

# AMPLIFICADORES DE FIBRA ÓPTICA EN TELECOMUNICACIONES

Erwin A. Martí-Panameño

Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
México

San José, Costa Rica, 9 y 10 de Mayo, 2012



## 1 Introducción: Optoelectrónica → Fotónica

## 2 Solitones Ópticos Temporales

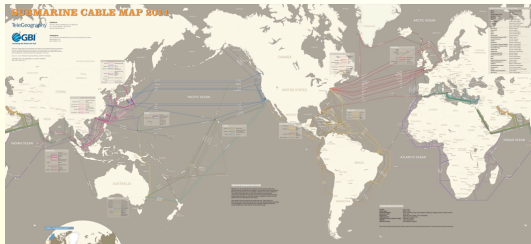
## 3 Amplificación de solitones

- Amplificación en fibras ópticas con perfiles periódicos de alta ganancia
- Amplificación de solitones fs en componentes con línea inhomogénea

## 4 Láseres Multicavidad

- Acoplado en un punto de láseres de fibra
- Generación sincrónica en tres cavidades
- Generación sincrónica en tres cavidades
- Generación sincrónica en tres cavidades
- Generación sincrónica en tres cavidades





**Figura:** Estado al año 2011 del cableado óptico alrededor del mundo ( <http://www.submarinecablemap.com/>)



# Comunicaciones Ópticas

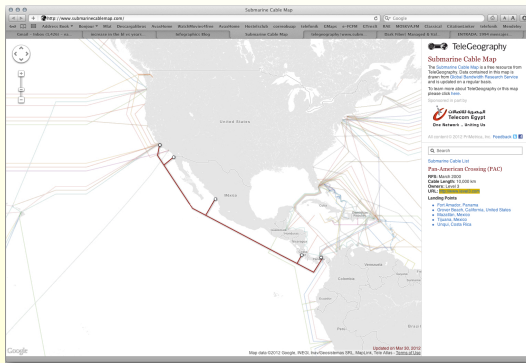


Figura: Cómo nos comunicamos hacia y desde Costa Rica? (<http://www.submarinecablemap.com/>)



# Comunicaciones Ópticas

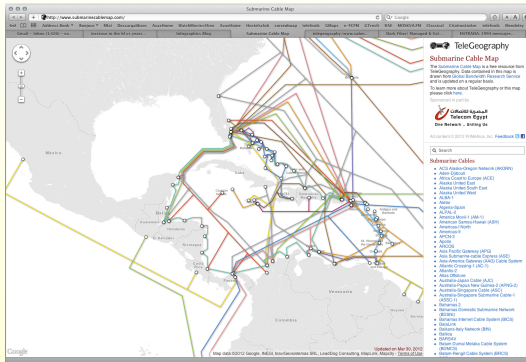


Figura: La alta tecnología también sirve para excluir a regiones. (<http://www.submarinecablemap.com/>)



- A las comunicaciones electrónicas les es inherentes una frecuencia portadora  $\sim 1GHz$ .



- A las comunicaciones electrónicas les es inherentes una frecuencia portadora  $\sim 1GHz$ .
- Las comunicaciones ópticas se caracterizan por que su frecuencia portadora es de cientos de Terahertz.



- A las comunicaciones electrónicas les es inherentes una frecuencia portadora  $\sim 1GHz$ .
- Las comunicaciones ópticas se caracterizan por que su frecuencia portadora es de cientos de Terahertz.
- Durante la década de 1980 se instaló el cableado de fibra óptica para instrumentar las comunicaciones ópticas.
- Década de 1990– **La era de la información**: Microelectrónica + comunicaciones ópticas.
- Los Amplificadores ópticos son una pieza clave en el incremento de la capacidad de comunicaciones ópticas





Una manera de evaluar el desarrollo de las comunicaciones ópticas es a través del producto de la cantidad de bits transmitidos por la distancia.

$$[BL] = \text{bits} \times \text{kilómetros}$$

Este producto se incrementó varios órdenes de magnitud en las últimos dos décadas: intrínsecamente ligado al cambio en la forma de regenerar las señales.



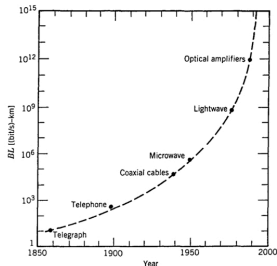


Figure 1.2: Increase in bit rate-distance product  $BL$  during the period 1850-2000. The emergence of a new technology is marked by a solid circle.

**Figura:** Incremento histórico del producto  $BL$ . A partir de los años 90 del siglo pasado las comunicaciones ópticas se apoyan en los amplificadores ópticos basados en fibras ópticas (G.P. Agrawal, "Fiber-optic communication systems" JW&S, 4th ed. 2010)



Este cambio se basó en la transición de los amplificadores electrónicos a los ópticos:



Este cambio se basó en la transición de los amplificadores electrónicos a los ópticos:

Conversión óptica — corriente eléctrica — amplificación electrónica—  
conversión a luz.



Este cambio se basó en la transición de los amplificadores electrónicos a los ópticos:

Conversión óptica — corriente eléctrica — amplificación electrónica—  
conversión a luz.

lo que tenemos es:



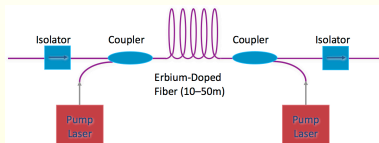


Figura: Este esquema de amplificación ha permitido razones de bits  $> 100Gb/s$ .



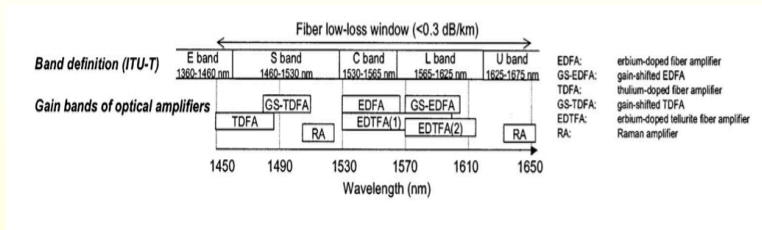


Figura: Se considera regiones de pérdidas para las fibras  $< 0,3\text{db}$



Uno de los métodos de codificación de señales ópticas más перспекivo y ya en marcha es el basado en solitones ópticos temporales.





Una propiedad general de los paquetes de onda electromagnéticos (espaciales y temporales) es que tienden a "expandirse" durante la propagación.



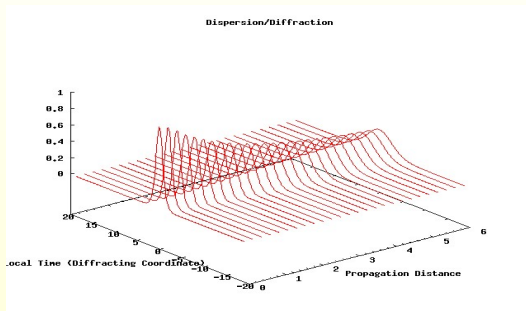
Una propiedad general de los paquetes de onda electromagnéticos (espaciales y temporales) es que tienden a "expandirse" durante la propagación. La explicación es sencilla: cada una de las diferentes componentes espectrales del paquete de onda viaja a su propia velocidad.

Dispersión: ensanchamiento temporal del pulso.

Difracción: ensanchamiento transversal del haz.



# Propagación dispersiva de pulsos luminosos



**Figura:** Sin pérdidas la propagación dispersiva, produce que el pulso se ensanche. Espectralmente se reduce su ancho.



Sin embargo, pulsos luminosos intensos producen la automodulación de fase y el pulso tiende a comprimirse temporalmente debido al enriquecimiento espectral.



# Propagación no lineal de pulsos luminosos

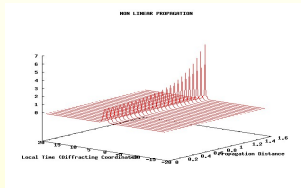


Figura:



# Balance de los efectos no lineales y dispersivos

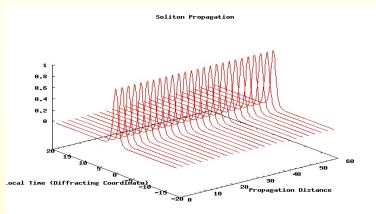


Figura: Solitón



# Comportamiento similar a una partícula.

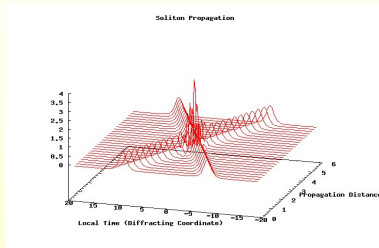


Figura: Colisión de solitones



El modelo matemático para el estudio de la propagación y amplificación no lineal quedó definido ayer:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial z} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \tau^2} + (1 - \beta) |\Psi|^2 \Psi + \beta Q \Psi + \frac{G}{2} P$$

$$\mu^2 \frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} + 2\mu\delta \frac{\partial Q}{\partial t} + Q = |\Psi|^2.$$

$$\frac{T_2^i}{\tau_0} \frac{\partial P}{\partial t} + P(1 + iT_2^i \Delta\omega) = i\Psi.$$





Como paquetes de onda los solitones son elementos que pueden ser amplificados en diferentes tipos de condiciones.

Veamos dos casos:

- Amplificación en fibras ópticas con perfiles periódicos de alta ganancia.



Como paquetes de onda los solitones son elementos que pueden ser amplificados en diferentes tipos de condiciones.

Veamos dos casos:

- Amplificación en fibras ópticas con perfiles periódicos de alta ganancia.
- Amplificación de solitones fs en componentes con línea inhomogénea.



# Amplificación en fibras ópticas con perfiles periódicos de alta ganancia

Investigación

Revista Mexicana de Física 41, No. 1 (1995) 72-84

## Soliton solutions in optical fiber devices possessing periodical high gain profiles

V.A. VYSLOUKH\*, M. TORRES-CISNEROS, J.J. SÁNCHEZ-MONDRAGÓN,  
E. MARTÍ-PANAMEÑO AND G.E. TORRES-CISNEROS†  
*Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica*  
*Apartado postal 51; 72000 Puebla, Puebla, México*

Recibido el 4 de mayo de 1994; aceptado el 21 de octubre de 1994

**ABSTRACT.** We study the behavior of optical pulses propagating in optical fibers possessing periodical gain profiles which do not satisfy the adiabatic amplification conditions. We demonstrate that it is possible to obtain first and higher order soliton solutions, and we predict their final asymptotic amplitudes and widths as well as some of their transient characteristics. These predictions agree with results of numerical simulations and allow to describe the global behavior of optical fiber devices that use periodical gain profiles, such as high gain doped fiber amplifiers.

Figura: Altos perfiles de Amplificación



# Amplificación en fibras ópticas con perfiles periódicos de alta ganancia

74 V.A. VYSLOUKH ET AL.

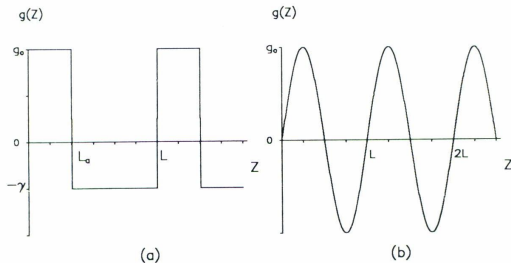


FIGURE 1. Periodical gain profiles considered through the paper. In (a) a step-like profile with constant amplification and absorption regions and in (b) a sinusoidal gain profile.

Figura: Altos perfiles de Amplificación



# Amplificación en fibras ópticas con perfiles periódicos de alta ganancia

80 V.A. VYSLOUKH ET AL.

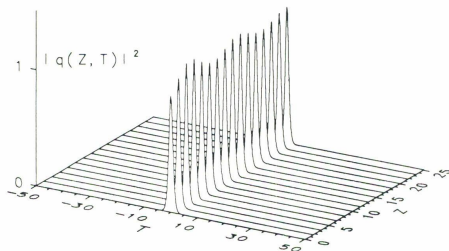


FIGURE 5. Temporal behavior of an initial first order soliton as it propagates through a fiber possessing the periodical gain profile of Fig. 1b with  $g_0 = 1$  and  $L = Z_0/2$ . The total propagation distance is  $32L$ , and each curve is taken at the distance interval of  $2L$ .

Figura: Altos perfiles de Amplificación



# Amplificación en fibras ópticas con perfiles periódicos de alta ganancia

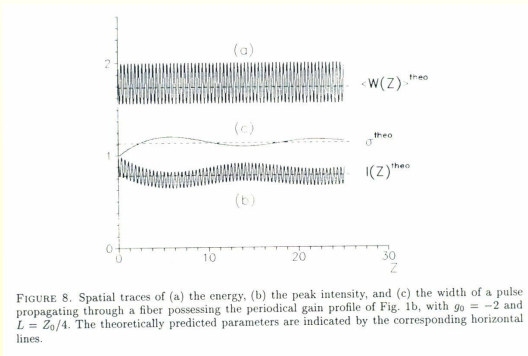


Figura: Altos perfiles de Amplificación



# Amplificación de solitones fs en componentes con línea inhomogénea

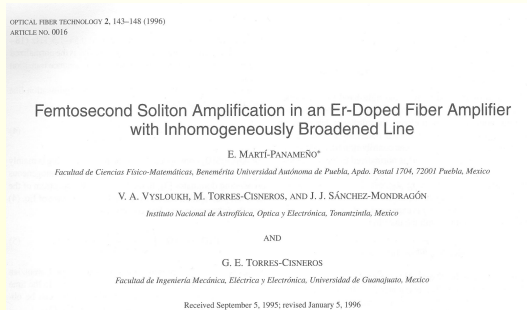
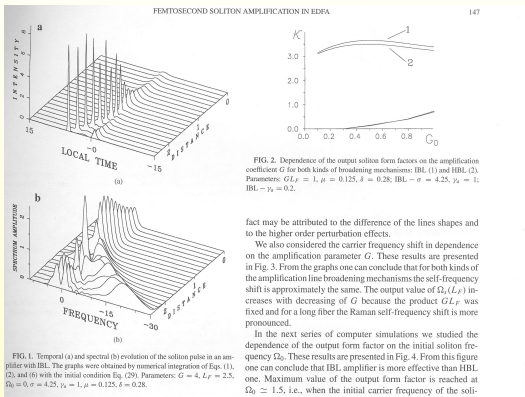


Figura: Amplificación de solitones fs



# Amplificación de solitones fs en componentes con línea inhomogénea



fact may be attributed to the difference of the lines shapes and to the higher order perturbation effects.

We also considered the carrier frequency shift in dependence on the amplification parameter  $G$ . These results are presented in Fig. 3. From the graphs one can conclude that for both kinds of the amplification line broadening mechanisms the self-frequency shift is approximately the same. The output value of  $\Omega_s(L_F)$  increases with decreasing of  $G$  because the product  $GL_F$  was fixed and for a long fiber the Raman self-frequency shift is more pronounced.

In the next series of computer simulations we studied the dependence of the output form factor on the initial soliton frequency  $\Omega_0$ . These results are presented in Fig. 4. From this figure one can conclude that IBL amplifier is more effective than HBL one. Maximum value of the output form factor is reached at  $\Omega_0 \approx 1.5$ , i.e., when the initial carrier frequency of the soliton is approximately 1.5 times higher than the carrier frequency of the amplifier.

Figura: Amplificación de solitones fs





# Amplificación de solitones fs en componentes con línea inhomogénea

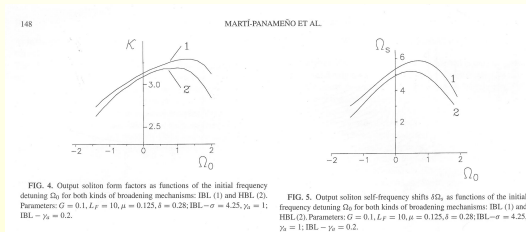


Figura: Amplificación de solitones fs



El trabajo en el área de amplificadores ópticos, es un trabajo con un muy reducido margen para Universidades sin contacto con la industria. Por esto suspendimos el trabajo en amplificadores y nos concentramos en láseres de diseño y propiedades particulares. Estos son los láseres multicavidad.



Estos sistemas láser son:

- Acoplado en un punto de láseres de fibra.



Estos sistemas láser son:

- Acoplado en un punto de láseres de fibra.
- Generación sincrónica en tres cavidades. (Experimento)

Detengámonos brevemente en estos resultados.



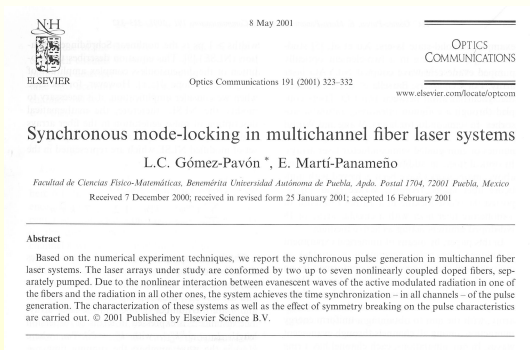


Figura: Amarre de modos sincrónico



# Acoplado en un punto de láseres de fibra

326

L.C. Gómez-Pavón, E. Martí-Panameño / *Optics Communications* 191 (2001) 323–332

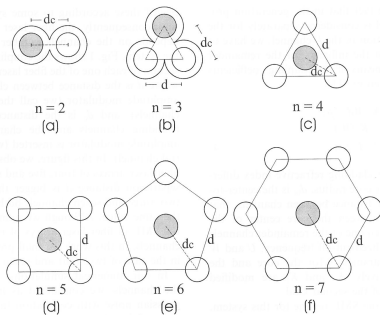


Fig. 1. Geometry of the coupling region cross-section in the multichannel fiber laser arrays.

Figura: Amarre de modos sincrónico



# Aoplado en un punto de láseres de fibra

L.C. Gómez-Pavón, E. Martí-Panameño / Optics Communications 191 (2001) 323–332

327

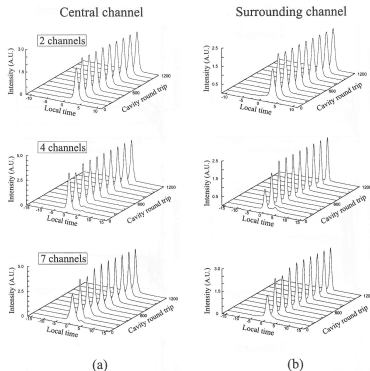


Fig. 4. Evolution of laser radiation when the channels are coupled for (a) central channel and (b) one of the surrounding channels in the fiber laser systems for  $L_c = 10$  m and  $L_s = 2$  cm.

Figura: Amarre de modos sincrónico



# Acoplado en un punto de láseres de fibra

328

L.C. Gómez-Parvón, E. Martí-Panameño / Optics Communications 191 (2001) 323–332

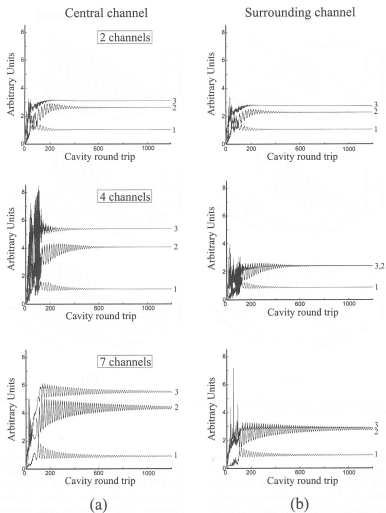


Fig. 5. Pulse parameters evolution as function of the cavity round trip for (a) central channel and (b) one of the surrounding channels, line 1 denotes – FWHM, 2 – pulse peak intensity and 3 – energy. Fiber laser systems parameters are as in Eq. (4).





# Acoplado en un punto de láseres de fibra

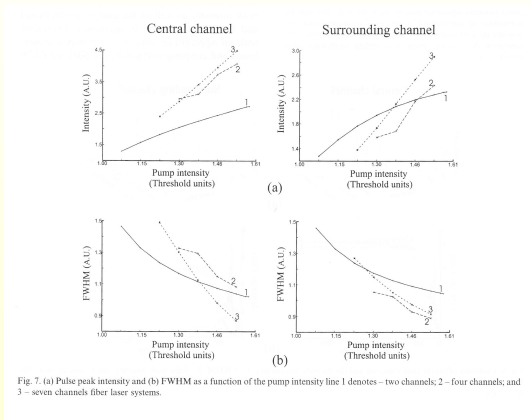


Figura: Amarre de modos sincrónico



## Synchronous Pulse Generation in an Array of Three Er<sup>3+</sup> Doped Fiber Lasers

L. C. Gómez-Pavón<sup>1</sup>, E. Martí-Panameño<sup>2</sup>, A. Luis-Ramos<sup>1</sup>,  
R. Parada-Alfonso<sup>3</sup>, J. G. Ortega-Mendoza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias de la Electrónica, <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Físico Matemáticas,  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, San Claudio y 18 Sur, Edif. 109A-CU, San Manuel,  
Puebla, México.

<sup>3</sup>Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional,  
Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Edif. 5, 3er Piso, Distrito Federal, México.



# Generación sincrónica en tres cavidades

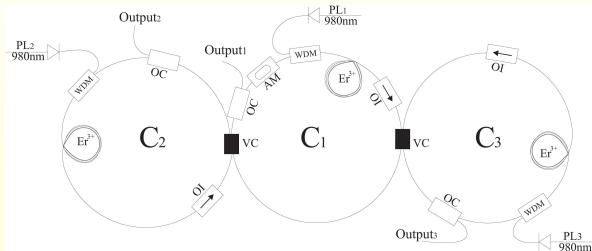


Fig. 1. Experimental setup of a multicavity fiber laser system. PL-Pump laser (980nm), WDM-Wavelength division multiplexing coupler (980nm/1550nm),  $\text{Er}^{3+}$ -Erbium doped fiber, OI-Optical isolator, VC-Variable ratio coupler, OC-Optical coupler, AM-Amplitude modulator, C1-Modulated cavity, C2 and C3-Neighbor cavities.



# Generación sincrónica en tres cavidades

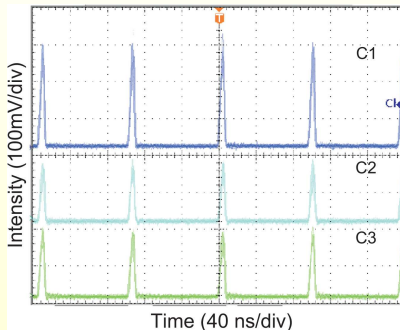


Fig. 2. Oscilloscope trace of the temporal pulse emission for a C1-modulated cavity, with C2 and C3 as neighbor cavities.



# Generación sincrónica en tres cavidades

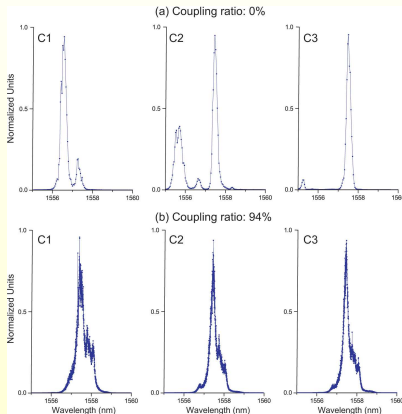


Fig. 4. The output spectrum of each one of the cavities in the array for: (a) uncoupled cavities and (b) coupled cavities in the synchronous regime.



Las componentes fotónicas basadas en fibra óptica representan interesantes objetos de estudios relativamente baratos. Con éstos es posible desarrollar tanto investigación como innovación.

