

# Medida de flujo solar concentrado en simulador solar basado en fibra óptica y fotodiodo

**Manuel JEREZ<sup>1</sup>, Alejandro CARBALLAR<sup>1</sup>, Ricardo CONCEIÇÃO<sup>2</sup>, José GONZÁLEZ-AGUILAR<sup>2</sup>,  
Xabier RÁNDEZ<sup>3</sup>, Olaia ITOIZ<sup>3</sup>**

1. Dep. Ingeniería Electrónica – E.T.S. de Ingeniería – Universidad de Sevilla; C/ Camino de los Descubrimientos, s/n, 41092, Sevilla, España

2. Unidad de Procesos de Alta Temperatura, IMDEA Energía, Av. Ramón de La Sagra, 3, 28935, Móstoles, Madrid, España

3. Departamento de Energía Solar Térmica y Almacenamiento Térmico, CENER, C/ Ciudad de la Innovación nº7, 31651 Sarriguren, Navarra, España

\*Contact: Manuel JEREZ (mjerez@us.es)



cation



## INTRODUCCIÓN

**Objetivo: Medida de flujo solar concentrado usando una configuración basada en fibra óptica y fotodiodo como captador y detector de radiación**

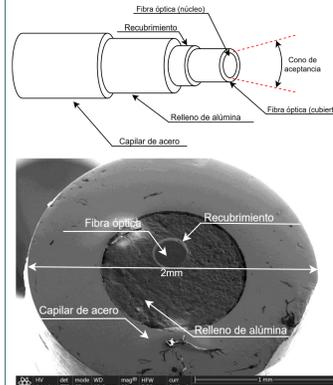
El problema de la Energía Solar Térmica de Concentración (CSP/CST)

La CSP/CST presenta grandes retos relacionados con la monitorización de los procesos que intervienen desde la focalización de los rayos de luz hasta la transformación en calor [2]. Los sistemas CSP requieren tecnologías que proporcionen mediciones de la radiación recibida en condiciones extremas, como radiación intensa, temperaturas de hasta 1000 °C y gradientes térmicos superiores a 500 °C [3]. En [4] se demostró la capacidad de las fibras ópticas para proporcionar mediciones precisas de la irradiancia normal directa (DNI).

¿Por qué fibras ópticas?

La adopción de sensores de fibra óptica mejoraría el mantenimiento predictivo y la eficiencia al proporcionar mediciones en tiempo real y la distribución del flujo concentrado en la superficie, difíciles de conocer con precisión usando sensores tradicionales. Además, los sensores propuestos son menos invasivos en el receptor, tienen una dinámica más rápida y un montaje más sencillo, lo que simplifica su mantenimiento.

## FIBRAS ÓPTICAS DE ALTA TEMPERATURA



Esquema y detalle de la punta de la fibra óptica para alta temperatura usada como captador de radiación

Los diseños de fibra óptica empleados se realizaron en colaboración con la empresa Engionic. Las figuras adyacentes muestran el esquema y el detalle (utilizando un SEM) de la punta expuesta a la radiación. Se observa que, a la fibra óptica, se le añade un recubrimiento de oro o poliamida de alta temperatura. Este conjunto se introduce dentro de un capilar de acero, y entre ambas un relleno de alúmina que busca aislar la fibra óptica del calentamiento sufrido por el acero. Esta configuración preserva la integridad estructural de todo el dispositivo, manteniendo el tamaño reducido que se busca para interferir lo menos posible con el receptor CSP.

De acuerdo con las especificaciones del fabricante, las fibras ópticas recibidas mantienen un rendimiento estable hasta los 700°C y pueden soportar picos de temperatura de hasta 1000 °C, adecuados para el experimento de prueba de concepto en el simulador solar de alto flujo (HFSS).

## MONTAJE EXPERIMENTAL

Primera prueba (IMDEA Energía, Móstoles, Madrid)

La primera campaña de pruebas fue realizada en el simulador solar KIRAN-42 localizado en IMDEA Energía. Este HFSS cuenta con 7 lámparas de xenón dispuestas de forma elipsoidal, aunque sólo una fue empleada para los experimentos.

Las fibras ópticas se expusieron a la radiación utilizando una placa de Inconel con conectores estancos a través de los cuales pasaba la fibra, asegurando que el extremo de la fibra estuviera correctamente orientado hacia la fuente de luz. Esta placa estaba cubierta por una plancha de alúmina que solo dejaba expuesta una pequeña sección para que la fibra recibiera la radiación.



Montaje del extremo de la fibra expuesta a la radiación en el simulador solar de IMDEA Energía.

Segunda prueba (CENER, Sarriguren, Navarra)

El simulador solar de CENER cuenta con una lámpara de xenón que se encuentra dentro de una cámara, como se muestra en la figura a la derecha. Este HFSS posibilita niveles de potencia ajustables y cuenta con un espejo elipsoidal que enfoca la luz emitida, permitiendo entregar hasta 1.1 MW/m<sup>2</sup> en el foco. El montaje realizado fue similar al realizado en IMDEA, con una placa de acero colocada sobre una mesa posicionadora a través de la cual se hacía pasar la fibra. La placa estaba cubierta con lana cerámica para protegerla de las altas temperaturas. En este caso, un termopar se colocó junto al conector de la fibra para medir la temperatura en la parte trasera del acero.



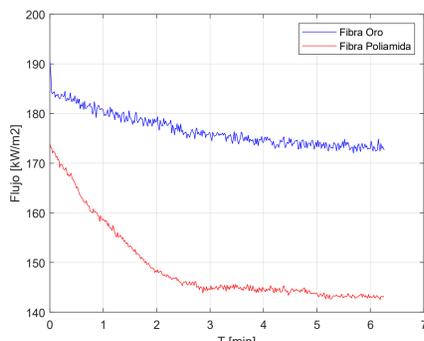
Detalle de la parte posterior del montaje en el HFSS de CENER.

## RESULTADOS

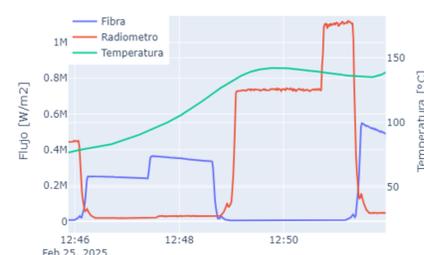
Los resultados obtenidos avalan el uso de la configuración propuesta para la medida de flujo concentrado. Estas pruebas de concepto han permitido identificar algunos problemas que deben ser atajados antes de realizar el diseño final que será instalado en los receptores CSP.

Valores absolutos de medida

La primera observación está relacionada con los valores de medida obtenidos, que quedan lejos de la medida realizada por el radiómetro comercial instalado en ambos experimentos. En la figura de la derecha, arriba, correspondiente a los experimentos realizados en IMDEA Energía, se observan valores de flujo máximos ligeramente superiores a 190 kW/m<sup>2</sup> y 170 kW/m<sup>2</sup> en las fibras con recubrimiento de oro y poliamida, respectivamente. Este valor se encuentra lejos del arrojado por el Gardon en ese momento, que era en torno a 330 kW/m<sup>2</sup>. Lo mismo se observa en la figura inferior, correspondiente a los experimentos realizados en CENER, donde se comparan las medidas dadas por el radiómetro y la configuración de fibra.



Medida de flujo concentrado con fibras con recubrimiento de oro y poliamida en IMDEA Energía.



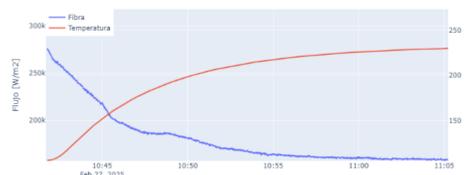
Medida de flujo concentrado con fibra óptica y recubrimiento de poliamida frente a medida del Gardon y temperatura en CENER.

Campo de visión

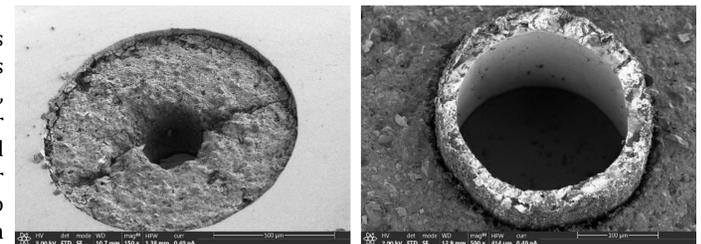
Esta discrepancia está relacionada con los ángulos de incidencia de la luz. En el caso de las fibras ópticas se define un campo de visión de 24°, suficiente para acoplar la luz en el simulador solar de IMDEA, pero no en el de CENER, donde más del 35% no podían ser capturados por la fibra. Por otro lado, la fibra atenúa todos los rayos que no inciden perpendicularmente en la fibra debido a la función penumbra que impone la característica de apertura numérica, lo cual contribuye también a esa diferencia entre las dos medidas de flujo.

Dependencia con la temperatura

Además, en la figura inferior se observa la dependencia de la medida con la temperatura, que también se intuye en las figuras a la izquierda.



Medida de flujo concentrado con fibra óptica y recubrimiento de poliamida frente a temperatura en CENER.



Detalle de las puntas de las fibras ópticas observadas con SEM tras su exposición a alta radiación.

Daño físico

Tras las campañas de experimentos se hicieron inspecciones con SEM de las fibras para evaluar el daño sufrido. En la figura superior izquierda se muestra una fibra con 200 µm de diámetro de núcleo y recubrimiento de poliamida, donde la fibra se ha retraído de la superficie circundante, mostrando quiebras en la alúmina y un espacio vacío donde debería estar la alúmina, que parece haberse volatilizado. Esta imagen contrasta con la imagen superior derecha, correspondiente con una fibra de oro, donde destaca la integridad estructural del recubrimiento, que parece presentar un mayor grosor. En este caso, la fibra también se encuentra retraída respecto del resto de la estructura, con el recubrimiento de oro elevado respecto del relleno de alúmina.

## CONCLUSIONES

Aunque los resultados confirman la viabilidad de medir el flujo solar concentrado, aún quedan desafíos antes de alcanzar el objetivo de poder medir flujo solar concentrado de hasta 1.5 MW/m<sup>2</sup>. Se destaca la necesidad de ampliar el campo de visión de la fibra, así como desarrollar estrategias para el montaje de las fibras en los receptores que reduzcan la conducción. Tras la campaña de experimentos, una inspección con SEM mostró la alteración de la estructura de las fibras. Se observaron grietas en el relleno de alúmina, que no deberían afectar las mediciones al ser solo un aislante térmico. En cuanto a los materiales que componen la fibra, los ensayos confirmaron que la poliamida se volatiliza en las temperaturas de trabajo; mientras que el oro, aun siendo mejor opción dada la estabilidad térmica en las medidas, requiere garantizar que no se supere su temperatura de fusión. Asimismo, se detectaron desplazamientos en las fibras ópticas dentro del capilar metálico, lo que podría haber contribuido a pérdidas de potencia por efectos de sombreado en el núcleo de estas.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Este trabajo se ha desarrollado en el marco de los proyectos de investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación, CHLOE con referencia PID2021-125786OB-C22, y CATION con referencia TED2021-132190B-C22; así como del proyecto ASTERIX-CAESAR, que ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizon Europe de la Unión Europea bajo el acuerdo de subvención N° 101122231.

## REFERENCES

- [1] S.N. Khonina et al., "Optical fiber sensors: Working principle, applications and limitations", Adv. Photonics Res. 2022, 3, 2100371 (July 2022). <https://doi.org/10.1002/adpr.202100371>.
- [2] Romero M., González-Aguilar J. Solar thermal CSP technology (2014) Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 3 (1), pp. 42 - 59, <https://doi.org/10.1002/wene.79>
- [3] Y.-L. He et al., "He, Y.-L.; Wang, K.; Qiu, Y.; Du, B.-C.; Liang, Q.; Du, S. Review of the solar flux distribution in concentrated solar power: Non-uniform features, challenges, and solutions", Appl. Therm. Eng., 149, pp. 448-474 (February 2019). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.12.006>.
- [4] A. Carballar et al., "Measuring DNI With a New Radiometer Based on an Optical Fiber and Photodiode", Sensors vol. 24, pp. 3674 (June 2024). <https://doi.org/10.3390/s24113674>.