

**CHROMATIC DISPERSION EFFECTS IN A HYBRID SYSTEM****EFEECTO DE LA DISPERSIÓN CROMÁTICA EN UN SISTEMA HÍBRIDO**

**MSc. Karla Cecilia Puerto López\***, **MSc. Byron Medina Delgado\***  
**MSc. Luis Leonardo Camargo Ariza\*\***

\* **Universidad Francisco de Paula Santander**, Facultad de Ingeniería, GIDT.  
Av. Gran Colombia No. 12E-96, San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.  
Teléfono (057 7) 5776655 y Fax (057 7) 5753893.  
E-mail: {karlaceciliapl, byronmedina}@ufps.edu.co.

\*\* **Universidad del Magdalena**, Facultad de Ingeniería, GIDEAM.  
Carrera 32 No. 22-08, Santa Marta D.T.C.H., Magdalena, Colombia.  
Tel. (+575) 4217940 y Fax (+0575) 4301292.  
E-mail: lcamargo@unimagdalena.edu.co

**Abstract:** The paper presents the simulating the effects of chromatic dispersion (CD) in optical fiber (RoF) and the effect of noise on the wireless transmission (Additive White Gaussian Noise, AWGN), in a hybrid communication system. The communication system used modulation quaternary phase Shift Keying (QPSK), and the dense wavelength division multiplexing (DWDM). In the simulation the performance is evaluated with fiber 20, 40 and 80 km long, with a factor of chromatic dispersion of 16 ps/nm.km, and a signal to noise ratio in the wireless channel of 20, 15, 10 and 5. The evaluated results showed radio systems over fiber optic modulated phase coherent detection as an alternative for the transmission of information.

**Keywords:** Fiber optic, hybrid systems, modulation, multiplexing, radio.

**Resumen:** El artículo presenta los resultados de la simulación del efecto producido por la dispersión cromática (CD) en la fibra óptica (RoF) y el efecto del ruido en la transmisión inalámbrica (AWGN); en un sistema de comunicación híbrido. Sistema que utiliza la modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK) y la multiplexación densa de longitud de onda (DWDM). En la simulación se evalúa el desempeño de la fibra con 20, 40 y 80 km de longitud, con factor de dispersión de 16 ps/nm.km y relación señal a ruido en el canal inalámbrico de 20, 15, 10 y 5. Los resultados evidenciaron a los sistemas de radio sobre fibra modulados en fase óptica con detección coherente como una alternativa para la transmisión de información.

**Palabras clave:** Fibra óptica, sistemas híbridos, multiplexación, modulación, radio.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han necesitado sistemas de telecomunicaciones que puedan transportar gran cantidad de información, que ofrezcan variedad de servicios como voz, datos y video y, que faciliten acceder a éstos en cualquier momento y lugar.

Actualmente los sistemas inalámbricos como la telefonía móvil de 4G LTE, las redes WiFi, las redes WiMax, entre otros; permiten la transferencia de voz, datos y video, a través de la emisión de ondas de radio; obteniendo ventajas como movilidad y flexibilidad en el momento de suministrar servicios de telecomunicaciones.

La creciente demanda de servicios que exigen un gran ancho de banda, sumada a las limitaciones del canal inalámbrico en ciertos escenarios, han provocado que se integren otros medios de transmisión a los sistemas de comunicación, como la fibra óptica, en donde las señales de radio se transportan a través de la fibra.

Se ha reportado en la literatura científica (Campos y Sabogal, 2006; Jacques *et al.*, 2003; Granada, 2012) como opción viable para satisfacer las premisas descritas anteriormente, mayor ancho de banda, movilidad y baja atenuación, entre otras, el generar patrones híbridos que permitan el diseño e implementación de una infraestructura única de telecomunicaciones donde convergen tanto los sistemas de comunicaciones ópticas como los sistemas inalámbricos.

La tecnología conocida como Radio sobre Fibra (*Radio over Fiber, RoF*) emerge como respuesta a la integración de la fibra óptica y las redes inalámbricas, como se observa en la Fig. 1, en donde se aprovecha la fibra óptica para transportar señales de las redes inalámbricas, directamente hasta un punto de radiación remoto.

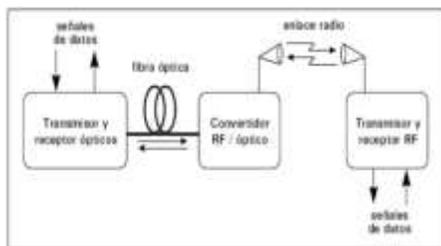


Fig. 1. Sistema de comunicaciones de radio sobre fibra óptica. Fuente: (Jacques *et al.*, 2003).

Una ventaja de los sistemas RoF es centralizar las funciones del procesado de las señales en un mismo emplazamiento, así como la distribución de los servicios de la red a los usuarios mediante antenas remotas (Jacques *et al.*, 2003).

En la actualidad existen problemas en los sistemas de fibra óptica, visibles en las linealidades y no linealidades de la fibra como la dispersión cromática, la dispersión por modo de polarización, la dispersión estimulada, la dispersión de Brillouin y la atenuación, entre otros (Granada, 2012). Algunos de los problemas actuales en el diseño y en el despliegue de los sistemas de RoF, se deben a las no linealidades que se presentan en la modulación directa, las pérdidas producidas por la conversión de señales eléctricas a ópticas y viceversa y, a las señales no deseadas que se

mezclan con la señal a transmitir, que se definen como las diferentes intensidades de ruidos presentes en el enlace, como el ruido óptico y el eléctrico.

La Dispersión Cromática (*Chromatic Dispersion, CD*) es una imperfección propia de la fibra, que ensancha el pulso temporalmente, originando la Interferencia Intersímbolo (*Intersymbol Interference, ISI*), por la superposición entre pulsos adyacentes (Savory, 2008; Escallón *et al.*, 2008).

La técnica por Multiplexación Densa de Longitud de Onda (*Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM*), utiliza diferentes señales portadoras ópticas que se transmiten por una única fibra utilizando distintas longitudes de onda (Guerrero, 2011). Cada portadora forma un canal óptico que puede ser tratado independientemente del resto de canales que comparten el medio (fibra óptica) y contener diferente tipo de tráfico. Por lo tanto, DWDM permite el uso eficiente del ancho de banda de la fibra, así como mantener una comunicación bidireccional, enviando y recibiendo mensajes de forma simultánea. Esta técnica de transmisión es atractiva para los operadores de telecomunicaciones ya que les permite aumentar su capacidad de transmisión, reducir costos de operación, mejorar la gestión de los recursos, y optimar la eficiencia espectral. Actualmente DWDM presenta problemas como los efectos no lineales que dependen de la intensidad de la señal, las pérdidas de inserción y la diafonía entre canales, entre otros (Ramos, 2009).

En este artículo se presentan los resultados de la simulación de un sistema de comunicaciones híbrido utilizando la herramienta computacional Matlab (MathWorks Inc., 2013), evaluando el comportamiento del sistema, frente al efecto que produce la CD y el ruido en el canal inalámbrico.

## 2. DESCRIPCIÓN

Para simular el sistema de comunicaciones se emplea la herramienta Simulink de Matlab (Ortega, 2005), en donde se implementa cada una de los bloques del sistema de comunicaciones, utilizando las librerías del software, los subsistemas principales son: Láser, Modulador Óptico, DWDM Mux, DWDM Demux y Fibra con CD (Ver Fig. 2).

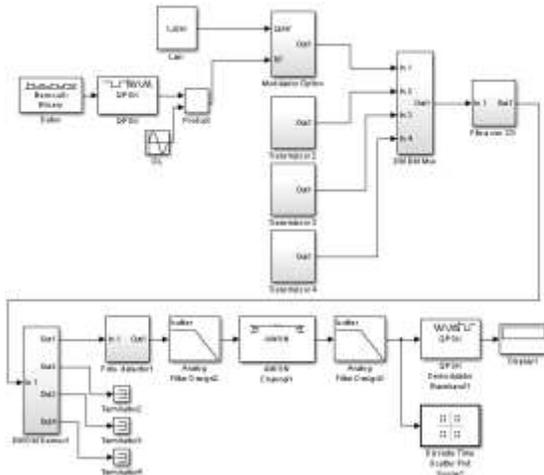


Fig. 2. Modelo completo desarrollado en Simulink.

El bloque Fibra con CD, modela una fibra en ausencia de no linealidades y con dispersión cromática según la Ecuación (1) (Savory, 2008).

$$G(z, \omega) = e^{-j \frac{D\lambda^2 z}{4\pi c} \omega^2} \quad (1)$$

En donde  $D$  es el coeficiente de dispersión de la fibra,  $\lambda$  la longitud de onda,  $z$  la distancia de propagación,  $c$  la velocidad de la luz, y  $\omega$  la frecuencia angular. La CD es modelada en el bloque Fibra con CD en el dominio del tiempo por la Ecuación (2) (Savory, 2008).

$$g(z, t) = \sqrt{\frac{c}{jD\lambda^2 z}} e^{-j \frac{\pi c}{D\lambda^2 z} t^2} \quad (2)$$

Los bloques DWDM Mux y DWDM Demux modelan un sistemas DWDM que usan la banda C en la región de 1530 a 1570 nm, utilizando separaciones entre longitudes de onda de 200 GHz (1.6 nm), 100 GHz (0.8 nm), 50 GHz (0.4 nm) ó 25 GHz (0.2 nm), longitudes definidas en la recomendación ITU-T G. 694 (ITU-T, 2002).

El bloque Láser modela la fuente de luz con longitudes de onda requeridas en el bloque DWDM. El bloque del Modulador óptico simula un modulador de fase óptica según la Ecuación (3).

$$E_{out}(t) = E_s e^{j \frac{\pi}{V_{\pi}} (datos(t))} \quad (3)$$

Donde  $E_s$  es la señal del láser, y  $datos(t)$  es la información en formato QPSK.

Para un mejor análisis del sistema de comunicación, la simulación se realiza en el canal inalámbrico y en la fibra por separado y posteriormente de forma conjunta.

Se simulan los efectos del ruido en el canal inalámbrico utilizando el modelo que se muestra en la Fig. 3. Se utilizan moduladores banda base para mejorar los tiempos de simulación. Se varían los valores de la Relación Señal a Ruido (*Signal to Noise Ratio*, SNR) en 20, 15, 10 y 5, en la librería *AWGN Channel*.

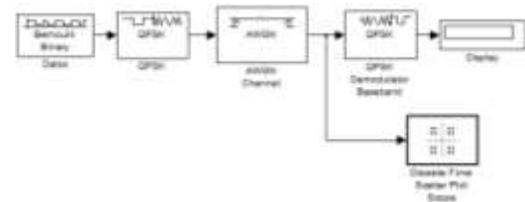


Fig. 3. Modelo de una comunicación de radio frecuencia en Simulink.

Se simulan los efectos de la dispersión cromática en un sistema de radio sobre fibra utilizando el modelo que se muestra en la Fig. 4. Con frecuencia de portadora de 60 GHz, en la ventana de los 1550 nm, con factor de dispersión de 16 ps/nm.km y atenuación de 0.2 dB/km, variando la longitud de la fibra (20 km, 40 km y 80 km) (Stöhr *et al.*, 2009).

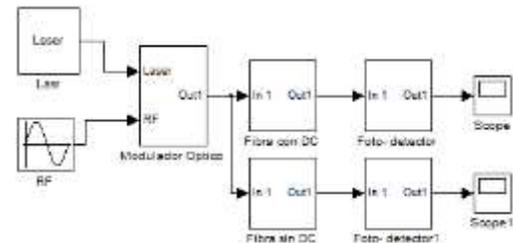


Fig. 4. Modelo de una comunicación de RoF en Simulink.

La simulación del sistema de comunicación híbrido completo se realiza utilizando el modelo que se muestra en la Fig. 2. En esta sección son combinadas las señales de RF provenientes del modulador junto con las cuatro longitudes de onda 1540.56, 1548.51, 1557.36 y 1558.17 nm provenientes del sistema DWDM con velocidad de transmisión de 40 Gbps. Para la simulación se especifica un factor de dispersión de 16 ps/nm.km, atenuación de 0.2 dB/km y SNR de 20 dB, variando la longitud de la fibra (20 km, 40 km y 80 km).

### 3. RESULTADOS

En la Fig. 5 se representan los diagramas de constelación del sistema QPSK, considerando los efectos producidos por el canal AWGN, para

valores de SNR de 20, 15, 10 y 5. El aumento de la dispersión de los puntos en la constelación, a medida que la SNR disminuye, evidencia la restricción del sistema para una óptima comunicación, porque se hace comparable en amplitud la señal del ruido con respecto al mensaje.

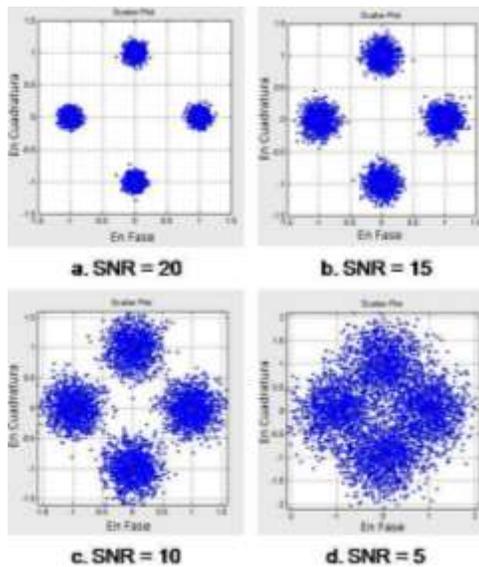


Fig. 5. Señal QPSK en un canal AWGN. Fuente: Simulink.

Para modelar en la simulación los efectos de la dispersión cromática, se evalúan las ondas senoidales de una transmisión a 60 GHz en el dominio del tiempo, evidenciando un desfase producto de la CD. Se observa cómo a 20 km se comporta de forma similar la señal con CD y sin CD, cómo a 40 km se tiene un desfase de 180 grados comparando las ondas con CD y sin CD, y cómo a 80 km el desfase no existe, lo que permite inferir que existe un desfase que cambia con respecto a la longitud de la fibra y que se comporta cíclicamente debido a la CD. Ver Fig. 6.

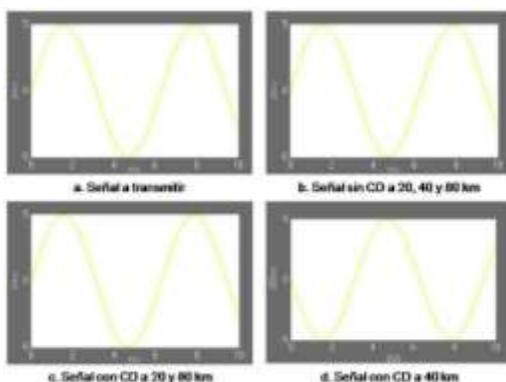


Fig. 6. Efectos producidos por la CD en un sistema RoF en el dominio del tiempo.

En la Fig. 7 se observan los resultados de la simulación, para evaluar el comportamiento del sistema de comunicación híbrido, aplicando longitudes de fibra de 20, 40 y 80 km, velocidad de transmisión de 40 Gbps, y frecuencia de portadora de 60 GHz.

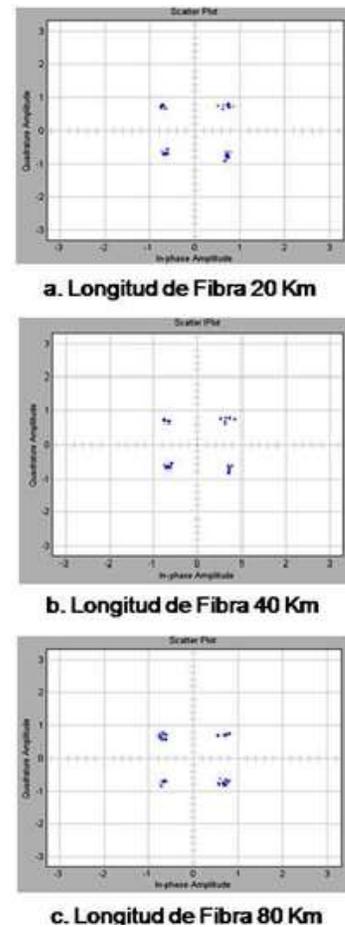


Fig. 7. Efectos producidos por la CD en un sistema híbrido.

En los diagramas de constelación de la Fig. 7, se aprecia que la dispersión cromática en el sistema híbrido, generó niveles de información en la señal recibida para las longitudes de 40 y 80 km, respecto de la longitud de 20 km.

#### 4. CONCLUSIONES

Existe un desfase entre la respuesta en el tiempo de la señal con CD y sin CD, que cambia con respecto a la longitud de la fibra y que se comporta cíclicamente debido a la dispersión cromática. Lo que infiere que este tipo de distorsión (CD) posee comportamientos cíclicos para ciertos valores de las longitudes de la fibra. Sin desfase para

longitudes de 20 y 80 km, y desfase de 180 grados para la longitud de 40 km.

La simulación del sistema híbrido (sistema DWDM y sistema RoF) para longitudes de onda de 1540.56, 1548.51, 1557.36 y 1558.17 nm; SNR de 20, 15, 10 y 5; modulación QPSK; y velocidad de transmisión de 40 Gbps, presentó menor dispersión en la constelación después del DPLL. Estos resultados muestran a los sistemas de radio sobre fibra modulados en fase óptica con detección coherente como una alternativa para la transmisión de información.

## 5. RECONOCIMIENTO

Este artículo es resultado del trabajo en conjunto del Grupo de Investigación y Desarrollo en Telecomunicaciones (GITD) de la Universidad Francisco de Paula Santander, y del Grupo de Investigación en Desarrollo Electrónico y Aplicaciones Móviles (GIDEAM) de la Universidad del Magdalena.

## REFERENCIAS

- Campos, G. E. y Sabogal A., G. P. (2006). *Software de simulación de diferentes tipos de modulación de señales de radiofrecuencia sobre fibra óptica*, Umbral científico, número 009, Fundación Universitaria Manuela Beltrán, Bogotá, Colombia.
- Cortés C., J. (2013). “Camino de migración hacia un AON de un operador de telecomunicaciones en Colombia”, *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, Vol. 1, No 21.
- Escallón, A., Barrios, J. y Toledo, A. (2008). “Incidencia de los parámetros que afectan la calidad de la señal óptica en el desempeño de una red metropolitana WDM”, *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, Vol. 2, No 12.
- Granada, J. J. (2012). *Monitoreo del efecto de la dispersión cromática en un sistema de radio sobre fibra basado en técnica de procesamiento digital de señales*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Guerrero, N., Prince, K. and Tafur, I. (2011). “Reconfigurable digital receiver for optically envelope detected half cycle BPSK and MSK radio-on-fiber signals”, *Optical Fiber Technology*, Vol. 17, No. 1.
- ITU-T Recommendation G.694.1 (2002). Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.
- Jacques, P., Irla, R. y Lester C. (2003). *A New Concept for Wireless Reconfigurable Receivers, Topics in Software and DSP in Radio*, IEEE Communications Magazine, pp. 124–132.
- MathWorks Inc. (2013). “MATLAB The language technical Computing”. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>.
- Ortega, H., Castellanos, E., Talero, J. y Rugeles, J. (2005). “Análisis de propagación electromagnética en espacios cerrados: herramienta software en Matlab para predicción y simulación”, *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, Vol. 2, No 6.
- Ramos, P. F. (2009). “Estudio de efectos no lineales en dispositivos fotónicos y su aplicación en sistemas de radio sobre fibra”. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Savory, S. J. (2008). “Digital filters for coherent optical receivers”. *Optic Express*, Vol. 16, No. 2.
- Stöhr, A., Akrouf, A., Buß, R., Charbonnier, B., Van Dijk, F., Enard, A., Fedderwitz, S., Jäger, D., Huchard, M., Lecoche, F., Marti, J., Sambaraju, R., Steffan, A., Umbach, A., and Weiß, M. (2009). “60 GHz radio-over-fiber technologies for broadband wireless services Optical Society of America”, *Journal of Optical Networking*, Vol. 8, No. 5.