

# Láser Sintonizable En Anillo De Fibra Óptica Dopada Con Erblio

Jesus D. Causado-Buelvas<sup>1</sup>, Nelson D. Gómez-Cardona<sup>1</sup>, Pedro Torres<sup>1\*</sup> Jorge A. Gómez<sup>2\*</sup>.

<sup>1</sup>Escuela de Física. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín

<sup>2</sup>Grupo de Física Básica y Aplicada. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

---

## RESUMEN

En el presente trabajo se ilustra el diseño y construcción de un láser a fibra óptica sintonizable con cavidad en forma de anillo. Para el diseño del láser, se usó el modelo basado en parámetros de transmisión construido previamente por los autores\*, y se desarrolló la técnica de “puntos fáciles” para la caracterización de la fibra óptica dopada con Erblio (EDF por su sigla en inglés). Con el método de caracterización se obtuvo la respuesta atómica de primer orden de una EDF fabricada por la compañía Liekki Corporation, y se permitió el cálculo directo de las potencias intrínsecas de saturación y los coeficientes de absorción a las longitudes de onda de bombeo y emisión. Una vez obtenidos estos parámetros de transmisión y con el modelo del láser en anillo, se determinaron las condiciones constructivas óptimas para la cavidad. En el desarrollo del sistema experimental se usaron 15 m de EDF, un láser de retroalimentación distribuida (DFB por su sigla en inglés) de bombeo emitiendo a 980nm y un filtro Fabry-Perot (FFP) controlado eléctricamente para la sintonización. Con estas condiciones fue posible obtener una potencia máxima de salida de 14 mW y una sintonización en las bandas C y L de comunicaciones de más de 60 nm. Esta experiencia demuestra la efectividad de la técnica de diseño utilizada con fibras de mayor concentración de dopante que las utilizadas por los autores\* en 2006, momento en que se evidenció la emisión láser con una Potencia máxima de salida de 0.3 mW en una cavidad lineal.

**Palabra Clave:** Teoría láser, láser a fibra, Fibra dopada con Erblio.

## ABSTRACT

In this work we illustrate the design and construction of a Tunable Erbium Doped Fiber Optic Ring Laser. In the design have been used a model based on transmission parameters; furthermore we implemented for the characterization of the (EDF) the “easy points” technique. With this characterization method the first level atomic response of a commercial EDF manufactured by Liekki Corporation has been acquired, and the straight calculus of the intrinsic saturation powers and the absorption coefficients at emission and pump wavelengths were realized. Once knew these parameters and the model of the ring laser, the optimal conditions of the laser cavity were determined. In the experimental setup were used 15 m of EDF, a distributed feedback (DFB) laser with 140 mW of power at 980 nm and a electrically controlled Fabry-Perot (F-P) to the tuning. As result we acquired 14 mW of power at 1550nm and over 60 nm of tuning over the C and L bands.

**Keywords:** Laser theory, Erbium-doped fiber, all fiber laser.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Fuentes de luz láser de alta sintonización, cuyo medio activo es una Fibra Óptica Dopada con Erblio, han sido ampliamente estudiadas por sus características de emisión en la banda C y L de comunicaciones ópticas, que las constituyen en elementos de suma importancia en sistemas de Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM por sus siglas en inglés), los cuales presentan aplicaciones en importantes áreas de la instrumentación y las comunicaciones ópticas de última generación [1,2]. Las fuentes láser a fibra, tienen características como: ancho espectral estrecho, amplio rango de sintonización sobre la curva de Emisión Espontánea Amplificada (ASE, por sus siglas en inglés), baja potencia de umbral, alta relación señal ruido, alta eficiencia energética, entre otras; que las convierten en elementos muy importantes en el desarrollo de procesos de instrumentación óptica cuasi-distribuida, como los que configuran los sistemas de Redes de Bragg en Fibra Óptica (FBG por sus siglas en inglés) [3,4,5]. En el diseño de este tipo de fuentes de luz, se reportan múltiples modelos teóricos, los cuales utilizan parámetros espectroscópicos de la fibra tales como: secciones eficaces a las longitudes de onda de emisión y de bombeo, tiempos de vida, concentración de dopante, etc.; que en muchos casos son de difícil medición, ocasionando inconvenientes en el proceso optimización de las cavidades láser [6,7]. En este trabajo, se usó para la caracterización de la Fibra Óptica Dopada con Erblio el modelo de “puntos fáciles”, en el cual, a través de mediciones de la potencia transmitida en una EDF sometida a pulsos de

larga duración, es posible determinar las Potencias Intrínsecas de Saturación y los Coeficientes de Absorción a 980nm y 1550nm, que permiten modelar el sistema retroalimentado bajo el supuesto de una estructura de 2 niveles [8]. Con los resultados de la caracterización y del modelo matemático se construyó una cavidad en anillo donde se utilizó como elemento de sintonización un Filtro Fabry Perot, obteniendo potencias de salida pico de más de 14mW, y un rango de sintonización superior a los 60 nm.

## 2. MODELO LÁSER EN ANILLO

La configuración en anillo se muestra en la figura 1, a través del WDM se ingresan la señal de bombeo y se realimenta el sistema con la señal emitida por la fibra dopada con  $Er^{3+}$ , el aislador integrado en el WDM hace que la luz viaje sólo en dirección propagante, el filtro Fabry Perot sintoniza una longitud de onda y el acoplador divide la señal de salida en dos: una parte realimenta el sistema y la otra es tomada como la salida neta del sistema.

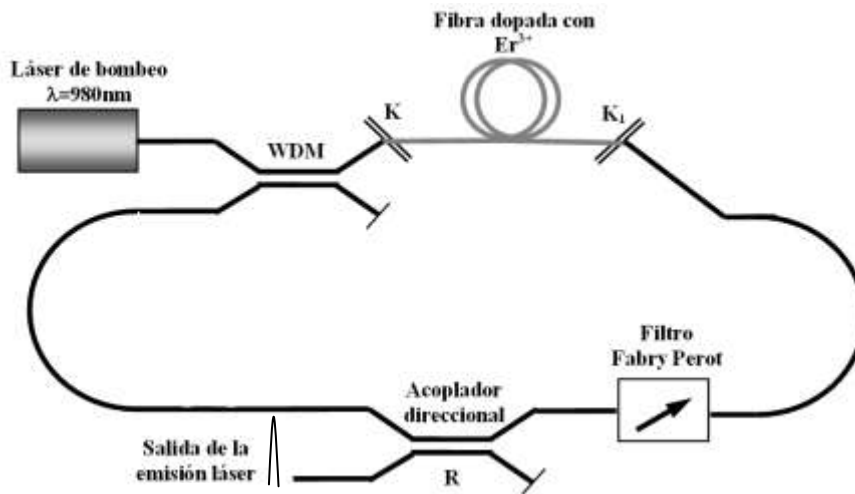


Figura 1. Configuración láser en anillo

Este modelo se rige por la ecuación [9],

$$P_L^{Salida} = \eta(P_B - P_L^{Umbral}), \quad (1)$$

donde  $P_B$  es la potencia de bombeo, la potencia umbral definida por [1],

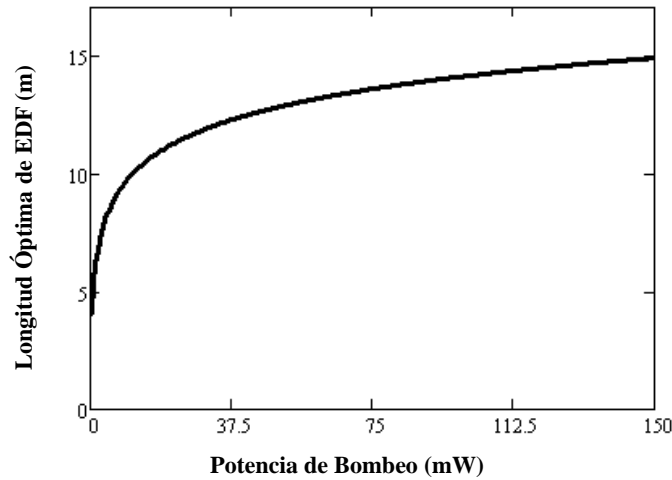
$$P_L^{Umbral} = \frac{\lambda_S}{\lambda_B} \frac{\alpha_S L - \ln(K \cdot R)}{1 - (K \cdot R \cdot G_{max})^{-\delta}} P_L^{SAT}, \quad (2)$$

y el coeficiente de solapamiento [9],

$$\eta = \frac{\lambda_S}{\lambda_B} K_1 \frac{1 - K}{1 - K \cdot R} (1 - (K \cdot R \cdot G_{max})^{-\delta}) \quad (3)$$

En estas ecuaciones  $K$  y  $K_1$  describen las pérdidas asociadas con los componentes pasivos presentes en el sistema,  $R$  es la relación de luz en el acoplador direccional,  $L$  es la longitud de fibra dopada con  $Er^{3+}$ ,  $G_{max} = \exp((\alpha_B / \delta - \alpha_S) L)$  describe la ganancia máxima que se puede lograr a la longitud de onda  $\lambda_S$  si el sistema es bombeado con una señal de potencia muy alta,  $\delta = (\lambda_S \cdot P_S^{SAT}) / (\lambda_B \cdot P_B^{SAT})$  y  $\alpha_{B,S}$  y  $P_{B,S}^{SAT}$  son los coeficientes de absorción y las potencias de saturación a las longitudes de onda  $\lambda_{B,S}$ , las cuales fueron medidas experimentalmente utilizando el “método de los puntos fáciles” [10]. Como se puede observar en estas ecuaciones conociendo estos últimos factores se puede modelar fácilmente esta configuración. Debido a las características de la EDF hay una longitud de fibra para la cual la eficiencia de emisión comienza a decaer ya que existe una reabsorción de la energía emitida; esta longitud es conocida como longitud óptima y es función de la potencia de bombeo. Para la configuración en anillo propuesta la longitud óptima puede expresarse como [10]:

$$L_{OPT} = \ln \left[ \frac{P_B \left( \alpha_B - \alpha_S \frac{P_S^{SAT}}{P_B^{SAT}} \right)}{\left( \alpha_S P_S^{SAT} K \times K_1 \times R \right)^{\frac{P_S^{SAT}}{P_B^{SAT}}}} \right] \frac{1}{\left( \alpha_B - \alpha_S \frac{P_S^{SAT}}{P_B^{SAT}} \right)} \quad (4)$$



**Figura 2.** Longitud Óptima de EDF para cada potencia de bombeo.

Al realizar las simulaciones numéricas encontramos que en el modelo propuesto esta pérdida de eficiencia comienza al

rededor de los 15 metros, Figura 2.

### 3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Como se indicó en el esquema experimental de la Fig.3, la EDF se bombea con un diodo láser de emitiendo a 980nm, a través de un multiplexor por división de longitud de onda integrado con un aislador óptico; en este caso el láser de bombeo utilizado ofreció una potencia máxima de 140 mW. La señal que sale de la EDF se hace pasar por el filtro F-P sintonizable eléctricamente con un ancho de banda cercano a los 0.4 nm de tal manera que el ruido debido a la emisión espontánea es prácticamente extinguido; la señal filtrada llega luego a un divisor de potencia con una relación 50/50, es decir, que el 50% de la potencia de la señal que sale del filtro F-P sale del anillo y el 50% restante sigue circulando por este, con el fin de que la emisión estimulada no se detenga. Como el láser de bombeo disponible tiene una potencia nominal de 140mW, y de acuerdo con la Fig.4, se insertaron a la cavidad 15m de EDF Liekki. Con el ánimo de evaluar el potencial de sintonización de la cavidad y el punto de máxima densidad espectral de potencia en la banda C, cuando se incide con el bombeo máximo (140mW), se analizó el comportamiento del sistema en lazo abierto. El espectro ASE del sistema se muestra en la Fig. 5.

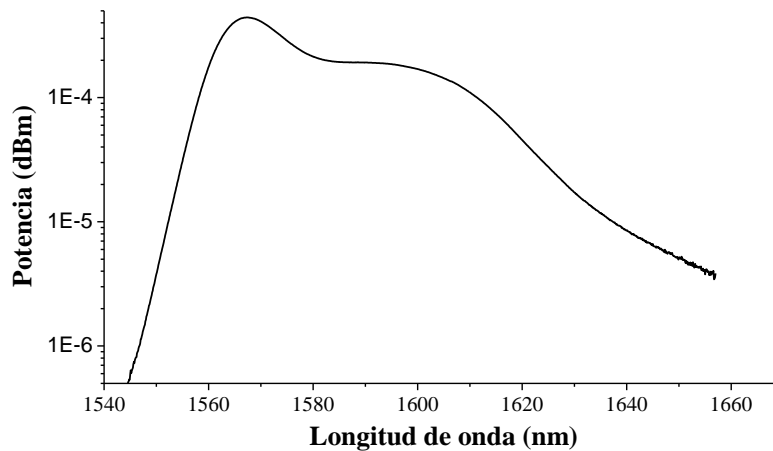
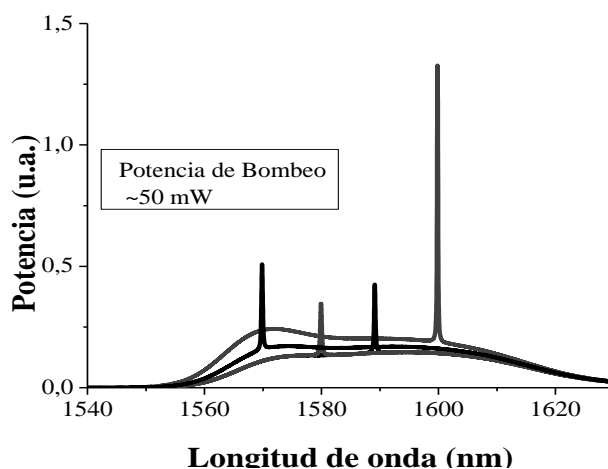


Figura 5. Curva ASE del sistema

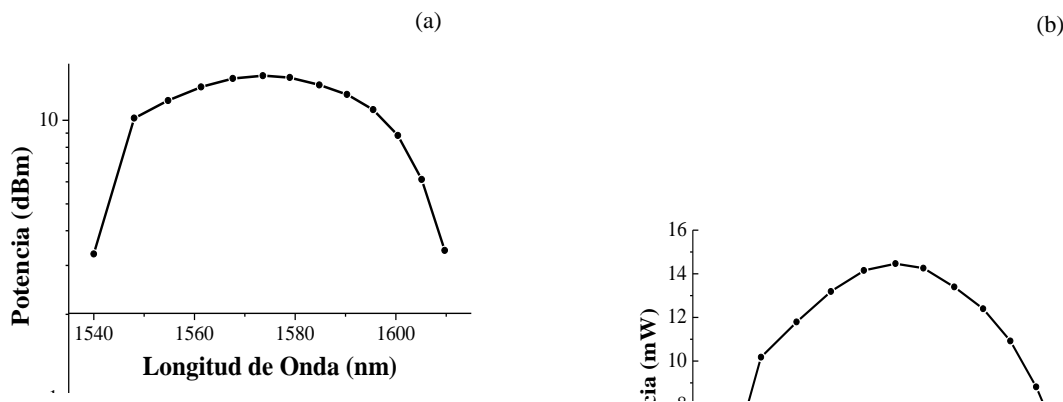
En este grafico se observa que la longitud de onda de mayor densidad de potencia esta alrededor de los 1570nm, y se presume una banda de sintonización desde los 1550nm a los 1640nm. El sistema en lazo cerrado que constituye la cavidad en anillo, fue bombeado con potencias variables desde 0-140mw, obteniendo un umbral de 50mW para la emisión láser. En la Fig. 6 se muestra el espectro de potencia óptica que sale de la cavidad en varios puntos de operación por debajo del umbral, en ella se ilustra la dinámica del sistema antes de ser una radiación láser, y se observa como se privilegian las componentes espectrales de mayor densidad de potencia a medida que se aumenta el bombeo.



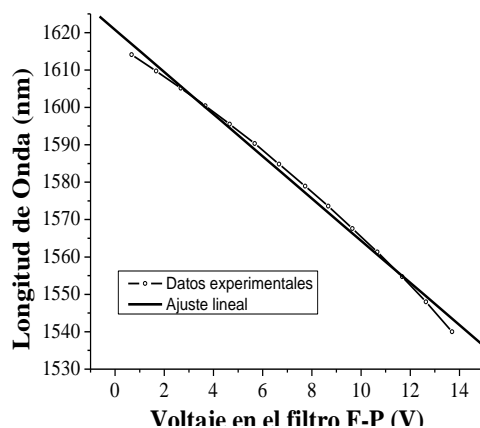
**Figura 6.** Emisión ASE en la fibra óptica dopada con Erbio

Para determinar la máxima potencia de salida del sistema y la máxima sintonización posible, se desarrolló la caracterización espectral y en potencia para un bombeo de 140mW. En la Fig. 7 se muestra la curva de potencia de óptica de salida en las bandas C y L de comunicaciones, cuando la sintonización se realizó controlando eléctricamente la frecuencia de resonancia del filtro F-P y en la Fig. 8, se ilustra la respuesta espectral del sistema ante diferentes voltajes de excitación del filtro F-P.

Como se observa en las figuras 7 y 8 en el punto de operación de bombeo máximo, la emisión láser presentó una capacidad de sintonización que va desde 1540 nm hasta 1610 nm, con una potencia mínima de salida de 4 mW y una potencia máxima de 14mW, lo que representa una eficiencia cuántica cercana al 10%. De otro lado la sintonización del filtro F-P tiene un comportamiento muy lineal con el voltaje, lo que ofrece grandes ventajas en la consolidación de sistemas de instrumentación ópticos.



**Figura 7** Sintonización del láser en configuración en anillo  
 (a) Longitud de onda (nm) vs. Potencia (dBm). (b) Longitud de onda (nm) vs. Potencia (mW).



**Figura 8** Voltaje en el Filtro F-P vs. Longitud de onda de salida

#### 4. CONCLUSIÓN

Se diseñó y se construyó un láser a fibra óptica en anillo y sintonizable, utilizando como herramienta de diseño el modelo basado en parámetros de transmisión ópticos previamente reportado por los autores\*. Usando una Fibra Óptica Dopada con Erblio fabricada por Liekki Corporation, se obtuvo una potencia de salida pico de 14mW y una sintonización de un poco mas de 60nm con una respuesta lineal al voltaje aplicado al Filtro Fabry Perot que sintonizó la cavidad. Los resultados obtenidos en este trabajo superan notablemente los previamente reportados para un láser lineal, en el que se obtuvieron 0.3mW y 12.5nm de sintonización. Con estos resultados se posibilita la construcción de sistemas de interrogación de sensores basados en Redes de Bragg en fibra óptica multiplexados en la frecuencia, y se impulsa el desarrollo de la tecnología opto-electrónica nacional de bajo costo.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Y. T. Chieng, G. J. Cowle, and R. A. Minasian, "Optimization of wavelength tuning of Erbium-doped fiber ring lasers," *Journal of Lightwave Technol.* **14**, pp. 1730-1739, 1996.
2. C. Z. Shi, N. Zeng, C. C. Chan, Y. B. Liao, W. Jin, and L. Zhang "Improving the Performance of FBG Sensors in a WDM Network Using a Simulated Annealing Technique". *IEEE Photonics Technology Letters*, **Vol 16**, No 1, pp. 227, 2004.
3. M. Xu, H. Geiger, P. Daking, "Modeling and performance analysis of a Fiber Bragg Grating interrogation system using a acousto-optic tunable filter". *Journal of Lightwave Technology*, **Vol 14**, No 3, pp. 391, 1996
4. J. Gong, J. MacAlpine, C. Chan, W. Jin, M. Zhang, Y. B. Liao "A Novel Wavelength Detection Technique for Fiber Bragg Grating Sensors" *IEEE Photonics Technology Letters*, **Vol 14**, No 5, pp. 678, 2002.
5. B. Childers , E. Froggatt, G. Allison, C. Moore. "Use of 3000 Bragg grating strain sensors distributed on four eight-meter optical fibers during static load tests of a composite structure" *NASA Langley Research Center, Hampton, VA*, **23681**
6. E. Desurvire, J Simpson, "Amplification of spontaneous emission in Erbium-doped single-mode fibers", *Journal of Lightwave Technology*, **Vol. 7**, pp. 835-845, 1989.
7. P. Urquhart, "Review of rare earth doped fiber lasers and amplifiers", *IEE Proceeding*, **135**, pp. 385-407, 1998.
8. C. Mazzali, H.L.Fraguito, E.Palange and D.C.Dini, "Fast method for obtaining erbium-doped fibre intrinsic parameters", *IEEE Electronics Letters*, **Vol. 32**, No 10, pp. 921-922, 1996

- 
9. Th. Pfeiffer, H. Schmuck, and H. Biilow , “Output Power Characteristics of Erbium-Doped Fiber Ring Lasers,” *Photonics Technology Letters*, **Vol. 4**, pp. 847, 1992
  10. J. A. Gómez, P. Torres, A. C. Triques, C. Kato, A. Ribeiro , “Erbium Doped Fibers: Characterization through the “Easy Points Method,” *Revista Colombiana de Física*, **Vol. 38**, No. 2, pp. 617, 2006
  - 11 . J. A. Gómez, P. Torres, “Erbium Doped Fiber Ring Laser: A Comprehensive Model based on Transmisión Parameters” *Revista Colombiana de Física*, **Vol. 38**, No. 2, pp. 621, 2006.