

Bibliografía.

Barnes, S. Sistemas de Gestión del Conocimiento; Teoría y práctica. Thomson, Madrid, 2002.

Castro Díaz-Balart, Fidel. Ciencia e Innovación: Un reto de la industria cubana más allá del 2000. Tesis de doctor en ciencias. La Habana, 2000.

Clark, Ismael. 138 años de la Academia de Ciencias de Cuba. Visión de la ciencia en el proceso histórico cubano. Editorial Academia, La Habana, 1999.

Firestone, J. Enterprise Information Portals and Knowledge Management. Boston, Butterworth-Heinemann, 2003.

Firestone, J. McElroy, M. Key Issues in the New Knowledge Management. Knowledge Management Consortium International. Boston, Butterworth-Heinemann, 2003.

Fuentes, Juan José. Evaluación de bibliotecas y centros de documentación e información. Trena, Gijón, 1999.

García Capote, Emilio. Surgimiento y evolución de la política de ciencia y tecnología en Cuba (1959-1995). Presentado en Seminario Taller Iberoamericano de Actualización en Gestión Tecnológica. IBERGECYT '96. Memorias Editorial GECYT y CYTED. La Habana, 20-22 mayo, 1996.

Curi Rondinelli, R. "O gerenciamento do documento eletrônico: Uma abordagem teorica da Diplomática Arquivística contemporânea" Tesis de Mestrado do Programa de Pos-Graduação em Ciencia da Informação. Defendida en la Universidad Federal de Rio de Janeiro. 2002.

Sánchez Ron, José Manuel. Falsos mitos, ciencia vs tecnología: reflexiones sobre política científica. Madrid. Fundación Repsol, 1998.

Simeón, Rosa Elena. Estrategia de la Ciencia y la Tecnología en Cuba. Presentado en Seminario Taller Iberoamericano de Actualización en Gestión Tecnológica. IBERGECYT '96. Memorias Editorial GECYT y CYTED. La Habana, 20-22 mayo, 1996.

Curi Rondinelli, R. "O gerenciamento do documento eletrônico: Uma abordagem teorica da Diplomática Arquivística contemporânea" Tesis de Mestrado do Programa de Pos-Graduação em Ciencia da Informação. Defendida en la Universidad Federal de Rio de Janeiro. 2002.

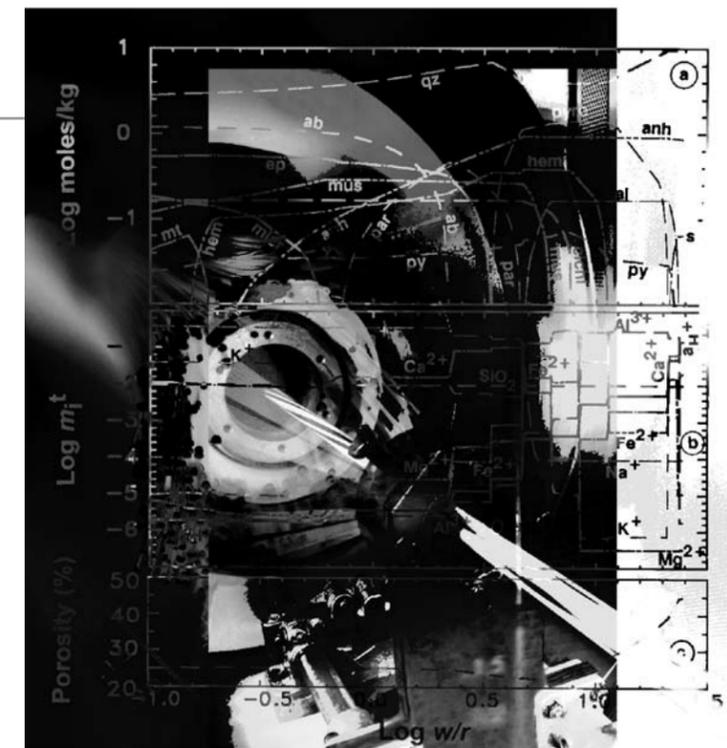
Estimación del tiempo de vida medio de fibras ópticas dopadas con erbio, mediante el análisis estadístico de varianza de las potencias intrínsecas de saturación.

Jorge A. Gómez

Carlos A. Hurtado

Julián F. Gómez

Pedro Torres



Autores

JORGE A. GÓMEZ

Grupo de Física Básica y Aplicada. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Ingeniero Electricista, Magíster en Ciencias-Física, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín; adelanta en la actualidad estudios de Doctorado en Ingeniería, en la Universidad Pontificia Bolivariana. Desde el año 2007 se desempeña como docente de tiempo completo del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid en donde realiza actividades de coordinación de la Línea de Investigación en Física Básica y Aplicada. jagomez@elpoli.edu.co

CARLOS A. HURTADO

Escuela de Estadística, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Ingeniero Industrial y candidato a Magíster en Estadística de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. En el ámbito profesional se ha desempeñado en el campo público como contratista en las áreas de planeación y estadística, y en el campo privado como asesor y consultor en la aplicación de métodos ingenieriles para la optimización de procesos administrativos y operativos; en la actualidad se desempeña como Director

Nacional de Gestión de Proyectos de la Cooperativa Coodesco, donde se ocupa de modelar sistemas productivos y formular alternativas económicamente rentables de negocios.

JULIÁN F. GÓMEZ

Grupo de Física Básica y Aplicada. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional, sede Medellín, y candidato a Magíster en Educación de la Universidad de Medellín. En la actualidad se desempeña como profesor de cátedra del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, donde además es Coordinador del Semillero de Investigación en Didáctica de la Física adscrito al Grupo de Física Básica y Aplicada.

PEDRO TORRES

Escuela de Física, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Físico y Magíster en Física de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá; Doctor en Física de la Pontificia Católica Universidade de Rio de Janeiro (Brazil), Es fundador y director del Grupo de Investigación de Fotónica y Opto-electrónica de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Categoría A de Colciencias. Cuenta con más de 50 productos académicos de alto reconocimiento nacional e internacional.

Recibido: 24 de enero de 2007

Aprobado: 17 de marzo de 2008

Resumen

En este trabajo se describe un método estadístico que permite determinar el tiempo de vida medio del ión de erbio, que está presente en fibras ópticas usadas en sistemas de amplificación y fuentes láser para telecomunicaciones. Para ello, se describe la técnica de caracterización mediante parámetros de transmisión, en la que, a partir de la medición de los "puntos fáciles" de la fibra, es posible calcular las potencias intrínsecas de saturación y los coeficientes de absorción, si se conoce el valor del tiempo de vida del Er+3 en el estado meta-estable. Para el cálculo se aprovecha la dependencia de las potencias intrínsecas de saturación con el tiempo de vida medio que se desea calcular y se lleva a cabo un análisis de la varianza de la función con dos longitudes de onda. Se encuentra que la mínima varianza para las dos longitudes de onda está alrededor de los 10ms, lo que está de acuerdo con los datos reportados en la literatura para esta medida.

Palabras clave

Fibras dopadas con erbio, caracterización, tiempo de vida en estado meta-estable.

Abstract

In this work, a statistical method to estimate the average time life of the Erbium ion is presented. These fibers are present in optical amplification systems and fiber laser sources used in communications and sensing. First, the characterization technique of Erbium doped fibers through the optical transmission parameters measurement is shown, and described its dependence with the meta-stable time life. In the calculus, the dependence of Intrinsic Saturation Power with is exploited through an analysis of the variance of function with two different wavelengths. The minimum variance to the both wavelengths is around 10ms which is agreed with other results reported before.

Key Words

Erbium Doped Fibers, Characterization, Meta-stable life time.

Estimación del tiempo de vida medio de fibras ópticas dopadas con erbio, mediante el análisis estadístico de varianza de las potencias intrínsecas de saturación.

Jorge A. Gómez

Carlos A. Hurtado

Julián F. Gómez

Pedro Torres

1. Introducción

Los modelos teóricos usados para el diseño y posterior construcción de dispositivos basados en fibras ópticas dopadas con erbio (EDF, por sus siglas en inglés) se han basado tradicionalmente en parámetros espectroscópicos tales como tiempos de vida, densidad y distribución de iones dopantes, secciones eficaces, etc. (Desurvire y Simpson, 1989; Desurvire, 1994), cuya medición no es práctica por los altos requerimientos tecnológicos (Mazzali, 1997); esto en algunos casos es un limitante para el diseño optimizado de dispositivos basados en estas fibras.

Suponiendo una estructura de dos niveles, es posible caracterizar EDF usando simples mediciones de potencia a la salida de un tramo corto de fibra, obteniendo los llamados puntos fáciles que modelan con buen detalle la dinámica de cualquier elemento que permita esta

aproximación (Mazzali, 1997). Para calcular los parámetros de transmisión a partir de los puntos fáciles de la fibra, es necesario, además, estimar el tiempo de vida en el estado meta-estable, lo que generalmente se omite por las dificultades experimentales que presenta (Desurvire, 1994), acudiendo a valores típicos reportados en la literatura. Este criterio de cálculo presenta buenos resultados en el caso de fibras con baja densidad de dopante; sin embargo, en el caso de fibras con densidad de dopante alta pueden no presentar buenos estimativos por la presencia de *clusters* formados en la construcción de la fibra (Urguart, 1998). Este trabajo describe un método en el que, a partir de un análisis estadístico de un conjunto de puntos fáciles obtenidos para dos longitudes de onda, es posible estimar el tiempo de vida de fibras de alta densidad de dopante.

2. Parámetros de transmisión en fibras ópticas dopadas con erbio

En la literatura especializada se encuentra que la potencia intrínseca de saturación y el coeficiente de absorción para una determinada señal óptica se pueden expresar en términos de parámetros espectroscópicos de la siguiente forma (Mazzali *et al.*, 1995):

$$P_i^{SAT} = \frac{Ahv_i}{\Gamma_i(\sigma_{ai} + \sigma_{ei})\tau_2} \quad \alpha_i = \Gamma_i\alpha_{ai}N \quad (1)$$

Para el interés de este trabajo, el subíndice i en la ecuación (1) es igual a p o s según si se refiere a la señal de bombeo o a la señal por amplificar, respectivamente. A es el área de la sección transversal de la fibra, $h\nu_i$ es la energía de un fotón de frecuencia ν_i , Γ_i representa el factor de traslapamiento entre la distribución del modo de propagación fundamental de la longitud de onda en mención y la distribución de los iones dopantes sobre la sección transversal de la fibra, σ_{ki} representa las secciones eficaces y N la concentración de iones dopantes de la fibra.

Si se tiene un haz de luz de frecuencia ν_i propagándose en la fibra, la ecuación de tasa para N_i y la evolución espacial a lo largo del eje de propagación de la potencia del haz de luz, P_i , siguen las siguientes expresiones:

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} = \frac{\Gamma_i\sigma_{ai}P_iN_0A}{h\nu_i} - \frac{\Gamma_i\sigma_{ei}P_iN_1A}{h\nu_i} \quad (2)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial z} = \Gamma_i\sigma_{ei}P_iN_1 - \Gamma_i\sigma_{ai}P_iN_0 \quad (3)$$

Si a la entrada de la fibra se acopla este haz de luz durante un intervalo de tiempo mucho mayor que el tiempo de respuesta del sistema atómico, describiendo una función tipo escalón como la que se muestra en la figura 1, tendremos en el extremo de salida de la fibra una señal similar a la que se señala con la línea continua en la figura 1, que corresponde a la respuesta a primer orden de un sistema atómico (Fraguito y Mazzali, 1996). En esta curva es posible identificar dos puntos que serán de interés en nuestro modelamiento: el primero corresponde a la respuesta del sistema en $t=0$, $P(0,Z)=P_1$, y el segundo a la respuesta del sistema en $t \gg \tau$, $P(t \gg \tau, Z) = P_2$; a estos puntos se les conoce en la literatura especializada como puntos fáciles (Mazzali *et al.*, 1995).

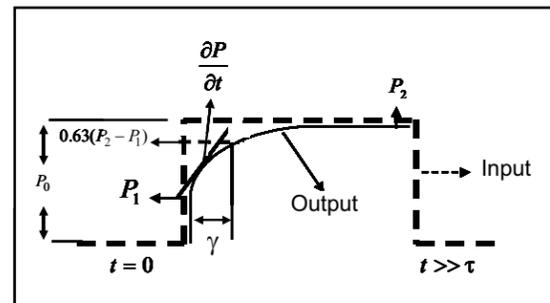


Figura 1. Señal de excitación tipo escalón y respuesta de primer orden de un sistema atómico

Utilizando las expresiones en (1), y resolviendo la ecuación (3), se puede demostrar que:

$$P_i(z,t) = P_i(0,t) \exp^{-\alpha_i z} \exp^{\frac{(\sigma_{ai} + \sigma_{ei})\alpha_i N_i(z,t)}{\sigma_{ai}}} \quad (4)$$

Puesto que no hay iones excitados antes de acoplar luz por primera vez en la fibra, $N_1 = 0$, lo que permite reducir la ecuación (4) a:

$$P_i(z,t) = P_i(0,t) \exp^{-\alpha_i z} \quad (5)$$

que se constituye en la expresión buscada para determinar el parámetro α_i de una fibra dopada con erbio. Para ello, basta con determinar la potencia de entrada en $t=0$ y $z=0$, $P(0,0)$ y la potencia de salida en $t=0$ y $z=L$, $P(L,0)$, y aplicar (5); o lo que es lo mismo ante una señal de entrada tipo escalón, conocer la altura del escalón P_0 y el punto P_1 de la figura 2, de donde:

$$\alpha = \frac{\ln(P_1/P_0)}{L} \quad (6)$$

en la cual L es la longitud del tramo de fibra utilizada para la caracterización de la EDF.

Si ahora se resuelve el sistema de ecuaciones acopladas (2) y (3) con las condiciones de frontera espacio temporales impuestas por una excitación tipo escalón, se llega a (Urguart, 1998):

$$P_i^{SAT} = \frac{P_{i2} - P_{i1}}{\frac{\tau}{P_{i1}} \left(\frac{\partial P_i}{\partial t} \right) - \ln \left[\frac{P_{i2}}{P_{i1}} \right]} * \frac{1}{\eta_{out}} \quad (7)$$

donde η_{out} representa el factor de acoplamiento entre la potencia de salida de la fibra y el fotodetector. A la señal de potencia óptica tipo "paso" la EDF responde casi instantáneamente con una potencia P_1 , después de la cual, de acuerdo con la expresión (4), el crecimiento obedece a una función exponencial, (ver figura 1). De esta manera podemos escribir la respuesta en el tiempo del sistema a la salida de la EDF como:

$$P(t) = P_1 + (P_2 - P_1)(1 - e^{-t/\gamma}) \quad (8)$$

donde γ representa el tiempo de relajación del sistema atómico, y es el tiempo en que la potencia llega a ser el 63% de la diferencia $(P_2 - P_1)$. Ahora, si derivamos con respecto al tiempo la ecuación (8) y evaluamos en $t=0$ se obtiene que:

$$\frac{\partial P_1}{\partial t} = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) \quad (9)$$

lo que convierte la expresión (7) en:

$$P_i^{SAT} = \frac{P_{i2} - P_{i1}}{\frac{\tau}{P_{i1}} \left(\frac{P_{i2} - P_{i1}}{\gamma} \right) - \ln \left[\frac{P_{i2}}{P_{i1}} \right]} * \frac{1}{\eta_{out}} \quad (10)$$

En la ecuación (10), la potencia intrínseca de saturación presenta una dependencia con τ que se analizará con el objetivo de determinar el tiempo en el que la varianza para varias longitudes de onda es mínima y así concluir respecto del valor del tiempo medio en estado meta-estable.

3. Descripción del método y resultados.

Para realizar el análisis, se tomó un conjunto de medidas de puntos fáciles sobre una fibra fabricada por *Liekki Corporation* a dos longitudes de onda: 1559.1 y 1551.6 nm, para las cuales se tomaron nueve y ocho medidas, respectivamente. Nuestro interés radica entonces en hallar el nivel de τ para el cual P^{SAT} tiene mínima varianza.

Para ello se construyó un arreglo matricial de los valores de P^{SAT} a fin de establecer su matriz de varianzas y covarianzas, de las cuales se hallará el mínimo.

$$P_{sat} = \begin{bmatrix} P_{sat_{\tau_{11}}} & P_{sat_{\tau_{12}}} & \cdots & P_{sat_{\tau_{1k}}} \\ P_{sat_{\tau_{21}}} & P_{sat_{\tau_{22}}} & \cdots & P_{sat_{\tau_{2k}}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{sat_{\tau_{n1}}} & P_{sat_{\tau_{n2}}} & \cdots & P_{sat_{\tau_{nk}}} \end{bmatrix} \quad (11)$$

En el arreglo matricial (11), cada componente de la matriz contiene los valores de P^{SAT} calculados con un tiempo de vida igual y el número de columnas corresponde al número de mediciones de puntos fáciles para cada longitud de onda. En este caso se realizó el cálculo para valores de τ entre 0 y 16ms, con un paso de 0.1 ms.

Cabe destacar que en la matriz de varianzas y covarianzas, estas últimas determinan el nivel de relación de variación simultánea para iguales valores τ en los diferentes niveles de las medidas de puntos fáciles.

Si definimos $\bar{P}sat_i$ como la media muestral de P^{SAT} para cada nivel de medición, y con el supuesto de que P^{SAT} puede interpretarse como una variable aleatoria en un punto, de la cual tenemos una realización calculada a partir de las medidas experimentales obtenidas, usando la ecuación (10) con $\eta_{out} = 100$, valor que corresponde al coeficiente de acoplamiento entre la salida de la fibra y el foto-detector en el esquema experimental utilizado, entonces, si definimos el valor esperado de P^{SAT} , es posible calcular las matrices de varianza y covarianza a partir de las ecuaciones (12) y (13) respectivamente (Kalbfleisch, 1985).

$$(\bar{P}sat - E(\bar{P}sat))(\bar{P}sat - E(\bar{P}sat))^T = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (P_{sat_j} - E(\bar{P}sat)) \right) \left(\frac{1}{n} \sum_{l=1}^n (P_{sat_l} - E(\bar{P}sat)) \right)^T \quad (12)$$

$$(\bar{P}sat - E(\bar{P}sat))(\bar{P}sat - E(\bar{P}sat))^T = \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^n (P_{sat_j} - E(\bar{P}sat))(P_{sat_l} - E(\bar{P}sat)) \quad (13)$$

Las matrices definidas por las expresiones anteriores son no singulares para los valores de P^{SAT} calculados a partir de los valores de puntos fáciles, y además son definidas positivas, por lo que podemos estar seguros de que las estimaciones de las desviaciones son números reales positivos, lo que los hace interpretables en el sentido completo del problema que estamos tratando.

Así pues, estamos interesados en establecer el valor mínimo de varianza de P^{SAT} para cada nivel de medición, el cual se halla en la diagonal de la matriz anterior estimando el corres-

pondiente τ que la origina. Para este efecto, se construyeron gráficos sobrepuestos de desviaciones estándar de P^{SAT} contra τ . En la figura 2 se muestra el comportamiento de la desviación estándar cuando se tienen promediadas 1, 2, 3, 4 filas, respectivamente. En ella se aprecia que la estabilidad de las mediciones de la desviación estándar no cambia significativamente con los promedios realizados para tiempos mayores a 9 ms; es decir, la variabilidad de P^{SAT} a 1559.1 nm parece no depender de τ hasta alrededor de 9 ms.

En la figura 3 se muestran las curvas de desviación estándar para ambas longitudes de onda, observándose que para 1551.6 nm las medidas de PSAT empiezan a depender de τ después de los 7 ms. Sin embargo, se aprecia que sólo para tiempos de vida de superiores a 10 ms, las desviaciones estándar para ambas curvas son mínimas, lo que se puede entender como que el parámetro PSAT es sólo independiente de la potencia de entrada para valores entre 10 y 12 ms, lo que descarta la posible generación de *clusters* en la fibra.

Conclusion

Se desarrolló un método estadístico que permitió determinar el tiempo de vida medio de la fibra de erbio para una fibra óptica dopada con erbio fabricada por Liekki Corporation. Se describió la técnica de obtención de las potencias intrínsecas de saturación, y se usó su expresión matemática general para realizar un análisis de varianza con el tiempo de vida. Usando dos longitudes de onda diferentes, se obtuvo que la desviación estándar mínima se encuentra alrededor de los 10ms, lo que está de acuerdo con los valores reportados en la literatura y lo que define la ausencia de generación de *clusters* indeseados en la fibra.

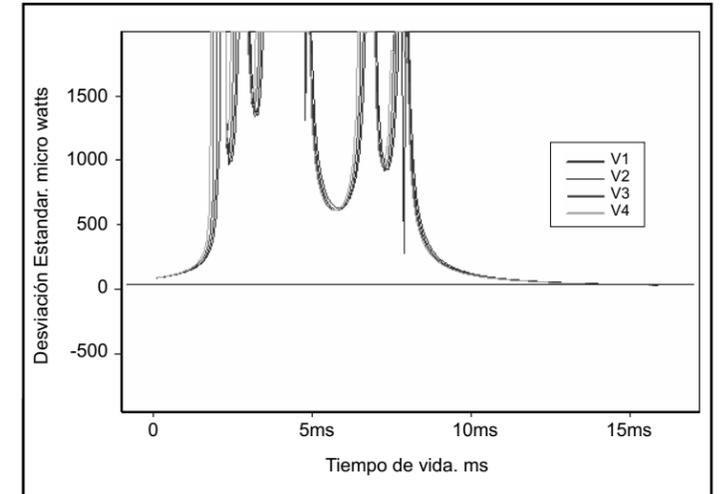


Figura 2. Desviación estándar contra tiempo de vida con 1,2,3,4 filas promediadas a 1551.6nm.

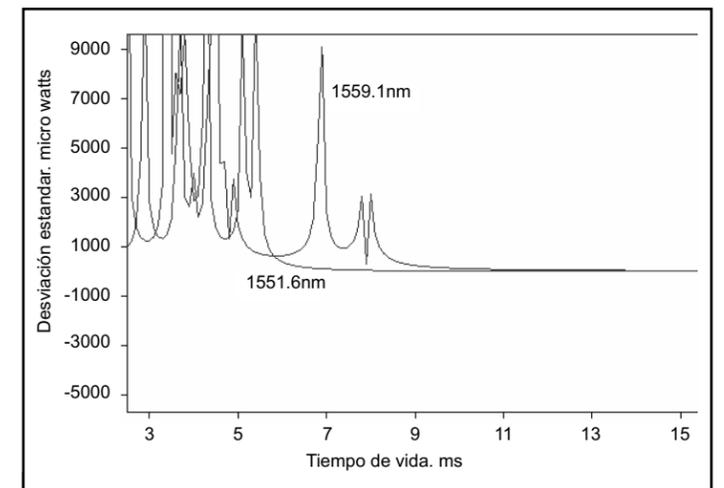


Figura 3. Desviación estándar contra tiempo de vida, para 1559.1 y 1551.6 nm.

Bibliografía

- Desurvire, E., y Simpson J., Amplification of Spontaneous Emission in Erbium-Doped Single-Mode Fibers, en: Journal of Lightwave Technology, 7, 835-845, 1989.
- Desurvire, E. Erbium-Doped Fiber Amplifiers - Principles and Applications" John Wiley & Sons, . New York, 1994.
- Mazzali, C. Geração e amplificação de sinais ópticos para sistemas de comunicação de alta capacidade, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 1997
- Urquhart, P. Review of Rare Earth Doped Fiber Lasers and Amplifiers, IEE Proceeding, 135, 385-407, 1998.
- Mazzali, C., Fragnito, H.L., Palange, E y Dini, D.C., Fast and Nondestructive Method for Characterizing erbium-Doped Fiber, Conference on Lasers and ElectroOptics - CLEO, Technical Digest, Optical Society of America, Washington DC, 1995.
- Fragnito, H.L. y Mazzali, C. Modelamento Analítico da Dinâmica de Ganho em Amplificadores a Fibra Dopada com Érbio - Relatório Técnico 12/96 - ContratoUnicamp-PADCT nº0730/91, 1996.
- Kalbfleisch, S. Probability and Statistical Inference, 2^{da} edición Springer-Verlag, , New York, 1985.

Una alternativa metodológica para el diseño curricular por competencias en las instituciones de educación superior enmarcada en el enfoque de la Escuela de Desarrollo Integral

Alba Nelly Ardila Arias

POLITÉCNICA No. 6 | enero - junio de 2008, pp.105 - 115

