

## DISPERSIÓN CROMÁTICA EN UNA FIBRA OPTICA DE SiO<sub>2</sub> Y SUS EFECTOS EN LA TRANSMISIÓN DE INFORMACION

M. J. Latorre., C. E. Pérez, P. Pellat Finet\* y J. León  
Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.  
\*Universidad de Bretagne-Sud, Lorient, Francia.

### RESUMEN

La dispersión cromática es uno de los principales factores de la degradación de la señal, que se han presentado en las redes de las telecomunicaciones basadas en fibra óptica. En este trabajo se presenta un estudio del efecto de la dependencia del índice de refracción del material constitutivo de una fibra, con la frecuencia de la señal óptica. Para tal efecto se considera el modelo del índice de refracción para el SiO<sub>2</sub>, determinado para un rango de funcionamiento de 0,2 μm a 4 μm. Se presentan los resultados de un estudio de simulación realizado para dos formas de señal transmitida.

### INTRODUCCIÓN

En la parte de comunicaciones, la consideración de la dispersión cromática tiene su efecto sobre los pulsos ópticos que se transmiten. Mediante un proceso de simulación mostraremos a continuación cuando un sistema puede ser óptimo para un enlace en telecomunicaciones.

El efecto de la dispersión cromática [1,2] se origina debido a la dependencia del índice de refracción con la frecuencia de la señal óptica  $n(\omega)$ , cada componente de la señal óptica como un pulso, sufrirá un retardo diferente con relación a la frecuencia portadora. El retardo para cada componente de señal por unidad de distancia recorrida (L), está dado por la Ecuación 1:

$$\frac{\tau}{L} = \Delta\lambda \left| \frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n}{d\lambda^2} \right| = \Delta\lambda |D(\lambda)| \quad [1]$$

Siendo,  $D(\lambda)$ : Coeficiente de dispersión del material;  $\Delta\lambda$ : Ancho espectral del pulso y  $c$ : velocidad de la luz en el vacío.

Por otra parte, el efecto de la dispersión del material se efectúa sobre la fase de la señal transmitida y está dado por la expresión, en el dominio de la frecuencia como

$$F(\omega) = \exp\left[j \frac{1}{2} \omega^2 l \frac{d^2 \beta}{d\omega^2}\right] \quad [2]$$

donde,  $\beta$ : Constante de propagación de la seña transmitida  $l$ : Distancia recorrida por la señal en el medio.

Actualmente la ITU (international telecommunications union), organismo estandarizador en el sector de las telecomunicaciones, establece los regímenes de funcionamiento de las redes ópticas y entre ellos, los límites aceptables de dispersión cromática.

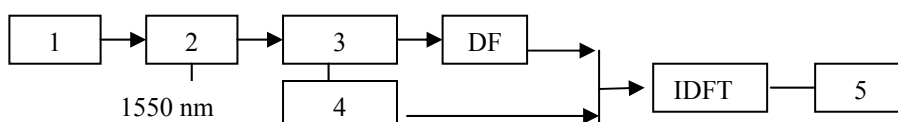
**DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

Con el fin determinar el efecto dispersivo de un medio óptico, se optó por realizar simulaciones numéricas, para un material típico constitutivo de la fibra óptica monomodo, de amplia utilización en redes de telecomunicaciones.

Se considera la estructura para el dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) fundido, cuyo índice de refracción está determinado por la expresión de Sellmeier para un rango de longitudes de onda de 200 – 4000 nm; con dos términos en el ultravioleta y un en el infrarrojo; la cual transformada en función de la frecuencia angular, se tiene

$$n^2 - 1 = \frac{(2\pi c)^2 0.6961663}{(2\pi c)^2 - (0.0684043\omega)^2} + \frac{(2\pi c)^2 0.4079426}{(2\pi c)^2 - (0.1162414\omega)^2} + \frac{(2\pi c)^2 0.8974794}{(2\pi c)^2 - (9.896161\omega)^2} \quad [3]$$

Con esta representación para el índice de refracción, se procedió a generar la señal a transmitir por una fibra óptica cuyo núcleo, está caracterizado por un índice de refracción de núcleo dado por (3). La señal a transmitir se supone de forma rectangular y trapezoidal; siendo esta última una mejor aproximación a las señales reales utilizadas en telecomunicaciones, toda vez, que esta debe estar limitada en banda. En la Fig. 1 se describe el algoritmo utilizado en el proceso de simulación y a continuación se describe brevemente los diferentes pasos: En 1, se determina las características de la señal que se va a transmitir, esto es su duración, tiempo de subida/caída; en 2, la señal es modulada por una portadora óptica de 1550 nm de amplitud unitaria; 3, la señal modulada es muestreada a la rata de nyquist para evitar aliasing de la señal; 4, La respuesta del medio se obtiene por medio de un muestreo del valor del índice de refracción con la frecuencia dentro de la banda de la señal modulada; a la señal modulada se le realiza una transformada discreta de Fourier (DFT) a sus muestra para obtener su espectro de

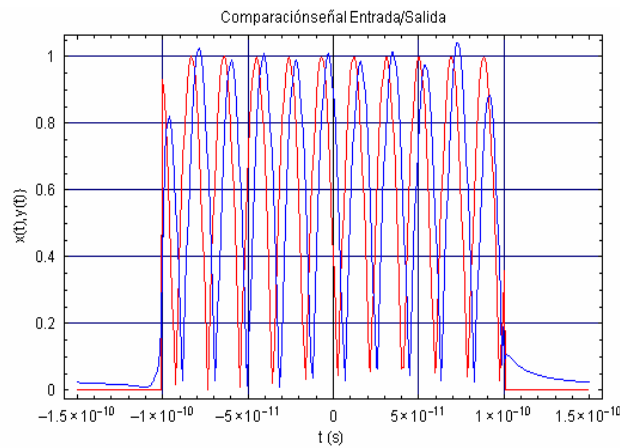


**Fig. No.1.** Algoritmo de simulación: 1.-Generación de la señal; 2.-Modulación; 3.- Muestreo de la señal; 4.- Muestreo de la respuesta del medio; DFT: Transformada discreta de fourier; IDFT: Transformada discreta de fourier inversa y 5.-Señal de salida.

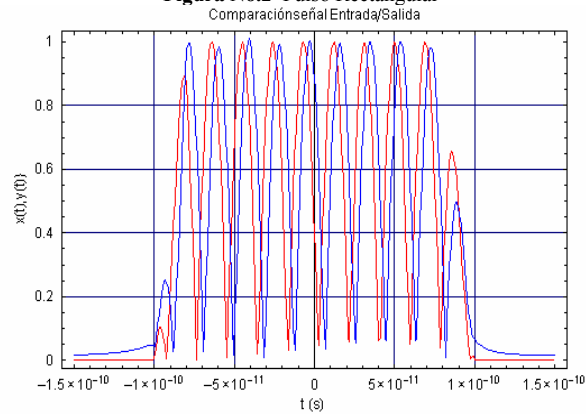
Frecuencia; al conjunto de datos obtenidos como respuesta del medio se le aplica la transformada de fopurier inversa (IDFT) para obtener la señal en el dominio del tiempo (reconstrucción de la señal) y en 5, la señal obtenida es escalada para observar sus variaciones sobre una misma escala temporal.

**Tabla No. 2.** Resultados obtenidos para pulsos rectangular y trapezoidal.

Pulso rectangular		Pulso trapezoidal	
Características	valores	Características	Valores
Clase de señal	NRZ	Clase de señal	NRZ
Duración	$2*10^{-10}$ s (vel. Tx.5 Gbps)	Duración	$2*10^{-10}$ s (vel. Tx.5 Gbps)
Amplitud	1	Amplitud	1
Ancho de banda en banda base	31.4 GHz	Tiempo de sub/baj	$2*10^{-11}$ s
Frecuencia de muestreo	$1.25*10^{12}$ Hz	Ancho de banda en banda base	31.4 GHz
Distancia	1m	Frecuencia de muestreo	$1.25*10^{12}$ Hz



**Figura No.2** Pulso Rectangular



**Figura No.3** Pulso Trapezoidal

### RESULTADOS

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para dos formas de señal (rectangular y trapezoidal). Se puede observar a la salida de la fibra, el efecto de ensanchamiento del pulso, notado en los flancos del pulso y que varía con la distancia de propagación y el efecto de jitter en el cual el tiempo de bit se desplaza a medida que la distancia de propagación aumenta.; existe también un cambio de fase para cada componente de señal. En el dominio del tiempo el pulso se va “corriendo hacia la derecha”, este corrimiento es el efecto del retardo diferencial, de cada una de las componentes espectrales del pulso, que es causal de errores en las transmisiones, debido a la superposición de bits adyacentes. El efecto sobre la amplitud de la señal, que es debido al “derramamiento” de la energía del pulso en sus flancos, ya que no existen bandas de absorción para el rango de frecuencias de trabajo ( $1.21607 \cdot 10^{15} - 1.21613 \cdot 10^{15}$  rad/s), y es confirmado por la conservación de la magnitud espectral

### CONCLUSIONES.

El  $\text{SiO}_2$ , se comporta como un medio dispersivo, pero poco absorbente para el rango de longitudes de onda (1525 a 1575 nm), esto puede observarse en la constante amplitud entre las señales de entrada y salida. Este efecto dispersivo es muy pronunciado para un enlace de telecomunicaciones, con una fibra de estas características en su núcleo.

Para este material, el coeficiente de dispersión nula se encuentra a una longitud de onda igual a  $\lambda_0 = 1272$  nm, cuya pendiente es,  $S_0 = -38144.5$  ( $1/\mu\text{m}$ ). En la longitud de onda de trabajo (1550nm), la dispersión del material será mayor debido a que no se está trabajando alrededor de  $\lambda_0$ , donde es el punto de menor dispersión. Por lo tanto este sistema no es óptimo en cuanto a la dispersión del material.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a COLCIENCIAS y a la Vicerectoría de investigaciones de la Universidad del Cauca, programa Jóvenes Investigadores y al Dr. Servio Tulio Pérez por sus recomendaciones y sugerencias al algoritmo de simulación.

### REFERENCIAS

- [1] J. GOWAR, Optical Communication Systems, Edit. Prentice Hall, Londres, 1984.
- [2] E. IANNONE, Nonlinear Optical Communication Networks, Edit. Wiley, N.Y. 1999