

Determinación Fiable de la Eficiencia de Fibras Ópticas Amplificadoras de Sílice Dopadas con Tierras Raras

J.M. López-Higuera*, D.L. Williams**, J. Ainslie **, R. Wyatt**, y J. Massicott**

**Grupo de Ingeniería Fotónica de la Universidad de Cantabria,
Avd. Los Castros s/n 39005 Santander, Tfno. 942-201498; Fax: 942-201402*

***Advanced Technologies Section, BT Laboratories, U.K.*

Abstract.- One of the optical characteristics that best represent the suitability of an optical fibre is efficiency.

Recent experimental work carried out in British Telecom Laboratories (BTL) has provided evidence that relative efficiency is a function of the length of the fibre for excited conditions. The efficiency increases with the length, reaching a maximum and from this region, the efficiency decreases with the length of the fibre. An Absolute maximum efficiency was achieved between points of the fibre that can be fitted with 45 to 55 dB of absorption at 1530 nm, for a launched input signal power of about 1.2 mW. So, in order to obtain a representative parameter of the yield of pump power conversion into signal power, the efficiency may be measured between the above mentioned points.

1.- Introducción

El dopado con tierras raras tales como el erbio de los núcleos de fibras de SiO₂ confiere a las mismas naturaleza activa de tal suerte que pueden ser utilizadas, entre otras cosas, para desempeñar funciones de amplificación o generación de radiaciones luminosas láser. Lo anteriormente citado supone que bombeando con radiaciones luminosas centradas en longitudes de onda convenientes (980 ó 1480 nm por ejemplo), se puede producir generación de luz estimulada por la señal óptica que viaja por la fibra, si su longitud de onda se centra en valores típicos de la tercera ventana de transmisión (1550 nm) y, consiguientemente, su amplificación en el dominio óptico.

Uno de los parámetros más representativo de la capacidad de amplificación de una fibra óptica, es su eficiencia. En lo que sigue se presenta unos breves fundamentos teóricos que justifican la definición conceptual de la eficiencia, se prosigue con la presentación de los trabajos experimentales realizados, sus resultados y breve discusión, y se finaliza con las conclusiones obtenidas.

2.- Fundamentos teóricos

Es conocido que si en una fibra óptica activa, convenientemente bombeada, la potencia de la señal luminosa supera el valor conocido como potencia de saturación de la señal óptica, se produce una relación lineal entre la potencia óptica de señal ganada a lo largo de la fibra, y la potencia de bombeo absorbida, ambas expresadas en vatios.

$$P_{ss} - P_{se} = \eta (P_{bs} - P_{be}) \quad (1)$$

En esta expresión, P_{ss} , P_{se} , y P_{bs} , P_{be} son las potencias de señal "s" y bombeo "b" en la salida y entrada respectivamente. η es conocida como eficiencia de la fibra, relacionándose con la eficiencia cuántica (E.C.) a través de las longitudes de onda de las radiaciones ópticas de bombeo y señal según la expresión

$$E.C. = \eta (\lambda_s / \lambda_b) \quad (2)$$

de (2) se deduce que el máximo de eficiencia en la fibra amplificadora quedará limitado al valor λ_b / λ_s , cuando se alcance, a su vez, el máximo de eficiencia cuántica, la unidad, lo que sólo es posible si las pérdidas de la fibra son despreciables. El trazado de la curva descrita en la ecuación (2) corta al eje de abscisas en el punto de potencia absorbida P_{abu} conocida como potencia umbral. Ahora bien, cumpliéndose las condiciones anteriormente mencionadas ($P_s \gg P_{sat}$), cabe preguntarse: ¿resulta la misma eficiencia midiéndola sobre diferentes longitudes de fibra? y, en caso negativo, ¿cuál debe ser la longitud de fibra sobre la que se puede obtener el máximo de eficiencia?. En principio se consideraba que la potencia umbral debe decrecer y la eficiencia crecer al reducir la longitud de la fibra hasta que se alcanza una región en la que la eficiencia se mantiene constante aunque se acorte la fibra. Exhaustivos experimentos realizados recientemente en BTL han demostrado que lo mencionado no siempre es cierto.

3.- Experimental

Una gran variedad de fibras dopadas con erbio e, incluso codopadas con lantano, que ofrecieron absorciones de pico (centrado en 1530 nm) desde algunos dB/m hasta 170 dB/m fueron fabricadas en BTL. La eficiencia ofrecida por las mismas fue medida utilizando el montaje mostrado en la figura 1. En resumen, tras realizar cuidadosamente el conexionado óptico - mediante fusión - de las fibras standard usadas en telecomunicación, con la fibra amplificadora, se procedió a medir las potencias de bombeo y de señal a la salida y, posteriormente tras el consiguiente corte y nueva conexión óptica, se repitió lo mismo en la entrada de la fibra. Todo ello se realizó manteniendo constante la potencia de la señal luminosa en la entrada, variando la de bombeo a lo largo de 22 puntos previamente seleccionados en el ordenador de control y adquisición de datos.

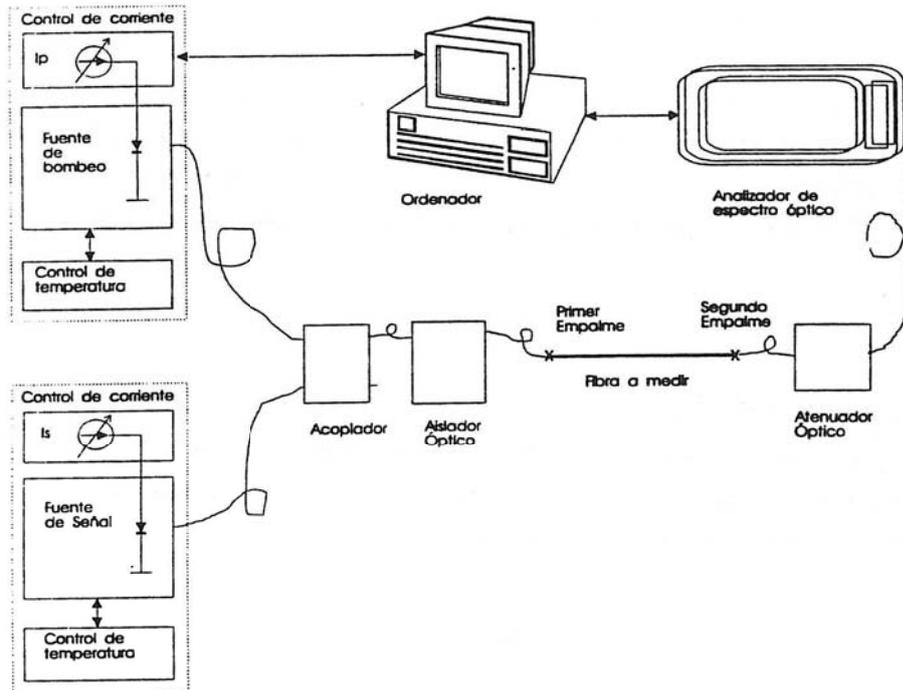


Figura 1.- Esquema del montaje utilizado para medir la eficiencia de las fibras amplificadoras

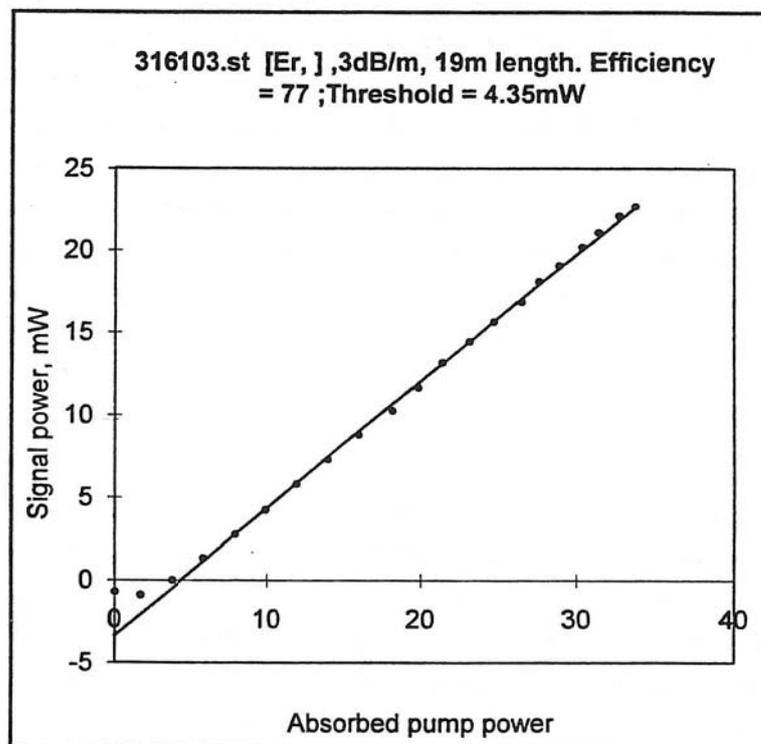


Figura 2.- Curva obtenida de potencia de señal extraída en función de la potencia de bombeo absorbida, para medir la eficiencia y la potencia absorbida umbral.

Las longitudes de onda de las radiaciones ópticas de bombeo y señal fueron 1480 nm y 1550 nm respectivamente. Los datos adquiridos y debidamente tratados dieron lugar a gráficas como la mostrada en la figura 2.

Cada fibra fabricada fué medida desde longitudes largas a muy cortas realizando cortes sucesivos, a partir de la salida, lo que posibilitó, la medida de la eficiencia ofrecida por la fibra en función de la longitud, y entre tramos diferentes de la misma

4.- Resultados y su discusión

De las primeras caracterizaciones realizadas sobre dos puntos, se vislumbraron resultados en desacuerdo con la teoría previa, por lo que se investigó experimentalmente la eficiencia en función de la posición, y longitud de la fibra,, manteniendo una potencia de señal óptica introducida en el principio de la fibra en un valor constante de 1.20 mW. Esquemas como el mostrado en la figura 3 fueron obtenidos y, de ellos se dedujo que la eficiencia de la fibra crece hasta un valor máximo para posteriormente decrecer con el aumento de la longitud de la fibra óptica.

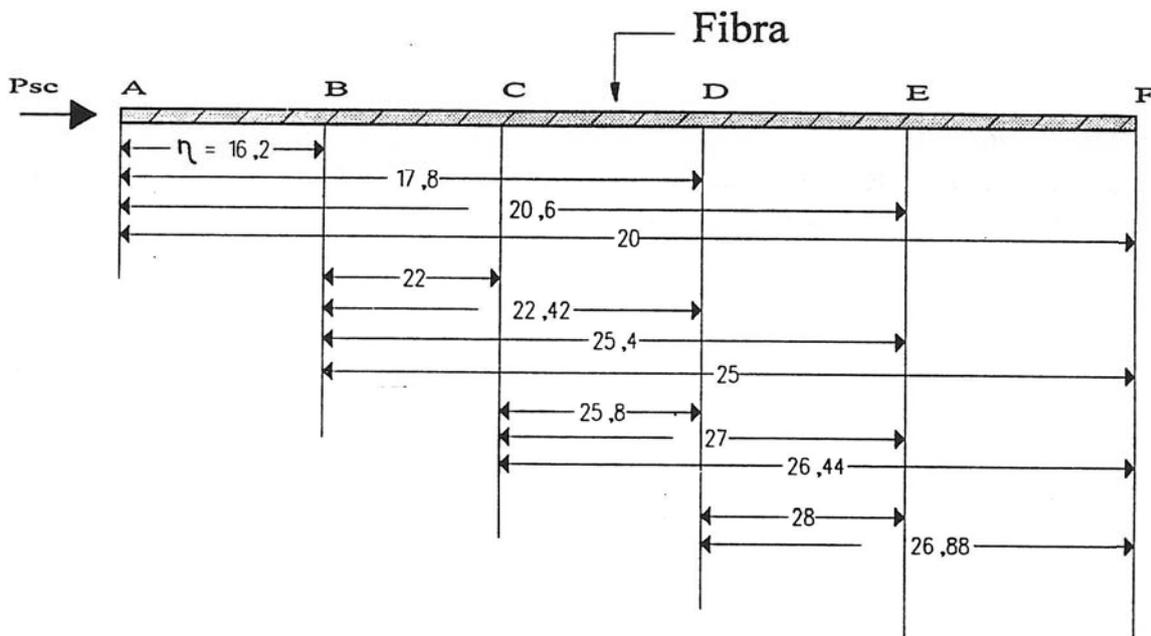


Figura 3.- Eficiencia (η) medida entre diferentes tramos de la fibra con la misma potencia óptica de señal en el principio de la fibra amplificadora ($P_{sc} = 1,2 \text{ mW}$)

Este resultado se repetía relativamente aunque se tomaran diferentes entradas de referencia. Todo ello condujo a la conclusión de que dadas unas condiciones de excitación de la fibra, existe una región de la misma (puntos D-E de la figura 3) en la que la eficiencia es máxima, lo que indujo a pensar que es en esta región en la que la eficiencia cuántica toma su valor máximo. Esta región se cifró, para una potencia de la señal de entrada de 1.20 mW entre puntos cuya absorción a 1530 nm corresponde aproximadamente a 45 y 55 dB.

5.- Conclusiones

Trabajos experimentales realizados en los laboratorios de British Telecom, han mostrado que la eficiencia ofrecida por una fibra amplificadora depende poderosamente de las condiciones de excitación, y de las longitudes de fibra óptica que se utilice en los experimentos. Se ha obtenido que la eficiencia en función de la longitud de la fibra presenta un máximo relativo en una determinada región de la misma. Con excitaciones de potencia óptica de señal en el inicio de la fibra de 1,2 mW, máximos de eficiencia absolutos han sido obtenidos midiendo en regiones de las fibras correspondientes a puntos comprendidos entre 45 y 55 dB de absorción a 1530 nm. Cosiguientemente, es en estas regiones donde se deberá medir la eficiencia cuántica máxima, como parámetro absoluto representativo de la capacidad de conversión de potencia procedente de la radiación óptica de bombeo, en potencia de señal.

Reconocimiento: Este trabajo ha sido posible gracias a BT Laboratories y a la financiación del investigador español a través de las ayudas concedidas por la D.G.I.C.Y.T. y de la C.I.C.Y.T.