

# Modelado de un Sistema de Acceso Múltiple por división de código en el Entorno Óptico

Waldimar Amaya  
Ocampo<sup>1</sup>

Juan Carlos  
Gómez Paredes<sup>2</sup>

## RESUMEN

Este documento describe la tecnología OCDMA (optical code division multiple access) centrándose en los sistemas coherentes OCDMA. Se realiza el modelamiento del sistema usando VPI v7.0 y se presentan los resultados de las simulaciones realizadas. Las simulaciones muestran la funcionalidad de OCDMA como tecnología de control de acceso y describe los principales aspectos a tener en cuenta al momento de evaluar el rendimiento de este tipo de tecnología.

**Palabras clave:** Acceso Múltiple, Sistemas OCDMA, ruido de batido, Interferencia de múltiple acceso.

## ABSTRACT

This paper describes the OCDMA technology (Optical Code Division Multiple Access) focussing on the coherent systems OCDMA. The modelling was done using VPI v7.0 and the results of the simulations are presented. The utility of OCDMA as a control access technology it's demonstrated by the simulations which describe the most important aspect to be considered to evaluate the performance of coherent OCDMA Systems.

**Key words:** Multiple access, OCDMA systems, beat noise, multiple-access interference.

## 1. INTRODUCCIÓN

El aumento considerable de la demanda de ancho de banda por parte de los usuarios, como consecuencia de la implementación de nuevos servicios, ha llevado a la búsqueda de soluciones en los enlaces de última milla. La solución más acertada son las redes ópticas pasivas (PON) ya que su ancho de banda es lo suficientemente grande para cubrir las necesidades de los usuarios residenciales y em-

presariales [1]. Existen técnicas que permiten explotar al máximo las características de las PONs, como son TDMA (Time Division Multiple Access), WDMA (Wavelength Division Multiple Access), SCMA (SubCarrier Multiple Access) y OCDMA (Optical Code Division Multiple Access).

OCDMA es una prometedora tecnología para la siguiente generación de redes de acceso de banda ancha. En esta tecnología, se le asignan a diferentes usuarios, diferentes códigos durante la transmisión y de esta forma son identificados en el sistema. Ofrece además ventajas únicas, entre ellas:

- Todo el procesamiento es óptico.
- Transmisión totalmente asíncrona.
- Bajo retardo de acceso.
- Asignación de capacidad por demanda.
- Potencialmente más seguro.
- Control de calidad de servicio.

Dentro de los tipos de sistemas OCDMA se han escogido los sistemas de tipo coherente por brindar mayores ventajas que los de tipo incoherente, entre ellas mejores propiedades de correlación, eficiencia espectral y dispersión [2]. No obstante también presentan el inconveniente del ruido producido por el batido de las señales cuando se realiza la detección. En este artículo se demuestra mediante la simulación en VPI v7.0 la funcionalidad de OCDMA como técnica de acceso y además muestra el fenómeno del ruido de batido y la interferencia multiacceso.

El artículo se encuentra organizado por secciones, donde la sección 2 describe las características básicas de los sistemas coherentes OCDMA puntualizando en los TS (Time Spreading)-OCDMA y en los tipos de dispositivos usados para realizar la codificación. En la sección 3 se realiza el modelamiento de cada uno de los bloques que componen el sistema

<sup>1</sup> Investigador del Grupo de Comunicaciones Ópticas y Cuánticas GCOC. Ingeniero de Investigación y Desarrollo en el Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (ITEAM), Universidad Politécnica de Valencia.

<sup>2</sup> Ingeniero en Telecomunicaciones Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital.

OCDMA describiendo cada una de las partes. La sección 4 muestra los resultados de cuatro (4) de las simulaciones realizadas en donde se consideran sistemas de tipos síncrono y asíncrono y además el efecto del ancho de banda del filtro, por último las conclusiones son presentadas en la sección 5.

## 2. SISTEMAS OCDMA (OPTICAL CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS)

Un sistema OCDMA es aquel en donde a una fuente de información digital óptica se codifica mapeando cada bit de salida con una secuencia (Código) con tasa binaria más alta y que se acopla a un canal de fibra. En el receptor la secuencia de pulsos ópticos debe ser comparada con una réplica almacenada de si misma (proceso de correlación) y un nivel de umbral para la recuperación de los datos.

El último bloque del sistema OCDMA es el receptor óptico, que además de hacer la transducción de la señal óptica a eléctrica, es en donde se implementan las técnicas para disminuir la influencia del ruido.

En OCDMA hay K pares TX/RX interconectados en una red. En la figura 1 se muestra una configuración de red en estrella, en donde cada fuente de datos se codifica con una secuencia única que solo podrá entender al otro extremo de la red aquel receptor que posea dicha secuencia. Una de los objetivos básicos de OCDMA es poder extraer la información de la secuencia de pulsos ópticos deseados aún en presencia de todos los demás usuarios.

Para ello se requiere que las secuencias de código usados tengan propiedades de auto-correlación y correlación cruzada muy buenas, es decir, que la auto-correlación exhiba un pico

destacado mientras que la correlación cruzada entre dos secuencias permanezca siempre baja.

### 2.1. Time Spreading Ocdma (TS OCDMA)

En TS-OCDMA el flujo de datos de cada usuario es multiplicado directamente por una secuencia o código único, de tal forma que cuando llega un bit “1” se envía a la red el código y cuando llega un bit “0” no se envía nada, la tasa de bit del código se le llama tasa de chip, y supera en gran medida a la de la señal original.

Puesto que el periodo de bit de la señal de información ( $T_0$ ) es n veces mayor que el periodo de chip del código ( $T_{chip}$ ), el ancho de banda (velocidad de transmisión) de la señal resultante ( $W$ ) es n veces mayor que el de la señal original ( $W_0$ ):

$$T_0 = nT_{chip} \quad (1)$$

$$W_0 = \frac{1}{T_0} \quad (2)$$

De donde podemos deducir que

$$W = \frac{1}{T_{chip}} = \frac{n}{T_0} = nW_0 \quad (3)$$

Esto implica que el máximo ancho de banda que puede utilizar el usuario es una n-ésima parte del ancho de banda total.

Las señales codificadas son ingresadas dentro de una fibra óptica a través de un acoplador K x K de tal manera que los usuarios comparten el medio y estarán inmersos dentro de la interferencia producida por cada uno de los demás usuarios que se encuentren transmitiendo en ese mismo instante.

El decodificador por su parte, es una estructura simétrica en términos temporales y de fase óptica a la codificadora, la correspondencia entre líneas de distintos retardos y sus valores de desfase óptico son conjugados. Si el bloque decodificador es el correcto, a su salida obtendremos la señal original más el ruido de interferencia producido por los demás usuarios presentes en el sistema, si no es el correcto solo se obtendrá ruido. La influencia del ruido sobre la señal

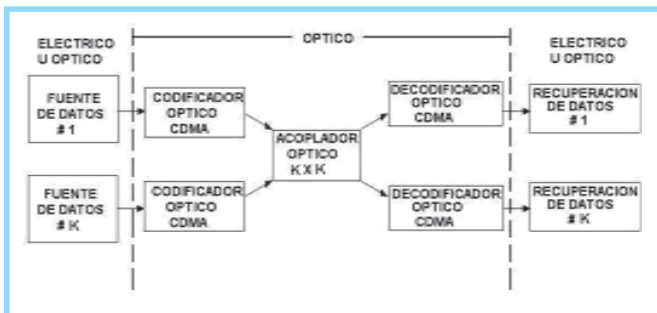


Figura 1. Diagrama esquemático de un sistema de múltiple acceso OCDMA en configuración estrella.

OCDMA es una prometedora tecnología para la siguiente generación de redes de accesos de banda ancha.

dependerá de la fase, del grado de coincidencia temporal que tengan las señales de los demás usuarios y del tipo de sistema TS-OCDMA que se este considerando, el cual puede ser un sistema coherente ó un sistema Incoherente.

Determinar si un sistema es coherente o no, dependerá de la relación que exista entre el tiempo de chip ( $T_c$ ) y el tiempo de coherencia de la luz láser ( $\tau_c$ ) que se este utilizando. Si  $T_c/\tau_c \leq 1$  el sistema es coherente, ahora si  $T_c/\tau_c > 1$  hablamos de un sistema incoherente. En un sistema incoherente el ruido dominante será el ruido MAI (MultiAccess Interference), mientras en sistemas coherentes el ruido dominante es el ruido producido por el batido entre el pulso de datos recuperado y los pulsos interferentes que caen exactamente en el mismo instante.

El último bloque del sistema OCDMA es el receptor óptico, que además de hacer la transducción de la señal óptica a eléctrica, es en donde se implementan las técnicas para disminuir la influencia del ruido. Las dos técnicas más usadas son; el time gating y el thresholding. El time gating consiste en el uso de un filtro de ancho de banda muy grande que pueda discriminar el pulso que lleva la información en el dominio del tiempo, que a su vez es muy estrecho. El thresholding se basa en el hecho de que el pulso recuperado con un decodificador correcto tendrá una potencia superior al de la interferencia, de tal forma que ese pulso podrá ser discriminado si supera un determinado nivel umbral de potencia óptica. Normalmente el thresholding se implementa mediante el uso de dispositivos no lineales.

Como se puede observar todo el procesamiento que se hace de la señal es óptico es decir que no ha existido la necesidad de realizar ninguna conversión a señal eléctrica, lo cual tiene enormes ventajas para el rendimiento de la red en general.

## 2.2. Dispositivos COD/Decodificadores

Para llevar a cabo la codificación/decodificación las tecnologías que se pueden usar son muy diversas y han venido evolucionando gracias a las nuevas técnicas de fabricación que se pueden usar en dispositivos ópticos.

Los primeros elementos usados para realizar los procesos de codificación fueron simplemente fibras ópticas de longitudes apropiadas y que actuaban como líneas de retardo temporal, estas líneas manipulaban los bits modificando su instante de llegada y en algunas ocasiones su fase [3]. El problema de usar las fibras ópticas como elemento codificador es que tienen una escalabilidad limitada y además es muy difícil lograr y mantener la precisión adecuada de su longitud física.

Una técnica más reciente es conocida como PLC (planar lightwave circuits) la cual es llamativa por ser más flexible al permitir codificadores y decodificadores que puedan ser sintonizados a una longitud de onda determinada. Los dispositivos PLC más conocidos y usados en OCDMA son los AWGs (Arrayed Waveguide Gratings) [5]. Estos dispositivos aun son costosos, no obstante, se usan cada vez más, especialmente en la implementación de códigos que emplean tanto longitudes de onda como slots de tiempo diferentes para su construcción, conocidos como códigos 2D.

Otros dispositivos con los cuales se puede realizar los procesos de codificación y decodificación en sistemas OCDMA son los basados en FBG (Fiber Bragg Gratings) o Redes de Difracción de Bragg. Una de las razones por las que se usan las FBG's es por estar construidas sobre fibra óptica brindando de esta manera compatibilidad total con el sistema y adicionalmente porque estas estructuras son relativamente fáciles de construir y por lo mismo económicas.

La red de difracción es una fibra óptica en la cual se ha introducido una variación periódica del índice de refracción ( $\Delta n$ ). Esta variación es pequeña con respecto al índice medio de la fibra. Se fabrican exponiendo la fibra junto con un patrón o mascara a los rayos ultravioleta, lo cual produce la variación del índice de refracción.

Existen unas FBGs más específicas conocidas como SSFBG (SuperStructured fiber Bragg Gratings). Un SSFBG se define como una red de difracción fabricada con una exposición de luz modulada a lo largo de su longitud, es decir, que en su fabricación además

de usarse una mascara, se modula la luz con la cual es iluminada tanto en amplitud como en fase. El uso de las SSFBGS ha sido demostrado ya por diferentes autores [2], [5], [6].

### 3. MODELADO DE UN SISTEMA TS OCDMA

En la figura 2 se describen los principales elementos que deben ser modelados en un sistema TS-OCDMA. Para ello se hará uso de las herramientas disponibles en el software VPI v7.0.

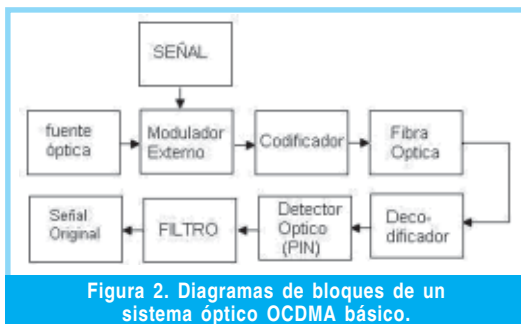


Figura 2. Diagramas de bloques de un sistema óptico OCDMA básico.

#### 3.1. Fuente Óptica

La fuente óptica que se modelo tiene una señal de salida consistente en pulsos modulados en amplitud por una secuencia de datos PRBS (Pseudo Random Binary Sequence Generator) cuya tasa binaria pudiese ser variada entre 1,25 Gbps y 2,5 Gbps, con ancho de pulso de 2,5 ps, y que trabajase en tercera ventana ( $\lambda=1550\text{nm}$ ).

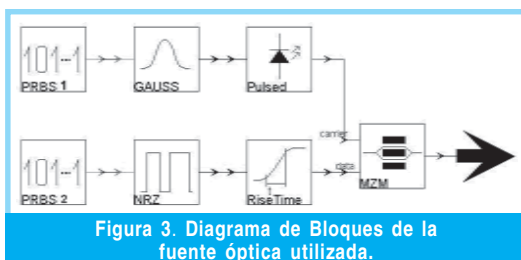


Figura 3. Diagrama de Bloques de la fuente óptica utilizada.

La figura 3 muestra el diagrama de bloques de la fuente, el *bloque PRBS1* ha sido configurado para que a su salida se tenga siempre una secuencia de bits de valor uno. El *bloque PulseGauss* genera pulsos de forma gaussiana de tal manera que la señal del bloque PRBS1 al pasar por este bloque hará que cada bit genere un pulso de duración de 2,5 ps, con esta señal es excitado el láser pulsado. El otro bloque PRBS2 genera una secuencia pseudo-aleatoria

de unos y ceros con probabilidad de 0.5, la cual es inyectada al bloque codificador NRZ (No Return Zero) para convertir la señal digital en una señal eléctrica codificada en código de No Retorno a Cero, esta señal se filtra y se acopla a un modulador Mach-Zehnder el cual esta configurado para trabajar con parámetros ideales de ruido e interferencia. Nótese que el bloque NRZ, es insertado solo para garantizar un correcto funcionamiento de la señal pulsada que se quiere modular y que la señal de salida definitiva de la fuente es RZ (return Zero) ya que se trata de una fuente pulsada (figura 4)

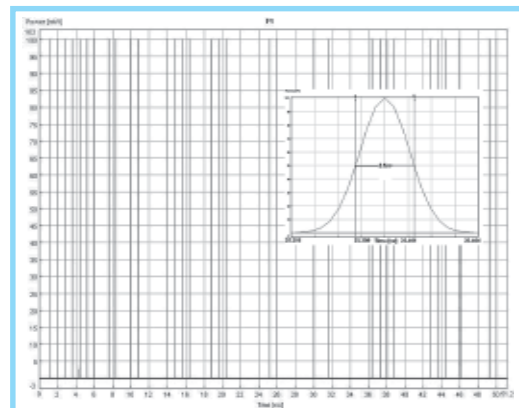


Figura 4. Señal de salida de la fuente pulsada.

#### 3.2. COD/Decodificador

Los bloques claves en un sistema OCDMA son los bloques que realizan los procesos de codificación y decodificación. Dado que se trabaja con TS-OCDMA coherente, los códigos usados son de tipo bipolar, aunque podrían ser multipolares. Los códigos que se utilizaron son códigos Gold generados a partir de un par preferente de M-sequences de periodo igual a 63. El par preferente de m-sequences con periodo 63 ofrece 65 posibles códigos a ser utilizados de entre los cuales se seleccionaron los 3 códigos siguientes:

Código1 =  
[000001000011000101001111010001110010  
01011011101100110101011111]

Código2=  
[01111101011100011001110110000011110  
010010101001101000010001011]

Código3=  
[011110101000100110000001100001101100  
000100010010100101000110100]

Los bloques claves en un sistema OCDMA son los bloques que realizan los procesos de codificación y decodificación.



El bloque *Phase Shift* realizara los cambios de fase de acuerdo al código usado de tal manera que en el chip correspondiente a un «uno» se realizara un cambio de fase de  $180^\circ$

Estos códigos presentan excelentes cualidades de autocorrelación y correlación cruzada tal como se comprueba en [7]. En la figura 5 se comprueban estas propiedades para el código 1.

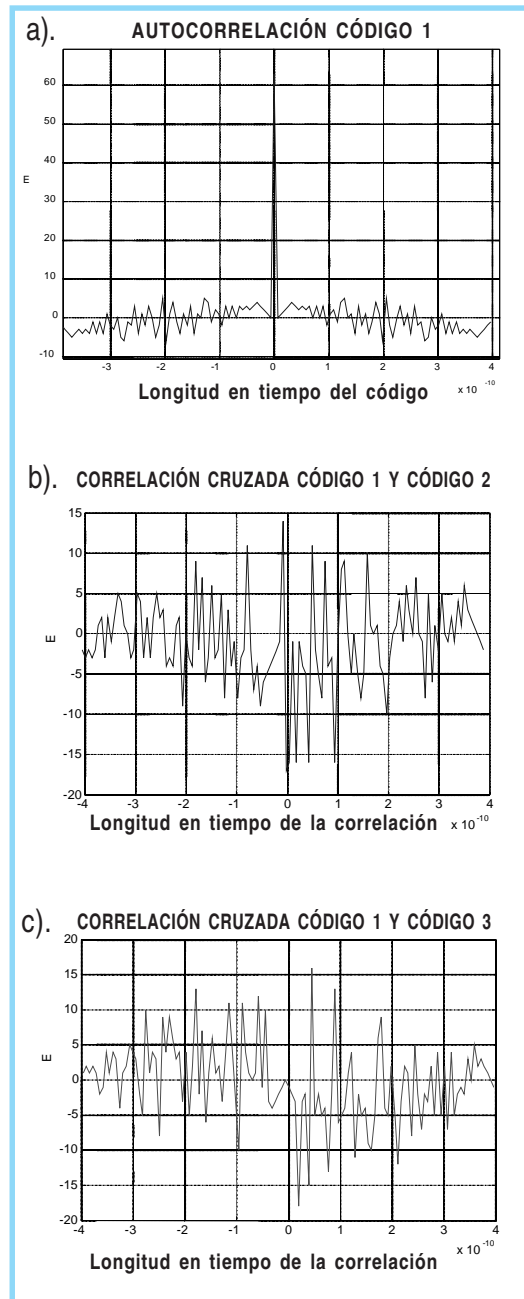


Figura 5. a) Autocorrelación del código 1, b) Correlación entre el código 1 y el código 2, y c) Correlación entre el código 1 y el código 3.

El campo máximo de cada uno de las autocorrelaciones es igual a 63 ya que aquí se supone que todos los chips tienen amplitud igual a 1. La longitud en tiempo de la autocorrelación es de  $(2 \cdot N - 1)T_c$  en donde N es el número de chips.

Para la implementación del codificador, se necesitará fundamentalmente de líneas de retardo y cambiadores de fase.

En la figura 6 podemos ver el esquema usado para modelar el codificador, el bloque *TX* simboliza la fuente que anteriormente describimos. Los bloques *power N* que aparecen a la entrada y a la salida hacen las veces de splitter  $1 \times N$  y combinador  $N \times 1$ .

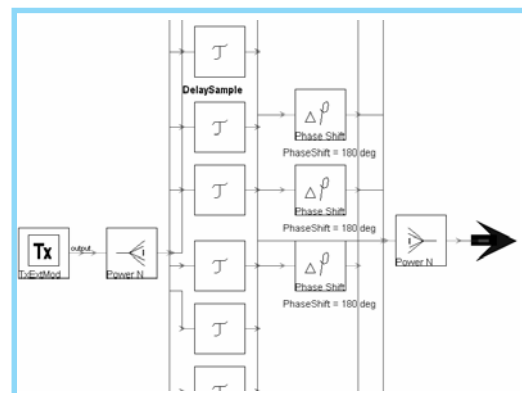


Figura 6. Esquema del codificador

El bloque *DelaySample* retarda la señal original dependiendo de su posición, es decir que el bloque *DelaySample1* retardará la señal un  $T_c$ , el bloque 2 retardará  $2T_c$  y así sucesivamente.

El bloque *Phase Shift* realizará los cambios de fase de acuerdo al código usado de tal manera que en el chip correspondiente a un “uno” se realizara un cambio de fase de  $180^\circ$ . A la salida se pone un combinador de  $N \times 1$  que combinara nuevamente todas las señales proporcionando la señal codificada. En la Figura 7a podemos ver la secuencia original de la PRBS cada uno de los pulsos corresponden a un bit 1, en la Figura 7b se pueden ver cada uno de ellos codificados, es decir, que cada uno de estos pulsos es ampliado en tiempo según el número de chips que tenga el código.

En el modelo la estructura del decodificador es exactamente igual que la del codificador, consiste de un splitter  $1 \times N$  colocado a la entrada, los bloques *delay sample*, los bloques *phase shift* y a la salida un combinador  $N \times 1$ . Para conseguir el objetivo de que se comporte como decodificador se invierte en la estructura el orden de los bloques *DelaySample* encargados de retardar las muestras, de tal manera que el bloque que da un mayor retardo quedará en primer lugar y el de menos retardo quedará de último.

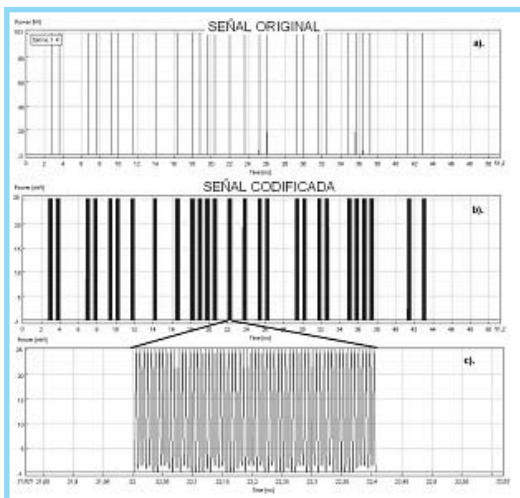


Figura 7. a.) señal PRBS original. b.) señal codificada. c.) Zoom de un bit codificado.

Posterior a este bloque viene el detector óptico, que para nuestro caso corresponde a un diodo PIN con características ideales, ruido de oscuridad de cero, ruido térmico muy bajo y responsividad de 1, después del diodo PIN tenemos un filtro pasa bajo.

#### 4. SIMULACIÓN DEL SISTEMA OCDMA

Para las simulaciones que se presentarán en este apartado los parámetros básicos son:

- Tasa de Transmisión: 1.25 Gbps
- Frecuencia de láser: 193.1 THz corresponde a tercera ventana.
- Longitud del código: 63 chips.
- Periodo de Chip: 6.4 ps (Unidad base en los *delay sample*)
- Ancho del pulso (Chip) a media potencia: 2.5 ps

En las diferentes simulaciones no se tendrá en cuenta la fibra existente entre Tx y Rx ya que se el objetivo principal es mostrar la funcionalidad de los bloques cod/dec.

##### 4.1. Demostración de la Funcionalidad de OCDMA.

El diagrama de bloques para esta primera simulación es:

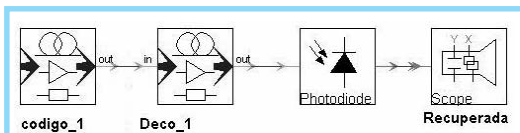


Figura 8. Diagrama de bloques de un sistema con un solo par cod/dec.

El bloque *código\_1* de la figura 8 integra la fuente y el bloque codificador, su salida es mostrada en la figura 7. El bloque *Deco\_1* esta compuesto por los elementos propios del decodificador. Nótese que después del fotodiodo no se ha puesto ningún filtro antes de la visualización, esto es porque suponemos por ahora que la respuesta del receptor es ideal (ancho de banda infinito).

Para una primera simulación hemos utilizado una pareja cod/dec correcta y posteriormente una pareja incorrecta en obteniendo los siguientes resultados:

Es evidente en la figura 9, que al utilizar el par cod/dec correctos la señal recuperada es idéntica a la original mostrando apenas las pérdidas de inserción de los elementos, contrario a lo que pasa al usar la pareja incorrecta, caso en el que solo se recibe interferencia.

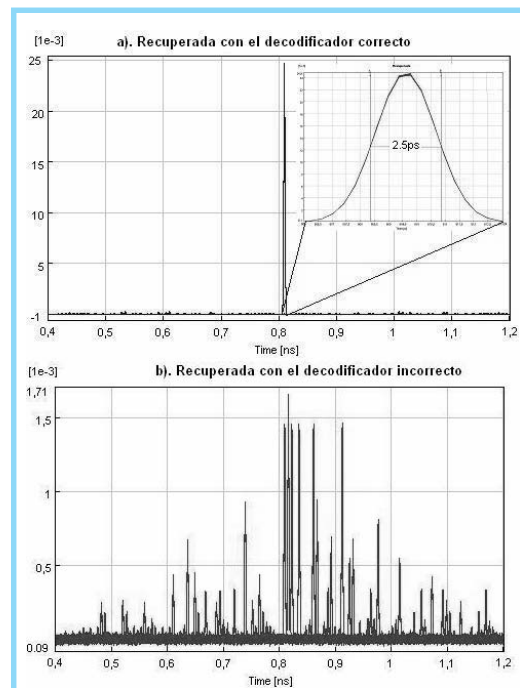


Figura 9. Diagrama de ojo con a) pareja cod/dec correcta, y b) pareja cod/dec incorrecta.

##### 4.2. Sistema con 2 usuarios

El objetivo de esta simulación es identificar los problemas que se encontraran en una red OCDMA. Estos problemas son causados por la interferencia de los posibles usuarios presentes en la red.

En este caso hemos adicionado un segundo usuario al sistema y recuperaremos la señal transmitida por el primero.

Es evidente en la figura 9, que al utilizar el par cod/dec correctos la señal recuperada es idéntica a la original

La figura 13 muestra como al tener una diferencia entre usuarios de 3 ps las curvas de ruido de batido y de bit deseado son prácticamente iguales y la MAI en el punto de muestreo es cero

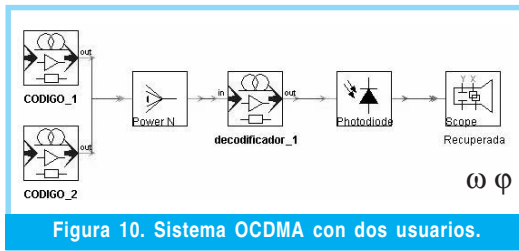


Figura 10. Sistema OCDMA con dos usuarios.

Aquí vale la pena observar lo que sucede después de que se mezclan las señales codificadas de los dos usuarios presentes. En la figura 11a y 11b vemos las secuencias de bits codificadas de cada usuario. Teniendo en cuenta que en estas simulaciones suponemos el peor caso, es decir, cuando los usuarios están sincronizados, se ve claramente como, cuando ambos usuarios transmiten un bit 1, existe una suma de campo, la cual sigue esta expresión:

$$P_{out\ dospulsos} = |E_1 + E_2|^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos(\theta)$$

Por ello podemos ver en la figura 11e la ausencia de chips, ya que al sumarse en contrafase desaparecen. Este efecto se verá al final reflejado en el diagrama de ojo de la señal recuperada.

La figura 12 muestra el diagrama de ojo de la señal recuperada (tiempo (ps) vs potencia óptica (mW)). En esta figura aparecen tres curvas que representan los posibles casos que pueden ocurrir en un sistema OCDMA. La curva  $\sigma_1$  representa el caso cuando ambos usuarios transmiten un bit 1 y en ese caso se presenta el ruido de batido coherente debido a

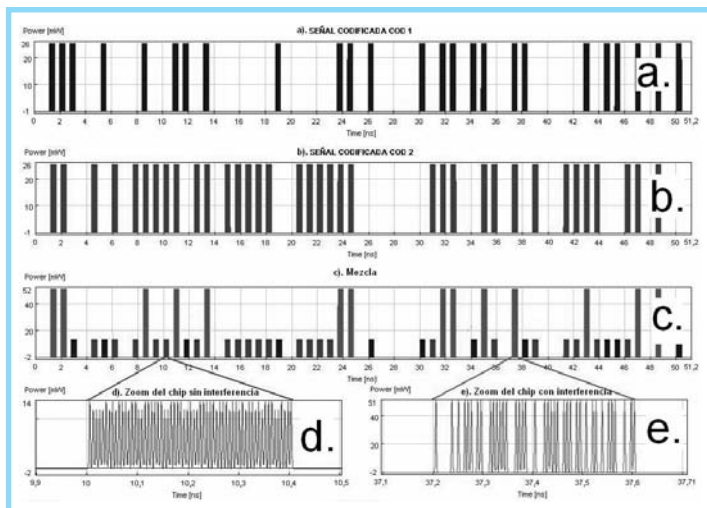


Figura 11. a). secuencia codificada usuario 1. b) secuencia codificada usuario 2. c) Mezcla de secuencias codificadas. d) Zoom de un bit codificado sin interferencia. e) Zoom de un bit codificado con interferencia.

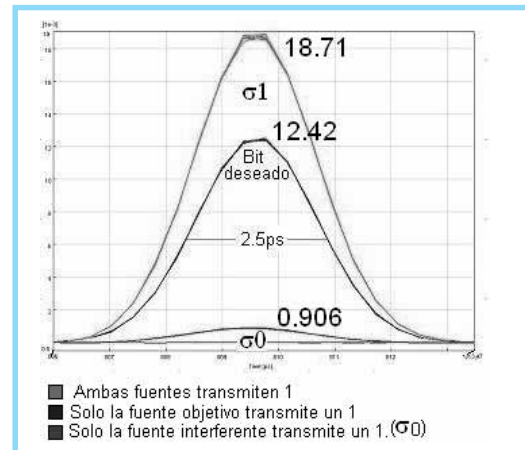


Figura 12. Diagrama de ojo de la señal recuperada en un sistema con dos usuarios (tiempo (ps) vs potencia óptica (mW)).

la suma en campo. La segunda curva representa la recuperación del bit deseado sin interferencia y la tercera  $\sigma_0$  representa cuando el usuario interferente transmite un bit 1 y el usuario objetivo transmite un bit 0 o no transmite nada, esta interferencia es la que hemos llamado MAI. Aunque en este caso sencillo de dos únicos usuarios las variaciones en el nivel del “1” y del “0” lógicamente son únicamente desdoblamientos del nivel de señal, en un sistema con mayor número de usuarios con fases ópticas relativas aleatorias se observaría una banda de ruido tanto en el “1” como en el “0”. La amplitud de dichas bandas de fluctuación o lo que es lo mismo la potencia de ruidos por interferencia se caracterizará mediante sus correspondientes desviaciones típicas, por lo que se ha utilizado en el párrafo anterior ya la notación  $\sigma_0$  y  $\sigma_1$ .

### 4.3. Sistema OCDMA asíncrono.

En la simulación anterior consideramos que los usuarios estaban perfectamente sincronizados en el momento de realizar la transmisión, sin embargo esto no es real ya que las fuentes de tráfico están incorreladas tanto en tiempo como en frecuencia.

El montaje para esta simulación es el mismo que el mostrado en la figura 10 solo que aquí hemos adicionado retardos a uno de los transmisores. Como se ha indicado anteriormente nuestra señal tiene una tasa de Tx de 1,25 Gbps, esto quiere decir que cada bit estará separado 800ps. Cada código tiene 63 chips y el periodo es de 6.4 ps lo que indica que cada chip codificado ocupara 403 ps lo cual es suficiente para

que no exista interferencia ni en la transmisión ni en la recepción. Estos datos nos indican que si quisiéramos no tener interferencia podríamos suponer una diferencia de tiempos de 403 ps entre usuarios y con ello garantizar que no existiría interferencia, no obstante no es necesario considerar diferencias tan grandes ya que con apenas suponer que existirán variaciones de 3 ps ya podemos ver que la interferencia será mínima. Esto se puede observar en la figura 13.

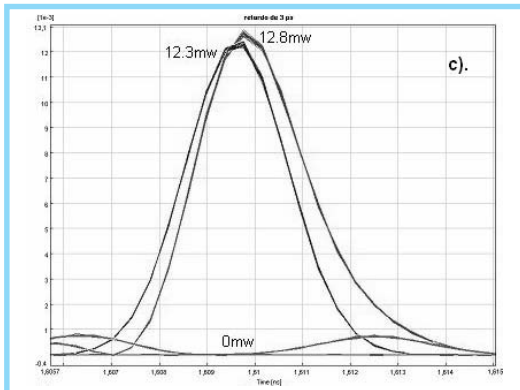


Figura 13. Diagrama de ojo, Sistema OCDMA asíncrono con diferencia temporal entre usuarios de 3 ps.

La figura 13 muestra como al tener una diferencia entre usuarios de 3 ps, las curvas de bit recuperado son las mismas cuando existe un usuario interferente que cuando este no existe, y la curva de MAI en el punto de muestreo es cero. Aunque este caso es ideal, nos da una idea de las situaciones que se pueden presentar en el sistema OCDMA.

#### 4.4. Consideración de Ancho de Banda

Hasta aquí se había considerado un ancho de banda infinito, lo cual nos ha permitido observar claramente la respuesta del sistema, no obstante esto es imposible de lograr en la realidad y es indudable que representa un importante factor a tener en cuenta en el estudio de este tipo de sistemas.

Para simular el efecto de ancho de banda se adiciona al diagrama de la figura 10 un filtro pasa-bajo de respuesta gaussiana a la salida del fotodetector que limitará la señal en ancho de banda.

Comparando la figura 12 en donde teníamos el ancho de banda infinito con la figura 14 en donde el diagrama de ojo aparece limitado en ancho de banda se puede observar como a medida que disminuye el ancho de

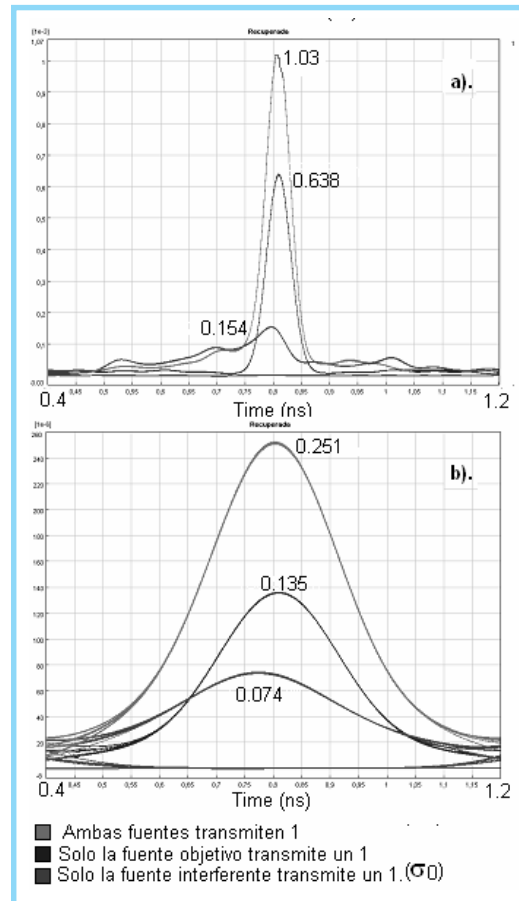


Figura 14. Diagrama de ojo con un filtro pasa-bajo de respuesta gaussiana con ancho de banda a) 5 Ghz y b) 1.25GHz.

Tabla I. Resumen de resultados al variar el ancho de banda del filtro en el receptor.

A.B. del filtro	$\sigma_0$	Bit Correcto (B)	Pico Max (PM)	$\sigma_1 = \text{PM} - B$	$(B/\sigma_0)$
1.25GHz	0.074	0.135	0.251	0.115	1.834
2.5GHz	0.102	0.26	0.448	0.187	2.548
3.75GHz	0.121	0.386	0.642	0.256	3.177
5GHz	0.137	0.514	0.839	0.325	3.743
6.25GHz	0.154	0.638	1.03	0.391	4.127
7.5GHz	0.17	0.764	1.23	0.465	4.476
Infinito	0.906	12.42	18.71	6.29	13.7

banda el bit se ensancha y disminuye su amplitud, empeorando la relación señal a ruido. En la tabla I vemos un resumen de las diferentes pruebas realizadas.

## 5. CONCLUSIONES

Se han presentado los resultados de las simulaciones realizadas con el software VPI v7.0 de un sistema TS-OCDMA. En las simulaciones 1 y 2 se demostró la capacidad que tiene

En las simulaciones 1 y 2 se demostró la capacidad que tiene los sistemas OCDMA para identificar y extraer la información destinada a un usuario en particular de entre todos los que comparten el mismo.



los sistemas OCDMA para identificar y extraer la información destinada a un usuario en particular de entre todos los que comparten el mismo. Además se observó el ruido de interferencia y el ruido de batido que afectan la señal recuperada. Se puede ver que la interferencia hace crítica la recuperación de la información. A pesar de que solo se mostraron los resultados para dos usuarios los resultados permiten predecir lo que sucedería con una mayor cantidad.

En la simulación 3 se modifican los tiempos de tx entre usuarios con el objeto de que el solapamiento de los chips no sea total. Las variaciones temporales que se consideraron son muy pequeñas, no obstante se notó una mejora significativa, ya que el ruido de batido disminuye y por tanto, la discriminación de la señal objetivo es mejor.

Finalmente en la simulación 4 se modifica el ancho de banda del receptor, el cual había sido considerado hasta ese momento como infinito. El efecto de disminuir el ancho de banda es bastante significativo ya que deteriora la señal recuperada haciendo comparables la intensidad de ruido de interferencia con la intensidad de la señal objetivo.

## RECONOCIMIENTOS

Este artículo se presenta dentro del marco del trabajo de investigación para la Maestría en Teleinformática de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ken-ichi Kitayama, Xu Wang, Naoya Wada, OCDMA Over WDM PON-Solution Path to Gigabit-Symmetric FTTH. IEEE Journal of Lightwave Technol., vol. 24, no. 4, pp. 1654-1662, 2007.
- [2] Peh Chiong Teh, Periklis Petropoulos, Morten Ibsen, David J. Richardson, A Comparative Study of the Performance of Seven and 63-Chip Optical Code-Division Multiple-Access Encoders and Decoders Based on Superstructured Fiber Bragg Gratings, Journal Of Lightwave Technology, Vol. 19, No. 9, September 2001.

- [3] Paul R. Prucnal, Mario A. Santoro, And Ting Rui Fan. Spread Spectrum Fiber-optic Local Area Network Using Optical Processing. Journal Of Lightwave Technology, Vol. Lt-4, No. 5, May 1986.
- [4] Naoya Wada and Ken-Ichi Kitayama. A 10 Gb/s Optical Code Division Multiplexing Using 8-Chip Optical Bipolar Code and Coherent Detection. Journal Of Lightwave Technology, Vol. 17, No. 10, October 1999.
- [5] N. Wada, H. Sotobayashi, and K. Kitayama, 2.5 Gbit/s time-spread/wavelength-hop optical code Division Multiplexing Using Fiber Bragg Grating with super continuum light source, Electron. Lett., Vol 36, April, 2000.
- [6] H. Geiger, A. Fu, P. Petropoulos, M. Ibsen, D. J. Richardson, and R. I. Laming, "Demonstration of a simple CDMA transmitter and receiver using sampled fiber gratings," in Tech. Proc. ECOC'98, vol. 1, 1998.
- [7] González Cortés Francisco José, Tecnología OCDMA (Acceso Múltiple Por División De Código En El Dominio Óptico), proyecto de fin de carrera, Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Valencia, dirigida por Pastor Abellán Daniel, Septiembre 2005.

### Waldimar A. Amaya Ocampo

Nació en Bogotá, Colombia. Es Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas de Bogotá, Colombia. Especialista en telecomunicaciones móviles de la misma universidad. Candidato al título de Magíster en Teleinformática en la Universidad Distrital.

Se desempeñó como Director Técnico en Cablecentro S.A. durante 2 años. Posteriormente, ejerció el cargo de Docente en la Universidad Distrital y en la Universidad Santo Tomas. Actualmente realiza estudios de Doctorado en Telecomunicaciones en la Universidad Politécnica de Valencia, España. Se desempeña como Ingeniero de Investigación y Desarrollo en el Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (ITEAM) de la misma universidad y pertenece como investigador al Grupo de Comunicaciones Ópticas y Cuánticas donde realiza estudios sobre Sistemas Ópticos de Acceso Múltiple por División de Código (OCDMA). [walamoc@doctor.upv.es](mailto:walamoc@doctor.upv.es)

### Juan Carlos Gómez Paredes

Nació en Ciudad de la Habana, Cuba. Es Ingeniero en Telecomunicaciones del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría de Ciudad de la Habana, Cuba. Especialista en Computación Aplicada a la Enseñanza de la Ingeniería y Magíster en Sistemas de Transmisión por Fibra Óptica de la misma Universidad.

Se desempeñó como Coordinador del Proyecto Curricular de Ingeniería Electrónica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital. Actualmente se desempeña como profesor en el área de Comunicaciones y de la especialización en Comunicaciones Móviles de la facultad de ingeniería de la Universidad Distrital. [jcgomez95@hotmail.com](mailto:jcgomez95@hotmail.com)