

Caracterización de un amplificador de fibra óptica dopada con erbio con pulsos en función del tiempo

J.L. Camas Anzueto*, E.A. Kuzin, R. Téllez, B. Ibarra E. y G. Beltrán

*Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica,
Apartado Postal 61 y 216, 72000, Puebla, Pue., México,*

**e-mail: caman@inaoep.mx*

Recibido el 10 de marzo de 2003; aceptado el 4 de julio de 2003

En este trabajo mostramos la caracterización de un amplificador de fibra óptica dopada con erbio (Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA). Se analiza la confiabilidad de éste, además, la ventaja que presenta ante otro tipo de método. El EDFA que se utilizó tiene una longitud de fibra dopada con erbio de 10 metros con una concentración de 1000 ppm.

Descriptores: Fibra óptica; amplificador óptico.

In this work we show simple characterization of an EDFA. We analyze the confiability of this method, we makes the comparison with another method. We discuss the advantage of this method. The EDFA that was used in the arrangement has a 10 meters Erbium doped fiber length with a concentration of 1000 ppm.

Keywords: Fiber optics; optic amplifier.

PACS: 42.81.Cn; 85.60.-q; 84.30.Le; 42.87.-d

1. Introducción

Un sistema de transmisión vía fibra óptica está limitado por las pérdidas y dispersión. Actualmente, el amplificador óptico es de gran importancia para estos sistemas de transmisión a grandes distancias, ya que viene a sustituir a repetidores electrónicos, los cuales limitan el ancho de banda. La evaluación de un EDFA requiere medidas de la ganancia para un rango de señales de entrada y potencia de bombeo diferentes. En la literatura encontramos que la caracterización de un EDFA es a veces complicada, habiendo varios métodos para caracterizarlo. Una de las dificultades de la caracterización de un amplificador es la presencia de la emisión espontánea amplificada (Amplified Spontaneous Emisión, ASE). La ASE se suma con la señal amplificada en la salida del amplificador y puede deteriorar la precisión de las medidas de la amplificación. Varios métodos para solucionar este problema fueron propuestos en la literatura. Uno de los métodos discrimina la señal de ruido mediante una detección sensible a la fase [1,2]. También, hay una técnica conocida como extinción en el dominio del tiempo, la cual es un método atractivo para medir ganancia espectral, la ventaja de este método es que la ASE puede ser medida directamente [3]. Existe una versión modificada relacionada con la extinción en el dominio del tiempo, la cual utiliza un láser sintonizable modulado con conmutadores acusto-ópticos [4].

En nuestro trabajo queremos dar una alternativa más sencilla para caracterizar un EDFA, utilizando equipo que debe de tener un laboratorio convencional de fibra óptica. Básicamente, en el trabajo utilizamos tres formas de señal de entrada: pulsos cortos de potencia respectivamente alta y fácil para medir, (Fig. 1a), pulsos cortos colocados sobre una señal de onda continua de alta potencia (Fig. 1b) y, pulsos largos con frecuencia de repetición muy baja (Fig. 1c). Con la forma de

la señal de entrada en la Fig. 1a, la amplificación de los pulsos cortos corresponde a la amplificación de bajas potencias de la señal y al mismo tiempo la ASE no afecta mucho porque su potencia es mucho menor que la potencia de los pulsos. Para la forma de la señal de entrada presentada en la Fig. 1b, lo único que se fue variando fue la señal de onda continua, manteniendo siempre constante el pulso de baja potencia en la entrada del EDFA. La amplificación del pulso de baja potencia representa la amplificación de la señal de onda continua de respectivamente alta potencia. La introducción de pulsos largos y de alta potencia permiten medir tanto la amplificación de señales de bajas potencias (midiendo la amplificación del flanco de subida), como la amplificación de señales de alta potencia (midiendo la amplificación del flanco de bajada).

En este artículo nosotros comparamos los resultados medidos del mismo amplificador utilizando las tres formas de la señal de entrada.

2. Arreglo experimental

En la Fig. 2 se muestra el arreglo experimental. La fibra dopada con erbio (Erbium Doped Fiber, EDF) bajo prueba tiene una concentración de 1000 ppm, la atenuación para el bombeo de 980 nm es igual a 3.3 dB/m, la atenuación para la señal a amplificar con una longitud de onda de 1532 nm es de 4 dB/m. Dos WDM (Wavelength Division Multiplexors) acoplados a ambas terminales de la EDF se utilizan para separar la señal con una longitud de onda alrededor de 1550 nm y el bombeo con una longitud de onda de 980 nm. Con esta configuración, el bombeo y la señal pueden ser acoplados a la EDF en cualquiera de las dos direcciones de propagación. En particular, en la Fig. 2 se muestra la propagación del bombeo y de la señal en la misma dirección (*forward pumping*). Para el bombeo utilizamos un diodo láser con longitud de onda de

980 nm y una potencia máxima de 40 mW. Para generar la señal a amplificar utilizamos un diodo láser tipo Fabry-Perot con longitud de onda de 1544 nm y una potencia máxima acoplada de 2 mW. Como fuente de corriente del láser de señal utilizamos un generador de pulsos SRS DG535. Con este generador es posible generar pulsos de corriente con duración de 1 ns hasta varias horas. Los pulsos pueden ser colocados sobre corriente continua. El aislador conectado después del láser nos sirve para evitar retroalimentación de reflexiones que se dirigen hacia el láser. Con el acoplador 50/50 medimos la potencia de entrada al sistema. Hay que notar que las reflexiones que existen al final de cada fibra pueden retroalimentarse en el sistema, provocando el incremento de la ASE. Para eliminar estos efectos todas las terminales libres del acoplador, del WDM etc. fueron colocados en glicerina.

3. Resultados experimentales

En la Fig. 3 mostramos la amplificación obtenida para pulsos cortos en la entrada, estos pulsos se muestra en la Fig. 1a. La longitud de los pulsos es de 150 ns y frecuencia de repetición de 100 Hz. La amplificación que experimentan los pulsos cortos casi no depende de la potencia de los pulsos de entrada. Esto justifica que la amplificación medida de esta manera muestra la amplificación de bajas potencias. La amplificación está dada como la razón de la potencia de la señal de salida amplificada entre la potencia de la señal de entrada a amplificar y nos muestra el número de veces que amplifica la señal de entrada y la amplitud del pulso está expresada en unidades de potencia.

En la Fig. 4 se muestra la segunda forma en que caracterizamos nuestro sistema, utilizando una señal de onda continua sobre la cual está colocado un pulso corto. La amplificación que el pulso corto experimenta sobre la señal de onda continua, nos muestran la amplificación de la señal de onda continua de altas potencias sobre la cual esta colocado el pulso. Se ve que la amplificación está bajando rápidamente con el incremento de la potencia de la señal de onda continua de entrada y las potencias de $10 \mu\text{W}$ no se pueden considerar como potencias bajas. Esto significa que se necesitan realizar medidas estrictas para medir la amplificación con potencias bajas utilizando la señal de onda continua. Mientras los resultados con pulsos cortos (Fig. 3) son muy fáciles de obtener.

Estas dos formas de caracterizar un EDFA son efectivas, pero resulta que si introducimos pulsos largos, podemos obtener información tanto de la amplificación para bajas potencias, como de la amplificación de señales de altas potencias. Los pulsos que utilizamos fueron de 5 ms debido a que a partir de este valor la parte más baja al final del pulso se mantiene constante, por lo que ya no era necesario introducir pulsos

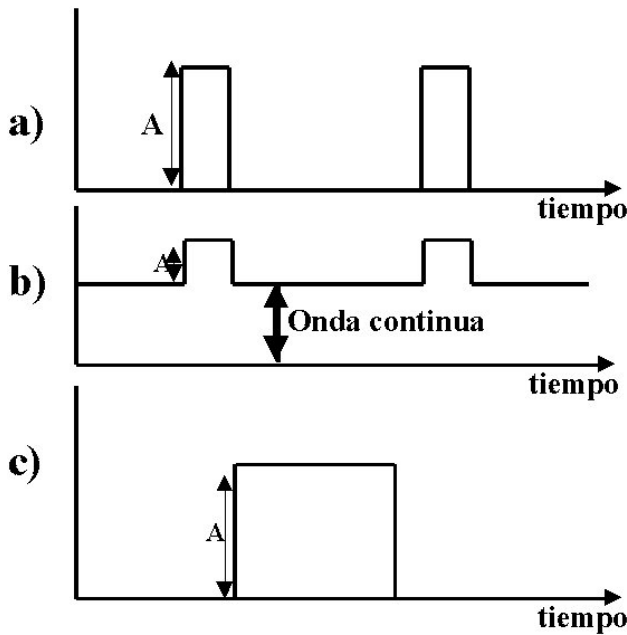


FIGURA 1. Forma de las señales de entrada las cuales se utilizaron para medir la amplificación del EDFA.

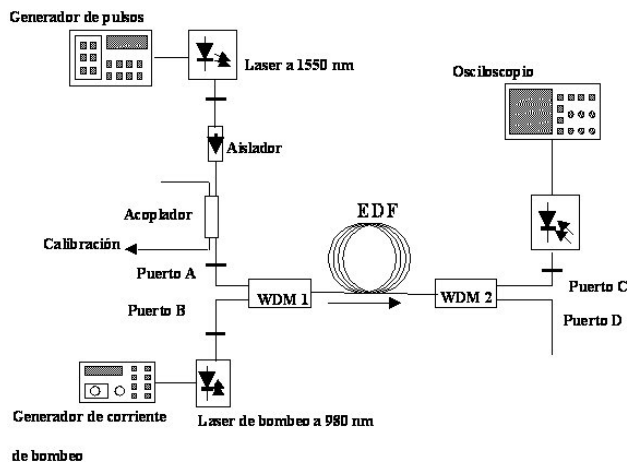


FIGURA 2. Diagrama del arreglo experimental.

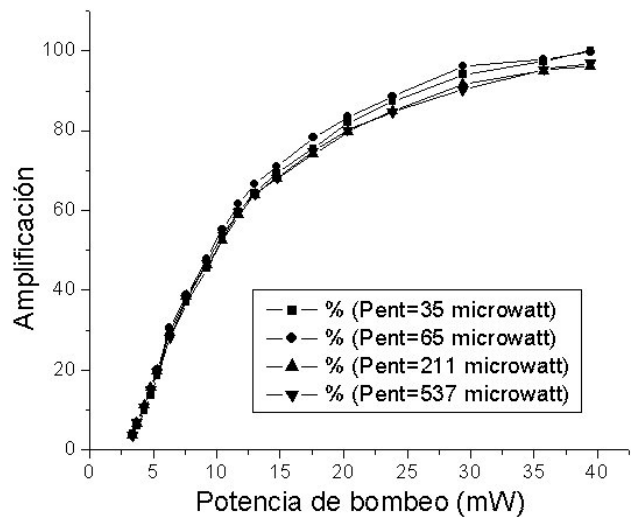


FIGURA 3. Amplificación de bajas potencias para pulsos cortos en función de la potencia de bombeo.

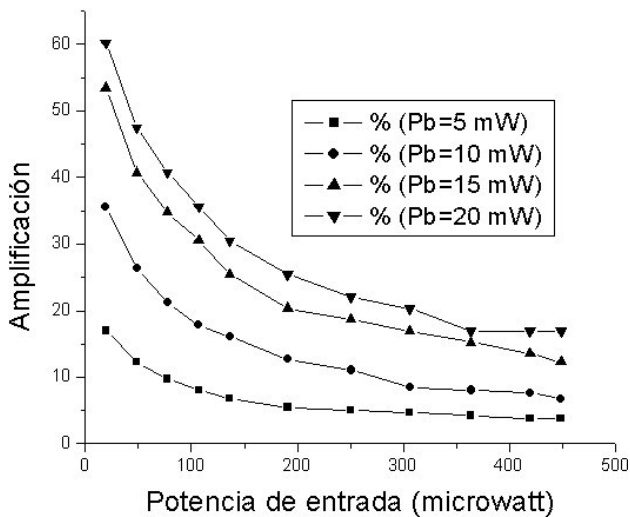


FIGURA 4. Amplificación de altas potencias de la señal de onda continua en función de la potencia de entrada.

con tiempos mas largos. La Fig. 5 muestra el pulso en la salida de la EDF. El pulso presenta un decaimiento, debido a que hay una saturación del amplificador. El flanco de subida presenta amplificación para bajas potencias de la misma manera que con los pulsos cortos. La saturación del amplificador no afecta esta parte del pulso. La amplificación del flanco de bajada presenta la amplificación de la señal de onda continua de altas potencias correspondientes a la potencia del pulso en la entrada de la EDF. En las Figs. 6a y 6b mostramos las dependencias de la amplificación de bajas potencias y de señal de onda continua de altas potencias obtenidos con la utilización de pulsos largos. Como se puede ver los resultados son iguales a los mostrados en las Figs. 3 y 4.

Hay que observar que las potencias de señal de entrada del pulso de las Figs. 3 y 6a son iguales, pero esto es una aproximación que se tiene en cada potencia, ya que el umbral

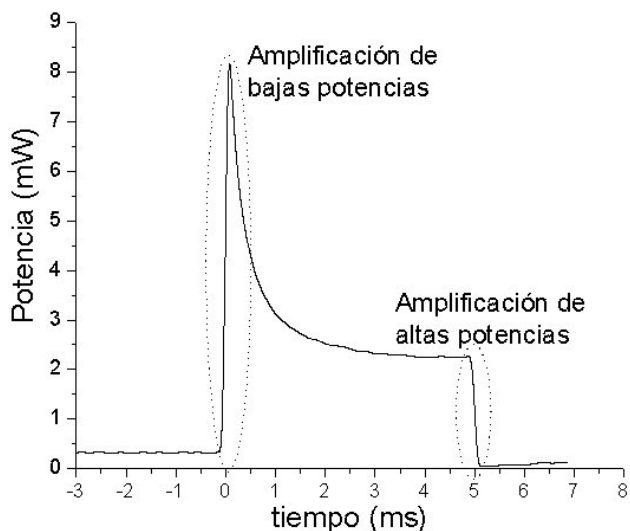


FIGURA 5. Comportamiento de los pulsos largos al pasar a través de un EDFA. Potencia de entrada de 150 μ W, potencia de bombeo de 10 mW y una frecuencia de repetición de 10 Hz.

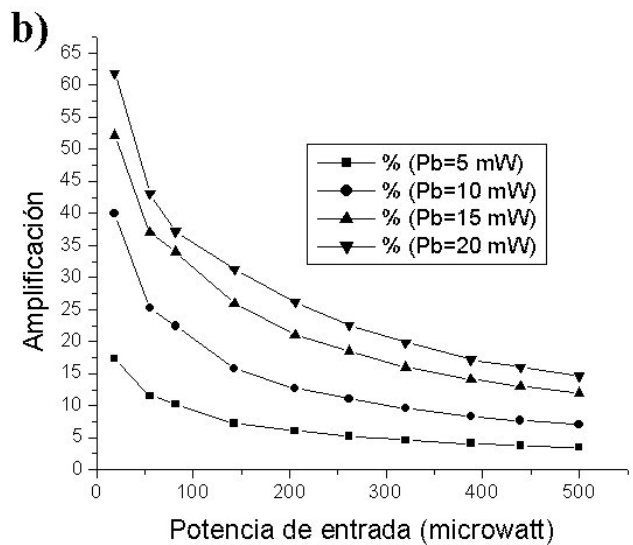
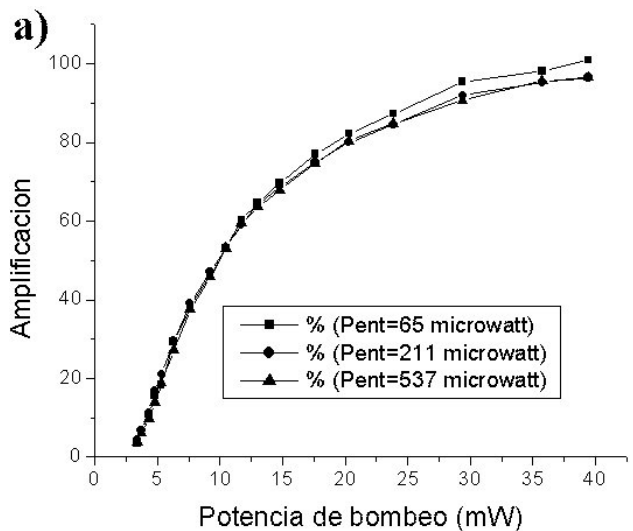


FIGURA 6. a) amplificación de bajas potencias, medida en el flanco de subida del pulso largo de 5 ms. b) amplificación de altas potencias, medida en el flanco de bajada.

del láser depende de varios aspectos al momento de estar calibrando la potencia de señal de entrada a amplificar entrada. Con esto queremos decir que las potencias son aproximadamente iguales.

4. Conclusión

Se ha creado un método alternativo y más sencillo para llevar a cabo la caracterización de un EDFA utilizando pulsos en función del tiempo como señal de entrada. Los pulsos cortos de 150 ns nos dan información acerca de la amplificación para potencias bajas, los pulsos cortos de baja potencia de 150 ns colocados sobre una señal de onda continua son útiles para medir la amplificación de señales de onda continua de altas potencias, y con los pulsos largos de 5 ms podemos medir la amplificación tanto de bajas potencias, como la amplificación de señal de altas potencias. Se ha discutido la ventaja y

la confiabilidad de este método respecto a otros. Las reflexiones en el arreglo deben de ser minimizadas ya que la ASE se incrementaría, y con ello la disminución de la eficiencia del EDFA.

Agradecimientos

Agradecemos a CONACYT por el apoyo otorgado, con el proyecto número 39553Y.

-
1. P.C. Becker, N.A. Olsson y J.R. Simpson, *Erbium Doped Fiber Amplifier Fundamentals and Technology* (Ed. Academic Press, 1999) Capítulo. 8.
 2. D. Bonnedal, *IEEE Photonics Technologic Letter* **5** (1993) 1193.
 3. M.E. Bray, R.T. Elliott y K.P. Jones, *Proceeding OSA XXX* (1999) 151.
 4. N.E. Jolley y K.J. Cordina, *Proceeding OSA XXX* (1999) 153.