

*Mejora de la Eficiencia Espectral en redes DWDM a 40Gbps a
través de los Formatos de Modulación Avanzados
DPSK y DQPSK*

Anexo A



Tesis de Maestría

ING. GUSTAVO ADOLFO GÓMEZ AGREDO

Director: PhD. Giovanni López Perafán

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Maestría en Electrónica y Telecomunicaciones
Popayán, 2019

ANEXO A

INCIDENCIA DE LAS DEGRADACIONES ÓPTICAS CON EL FORMATO DE MODULACIÓN RZ-DPSK

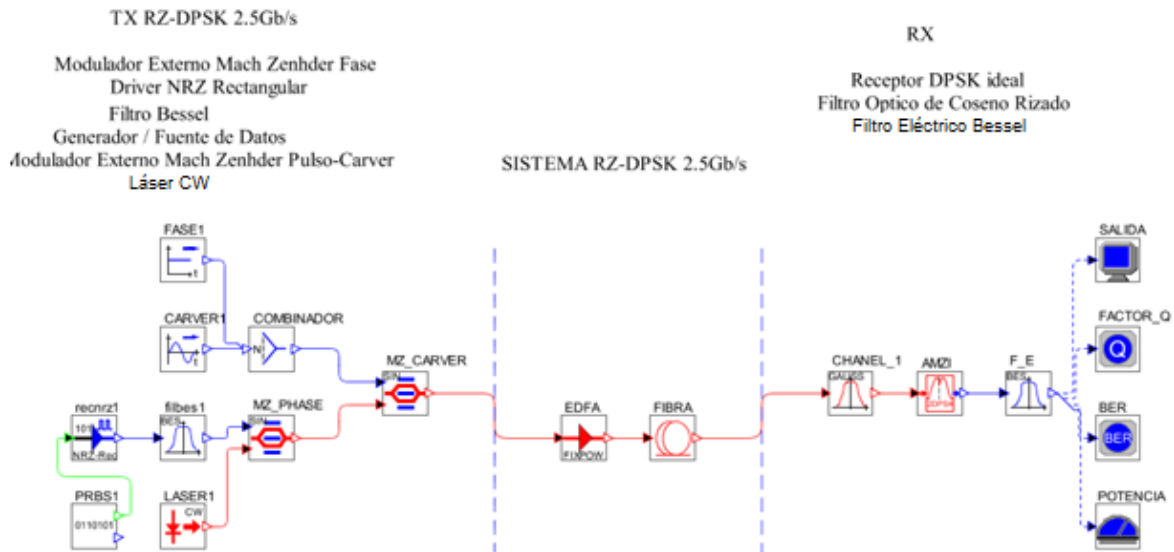


Figura 1. Arquitectura de red para el formato de modulación RZ-DPSK

En la figura 1, se observa que este formato de modulación, no tiene una configuración muy compleja en el transmisor, utilizando un modulador MZ para generar el pulso carver de la forma de onda RZ y otro modulador para generar la fase, siendo el pulso carver, una de las principales diferencias con respecto al formato de modulación NRZ-OOK.

En las figuras 2(a) a 2(d), se aprecia las condiciones iniciales de funcionamiento del formato de modulación RZ-DPSK, en donde es evidente la diferencia en espectro y en modulación con respecto al formato de referencia NRZ-OOK, en donde la diferencia fundamental se encuentra en un espectro más angosto. Para analizar el comportamiento de este formato de modulación, se parte de la

distancia máxima definida para una arquitectura DWDM de 80Km, junto con la configuración de cada uno de los elementos de la red.

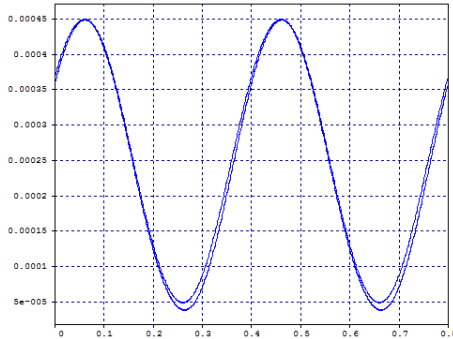


Figura 2 (a) Salida no Modulada del Formato RZ-DPSK.

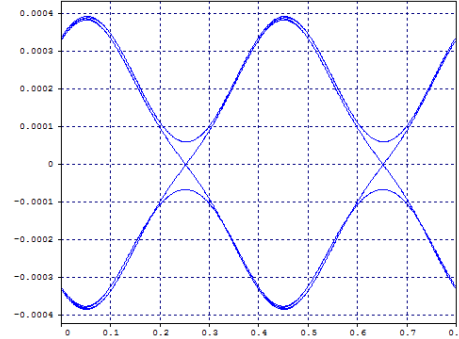


Figura 2 (b) Salida Modulada del Formato RZ-DPSK Back to Back.

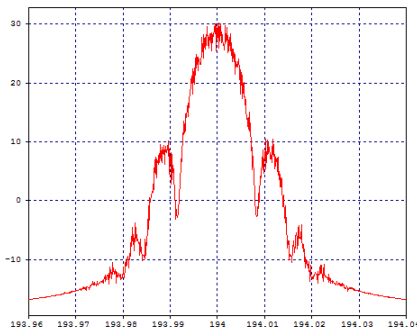


Figura 2 (c) Espectro Óptico para un solo canal.

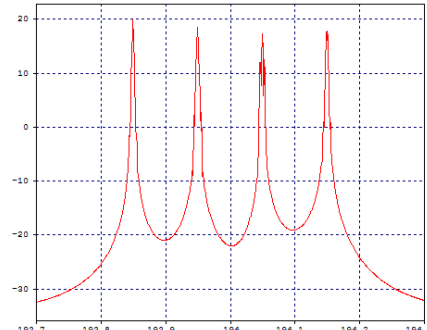


Figura 2 (d) Espectro Óptico para cuatro canales.

❖ **Análisis de los efectos lineales: Ruido y Pérdidas**

Para determinar el efecto de las pérdidas y el ruido para la distancia de 80Km en la implementación del formato de modulación RZ-DPSK, se procederá a analizar los parámetros de monitoreo óptico.

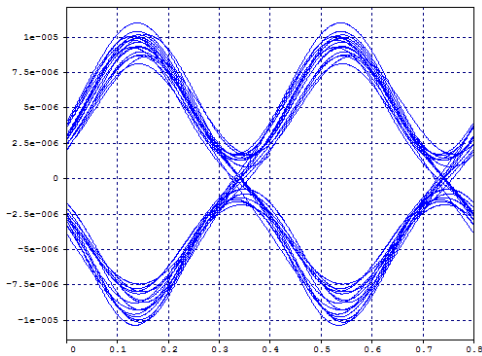


Figura 3 (a) Diagrama del ojo a 80Km afectado por el ruido y la atenuación de la red.

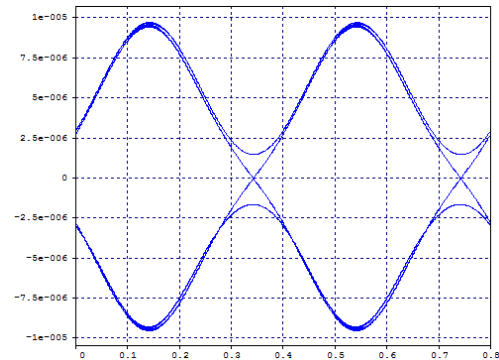


Figura 3 (b) Diagrama del ojo a 80Km sin considerar el ruido y la atenuación.

Distancia [Km]	Canal [THz]	BER	Factor Q [dB]	P _{RX} [dBm]	OSNR _{OUT} [dB]
80	193.85	3.30e-25	20.47	-20.09	13.39

Tabla 1 Parámetros de monitoreo óptico dependientes de las pérdidas y el ruido.

Como se observa en la tabla 1, debido a que la fibra introduce 0.275dB/Km de pérdidas al modelo, al implementar la máxima distancia se genera un alto rango de atenuación, así mismo, se tiene en cuenta el ruido introducido por los amplificadores EDFA de 5.5dB, el ruido de los moduladores y el FWHM del láser, en donde la degradación de los parámetros BER y Factor Q, se encuentra ligada al ruido introducido por los dispositivos EDFA y el pre-amplificador; y la disminución de la potencia de recepción por canal, está ligada a la atenuación introducida por la fibra.

❖ Análisis del efecto lineal: Dispersión Cromática

Para determinar el impacto de la Dispersión Cromática para un enlace de 80Km se procede por una parte a compensar en diferente porcentaje la dispersión cromática teniendo en cuenta los efectos de las pérdidas o atenuaciones y los efectos de ruido introducidos por los dispositivos EDFA, y por otro lado se procede a variar el parámetro CD dentro de la fibra para determinar la máxima tolerancia frente a esta degradación sin tener en cuenta otras degradaciones.

En las figuras 4 (a) y 4 (b), se aprecia el efecto del Jitter en el modelo, en donde debido a la presencia de este parámetro, se hace evidente el corrimiento del diagrama del ojo dependientes de la distancia, donde para propósitos de estudio, en el primer caso figura 4 (a) se tiene en cuenta la atenuación y no la CD, y en el segundo caso figura 4 (b) se tiene en cuenta la CD, pero no la atenuación.

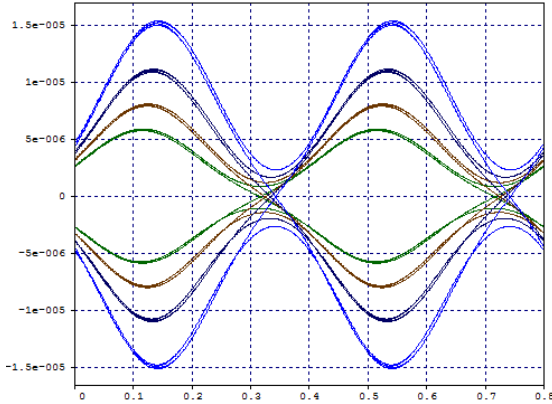


Figura 4 (a) Diagrama del ojo sin efecto de la Dispersión Cromática.

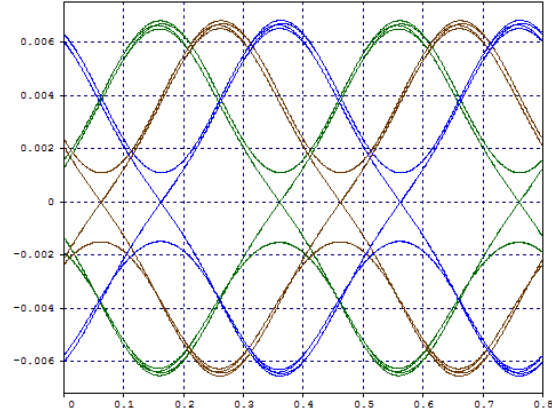


Figura 4 (b) Diagrama del ojo con efecto de la Dispersión Cromática.

Se procede a compensar la dispersión cromática dentro del modelo para compensar 75%, 50%, 25% y 0%, donde para propósitos de investigación se desprecia la atenuación introducida por la fibra DCF.

Porcentaje de compensación [%]	Canal [THz]	BER	Factor Q [dB]	P _{RX} [dBm]	OSNR _{OUT} [dB]	Jitter [ns]
100%	193.85	5.35e-22	19.71	-19.85	13.1	0.006034
75%	193.85	5.70e-24	20.09	-20.05	12.5	0.007914
50%	193.85	1.33e-31	21.37	-19.82	12.7	0.007218
25%	193.85	1.45e-18	18.84	-19.99	12.0	0.007774
0%	193.85	1.26e-20	19.33	-20-12	12.5	0.006415

Tabla 2 Parámetros de monitoreo óptico debido al efecto de la CD en un span de 80Km implementando fibra compensadora DCF

Este formato de modulación, es más susceptible a los efectos no lineales, debido a la condición de *phase-matching*, donde estos efectos se maximizan. Sin embargo, la degradación no es realmente significativa frente a los parámetros de monitoreo óptico, así mismo se observa la degradación del factor Q, en donde se obtiene su mejor valor con el parámetro CD próximo a los 17ps/nm*Km, siendo el coeficiente de dispersión que introduce la fibra SSMF-28.

❖ Análisis del efecto lineal: PMD

Para determinar el impacto de la PMD para un solo span de 80Km, no se tendrán en cuenta las atenuación y el ruido introducidos por los dispositivos ni los efectos de la dispersión cromática o los efectos no lineales.

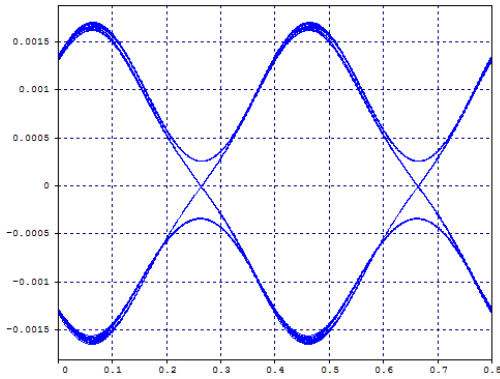


Figura 5 (a) Diagrama del ojo para un Span de 180Km sin considerar otras degradación con una PMD=0.2.

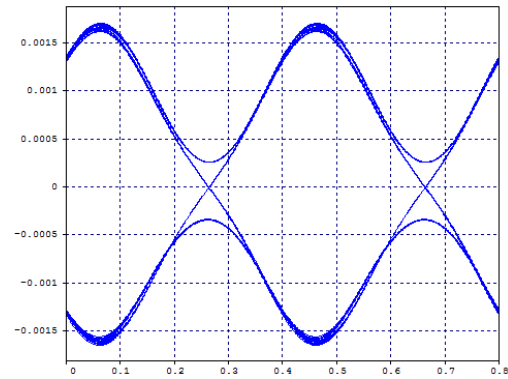


Figura 5 (b) Diagrama del ojo para un Span de 180Km sin considerar otras degradación con una PMD=40.

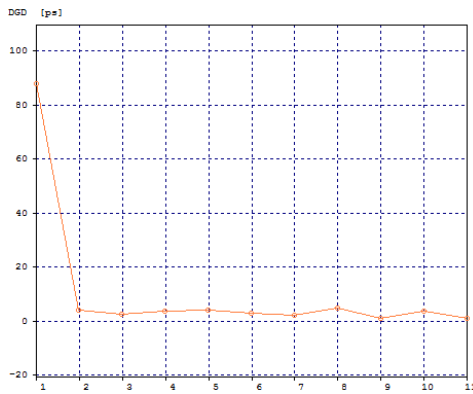


Figura 5 (c) Diagrama de la DGD vs Parámetro PMD (All-Order-PMD).

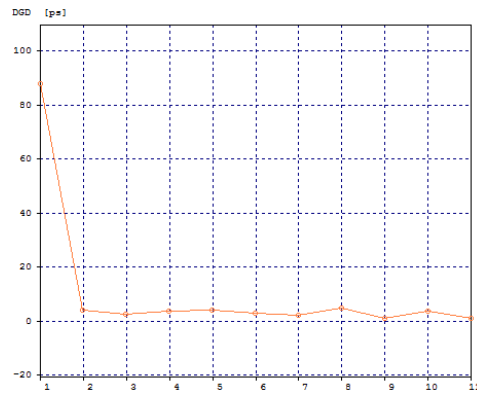


Figura 5 (d) Diagrama de la DGD vs Parámetro Fuente (Seed).

Mediante el análisis de las figuras 5 (a) a 5 (c) y la tabla 3, se determina que el formato de modulación RZ-DPSK posee una tolerancia superior al efecto de la PMD, dado que el modelo no se degrada frente a la variación del parámetro dentro de la Fibra. Así mismo, se observa la variación de la DGD con respecto al parámetro

Seed y con respecto a la variación del parámetro PMD, mostrando pequeñas variaciones del retraso de dispersión grupal.

PMD [ps/Km ^{0.5}]	Distancia [Km]	Canal [THz]	BER	Factor Q [dB]	P_{RX} [dBm]	OSNR_{OUT} [dB]
0	80	193.85	1e-40	40	-2.35	35.05
0.2	80	193.85	1e-40	40	-2.36	35.45
0.4	80	193.85	1e-40	40	-2.34	35.64
0.6	80	193.85	1e-40	40	-2.32	35.53
0.8	80	193.85	1e-40	40	-2.56	35.76
1.0	80	193.85	1e-40	40	-2.41	35.32

Tabla 3 Parámetros de monitoreo óptico debido al efecto de la PMD en un span de 180Km.

❖ **Análisis del efecto no lineal: SPM**

Para realizar el análisis de la SPM con respecto a la potencia de transmisión, se procederá a variar la potencia de los dispositivos de amplificación y la potencia del láser, para determinar si aporta significativamente en la degradación del modelo. Por otra parte, se verifica si el efecto de la dispersión cromática combinado con la SPM mediante el régimen de dispersión normal ($CD < 0$) y el régimen de dispersión anómalo ($CD > 0$) genera cambios en los parámetros de monitoreo óptico.

Como se observa en las figuras 6 (a) y 6 (b), el efecto de la SPM se hace evidente sobre la degradación del diagrama del ojo y sobre los parámetros de monitoreo óptico, debido al incremento de la potencia de los dispositivos de amplificación y la potencia del láser.

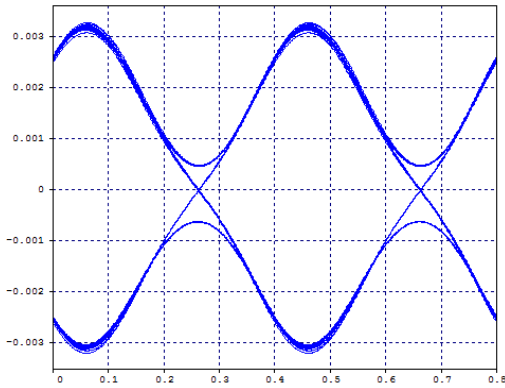


Figura 6 (a) Diagrama del ojo con potencia EFDA=9dBm.

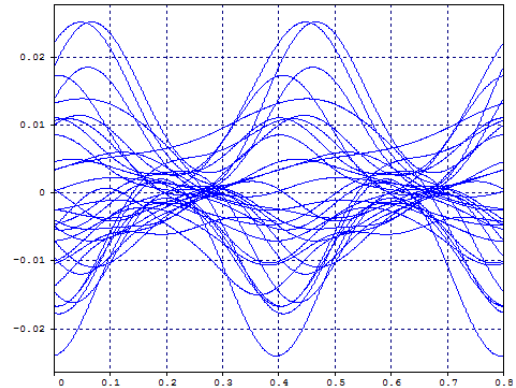


Figura 6 (b) Diagrama del ojo con potencia EFDA=21dBm.

Por otra parte, se analiza los efectos del régimen de dispersión anómalo y el régimen de dispersión normal, debido a la fuerte relación de la CD con la SPM, pudiendo aportar degradaciones significativas debido al estrechamiento o ensanchamiento de los pulsos transmitidos.

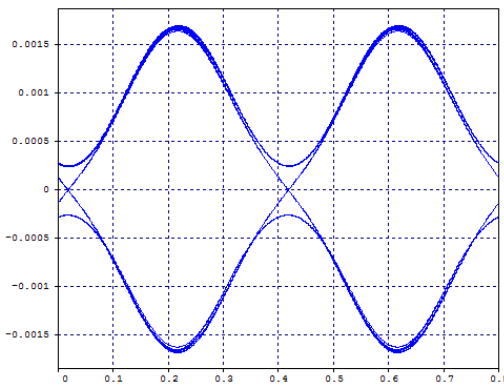


Figura 7 (a) Diagrama del ojo frente a un régimen de dispersión normal (CD<0) CD=-10.

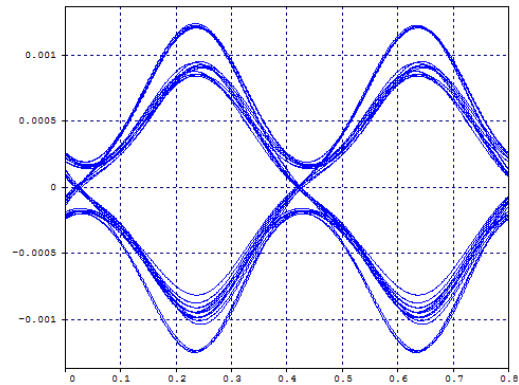


Figura 7 (b) Diagrama del ojo frente a un régimen de dispersión cero CD=0.

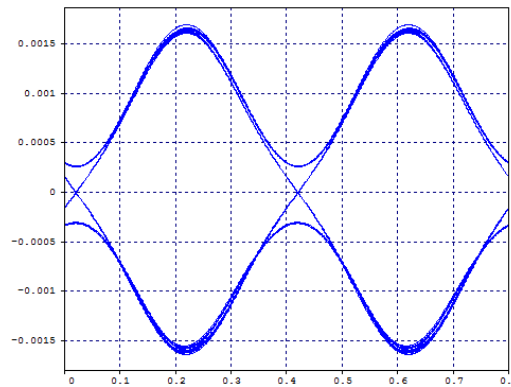


Figura 7 (c) Diagrama del ojo frente a un régimen de dispersión anómalo (CD>0) CD=10.

Como se observa en las figuras 7 (a) a 7 (c), al implementar el régimen de dispersión normal y anómalo, no afecta en mayor medida los parámetros de monitoreo óptico, del mismo modo, se constata que es mediante la implementación de la CD igual a 0 de la figura 7 (b), donde el formato de modulación RZ-DPSK degrada los parámetros de monitoreo óptico, sin embargo debido a las condiciones del modelo, el efecto de la SPM debido a la CD no aporta significativamente en la degradación del mismo.

❖ **Análisis del efecto no lineal: XPM**

Para determinar el impacto de la XPM para una distancia de 80Km, se asigna a dos de los canales una potencia menor de transmisión y se varía la dispersión cromática dentro de la fibra, donde se asignan unas potencias de: canal 1 y canal 4 con -10dBm y canal 2 y canal 3 con -30dBm. En las figuras 8 (a) y 8 (b), se observa el efecto de la XPM sobre el diagrama del ojo, en donde no se genera ningún tipo de cambio dentro de los parámetros de monitoreo óptico, así mismo, en la figura 9, se aprecia el efecto de la XPM en el espectro óptico, donde la ampliación del espectro no es significativo, comparando el espectro a una CD=0ps/nm*Km (verde) y CD=4ps/nm*Km (rojo).

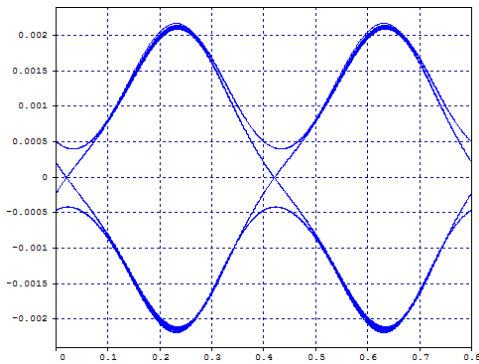


Figura 8 (a) Efecto de la XPM para una CD = 0.

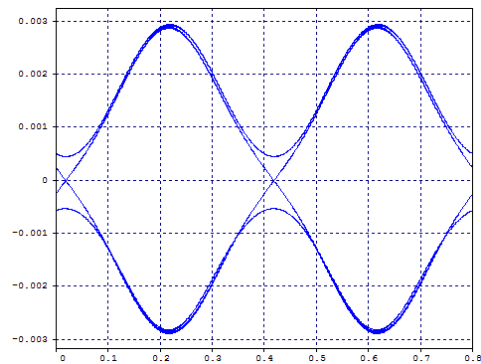


Figura 8 (b) Efecto de la XPM para una CD = 4.

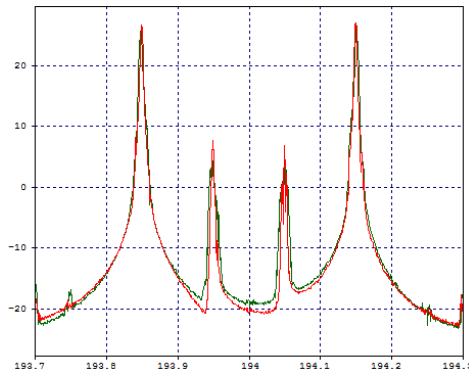


Figura 9 Efecto de la XPM sobre el Espectro óptico.

❖ Análisis del efecto no lineal: FWM

Para determinar el impacto de la FWM para un span de fibra de 80Km, se procede a compensar el efecto de la dispersión cromática y se varía el parámetro CD dentro de la fibra para analizar el efecto de la FWM en la potencia recibida y el espectro óptico. Como se aprecia en las figuras 10 (a) a 10 (d), el efecto de la FWM se hace evidente para bajos valores de dispersión de la fibra y decrece a medida que la CD incrementa, esto es debido a que a bajos valores de CD o próximos a la condición de phase-matching (dispersión cero), el efecto se maximiza. Sin embargo,

a pesar de poder visualizar el efecto de la FWM, este no degrada significativamente la eficiencia del modelo.

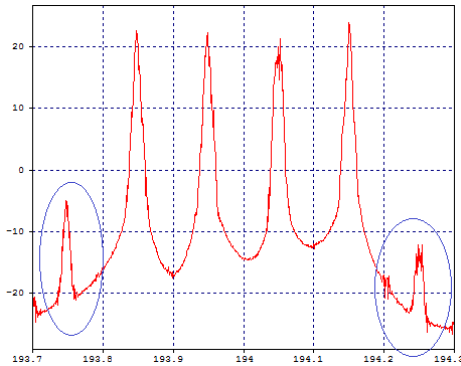


Figura 10 (a) Espectro óptico mostrando la generación de canales para una $CD = 0$.

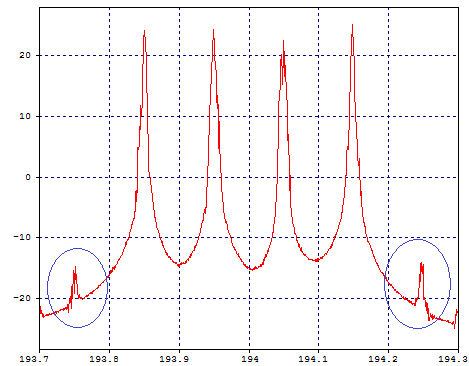


Figura 10 (b) Espectro óptico mostrando la generación de canales para una $CD = 1$.

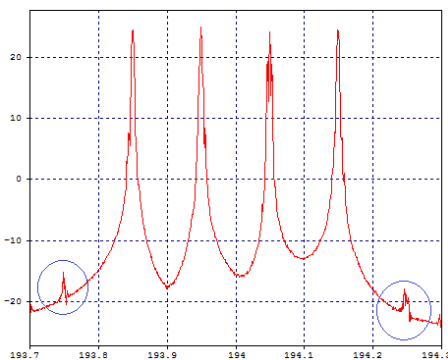


Figura 10 (c) Espectro óptico mostrando la generación de canales para una $CD = 2$.

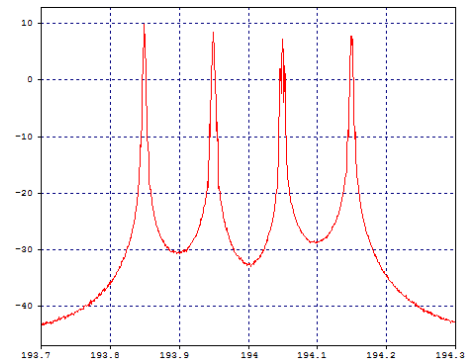


Figura 10 (d) Espectro óptico mostrando la generación de canales para una $CD = 3$.