



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACION:
EVALUACIÓN DE LA MODULACIÓN DIGITAL DPSK Y OQPSK
UTILIZADOS EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES ÓPTICOS SOBRE
OPTISYSTEM.

Previa la obtención del Grado Académico de Magíster en
Telecomunicaciones

ELABORADO POR:
Ing. Milton Junior Herrera Illescas.

Guayaquil, Febrero de 2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Milton Junior Herrera Illescas** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones.

Guayaquil, febrero de 2015

DIRECTOR DE TESIS

MsC. Edwin Palacios Meléndez

REVISORES:

MsC. María Luzmila Ruilova Aguirre.

MsC. Luis Córdova Rivadeneira

DIRECTOR DEL PROGRAMA

MsC. Manuel Romero Paz



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, MILTON JUNIOR HERRERA ILLESCAS

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “EVALUACIÓN DE LA MODULACIÓN DIGITAL DPSK Y OQPSK UTILIZADOS EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES ÓPTICOS SOBRE OPTISYSTEM”, previo a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, Febrero de 2015

EL AUTOR

Ing. Milton Junior Herrera Illescas



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

AUTORIZACIÓN

YO, MILTON JUNIOR HERRERA ILLESCAS

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulado: “EVALUACIÓN DE LA MODULACIÓN DIGITAL DPSK Y OQPSK UTILIZADOS EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES ÓPTICOS SOBRE OPTISYSTEM”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, Febrero de 2015

EL AUTOR

Ing. Milton Junior Herrera Illescas

Dedicatoria

Dedico esta Tesis de manera especial, a mis Padres, Hermanas, Esposa y a mi Querido Hijo por ser mi mayor inspiración, por estar conmigo en todo momento, A mis Maestro por su paciencia, les dedico todo mi esfuerzo pues les debo su Apoyo Incondicional.

Gracias.

Agradecimientos

Agradezco de manera especial a Dios por todas sus Bendiciones y por permitirme cumplir una meta tan anhelada.

A mis Padres Leonardo Herrera Y Julia Illescas por ser un pilar fundamental en mi vida, guiándome siempre por el camino del bien, enseñándome afrontar las adversidades y obstáculos de este mundo.

Muchas han sido las personas que han formado parte de mi vida personal y profesional a las cuales me gustaría agradecerles por su amistad y apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida, estarán siempre en mis recuerdos y serán parte de mi corazón.

Gracias por sus Bendiciones.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
Resumen	XI
Abstract.....	XII
Capítulo 1: Descripción preliminar del proyecto de grado.....	13
1.1. Introducción.....	13
1.2. Antecedentes.....	13
1.3. Definición del problema	14
1.4. Objetivos.....	14
1.5. Hipótesis.....	15
1.6. Metodología de investigación.....	15
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos de la Modulación PSK.....	16
2.1. Modulación PSK.....	16
2.2. Modulación DPSK.....	18
2.3. Modulación OQPSK.....	22
Capítulo 3: Evaluación del Proyecto.....	25
3.1. Simulación de modulación DPSK.....	25
3.2. Simulación de modulación OQDPSK.....	40
Conclusiones	44
Recomendaciones	45
Referencias Bibliográficas	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Tipos de técnicas de modulación ASK, FSK y PSK.....	16
Figura 2. 2: Comparación entre la modulación PSK y DPSK.....	18
Figura 2. 3: DBPSK como un ejemplo de codificación diferencial.....	19
Figura 2. 4: Demodulador DBPSK.	20
Figura 2. 5: Curvas BER para BPSK/QPSK, DBPSK coherentes y no coherente DBPSK.....	21
Figura 2. 6: Señales de los canales (a) I y (b) Q para OQPSK.....	23
Figura 2. 7: Transiciones entre símbolos entre a) QPSK y b) OQPSK	23
Figura 2. 8: Señales de las modulaciones a) QPSK y b) OQPSK.....	24

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Parámetros globales del transmisor DPSK.....	25
Figura 3. 2: Parámetros del componente generador de secuencia DPSK... ..	27
Figura 3. 3: Simulación para la generación de impulsos DPSK.....	28
Figura 3. 4: Potencia recibida de la estación de trabajo versus tiempo.	28
Figura 3. 5: Señales M-arias en fase y cuadratura de fase.....	29
Figura 3. 6: Simulación de un codificador y decodificador de secuencias DPSK.	30
Figura 3. 7: Señales eléctricas antes y después de la codificación/decodificación DPSK.....	30
Figura 3. 8: Parámetros del detector de umbral M-aria.....	32
Figura 3. 9: Generador y detector de impulsos DPSK.	32

Figura 3. 10: Transmisor DPSK.	33
Figura 3. 11: Salida del transmisor DPSK.....	34
Figura 3. 12: Simulación del transmisor y receptor DPSK.	35
Figura 3. 13: Señales M-arias moduladas en fase y cuadratura de fase.	36
Figura 3. 14: Simulación del transmisor y receptor DPSK mediante un modulador DPSK.	37
Figura 3. 15: Generador PRBS de los parámetros utilizados para generar diagramas de ojo.	38
Figura 3. 16: Simulación del sistema DPSK para visualizar el diagrama de ojo.	39
Figura 3. 17: Diagrama de ojo en el receptor DPSK para un sistema 8 DPSK.	40
Figura 3. 18: Simulación del sistema OQPSK.....	42
Figura 3. 19: Diagrama de ojo en el receptor OQPSK.	43
Figura 3. 20: Señales eléctricas antes y después de la codificación y decodificación OQPSK.	43

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Entrada y salida basándose en amplitudes de umbral.....	31
---	----

Resumen

El proyecto de graduación denominado “EVALUACIÓN DE LA MODULACIÓN DIGITAL DPSK Y OQPSK UTILIZADOS EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES ÓPTICOS SOBRE OPTISYSTEM” consistió en desarrollar dos modelos de simulación para la transmisión y recepción de información sobre sistemas de comunicaciones ópticas de alta velocidad. Estos modelos fueron diseñados en el software OptiSystem que permite modelar sistemas de comunicaciones a través de fibra óptica. En el Capítulo 1, se describe la parte preliminar del proyecto. En el capítulo 2 se describe los fundamentos teóricos o estado del arte de las modulaciones digitales DPSK y OQPSK. Finalmente, en el capítulo 3 se muestran los dos modelos de simulación y los resultados obtenidos.

Abstract

Capítulo 1: Descripción preliminar del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

En la última década la fibra óptica ha desplegado y los sistemas de comunicación óptica en el espacio libre utilizan la modulación OOK con detección directa, y algunos sistemas actuales utilizan la modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK) y la modulación por desplazamiento de fase en cuadratura compensando (OQPSK) ambas con detección interferométrica.

La evolución ulterior de las técnicas de modulación y detección aumentará la eficiencia espectral en los sistemas multiplexados por división de longitud de onda (WDM), y mejorará la robustez frente a degradaciones de la transmisión, y facilitar la compensación eléctrica de tales impedimentos. Como se explica en este documento, la modulación no binaria con detección coherente produce el mejor rendimiento en todos los aspectos anteriores, pero a costa de una mayor complejidad de la implementación.

A lo largo de este trabajo, consideramos que los sistemas de comunicaciones ópticas o en el espacio libre utilizan amplificadores ópticos y/o convertidores de longitud de onda ópticas no lineales, y asumen que esa emisión espontánea amplificada (Amplified Spontaneous Emission, ASE) es la fuente de ruido dominante.

1.2. Antecedentes.

El desarrollo del presente proyecto de grado se basa en revisar trabajos similares tales como artículos (papers) y tesis de maestría. En la página web de la UCSG se encuentra el repositorio de tesis digitalizadas. Se utiliza como referencia de estudio a la tesis “Desarrollo de un modem utilizando la modulación DQPSK sobre la plataforma FPGA de altera” en la

cual se desarrolló un modem sobre una FPGA de Altera a través de la modulación digital DQPSK (Cobo Santiana, 2014).

También se encontró un trabajo desarrollado sobre Matlab denominado “Modulaciones Digitales de Fase (BPSK, QPSK, M-PSK, DPSK, OQPSK, DQPSK)” en la que el objeto de aprendizaje es un laboratorio virtual de modulaciones digitales y que a su vez permiten ajustar determinados parámetros significativos de las técnicas de modulación digital de fase (PSK) (Moserrat del Río, 2010).

1.3. Definición del problema

Necesidad de evaluar sistemas de comunicaciones ópticas utilizando las modulaciones digitales DPSK y OQPSK mediante modelos de simulación de sistemas de transmisión y recepción sobre la plataforma OptiSystem.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

Evaluar la modulación digital DPSK y OQPSK necesarias en los sistemas de telecomunicaciones mediante la plataforma de simulación OptiSystem.

1.4.2. Objetivos específicos:

- ✓ Describir la fundamentación teórica de las modulaciones digitales DPSK y OQPSK.
- ✓ Realizar las simulaciones para la evaluación de la modulación digital QPSK y OQPSK a través de sistemas de comunicaciones ópticos de transmisión y recepción sobre la plataforma OptiSystem.
- ✓ Evaluar los modelos de simulación de sistemas de comunicaciones ópticas de transmisión y recepción mediante las modulaciones DPSK y OQPSK.

1.5. Hipótesis

Mediante los modelos de simulación de las modulaciones digitales DPSK y QPSK sobre OptiSystem permitirá comprobar y demostrar el por qué estos tipos de modulaciones son utilizados en sistemas de comunicaciones ópticas.

1.6. Metodología de investigación.

El presente proyecto de tesis pretende evaluar la modulación DPSK y OQPSK muy utilizados en sistemas de comunicaciones ópticas. Es decir, que este proyecto es del tipo cuasi-experimental, ya que la simulación sobre OptiSystem permite modificar diferentes dispositivos ópticos tanto para sistemas de transmisión y recepción.

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos de la Modulación PSK.

En el presente capítulo se fundamentará la modulación por desplazamiento de fase (PSK), así como dos tipos de modulaciones necesarias para el desarrollo del presente trabajo investigativo, tales como, DPSK y OQPSK.

2.1. Modulación PSK.

Existen varias técnicas para la codificación de datos digitales en una señal analógica, entre las más destacadas son el desplazamiento de amplitud (ASK), desplazamiento de frecuencia (FSK) y desplazamiento de fase (PSK). Las diferencias entre ellos son representadas en la figura 2.1.

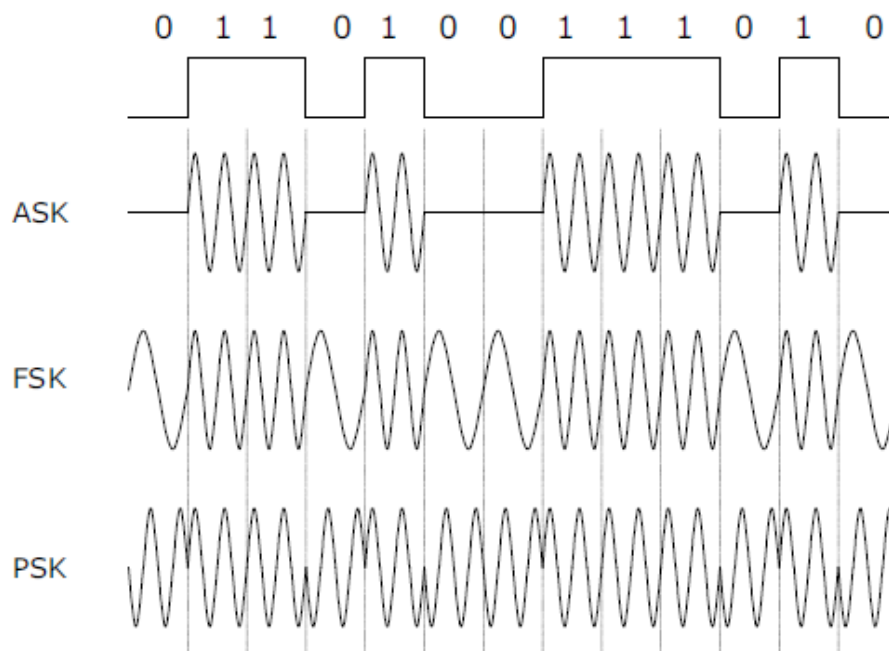


Figura 2. 1: Tipos de técnicas de modulación ASK, FSK y PSK.
Fuente: (Krouk & Semenov, 2011)

En la modulación ASK, una diferencia de amplitud se utiliza de la frecuencia portadora para enviar los bits. En la modulación FSK hay una diferencia de frecuencia alrededor de una frecuencia central, y en la modulación PSK se cambia la fase de la señal.

Modulación por desplazamiento de fase (PSK) comprende la manipulación de la fase de una portadora de acuerdo con el flujo de bits transmitido. La expresión general para PSK es:

$$s_i(t) = h_{Tx}(t) \cos(\omega_c t + \phi_i), i = 1, \dots, M$$

Donde $h_{Tx}(t)$ es la respuesta de impulso del filtro de conformación de impulsos, M es el número de valores posibles de una fase y ϕ_i generalmente se elige como:

$$\phi = \frac{2\pi i}{M}$$

En algunos casos es más conveniente utilizar una expresión más general como:

$$\phi = \frac{2\pi i}{M} + \phi_0$$

Donde ϕ_0 es una fase constante arbitraria, la expresión alternativa es:

$$s_i(t) = \text{Re} \{ \exp(j\phi_i) h_{Tx}(t) \exp(j\omega_c t) \}, i = 1, \dots, M$$

La modulación de desplazamiento de fase se muestra más arriba, siendo probable que se pueda llamar modulación binaria por desplazamiento de fase (BPSK) también conocido como PSK de 2 símbolos, ya que los dígitos binarios están representados por dos fases diferentes. La diferencia de fase de los dos estados es π . Esto nos da una expresión para la representación de:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{para 1 binario} \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) = -A \cos(2\pi f_c t) & \text{para 0 binario} \end{cases}$$

Existe también la posibilidad de dejar que una fase represente un número múltiple de bits. En cambio el desplazamiento de fase en cuadratura,

conocido como QPSK, donde cada estado de fase representa dos bits binarios y la diferencia de fase entre los estados son $\frac{\pi}{2}$.

2.2. Modulación DPSK.

Con la modulación PSK, se necesita un receptor que pueda detectar la fase absoluta de la señal que viene. A veces no es posible o muy difícil de lograr, desde entonces tanto el modulador en el transmisor y el detector tienen que ser muy estables. La modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK), es una alternativa de la modulación BPSK.

La diferencia entre el binario y el diferencial de PSK es que en DPSK los bits no están representados por una cierta fase, sino por un cambio de fase. Cuando se envía un uno binario la fase es igual a la del bit anterior, y un cero binario se representa por un cambio de la fase. En la figura 2.2 se muestran las señales PSK y DPSK.

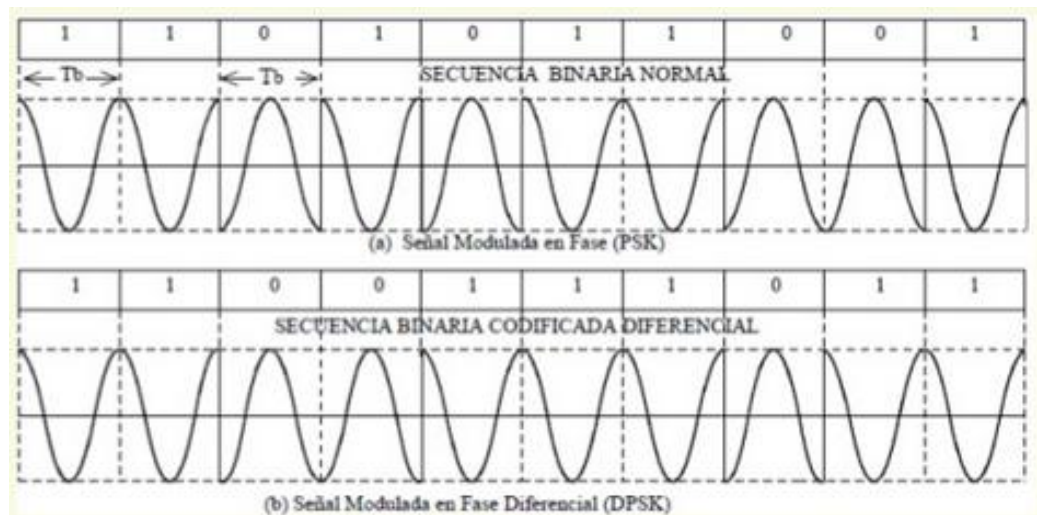


Figura 2. 2: Comparación entre la modulación PSK y DPSK.
Fuente: (Gómez J. T., 2014)

Los métodos de demodulación PSK considerados anteriormente representan la demodulación coherente. Eso significa que el demodulador explota la referencia de portadora para detectar la señal. Para ser más precisos el demodulador utiliza el conocimiento de la fase de la señal

portadora y luego calcula el desplazamiento de fase entre la señal modulada y la portadora.

Es posible disminuir la complejidad de la implementación del demodulador si se utiliza la demodulación no coherente. En este caso, el demodulador utilizado no requiere el símbolo anterior como una referencia de fase para el símbolo actual y el conocimiento de la fase de la portadora.

La señal independiente de la fase de la portadora los datos transmitidos se codifican diferencialmente. La codificación diferencial consiste en cambiar la fase de la señal de transmisión actual de acuerdo con el flujo de bits de entrada respecto a la fase de la señal transmitida anterior en lugar de a la fase de la portadora.

Por ejemplo, en codificación diferencial BPSK la transmisión de un binario "1" corresponde al desplazamiento de fase de la señal de corriente por π respecto a la señal anterior y en el caso de la transmisión de un binario "0" la fase de la señal sigue siendo la misma como lo fue en la señal anterior. Este tipo de modulación se llama modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK). El ejemplo de la señal DBPSK está representado en la figura 2.3.

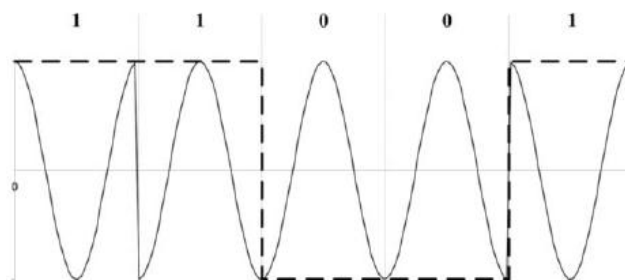


Figura 2. 3: DBPSK como un ejemplo de codificación diferencial.
Fuente: (Moserrat del Río, 2010)

En realidad, es posible utilizar la demodulación coherente para la detección de DPSK. En este caso, el mismo demodulador como para la

demodulación de PSK se puede utilizar para detectar la señal y los datos transmitidos. A continuación, se puede derivar mediante la comparación de la fase de la señal de corriente con la fase de la anterior.

El rendimiento de este método es un poco peor que el rendimiento de la demodulación coherente de PSK. Esta pequeña degradación se explica por la codificación diferencial, ya que la detección de error solo puede causar dos errores de decisión. La complejidad del demodulador se aumenta ligeramente debido al hecho de que se requiere que un comparador adicional para detectar la diferencia de fase entre dos señales sucesivas. Sin embargo, este método se utiliza muy a menudo para evitar la propagación de errores debido a la falta de recuperación de portadora.

Más a menudo la demodulación no coherente se utiliza para la detección DPSK. La demodulación no coherente de DPBPSK se representa en la figura 2.3, la versión retardada de la señal recibida se usa como señal de referencia y la salida del correlacionador $z(T) = \int_0^T r(t)r^*(t-T)dt$ es positiva, si la señal de corriente tiene la misma fase que la anterior (es decir, 0 fue transmitida) y negativo en caso contrario (es decir, 1 fue transmitida).

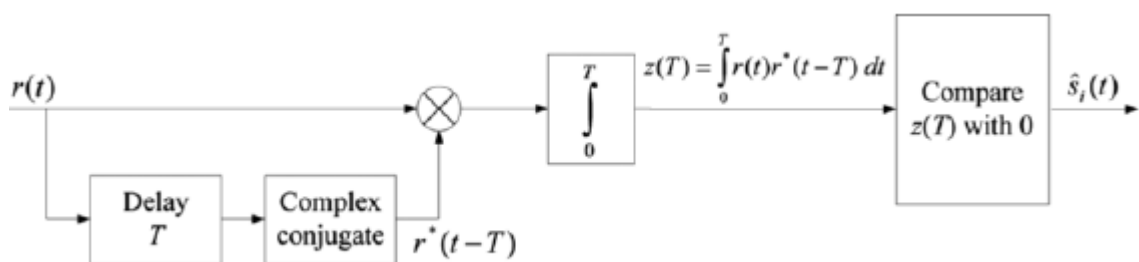


Figura 2. 4: Demodulador DBPSK.
Fuente: (Gómez J. , 2012)

En realidad no se necesita el bloque de conjugado complejo ya que para BPSK $r^*(t) = r(t)$, pero para modulaciones de orden superior (DQPSK, D8PSK, etc.) se requiera la conjugada compleja de la señal de referencia retardada para ser utilizado. En este caso, la salida del correlacionador corresponderá a la diferencia de fase de la señal recibida y

la versión retardada de la señal y la comparación debe hacerse con varios umbrales.

Aun así, la complejidad de la implementación de la demodulación no coherente sigue siendo bastante baja en comparación con la complejidad de la demodulación coherente. La probabilidad de error de símbolo en las condiciones del canal AWGN para la detección coherente de PSK diferencial codificada está dada por:

$$P_e = P_b = 2Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)\left(1 - Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)\right)$$

Y la probabilidad de error de símbolo para la detección no coherente de DBPSK está dada por:

$$P_e = P_b = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_b}{N_0}\right)$$

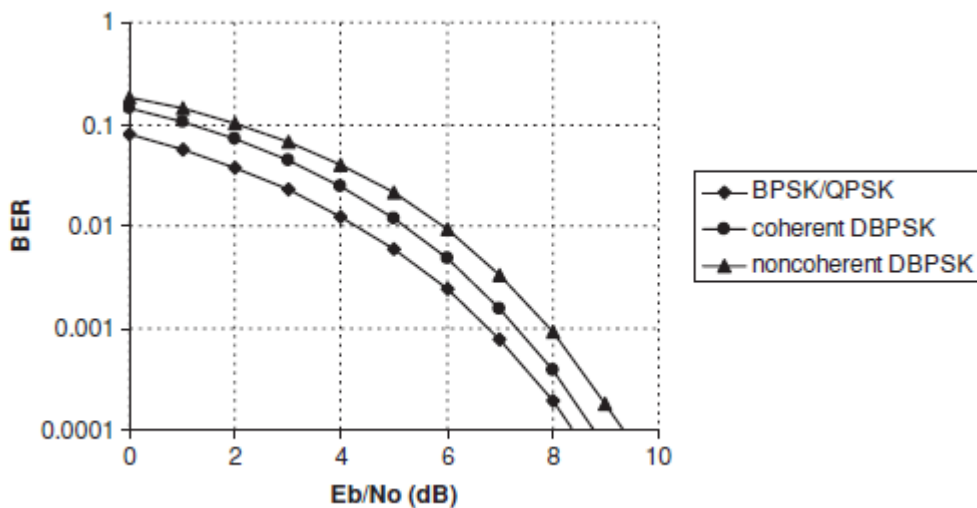


Figura 2. 5: Curvas BER para BPSK/QPSK, DBPSK coherentes y no coherente DBPSK.

Fuente: (Moserrat del Río, 2010)

El BER para la detección coherente y no coherente en AWGN se representa en la figura 2.5. Como puede verse a partir de estas parcelas el rendimiento de la detección no coherente de DBPSK es menor a 1 dB peor que la detección coherente de codificación diferencial BPSK y

aproximadamente igual a 2 dB peor que el rendimiento de la detección coherente de BPSK/QPSK en bajos valores de SNR, con valores altos de SNR la diferencia en el rendimiento se vuelve menos visible.

2.3. Modulación OQPSK.

La modulación por desplazamiento de fase en cuadratura compensado (OQPSK) es una variación menor de la modulación QPSK. En OQPSK los canales I y Q se desplazan por medio de símbolos y por lo tanto las señales de canal I y Q no hay transición al mismo tiempo. Se realiza para disminuir las variaciones de envolvente de la señal. La razón de esto es la no linealidad del amplificador. En la mayoría de los casos, la función de transferencia del amplificador es lineal sólo en un rango de amplitud.

Esto significa que el amplificador inserta cierta distorsión en la señal para cruzar la frontera de este rango. Cuanto más varía la amplitud de la señal, más distorsionada es la señal en la salida del amplificador. Debido a este inconveniente, es necesario el uso de señales con envolvente constante. En la figura 2.6 se muestra el ejemplo de señales de los canales I y Q para la modulación OQPSK.

Como puede verse en la figura 2.6 las transiciones en los canales I y Q no se producen de forma simultánea. Eso significa que la única transición posible en diagrama de constelación es la transición al símbolo adyacente (véase la figura 2.7). La comparación de las posibles transiciones en el diagrama de constelación entre QPSK y OQPSK, es que en QPSK son posibles las transiciones entre todos los símbolos, mientras que en OQPSK no existen las transiciones que cruzan el punto cero.

Los ejemplos de señales QPSK y OQPSK se muestran en la figura 2.8. Los cambios de fase de π en la señal QPSK son resaltados. Podemos observar que la señal OQPSK es más suave que QPSK. El cambio de fase

máximo posible en la señal OQPSK es $\frac{\pi}{2}$. A diferencia de QPSK, donde pueden ocurrir las transiciones en cada símbolo, en OQPSK que pueden ocurrir con más frecuencia pero cada medio símbolo.

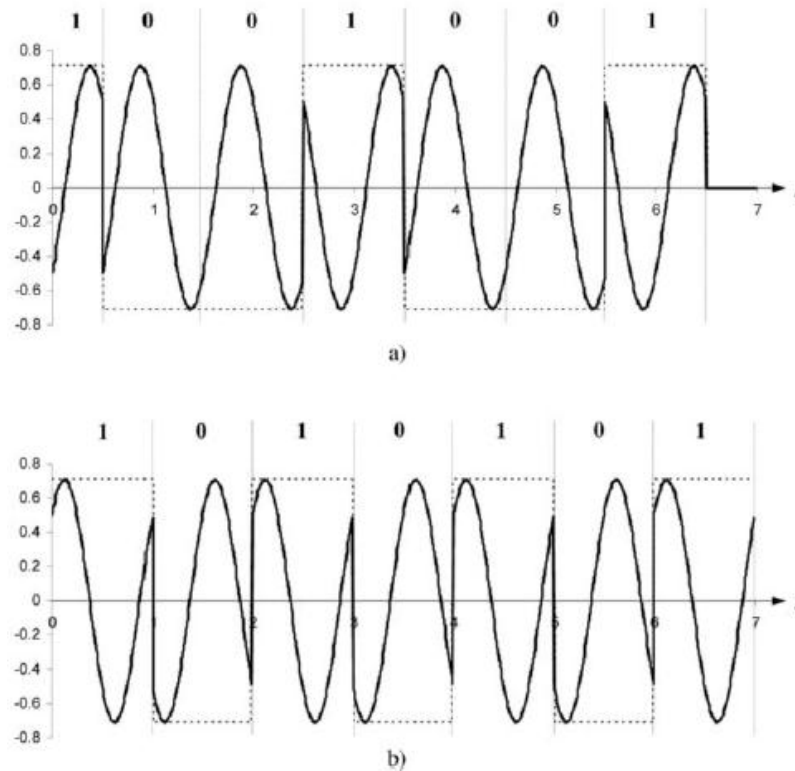


Figura 2. 6: Señales de los canales (a) I y (b) Q para OQPSK.
Fuente: (Krouk & Semenov, 2011)

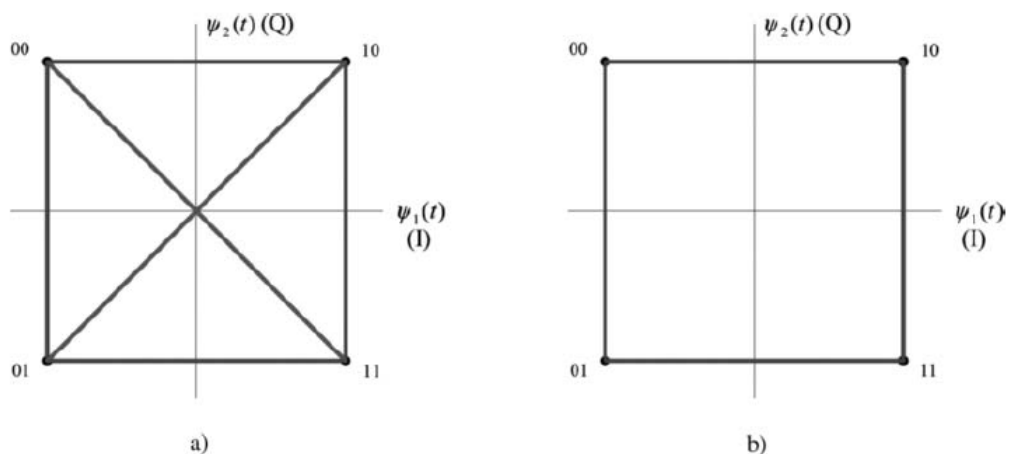


Figura 2. 7: Transiciones entre símbolos entre a) QPSK y b) OQPSK
Fuente: (Krouk & Semenov, 2011)

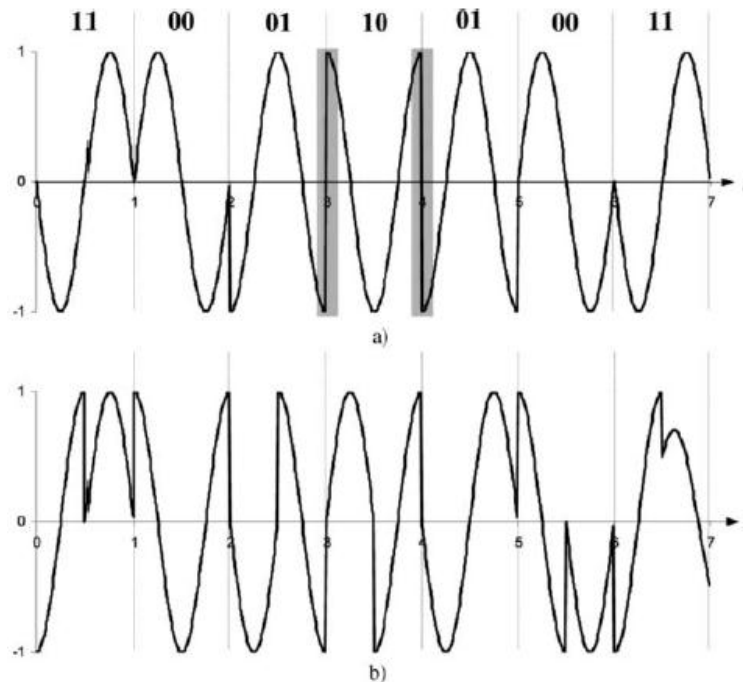


Figura 2. 8: Señales de las modulaciones a) QPSK y b) OQPSK
Fuente: (Krouk & Semenov, 2011)

El rendimiento de OQPSK coincide con el rendimiento de QPSK si el amplificador lineal se utiliza en el transmisor. En los casos en que se utiliza el amplificador no lineal de OQPSK, ofrece mejores resultados. El problema obvio con el uso de OQPSK es que implica más limitaciones estrictas sobre temporización de símbolos de recuperación debido al escalonamiento de los canales I y Q. A veces OQPSK se llama escalonada QPSK (SQPSK).

Capítulo 3: Evaluación del Proyecto.

En este capítulo se desarrollará las modulaciones digitales DPSK y OQPSK mediante la plataforma de simulación OptiSystem.

3.1. Simulación de modulación DPSK.

El propósito de esta simulación es demostrar cómo diseñar un generador de impulsos 8 DPSK utilizando la biblioteca de componentes OptiSystem. Se utiliza el manual de la biblioteca de componentes de OptiSystem para conocer la descripción técnica de cada uno de los componentes individuales. El primer paso, es crear la simulación DPSK utilizando OptiSystem en la cual se definen los parámetros que se muestran en la figura 3.1.

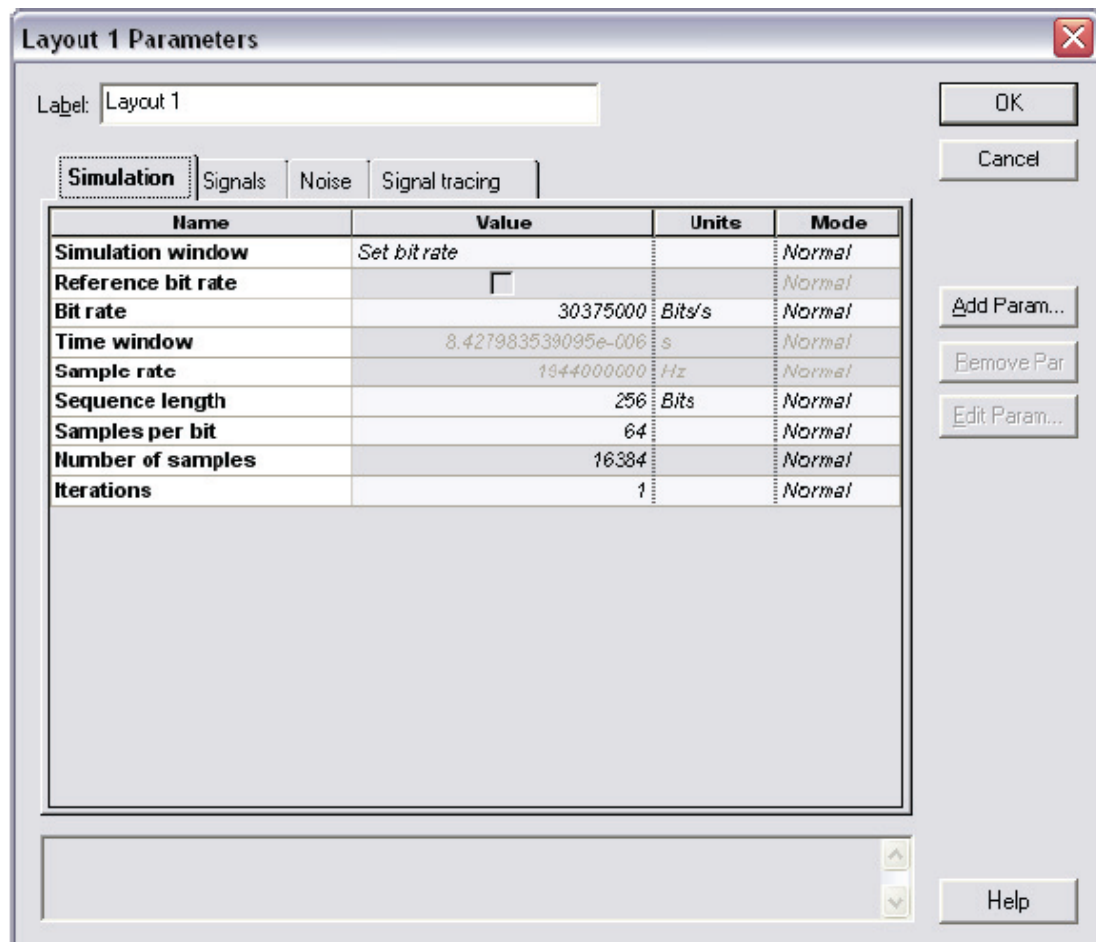


Figura 3. 1: Parámetros globales del transmisor DPSK.
Elaborado por: El Autor

Se sabe que OptiSystem requiere una potencia de dos secuencias de longitud, por ejemplo 64, 128, 256, 512..., es decir que para utilizar una modulación 8 DPSK, se requieren de 3 bits por símbolo. Esto significa que vamos a tener no sólo una secuencia binaria que utilizarán el parámetro de longitud de secuencia, sino también una secuencia M-aria con la longitud de secuencia dividida por 3 (después del generador de secuencias DPSK).

Se debe elegir un valor adecuado de la longitud de secuencia y que coincida con el valor de los bits por símbolo. Para el cálculo de este valor, dividimos la longitud de la secuencia global mediante los bits por símbolo, y luego tomamos el número entero más próximo. Por ejemplo, para 8 DPSK:

$$X = \frac{256}{3} = 85.333$$
$$N = 85$$

El número entero N debe ser menor que o igual a X, y 256 es un valor válido para la longitud de la secuencia. Otro ejemplo, si utilizamos la secuencia de longitud de 128:

$$X = \frac{512}{3} = 170.667$$
$$N = 171$$

En este caso, N es mayor que X, y se debe utilizar otro valor para la longitud de la secuencia. Esto es crítico, porque los decodificadores siempre convierten las secuencias M-aria de nuevo a binario, y será convertida la longitud de la secuencia a la siguiente potencia de dos. Esto significa que si tenemos 512 bits, N=171, y $3 \cdot 171 = 513$. 513 son convertidos en 1024 y el decodificador añadirá ceros a la secuencia de bits. La secuencia binaria recibida no será correcta. Esto no es un problema para los 256 bits, porque $N = 85$, y $3 \cdot 85 = 255$. 255 son convertidos a 256.

En este diseño, para el componente de generación de secuencias DPSK, usaremos los parámetros que se muestran en la figura 3.2. Los otros parámetros del componente vienen predefinidos sus valores.

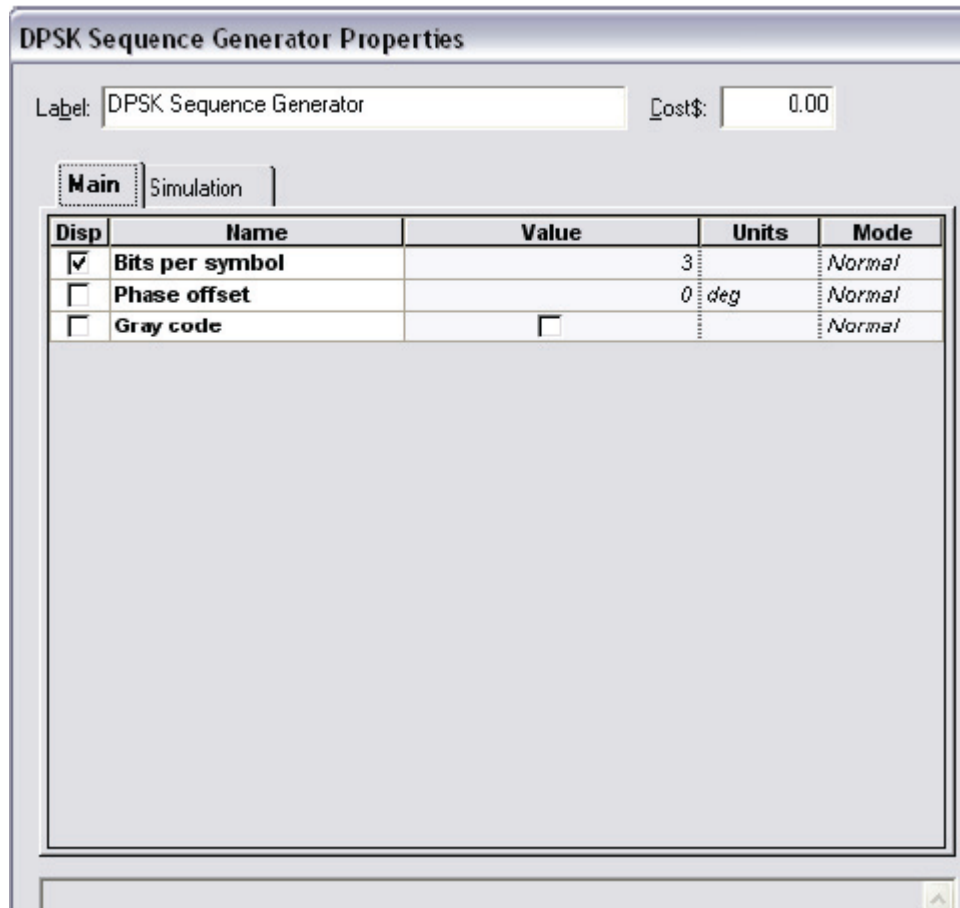


Figura 3. 2: Parámetros del componente generador de secuencia DPSK.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.3 se muestran todos los componentes y visualizadores para la simulación, esta disposición es equivalente a un generador de impulsos DPSK. Para demostrar cómo los parámetros globales y DPSK afectan los resultados de la simulación, podemos ejecutar esta simulación y analizar los resultados del osciloscopio (visualizador). Para visualizar el diagrama de constelación de la fase y cuadratura de fase en el eje “X” e “Y” respectivamente, tal como se muestra en la figura 3.4.

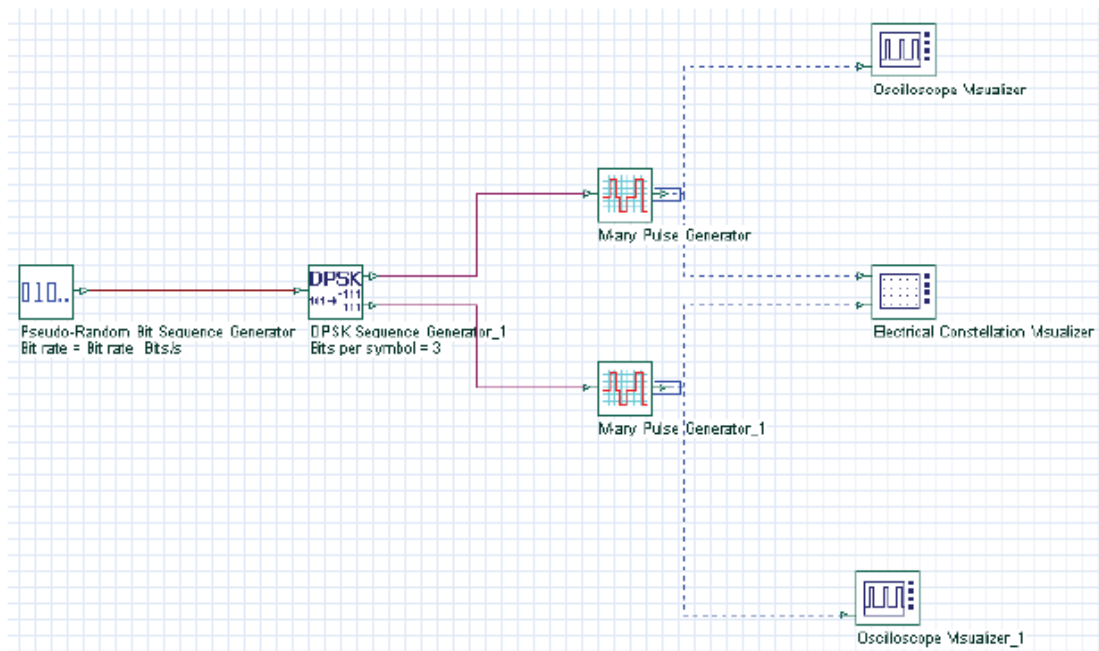


Figura 3. 3: Simulación para la generación de impulsos DPSK.
Elaborado por: El Autor

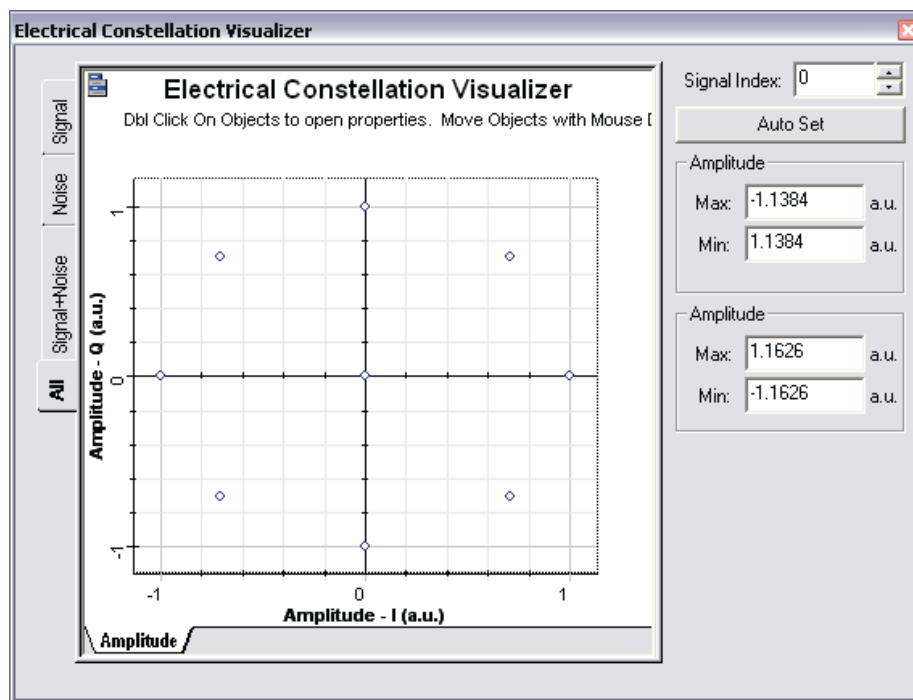


Figura 3. 4: Potencia recibida de la estación de trabajo versus tiempo.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.4 se trata de un bien conocido resultado de la modulación DPSK, usando 3 bits por símbolo, y sin cambio de fase 8 DPSK. Desde que

estamos simulando sólo 64 bits no se muestran todas las combinaciones de 8 DPSK. Hay que tener en cuenta la amplitud de la señal. Esta es una señal con múltiples niveles; también conocida como señal M-aria. Para el DPSK hay 5 valores posibles que son: $-1, -\sqrt{2/2}, 0, \sqrt{2/2}$ y 1 para ambas señales I y Q.

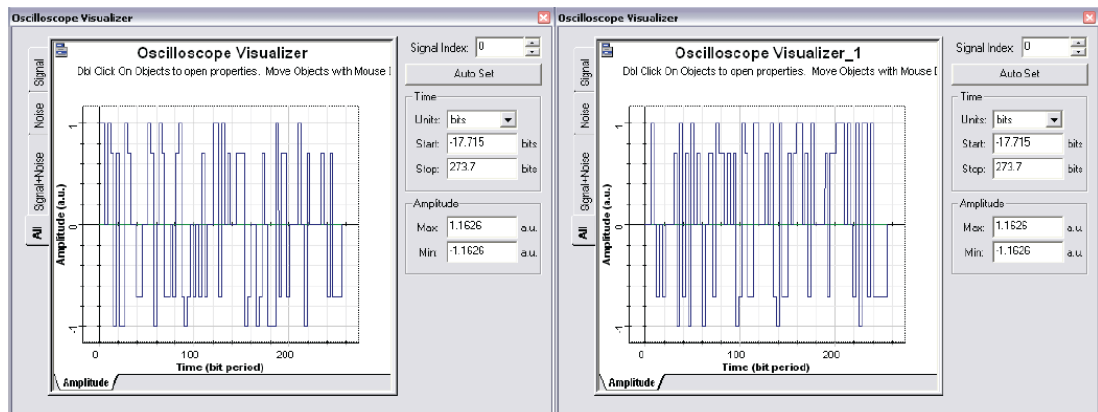


Figura 3. 5: Señales M-arias en fase y cuadratura de fase.
Elaborado por: El Autor

Codificador y Decodificador de secuencias DPSK.

Ya tenemos las señales M-arias I y Q, sin embargo antes de la modulación de estas señales utilizamos un modulador de cuadratura, donde podemos probar si las señales pueden ser decodificadas correctamente en la secuencia binaria inicial. Esto se puede hacer usando un diseño diferente, o la reorganización de la anterior.

Con el fin de comparar las señales binarias antes y después de la codificación/decodificación, deberíamos modular la secuencia binaria original y la secuencia decodificada utilizando generadores de impulsos eléctricos, tales como el generador de impulsos RZ (retorno a cero). En la figura 3.6 se muestra el diseño de la simulación mediante un codificador y decodificador de secuencias DPSK.

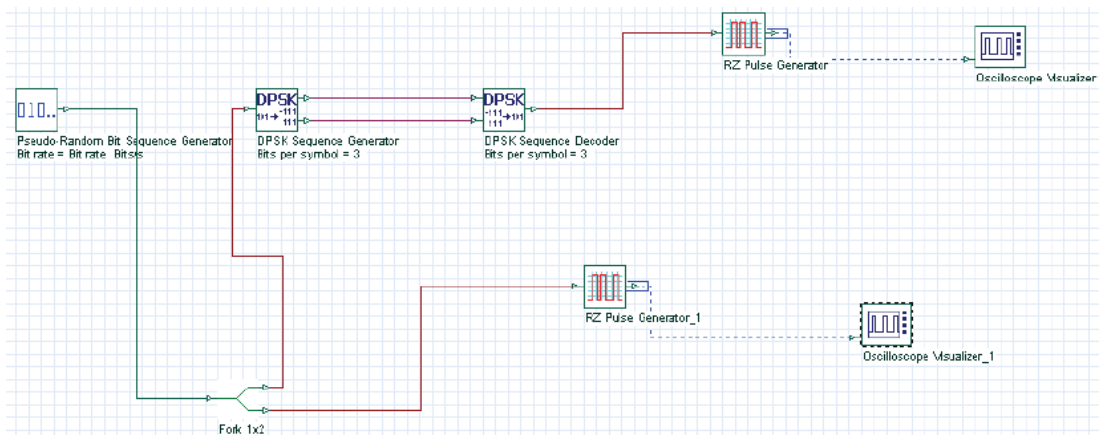


Figura 3. 6: Simulación de un codificador y decodificador de secuencias DPSK.
Elaborado por: El Autor

Debemos observar que las señales eléctricas son las mismas en ambos osciloscopios, ya que codificamos, luego decodificamos la misma señal binaria, tal como se muestra en la figura 3.7.

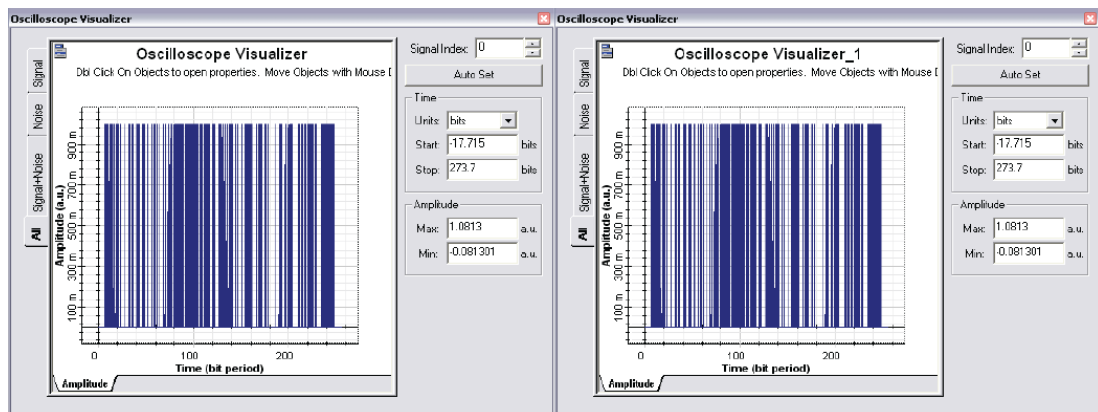


Figura 3. 7: Señales eléctricas antes y después de la codificación/decodificación DPSK.

Elaborado por: El Autor

Detector de umbral M-aria.

El siguiente paso es detectar las señales eléctricas I y Q utilizando un detector de umbral M-aria. Al utilizar el detector de umbral, podemos recuperar la secuencia DPSK original, y luego decodificar la secuencia en la señal binaria original. Podemos utilizar la simulación de la figura 3.3 y los componentes de la figura 3.6. Sin embargo, necesitamos un componente adicional que se muestra más adelante en la figura 3.9.

El reto principal es el de establecer los valores propios de las amplitudes de umbral y salida en el componente Detector Umbral-M aria. Ya que sabemos que este es un 8 DPSK, las amplitudes de salida deben ser: $-1, -\sqrt{2/2}, 0, \sqrt{2/2}$ y 1 .

El detector requerirá los valores de umbral para evaluar la señal de entrada para determinar el nivel de salida equivalente, en el supuesto de que los valores de entrada sean los mismos que los valores de salida (véase la figura 3.8), vamos a configurar los valores umbral de acuerdo con la entrada de señal: $-0.85, -0.353, 0.353$ y 0.85

Estos valores se utilizan para comparar la señal de entrada con el umbral de acuerdo a la tabla 3.1.

Tabla 3. 1: Entrada y salida basándose en amplitudes de umbral

Amplitud de Entrada	Amplitud de Salida
Menor a -0.85	-1
Entre -0.85 y -0.353	$-\sqrt{2/2}$
Entre -0.353 y 0.353	0
Entre 0.353 y 0.85	$\sqrt{2/2}$
Mayor a 0.85	1

Elaborado por: El Autor

Además, el parámetro de la tasa de bit de referencia debe ser la misma velocidad de bits que la señal de entrada M-aria, y esta es la velocidad de bits original de la secuencia binaria dividido por el número de bits por símbolo: (tasa de bits global)/3. En la figura 3.8 se presentan los parámetros para ambos detectores.

Después de ejecutar la simulación, se verán que los resultados de los osciloscopios de la fuente binaria y de la salida del decodificador son los mismos que se mostraron en la figura 3.7. Si no tenemos los valores

adecuados para la longitud de la secuencia global, por ejemplo, 512 bits, los gráficos serán diferentes.

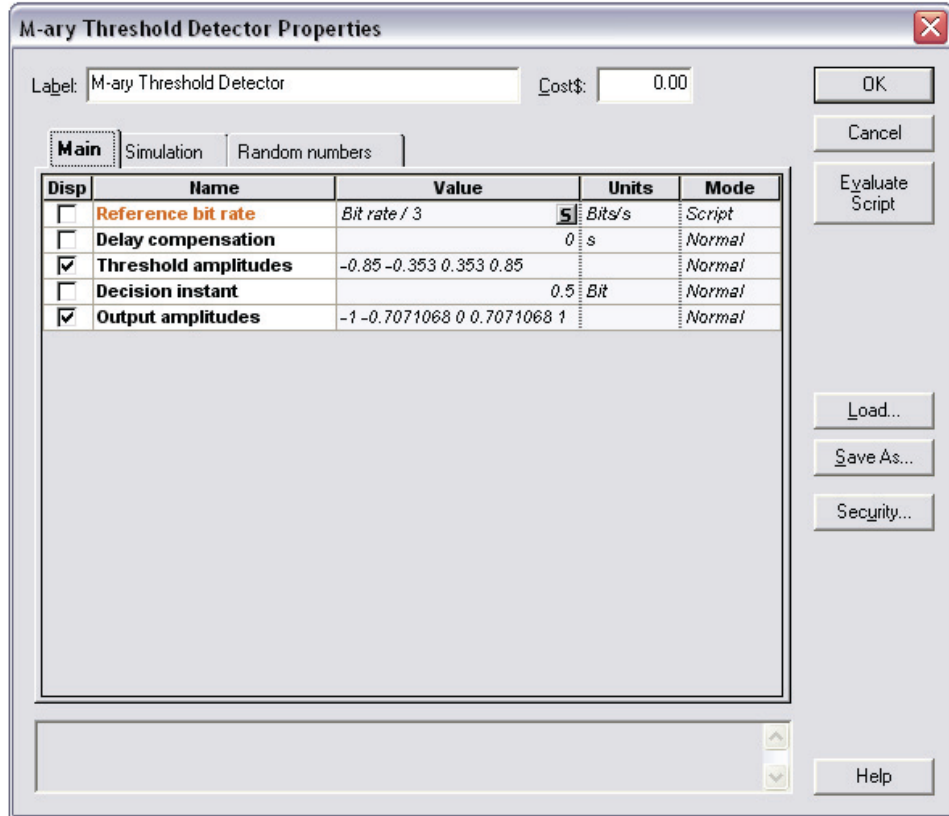


Figura 3. 8: Parámetros del detector de umbral M-aria.
Elaborado por: El Autor

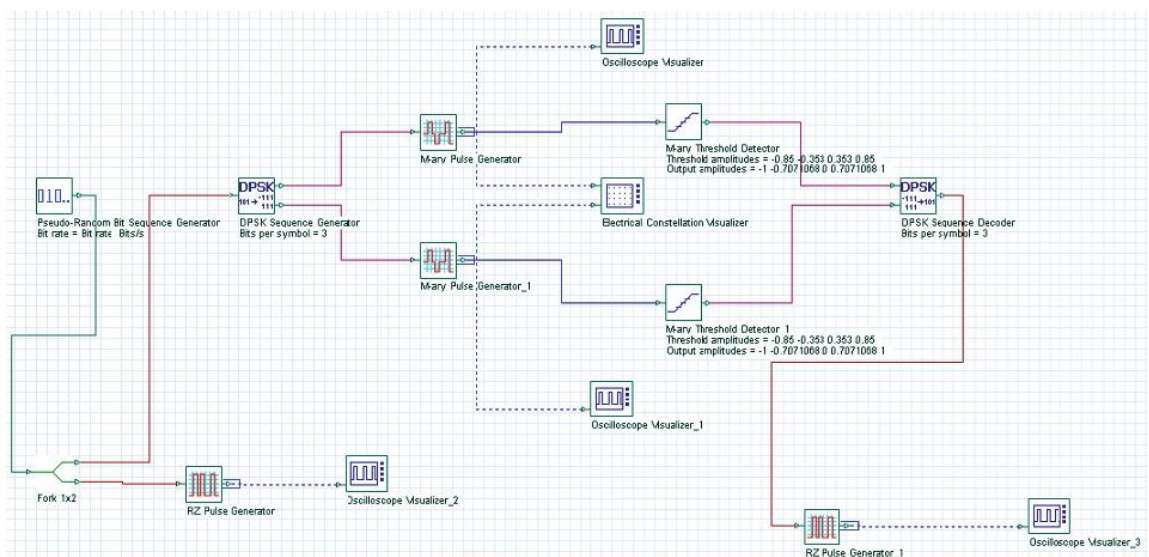


Figura 3. 9: Generador y detector de impulsos DPSK.
Elaborado por: El Autor

Adición de modulación en cuadratura para transmisor DPSK.

Ya sabemos cómo codificar y decodificar una señal DPSK; ahora podemos modular la señal-M ariá utilizando modulación en cuadratura sobre un transmisor DPSK. En la figura 3.10 se muestra la simulación del transmisor DPSK.

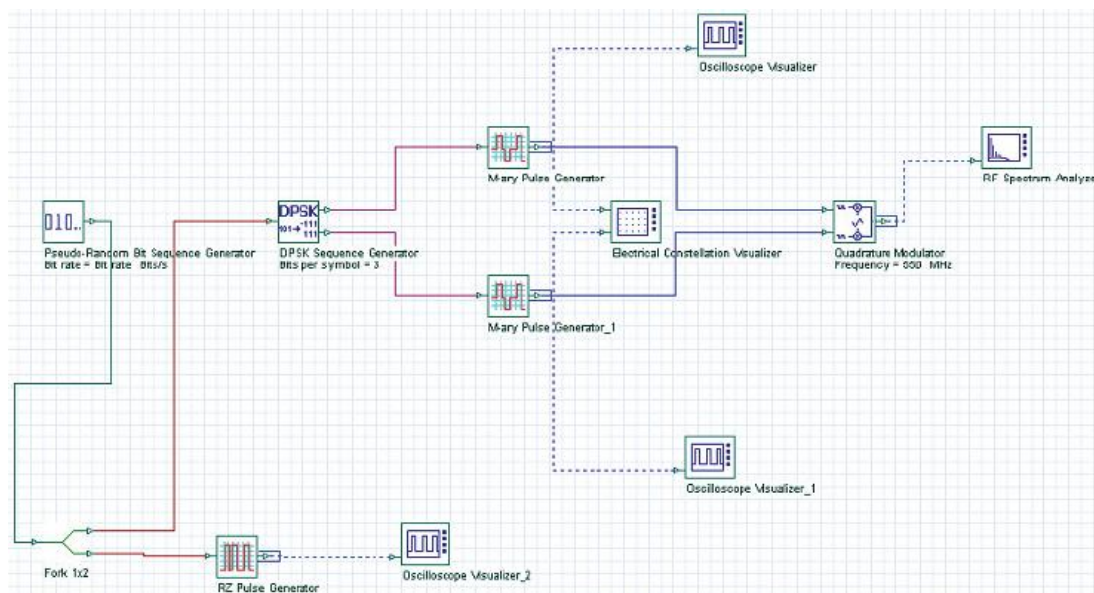


Figura 3. 10: Transmisor DPSK.

Elaborado por: El Autor

Este fue el último paso para construir nuestro transmisor DPSK, ahora ejecutamos la simulación y visualizamos el espectro de la señal de salida, tal como se muestra en la figura 3.11. Obsérvese que la frecuencia central de la señal, es la modulación de frecuencia 550 MHz, y que el ancho de banda de simulación se define por medio del valor de la frecuencia de muestreo ($1,944 \text{ GHz} / 2 = 972 \text{ MHz}$).

Esto significa que si deseamos aumentar el ancho de banda de simulación para dar cabida a una mayor frecuencia de modulación ($> 900 \text{ MHz}$), debe cambiar el número de muestras por bit en la ventana de parámetros globales.

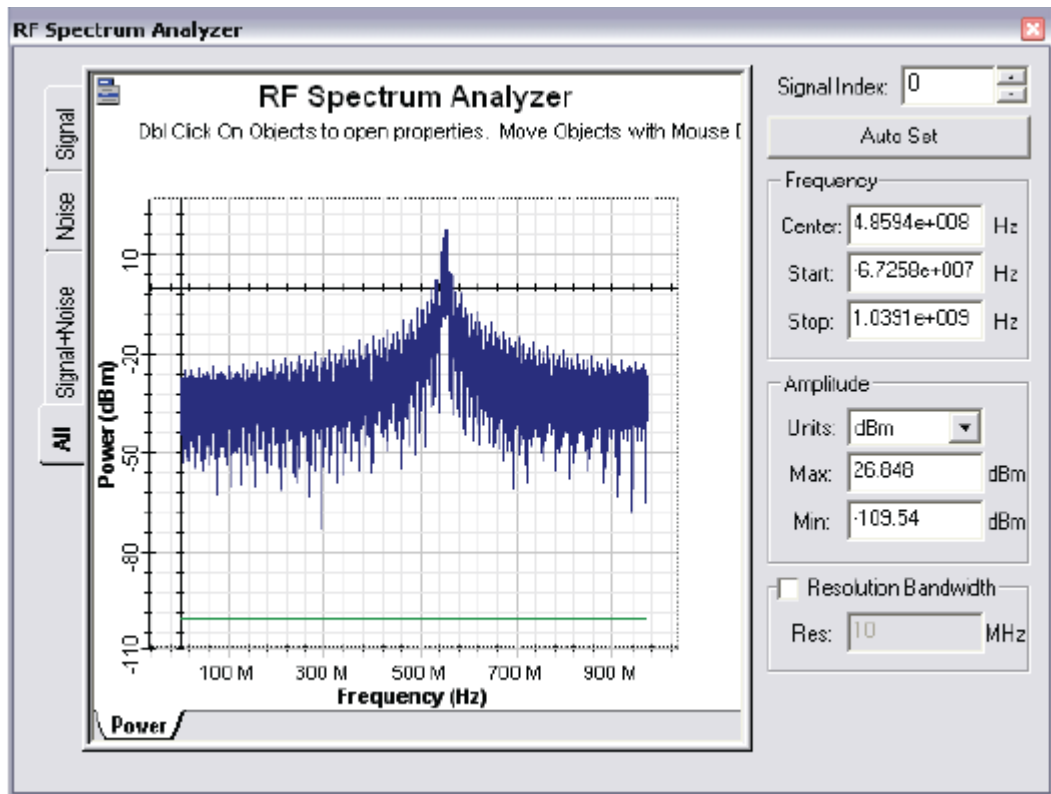


Figura 3. 11: Salida del transmisor DPSK.
Elaborado por: El Autor

Adición de demodulación en cuadratura para transmisor DPSK.

Ya sabemos cómo codificar, decodificar y modular una señal DPSK; ahora podemos demodular la señal DPSK usando demodulación en cuadratura, tal como se muestra en la figura 3.12. Para el demodulador en cuadratura, el parámetro de frecuencia debe ser el mismo valor que la frecuencia de portadora del transmisor. La frecuencia de corte de nuevo debe ajustarse en consecuencia a fin de dar forma y la escala de la señal de salida correctamente.

Las señales de salida en el demodulador en cuadratura se presentan en la figura 3.13, las señales son prácticamente las mismas como las que se observaron en la figura 3.5, sin embargo, están distorsionados por el filtro de paso bajo del demodulador en cuadratura. Si añadimos un canal entre el transmisor y el receptor, la señal puede tener distorsión y ruido adicional.

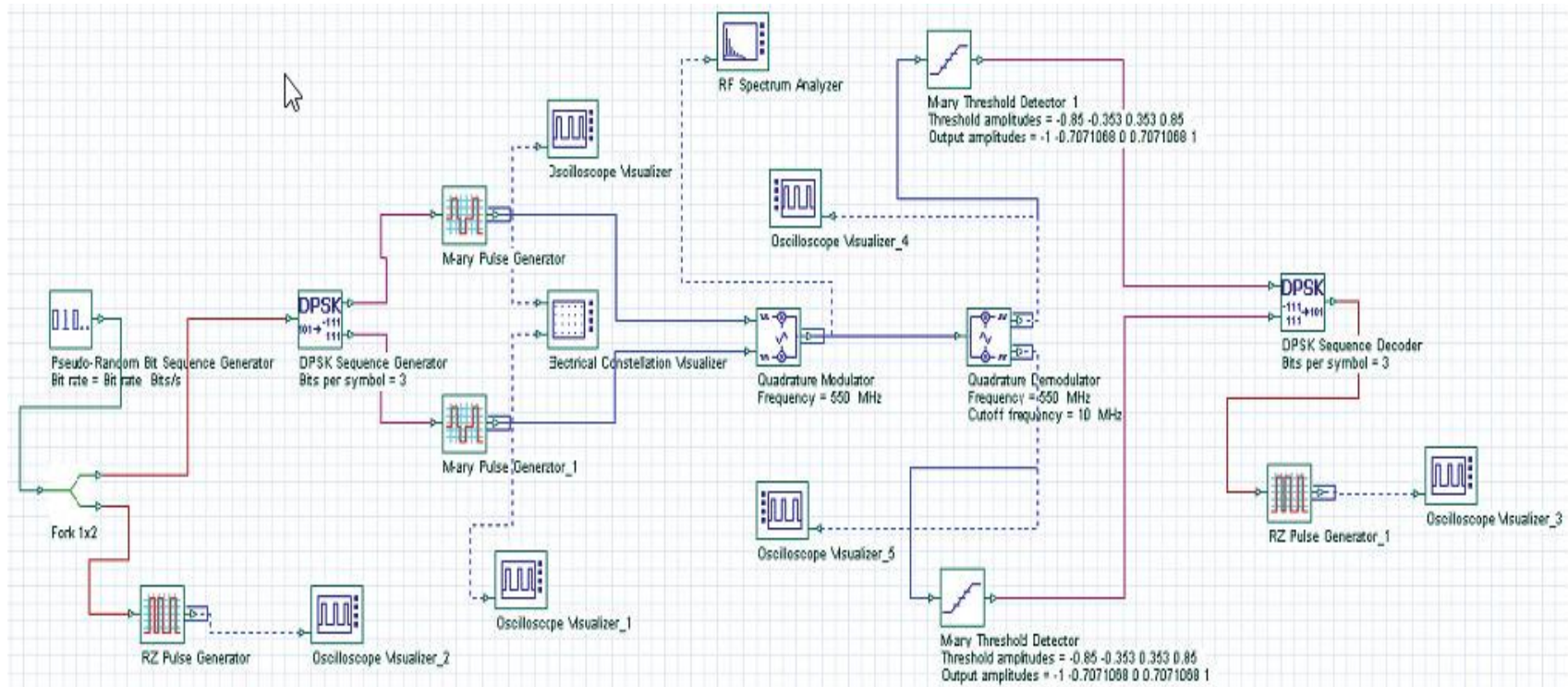


Figura 3. 12: Simulación del transmisor y receptor DPSK.
Elaborado por: El Autor

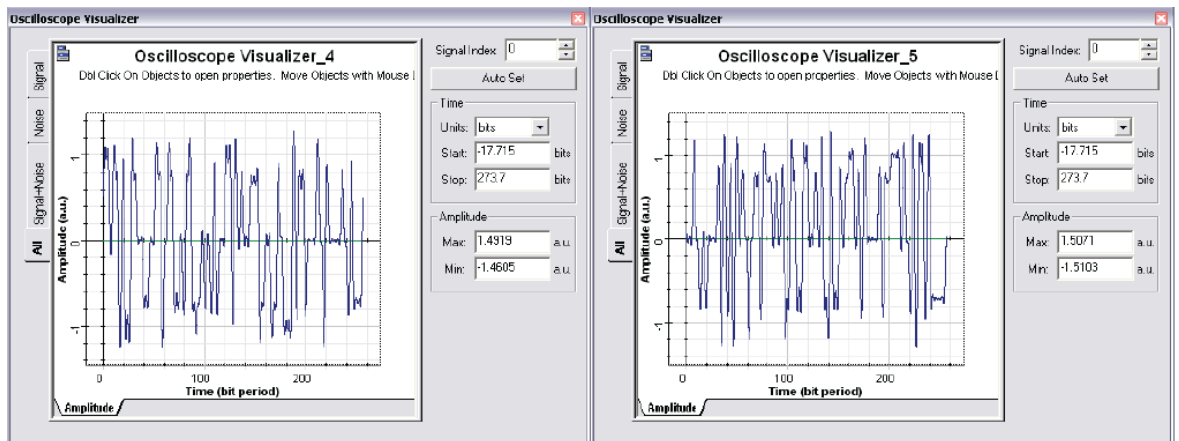


Figura 3. 13: Señales M-arias moduladas en fase y cuadratura de fase.
Elaborado por: El Autor

El siguiente paso es comparar las señales binarias en el transmisor y en el receptor. Si los parámetros del sistema son correctos, debemos tener los mismos resultados que se presentaron en la figura 3.7. El diseño presentado en la figura 3.12 es un proyecto completo para un Transmisor y receptor 8 DPSK. Se puede utilizar este proyecto como un punto de partida para otros tipos de modulación.

Diseño mediante el uso de la Biblioteca de moduladores.

El diseño del transmisor anterior requiere múltiples componentes para codificar la señal, generar los pulsos M-aria, y finalmente modular la señal. Utilizaremos los componentes de la biblioteca de generador de impulsos que incluyen los codificadores y generadores de impulsos, o componentes de la biblioteca de moduladores que incluyen los generadores de impulsos y los moduladores en cuadratura. En la figura 3.14 se muestra el diseño de la simulación del transmisor y receptor DPSK pero utilizando un modulador DPSK. Como se puede ver, utilizando el modulador DPSK en vez los múltiples componentes, el sistema es más rápido en modelar el diseño que el de la figura 3.12. Por otro lado, no se puede acceder a todas las señales internas que le ayuda a probar y entender los retos en el diseño de transmisores de modulación digital.

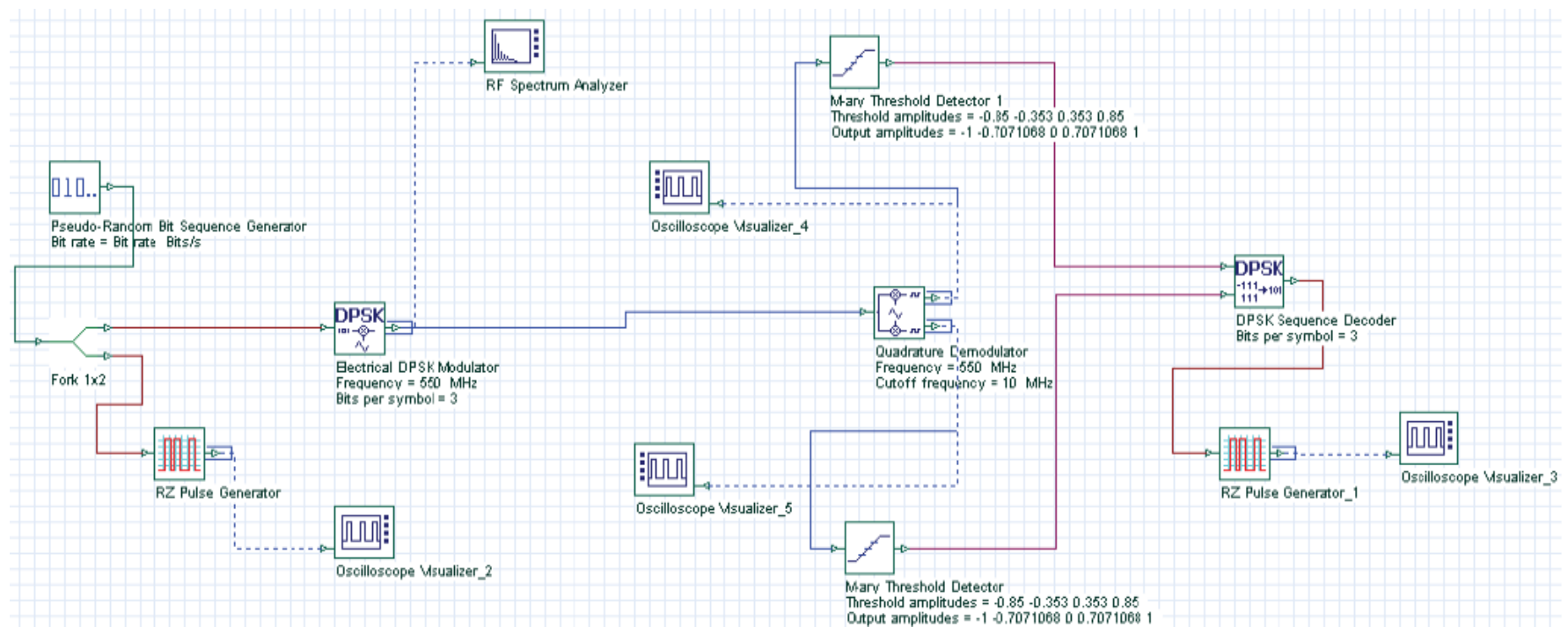


Figura 3. 14: Simulación del transmisor y receptor DPSK mediante un modulador DPSK.
Elaborado por: El Autor

Diagramas de ojo para las señales M-aria.

OptiSystem puede trazar y estimar el BER de un sistema óptico para señales de dos niveles (binarios). Al utilizar señales M-aria, no se puede estimar los valores de BER directamente, no obstante se puede trazar los diagramas de ojo. En la figura 3.15 se muestra los ajustes del parámetro del modo de operación del generador de secuencias binarias pseudoaleatorios.

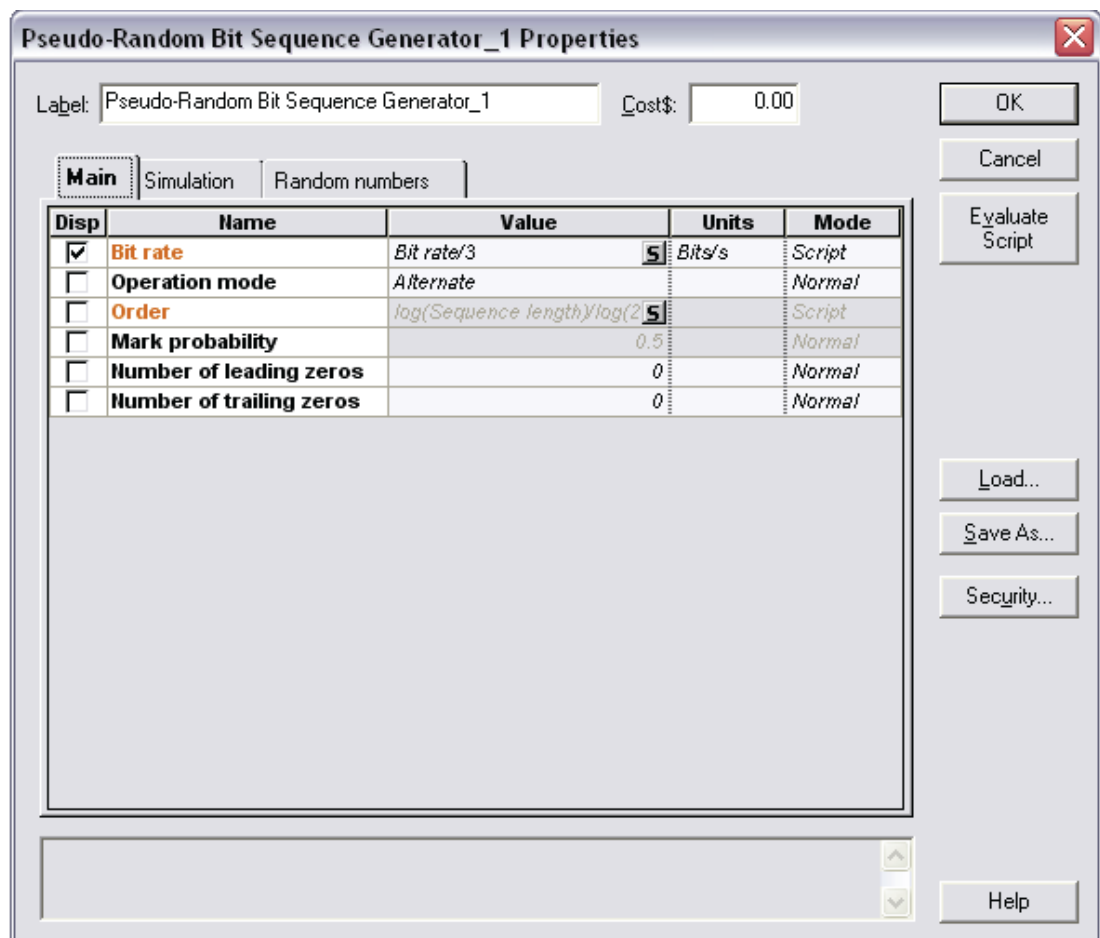


Figura 3. 15: Generador PRBS de los parámetros utilizados para generar diagramas de ojo.

Elaborado por: El Autor

En la figura 3.16 se muestra el modelado del sistema DPSK que incluyen componentes para la generación del diagrama de ojo.

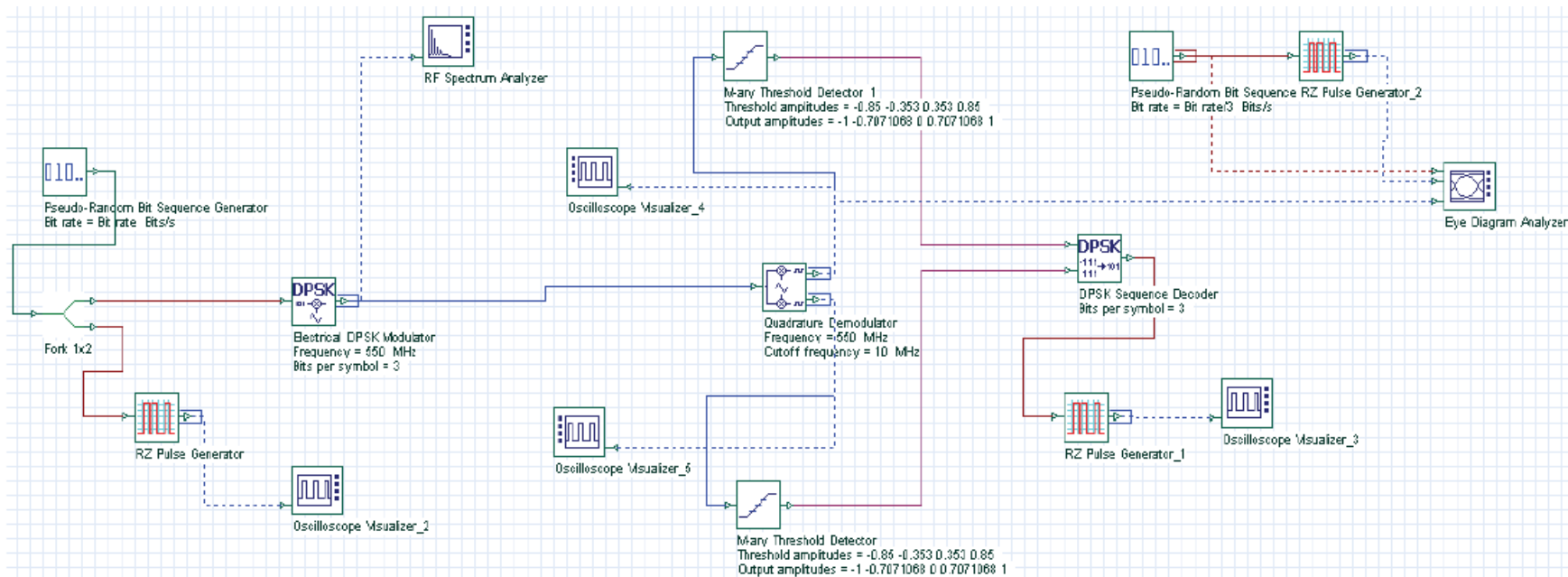


Figura 3. 16: Simulación del sistema DPSK para visualizar el diagrama de ojo.
Elaborado por: El Autor

En esta simulación, hemos añadido la herramienta de diagrama de ojo para trazar la señal M-aria en la salida del modulador en cuadratura, para la señal en fase. Los resultados del diagrama de ojo se observan en la figura 3.17. El parámetro principal es la tasa de bits en las PRBS. Debe ser la tasa de bits binario dividido por el número de bits por símbolo, por ejemplo, la velocidad de bits M-aria. Este es el mismo valor utilizado en el detector de umbral.

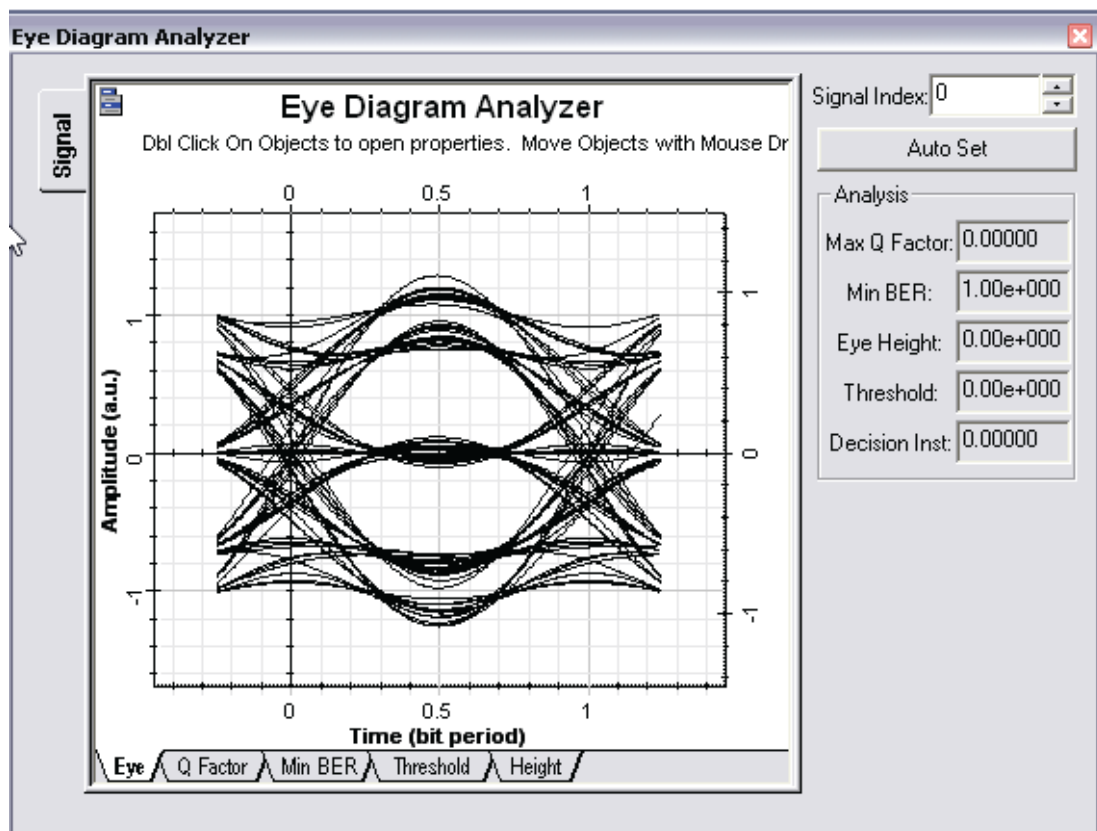


Figura 3. 17: Diagrama de ojo en el receptor DPSK para un sistema 8 DPSK.
Elaborado por: El Autor

3.2. Simulación de modulación OQPSK.

Para el modelado de la modulación OQPSK guarda características similares realizadas en la simulación de DPSK, para lo cual ya no entraremos en detalles de aquellos componentes ya analizados en la sección anterior. La modulación OQPSK es una modulación PSK, utilizando 2 bits por símbolo y un retardo de un bit en la señal en cuadratura (véase la biblioteca de componentes OptiSystem, el generador de impulsos OQPSK).

El archivo de la simulación se denomina "OQPSK-Tx-Rx.osd" tiene un transmisor y receptor OQPSK, tal como se muestra en la figura 3.18. Como se mencionó este modelado se basa en el proyecto de la figura 3.16, con la única diferencia que sustituimos el modulador DPSK por el modulador OQPSK, y el decodificador de secuencia DPSK por el decodificador de secuencia PSK.

La principal diferencia con la simulación del sistema DPSK son los bits por símbolo (2), el umbral de amplitudes y la salida para el detector (-1, 0, 1) y el instante de decisión para el detector de umbral en cuadratura (0.75). La decisión de diferencia instantánea está relacionada con el retardo añadido a la señal en cuadratura en la etapa de transmisor.

Después de ejecutar la simulación se puede visualizar los resultados de los diagramas de ojo (véase la figura 3.19), y también se muestra la comparación de la secuencia de bits de entrada y de salida (véase la figura 3.20). Finalmente, las señales de entrada y de salida deben ser iguales.

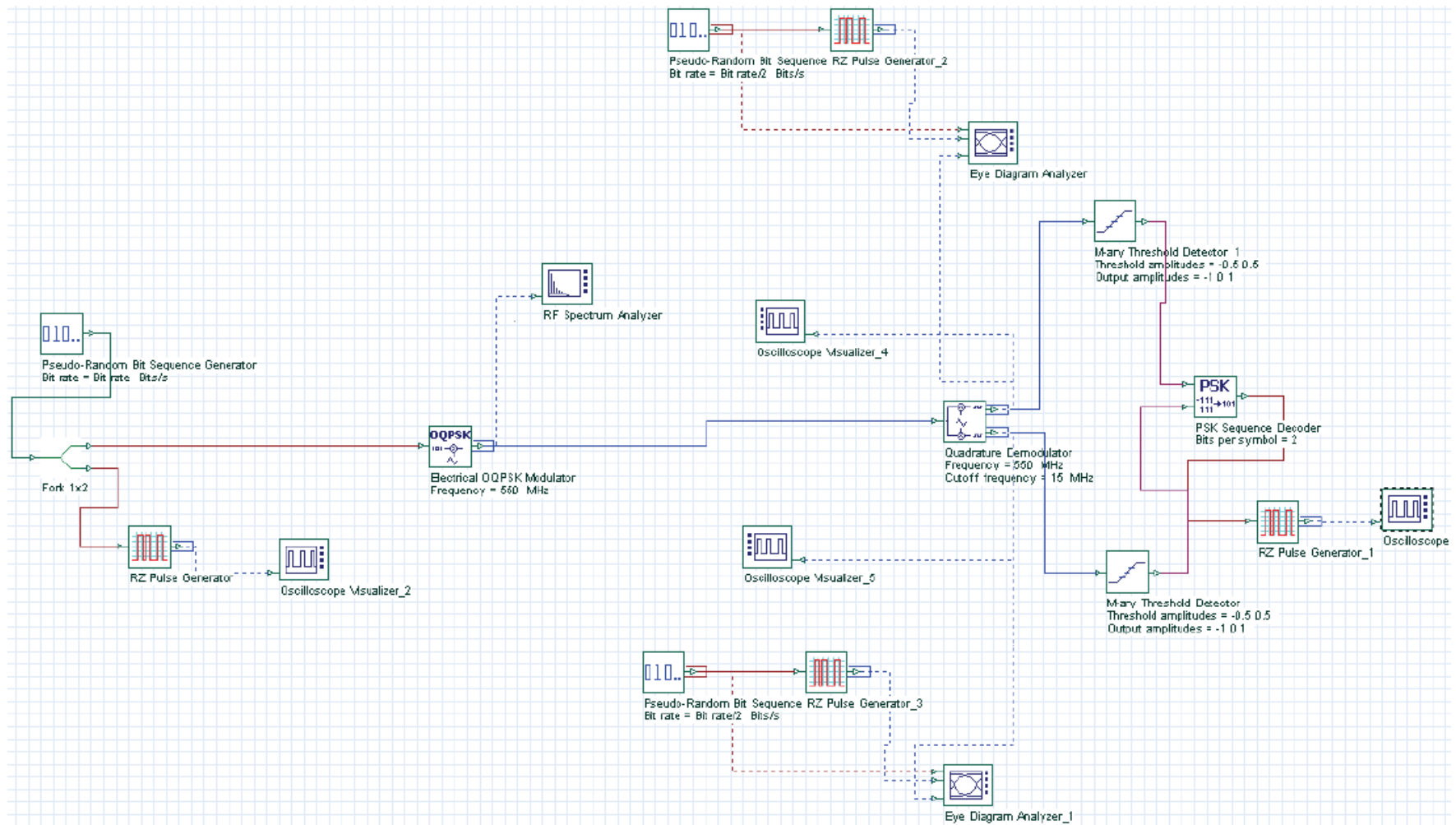


Figura 3. 18: Simulación del sistema OQPSK.
Elaborado por: El Autor

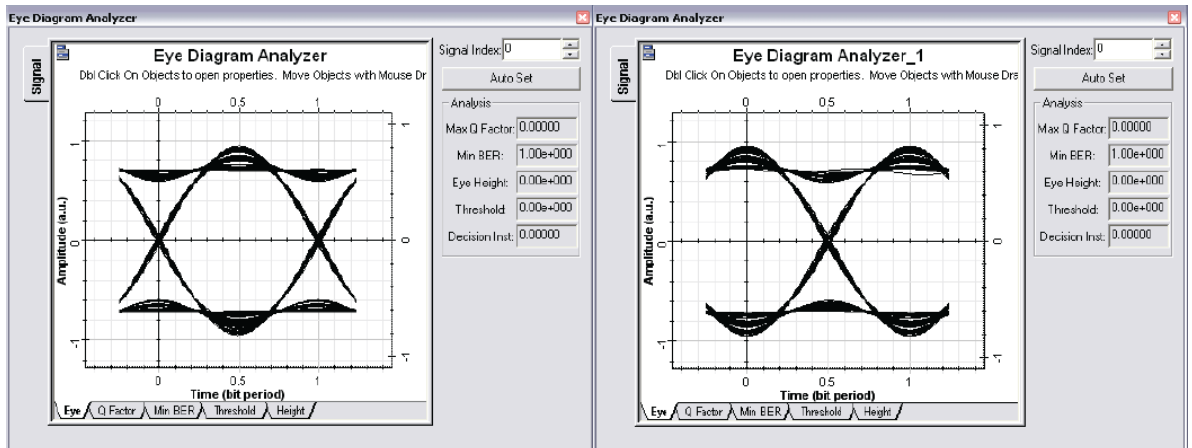


Figura 3. 19: Diagrama de ojo en el receptor OQPSK.
Elaborado por: El Autor

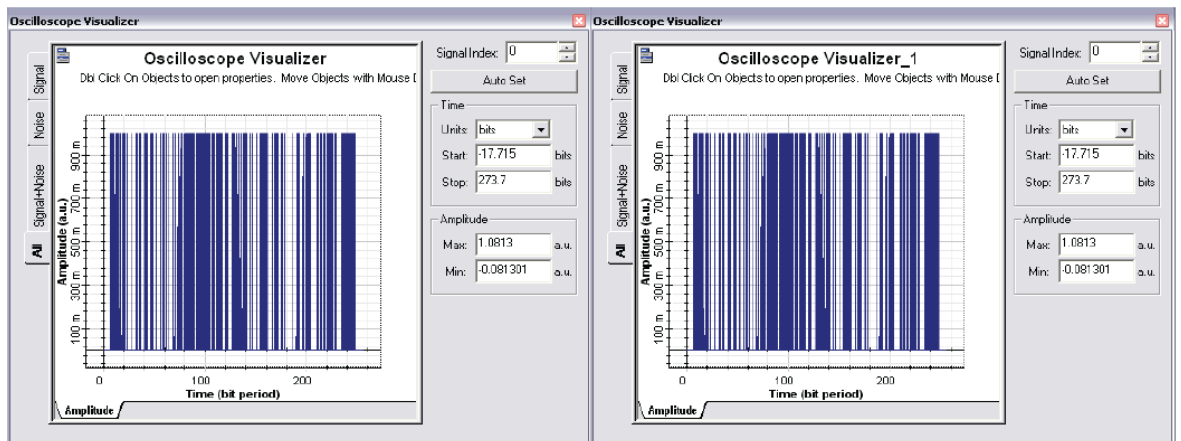


Figura 3. 20: Señales eléctricas antes y después de la codificación y decodificación OQPSK.
Elaborado por: El Autor

Conclusiones

1. Mediante el estado del arte de las modulaciones digitales de fase PSK con sus respectivas derivaciones como DPSK y OQPSK se pudo fundamentar el desarrollo de los modelos de simulación para sistemas de comunicaciones ópticos.
2. La técnica de modulación digital DPSK para sistemas de comunicaciones ópticas, es utilizada para el incremento del número de símbolos de mensajes, en donde la tasa de error de bits se ha reducido. El mismo método se puede aplicar sobre la técnica de modulación digital QPSK.
3. Se pudo comprobar que a través de los dos modelos de simulación diseñados en OptiSystem, estos no presentaron inconvenientes en la transmisión y recepción de datos.

Recomendaciones

1. Para futuros trabajos de tesis de maestría se pueden desarrollar proyectos en la que se realicen comparativas de técnicas de modulaciones digitales a través de la plataforma de simulación OptiSystem, que para este estudio no fueron discutidas.
2. Utilizar diferentes plataformas de simulación que permitan realizar modelos de simulación para diferentes aplicaciones en los sistemas de telecomunicaciones.

Referencias Bibliográficas

- Alvarez, J., Amaya, F., & Carmona, C. (2014). Analysis of BPSK and DPSK modulation in optical access networks. *Communications and Computing (COLCOM), 2014 IEEE Colombian Conference on* , 1-5.
- Bhambhe, V., & Tripathi, R. (2013). Performance Analysis Of OFDM Using QPSK And 16 QAM. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 1778-1782.
- Cobo Santiana, J. (2014). *Desarrollo de un modem utilizando la modulación DQPSK sobre la plataforma FPGA de Altera*. Guayaquil: Repositorio Digital UCSG.
- Dhand, V. (2013). Modified DPSK Transmission System with Hybrid Bandpass Filter (HBF). *International Journal of Engineering Research & Technology*, 336-338.
- Gómez, J. (2012). Implementación en MatLab de Detector de Envoltente mediante la modulación Delta Sigma para señales BFSK. *Revista Telemática*, 60-71.
- Gómez, J. T. (2014). Técnicas de modulación para señales BFSK. *Revista Telemática*, 35-46.

Hernández, F., & Armas, G. (2014). Esquema no coherente de demodulación de BPSK. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 46-49.

Moserrat del Río, J. (2010). *Modulaciones Digitales de Fase (BPSK, QPSK, M-PSK, DPSK, OQPSK, DQPSK)*. Valencia, España: Repositorio Institucional UPV.

Rathod, G. B., & Paul, R. P. (2013). Performance Analysis Of Ofdm System Using Dpsk Modulation Technique With Different Multipath Fading Channels. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2587-2592.

Velasco, J., & Vargas, G. (2013). *Sistema de comunicación óptica dpsk utilizando fibra óptica*. Guayaquil: Artículos de Tesis de Grado - FIEC.