

Análisis y simulación de la señal FSK/IM (Frequency Shift Keying/Intensity Modulation), usada como técnica de etiquetamiento óptico en un ambiente de conmutación de etiquetas óptica

Ricardo LLugsi Cañar, Ing.

María Soledad Jimenez, MSc.

Escuela Politécnica Nacional

Resumen—Se inicia el análisis con una breve introducción a la Conmutación Óptica revisando los conceptos de Conmutación de Circuitos Óptica (OCS), Conmutación de Paquetes Óptica (OPS), Conmutación de Ráfagas Óptica (OBS), el etiquetamiento óptico, algunas de las técnicas de etiquetamiento óptico más usadas en la actualidad y el método de etiquetamiento óptico FSK/IM. Luego mediante la herramienta computacional MATLAB, se simula el desempeño (BER) de la señal FSK/IM, usada en la conmutación de etiquetas óptica, utilizando diferentes valores de Eb/No.

Index Terms— Redes Ópticas, Procesamiento digital de señales.

I. INTRODUCCIÓN

La evolución que han tenido los sistemas de comunicación hasta la actualidad con el propósito de brindar una mayor capacidad, velocidad y eficiencia, han desembocado en la necesidad de repotencializar las redes ya existentes (como por ejemplo el Internet) [5], que en su gran mayoría utilizan fibra óptica debido a ventajas tales como su gran ancho de banda, invulnerabilidad a la interferencia, seguridad para el transporte de información, inviolabilidad, etc. Dichas ventajas la convierten en la mejor elección sobre otros tipos de medios tanto guiados como no guiados. La conmutación óptica busca alcanzar un mejor desempeño en la redes ópticas manejando las operaciones de conmutación enteramente en el campo óptico mientras que la conmutación

de etiquetas óptica se enfoca en evitar conversiones de medio óptico-electrónico-óptico innecesarias para el análisis de ciertos datos, como por ejemplo: datos de carga útil (payload) con lo que se reduce los retardos producidos debido a la creación de los denominados “cuellos de botella” [6], [7], [8]. Por su parte la técnica de etiquetamiento FSK/IM (Frequency Shift Keying/Intensity Modulation) es una técnica de conmutación de etiquetas óptica de fácil implementación que proporciona dos campos independientes para la transmisión de datos: la frecuencia y la intensidad [2], [7]. En la actualidad prestigiosas instituciones de investigación, tanto de Norte América como de Europa, ahondan esfuerzos en el estudio de las tecnologías antes mencionadas y en especial en la conmutación de etiquetas óptica, tal es el caso del gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica [8], la Universidad de California Campus Davis (UCDavis) [6] y la Universidad Tecnológica Eindhoven, Holanda [3], [9].

II. CONMUTACIÓN

El proceso de conmutación básicamente consiste en unir una vía de entrada con una de salida, dicho proceso permite tener una trayectoria independiente y exclusiva para la transmisión de señales desde un punto a otro. Existen algunos tipos de conmutación, se puede mencionar primeramente a la conmutación de circuitos. Este tipo de conmutación fue usada en la red pública telefónica conmutada (PSTN), con el propósito de reservar una ruta para llevar la señal de voz entre los usuarios telefónicos. El mismo concepto mencionado anteriormente se aplicó después para la transmisión de datos. Otro tipo de conmutación es la de paquetes, en ésta, la información se agrupa en paquetes que tienen una cabecera y carga útil (*payload*), y se envían en base al uso de direcciones de capa de red, como por ejemplo IP. Cabe destacar que requerimientos de tráfico de datos tales como: tamaño y

Ricardo LLugsi Cañar
(e-mail: ricardoxllugsi@yahoo.com).

María Soledad Jiménez, MSc., profesora a tiempo completo de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional.

velocidad, crearon la necesidad de una conmutación de ráfaga, en la cual todavía se conserva una cabecera pero la variabilidad en la cantidad de datos a transmitirse en un cierto tiempo constituye la mayor diferencia con la conmutación de paquete. En la actualidad la conmutación de etiquetas aparece como la solución a varios requerimientos de transmisión de datos para redes de alta capacidad [5], ya que establece cuál es la ruta que deben seguir los datos para alcanzar un destino solamente con el uso de etiquetas cuyo procesamiento es rápido y sencillo. MPLS (Conmutación de Etiquetas para Multiprotocolo), establece el uso de etiquetas que permiten dirigir de manera rápida y eficiente los datos. Básicamente con MPLS se establece una conexión virtual entre dos puntos pertenecientes a una red de conmutación de paquetes, la misma que permite el flujo de tráfico basado en paquetes. Finalmente también se puede mencionar que la conmutación de longitud de onda permite llevar a cabo la conmutación de datos sin la necesidad de abandonar el campo óptico, es decir obviando la transformación de datos opto-electrónica.

III. CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS ÓPTICA (OCS)

La Conmutación de Circuitos Óptica permite establecer una trayectoria específica e invariable para todos los datos, es decir no se puede llevar a cabo calidad de servicio. Una vez que los datos llegan a la red óptica, son transformados al dominio óptico en los nodos de Frontera, a continuación se establece una ruta a través de los nodos de Core, de manera que los datos viajen a través de ella hasta encontrar otro router de Frontera que les permita abandonar la red y llegar a su destino. Dicho proceso se obtiene con el uso de equipos especiales para la maniobra de fibras ópticas, del haz de luz, de longitudes de onda, etc. A continuación se plantea cuales son los dispositivos que permiten realizar la transmisión óptica, la conmutación óptica; y, el manejo y control de la red óptica.

A. Conmutadores Ópticos

Una clasificación del proceso de conmutación de circuitos óptica se puede dar analizando el efecto físico que es responsable de la conmutación, entre las tecnologías más destacadas de conmutación de circuitos óptica, se puede mencionar las que se relacionan con efectos tales como: el efecto Opto – Mecánico (OM), el efecto electro – óptico (EO), el efecto Opto – Acústico (AO) y el efecto Termo – óptico (TO) [1], los mismos que permiten tener cambios en el índice de refracción de un material debido a la aplicación de un campo o de una acción mecánica.

Para tener una noción más real del fenómeno que permite realizar la conmutación se puede analizar brevemente cada uno de ellos:

1) Conmutación Opto – Mecánica (OM): Existen dos tipos de conmutadores OM, uno que se basa en el movimiento de fibras ópticas “Conmutadores de Fibra”, ver Fig. 1., y otro que se basa en el movimiento de componentes ópticos “Haz

Trasladado”, como prismas, lentes, espejos, etc., ver Fig. 2.

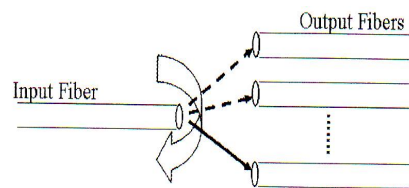


Fig. 1. Principio de operación del “Conmutador de Fibra”.

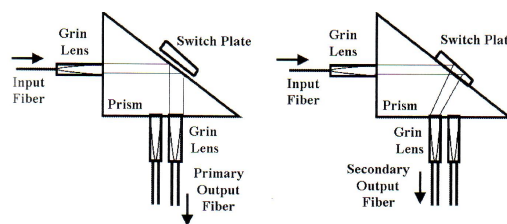


Fig. 2. “Conmutador de Fibra”, usando “Haz Trasladado”.

2) Conmutación Electro – Óptica (EO): En este tipo de conmutación se utilizan guías de onda ópticas y acopladores direccionales, se busca básicamente que el índice de refracción cambie según la aplicación de un campo Eléctrico, es decir se aplica voltaje a través de un electrodo para cambiar la fase de la señal óptica, ver Fig. 3.

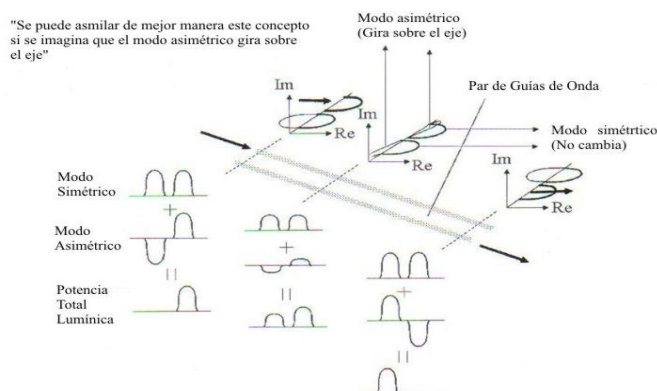


Fig. 3. Fenómeno de conmutación electro – óptica.

3) Conmutación Opto - Acústica (AO): Una onda acústica viajando en un medio presenta variaciones de forma aleatoria, las vibraciones de las moléculas debido a estas variaciones de compresión y dilatación producen una alternancia en la polarización óptica que conlleva a la variación del índice de refracción. Para producir una onda acústica sobre un medio (ya sea en su superficie o en su volumen) se utiliza un material con características piezoeléctricas, y sobre él se aplica un campo eléctrico de radio frecuencia con la ayuda de electrodos (llamados transductores acústicos), en consecuencia debido al efecto piezoeléctrico, se producirá una onda de sonido sobre el material. Si se utiliza un material que aparte de tener propiedades piezoeléctricas también posee las isotrópicas, se

obtiene que la difracción debida al efecto antes mencionado, resulta en la deflexión de la luz emitida a lo largo del medio, ver Fig. 4.

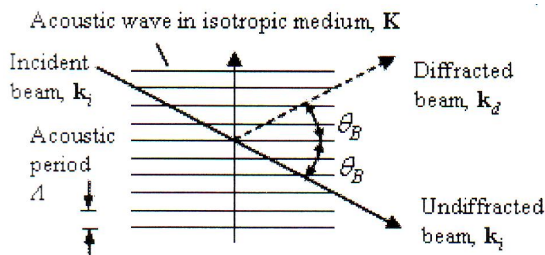


Fig. 4. Fenómeno de conmutación opto – acústico.

3) Conmutación Termo - Óptica (TO): La conmutación óptica realizada mediante el efecto termo – óptico (TO), se logra mediante variación de temperatura a lo largo de la guía de onda, que se obtienen mediante el uso de micro calefactores que producen energía térmica con la inyección de corriente a los mismos. El cambio de temperatura en las guías de onda puede producir dos de efectos:

a. Cambio en la longitud de las guías de onda para producir variación en la Distancia de Propagación (L), ver Fig. 5; o,

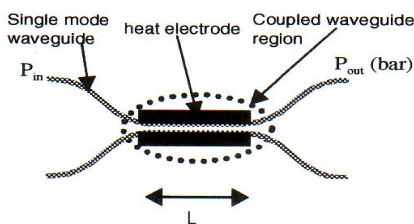


Fig. 5. Fenómeno de conmutación termo – óptica 1.

b. Cambio en la fase de una de las guías de onda para producir interferencia constructiva o destructiva, ver Fig. 6.

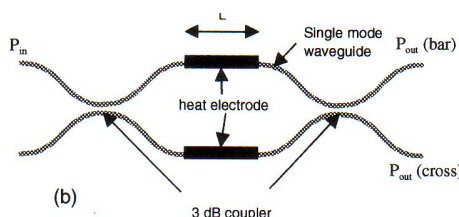


Fig. 6. Fenómeno de conmutación termo – óptica 2.

B. OXC (Optical Cross Connect)

Los OXC's son elementos avanzados de red óptica que están en capacidad de conmutar trayectorias de luz, adicionar y retirar tráfico generado localmente y configurar topologías de red óptica. Cabe destacar que existen varios tipos de OXC's, pero para poder entender de mejor manera este concepto se puede analizar a los OXC's de Fibra (FXC), los mismos que conmutan las longitudes de onda de un puerto de fibra entrante a uno saliente, ver Fig. 7.

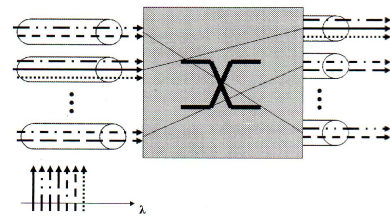


Fig. 7. Principio de operación de un FXC.

IV. CONMUTACIÓN DE PAQUETES ÓPTICA (OPS) [1]

En la Conmutación de Paquetes Óptica (OPS, *Optical Packet Switching*), ver Fig. 8, la información se organiza en paquetes, los mismos que poseen una cabecera y carga útil (*payload*), los nodos de Frontera reciben dicha información, y con la misma se determina cuál será el siguiente nodo de core que les permitirá alcanzar su destino; una vez determinado éste, se inserta la nueva información de destino en la cabecera, se transforma la información al campo óptico y se envían los datos por la red óptica. De igual manera en cada nodo de Core se transforma la información al dominio electrónico para determinar cuál es el puerto que le permitirá alcanzar al siguiente nodo, una vez llevado a cabo este proceso se cambia nuevamente la información, y ésta es transformada al dominio óptico, dicho proceso se repite hasta que se alcance el nodo de Frontera que permita a la información abandonar la red óptica y llegar a su destino.

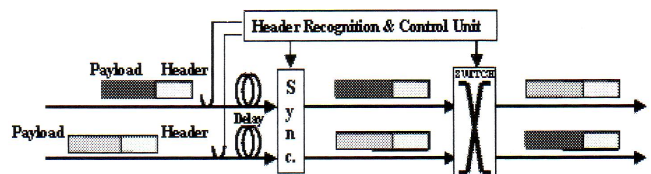


Fig. 8. Principio de funcionamiento de OPS.

V. CONMUTACIÓN DE RÁFAGAS ÓPTICA (OBS) [1]

En una red (OBS, *Optical Burst Switching*), ver Fig. 9, los paquetes son ensamblados en unidades de datos de gran tamaño, cada una de las cuales es llamada Ráfaga de Datos (DB, *Data Burst*). Para cada ráfaga, se crea una Ráfaga de Encabezamiento de Paquete (BHP, *Burst Header Packet*) para propósitos de control. El ensamblaje de la DB y la generación de la BHP toma lugar en los nodos de core OBS; los diferentes paquetes pueden ser agrupados de acuerdo a destinos comunes, medidas de calidad de servicio y criterios de ensamblaje. Las DB y BHP son enrutadas en diferentes canales de longitud de onda a través de los nodos de core OBS. La ráfaga es enviada desde el nodo de Frontera sobre un canal de datos al nodo siguiente, mientras que, su BHP es

enviado sobre un canal de control al mismo nodo. Para cada grupo de canales de datos, se asigna uno o más canales de control. Dependiendo del protocolo usado y teniendo en cuenta el tiempo de procesamiento para la BHP en los nodos subsecuentes, la BHP puede ser transmitida delante de la ráfaga introduciendo un tiempo de offset. Mientras que las DBs son conmutadas ópticamente y permanecen en el dominio óptico, las BHPs son convertidas al dominio electrónico en cada nodo para su procesamiento. Estas BHPs son convertidas nuevamente al dominio óptico antes de su transmisión al siguiente nodo. Una BHP contiene toda la información necesaria para configurar la malla de conmutación óptica del nodo y además de esto reserva recursos para la DB entrante. A la salida de la red, un nodo de Frontera OBS extrae la información de la ráfaga y la envía al router de destino fuera de la red OBS.

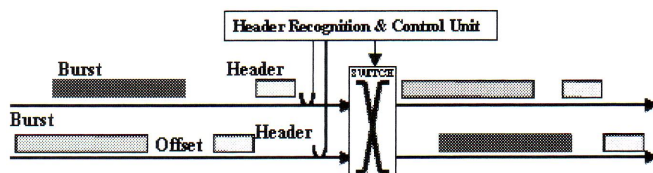


Fig. 9. Principio de funcionamiento de OBS.

VI. CONMUTACIÓN DE ETIQUETAS ÓPTICA

En una red conmutada por etiqueta óptica (OLS, *Optical Label Switching*), ver Fig. 10, las ráfagas de datos son creadas en el nodo de ingreso agrupando paquetes, dichas agrupaciones se forman tomando en cuenta factores como el destino y la calidad de servicio [10].

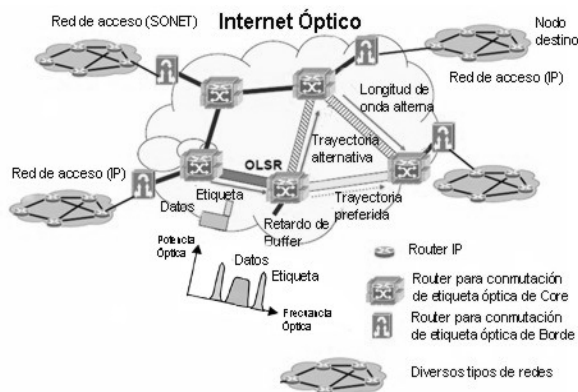


Fig. 10. Red OLS con nodos de Frontera (Borde) y de core [9].

Una vez que la ráfaga es creada, una etiqueta de longitud corta y fija es asignada a ésta [2]. Al terminar el proceso antes mencionado se tiene una carga útil de datos y un paquete de control que contiene, dependiendo del esquema de etiquetamiento, la etiqueta u otra información de control. A continuación, en el nodo de core un OLSR (*Optical Label Switching Router*) toma la decisión de envío en base a la

etiqueta para enrutar la ráfaga a través de la red hasta llegar al nodo de salida. Se debe poner énfasis en que la carga útil no dejará el campo óptico en ningún momento, solamente la etiqueta podrá experimentar un cambio Óptico-Electrónico-Óptico.

VII. TÉCNICAS DE ETIQUETAMIENTO ÓPTICO

Varias técnicas de etiquetamiento óptico se han desarrollado con el propósito de llevar a cabo el etiquetamiento [3]. Dichas técnicas son clasificadas en base a la asignación espectral de la etiqueta y de la tecnología usada para procesar la etiqueta (electrónica, óptica, o una mezcla entre las dos) [4]. En esta sección se analizarán brevemente 5 técnicas de etiquetamiento.

A. Etiquetamiento de Tiempo Serial

En este esquema de etiquetamiento, la etiqueta es insertada delante de la carga útil en el dominio del tiempo, la etiqueta está separada de la carga útil con una banda de guarda que busca evitar un sobrelapamiento entre la etiqueta y la carga útil en tiempo y facilitar el proceso de separación. Tanto la carga útil como la etiqueta viajan en la misma portadora de longitud de onda.

B. Etiquetamiento WDM

El etiquetamiento WDM, aborda la posibilidad de colocar la información de etiquetamiento perteneciente a varios canales de datos WDM en una única longitud de onda. Esta opción de etiquetamiento, da la ventaja de tener separados tanto al plano de control como al de conmutación, facilitando la extracción, detección y procesamiento de la etiqueta.

C. Etiquetamiento OCDM

Este tipo de etiquetamiento hace uso de la Multiplexación por División de Código Óptico (OCDM), aquí la información de etiqueta es adherida con un código específico a la carga útil mediante un proceso de Scrambling.

D. Etiquetamiento SCM (Multiplexación en Sub Portadora)

En el etiquetamiento SCM, la información de la etiqueta es llevada en una frecuencia sub portadora junto con la carga útil. Debido a la modulación aparecen dos bandas laterales sub portadoras alrededor de la portadora óptica. Con el fin de evitar interferencia los canales de longitud de onda necesitan estar separados, con al menos una medida igual al doble de la frecuencia sub portadora. Cabe destacar que la información de la etiqueta y la carga útil son transportadas en la sub portadora y en la portadora óptica respectivamente.

E. Etiquetamiento Ortogonal

El etiquetamiento ortogonal, transporta dos conjuntos de información: la etiqueta y la carga útil, para conseguir esto la etiqueta se modula con un formato ortogonal a la carga útil, por lo tanto se visualizan dos espacios dimensionales en una portadora óptica, uno es la intensidad y el otro es la fase (PSK/IM) o la frecuencia (FSK/IM).

VIII. EL MÉTODO DE ETIQUETAMIENTO FSK/IM

A. La Modulación FSK y la Modulación IM

Una modulación de frecuencia (FSK), es un tipo de modulación digital, en ésta la frecuencia varía de acuerdo a la modulante que no es otra que la señal de datos a transmitirse.

Por otra parte, la modulación de intensidad (IM) es una forma de modulación que puede ser:

- 1) Directa: Si se varía la potencia óptica de salida de una fuente de luz de acuerdo a una señal modulante (Datos) [11]; o,
- 2) Indirecta (Externa): Si se lleva a cabo una premodulación en frecuencia, esto se consigue teniendo una portadora óptica que variará de acuerdo a la señal modulante (Datos) [11].

Se puede destacar en este punto que la modulación de Intensidad Indirecta permite obtener dos campos independientes para la transmisión de datos que son: la Frecuencia y la Intensidad.

B. El Etiquetamiento FSK/IM

En la técnica de etiquetamiento FSK/IM, los datos de carga útil son transmitidos con modulación de intensidad (IM) y los datos de la etiqueta son transportados en la misma portadora óptica mediante modulación de frecuencia (FSK) [3]. La modulación de frecuencia será ortogonal a la modulación de intensidad, lo que indica que tanto la etiqueta óptica como la carga útil se encuentran en planos diferentes, los mismos que son perpendiculares entre sí, ver Fig. 11.

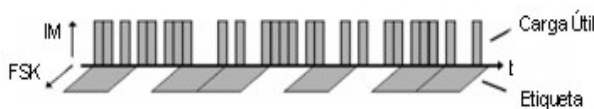


Fig. 11. Descripción de una modulación FSK/IM.

IX. ANÁLISIS DE LA SEÑAL FSK/IM

Para llevar a cabo el análisis de la señal FSK/IM se recurre al uso de la relación entre la energía de la señal por bit /densidad de potencia de ruido (E_b/N_0) y la tasa de bits errados (BER).

A continuación se describe el proceso de simulación de la señal en un ambiente de conmutación por etiqueta óptica y las condiciones que definen la modelación de canal.

A. Potencia de la señal óptica

Un sistema electrónico-óptico que implementa intercambio de etiquetas presenta pérdidas de potencia conforme se avanza dentro de la red. Dicha apreciación se obtuvo en el proyecto IST-STOLAS [7] en el que se observó una cierta degradación de potencia debido a la baja velocidad de operación de los conversores de longitud de onda MZI-SOA (*Mach Zehnder Interferometer-Semiconductor Optical Amplifier*) usados dentro del sistema de simulación de intercambio de etiquetas ópticas, ver Fig. 12. Tomando en cuenta dicha percepción en el presente trabajo se considera el uso de algunos canales que se modelan usando ciertas Funciones de Distribución de Probabilidad (PDF)¹ para imitar la actuación de un sistema de conmutación de etiquetas óptica. Con la utilización de estos canales se obtendrán algunas conclusiones sobre el uso de una señal FSK/IM al llevar a cabo un interacción entre dicha señal y el sistema de conmutación de etiquetas óptico.

Interferometer-Semiconductor Optical Amplifier) usados dentro del sistema de simulación de intercambio de etiquetas ópticas, ver Fig. 12. Tomando en cuenta dicha percepción en el presente trabajo se considera el uso de algunos canales que se modelan usando ciertas Funciones de Distribución de Probabilidad (PDF)¹ para imitar la actuación de un sistema de conmutación de etiquetas óptica. Con la utilización de estos canales se obtendrán algunas conclusiones sobre el uso de una señal FSK/IM al llevar a cabo un interacción entre dicha señal y el sistema de conmutación de etiquetas óptico.

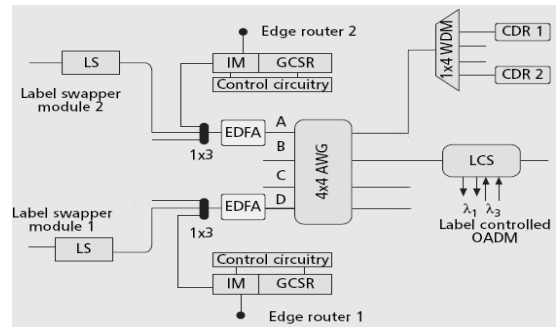


Fig. 12. Descripción del sistema usado en IST-STOLAS [7].

B. Obtención del BER teórico

La herramienta usada para obtener el BER teórico dentro de MATLAB, es BERTool [12]. Dicha herramienta nos permite analizar el desempeño de las señales FSK e IM, dentro de 3 diferentes modelos de canales: AWGN (*Ruido Gaussiano Blanco Aditivo*), Rayleigh y Rician. La razón por la cual se hace uso de las distribuciones Rayleigh y en especial de Rician se debe al grado de libertad que ofrecen para llevar a cabo una simulación del uso de diferentes componentes ópticos actuando dentro de una misma red. A continuación se analizan las señales FSK e IM en cada uno de los canales mencionados anteriormente y se denotan ciertos parámetros usados en cada tipo de modulación.

C. Señal FSK/IM en un canal AWGN

Un canal que responde a una distribución Gaussiana (Normal) presenta un comportamiento similar al de la Fig. 13.

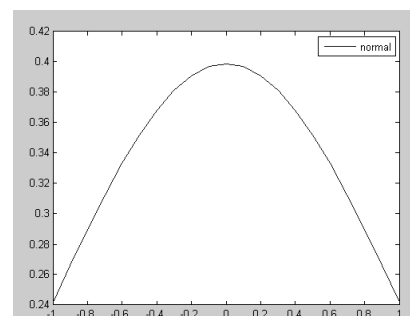


Fig. 13. PDF Gaussiana (Normal)

A continuación se analizan las señales FSK e IM en el canal

¹ Las figuras de las PDF mostradas en este documento permiten comparar en el eje x los diferentes valores de media así como de desviación estándar.

AWGN usando los siguientes parámetros de simulación, ver Fig. 14:

- Eb/No: de 0 a 18 dB
- Señal: FSK (orden 2, coherente)
- Codificación de canal: Ninguna
- Señal: IM (orden 2)

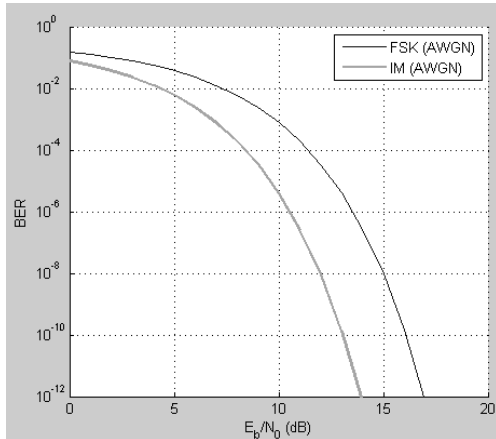


Fig. 14. Modulación FSK/IM en un canal AWGN

D. Señal FSK/IM en un canal Rayleigh

Un canal que responde a una distribución Rayleigh (Normal) presenta un comportamiento similar al de la Fig. 15.

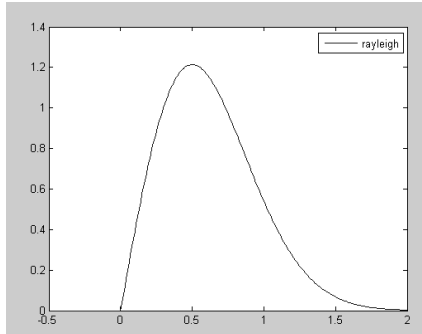


Fig. 15. PDF Rayleigh (Rician K=0)

A continuación se analizan las señales FSK e IM en el canal Rayleigh usando los siguientes parámetros de simulación, ver Figs. 16 y 17:

- Eb/No: de 0 a 40 dB
- Señal: FSK (orden 2, coherente)
- Señal: IM (orden 2)
- Orden de Diversidad: 1, 5 y 10

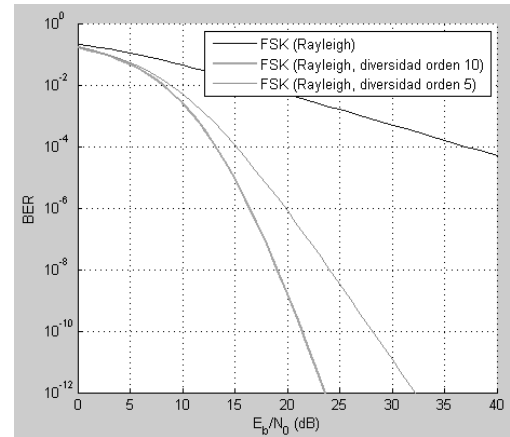


Fig. 16. FSK en un canal Rayleigh (Rician K=0)

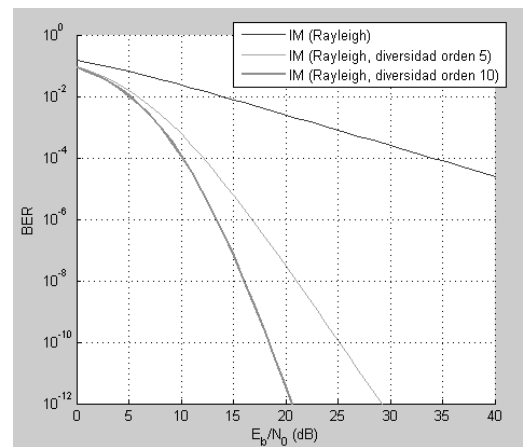


Fig. 17. IM en un canal Rayleigh (Rician K=0)

E. Señal FSK/IM en un canal Rician

Un canal que responde a una distribución Rician presenta un comportamiento similar al de la Fig. 18. El uso del factor K de rice en el presente trabajo permite asociar el uso de diversos componentes ópticos (Líneas de retardo de fibra (FDL's), conversores de longitud de onda, etc.) con los probables efectos que generan sobre las señales que usan un determinado sistema de conmutación de etiquetas óptico, es decir permite hasta cierto punto modelar el comportamiento de un sistema de conmutación de etiquetas óptico.

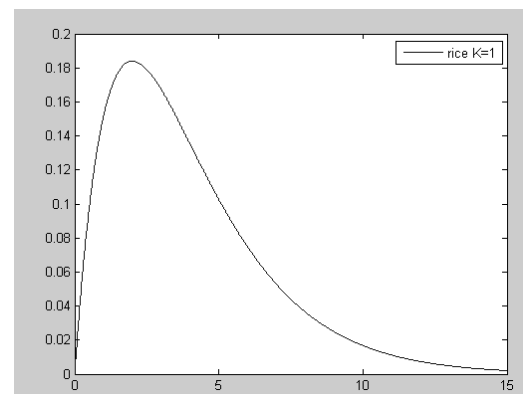


Fig. 18 PDF Rician (K=1)

A continuación se analizan las señales FSK e IM en el canal Rician usando los siguientes parámetros de simulación, ver Figs. 19 y 20:

E_b/N_0 : de 0 a 30 dB

Señal: FSK (orden 2, coherente) ($K=20, 30$ y 40)

Señal: IM (orden 2) ($K=1, 3, 5, 8$)

Orden de Diversidad: 1 y 10

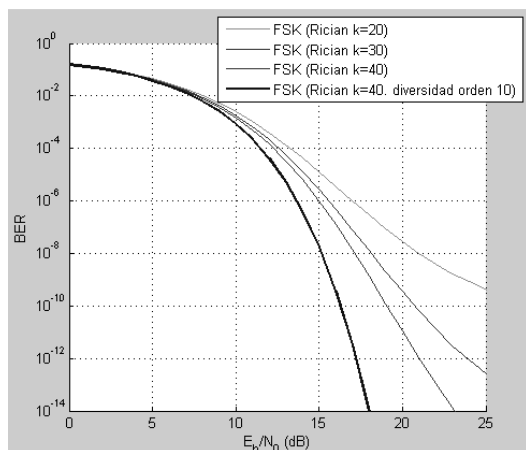


Fig. 19. Modulación FSK en un canal Rician ($K=1, 3, 5, 8$)

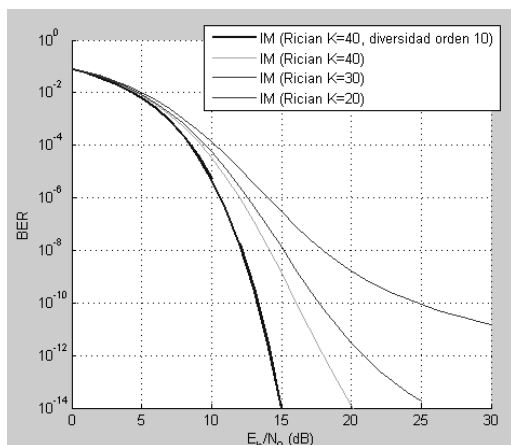


Fig. 20. Modulación IM en un canal Rician ($K=1, 3, 5, 8$)

Como se puede apreciar en las Figs. 19 y 20, existe una clara diferencia, en lo que se refiere a la eficiencia, entre el uso de una señal FSK y una IM. Una comparación sustancial podría darse al considerar que en el campo óptico la fibra no atenúa considerablemente señales (excepto a distancias de varios Kilómetros) sino que más bien los efectos de atenuación se dan debido a los dispositivos de conversión de medio electrónico-óptico y viceversa, en estos sistemas la generación y detección de señales cambia dependiendo del tipo de modulación que se tenga. Si por ejemplo se tuviera el caso en el que, en un nodo de Frontera, para generar una señal FSK el sistema de conmutación de etiquetas óptica presenta una PDF de Rician con factor $K=40$ y en el caso de generar una señal IM se tuviera una PDF de Rician con factor $K=30$,

se podría decir que existe una eficiencia similar y que el sistema usado para generar la señal FSK/IM, opera en similares condiciones, pero en el caso de que no fuera así se tendría un problema en el proceso de generación y detección de señales FSK/IM ya que la conversión de medio electrónico-óptico introduciría problemas de sincronización y de inserción de latencia.

X. ESCENARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONMUTACIÓN DE ETIQUETAS ÓPTICO

A. Implementación en anillos e infraestructuras de fibra

En el primer escenario se plantea el uso de infraestructuras de fibra óptica instaladas que se convierten en campos de uso ideal para implementar un sistema de conmutación de etiquetas óptico, ya que además de tener el beneficio de contar con una infraestructura ya instalada, se contaría con un campo considerablemente extenso, esto con el propósito de obtener mediciones reales de operación de la infraestructura óptica presente en el Ecuador, mediciones que podrían obtenerse de los modelos de simulación o campos de prueba a baja escala con un alto grado de dificultad.

Ejemplos de infraestructuras de fibra son los que se tienen en la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) y en la empresa Transelectric S.A. (CELEC S.A.). Se puede destacar la enorme ventaja que se presenta en las dos empresas, ya que por ejemplo la infraestructura de CNT, que antes se denominaba Andinatel S. A., contaba ya con 5 anillos de fibra en todo el país en el año pasado [13]; y, en el segundo caso se tendría un campo aun más extenso ya que Transelectric S.A. posee 460 kilómetros de fibra óptica tendida solo en la zona que comprende Azuay, El Oro y Loja, con una caracterización de datos de mayor tamaño que la primera por considerarse un carrier de telecomunicaciones; y, con la posibilidad de interconectarse, en un futuro, al proyecto "Red regional bolivariana de fibra óptica" que uniría a Venezuela, Colombia y Perú [14] [15].

B. FPGA para intercambio de etiquetas

Otra opción para llevar a cabo un campo de implementación de pruebas para intercambio de etiquetas óptica podría ser el uso de FPGA's (Field Programmable Gate Arrays) [8]. En la actualidad la utilización de FPGA's se ha simplificado enormemente gracias al uso de software que permite llevar a cabo programación de alto nivel, tal es el caso de los equipos que manejan entradas y salidas reconfigurables (Reconfigurable I/O) de National Instruments (NI) que interactúan con LabView. Mediante el uso de FPGA's en conjunto con dispositivos ópticos de menor complejidad se puede implementar diversos tipos de modulaciones que permiten probar diferentes alternativas para la generación de señales ópticas.

XI. CONCLUSIONES

- Un sistema de conmutación de etiquetas óptico permite analizar solamente el contenido de la etiqueta, no el del payload, lo que representa un ahorro en los recursos del

sistema ya que solo se debe llevar a cabo el proceso de conversión de medio electrónico-óptico de la etiqueta (Señal FSK) el mismo que no implica un análisis tan arduo como sería el caso del payload (Señal IM) que lleva una gran cantidad de bits.

- En el proceso de conversión de medio electrónico-óptico de la señal FSK/IM se debe tener cuidado con los problemas de sincronización y de inserción de latencia, debido especialmente a los equipos que llevan a cabo la generación y detección de las señales moduladas en frecuencia e intensidad.
- El uso de una PDF de Rician otorga cierto grado de libertad al variar el factor K de Rice, con lo que se pretende recrear el efecto de los elementos ópticos presentes en un sistema de conmutación de etiquetas óptico (Ej. Atenuación).
- Otra opción para recrear un sistema de conmutación de etiquetas óptico sería aplicar una metodología similar a la que se usa en control automático para obtener la función de transferencia de un determinado sistema.
- Otra opción para implementar un campo de pruebas para intercambio de etiquetas óptica podría ser el uso de FPGA (Field Programmable Gate Arrays).
- En el Ecuador se podría llevar a cabo el desarrollo de conceptos para la generación y detección de etiquetas ópticas, de forma distinta a las mencionadas en este artículo, para ser utilizadas en las redes que operan con conmutación de etiquetas ópticas; e inclusive, se podría plantear trabajar en conjunto con instituciones de investigación que se encuentren desarrollando tecnología para conmutación de etiquetas óptica proponiendo nuevos esquemas de etiquetamiento óptico.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece la guía académica de la MSc. María Soledad Jimenez en el documento "Estudio de la Conmutación por Etiqueta Óptica utilizando el Método de Etiquetamiento FSK/IM (Frequency Shift Keying/Intensity Modulation) en una Red Óptica Híbrida Integrada" que participó como poster en las Jornadas de Sistemas de Telecomunicaciones JST2008 y que sirvió como base para continuar con este estudio.

REFERENCIAS

- [1] Tarek S. El-bawab, OPTICAL SWITCHING, Springer Publisher. 1era Edición 2006
- [2] LLugsi C. Ricardo, Jimenez J. María Soledad, "Estudio de la Conmutación por Etiqueta Óptica utilizando el Método de Etiquetamiento FSK/IM (Frequency Shift Keying/Intensity Modulation) en una Red Óptica Híbrida Integrada" Jornadas de Sistemas de telecomunicaciones 2008.
- [3] Label-Controlled Optical Switching Nodes, Technische Universiteit Eindhoven, 2006. alexandria.tue.nl/extra2/200612077.pdf
- [4] Christoph M. Gauger, Erik Van Breusegem, Paul J. Kühn, Mario Pickavet, Piet Demeester., "Hybrid Optical Network Architectures: Bringing Packets and Circuits Together", IEEE Communications, vol. 44, No 8, pp. 36-42, Aug. 2006.
- [5] Fei Xue; Ben Yoo, "High-capacity multiservice optical label switching for the next-generation Internet", IEEE Communications, vol. 42, pp. S16 - S22, May 2004.
- [6] S. J. Ben Yoo, "Prospects and Challenges in Optical Packet, Burst, and Circuit Switching Networks", University of California, Campus Davis, Photonic Systems and Technologies
<http://sierra.ece.ucdavis.edu>, <http://citris.ucdavis.edu>
- [7] I. Tafur, E. Van Breusegem, T. Koonen, J.J. Olmos, J. Van Berkel, J. Jennen, C. Peucheret, E. Zouganeli. "Optical Label Switched Networks:

Laboratory Trial and Network Emulator in the IST-STOLAS Project", IEEE Communications, vol. 44, No 8, pp. 43-51, Aug. 2006.

- [8] V.J. Hernandez, Z. Pan, J. Cao, V. K. Tsui, Y. Bansal, S. K. H. Fong, Y. Zhang, M.Y. Jeon, S. J. B. Yoo, B. Bodtker, S. Bond, W. J. Lennon, H. Higashi, B. Lyles, R. McDonald. "First Field Trial of Optical Label-Based Switching and Packet Drop on a 477km NTON/Sprint Link"
<http://www.llnl.gov/tid/lof/documents/pdf/244389.pdf>
- [9] E.J.M. Verdurmen, Y. Liu, A.M.J. Koonen, H. de Waardt, I. Tafur Monroy "Chirp Properties Of Soa-Based Wavelength Converters for FSK/IM Combined Modulation Format" COBRA Research Institute, Eindhoven University of Technology. 2006. Proc. ECOC 2003, paper TU4.4.5.
- [10] Yoo, S. J. B., "Optical Packet and Burst Switching Technologies for the Future Photonic Internet" Journal of Lightwave Technology, Volume 24, Issue 12, Dec. 2006 Page(s):4468 – 4492.
- [11] Dr. Eligius Vancek, "Sistemas de Comunicaciones a través de fibras ópticas". IEEE - Universidad Santiago de Chile.
- [12] Communications Toolbox User's Guide 4. MATLAB.
- [13] "Andinatel, a un paso de ofrecer TV" .El Comercio, sección 1, página 10. Quito, 29 de mayo de 2007
- [14] Diario El Comercio. "Transelectric inauguró su red de fibra óptica en el Austro". 24 de Enero de 2008. elcomercio.com
- [15] Diario Hoy. "Fibra Óptica de Transelectric". 6 de Febrero de 2008. hoy.com.ec



Llugsí Cañar Ricardo Xavier Bachiller técnico en electrónica industrial, Colegio "Don Bosco". 2000 (Quito-Ecuador). Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional. 2008 (Quito, Ecuador). Postgrado en Ingeniería Eléctrica mención Conectividad y Redes de Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional. 2009.

Jiménez Jiménez María Soledad Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional (Quito, Ecuador), 1988, Master of Science in Electrical Engineering, University of Texas & Arlington (USA), 1994.

Ha sido profesora a tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional desde 1988 hasta la fecha, y ha dictado cátedras a nivel de postgrado en prestigiosas instituciones académicas del Ecuador.