

# TRANSDUCTOR DE FIBRA ÓPTICA PARA LA MEDIDA DE ALTAS TEMPERATURAS

Fco Javier Madruga, Daniel A. González, Marian Quintela,  
Mauro Lomer, Cesar Jáuregui, Jose Miguel López Higuera

Grupo de Ingeniería Fotónica. Departamento TEISA  
Universidad de Cantabria  
madruga@teisa.unican.es

## Abstract

The quality of the iron steel bars made on the steel production industry, among other, depends on the temperature profile during the cooling and solidifying process. A new multipoint high temperature transducer based on the optical power collected by a group of multimode optical fibers has been developed for measuring the transversal cooling profile. The optic fibers are adequately sheathed by a ceramic mixture in order to achieve its mechanical and thermal protection. Besides in order to use the transducer in pollution environments, the probe is putted inside of a close chamber with a window made with a vitreous ceramic material. The use of silica fiber optic limits the spectral range to analyze, and the measured temperature range. The behavior of the transducer from the angle, the distance and the change of emissivity have been measured, and the transducer has been optimized. The transducer was calibrated in the Photonics Engineering Group laboratory and it was installed in a iron-steel bar manufacturing plant in Spain where it is working high relative humidity and high temperature environment.

## 1. INTRODUCCIÓN

La estimación de la temperatura es una de las medidas más valoradas debido a la gran importancia que tiene esta magnitud sobre la calidad final del producto. Por ejemplo, en la fabricación de acero, se precisa tener un control de la temperatura durante el proceso de solidificación del mismo. La aplicación de transductores de fibra óptica para la medida de temperatura presentan ventajas tales como su amplio rango dinámico, inmunidad a interferencias electromagnética y su alta sensibilidad potencial.

Las técnicas para la medida de altas temperaturas usando fibra óptica se basan principalmente en radiación termo óptica emitida por el objeto cuya temperatura se quiere determinar[1,2]. Su principal ventaja radica en que una vez la radiación ha sido recogida por el transductor o sonda, se puede transmitir a una considerable distancia, lo que permite usar esta clase de sistema sensor en entornos hostiles.

En la industria del acero, los usos de transductores de radiación térmica se dividen en tres categorías en función de la relación entre la temperatura del objeto a medir y la temperatura del ambiente que lo rodea. Categoría 1 temperaturas similares, categoría 2 temperatura del objeto mucho mas caliente que el entorno y categoría 3 temperatura del objeto mucho más fría que el entorno[3].

En esta comunicación, un sensor multipunto sin contacto para la medida de altas temperatura durante el proceso de enfriamiento en la producción de barras de acero se presenta.

## 2. ARQUITECTURA DEL TRANSDUCTOR

El transductor esta basado en la captación de la radiación de Planck cuya una primera aproximación viene derivada dela aproximación de Wien para una banda de longitudes de onda dada.

$$I(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{L(\lambda)\epsilon(\lambda)C_1}{\lambda^5 \exp(C_2/\lambda T)} d\lambda \quad (1.)$$

donde  $\epsilon$  es la función de la emisividad del objeto  $\lambda$  es la longitud de onda  $C_1$  y  $C_2$  son constantes, y  $L$  es un factor de perdidas de transductor que depende de varios parámetros, como el acoplo de luz a fibra, el area del transductor, la sensibilidad y responsabilidad del detector, la atenuación del canal, ect... Puede ser aproximada por

$$L(\lambda) = F(\lambda)e^{(-\alpha(\lambda)l)}R(\lambda) \quad (2.)$$

De todo ello se deduce que la dunción inversa que relaciona la temperatura con la intensidad de la luz captada es compleja de calcular y aproximaciones por polinomios han sido usadas[5,6]. Para poder obtener la característica transversal de la temperatura de la barra, el transductor construido presenta tres canales. Esta decisión se basa en la observación de imágenes termográficas obtenidas en la planta, y donde se deduce que tres puntos es suficiente para determinar el gradiente de la temperatura de la superficie de la barra. Para construir correctamente la protección necesaria para que la fibra óptica pueda trabajar sin degradación a alta temperatura y humedad, materiales de muy específicas características se han utilizado. El transductor ha sido construido con dos materiales: un material soporte compuesto por una mezcla de cerámicas y hormigón, y un material de cubierta compuesto por cerámica de baja emisividad y modificada para cambiar su coeficiente de dilatación térmica y evitar que produzca roturas en las fibras[7], como se observa en la figura 1.

## 3. COMPROBACIONES EXPERIMENTALES

Utilizando un setup experimental donde se usa un calibrador de cuerpo negro Mikrón 330 para generar la radiación a altas

temperaturas. La radiación captada por el transductor fue guiada a través de un canal de fibra de longitud 32 metros, hasta un analizador de espectros ópticos Anritsu MS9701A y un medidor de potencia AGILENT 8163, donde se mide el espectro y la potencia captada por el transductor para diferentes ángulos y distancias respecto a la fuente.

Se realizaron mediadas del espectro captado por el transductor a distancia fija y variando el ángulo observando una desviación  $1,7^\circ$  en el extremo de la fibra con respecto al eje. Para un ángulo fijo donde captación es máxima se mide el espectro captado para diferentes distancia y se comprueba que el factor de pérdida F de la ecuación 2 no depende de la longitud de onda .

La potencia óptica captada es medida con u fotodetector con un rango de longitudes de onda entre  $1\mu\text{m}$  y  $1.7\mu\text{m}$  para diferentes ángulos incidentes y a diferentes distancias. Los resultados se muestran en la figura 2, donde se observa que independientemente de la distancia objeto-transductor, la temperatura del objeto, existen un rango de aproximadamente  $13^\circ$  donde la potencia no decae por debajo de 1dB cuando se varia el ángulo de incidencia de la radiación. Lo que puede ser considerado como el ángulo de captación del transductor.

Finalmente se estudio la estabilidad del transductor, captando durante un tiempo de 12 horas la radiación correspondiente a  $1100^\circ\text{C}$  y convirtiendo la radiación a temperatura con el polinomio siguiente

$$T(^{\circ}\text{C}) = -9664.1I^3 - 2496.8I^2 + 3794.1I + 628.56 \quad (3.)$$

Los resultados muestran una variación de la temperatura de  $\pm 3^\circ\text{C}$  lo que significa un error inferior al 1%. La temperatura promedio media es de  $1107,9^\circ\text{C}$  lo que significa un error absoluto de  $7.9^\circ\text{C}$  y un error relativo del 0.72%. Si consideramos que la oscilación de la fuente de calibración es de  $1^\circ\text{C}$  a las 8 horas de funcionamiento y que su precisión esta entorno al  $3^\circ\text{C}$ , el error imputable al transductor es menor.

#### 4. CONCLUSIONES

Un transductor de fibra óptica para el monitorizado de la característica de temperatura en una línea de producción de barras de acero ha sido diseñado y construido. Está basado en la ley de Planck que relaciona la radiación térmica de un objeto y su temperatura. El transductor tiene tres canales que permiten medir en el centro y en los dos lados de la barra. Cada uno de los canales ha sido calibrado y se han medido su funcionamiento ante variaciones del ángulo y la distancia con respecto al objeto, así como su deriva temporal.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la CICYT su apoyo a través del proyecto SUGAROS TIC'2001-0877-C02-01.

#### 6. REFERENCIAS

- [1] R.R. Dils, "High temperature optical fiber thermometer", J. Appl. Phys. 54, 1198-1200 (1983).
- [2] José M. López-Higuera, Fco. Javier Madruga, Daniel A. González, Victor Álvarez & Javier Hierro, "High

temperature optical fiber transducer for a smart structure on iron-steel production industry", SPIE's 8<sup>th</sup> Annual International Symposium on Smart Structure, Newport Beach, March 2001.

- [3] G. Raymond Peacock, "A Review of non contact process temperature measurements in steel manufacturing" Thermosense XXI, SPIE Vol 3700, 171-189, 1999
- [4] R.P. Madding, "Science behind thermography", Proc. SPIE, Vol. 371, pp.2-9, 1982.
- [5] X. Maldague, "Non destructive evaluation of material by infrared thermography. London Springer-Verlag 1993:224(new revised edn, exp in 2001, John Wiley and Sons Pub.).
- [6] Fco. Javier Madruga, Daniel A. González, Victor Álvarez, Juan Echevarria & José M. López-Higuera "Optical fiber transducer for monitoring the cooling profile of iron steel bar", SPIE's 9<sup>th</sup> Annual International Symposium on Smart Structure, San Diego, March 2002
- [7] Salamander Ceramic Infrared Emitters Technical Manual.

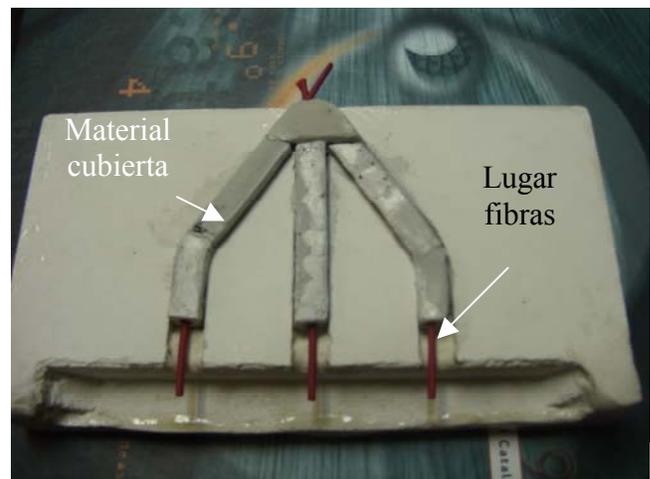


Figure 1 Fotografía del transductor durante el proceso de fabricación.

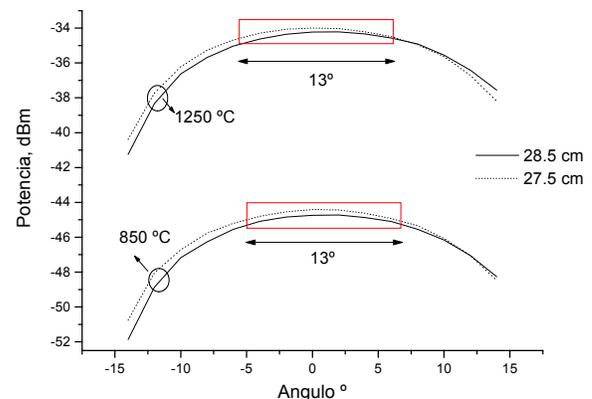


Figure 2 Variación potencia captada respecto al ángulo para diferentes distancia y temepaturas