

# ANEXOS

## A -RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

### 1. ESCENARIO 1: RZ-PDPSK

#### 1.1 CASO DE ESTUDIO 2: VARIACIÓN LONGITUD

##### 1.1.1 Variaciones de DGD vs longitud, para 1 canal.

Por medio del componente AOPMD, se obtiene un análisis estadístico de la PMD, basado en el modelo waveplate de segmentos concatenados. Dando como resultado una DGD con respecto a las variaciones de cada longitud.

La DGD con respecto a la longitud Figura 1. 1, tomada en el componente AOPMD, el cual hace una emulación de la fibra óptica, asilando todos los efectos (de primer y segundo orden), garantizando que el análisis solo será enfocado, sobre el efecto de la PMD, sobre 1 canal.

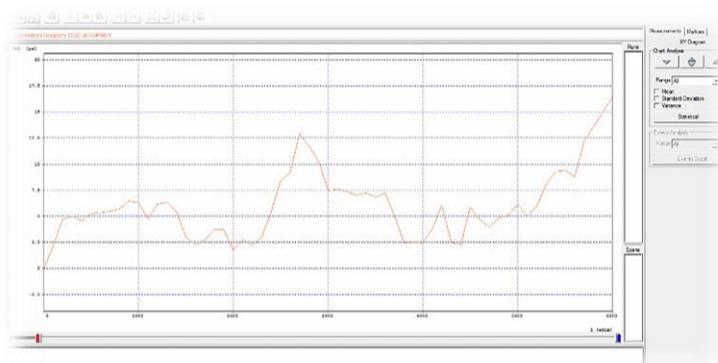


Figura 1. 1 DGD vs Longitud, RZ-PDPSK, para 1 canal

En la Figura 1. 2, se muestra la ampliación de la Figura 1. 1, percibiendo en la intersección encerrada en el círculo, un máximo valor de DGD, que para el caso de estudio de 1 canal, correspondiente, al valor de tolerancia máximo (por diseño), del 10% del tiempo de bit (100 ps), que sería equivalente a un DGD máximo de 10 ps. Dando como resultado en la Figura 1. 2, que este valor máximo se alcanzó a una longitud de 2620.19 Km.

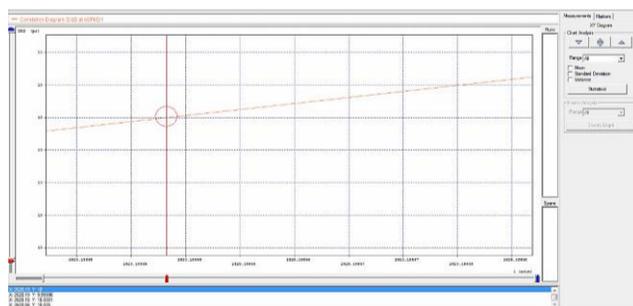


Figura 1. 2 Ampliación Figura 1. 1

La variación del factor Q, con respecto a las variaciones de longitud, mostrando que se obtuvo un valor óptimo de  $Q=40$  dB, constante para todas las variaciones de longitud, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de Q, con respecto a la variación de longitud, para la modulación RZ-PDPSK a 1 canal.



Figura 1. 3 Factor Q vs variación de longitud, para 1 canal.

La variación del factor BER, con respecto a las variaciones de longitud, mostrando que se obtuvo un valores óptimos de BER=1 e-40 dB, constante para estas variaciones, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de BER, con respecto a las variaciones de longitud, para la modulación RZ-PDPSK a 1 canal.

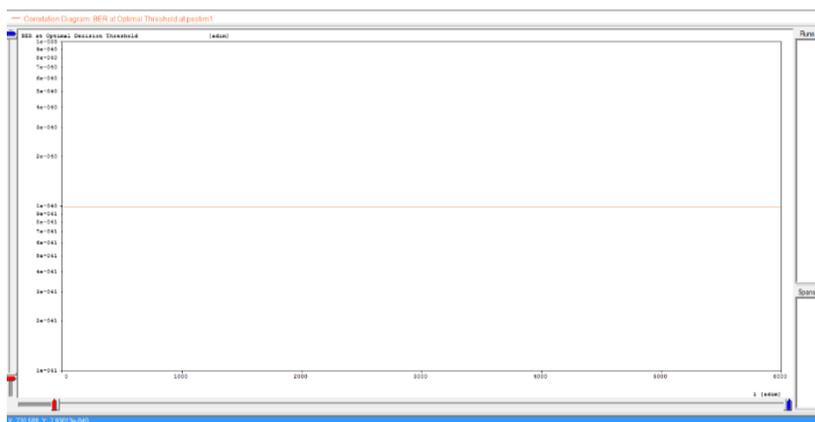


Figura 1. 4 Factor BER vs variación de longitud, para 1 canal

### 1.1.2 Variaciones de DGD vs longitud, para 10 canales.

Por medio del componente AOPMD, se obtiene un análisis estadístico de la PMD, basado en el modelo waveplate de segmentos concatenados. Dando como resultado una DGD con respecto a las variaciones de cada longitud.

La variación de la DGD con respecto a la longitud Figura 1. 5, tomada en el componente AOPMD, el cual hace una emulación de la fibra óptica, asilando todos los efectos (de primer y segundo orden), garantizando que el análisis solo será enfocado, sobre el efecto de la PMD, sobre 10 canales.

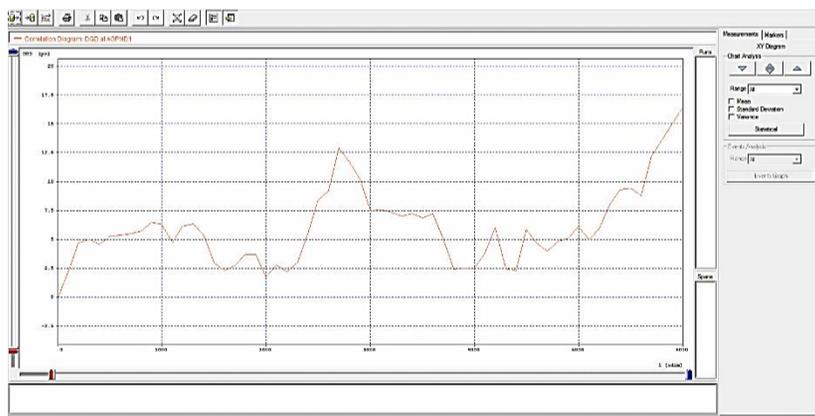


Figura 1. 5 DGD vs Longitud, RZ-PDPSK, para 10 canales

En la Figura 1. 6, se muestra la ampliación de la Figura 1. 5, percibiendo en la intersección encerrada en el círculo, un máximo valor de DGD, que para el caso de estudio, correspondiente, al valor de tolerancia máximo (por diseño), del 10% del tiempo de bit (100 ps), que sería equivalente a un DGD máximo de 10 ps. Dando como resultado en la Figura 1. 6, que este valor máximo se alcanzó a una longitud de 2620.18 Km.

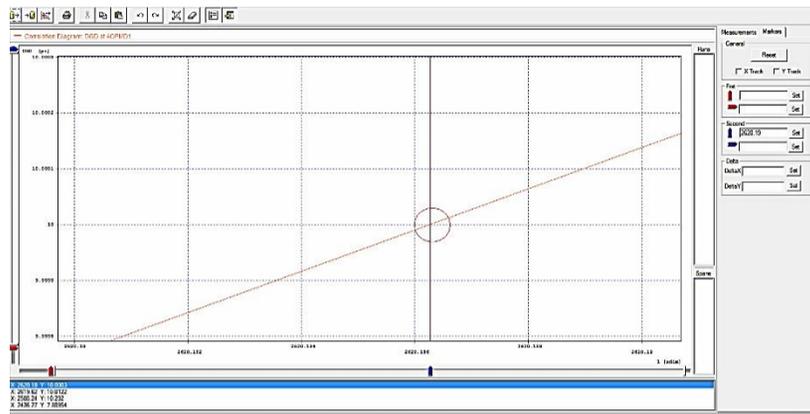


Figura 1. 6 Ampliación Figura 1. 5

La muestra la variación del factor Q Figura 1. 7, con respecto a las variaciones de longitud, mostrando que se obtuvieron valores óptimos, en todas las variaciones de longitud, mostrando una pequeña variación, cerca del 1% en algunas variaciones, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de Q, con respecto a las variaciones de longitud, para la modulación RZ-PDPSK a 10 canales

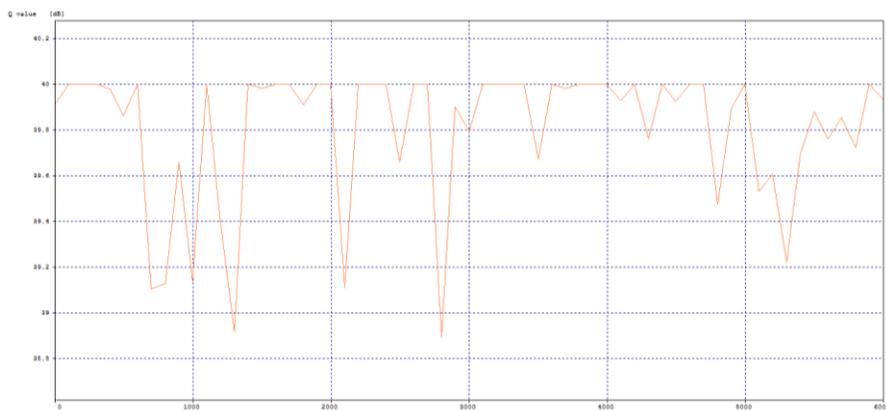


Figura 1. 7 Factor Q vs variación de longitud, para 10 canales.

La variación del factor BER Figura 1. 8, con respecto a las variaciones de longitud, mostrando que se obtuvo un valores óptimos de BER=1 e-40 dB, constante para las variaciones, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de BER, con respecto a la variaciones de longitud, para la modulación RZ-PDPSK, a 10 canales.

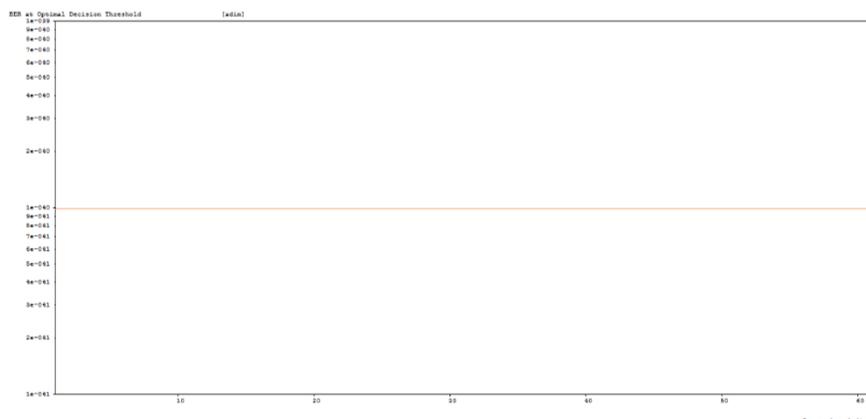


Figura 1. 8 Factor BER vs variación de longitud, para 10 canales

### 1.1.3 Variaciones de longitudes, para 1 canal para espectro X:

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en el caso de variación de número de canal. Se tomaron los espectros encontrados, para cada una de las longitudes que se variaron y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 9.

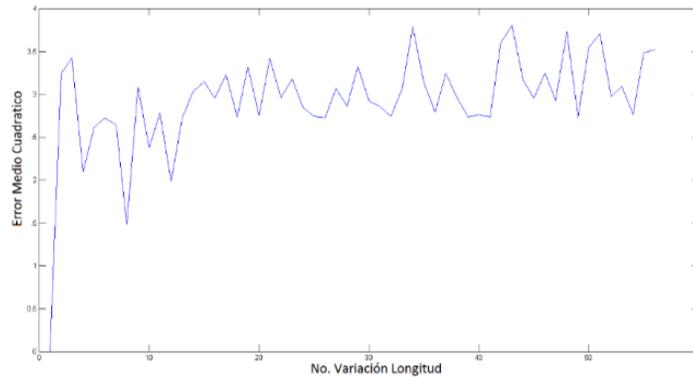


Figura 1. 9 Error medio cuadrático vs variación de longitud para 1 canal RZ-PDPSK. Espectro en X

Mediante el uso de la herramienta Curve Fitting Toolbox de Matlab<sup>1</sup>, se realizó una regresión lineal de la Figura 1. 9, obteniendo la Figura 1. 10.

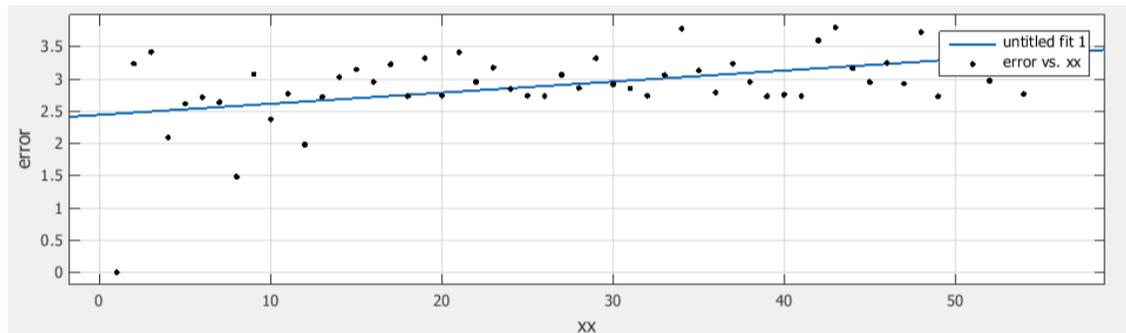


Figura 1. 10 Regresión lineal del error medio cuadrático vs variación de longitud, para 1 canal

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1.1, donde cabe resaltar, que el parámetro p1 es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto a la longitud, para esto caso particular el valor de p1 es de: p1= 0.01717.

$$f(x) = p1 * x + p2 \quad 1. 1$$

### 1.1.4 Variaciones de longitudes, para 10 canales para espectro X:

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en el caso de variación de número de canal. Se tomaron los espectros encontrados, para cada una de las longitudes que se variaron y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático, Figura 1. 11.

<sup>1</sup> Referencia Fitting Toolbox de Matlab-<http://www.mathworks.com/products/curvefitting/>

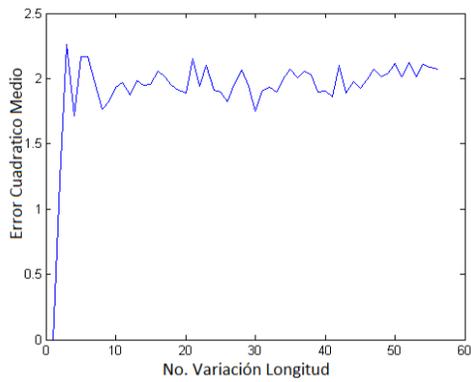


Figura 1. 11 Error medio cuadrático vs variación de longitud para 10 canales RZ-PDPSK. Espectro en X

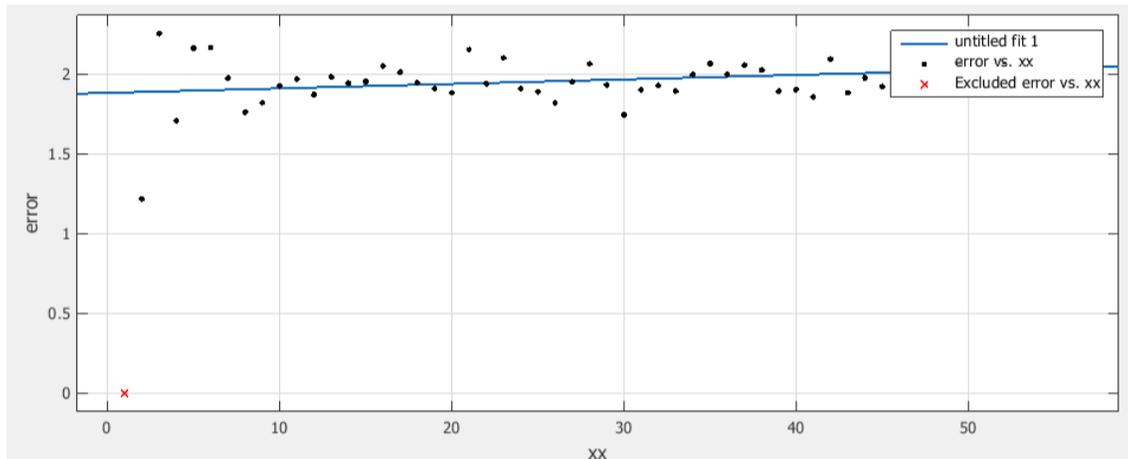


Figura 1. 12 Regresión lineal del Error medio cuadrático vs variación de longitud, para 10 canales

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1.1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto a la longitud, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1=0.002813$ .

**1.1.5 Variaciones de longitudes, para 1 canal para espectro Y:**

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en X de la variación de longitudes, se tomaron los espectros encontrados, para cada una de las longitudes que se variaron y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 13.

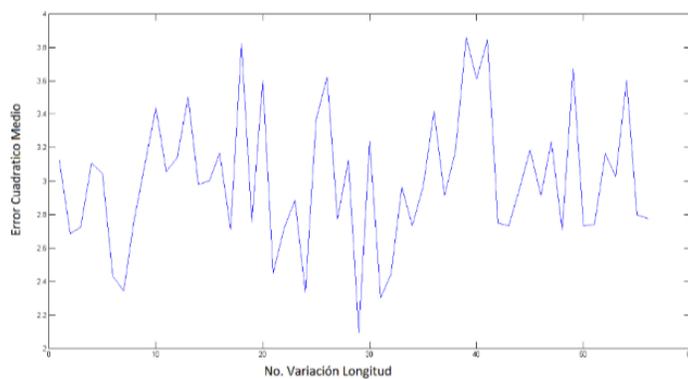


Figura 1. 13 Error medio cuadrático vs variación de longitud para 1 canal RZ-PDPSK. Espectro en Y

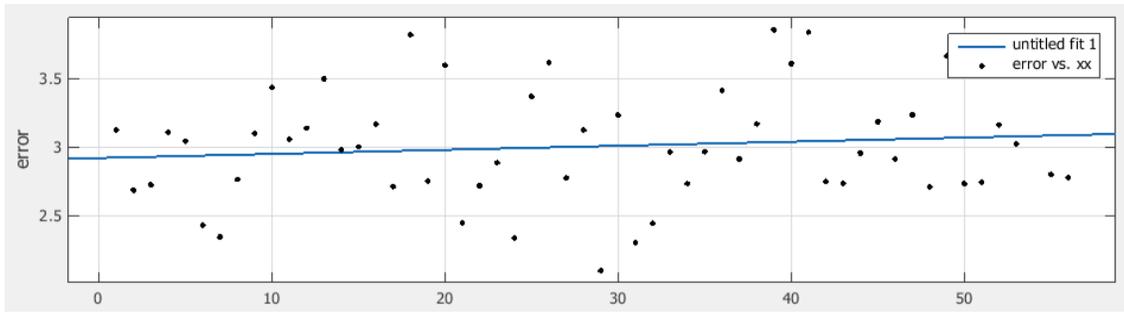


Figura 1. 14 Regresión lineal del error medio cuadrático vs variación de longitud, para 1 canal

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1.1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto a la longitud, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1=0.002989$ .

### 1.1.6 Variaciones de longitudes, para 10 canales para espectro Y:

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en X de la variación de longitudes, se tomaron los espectros encontrados, para cada una de las longitudes que se variaron y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 15.

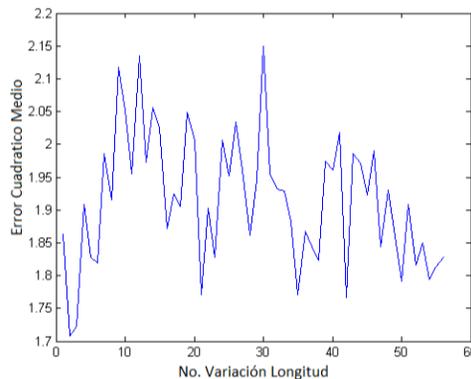


Figura 1. 15 Error medio cuadrático vs variación de longitud para 10 canales RZ-PDPSK. Espectro en Y

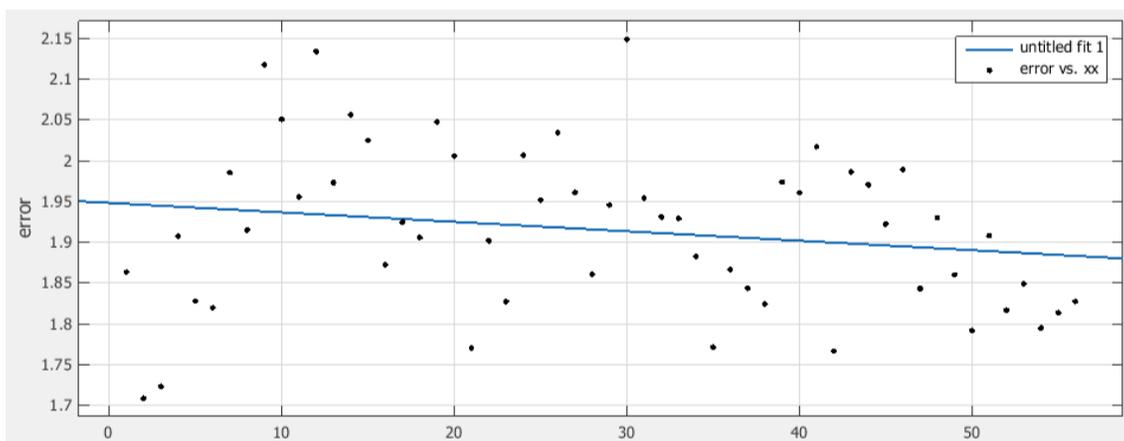


Figura 1. 16 Regresión lineal del Error medio cuadrático vs variación de longitud, para 10 canales

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1.1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto a la longitud, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1= -0.00116$ .

### 1.2 CASO DE ESTUDIO 3: VARIACIÓN COEFICIENTE PMD

### 1.2.1 Variaciones de DGD vs coeficiente de PMD, para 1 canal.

Por medio del componente AOPMD, se obtiene un análisis estadístico de la PMD, basado en el modelo waveplate de segmentos concatenados. Dando como resultado una DGD con respecto a cada variación del coeficiente de PMD.

La variación de la DGD con respecto al coeficiente de PMD Figura 1. 17, tomada en el componente AOPMD, el cual hace una emulación de la fibra óptica, asilando todos los efectos (de primer y segundo orden), garantizando que el análisis solo será enfocado, sobre el efecto de la PMD, sobre 1 canal.

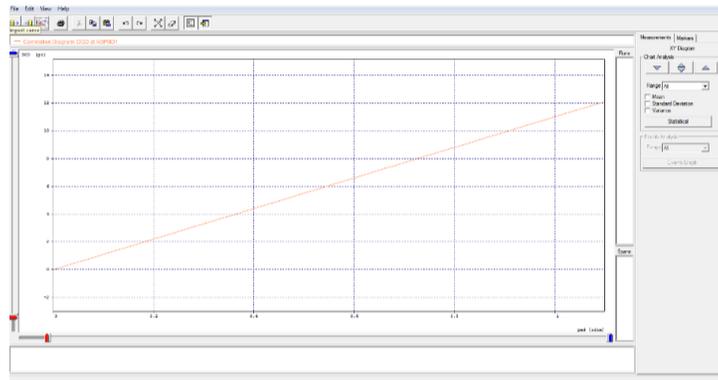


Figura 1. 17 DGD vs coeficiente de PMD, RZ-PDPSK, para 1 canal

En la Figura 1. 18, se muestra la ampliación de la Figura 1. 17, percibiendo en la intersección encerrada en el círculo, un máximo valor de DGD, que para el caso de estudio de 1 canal, correspondiente, al valor de tolerancia máximo (por diseño), del 10% del tiempo de bit (100 ps), que sería equivalente a un DGD máximo de 10 ps. Dando como resultado en la Figura 1. 18, que este valor máximo se alcanzó a un valor de PMD de  $0.907703 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ .

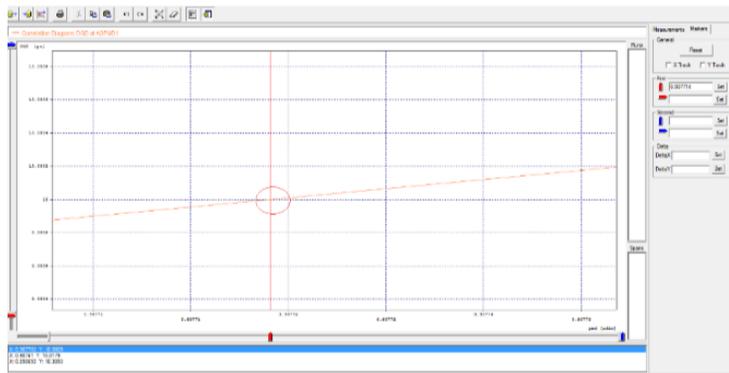


Figura 1. 18 Ampliación Figura 1. 17

La variación del factor Q, con respecto a las variaciones de coeficiente de PMD, mostrando que se obtuvo un valor óptimo de  $Q=40 \text{ dB}$ , constante para las variaciones, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de Q, con respecto a la variaciones de coeficiente de PMD, para la modulación RZ-PDPSK a 1 canal.

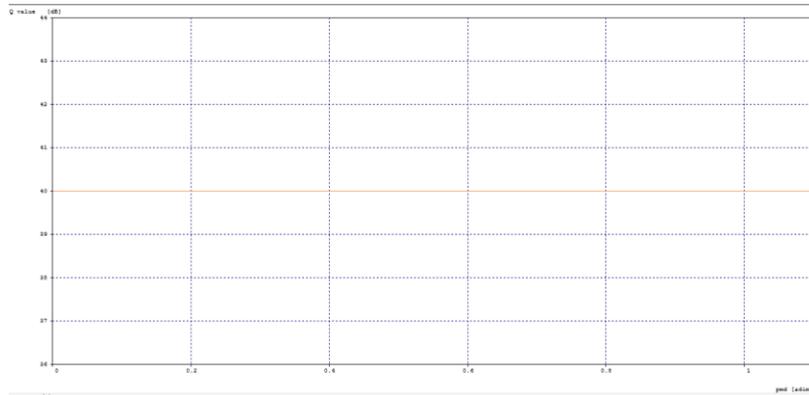


Figura 1. 19 Factor Q vs variación coeficiente de PMD

La variación del factor BER, con respecto a las variaciones de coeficiente de PMD, mostrando que se obtuvo un valores óptimos de BER=1 e-40 dB, constante para las variaciones, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de BER, con respecto a la variaciones de coeficiente de PMD, para la modulación RZ-PDPSK a 1 canal.

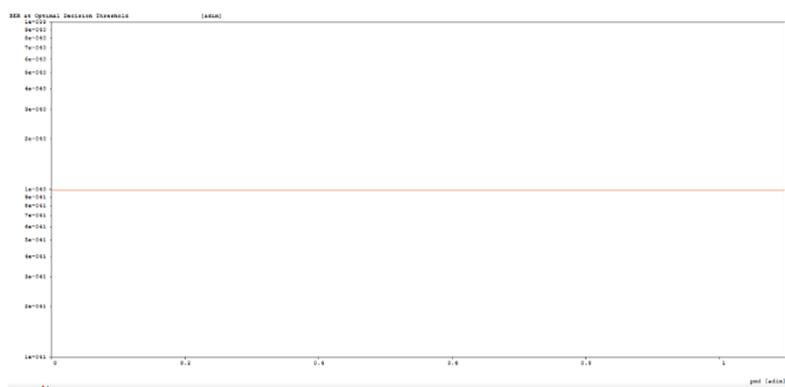


Figura 1. 20 Factor BER vs variación coeficiente de PMD

### 1.2.2 Variaciones de DGD vs coeficiente de PMD, para 10canales.

Por medio del componente AOPMD, se obtiene un análisis estadístico de la PMD, basado en el modelo waveplate de segmentos concatenados. Dando como resultado una DGD con respecto a cada variación del coeficiente de PMD.

La variación de la DGD con respecto al coeficiente de PMD, tomada en el componente AOPMD, el cual hace una emulación de la fibra óptica, asilando todos los efectos (de primer y segundo orden), garantizando que el análisis solo será enfocado, sobre el efecto de la PMD, sobre 10 canales.

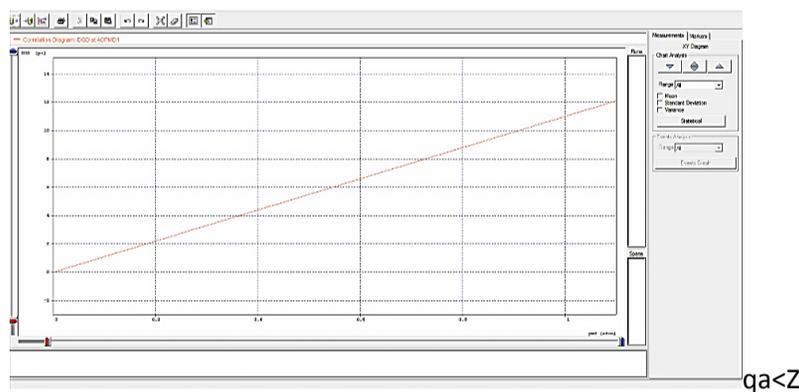


Figura 1. 21 DGD vs coeficiente de PMD, RZ-PDPSK, para 10 canales.

En la Figura 1. 22, se muestra la ampliación de la Figura 1. 21, percibiendo en la intersección encerrada en el círculo, un máximo valor de DGD, que para el caso de estudio de 10 canales, correspondiente, al valor de tolerancia máximo (por diseño), del 10% del tiempo de bit (100 ps),

que sería equivalente a un DGD máximo de 10 ps. Dando como resultado en la Figura 1. 22, que este valor máximo se alcanzó a un valor de PMD de  $0.90768 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ .

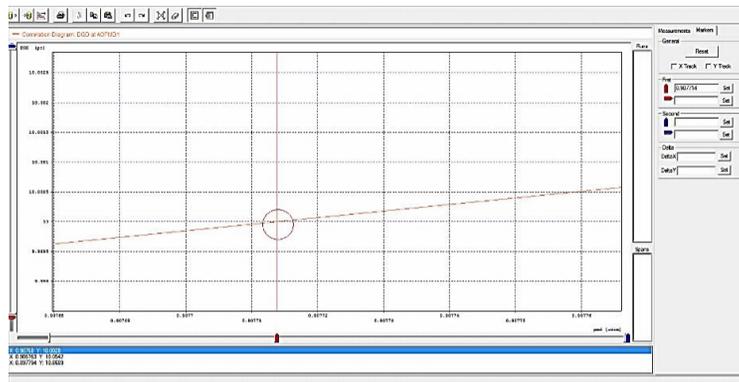


Figura 1. 22 Ampliación Figura 1. 21

La variación del factor Q, con respecto a las variaciones de coeficiente de PMD, mostrando que se obtuvieron valores óptimos, para todas las variaciones de coeficiente de PMD, mostrando una pequeña variación cerca del 1%, en algunas de las variaciones, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de Q, con respecto a las variaciones de coeficiente de PMD, para la modulación RZ-PDPSK a 10 canales.

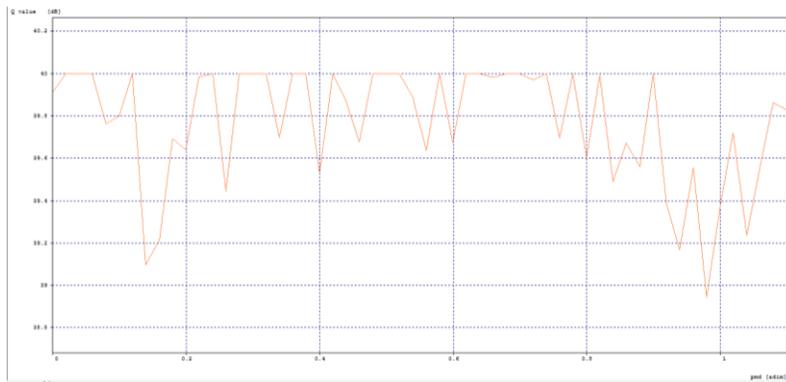


Figura 1. 23 Factor Q vs variación coeficiente de PMD

La variación del factor BER, con respecto a las variaciones de coeficiente de PMD, mostrando que se obtuvo un valores óptimos de BER= $1 \text{ e}-40 \text{ dB}$ , constante para todas las variaciones de coeficiente de PMD con esto se puede concluir que, PMD por sí sola no afecta el valor de BER, con respecto a la variaciones de coeficiente de PMD, para la modulación RZ-PDPSK, a 10 canales.

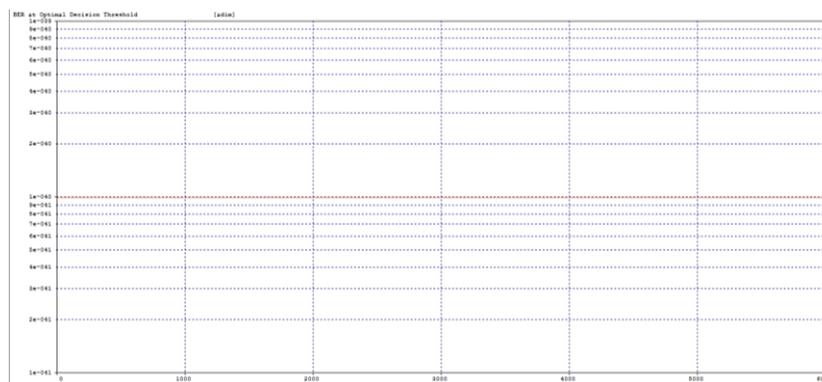


Figura 1. 24 Factor BER vs variación coeficiente de PMD

### 1.2.3 Variaciones de coeficientes de PMD, para 1 canal para espectro X:

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en los casos anteriores, variación de número de canales y variación de longitud. Se tomaron los espectros encontrados, para cada

una de las variaciones de coeficientes de PMD, y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 25.

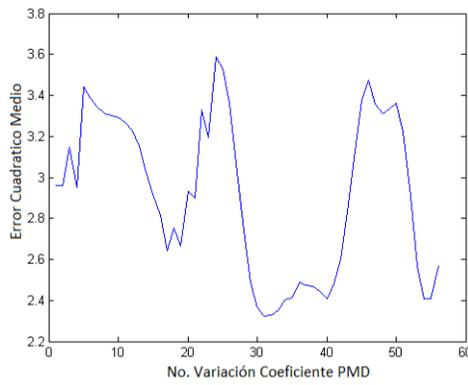


Figura 1. 25 Error medio cuadrático vs variación coeficiente de PMD, para 1 canal RZ-PDPSK. Espectro en X

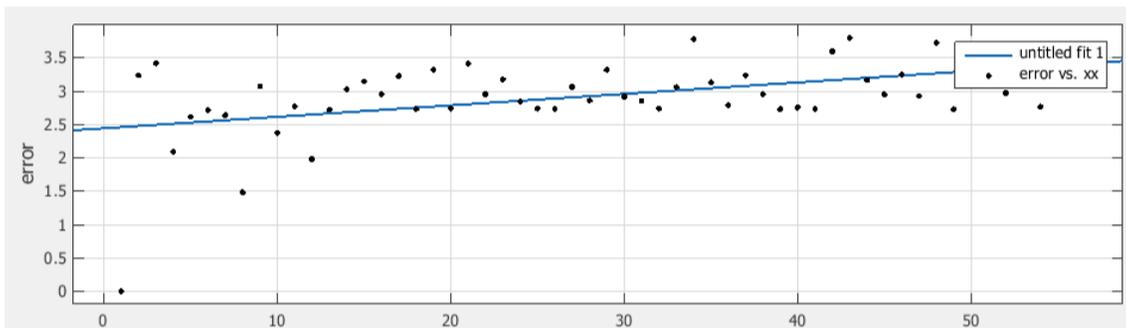


Figura 1. 26 Regresión lineal del error medio cuadrático vs variación coeficiente de PMD, para 1 canal

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1,1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto al coeficiente de PMD, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1 = -0.007648$ .

**1.2.4 Variaciones de coeficientes de PMD, para 10 canales para espectro X:**

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en los casos anteriores, variación de número de canales y variación de longitud. Se tomaron los espectros encontrados, para cada una de las variaciones de coeficientes de PMD, y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 27.

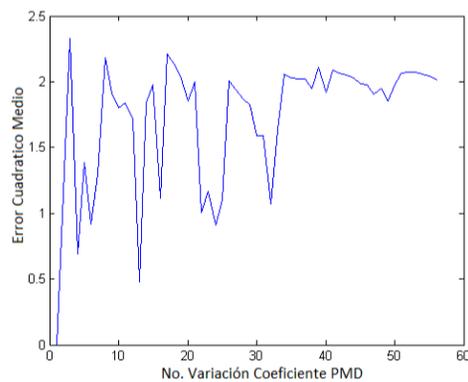


Figura 1. 27 Error medio cuadrático vs variación coeficiente de PMD, para 10 canales RZ-PDPSK. Espectro en X

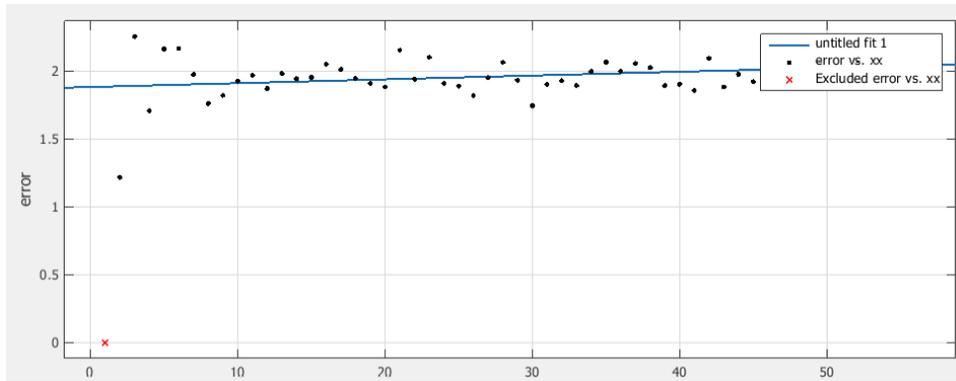


Figura 1. 28 Regresión lineal del Error medio cuadrático vs variación de coeficiente de PMD, para 10 canales

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1,1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto al coeficiente de PMD, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1 = 0.01206$ .

### 1.2.5 Variaciones de coeficientes de PMD, para 1 canal para espectro Y:

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en X de la variación de longitudes, se tomaron los espectros encontrados, para cada una de variaciones del coeficiente de PMD y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 29.

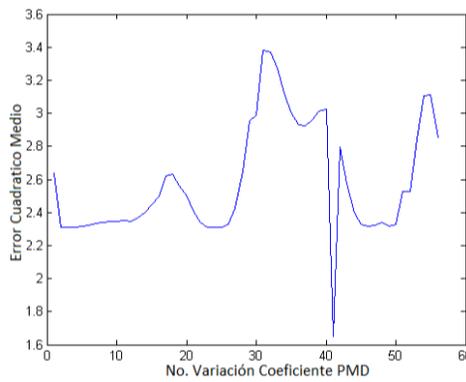


Figura 1. 29 Error medio cuadrático vs variación de coeficiente de PMD, para 1 canal RZ-PDPSK. Espectro en Y

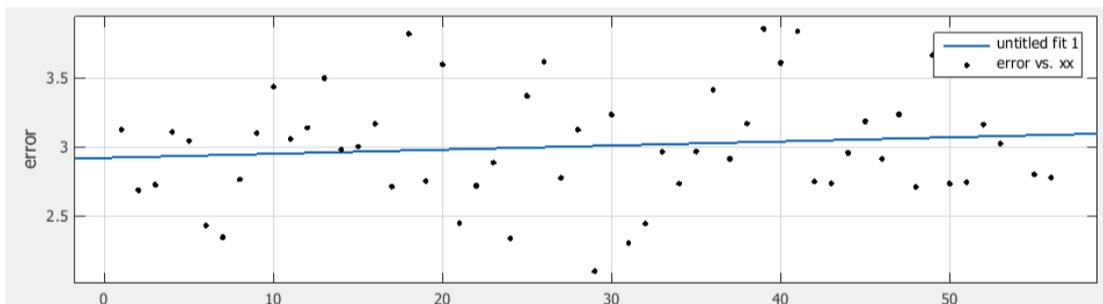


Figura 1. 30 Regresión lineal del error medio cuadrático vs variación de longitud, para 1 canal

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1,1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto al coeficiente de PMD, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1 = 0.007242$ .

### 1.2.6 Variaciones de coeficientes de PMD, para 10 canales para espectro Y:

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en X de la variación de longitudes, se tomaron los espectros encontrados, para cada una de variaciones del coeficiente de PMD y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 31.

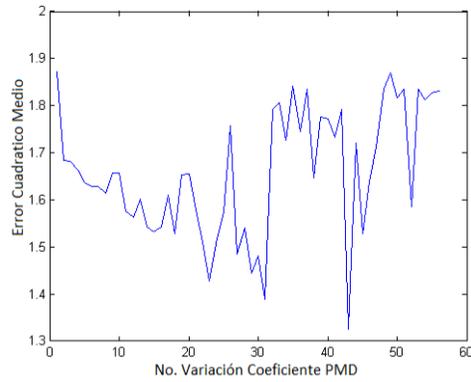


Figura 1. 31 Error medio cuadrático vs variación del coeficiente de PMD, para 10 canal RZ-PDPSK. Espectro en Y

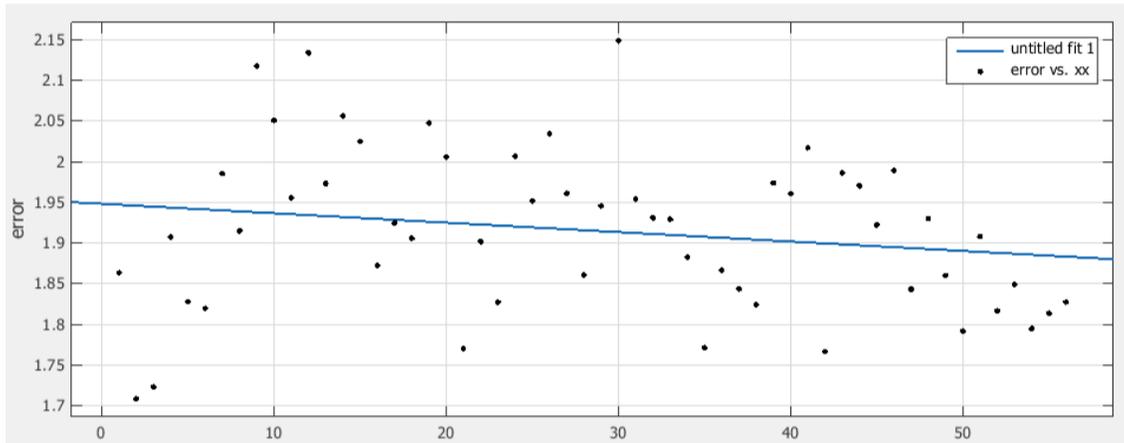


Figura 1. 32 Regresión lineal del error medio cuadrático vs variación de coeficiente de PMD, para 10 canales

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1.1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto al coeficiente de PMD, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1 = 0.003051$ .

## 2. ESCENARIO 2: RZ-DQPSK

### 2.1 CASO DE ESTUDIO 2: VARIACIÓN LONGITUD

#### 2.1.1 Variaciones de DGD vs longitud, para 1 canal.

Por medio del componente AOPMD, se obtiene un análisis estadístico de la PMD, basado en el modelo waveplate de segmentos concatenados. Dando como resultado una DGD con respecto a las variaciones de cada longitud.

La variación de la DGD con respecto a la longitud Figura 1. 33, tomada en el componente AOPMD, el cual hace una emulación de la fibra óptica, aislando todos los efectos (de primer y segundo orden), garantizando que el análisis solo será enfocado, sobre el efecto de la PMD, sobre 1 canal.

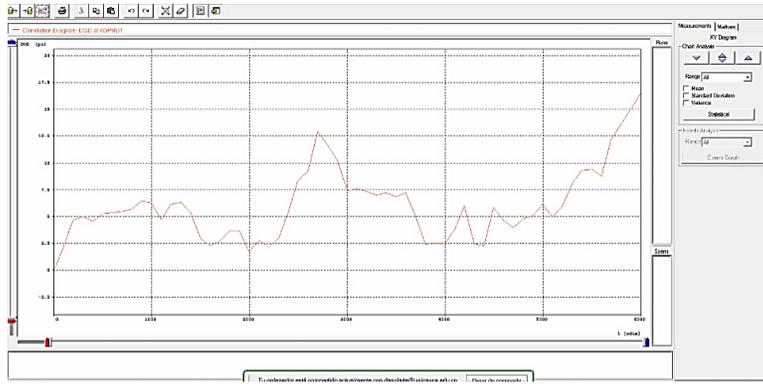


Figura 1. 33 DGD vs Longitud, RZ-DQPSK, para 1 canal

En la Figura 1. 34, se muestra la ampliación de la Figura 1. 33, percibiendo en la intersección encerrada en el círculo, un máximo valor de DGD, que para el caso de estudio de 1 canal, correspondiente, al valor de tolerancia máximo (por diseño), del 10% del tiempo de bit (100 ps), que sería equivalente a un DGD máximo de 10 ps. Dando como resultado en la Figura 1. 34, que este valor máximo se alcanzó a una longitud de 2620.19Km.

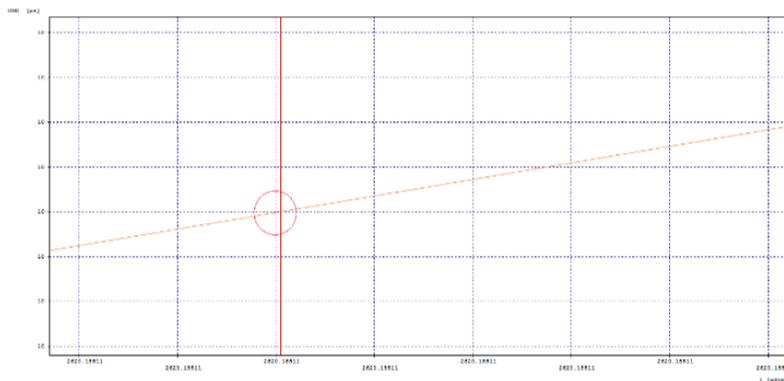


Figura 1. 34 Ampliación Figura 1. 33

La variación del factor Q, con respecto a las variaciones de longitud, mostrando que se obtuvo un valor óptimo de  $Q=40$  dB, constante para todas estas variaciones, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de Q, con respecto a la variación de longitud, para la modulación RZ-DQPSK a 1 canal.

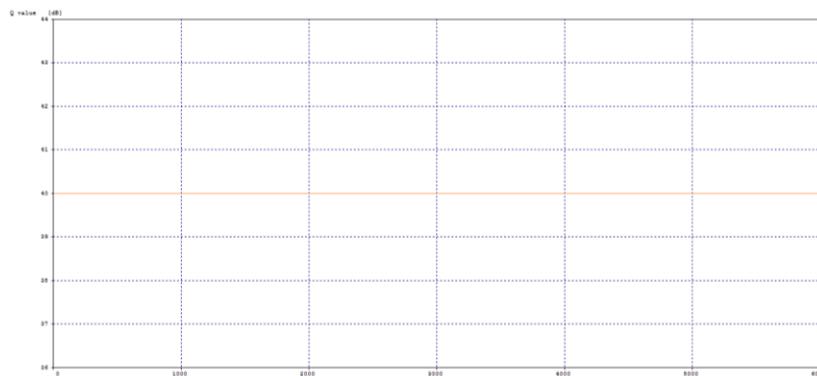


Figura 1. 35 Factor Q vs variación de longitud

La variación del factor BER, con respecto a las variaciones de longitud, mostrando que se obtuvo un valores óptimos de  $BER=1 e-40$  dB, constante para todas estas variaciones, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de BER, con respecto a la variación de longitud, para la modulación RZ-DQPSK a 1 canal.

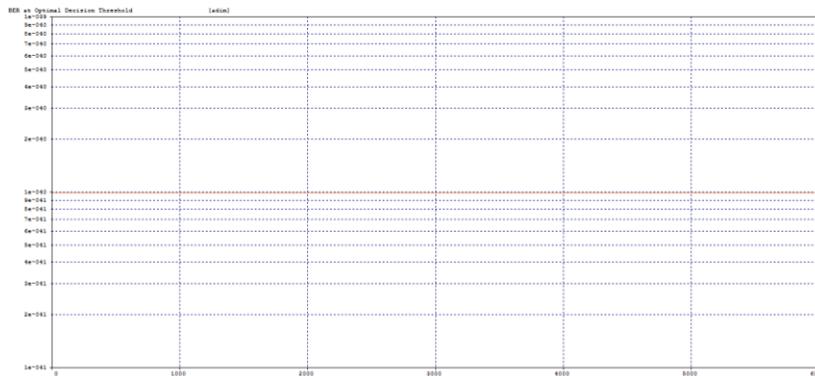


Figura 1. 36 Factor BER vs variación de longitud

### 2.1.2 Variaciones de DGD vs longitud, para 10 canales.

Por medio del componente AOPMD, se obtiene un análisis estadístico de la PMD, basado en el modelo waveplate de segmentos concatenados. Dando como resultado una DGD con respecto a las variaciones de cada longitud.

La variación de la DGD con respecto a la longitud Figura 1. 37, tomada en el componente AOPMD, el cual hace una emulación de la fibra óptica, asilando todos los efectos (de primer y segundo orden), garantizando que el análisis solo será enfocado, sobre el efecto de la PMD, sobre 10 canales.

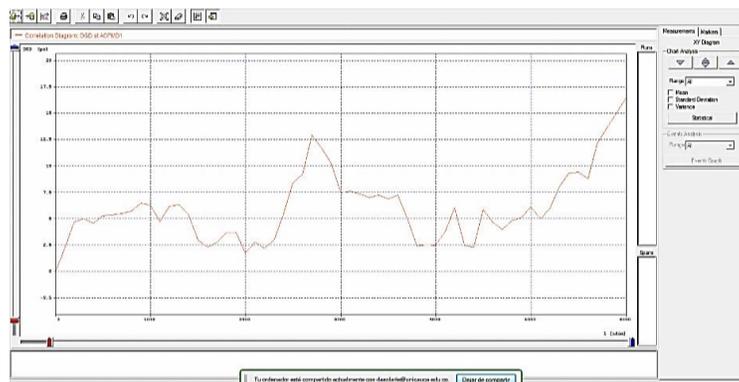


Figura 1. 37 DGD vs Longitud, RZ-DQPSK, para 10 canales

En la Figura 1. 38, se muestra la ampliación de la Figura 1. 37, percibiendo en la intersección encerrada en el círculo, un máximo valor de DGD, que para el caso de estudio, correspondiente, al valor de tolerancia máximo (por diseño), del 10% del tiempo de bit (100 ps), que sería equivalente a un DGD máximo de 10 ps. Dando como resultado en la Figura 1. 38, que este valor máximo se alcanzó a una longitud de 2619.73 Km.

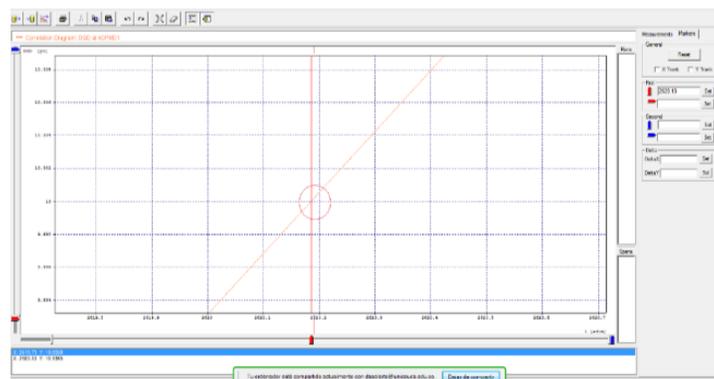


Figura 1. 38 Ampliación Figura 1. 37

La variación del factor Q, con respecto a las variaciones de longitud, mostrando que se obtuvieron valores óptimos, para todas las variaciones de longitud, con una pequeña variación

cerca del 1%, en algunas variaciones, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de Q, con respecto a la variación de longitud, para la modulación RZ-DQPSK a 10 canales.

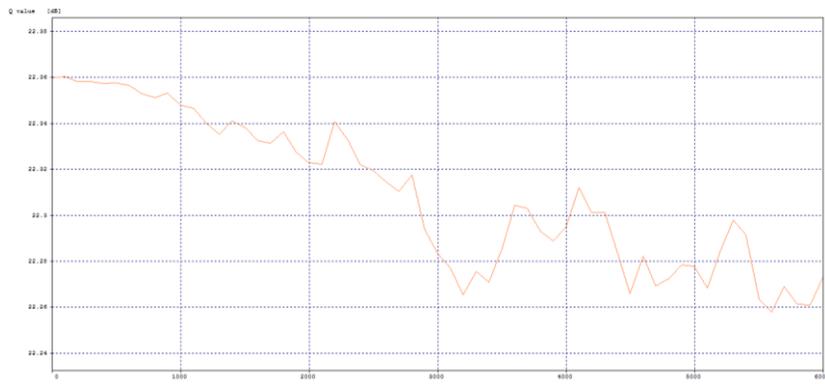


Figura 1. 39 Factor Q vs variación de longitud

La variación del factor BER, con respecto a las variaciones de longitud, mostrando que se obtuvo un valor de BER=1 e-40 dB, constante para todas las variaciones de longitud, con esto, se puede concluir que, PMD por sí sola no afecta en mayor medida, el valor de BER, con respecto a la variación de longitud, para la modulación RZ-DQPSK a 10 canales.

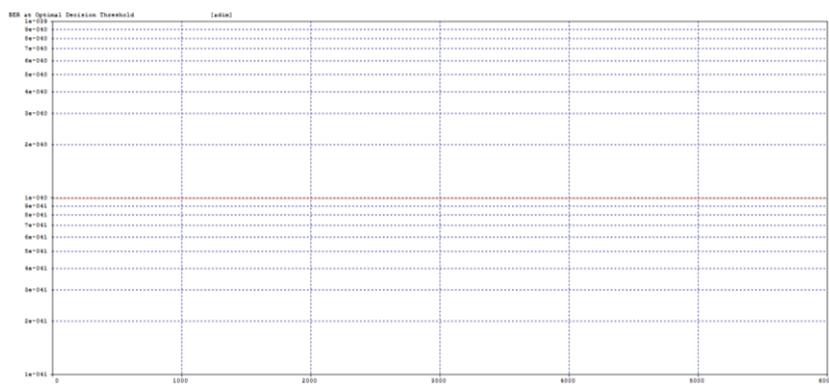


Figura 1. 40 Factor BER vs variación de longitud

**2.1.3 Variaciones de longitudes para 1 canal para espectro X:**

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en el caso de variación de número de canal. Se tomaron los espectros encontrados, para cada una de las longitudes que se variaron y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 41

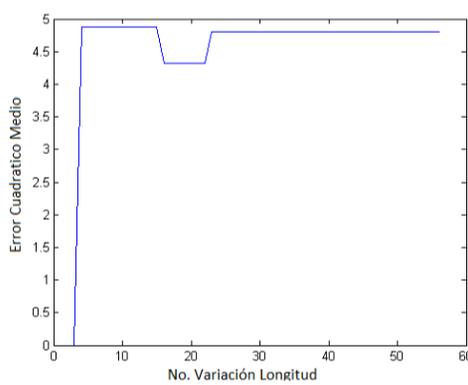


Figura 1. 41 Error medio cuadrático vs variación de longitud para 1 canal RZ-DQPSK. Espectro en X

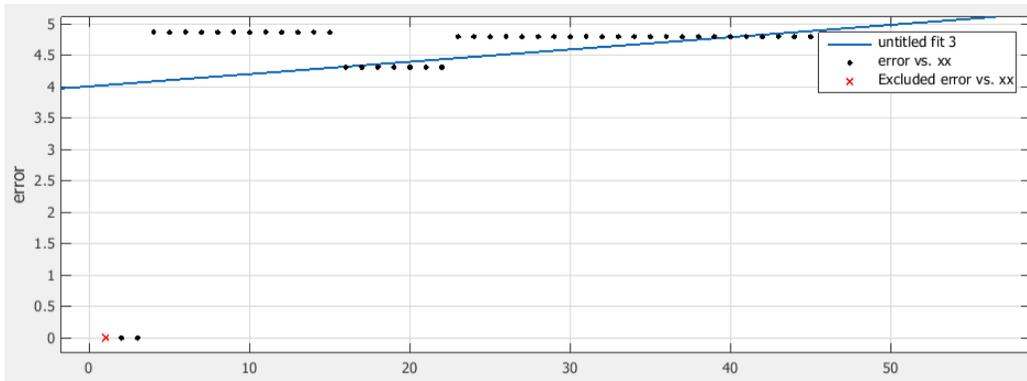


Figura 1. 42 Regresión lineal del error medio cuadrático vs variación de longitud, para 1 canal

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1,1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto a la longitud, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1=0.01959$ .

#### 2.1.4 Variaciones de longitudes para 10 canales para espectro X:

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en el caso de variación de número de canal. Se tomaron los espectros encontrados, para cada una de las longitudes que se variaron y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 43.

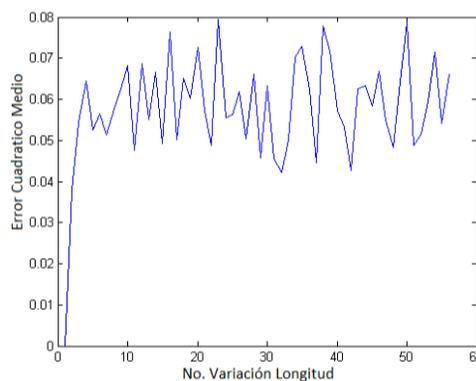


Figura 1. 43 Error medio cuadrático vs variación de longitud para 10 canales RZ-DQPSK. Espectro en X

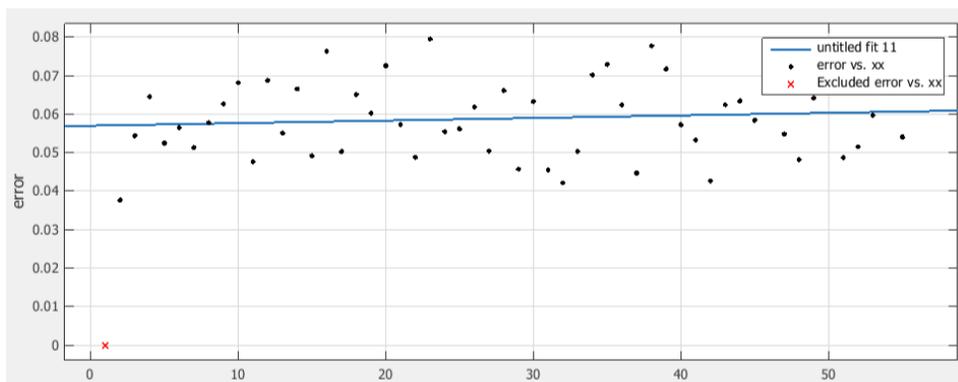


Figura 1. 44 Regresión lineal del Error medio cuadrático vs variación de longitud, para 10 canales

Los resultados de la regresión lineal mediante la ecuación 1,1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto a la longitud, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1=6.648 \text{ e-}05$ .

#### 2.1.5 Variaciones de longitudes para 1 canal para espectro Y:

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en X de la variación de longitudes, se tomaron los espectros encontrados, para cada una de las longitudes que se variaron y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 45.

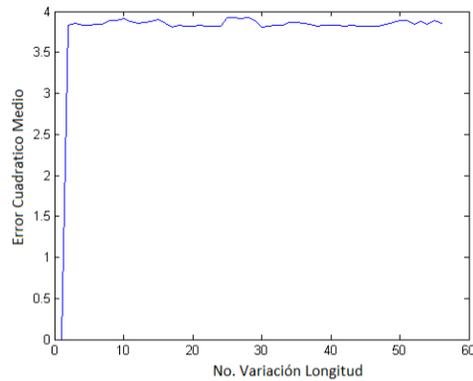


Figura 1. 45 Error medio cuadrático vs variación de longitud para 1 canal RZ-DQPSK. Espectro en Y

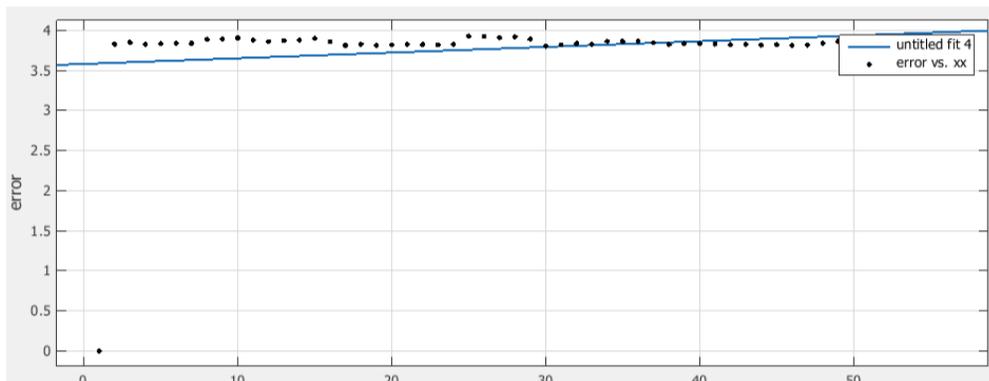


Figura 1. 46 Regresión lineal del error medio cuadrático vs variación de longitud, para 1 canal

Los resultados de la regresión lineal mediante la ecuación 1,1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto a la longitud, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1=0.00780$ .

**2.1.6 Variaciones de longitudes para 10 canales para espectro Y:**

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en X de la variación de longitudes, se tomaron los espectros encontrados, para cada una de las longitudes que se variaron y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 47.

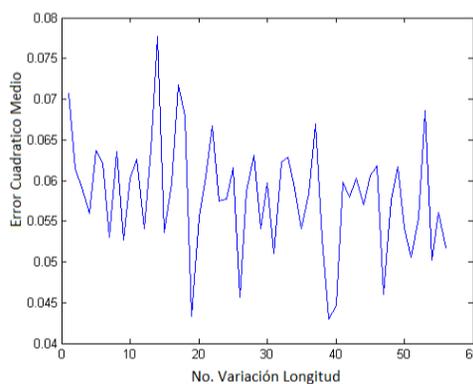


Figura 1. 47 Error medio cuadrático vs variación de longitud para 10 canales RZ-DQPSK. Espectro en Y

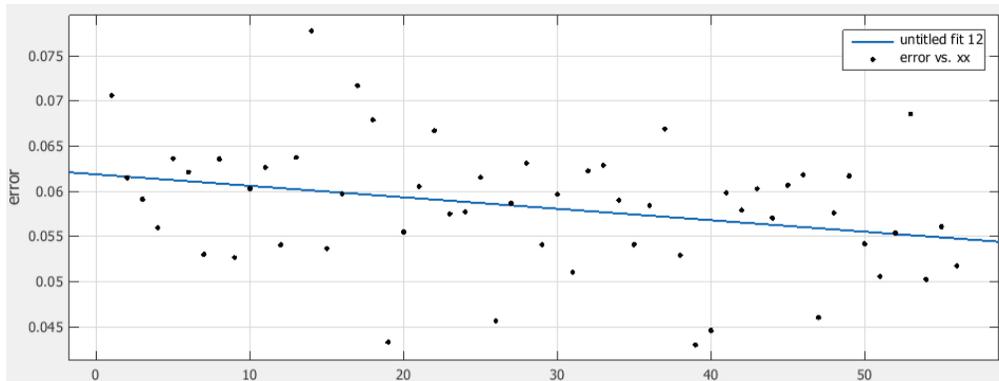


Figura 1. 48 Regresión lineal del Error medio cuadrático vs variación de longitud, para 10 canales

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1,1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto a la longitud, para este caso particular el valor de  $p1$  es de:  $p1 = -0.0001269$ .

## 2.2 CASO DE ESTUDIO 3: VARIACIÓN COEFICIENTE PMD

### 2.2.1 Variaciones de DGD vs coeficiente de PMD, para 1 canal.

Por medio del componente AOPMD, se obtiene un análisis estadístico de la PMD, basado en el modelo waveplate de segmentos concatenados. Dando como resultado una DGD con respecto a cada variación del coeficiente de PMD

La variación de la DGD con respecto al coeficiente de PMD Figura 1. 49, tomada en el componente AOPMD, el cual hace una emulación de la fibra óptica, aislando todos los efectos (de primer y segundo orden), garantizando que el análisis solo será enfocado, sobre el efecto de la PMD, sobre 1 canal.

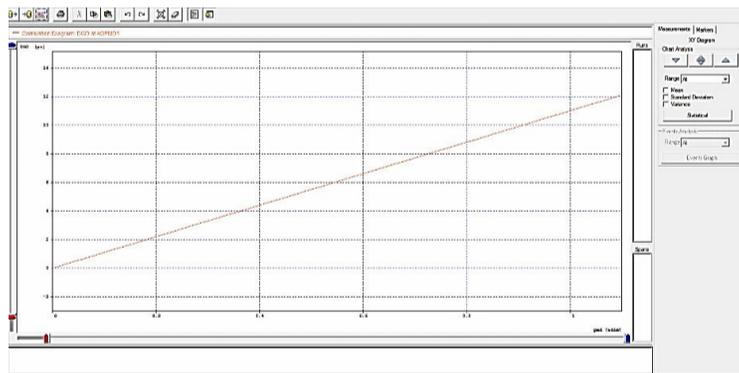


Figura 1. 49 DGD vs coeficiente de PMD, RZ-DQPSK, para 1 canal

En la Figura 1. 50, se muestra la ampliación de la Figura 1. 49, percibiendo en la intersección encerrada en el círculo, un máximo valor de DGD, que para el caso de estudio de 1 canal, correspondiente, al valor de tolerancia máximo (por diseño), del 10% del tiempo de bit (100 ps), que sería equivalente a un DGD máximo de 10 ps. Dando como resultado en la Figura 1. 50, que este valor máximo se alcanzó a un valor de PMD de  $0.907706 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ .

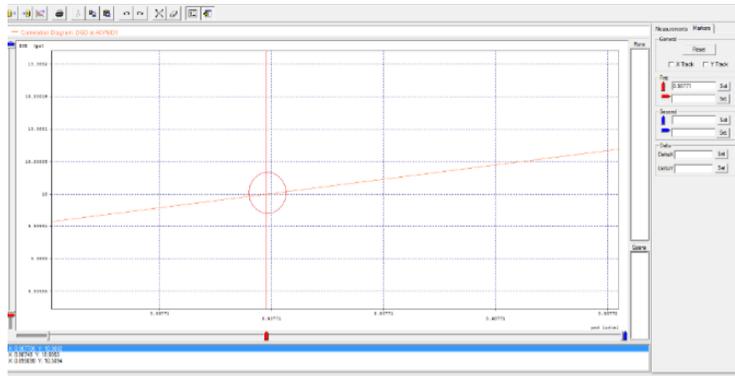


Figura 1. 50 Ampliación Figura 1. 49

La variación del factor Q, con respecto a las variaciones de coeficiente de PMD, mostrando que se obtuvo un valor óptimo de  $Q=40$  dB, constante para todas las variaciones de coeficiente de PMD, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de Q, con respecto la variación de coeficiente de PMD, para la modulación RZ-DQPSK a 1 canal.

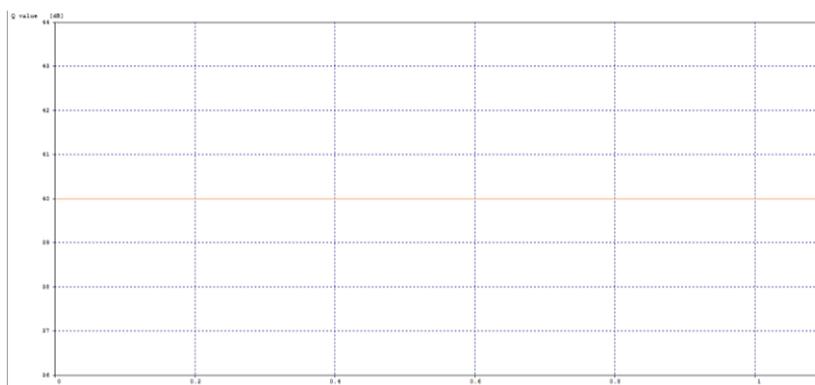


Figura 1. 51 Factor Q vs variación coeficiente de PMD

La variación del factor BER, con respecto a las variaciones de coeficiente de PMD, mostrando que se obtuvo un valor de  $BER=1 \text{ e-}40$  dB, constante para todas las variaciones de coeficiente de PMD, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de BER, con respecto la variación de coeficiente de PMD, para la modulación RZ-DQPSK a 1 canal.

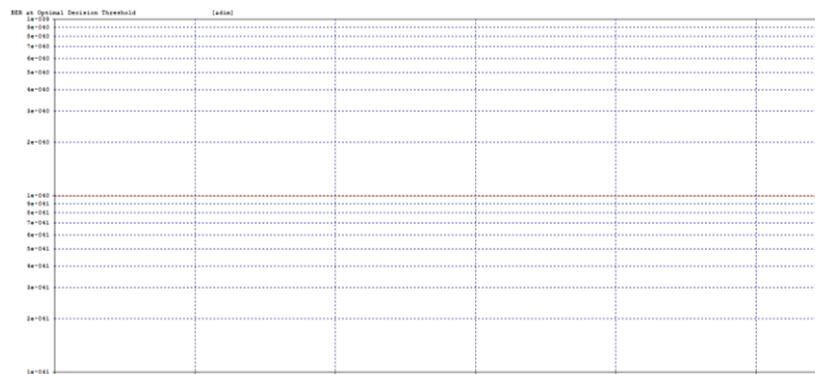


Figura 1. 52 Factor BER vs variación coeficiente de PMD

### 2.2.2 Variaciones de DGD vs coeficiente de PMD, para 10 canales.

Por medio del componente AOPMD, se obtiene un análisis estadístico de la PMD, basado en el modelo waveplate de segmentos concatenados. Dando como resultado una DGD con respecto a cada variación del coeficiente de PMD

La variación de la DGD con respecto al coeficiente de PMD, tomada en el componente AOPMD, el cual hace una emulación de la fibra óptica, aislando todos los efectos (de primer y segundo

orden), garantizando que el análisis solo será enfocado, sobre el efecto de la PMD, sobre 10 canales.

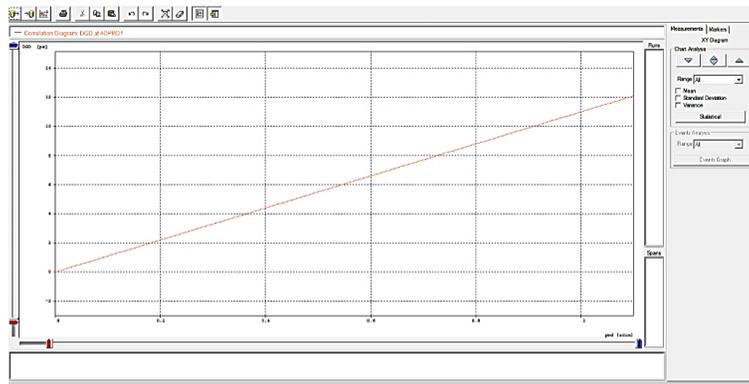


Figura 1. 53 DGD vs coeficiente de PMD, RZ-DQPSK, para 10 canales.

En la Figura 1. 54, se muestra la ampliación de la Figura 1. 53, percibiendo en la intersección encerrada en el círculo, un máximo valor de DGD, que para el caso de estudio de 10 canales, correspondiente, al valor de tolerancia máximo (por diseño), del 10% del tiempo de bit (100 ps), que sería equivalente a un DGD máximo de 10 ps. Dando como resultado en la Figura 1. 54, que este valor máximo se alcanzó a un valor de PMD de  $0.907711 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ .

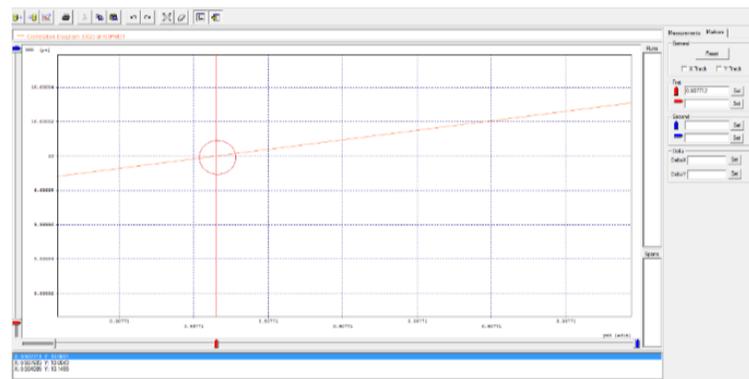


Figura 1. 54 Ampliación Figura 1. 53

La variación del factor Q, con respecto a las variaciones de coeficiente de PMD, mostrando que se obtuvieron valores óptimos, para todas estas variaciones, con una pequeña variación cerca del 1%, en algunas variaciones, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de Q, con respecto a la variación de coeficiente de PMD, para la modulación RZ-DQPSK a 10 canales.

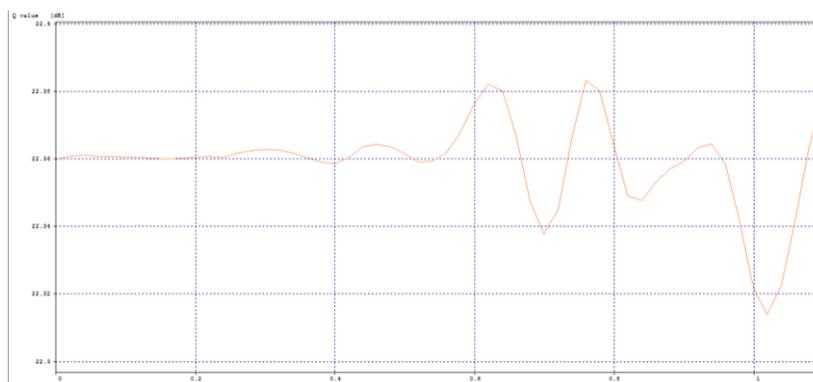


Figura 1. 55 Factor Q vs variación coeficiente de PMD

La variación del factor BER, con respecto a las variaciones de coeficiente de PMD, mostrando que se obtuvo un valor de BER=1 e-40 dB, constante para todas las variaciones de coeficiente de PMD, con esto se puede concluir que PMD por sí sola no afecta el valor de BER, con respecto a la variación de coeficiente de PMD, para la modulación RZ-DQPSK a 10 canales.

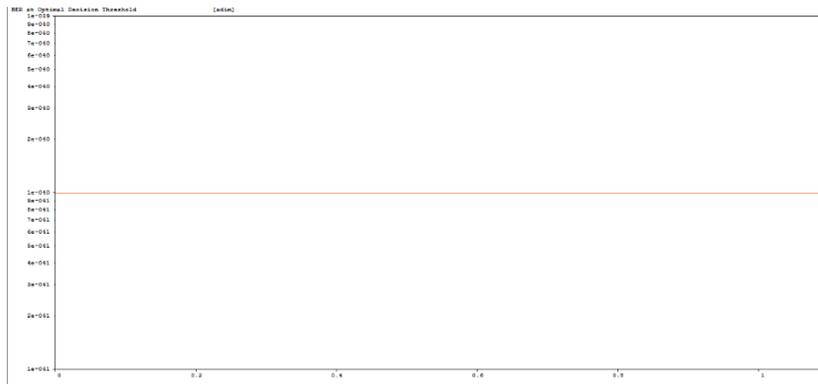


Figura 1. 56 Factor BER vs variación coeficiente de PMD

**2.2.3 Variaciones de coeficientes de PMD, para 1 canal para espectro X:**

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en los casos anteriores, variación de número de canales y variación de longitud. Se tomaron los espectros encontrados, para cada una de las variaciones de coeficientes de PMD, y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 57.

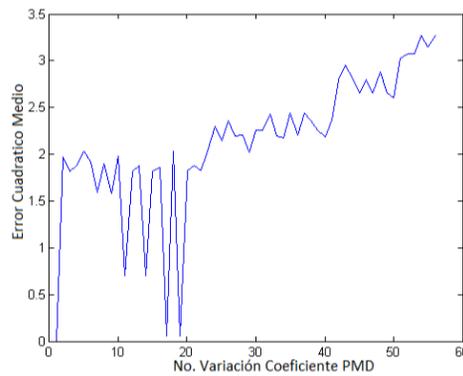


Figura 1. 57 Error medio cuadrático vs variación coeficiente de PMD, para 1 canal RZ-DQPSK. Espectro en X

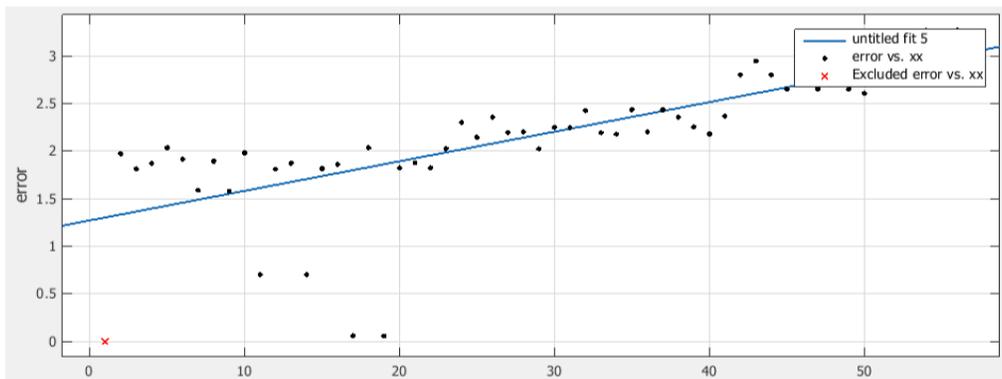


Figura 1. 58 Regresión lineal del error medio cuadrático vs variación coeficiente de PMD, para 1 canal

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1,1, donde cabe resaltar, que el parámetro p1 es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto al coeficiente de PMD, para esto caso particular el valor de p1 es de: p1=0.03109.

**2.2.4 Variaciones de coeficientes de PMD, para 10 canales para espectro X:**

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en los casos anteriores, variación de número de canales y variación de longitud. Se tomaron los espectros encontrados, para cada una de las variaciones de coeficientes de PMD, y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 59.

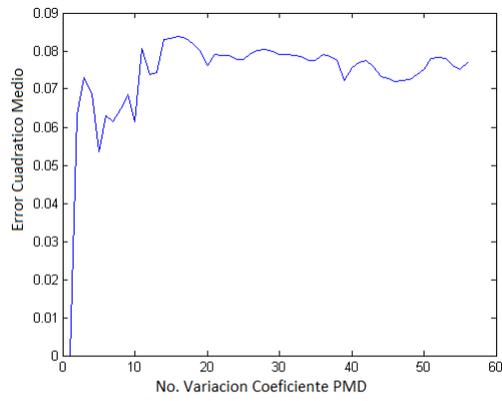


Figura 1. 59 Error medio cuadrático vs variación coeficiente de PMD, para 10 canales RZ-DQPSK. Espectro en X

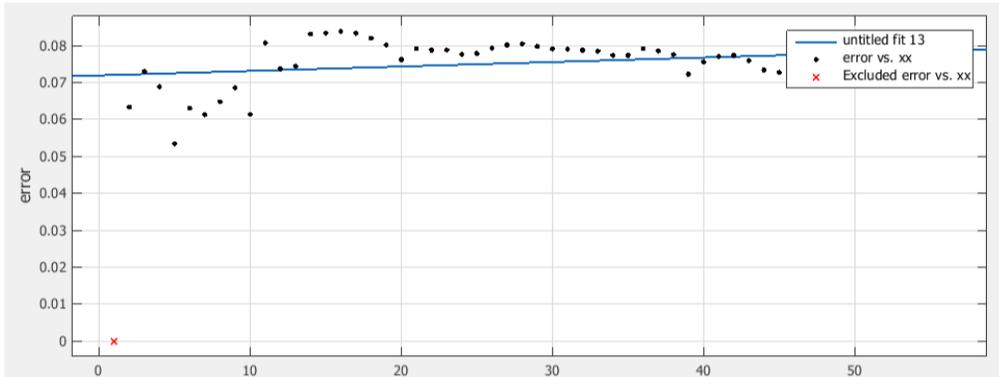


Figura 1. 60 Regresión lineal del Error medio cuadrático vs variación de coeficiente de PMD, para 10 canales

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1,1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto al coeficiente de PMD, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1=0.000121$ .

**2.2.5 Variaciones de coeficientes de PMD, para 1 canal para espectro Y:**

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en X de la variación de longitudes, se tomaron los espectros encontrados, para cada una de variaciones del coeficiente de PMD y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 61.

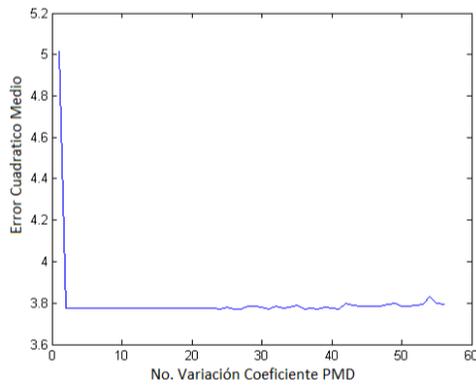


Figura 1. 61 Error medio cuadrático vs variación de coeficiente de PMD, para 1 canal RZ-DQPSK. Espectro en Y

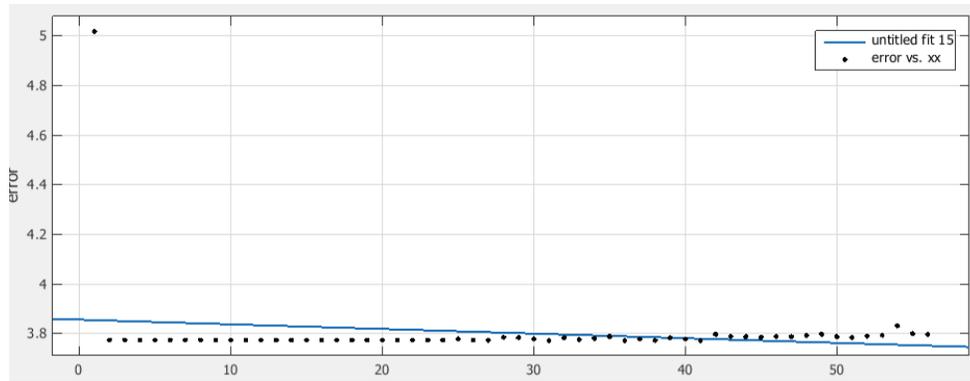


Figura 1. 62 Regresión lineal del error medio cuadrático vs variación de longitud, para 1 canal

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1,1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto al coeficiente de PMD, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1 = -0.001875$ .

### 2.2.6 Variaciones de coeficientes de PMD, para 10 canales para espectro Y:

Realizando un análisis, similar al elaborado para los espectros en X de la variación de longitudes, se tomaron los espectros encontrados, para cada una de variaciones del coeficiente de PMD y se compararon con el caso básico B2B, encontrando su error medio cuadrático Figura 1. 63.

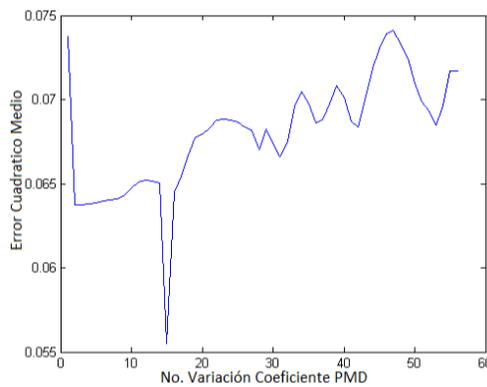


Figura 1. 63 Error medio cuadrático vs variación del coeficiente de PMD, para 10 canal RZ-DQPSK. Espectro en Y

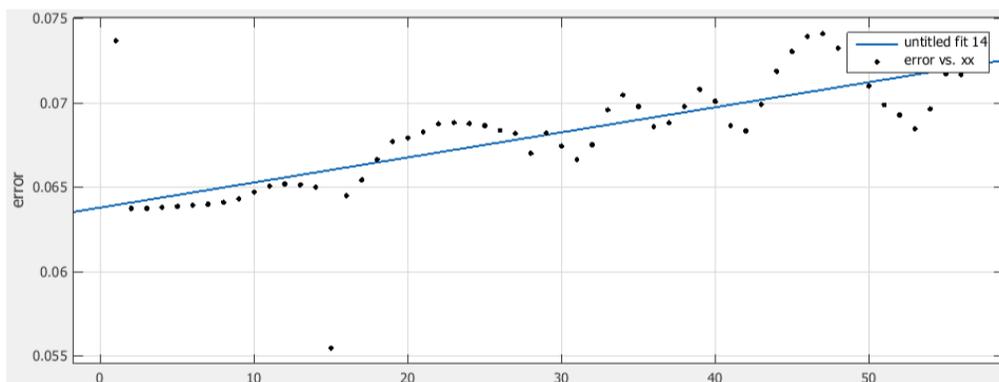


Figura 1. 64 Regresión lineal del error medio cuadrático vs variación de coeficiente de PMD, para 10 canales

Los resultados obtenidos de la regresión lineal mediante la ecuación 1,1, donde cabe resaltar, que el parámetro  $p_1$  es el de mayor importancia, porque da el peso de la variación del error cuadrático con respecto al coeficiente de PMD, para esto caso particular el valor de  $p_1$  es de:  $p_1 = 0.0001484$ .

## B - TABLAS ERRORES DE ESPECTROS PMD-LONG

MODULACIÓN	ESPECTRO	PARÁMETRO	ERROR
RZ-PDPSK1	X	LONGITUD	0.01717
		PMD	-0.007648
	Y	LONGITUD	0.002989
		PMD	0.007242
RZ-PDPSK4	X	LONGITUD	0.003261
		PMD	0.009001
	Y	LONGITUD	0.003159
		PMD	0.003579
RZ-PDPSK10	X	LONGITUD	0.02813
		PMD	0.01206
	Y	LONGITUD	-0.00116
		PMD	0.003051

Tabla C. 1

MODULACIÓN	ESPECTRO	PARÁMETRO	ERROR
RZ-DQPSK1	X	LONGITUD	0.01959
		PMD	0.03109
	Y	LONGITUD	0.00708
		PMD	-0.001875
RZ-DQPSK4	X	LONGITUD	-0.000173
		PMD	0.0001808
	Y	LONGITUD	0.003031
		PMD	-0.0001191
RZ-DQPSK10	X	LONGITUD	0.005449
		PMD	0.000121
	Y	LONGITUD	-0.0001269
		PMD	0.0001484

Tabla C. 2

## C- DESFASES TEMPORALES (DELAYS )

N. CANALES		PARAMETRO	DALAY CON CASO B2B (POR LINEALIZACION)
<b>1</b>	PDPSK	LONG	0.0006919
		PMD	0.0003125
	DQPSK-P	LONG	0.0001254
		PMD	0.0005567
	DQPSK-Q	LONG	0.0001265
		PMD	0.0005567
<b>4</b>	PDPSK	LONG	0.0002129
		PMD	0.0003271
	DQPSK-P	LONG	0.0002569
		PMD	0.00007184
	DQPSK-Q	LONG	0.0002797
		PMD	0.00008057
<b>10</b>	PDPSK	LONG	0.0002124
		PMD	0.0003434
	DQPSK-P	LONG	0.0002849
		PMD	0.0002641
	DQPSK-Q	LONG	0.0003414
		PMD	0.0002704

*Tabla B. 1 Regresión Lineal- tabla de Delays a la salida*