervisión de redes energéticas y oleoductos, o incluso en la detección temprana de actividad sísmica y volcánica. Además la capacidad de utilizar infraestructuras ya existentes permite un despliegue rápido de esta solución en el campo, incluyendo infraestructuras submarinas.

Dentro de este contexto, hay aplicaciones los sistemas de alta resolución espacial cobran especial relevancia. No basta con saber que hay una anomalía a lo largo de la fibra: es crucial localizarla con precisión de metros o incluso centímetros, como por ejemplo en alas o fuselajes de aviones, tuberías de gas o cables eléctricos.

La propuesta de TFM consiste en implementar y evaluar distintas soluciones orientadas a incrementar la resolución espacial de un sistema de sensado distribuido. En particular, la mejora se abordará mediante la incorporación de diferentes esquemas de codificación de pulsos en un interrogador de reflectometría óptica en el dominio del tiempo sensible a fase (ϕ -OTDR). El trabajo incluirá también el procesamiento de datos necesario para recuperar y analizar la información obtenida a lo largo de la fibra.

Metodología:

1. Familiarización teórica y experimental.

Se abordará la tecnología desde ambos frentes y se fijarán los objetivos básicos, incluyendo una resolución del orden de xx cm o inferior al interrogar fibras de unos pocos kilómetros.

2. Diseño de los diferentes formatos de modulación.

Se realizará un estudio con lluvia de ideas y simulaciones básicas de distintas formas de onda (p. ej., pulsos, chirp, PRBS) para seleccionar candidatos prometedores.

3- Montaje experimental.

Se ensamblará un banco óptico de sensado distribuido que permita formatos de modulación de pulso flexibles. A continuación, se testeará el setup y se procederá a la realización de las medidas. El tutor de TFM proporcionará soporte para el manejo del material que compone el setup. Además, ayudará en la configuración del sistema de adquisición.

4- Procesado

Obtenidos los datasets generados por el sistema de adquisición, se proporcionarán ejemplos básicos del procesamiento necesario para obtener la respuesta al impulso de la fibra, así como de estimación de diferentes métricas (como la relación señal ruido) para evaluar el rendimiento de las diferentes propuestas. El estudiante deberá adaptar el código de procesamiento a las características de cada modulación.

Por último, se evaluará el rendimiento de las distintas propuestas frente a perturbaciones calibradas de la fibra. Se cuantificarán las ganancias de SNR y se identificarán limitaciones/compromisos operativos para construir un mapa de “prestaciones vs. complejidad e inconvenientes” de cada técnica.

Conocimientos previos recomendados:

Óptica básica: modulación de pulsos de luz y suma coherente de ondas ópticas.

Operación con fibra óptica: manejo de componentes y uso de un montaje ya ensamblado (no se requiere diseñar la arquitectura óptica).

Procesado de señal en ingeniería: análisis en tiempo y frecuencia, recuperación de la respuesta al impulso en sistemas con interrogación modulada y cuantificación de mejoras de SNR.

Programación básica: manejo de matrices y vectores en un lenguaje común (p. ej., MATLAB, Python o C++).

Bibliografía:

H. Zhao, F. Liu, Z. Lian, Z. Wang, X. Yang, and X. Zhou, "Performance enhancement of optical pulse coding phase-sensitive OTDR system with genetic-optimized code," *Opt. Express*, vol. 32, no. 16, pp. 28695–28705, Jul. 2024, doi: 10.1364/OE.527530.

H. F. Martins, K. Shi, B. C. Thomsen, S. Martin-Lopez, M. Gonzalez-Herraez, and S. J. Savory, "Real time dynamic strain monitoring of optical links using the backreflection of live PSK data," *Opt. Express*, vol. 24, pp. 22303–22318, 2016

M. Soriano-Amat, D. Fragas-Sánchez, H. F. Martins, D. Vallespín-Fontcuberta, J. Preciado-Garbayo, S. Martin-Lopez, M. Gonzalez-Herraez, and M. R. Fernández-Ruiz, "Monitoring of a Highly Flexible Aircraft Model Wing Using Time-Expanded Phase-Sensitive OTDR," *Sensors*, vol. 21, no. 11, Art. no. 3766, 2021, doi: 10.3390/s21113766

H. F. Martins, "Large chirped-pulse ϕ -OTDR for single-shot to day-long nano-strain measurements with high dynamic range," in *Proc. 29th Int. Conf. on Optical Fiber Sensors (OFS-29)*, Proc. SPIE, vol. 13639, Porto, Portugal, May 2025, , doi: 10.1117/12.3061866.

L. Hernández-Martín, J. Preciado-Garbayo, J. Canudo, J. D. Ania-Castañón, H. F. Martins, *et al.*, "Raman-assisted large chirped-pulse ϕ -OTDR for long-range millikelvin distributed fibre thermometry," in *Proc. 29th Int. Conf. on Optical Fiber Sensors (OFS-29)*, Proc. SPIE, vol. 13639, Porto, Portugal, May 2025, , doi: 10.1117/12.3061865

J. Canudo, J. Preciado-Garbayo, P. Sevillano, J. Subías, M. González-Herráez, H. F. Martins, B. Gaite-Castrillo, J. B. Bravo-Monge, I. de María, and M. Rodríguez-Plaza, "Ambient Noise Interferometry using Chirped-Pulse DAS data for subsurface exploration," in *Proc. 29th Int. Conf. on Optical Fiber Sensors (OFS-29)*, Proc. SPIE, vol. 13639, Porto, Portugal, May 2025, , doi: 10.1117/12.3062853

M. González-Herráez, M. R. Fernández-Ruiz, H. F. Martins, J. Macías-Guarasa, E. E. Ramírez-Torres, *et al.*, "Distributed Acoustic Sensing in submarine optical fibers," in *Proc. 29th Int. Conf. on Optical Fiber Sensors (OFS-29)*, Proc. SPIE, vol. 13639, Porto, Portugal, May 2025, doi: 10.1117/12.3065984.