



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Implementación de escenarios de simulación de técnicas de
modulación y demodulación utilizando el software
OptiSystem para prácticas de la materia Fundamentos de
Telecomunicaciones**

AUTOR:

Juárez Robinson, Iván Gerardo

Componente práctico del examen complejo previo a la
obtención del grado de **INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, Ecuador

20 de Septiembre del 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Juárez Robinson, Iván Gerardo** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR



M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

DIRECTOR DE CARRERA



M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 20 días del mes de septiembre del año 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Juárez Robinson, Iván Gerardo**

DECLARÓ QUE:

El **componente práctico del examen complejo, Implementación de escenarios de simulación de técnicas de modulación y demodulación utilizando el software OptiSystem para prácticas de la materia Fundamentos de Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 20 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

JUÁREZ ROBINSON, IVÁN GERARDO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Juárez Robinson, Iván Gerardo**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, Implementación de escenarios de simulación de técnicas de modulación y demodulación utilizando el software OptiSystem para prácticas de la materia Fundamentos de Telecomunicaciones** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 20 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

JUÁREZ ROBINSON, IVÁN GERARDO

REPORTE DE URKUND

URKUND ➔ Abrir sesión

Documento	JUAREZ EC A-2021.docx (D112563807)
Presentado	2021-09-14 13:45 (-04:00)
Presentado por	fernandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Revisión EC Iván Juárez Mostrar el mensaje completo 1% de estas 16 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes		Bloques
+	Categoría	Enlace/nombre de archivo
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/16...
+		http://201.159.223.180/bitstream/3317/16251/1/T...
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10...
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15...
+		http://192.188.52.94.8080/bitstream/3317/7691/1/...
+		http://201.159.223.180/bitstream/3317/15829/1/T...

1 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:
Implementación
de escenarios de simulación de técnicas de modulación y demodulación utilizando el software OptiSystem para prácticas de la materia Fundamentos de Telecomunicaciones

AUTOR: Juárez Robinson, Iván Gerardo

Componente práctico del examen complejo
previo a la obtención del grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REVISOR: M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús



DEDICATORIA

A:

Dios, porque es quien guía e ilumina mi camino para cumplir con mis objetivos.

Mi queridos padres y hermanos quien ha estado en todo momento a mi lado apoyándome para cumplir con mis sueños.

Finalmente, a mis amigos más cercanos que siempre me han apoyado, motivado y ayudado para culminar con éxito este trabajo de investigación.

EL AUTOR

JUÁREZ ROBINSON, IVÁN GERARDO

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Católica Santiago de Guayaquil por albergarme en sus aulas y brindarme las facilidades para estudiar y superarme profesionalmente.

Al Ingeniero Manuel Romero Paz quien brindó su apoyo incondicional durante la asesoría y desarrollo de la investigación

EL AUTOR

JUÁREZ ROBINSON, IVÁN GERARDO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO

f.

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DEL ÁREA

f.

M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	X
Índice de Tablas	XII
Resumen.....	XIII
Capítulo 1: Descripción General.....	2
1.1. Introducción.	2
1.2. Definición del problema.....	3
1.3. Objetivos del Problema de Investigación.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos	4
2.1. Descripción general de los métodos de modulación.	4
2.2. Señales digitales.	4
2.3. Métodos de modulación de la portadora.....	6
2.3.1. Modulación de amplitud.....	6
2.3.2. Modulación angular.....	7
2.4. Los métodos de modulación digital.....	9
2.4.1. Modulación por desplazamiento de fase (PSK).....	9
2.4.2. Modulación de amplitud en cuadratura (QAM).....	11
2.4.3. Multiplexación por división de frecuencia ortogonal.....	12
Capítulo3: Diseño, Implementación y Análisis de Resultados	15
3.1. Descripción general del componente práctico.	15
3.2. Descripción general de los tipos de modulaciones a implementarse en OptiSystem.	16
3.3. Descripción experimental: Diseño de los escenarios de simulación.....	18
3.4. Análisis de resultados obtenidos de los escenarios de simulación de esquemas de modulación,.....	23
CONCLUSIONES	30
RECOMENDACIONES.....	31
Bibliografía	32

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Señal binaria NRZ y la componente de frecuencia máxima.	5
Figura 2. 2: Diagrama de bloques del esquema AM.	7
Figura 2. 3: Enlace óptico analógico mediante agregación de canales y modulación angular.	8
Figura 2. 4: Diagrama de constelación para PSK binaria (BPSK).	9
Figura 2. 5: Diagrama de constelación para PSK cuaternaria (QPSK).	10
Figura 2. 6: Circuito esquemático de un modulador en cuadratura.	10
Figura 2. 7: Modulador de cuadratura para obtener señales QPSK o QAM.	11
Figura 2. 8: Diagrama de constelación para la modulación 16-QAM.	11
Figura 2. 9: Problema de la propagación multitrayecto.	12
Figura 2. 10: Problema de la propagación multitrayecto.	14

Capítulo 3

Figura 3. 1: Canales de frecuencia compartida entre WLAN y WSN.	17
Figura 3. 2: Diseño de modulación de amplitud (AM) eléctrica.	18
Figura 3. 3: Diseño de modulación de frecuencia eléctrica.	19
Figura 3. 4: Disposición de modulación de fase eléctrica.	20
Figura 3. 5: Diseño de modulación ASK.	21
Figura 3. 6 Diseño de modulación FSK.	22
Figura 3. 7: Diseño de modulación PSK.	23
Figura 3. 8: Señal de mensaje y señal modulada AM.	24
Figura 3. 9: Señal de mensaje y señal demodulada AM.	24
Figura 3. 10: Señal de mensaje y señal modulada FM.	25
Figura 3. 11: Señal de mensaje y señal demodulada de FM.	25
Figura 3. 12: Señal de mensaje y señal modulada PM.	26
Figura 3. 13: Señal de mensaje y señal demodulada PM.	26
Figura 3. 14: Señal de mensaje y señal modulada ASK.	27

Figura 3. 15: Señal de mensaje y señal modulada ASK	27
Figura 3. 16: Señal de mensaje y señal modulada FSK	28
Figura 3. 17: Señal de mensaje y señal demodulada FSK	28
Figura 3. 18: Señal de mensaje y señal modulada PSK	29
Figura 3. 19: Señal de mensaje y señal demodulada PSK	29

Índice de Tablas

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Componentes y especificaciones de simulación de AM.....	19
Tabla 3. 2: Componentes y especificaciones de simulación de FM.....	20
Tabla 3. 3: Componentes y especificaciones de simulación de PM.....	20
Tabla 3. 4: Componentes y especificaciones de simulación de ASK.....	21
Tabla 3. 5: Componentes y especificaciones de simulación de FSK.	22
Tabla 3. 6: Componentes y especificaciones de simulación de PSK.....	23

Resumen

El presente documento presenta el componente práctico “Implementación de escenarios de simulación de técnicas de modulación y demodulación utilizando el software OptiSystem para prácticas de la materia Fundamentos de Telecomunicaciones”. Dentro del alcance de este componente, se han incluido técnicas de modulación analógica y digital. Se examinaron las variantes de modulación y demodulación propuestos en el capítulo 3. Se ha explicado la modulación de la señal a transmitir, la demodulación de la señal a recibir, y especialmente las formas de estas operaciones, con la ayuda de ejemplos, diagramas de bloques, fórmulas y figuras. Después de preparar el terreno necesario para estudiar y evaluar la simulación, con la ayuda del entorno de simulación OptiSystem. El enfoque es responder preguntas como cuáles son los pasos de procesamiento necesarios para las diferentes técnicas de modulación, cómo calcular la potencia resultante y cómo obtener diagramas de constelaciones. Los gráficos y resultados obtenidos al respecto se detallan dentro del alcance del proyecto.

Palabras claves: Modulación, Demodulación. Desplazamiento, Frecuencia, Fase y Amplitud.

Capítulo 1: Descripción General

1.1. Introducción.

La información puede enviarse desde un emisor a un receptor mediante la modulación y la demodulación, respectivamente, tanto si esas señales son ondas de luz que se mueven a través de cables ópticos, como si son ondas de radio a través de cables metálicos o si se propagan por el aire. Las ondas electromagnéticas (EM) que transportan la información se denominan señales portadoras, mientras que la información que transportan puede ser en forma de audio, vídeo o datos.

En los sistemas de comunicaciones convencionales, la información se transmite modulando la frecuencia, la amplitud o la fase de la señal portadora, lo que suele ocurrir de forma analógica o digital (binaria) en un ancho de banda muy estrecho. Recientemente, la transmisión de señales de banda ultraancha ha cobrado interés para las comunicaciones locales en tecnologías como las redes ópticas (GPON), de sensores inalámbricos (WSN) autónomos y las comunicaciones en chip, lo que supone un reto para la electrónica convencional.

En casi todos los casos, la información de la fuente se imprime sobre una onda portadora cambiando o modificando alguna característica de la onda sinusoidal. Este proceso se llama modulación. La señal original de la fuente (por ejemplo, audio, tren de pulsos de voltaje que lleva información digital) se llama señal de banda base. La modulación tiene el efecto de mover el espectro de la señal de banda base para centrar las frecuencias alrededor de la frecuencia de la portadora. La señal modulada resultante se considera una señal de paso de banda. Otros procesos que modifican la señal portadora de información original se denominan a veces modulación; por ejemplo, la representación de señales muestreadas mediante la amplitud, la posición o la anchura de un pulso.

Los esquemas de modulación y demodulación presentado en los fundamentos teóricos (capítulo 2) y experimental (capítulo 3) tienen el

potencial de aumentar radicalmente la eficiencia de la transferencia de datos mediante la utilización de un nuevo paradigma de comunicaciones en el que la información se transfiere a través de una gama de frecuencias realmente amplia. Aunque este tipo de paradigma de comunicaciones podría ser poco práctico para las comunicaciones inalámbricas que están muy restringidas a bandas relativamente estrechas (es decir, teléfonos móviles, wifi, etc.), los nuevos sensores autónomos locales y las aplicaciones de comunicaciones ópticas y en chip, que sólo requieren una comunicación de datos muy local, están menos restringidos y se beneficiarían de la mayor eficiencia de transmisión de datos y de la multiplexación.

1.2. Definición del problema.

Necesidad de diseñar e implementar modelos de simulación mediante escenarios de esquemas de modulación/demodulación analógica y digital utilizando el software OptiSystem.

1.3. Objetivos del Problema de Investigación.

1.3.1. Objetivo General.

Realizar la implementación de escenarios de simulación de técnicas de modulación y demodulación utilizando el software OptiSystem para prácticas de la materia Fundamentos de Telecomunicaciones

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Implementación de escenarios de simulación de técnicas de modulación y demodulación utilizando el software OptiSystem para prácticas de la materia Fundamentos de Telecomunicaciones.
- Diseñar los escenarios de simulación de las modulaciones y demodulaciones analógicas y digitales sobre el programa OptiSystem.
- Evaluar los resultados obtenidos de cada uno de los escenarios de simulación implementados en el entorno OptiSystem.

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos

El presente capítulo se describe los fundamentos teóricos de los sistemas de modulación analógica y digital que sirven de base para el desarrollo de los escenarios de simulación que se discuten en el capítulo 3.

2.1. Descripción general de los métodos de modulación.

Los métodos de modulación son necesarios para transmitir una señal de banda base existente $s(t)$ a través de una señal portadora de alta frecuencia (Cabezas & Pinto G., 2014). Según Bernal, (2013) esta señal puede presentarse como una señal analógica $s(t)$ con el ancho de banda Δf . Sin embargo, $s(t)$ también puede presentarse como una señal discreta en valor y tiempo, en cuyo caso se habla de una señal digital $s(t)$. En la sección 2.2 se describe las señales digitales.

2.2. Señales digitales.

Para obtener esta señal digital, la señal original se muestrea a una frecuencia de muestreo fija f_B , y sólo se transmiten los valores de la señal en estos tiempos de muestreo fijos (transmisión en tiempo discreto) (Ruiz G., 2021). La señal analógica original puede recuperarse a partir de las muestras en tiempo discreto sin ninguna pérdida si para la frecuencia de muestreo

$$f_B > 2\Delta f_a \quad (2.1)$$

se aplica (con el ancho de banda Δf_a de la señal original analógica). En el caso de una señal digital, dichas muestras individuales se transmiten cuantificadas (transmisión de valores discretos), por ejemplo, con 2^n pasos de cuantificación, donde n describe el número de "bits" por tiempo de muestreo. La tasa de bits necesaria para la señal digital viene dada entonces por

$$B = n f_B > 2n \Delta f_a \quad (2.2)$$

Por ejemplo, si se parte de una señal original analógica con $\Delta f = 5 \text{ MHz}$ de ancho de banda, que se va a transmitir con $n = 8$, es decir, $2^n =$

$2^8 = 256$ niveles de cuantificación, por lo que se requiere una tasa de bits de al menos,

$$B > 2(8)(5) > 80 \text{ Mbps}$$

Sin embargo, con una señal de vídeo, por ejemplo, la tasa de datos puede reducirse considerablemente con una modulación o codificación de la fuente adecuada, por ejemplo, MPEG. Si una señal digital con una tasa de bits B debe transmitirse como una señal binaria de no retorno a cero (Non-Return-to-Zero, NRZ), el canal de transmisión debe tener el ancho de banda definido por,

$$\Delta f = \frac{B}{2} \quad (2.3)$$

La figura 2.1 muestra una señal NRZ y puede entenderse como la transmisión de B símbolos por segundo, donde cada símbolo contiene la información de "1 bit". También se puede transmitir más información por símbolo en los procesos de modulación de orden superior, por ejemplo, m -bits (es decir, por ejemplo, 2^m valores discretos de amplitud por símbolo), de modo que la tasa de símbolos S resulta entonces

$$S = \frac{B}{m}$$

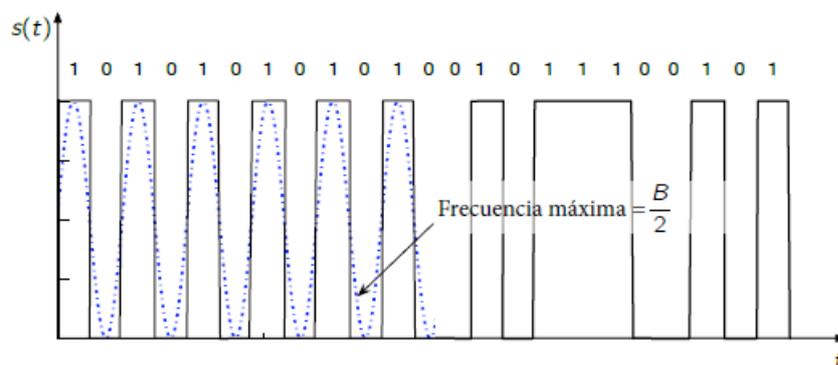


Figura 2. 1: Señal binaria NRZ y la componente de frecuencia máxima.

Fuente: (Chow et al., 2013)

y el ancho de banda necesario para esta señal digital multietapa viene dado entonces por,

$$\Delta f = \frac{S}{2} = \frac{B}{2m} \quad (2.4)$$

2.3. Métodos de modulación de la portadora.

La señal $s(t)$ que se acaba de mencionar se va a transmitir ahora con una frecuencia portadora f_c en el plano de alta frecuencia. La señal modulada de alta frecuencia $u_M(t)$ puede escribirse entonces como,

$$u_M(t) = \hat{U}_M(t) \cos[\omega_c t + \varphi(t)] = \Re[\underline{u}(t)e^{j\omega_c t}] \quad (2.5)$$

$$\underline{u}(t) = \hat{U}_M(t)e^{j\varphi(t)} \quad (2.6)$$

Suponiendo una señal de entrada real $s(t)$ con $|s(t)| \leq 1$, donde la señal $u(t)$ sigue a la señal de entrada $s(t)$ de forma adecuada. La señal $s(t)$ puede estar presente tanto como señal analógica como digital. En la última ecuación, $\underline{u}(t)$ puede ser modulada con respecto a la amplitud, la fase o la frecuencia. A continuación, se describen estos diferentes tipos de modulación.

2.3.1. Modulación de amplitud.

En el caso de la modulación de amplitud pura, sólo se modula la amplitud $\hat{U}_M(t)$ en la ecuación 2.6 y la fase $\varphi(t)$ permanece constante (por ejemplo, $\varphi(t) = 0$). La señal $\underline{u}(t)$ dependiente del tiempo es entonces puramente real y se aplica lo siguiente,

$$\underline{u}(t) = \hat{U}_{M0}[1 + ms(t)] \quad (2.7)$$

con la amplitud media \hat{U}_{M0} y el índice de modulación m con $m \leq 1$. La condición ($m \leq 1$) garantiza que la amplitud siempre sea real positivo. En concreto, se trata de,

1. $s(t)$ analógico \Rightarrow modulación en amplitud (AM)
2. $s(t)$ digital \Rightarrow modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)

La figura 2.1 muestra el diagrama de bloques de la modulación en amplitud para el caso de dispositivos ni lineales. Por lo tanto, la modulación de amplitud (AM) es realmente antieconómica. Sólo se utiliza una porción de potencia muy alta para la transmisión de la portadora (sin porción de información) y las bandas laterales, que contienen la información real, sólo tienen una proporción de potencia relativamente pequeña. Además, el ancho

de banda necesario es dos veces mayor que el ancho de banda de la banda base.

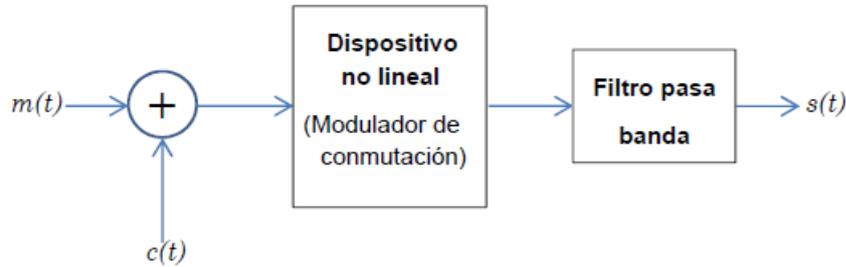


Figura 2. 2: Diagrama de bloques del esquema AM.
Fuente: (Barsanti & Skinner, 2017)

Sin embargo, AM sigue siendo ampliamente utilizada en la radiodifusión analógica en la gama LW (onda larga), MW (onda media) y KW (onda corta). Esto se debe al uso de receptores de emisión muy sencillos en los que la señal de banda base con $|\hat{U}_M(t)|$ se obtiene a partir de la señal de alta frecuencia $u_M(t)$ mediante una rectificación lineal de alta frecuencia (que no se analiza por no ser parte de la investigación). Se puede conseguir una ligera mejora con respecto a la potencia de la portadora transmitida mediante la modulación de amplitud dinámica (DAM), en la que la potencia de la portadora se reduce con un índice de modulación "m" más bajo.

2.3.2. Modulación angular.

A la modulación angular se la conoce como la modulación de fase y frecuencia. Surge como alternativa a la amplitud, ya que también se modular la fase o la frecuencia de la señal portadora. La amplitud es entonces constante $\hat{U}_M(t) = \hat{U}_{M0}$ es posible,

$$\underline{u}(t) = \hat{U}_{M0} e^{j\varphi(t)} \quad (2.8)$$

luego incluye la fase modulada $\varphi(t)$. Lo siguiente se aplica a la modulación de fase,

$$\varphi(t) = \Delta\varphi s(t) \quad (2.9)$$

Entonces, se habla de:

1. $s(t)$ analógico \Rightarrow modulación en fase (PM)
2. $s(t)$ digital \Rightarrow modulación por desplazamiento de fase (PSK)

Como alternativa a la fase, también se puede modular la frecuencia. En el caso de la modulación de frecuencia, primero se introduce la frecuencia modulada $f(t)$,

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt} \quad (2.10)$$

Donde $f(t)$ corresponde a la señal $s(t)$ y que se define como,

$$f(t) = \Delta f_c s(t) \quad (2.11)$$

Entonces, se habla de:

1. $s(t)$ analógico \Rightarrow modulación en frecuencia (FM)
2. $s(t)$ digital \Rightarrow modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

Desde hace tiempo existe un debate sobre si el enlace óptico analógico o digital es más adecuado para las aplicaciones de convergencia inalámbrica. Este tipo de modulación es utilizada en sistemas de comunicaciones alámbricas e inalámbricas, por ejemplo, (Che et al., 2016) publican “Enlace óptico analógico de alta fidelidad con modulación angular”. La figura 2.3 muestra el diagrama de bloques El enlace digital consigue la mayor fidelidad, con el sacrificio de un enorme ancho de banda debido a la alta resolución de la digitalización, y un gran consumo de energía debido a la exhaustiva recuperación de datos digitales. El enlace analógico evita estos inconvenientes, pero sufre inevitablemente la degradación de la SNR. Por lo tanto, (Che et al., 2016) proponen la modulación angular para el enlace óptico analógico, que rompe con éxito el techo de la relación señal a ruido (Signal-to-Noise Ratio, SNR) de la modulación de amplitud, y consigue una fidelidad de enlace ultra alta.

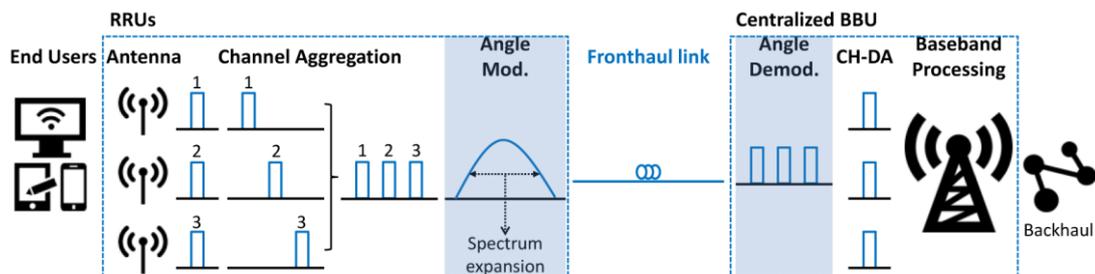


Figura 2. 3: Enlace óptico analógico mediante agregación de canales y modulación angular.

Fuente: (Che et al., 2016)

2.4. Los métodos de modulación digital.

En los métodos de modulación analizados hasta ahora, la señal de banda base $s(t)$ también puede ser tanto análoga como digital. Sin embargo, los métodos de modulación digital más interesantes son PSK, modulación en amplitud de cuadratura (QAM) y multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM).

2.4.1. Modulación por desplazamiento de fase (PSK).

Volver a suponer la señal modulada según la ecuación 2.5 con la señal compleja $u(t)$. Con la modulación por desplazamiento de fase pura, la amplitud $|u(t)|$ permanece constante y sólo cambia la fase, de modo que la modulación PSK binaria en el plano complejo (diagrama de constelaciones) da como resultado $u(t)$, tal como se muestra en la figura 2.4.

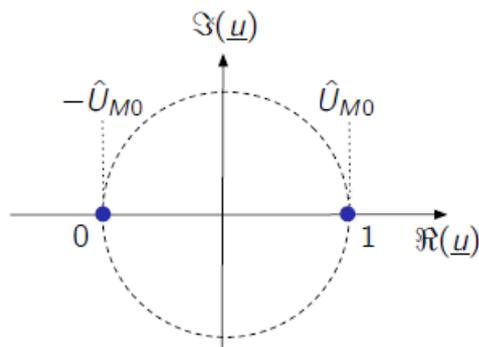


Figura 2. 4: Diagrama de constelación para PSK binaria (BPSK).

Fuente: (Singh et al., 2013)

La señal $\underline{u}(t)$ es así $\underline{u}(t) = \hat{U}_{M0}e^{j0}$ para un "1" binario y $\underline{u}(t) = \hat{U}_{M0}e^{j\pi}$ para un "0" binario. Este tipo se conoce como la modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK) y es prácticamente equivalente a la modulación de amplitud sin portadora (o modulación por desplazamiento), ya que $\underline{u}(t)$ se remuestrea entre $\underline{u}(t) = \hat{U}_{M0}$ y $\underline{u}(t) = -\hat{U}_{M0}$.

Al igual que con la modulación de amplitud sin portadora normal, se crean dos bandas laterales que llevan la misma información. Además, debido a la modulación binaria, la tasa de símbolos (en baudios o Bd) es igual a la tasa de bits. Para transmitir más información por símbolo, también es posible cuantificar cada símbolo en más estados de fase. Un ejemplo de

ello es la codificación por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK), tal como se muestra en la figura 2.5. Se pueden transmitir cuatro fases diferentes y, por tanto, 2 bits por símbolo. La tasa de bits es, por tanto, el doble de la tasa de símbolos.

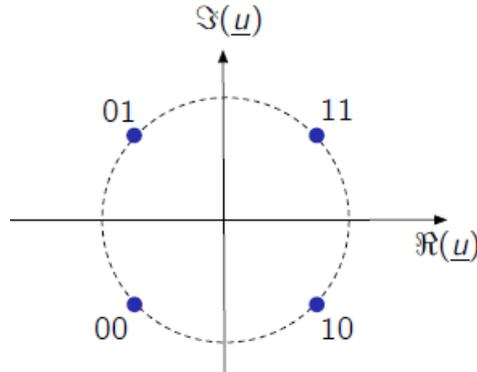


Figura 2. 5: Diagrama de constelación para PSK cuaternaria (QPSK).
Fuente: (Singh et al., 2013)

Tanto $\Re[\underline{u}(t)]$ como $\Im[\underline{u}(t)]$ tienen dos estados con los que se puede escribir la señal modulada $u_M(t)$ de la ecuación 2.5:

$$u_M(t) = \Re[\underline{u}(t)e^{j\omega_T t}]$$

$$u_M(t) = \Re[\underline{u}(t)] \cos(\omega_T t) - \Im[\underline{u}(t)] \sin(\omega_T t) \quad (2.12)$$

La señal de la ecuación 2.12 puede generarse fácilmente con un modulador en cuadratura (véase la figura 2.5), tal como se muestra la figura 2.6. En la modulación PSK en cuadratura (QPSK), tanto $\Re[\underline{u}(t)]$ como $\Im[\underline{u}(t)]$ son señales binarias, de las que finalmente se genera la señal modulada cuaternaria $u_M(t)$.

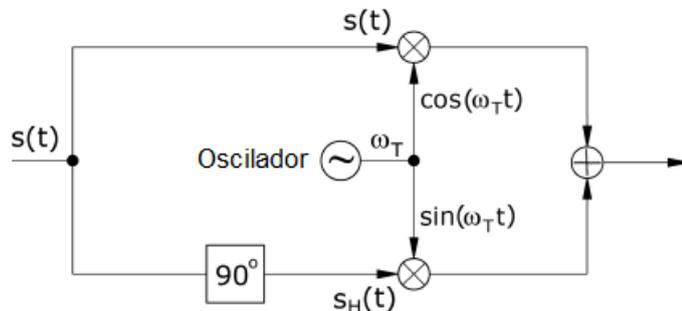


Figura 2. 6: Circuito esquemático de un modulador en cuadratura.
Fuente: (Singh et al., 2013)

Con la modulación PSK cuaternaria (QPSK), al igual que con la modulación PSK binario (BPSK), se suprime la portadora. Sin embargo, las

bandas laterales superior e inferior de QPSK contienen información diferente.

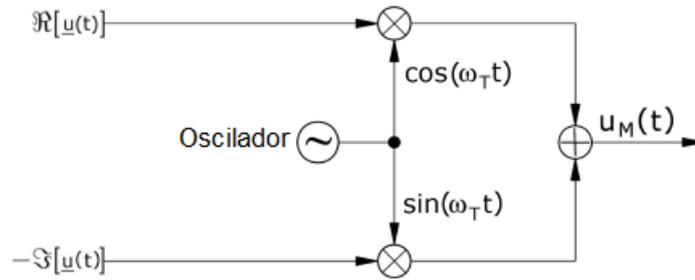


Figura 2. 7: Modulador de cuadratura para obtener señales QPSK o QAM.

Fuente: (Singh et al., 2013)

2.4.2. Modulación de amplitud en cuadratura (QAM).

Para poder transmitir aún más estados por símbolo, conviene variar tanto la amplitud como la fase, y así se llega a la modulación de amplitud en cuadratura (QAM), por ejemplo. El diagrama de constelación de un 16-QAM se muestra en la figura 2.8. Tanto la $u(t)$ como la $v(t)$ tienen cuatro estados, y la señal modulada puede generarse de nuevo como en la Fig. 11. En un MAQ-16, se transmiten 4 bits por símbolo, por lo que la tasa de bits pasa a ser cuatro veces mayor que la tasa de símbolos.

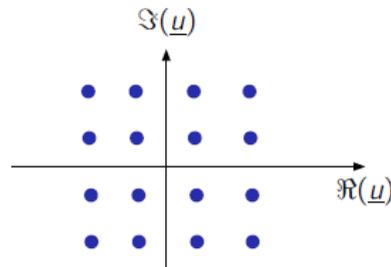


Figura 2. 8: Diagrama de constelación para la modulación 16-QAM.

Fuente: (Singh et al., 2013)

Al aumentar el número de estados diferentes por símbolo, la tasa de bits aumenta para una tasa de símbolos dada (y, por tanto, un ancho de banda de alta frecuencia dado), pero los requisitos de la relación señal/ruido (S/N) también aumentan. En la tabla 2.1 se muestra los valores de SNR requeridos para los diferentes métodos de modulación para una frecuencia de error igual a 10^{-4} .

Tabla 2. 1: Parámetros de SNR requeridos en los métodos de modulación PSK y QAM.

Métodos de modulación	SNR requerido
BPSK	9 dB
QPSK	12 dB
16-QAM	19 dB
64-QAM	25 dB

Fuente:

2.4.3. Multiplexación por división de frecuencia ortogonal

Aunque OFDM no forma parte de los escenarios de simulación desarrollados en el capítulo 3, esta subsección presenta la parte descriptiva del mismo. En la transmisión radioeléctrica terrestre suele darse el problema de la llamada "propagación multitrayecto", tal como se muestra esquemáticamente en la figura 2.9.

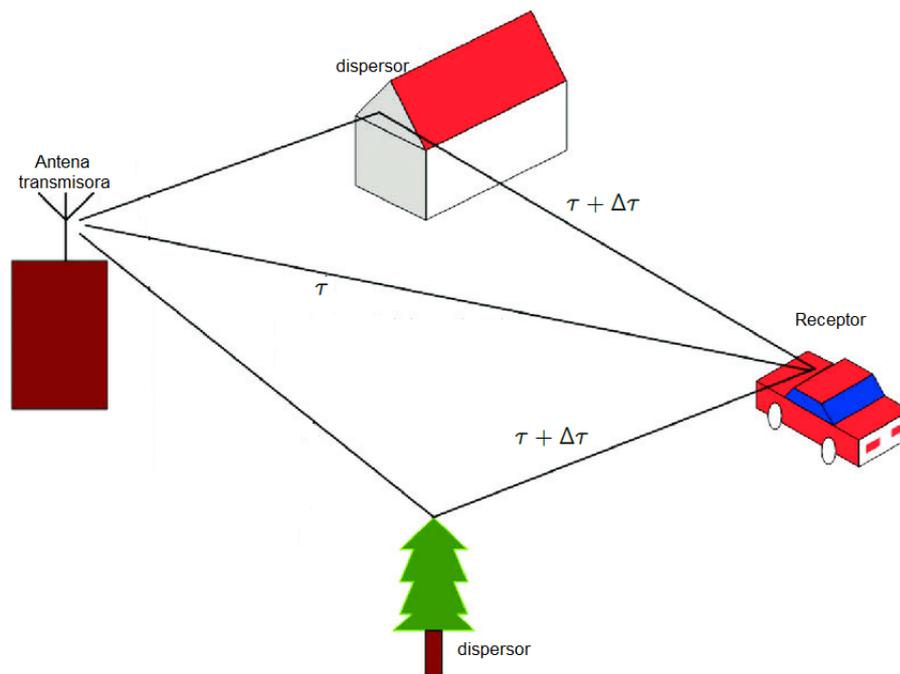


Figura 2. 9: Problema de la propagación multitrayecto.
Fuente: (Shooshtary, 2008)

De la figura 2.9 la señal llega al receptor por diferentes caminos y, por tanto, en diferentes momentos. Entre el emisor y el receptor, por ejemplo, hay un camino directo con el tiempo de propagación τ y otro camino de señal con el tiempo de propagación $\tau + \Delta\tau$, lo que da lugar a una respuesta al impulso de longitud $\Delta\tau$. Para una transmisión inequívoca con baja diafonía de símbolos, conviene entonces utilizar un método de modulación con una duración de símbolo T_s mayor que $\Delta\tau$ o una velocidad de símbolo menor que $1/\Delta\tau$.

Para transmitir altas velocidades de datos a bajas tasas de símbolos, se suele utilizar la modulación denominada "multiplexación por división de frecuencia ortogonal" (OFDM). Para ello, la señal modulada se divide en un número muy grande (por ejemplo, >1000) de subportadoras de alta frecuencia, cada una de las cuales se modula por separado con QPSK o QAM a una tasa de datos o de símbolos inferior.

La señal modulada $u_M(t)$ puede entonces representarse por $\underline{u}(t)$ de nuevo de forma similar a la ecuación 2.5:

$$u_M(t) = \Re[\underline{u}(t)e^{j\omega_r t}] \quad (2.13)$$

Donde,

$$\underline{u}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \underline{U}_n e^{j2\pi \cdot n \cdot \delta f \cdot t} \quad (2.14)$$

se compone de N subportadoras de las respectivas frecuencias $n \cdot \delta f$. Por ejemplo, \underline{U}_n según un QAM y permanece constante en cada caso para una duración de símbolo $T_s = 1/\delta f$. El espectro de una señal OFDM de este tipo se presenta en la figura 2.10.

Todo el espectro de la señal OFDM tiene una anchura de $N \cdot \delta f = f_n$. La transmisión de esta señal $u(t)$ es entonces discreta en el tiempo ($t = i \cdot \Delta t$ con intervalos de tiempo $\Delta t = \frac{1}{f_n} = \frac{1}{N \cdot \delta f} = \frac{T_s}{N}$).

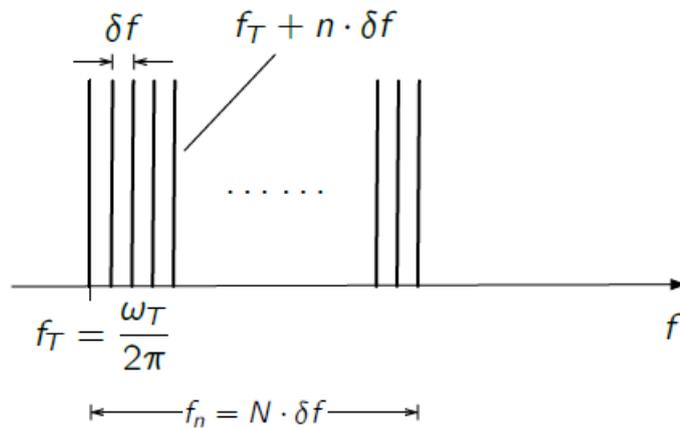


Figura 2. 10: Problema de la propagación multitrayecto.
Fuente: (Shooshtary, 2008)

Para $t = i \cdot \Delta t$ la ecuación 2.14 representa una transformada de Fourier discreta entre \underline{U}_n y $\underline{u}(i \cdot \Delta t)$, de modo que $\underline{u}(t)$ y, por tanto, la señal modulada $u_M(t)$ puede obtenerse fácilmente mediante una transformada inversa rápida de Fourier (IFFT) y una modulación de amplitud en cuadratura (QAM), tal como muestra en la figura 2.8 (véase también la figura 2.5).

En el receptor, los datos $\underline{U}_0 \dots \underline{U}_{N-1}$ pueden obtenerse de nuevo mediante una transformada de Fourier. En la consideración simplificada anterior, se ha asumido una tasa de símbolos de $\frac{1}{T_S} = \delta f$. De hecho, la tasa de símbolos transmitida en la práctica es algo menor porque se siguen introduciendo intervalos de guarda entre los símbolos. Para el ejemplo de propagación multitrayecto de la figura 2.8, el intervalo de guarda debe ser mayor para evitar la diafonía de los símbolos sucesivos.

Ejemplos de transmisión OFDM son, por ejemplo, difusión de audio digital (Digital Audio Broadcast, DAB), radio digital mundial (Digital Radio Mondiale, DRM), transmisión de video digital terrestre (DVB-T) o línea de abonado digital (Digital Subscriber Line, DSL).

Capítulo3: Diseño, Implementación y Análisis de Resultados

3.1. Descripción general del componente práctico.

La modulación y demodulación analógica y digital es tratada en la asignatura de Teoría de las Telecomunicaciones en la malla rediseñada. La comunicación utiliza circuitos electrónicos para transmitir, procesar y recibir información entre dos o más ubicaciones. Los componentes elementales de un sistema de comunicación comprenden una fuente, un medio o canal de comunicación, un destino y ruido. La información se transfiere al sistema en forma analógica o digital. Luego es procesado y decodificado por el receptor.

La información debe convertirse a formato digital antes de que pueda transmitirse electrónicamente. Una señal es aquella información que se ha convertido a formato digital. Las señales se dividen en dos formas; Señales analógicas y señales digitales. Las señales tienen variaciones continuas de voltaje y corriente. Por ejemplo, una voz humana es una señal analógica. Las señales que se transmiten a través de valores discretos escalonados como 0 y 1 son digitales.

Se requiere un esquema de modulación adecuado para transmitir varias señales a través de los medios. La modulación se refiere al acto de acumulación de información en una forma de onda electrónica u óptica. La información se puede agregar modificando la amplitud, frecuencia y fase de la forma de onda.

Se requiere modulación porque la mayoría de las veces, la información se produce y se transfiere a través de señales que tienen bajas frecuencias. Una señal de baja frecuencia es muy susceptible a la atenuación y, por lo tanto, no se puede transferir a lugares muy distantes. Para resolver este problema, la onda portadora original que tiene una frecuencia baja se superpone a una onda portadora de alta frecuencia.

El proceso de modulación también es necesario para reducir la cantidad de ruido presente en la banda de comunicación. Hay dos tipos de

modulación analógica y digital. La modulación analógica se ocupa de la voz, el video y las ondas regulares de las señales de banda base, mientras que las modulaciones digitales son con flujos de bits o símbolos de dispositivos informáticos como señales de banda base. La modulación analógica es el proceso de transferencia de una señal analógica de banda base de baja frecuencia, como una señal de audio o TV a través de una señal portadora de frecuencia superior. La señal de banda base es siempre analógica para esta modulación.

Hay tres propiedades de amplitud, frecuencia y fase de una señal portadora. Los tres tipos básicos de modulaciones analógicas son Modulación de amplitud (AM), Modulación de frecuencia (FM), Modulación de fase (PM). La modulación digital es similar a la modulación analógica, excepto que la señal de banda base es de nivel de amplitud discreta. Para la señal binaria, tiene solo dos niveles, ya sea alto o lógico 1 o bajo o lógico 0.

Los tres tipos de esquemas de modulación digital son: (a) modulación por desplazamiento de amplitud (ASK), (b) modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK), y (c) modulación por desplazamiento de fase (PSK).

3.2. Descripción general de los tipos de modulaciones a implementarse en OptiSystem.

A continuación, se describen brevemente los tipos de modulaciones que serán implementadas en entorno de simulación OptiSystem. Se elige este entorno de simulación para que los estudiantes de la carrera de Telecomunicaciones se familiaricen con este software muy utilizado en sistemas de comunicaciones ópticas. Existen numerosas publicaciones relacionadas con el uso del entorno de simulación OptiSystem, aunque también se podría implementar a nivel de programación de alto nivel y por bloques utilizando el software MatLab/Simulink. La figura 3.1 muestra el diagrama de bloques de la estructura general de una comunicación (alámbricas e inalámbrica) donde se emplea la modulación (transmisor) y demodulación (receptor).

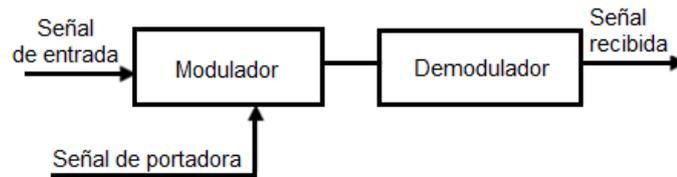


Figura 3. 1: Canales de frecuencia compartida entre WLAN y WSN.
Elaborado por: Autor.

a. Modulación de amplitud (AM).

AM es un tipo de modulación en la que la amplitud de la señal portadora se modula (cambia) en proporción a la señal del mensaje, mientras que la frecuencia y la fase se mantienen constantes.

b. Modulación de frecuencia (FM).

FM es un tipo de modulación en la que la frecuencia de la señal portadora se modula (cambia) en proporción a la señal del mensaje, mientras que la amplitud y la fase se mantienen constantes.

c. Modulación de fase (PM)

PM es un tipo de modulación donde la fase de la señal portadora varía de acuerdo con la baja frecuencia de la señal del mensaje, lo que se conoce como modulación de fase.

d. Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK).

Es una forma de modulación que representa datos digitales como variaciones en la amplitud de una onda portadora. La amplitud de una señal portadora analógica varía siguiendo el flujo de bits (señal de modulación), manteniendo constante la frecuencia y la fase. Este esquema de modulación digital se utiliza para transmitir datos digitales a través de fibra óptica, aplicaciones de comunicación militar punto a punto, etc.

e. Modulación por desplazamiento de fase (PSK).

Es un esquema de modulación digital que transmite datos cambiando o modulando la fase de una señal de referencia (la onda portadora). PSK utiliza un número finito de fases a cada una de las cuales se le asigna un patrón único de bits binarios. Por lo general, cada fase codifica un número

igual de bits. La forma más simple de PSK como codificación por desplazamiento de fase binaria (BPSK).

El presente componente práctico del examen complejo ilustra el diseño de esquemas de modulación analógica en amplitud (AM), en frecuencia (FM) y de fase (PM) y de los esquemas de modulación digital, por desplazamiento de amplitud (ASK), por desplazamiento de frecuencia (FSK), y por desplazamiento de fase (PSK) utilizando moduladores y demoduladores analógicos sobre la plataforma de simulación OptiSystem 16.0. La siguiente sección se da una breve idea sobre el diseño experimental de los esquemas de modulación AM, FM, PM, ASK, FSK y PSK. La señal de entrada y salida para cada esquema de modulación ha sido determinada y mostrada en la sección 3.4. Finalmente, se da la conclusión basada en los resultados experimentales.

3.3. Descripción experimental: Diseño de los escenarios de simulación.

En esta sección se presentan los diseños de los escenarios de simulación de esquemas de modulación ya indicado utilizando la plataforma de simulación OptiSystem 16.0. Se han utilizado moduladores y demoduladores analógicos y digitales para demostrar que la parte experimental mediante simulación es la misma que la aprendida en la parte teórica. Los diseños de los esquemas de modulación AM, FM, PM, ASK, FSK y PSK se muestran en las figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7, respectivamente. La figura 3.2 muestra el diseño de modulación y demodulación en amplitud utilizando el entorno de simulación OptiSystem.

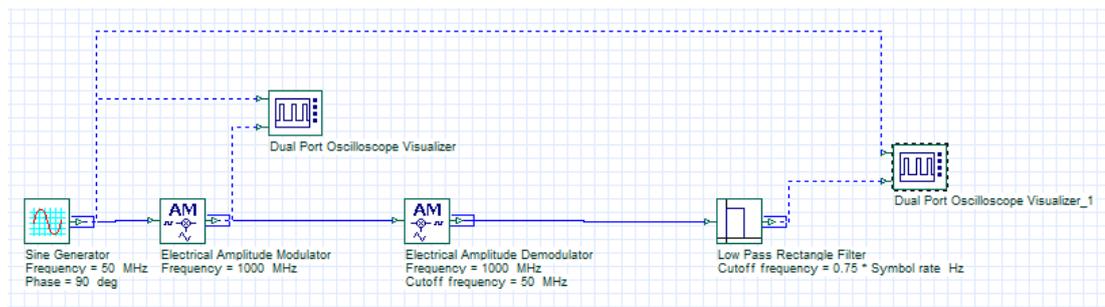


Figura 3. 2: Diseño de modulación de amplitud (AM) eléctrica
Elaborado por: Autor.

En la tabla 3.1 se da la descripción de los componentes y sus especificaciones para el esquema de modulación en amplitud. Los componentes del sistema implementado son idénticos en caso, lo que se modifica es el tipo de modulador/demodulador tanto analógica como digital utilizando el software de simulación OptiSystem.

Tabla 3. 1: Componentes y especificaciones de simulación de AM.

Componentes	Especificaciones
Frecuencia del generados de señales analógicas	50 MHz
Frecuencia del modulador	1000 MHz
Ganancia	1 dB
Frecuencia del demodulador y frecuencia de corte	1000 MHz y 50 MHz
Tipo de filtrado	Filtro de paso bajo rectangular
Visualizador de resultados	Osciloscopio de doble puerto

Elaborado por: Autor.

La figura 3.3 muestra el diseño de modulación y demodulación en frecuencia (FM) utilizando el entorno de simulación OptiSystem. La tabla 3.2 muestra los componentes y especificaciones de la simulación del modulador/demodulador en frecuencia analógica. La figura 3.4 muestra el diseño de la modulación/demodulación en fase.

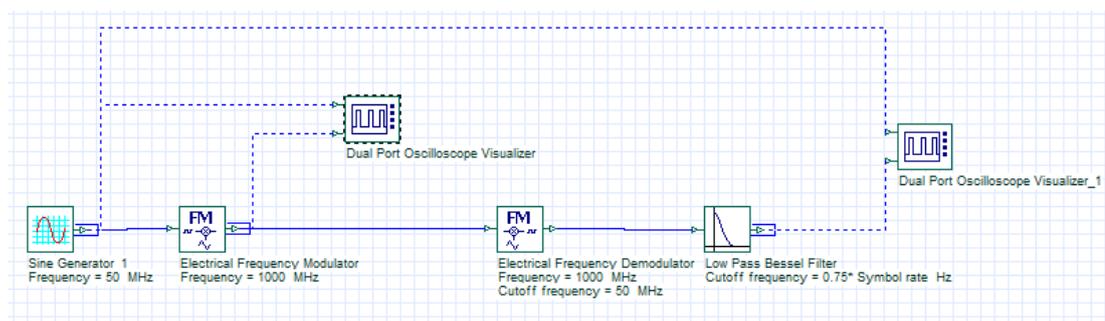


Figura 3. 3: Diseño de modulación de frecuencia eléctrica

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 2: Componentes y especificaciones de simulación de FM.

Componentes	Especificaciones
Frecuencia del generados de señales analógicas	50 MHz
Frecuencia del modulador	1000 MHz
Frecuencia del demodulador y frecuencia de corte	1000 MHz y 50 MHz
Tipo de filtrado	Filtro de Bessel de paso bajo
Visualizador de resultados	Osciloscopio de doble puerto

Elaborado por: Autor.

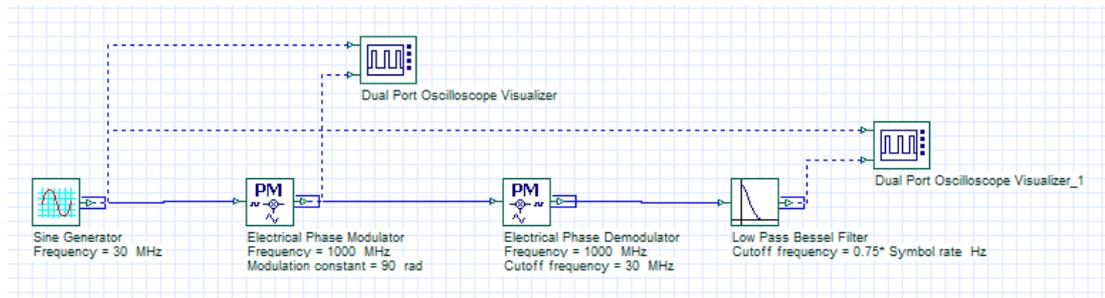


Figura 3. 4: Disposición de modulación de fase eléctrica

Elaborado por: Autor.

La tabla 3.3 muestra los componentes y especificaciones de la simulación del modulador/demodulador en fase (PM) analógica.

Tabla 3. 3: Componentes y especificaciones de simulación de PM.

Componentes	Especificaciones
Frecuencia del generados de señales analógicas	50 MHz
Frecuencia del modulador y constante de modulación	1000 MHz y 90 rad
Frecuencia del demodulador y frecuencia de corte	1000 MHz y 50 MHz
Tipo de filtrado	Filtro de Bessel de paso bajo
Visualizador de resultados	Osciloscopio de doble puerto

Elaborado por: Autor.

La figura 3.5 muestra el diseño de modulación/demodulación por desplazamiento de amplitud (ASK) utilizando el entorno de simulación OptiSystem. En este tipo de modulación se sigue utilizando el modulador/demodulador en amplitud (AM) con la diferencia que se tiene como datos de entradas digitales y no analógicos. La tabla 3.4 muestra los componentes y especificaciones de la simulación del modulador/demodulador por desplazamiento en amplitud (ASK).

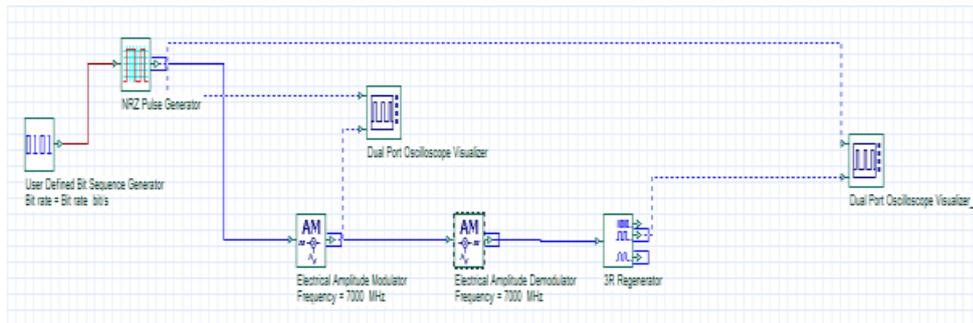


Figura 3. 5: Diseño de modulación ASK.
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 4: Componentes y especificaciones de simulación de ASK.

Componentes	Especificaciones
Generador de secuencias de bits	0101101110
Codificación	NRZ (no retorno a cero)
Frecuencia del modulador	7000 MHz
Frecuencia del demodulador y frecuencia de corte	7000 MHz y 1 MHz
Visualizador de resultados	Osciloscopio de doble puerto

Elaborado por: Autor.

La figura 3.6 muestra el diseño de modulación/demodulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) utilizando el entorno de simulación OptiSystem. En este tipo de modulación se sigue utilizando el modulador/demodulador en frecuencia (FM) con la diferencia que se tiene como datos de entradas digitales y no analógicos. La tabla 3.5 muestra los

componentes y especificaciones de la simulación del modulador/demodulador FSK.

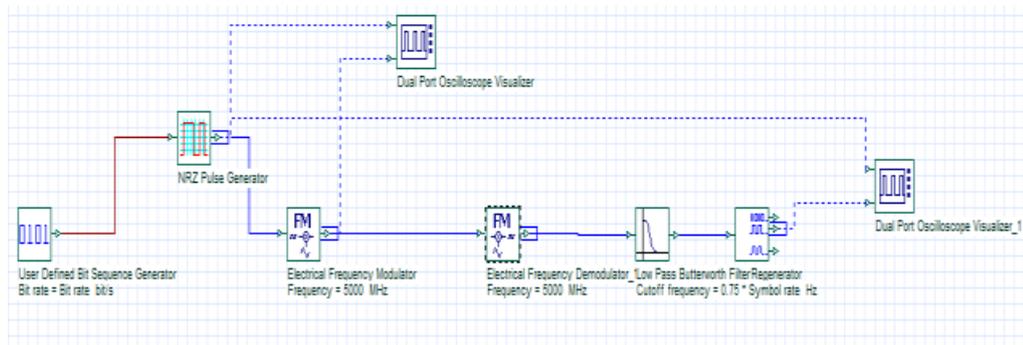


Figura 3. 6 Diseño de modulación FSK.
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 5: Componentes y especificaciones de simulación de FSK.

Componentes	Especificaciones
Generador de secuencias de bits	0101101110
Codificación	NRZ (no retorno a cero)
Frecuencia del modulador	5000 MHz
Frecuencia del demodulador y frecuencia de corte	5000 MHz
Tipo de filtrado	Filtro Butterworth de paso bajo
Visualizador de resultados	Osciloscopio de doble puerto

Elaborado por: Autor.

La figura 3.6 muestra el diseño de modulación/demodulación por desplazamiento de fase (PSK) utilizando el entorno de simulación OptiSystem. En este tipo de modulación se sigue utilizando el modulador/demodulador en fase (PM) con la diferencia que se tiene como datos de entradas digitales y no analógicos. La tabla 3.6 muestra los componentes y especificaciones de la simulación del modulador/demodulador PSK.

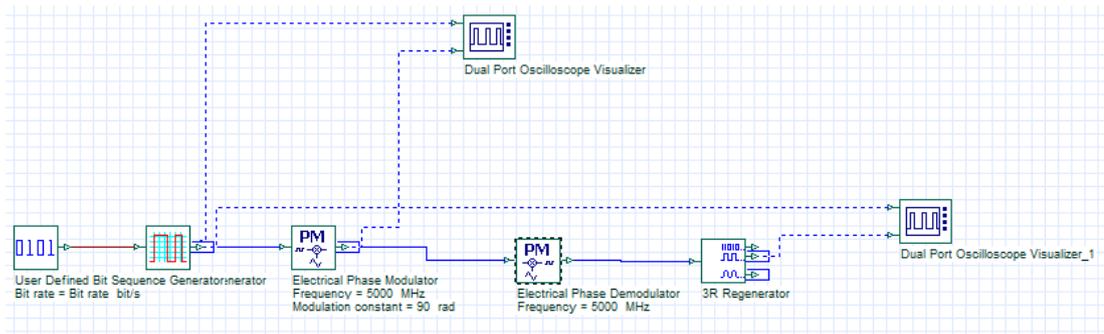


Figura 3. 7: Diseño de modulación PSK
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 6: Componentes y especificaciones de simulación de PSK.

Componentes	Especificaciones
Generador de secuencias de bits	0101101110
Codificación	NRZ (no retorno a cero)
Frecuencia del modulador	5000 MHz
Frecuencia del demodulador y frecuencia de corte	5000 MHz
Tipo de filtrado	Filtro Butterworth de paso bajo
Visualizador de resultados	Osciloscopio de doble puerto

Elaborado por: Autor.

Cabe indicar, que, en el lado del receptor, se han utilizado algunos filtros como el filtro rectangular de paso bajo, el filtro Bessel de paso bajo y el filtro Butterworth de paso bajo para eliminar las señales no deseadas. Para los esquemas ASK, FSK y PSK, se utiliza un regenerador 3R para remodelar, reajustar y reamplificar el pulso de datos.

3.4. Análisis de resultados obtenidos de los escenarios de simulación de esquemas de modulación,

Todas las simulaciones se realizan con el software OptiSystem 16.0. Para el análisis de sistemas de comunicación analógicos y digitales, se requiere recibir las señales transmitidas originalmente en el lado del receptor

sin ninguna alteración en la señal transmitida. Las señales de amplitud modulada y demodulada se muestran en la figura 3.8 y 3.9, respectivamente.

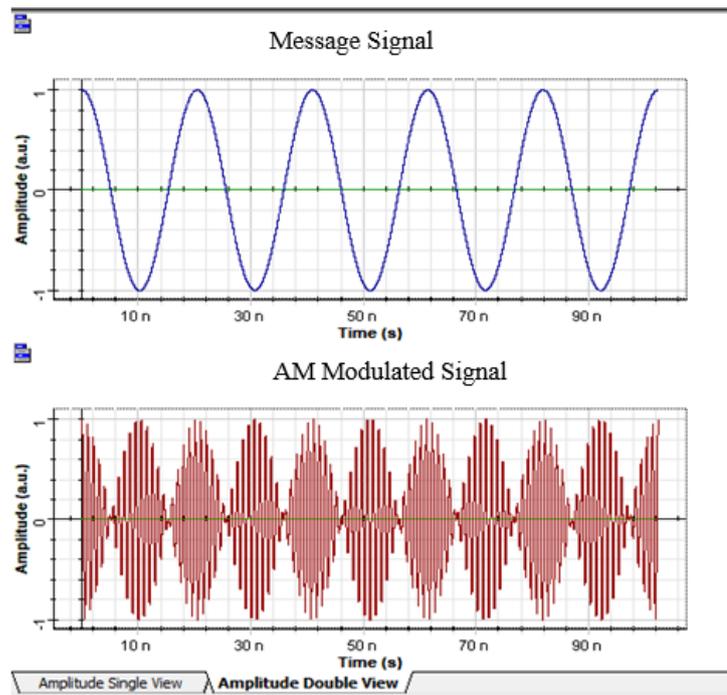


Figura 3. 8: Señal de mensaje y señal modulada AM
Elaborado por: Autor.

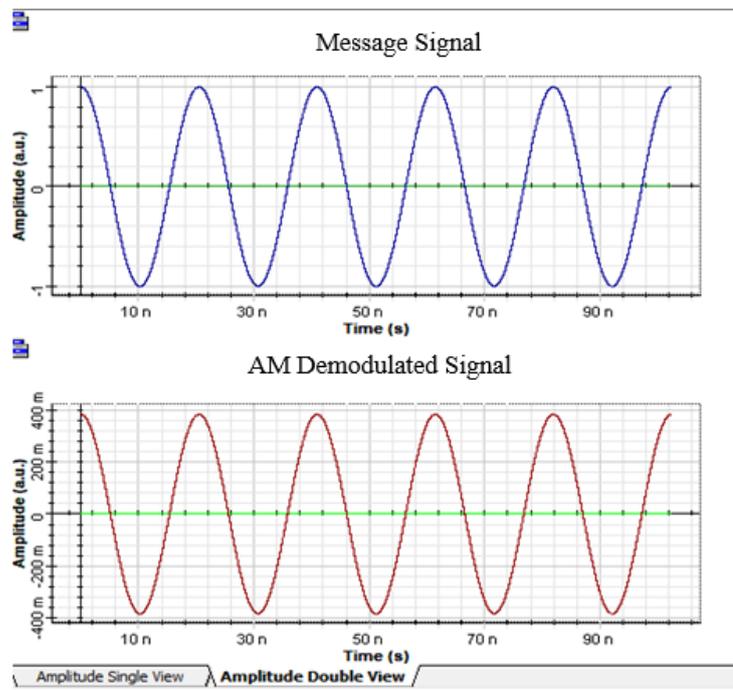


Figura 3. 9: Señal de mensaje y señal demodulada AM
Elaborado por: Autor.

Las señales de frecuencia modulada y demodulada se muestran en la figura 3.10 y 3.11, respectivamente.

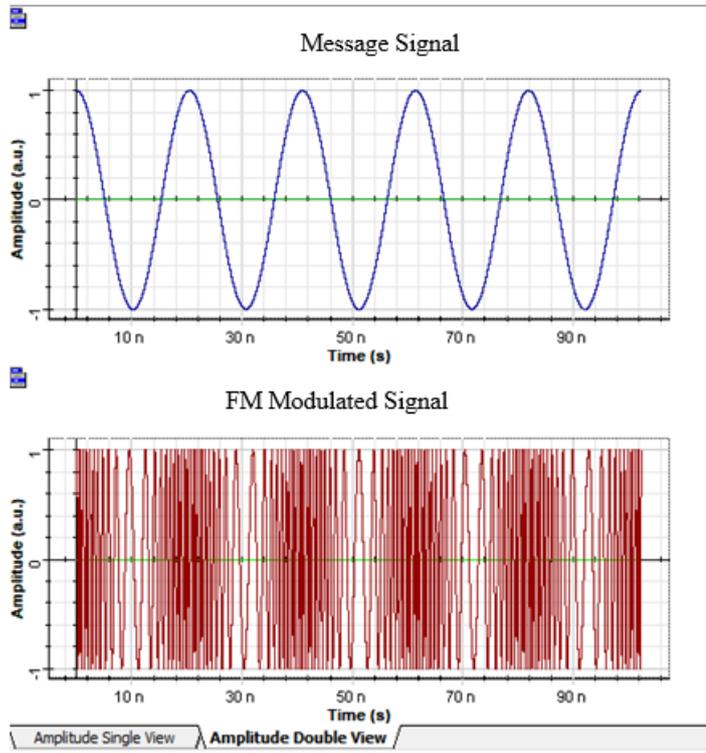


Figura 3. 10: Señal de mensaje y señal modulada FM
Elaborado por: Autor.

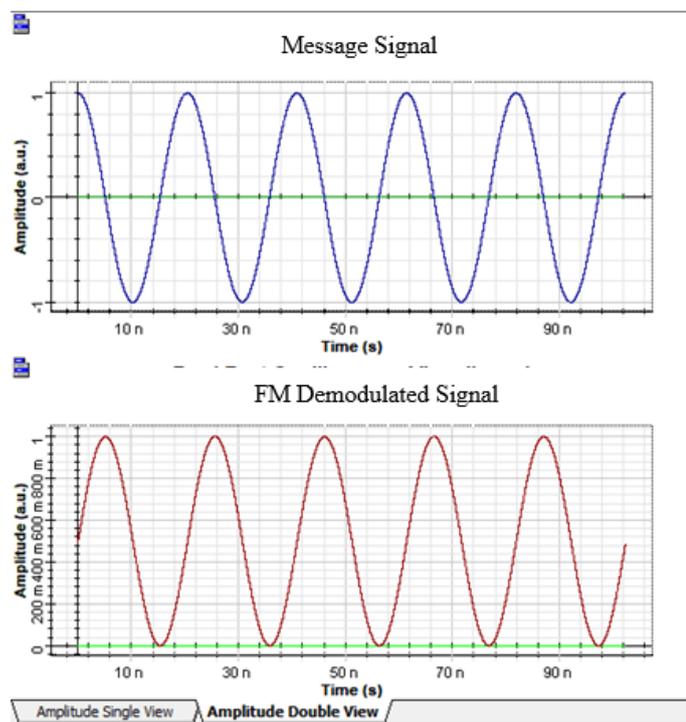


Figura 3. 11: Señal de mensaje y señal demodulada de FM
Elaborado por: Autor.

Las señales de fase modulada y demodulada se muestran en la figura 3.12 y 3.13, respectivamente.

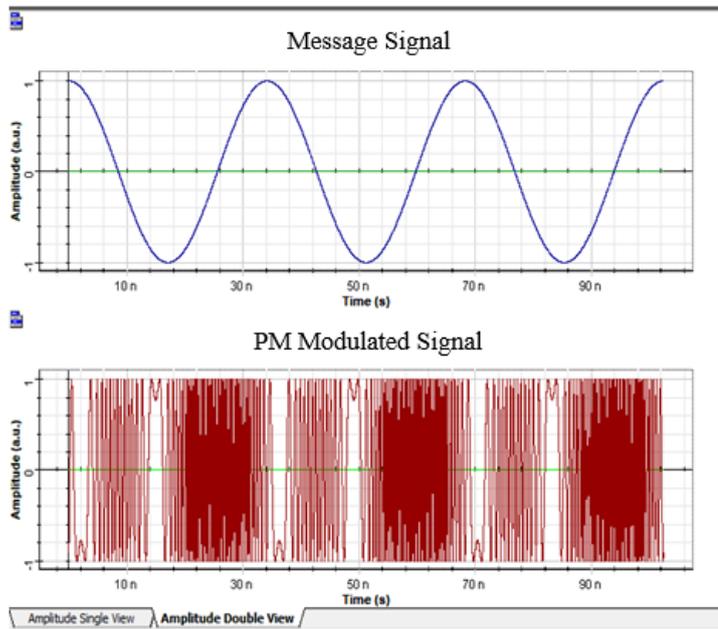


Figura 3. 12: Señal de mensaje y señal modulada PM
Elaborado por: Autor.

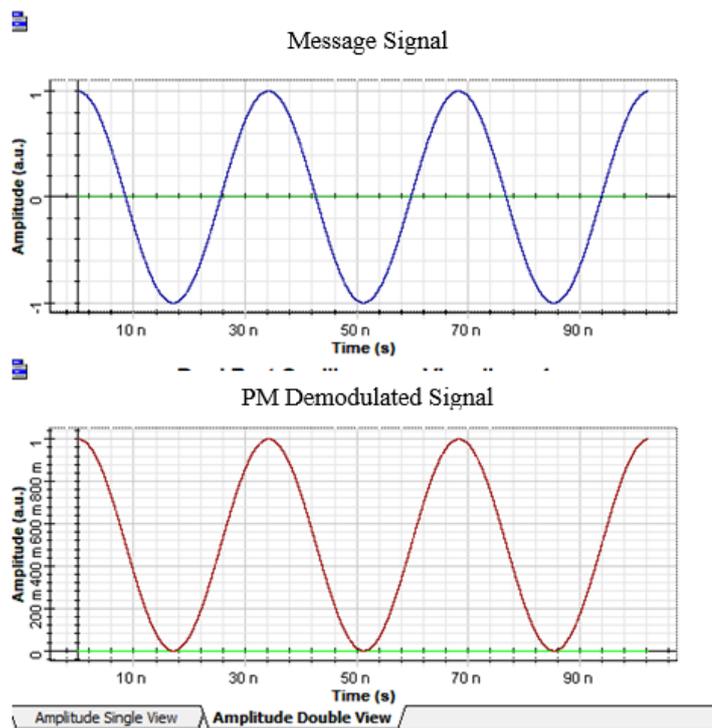


Figura 3. 13: Señal de mensaje y señal demodulada PM.
Elaborado por: Autor.

Como ya se mencionó, se ha diseñado la modulación y demodulación ASK, FSK, y PSK utilizando el mismo modulador y demodulador AM, FM y PM respectivamente. Las señales moduladas y demoduladas ASK se

muestran en la figura 3.14 y 3.15, respectivamente. La entrada la proporciona un generador de secuencia de bits definido por el usuario.

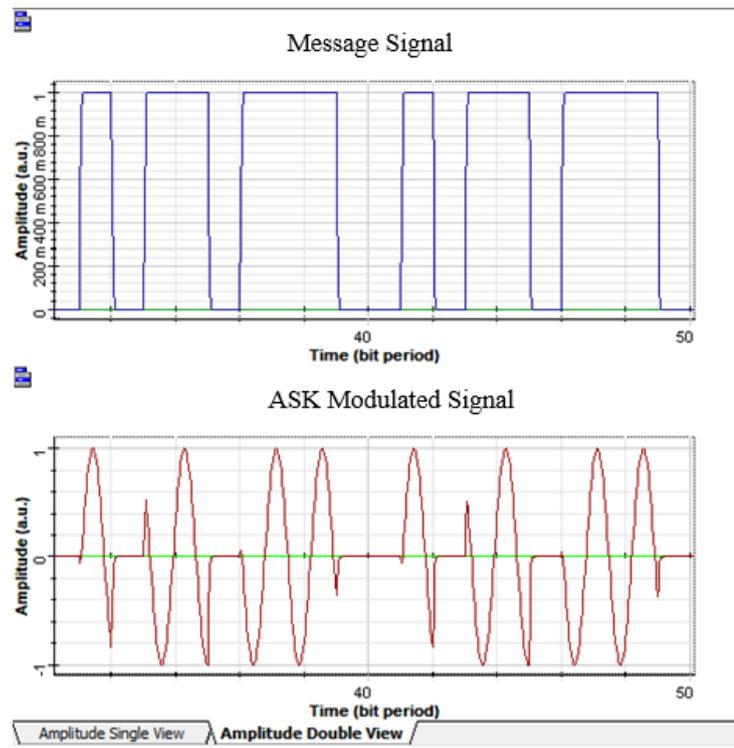


Figura 3. 14: Señal de mensaje y señal modulada ASK.
Elaborado por: Autor.

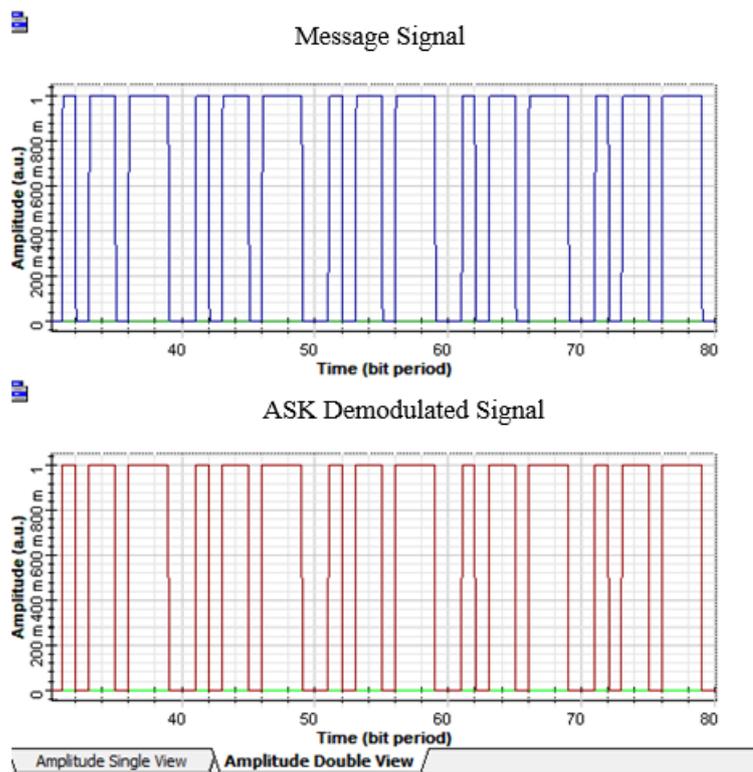


Figura 3. 15: Señal de mensaje y señal modulada ASK
Elaborado por: Autor.

Las señales moduladas y demoduladas FSK se muestran en la figura 3.16 y 3.17, respectivamente. Aquí, las señales de mensaje con valores binarios codificados en dos niveles de voltajes distintos "1" y "0" se aplican como control al módulo FSK. La forma de onda modulada FSK se logra sin utilizar un método complicado de adquisición de frecuencias.

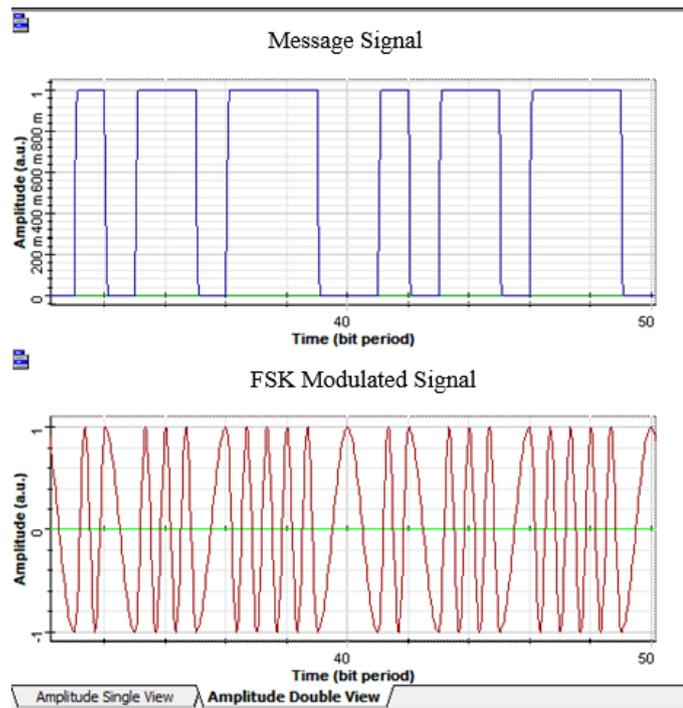


Figura 3. 16: Señal de mensaje y señal modulada FSK
Elaborado por: Autor.

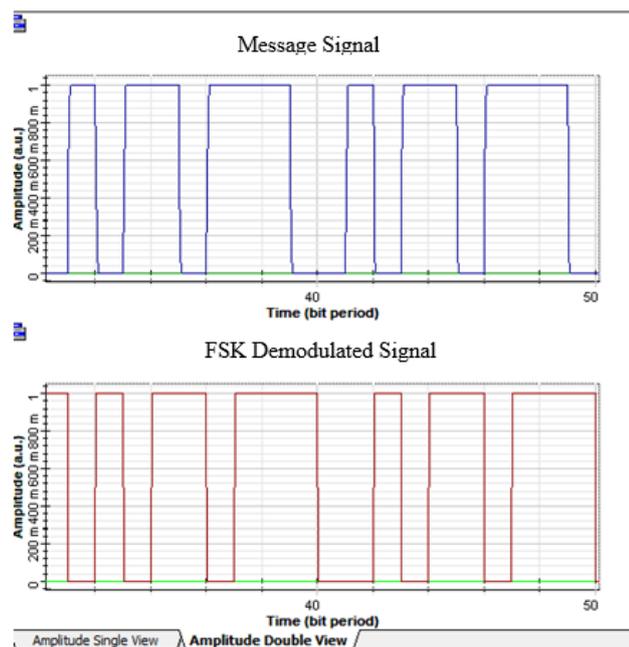


Figura 3. 17: Señal de mensaje y señal demodulada FSK
Elaborado por: Autor.

Las señales moduladas y demoduladas PSK se muestran en la figura 3.18 y 3.19, respectivamente. Siempre que haya un cambio en el borde de la señal del mensaje binario, se puede ver un desplazamiento de fase de 180° en la señal modulada PSK.

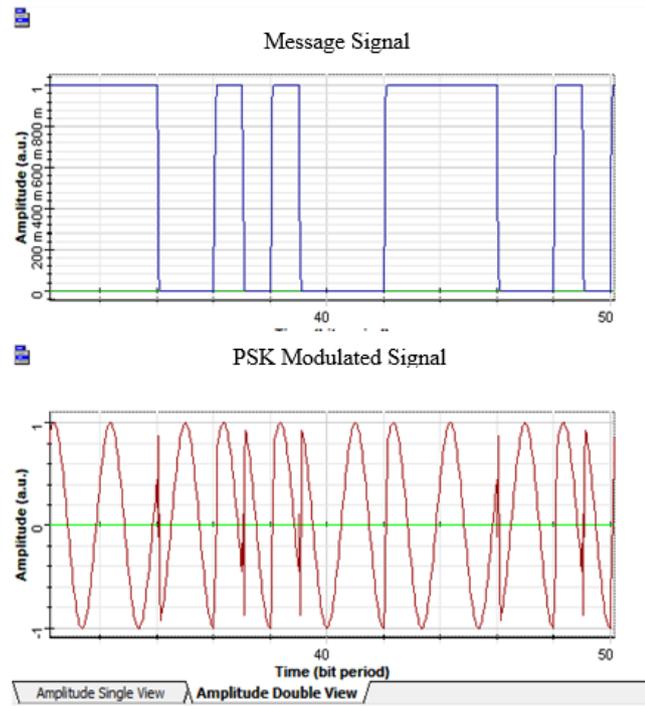


Figura 3. 18: Señal de mensaje y señal modulada PSK.
Elaborado por: Autor.

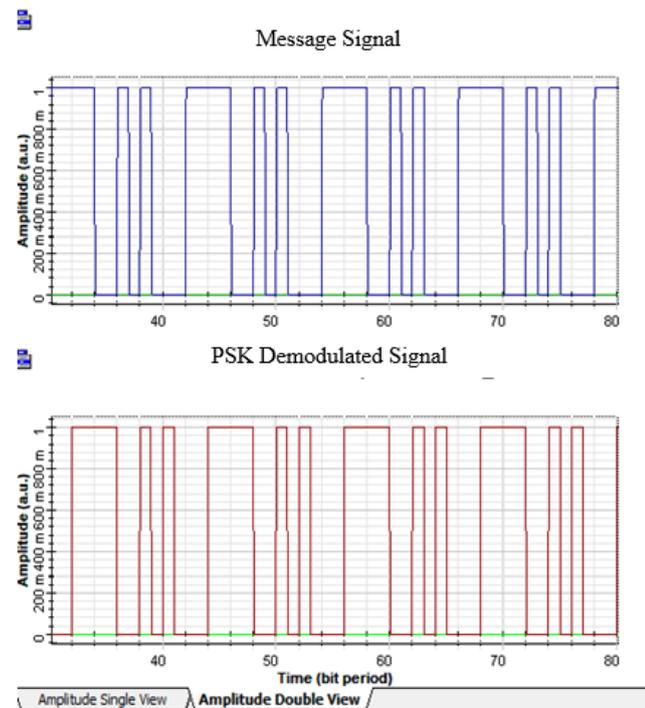


Figura 3. 19: Señal de mensaje y señal demodulada PSK.
Elaborado por: Autor.

CONCLUSIONES

- Cambiando la amplitud, la frecuencia o la fase, o una combinación de las tres características de la señal, se puede añadir información como modulación a una señal. Debido al aumento de la cantidad de información para la transmisión y la recepción, las técnicas de modulación de la señal han avanzado en sus capacidades para manejar más datos para una cantidad dada de ancho de banda ocupado, aunque también se han vuelto más complejas en el proceso.
- El análisis de la comunicación analógica y digital se realiza utilizando técnicas de modulación AM, FM, PM, ASK, FSK y PSK. La señal transmitida originalmente se recupera con éxito en el lado del receptor para todas las técnicas de modulación, pero en FSK y PSK la señal demodulada se desplaza ligeramente en comparación con sus respectivas señales transmitidas originales. El cambio se debe al efecto de algunos parámetros de diferentes componentes que se han utilizado para diseñar el esquema. Las técnicas de modulación digital también se han examinado utilizando la técnica de codificación RZ, pero NRZ ofrece un rango de comunicación más amplio en comparación con RZ.
- Estas técnicas se pueden probar agregando un bloque de ruido AWGN, lo que puede brindar un punto de vista más realista del esquema.

RECOMENDACIONES.

- Implementar escenarios de simulación de GPON utilizando diferentes métodos de modulación y demodulación sobre OptiSystem.
- Implementar escenarios de simulación de radio sobre fibra (RoF) utilizando diferentes métodos de modulación y demodulación mediante el entorno de simulación OptiSystem.

Bibliografía

- Barsanti, R. J., & Skinner, J. S. (2017). Amplitude Modulation Circuit Implementation for use in a Communication Course for Electrical Engineering Students. *American Society for Engineering Education*.
- Bernal, M. S. (2013). *Comunicaciones vía fibra óptica utilizando modulación de retardos ópticos como portadoras de información* [Tesis Doctoral]. Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica.
- Cabezas, A. F., & Pinto G., R. A. (2014). *Sistemas de comunicaciones ópticas* [Monografía]. Universidad Militar Nueva Granada.
- Che, D., Yuan, F., & Shieh, W. (2016). High-fidelity angle-modulated analog optical link. *Optics Express*, 24(15), 16320. <https://doi.org/10.1364/OE.24.016320>
- Chow, C. W., Yeh, C. H., Liu, Y. F., & Huang, P. Y. (2013). Mitigation of Optical Background Noise in Light-Emitting Diode (LED) Optical Wireless Communication Systems. *IEEE Photonics Journal*, 5(1), 7900307–7900307. <https://doi.org/10.1109/JPHOT.2013.2238618>
- Ruiz G., S. (2021). *Instalaciones de radiocomunicaciones: Digitalización de señales* [Apuntes de materias]. Electrónica y Telecomunicaciones. http://serbal.pntic.mec.es/srug0007/instalaciones_de_radiocomunicaciones.html
- Shooshtary, S. (2008). *Development of a MATLAB Simulation Environment for Vehicle-to-Vehicle and Infrastructure Communication Based on IEEE 802.11p* [Master's Thesis]. Universidad de Gävle.

Singh, S. P., Sengar, S., Bajpai, R., & Iyer, S. (2013). Next-Generation Variable-Line-Rate Optical WDM Networks: Issues and Challenges. *J. Opt. Commun.*, 34(4). <https://doi.org/10.1515/joc-2013-0050>



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Juárez Robinson, Iván Gerardo** con C.C: # 175081236-2 autor del Trabajo de Titulación: **Implementación de escenarios de simulación de técnicas de modulación y demodulación utilizando el software OptiSystem para prácticas de la materia Fundamentos de Telecomunicaciones** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 20 de septiembre del 2021

Iván Juárez R.

f. _____

Nombre: Juárez Robinson, Iván Gerardo

C.C: 175081236-2

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Implementación de escenarios de simulación de técnicas de modulación y demodulación utilizando el software OptiSystem para prácticas de la materia Fundamentos de Telecomunicaciones		
AUTOR(ES)	Juárez Robinson, Iván Gerardo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
PROGRAMA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de septiembre del 2021	No. DE PÁGINAS:	46
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fundamentos de Comunicación, Comunicaciones Ópticas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Modulación, Demodulación. Desplazamiento, Frecuencia, Fase y Amplitud.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente documento presenta el componente práctico “Implementación de escenarios de simulación de técnicas de modulación y demodulación utilizando el software OptiSystem para prácticas de la materia Fundamentos de Telecomunicaciones”. Dentro del alcance de este componente, se han incluido técnicas de modulación analógica y digital. Se examinaron las variantes de modulación y demodulación propuestos en el capítulo 3. Se ha explicado la modulación de la señal a transmitir, la demodulación de la señal a recibir, y especialmente las formas de estas operaciones, con la ayuda de ejemplos, diagramas de bloques, fórmulas y figuras. Después de preparar el terreno necesario para estudiar y evaluar la simulación, con la ayuda del entorno de simulación OptiSystem. El enfoque es responder preguntas como cuáles son los pasos de procesamiento necesarios para las diferentes técnicas de modulación, cómo calcular la potencia resultante y cómo obtener diagramas de constelaciones. Los gráficos y resultados obtenidos al respecto se detallan dentro del alcance del proyecto.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-80964059	E-mail: juarezr0793@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			