



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

TEMA:

**Implementación de esquemas de demodulación AM, FM,  
PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK utilizando la plataforma  
de simulación MatLab/Simulink**

AUTOR:

Mora Mesías, Alison Aileen

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

REVISOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

03 de Mayo del 2018



**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 **Mora Mesías, Alison Aileen** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

---

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

---

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 03 días del mes de Mayo del año 2018



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

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Mora Mesías, Alison Aileen**

**DECLARÓ QUE:**

El **componente práctico del examen complejo, Implementación de esquemas de demodulación AM, FM, PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK utilizando la plataforma de simulación MatLab/Simulink** previo a la obtención del Título de **Ingeniero en 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 03 días del mes de Mayo del año 2018

EL AUTOR

---

MORA MESÍAS, ALISON AILEEN



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

### **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Mora Mesías, Alison Aileen**

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 esquemas de demodulación AM, FM, PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK utilizando la plataforma de simulación MatLab/Simulink**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 03 días del mes de Mayo del año 2018

EL AUTOR

---

MORA MESÍAS, ALISON AILEEN

# REPORTE DE URKUND

**URKUND**

<b>Documento</b>	<a href="#">Mora Alison FINAL 2017C.docx</a> (D38124020)
<b>Presentado</b>	2018-04-29 18:47 (-05:00)
<b>Presentado por</b>	fernandopm23@hotmail.com
<b>Recibido</b>	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
<b>Mensaje</b>	Revisión Componente Práctico Alison Mora <a href="#">Mostrar el mensaje completo</a> 1% de estas 19 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

+	Categoría	Enlace/nombre de archivo	-
+		<a href="#">Tesis AST Revisión.docx</a>	-
+		<a href="#">libro introduccion a las comunicaciones f...</a>	-
Fuentes alternativas			
Fuentes no usadas			

Reiniciar Exportar Compartir

1 Advertencias

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Implementación de esquemas de demodulación AM, FM, PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK utilizando la plataforma de simulación MatLab/Simulink

AUTOR: Mora Mesías, Alison Aileen

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

REVISOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este proyecto a Dios, por brindarme la oportunidad de vivir y por estar conmigo guiando mis pasos, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante mi periodo de estudio.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Mis abuelos (QEPD), por haberme querido y apoyado siempre, esto también se lo debo a ustedes. A mi hermano, por estar conmigo y apoyarme siempre, te quiero mucho.

Todos mis amigos, por compartir los buenos y malos momentos. A mis maestros por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

**EL AUTOR**

**MORA MESÍAS, ALISON AILEEN**

## **AGRADECIMIENTO**

El camino no ha sido fácil, pero la experiencia que gané es invaluable, y es gracias a todos los que me han estado ayudando y guiando a lo largo de este camino que he alcanzado mí meta.

Por eso es necesario agradecerles. A Dios en primera instancia por darme fuerzas cada día para no decaer y por bendecir mis pasos, a mi mamá y papá por haberme educado por las sendas del bien y estar allí dándome palabras de ánimos y de confianza; a mi madre en especial por hacerme creer en mí y enseñarme a tener confianza en mis decisiones.

A mi tutor Ing. Fernando Palacios que sin su ayuda y conocimientos no hubiese sido posible realizar este proyecto. A mis amigos por haberme apoyado y brindado frases de aliento. A la empresa en la que laboro Mayent S.A por ser comprensivos y brindarme tiempo, para realizar mis trabajos de la universidad.

No existen palabras en el mundo que se acerquen a lo agradecida que estoy, y como dijo alguna vez Lao Tse: “La gratitud es la memoria del corazón”.

¡Y de todo corazón mil gracias!!

**EL AUTOR**

**MORA MESÍAS, ALISON AILEEN**



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

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_  
**MANUEL DE JESUS ROMERO PAZ**  
DECANO

f. \_\_\_\_\_  
**NÉSTOR ARMANDO ZAMORA CEDEÑO**  
COORDINADOR DE ÁREA

f. \_\_\_\_\_  
**LUIS SILVIO CÓRDOVA RIVADENEIRA**  
OPONENTE

## ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras .....	XI
Resumen .....	XIII
<b>CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO.....</b>	<b>14</b>
1.1. Introducción.....	14
1.2. Antecedentes. ....	14
1.3. Definición del problema. ....	16
1.4. Objetivo General. ....	16
1.5. Objetivos Específicos. ....	16
<b>CAPÍTULO 2: Teoría de la Comunicación. ....</b>	<b>17</b>
2.1. Definición de comunicación. ....	17
2.2. Frecuencia y ancho de banda. ....	18
2.3. Señales y espectros .....	19
2.4. Modulación.....	20
2.5. Tipos de modulación .....	21
2.5.1. Onda continua (CW) .....	21
2.5.2. Modulación de Pulso. ....	21
2.6. Sistemas de comunicación digital.....	22
2.6.1. Modulación de código de pulso.....	24
2.7. Capacidad de transmisión de la línea de comunicación y el concepto de Baud.....	27
2.8. Conceptos de comunicación de datos .....	29
2.8.1. Comunicación en paralelo y en serie .....	29
2.8.1.1. Comunicación serie asíncrona.....	29
2.8.1.2. Comunicación serial sincrónica.....	30
2.8.2. Comunicación unidireccional, semidireccional, full-dúplex ....	30
Capítulo 3: Desarrollo del componente práctico.....	31

3.1. Demodulación de amplitud .....	31
3.2. Demodulación de frecuencia. ....	34
3.3. Demodulación PWM.....	36
3.4. Demodulación FDM.....	40
3.5. Demodulación TDM.....	43
3.6. Demodulación ASK. ....	46
3.7. Demodulación FSK .....	48
3.8. Demodulación BPSK.....	50
Conclusiones. ....	53
Recomendaciones. ....	54
Referencias bibliográficas.....	55

## Índice de Figuras

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Diagrama esquemático de un sistema de comunicación sencillo. .....	17
Figura 2. 2: Transformadas de Fourier de algunas señales. ....	19
Figura 2. 3: Sistema de comunicación digital. ....	23
Figura 2. 4: Señal que representa a la modulación por desplazamiento de amplitud. ....	26
Figura 2. 5: Señal que representa a la modulación por desplazamiento de frecuencia. ....	27
Figura 2. 6: Señal que representa a la modulación por desplazamiento de fase. .....	27

### Capítulo 3:

Figura 3. 1: Modelado de la demodulación AM usando Simulink. ....	31
Figura 3. 2: Gráficas de la señal modulada y demodulada AM usando Simulink. .....	32
Figura 3. 3: Resultado de la modulación 100% con mensaje de 200 Hz y portadora de 10 kHz en Simulink. ....	33
Figura 3. 4: Resultado de la sobremodulación con mensaje de 200 Hz y portadora de 10 kHz en Simulink. ....	33
Figura 3. 5: Modelado de la demodulación FM usando Simulink. ....	34
Figura 3. 6: Señales FM y mensaje de 900 Hz en Simulink. ....	35
Figura 3. 7: Señales FM y mensaje de 400 Hz en Simulink. ....	35
Figura 3. 8: Espectro de frecuencia de la señal modulada de FM. ....	36
Figura 3. 9: Modelado del 1er método de la demodulación PWM usando Simulink. ....	36
Figura 3. 10: Gráficas de la señal modulada y demodulada PWM usando Simulink. ....	37
Figura 3. 11: Gráficas de la sobremodulación de PWM usando Simulink ....	38
Figura 3. 12: Modelado del 2do método de la demodulación PWM usando Simulink. ....	39
Figura 3. 13: Gráficas del 2do modelado de PWM usando Simulink. ....	39

Figura 3. 14: Gráficas de la sobremodulación de PWM del 2do método usando Simulink.....	40
Figura 3. 15: Modelado de la demodulación FDM usando Simulink. ....	41
Figura 3. 16: Gráficas de la demodulación FDM para señales de 100 y 200 Hz. .....	41
Figura 3. 17: Gráficas de la demodulación FDM para señales de 150 y 200 Hz. .....	42
Figura 3. 18: Gráficas de la demodulación FDM para señales entre 50 y 275 Hz.....	42
Figura 3. 19: Modelado de la demodulación TDM usando Simulink. ....	44
Figura 3. 20: Gráficas de la demodulación TDM con portadora de 4 kHz. ...	45
Figura 3. 21: Gráficas de la demodulación TDM con portadora de 800 Hz. .	45
Figura 3. 22: Gráficas de la demodulación TDM con portadora de 200 Hz. .	46
Figura 3. 23: Modelado de la demodulación ASK usando Simulink. ....	47
Figura 3. 24: Gráficas de la demodulación ASK con portadora de 4 kHz. ....	47
Figura 3. 25: Gráficas de la demodulación ASK con portadora de 200 Hz. ..	48
Figura 3. 26: Modelado de la demodulación FSK usando Simulink.....	49
Figura 3. 27: Gráficas de la demodulación FSK con portadoras de 1.9 y 1 kHz. .....	49
Figura 3. 28: Gráficas de la demodulación FSK con portadoras de 1.2 y 1 kHz .....	50
Figura 3. 29: Gráficas de la demodulación FSK con portadoras de 100 y 200 Hz.....	50
Figura 3. 30: Modelado de la demodulación BPSK usando Simulink. ....	51
Figura 3. 31: Señales modulada y demodulada BPSK.....	51
Figura 3. 32: Señales modulada y demodulada con portadora de 100 Hz. ..	52

## Resumen

En el presente documento se presenta el desarrollo del componente práctico del examen complejo denominado “Implementación de esquemas de demodulación AM, FM, PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK utilizando la plataforma de simulación MatLab/Simulink”. Para poder desarrollar el trabajo se realizó una búsqueda bibliográfica de trabajos que están relacionados con la modulación y demodulación de sistemas de comunicaciones. Los artículos revisados fueron de gran utilidad para la implementación de varios esquemas de demodulación y que también utilizaban la plataforma de simulación MatLab/Simulink. A partir de esto se describe la definición del problema a investigar, así como el objetivo general y objetivos específicos. La segunda parte se describe la teoría de la comunicación como parte fundamental del proceso de modulación y demodulación. Finalmente, se realizó el diseño y evaluación de diferentes modelos de simulación de la demodulación de los siguientes esquemas AM, FM, PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK.

**Palabras claves:** SIMULACIÓN, MODULACIÓN, DEMODULACIÓN, AMPLITUD, FRECUENCIA, FASE, WLAN

## **CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO**

### **1.1. Introducción.**

En la era de la información en rápido desarrollo de tecnología de comunicación digital y tecnología informática y la integración de redes de comunicación y computadoras, la ciencia y la tecnología de la información se han convertido en una nueva y poderosa fuerza motriz en el siglo 21. Para Thakare & Tembhrne, (2012) en el mundo de la comunicación, el multiplicador de mezcla de señales es uno de los bloques clave. Este bloque puede realizar diferentes procesos, tales como, la modulación, demodulación, circuito doblador de voltaje, siendo importantes en la comunicación. Estos circuitos se utilizan para aumentar la intensidad de la señal, de modo que la información en forma de señal pueda transmitir a larga distancia. La modulación y demodulación es un proceso importante de comunicación de audio.

Mathworks dispone de un software de aplicación matemática llamado Matlab, que incluye sistemas de comunicación y varias herramientas (Toolbox), que se convirtieron en las actuales aplicaciones de investigación científica e ingeniería. En la actualidad es uno de los paquetes de software más populares. Simulink es una herramienta de simulación visual en Matlab que proporciona un entorno integrado para el modelado de sistemas de comunicaciones, dinámicos y demás aplicaciones de ingeniería. En Simulink, no hay necesidad de muchos procedimientos de escritura, y solo a través de una simple operación del mouse y otros comandos para establecer un modelo de diagrama de bloques del sistema intuitivo, el usuario puede cambiar libremente el modelo de los parámetros del módulo, y puede ver inmediatamente el cambio de los parámetros, a fin de lograr un conveniente, rápido modelado y simulación.

### **1.2. Antecedentes.**

A continuación, se describen tres artículos que están relacionados con la modulación y demodulación fundamental en el presente componente práctico del examen complejo:

Los autores Palekar, Parikh, & Kulkarni, (2017) publicaron su trabajo denominado “Estudio de la modulación y demodulación por desplazamiento de fase M-ary usando el simulador MATLAB”. Este artículo presenta un programa de uso fácil para estudiar la transmisión y recepción de M-ary PSK. El programa permite al usuario establecer el valor de M y, por consiguiente, realizar el proceso M-ary PSK y muestra los diagramas de dispersión, los diagramas de constelación y los diagramas de ojo de las señales transmitidas y recibidas. La relación de señal a ruido también se calcula para la señal modulada. Para la implementación del programa se utilizó la plataforma de simulación MATLAB. Los resultados se compararon con los resultados teóricos. El objetivo del programa es simplificar el aprendizaje de la modulación y demodulación de PSK de una manera interactiva con el usuario.

El autor (Hu, 2017) publicó su trabajo denominado “Un método de simulación de modulación y demodulación 16 QAM basado en la plataforma Matlab”. En el artículo se presenta la simulación de la modulación y demodulación 16 QAM de señales elegidas al azar, así como la obtención de la imagen de simulación compilando y ejecutando el programa en matlab. Este método refleja el cambio de parámetros, así como el proceso de trabajo dinámico de modulación y demodulación, y también puede realizar el proceso de datos, forma de onda y análisis de rendimiento de la imagen obtenida al final, que tiene la ventaja de la intuición y la claridad.

Los autores Wang et al., (2017) publicaron su trabajo denominado “Un novedoso método de modulación y demodulación para energía inalámbrica y transmisión de datos”. Este artículo propone un nuevo esquema inalámbrico de transmisión de energía y datos (*Wireless Power and Data Transmission, WPDT*) para cumplir con los requisitos de comunicación en un sistema inalámbrico de transferencia de energía. El esquema toma prestada la idea de comunicación de línea de potencia que modula un portador de datos de alta frecuencia en una onda eléctrica de CA fundamental. El esquema proporciona varias características atractivas, tales como enlaces magnéticos compartidos, bajo costo, tamaño pequeño, alta densidad de potencia, interferencia débil en la transferencia de potencia y bits de datos altos, así como una tasa de errores

de bits limitada. La interferencia cruzada entre la transferencia de potencia y la transmisión de datos fueron analizados en profundidad. Proporcionaron métodos de diseño de parámetros relativos a las celdas de comunicación. El modelo de transmisión de datos también está diseñado para obtener un rendimiento óptimo del sistema. Ocho datos binarios 10011010 se transfieren correctamente a una tasa de bits de 28.33 kbps, validando la viabilidad del esquema WPDT propuesto.

### **1.3. Definición del problema.**

La evaluación de sistemas de modulación y demodulación en la parte práctica resultan ser costosas por los equipos que se requieren para la obtención de señales. Por tal motivo, surge la necesidad de la implementación de esquemas de demodulación AM, FM, PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK utilizando la plataforma de simulación MatLab/Simulink

### **1.4. Objetivo General.**

Realizar la implementación de esquemas de demodulación AM, FM, PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK utilizando la plataforma de simulación MatLab/Simulink

### **1.5. Objetivos Específicos.**

- a. Describir el estado del arte de los fundamentos de la teoría de la comunicación.
- b. Diseñar los modelos de simulación de diversos sistemas de demodulación usando la plataforma MatLab/Simulink.
- c. Evaluar los resultados obtenidos de los diversos sistemas de demodulación a través de Simulink.

## CAPÍTULO 2: Teoría de la Comunicación.

### 2.1. Definición de comunicación.

En general, la comunicación es intercambiar información entre personas o dispositivos usando signos y símbolos específicos. El diagrama de bloques del sistema de comunicación se muestra en la Figura 2.1

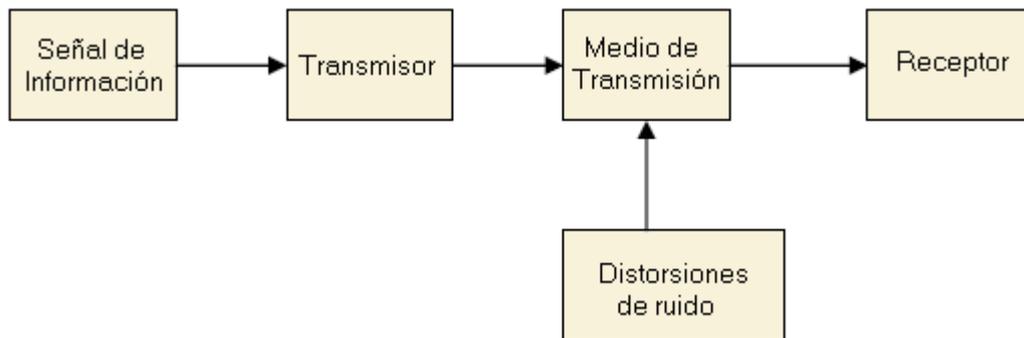


Figura 2. 1: Diagrama esquemático de un sistema de comunicación sencillo.

Fuente: (Shukla, Kumar, Jaiswal, & Yadav, 2013)

La definición de cada elemento en esta pestaña:

- **Transmisor:** traiga información al formulario apropiado para la línea de comunicación.
- **Medio de transmisión:** El medio eléctrico a lo largo de la distancia entre el transmisor y el receptor. Esto puede ser un cable ambiental, aire, fibra óptica o línea de alimentación.
- **Receptor:** convierte la señal del medio de transmisión al receptor. El receptor se demodula y / o descodifica para obtener el filtrado de la inmunidad al ruido fuera de banda, la amplificación de las pérdidas de transmisión, la ecualización para diferentes reducciones en los componentes de frecuencia y la primera marca.
- **Alteraciones y ruido originados en el medio de transmisión:** a continuación, se describen algunas de ellas.

La atenuación es más débil a medida que aumenta la distancia de comunicación y que no llega suficiente energía al receptor. La distorsión de la señal se debe a la diferente atenuación de las diferentes frecuencias de la señal que viaja en el medio.

El ruido es cualquier energía que perturba la marca y no está claro cuándo ingresar al sistema. La luz del sol, las lámparas fluorescentes y los sistemas de encendido del motor son fuentes de ruido. La información en un sistema de comunicación se puede extender como señales analógicas o digitales.

Las señales analógicas, tales como: voz humana, información de imagen de video o música; y las señales digitales, tales como, códigos alfanuméricos, números de códigos binarios, símbolos gráficos, códigos de operación del microprocesador o información de la base de datos. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la información de origen no es adecuada para la transmisión en su forma original.

Por esta razón, es necesario transformar la información de origen en una forma más adecuada primero en la transmisión. Por ejemplo, en los sistemas de transmisión digital, la información analógica se convierte en información digital antes de la transmisión. En el mismo campo, en los sistemas de transmisión analógica, los datos digitales se convierten en señales analógicas antes de la transmisión.

## **2.2. Frecuencia y ancho de banda.**

La información transmitida a lo largo de la línea de comunicación ya sea analógica o digital, es voltaje o corriente eléctrica. Este voltaje y valor de corriente cambian con el tiempo, y este cambio implica conocimiento. La señal transmitida está compuesta de varias frecuencias. Estas frecuencias se llaman “ancho de banda”. El ancho de banda es una de las características más importantes de la información analógica, y para la transmisión de información digital es el factor más importante que limita la transmisión de datos.

$$V(t) = A\cos(\omega t) = A\cos(2\pi f t)$$

f: frecuencia (Hz)

V (t): signo

w: frecuencia angular (rad / seg)

$T: l/f$  ve  $f:/T$

El rango de frecuencia de una señal periódica que incluye todos los componentes de frecuencia se denomina ancho de banda de esta señal. Es decir, el ancho de banda es la diferencia entre el componente de frecuencia más alta y el componente de frecuencia más baja, pero contiene ambas frecuencias finales. El ancho de banda también se puede denominar capacidad de carga de línea.

### 2.3. Señales y espectros.

Las señales de comunicación eléctrica son cantidades que cambian con el tiempo, como el voltaje y la corriente. Se puede mostrar una señal en el plano de tiempo, la misma señal también se puede mostrar en el plano de frecuencia como una señal que consiste en componentes sinusoidales en diferentes frecuencias. Este plano de frecuencia se llama espectro.

Cualquier signo físico se puede mostrar en dos planos. La amplitud se traza a lo largo del eje de tiempo en el dominio del tiempo. En el plano de frecuencia, la amplitud y la fase se trazan a lo largo del eje de frecuencia. Ambas formas de visualización son muy útiles para definir la marca.

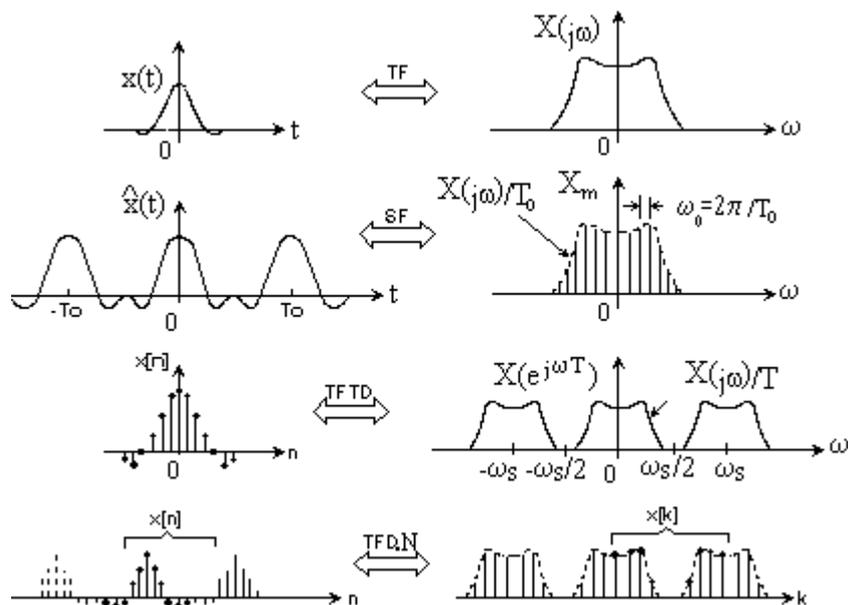


Figura 2. 2: Transformadas de Fourier de algunas señales.  
Fuente: (González Barajas, 2015)

El signo del plano de tiempo es la suma de los componentes sinusoidales espectrales. El análisis de Fourier proporciona la relación matemática entre las definiciones de tiempo y plano de frecuencia. La Figura 2.2 muestra ejemplos de señales en el dominio del tiempo y sus espectros correspondientes.

#### **2.4. Modulación.**

El sistema de comunicación que se utilice depende de las condiciones deseadas del sistema. Mientras tanto, se detecta el medio de transmisión (cables para señales eléctricas, atmósfera o espacio para ondas electromagnéticas) que se utilizará en los sistemas de comunicación. Incluso si la información está en la forma de una señal eléctrica, puede no estar en una forma adecuada para la transmisión.

Todas las señales eléctricas que cambian con el tiempo pueden no transmitirse de manera eficiente en un determinado entorno de transmisión. Por esta razón, la señal de información a transmitir debe procesarse en un formato adecuado para proporcionar una transmisión eficiente en el canal de transmisión. Este proceso se llama modulación.

El proceso de modulación consiste en cambiar los diversos parámetros de la onda portadora que lleva la información a una secuencia regular dependiendo de la señal de información. En el receptor, se requiere un proceso llamado demodulación para recuperar la señal de información. Para que el proceso de modulación sea útil, también debe ser posible realizar la demodulación.

Demodular la señal de información modulada de alguna otra manera nos sirve para poder recuperar la información que se envió originalmente muy cerca. Incluso bajo condiciones teóricas, es imposible recuperar en algunas formas de modulación utilizadas comúnmente, ya que la señal de información es la más importante. Con el proceso de modulación, estas dos limitaciones pueden colgarse fácilmente. A continuación, se indican los beneficios provistos por la modulación;

- Permite que se transmita mucha información a través del mismo canal de transmisión.
- La antena permite que el cuello se encoja.
- Reduzca el ruido y la interferencia.

## **2.5. Tipos de modulación**

La elección del enfoque modular es lo primero que se debe hacer en el diseño de un sistema de comunicación. Diversos tipos de modulación se pueden clasificar de acuerdo con la onda transportadora utilizada.

### **2.5.1. Onda continua (CW)**

Aquí, la portadora es una onda sinusoidal. Los tipos de modulación en esta clase se obtienen modificando los diversos parámetros de la onda portadora;

- Modulación de amplitud (AM): la amplitud de la onda portadora depende de la señal de información. (Tarifa Amaya, Del Risco Sánchez, Hurtado, & Carlos, 2012)
- Modulación de frecuencia (FM): la frecuencia de la onda portadora se cambia dependiendo de la señal de información.
- Modulación de fase (PM): la fase de la onda portadora se cambia dependiendo de la señal de información.
- Modulación de ángulo: tanto la fase como la frecuencia de la onda portadora se modifican dependiendo de la señal de información.

### **2.5.2. Modulación de Pulso.**

Este tipo de transporte no es permanente sino una secuencia de pulsos periódicos. Las modulaciones de este tipo son:

- Modulación de amplitud de pulso (PAM)
- Modulación de la posición del pulso (PPM)
- Modulación de ancho de pulso (PWM)
- Modulación de código de pulso (PCM)

Cuando la clasificación se realiza de acuerdo con la señal de información, se producen dos tipos de modulación.

- **Modulación analógica:** el tipo de modulación obtenido por la modulación de una señal de mensaje continuo.
- **Modulación digital:** la modulación de una señal de información discreta es el tipo de modulación resultante.

En algunas aplicaciones, se usa más de un método de modulación. Por ejemplo, una portadora modulada en amplitud puede entonces modular la frecuencia de otra portadora. La modulación de impulso no es adecuada para la transmisión con ondas electromagnéticas.

Por esta razón, si la transmisión se lleva a cabo con ondas electromagnéticas, la modulación de pulso generalmente sigue una modulación de onda continua. Por ejemplo, el uso de PAM - FM significa; La modulación de amplitud de pulso se aplica a la señal de información y esta señal modulada modula la frecuencia de una portadora sinusoidal.

## **2.6. Sistemas de comunicación digital.**

En el sistema de comunicación analógica, las señales analógicas definidas en forma de señales de tiempo continuo pueden enviarse directamente a la señal portadora modulada en el canal de comunicación y demodularse en el mismo canal. Alternativamente, la señal analógica puede convertirse en una señal digital, enviarse como un mensaje digital modulado y demodularse como una señal digital en el receptor.

La transmisión de una señal analógica convirtiéndola en una señal digital es ventajosa en términos de calidad y fiabilidad de la señal, ya que la propagación de la señal digital puede controlarse mejor que la propagación de la señal analógica. En particular, la propagación de la señal digital es importante en términos de evitar la perturbación del ruido y recibir la señal transmitida a larga distancia.

Otra razón para preferir los sistemas digitales es que, si la señal de mensaje analógico a enviar es demasiado, la señal puede reducirse antes de ser modulada convirtiéndola en señal digital, y los sistemas digitales son más

económicos que los sistemas analógicos durante el establecimiento. En las secciones de receptor y transmisor del sistema de comunicación digital, se realizan operaciones tales como comprimir y sintetizar la señal de mensaje, reabrir la compresión, codificación de canal y decodificación.

En el sistema de comunicación digital (véase la figura 2.3), hay partes básicas tales como fuente y convertidor, codificador de fuente, codificador de canal, modulador digital, canal, demodulador digital, decodificador de canal, decodificador de fuente y convertidor de salida.

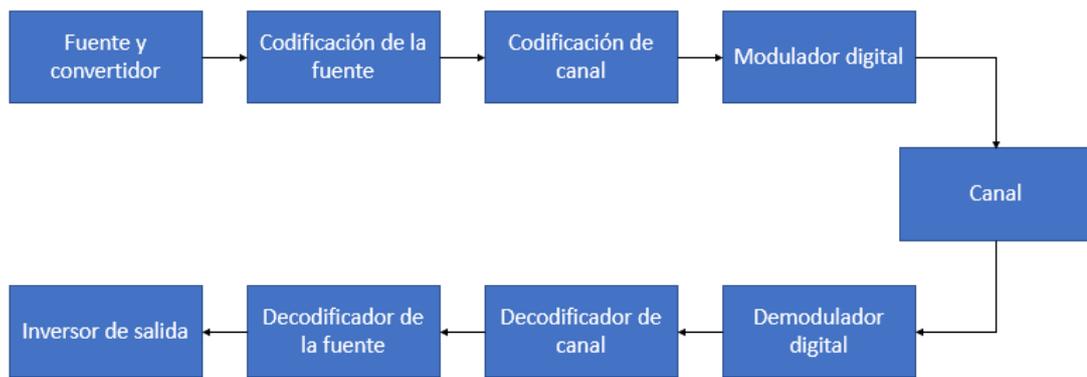


Figura 2. 3: Sistema de comunicación digital.  
Fuente: (González C. & Mezoa R., 2018)

El mensaje producido por la fuente generalmente se convierte en una secuencia numérica binaria. Idealmente, se espera que la información del mensaje ya no permanezca o sea al menos tan larga como la señal del mensaje en la salida de la fuente se traduzca en una secuencia de números binarios, binaria efectiva.

La conversión de información de fuente analógica o digital a secuencia numérica binaria se denomina codificación de fuente o compresión de información. La información del mensaje comprimido se envía a la sección de codificación del canal. Es obtener un estado en el cual la información residual que puede usarse para suprimir el ruido y otros efectos adversos que ocurren durante la propagación de la señal en el canal y en el receptor en la información de mensaje comprimida enviada por el receptor desde el canal deseado de la codificación de canal.

Por lo tanto, la fiabilidad y la calidad de la señal recibida aumentan. Por ejemplo, al codificar una secuencia de información binaria comprimida, una forma simple es repetir cada número binario  $m$  veces ( $m$  es un entero positivo). El mensaje en la secuencia numérica binaria a la salida de la sección de codificación de canal se envía a la sección del modulador digital desde la cual se transmite la señal de canal en una forma de onda de señal normal.

El demodulador digital en la parte de recepción del sistema de comunicación digital pasa las formas de onda dañadas en el canal a través de un proceso, reduciendo cada forma de onda a un solo número que puede representar la información estimada de la información transmitida. Estas secciones se completan cuando se ve una eliminación utilizando la parte sobrante enviada por la parte decodificada.

En el receptor, la medida en que el descodificador y el descodificador de canal funcionan a la frecuencia utilizada se mide por la tasa de error en la señal de mensaje codificada que se comprime. En general, la probabilidad de ocurrencia de error es la función de las características del canal tales como la codificación utilizada, la forma de onda utilizada para la señal de información que se enviará en el canal, la potencia de salida del transmisor, la intensidad del ruido y el método de descodificación utilizado con el carácter de demodulación.

Como resultado, la señal más cercana al original se obtiene mediante un proceso que es opuesto al proceso realizado en la sección del transmisor y se obtiene la posibilidad de distorsión en la mejor forma de obtener la señal original. En los sistemas de comunicación digital, la diferencia entre la señal original transmitida y la señal obtenida es la medida de la degradación.

### **2.6.1. Modulación de código de pulso**

Al menos el doble de la frecuencia de la señal de información se muestrea a intervalos regulares y luego se coloca entre ciertos pasos. Después de eso, el sistema de números binarios recibe el nombre de PCM - Pulse Code Modulation (PCM) y se lleva a cabo en tres etapas.

- Fase de muestreo
- Fase de secuencia
- Fase de codificación

La modulación de código de pulso (PCM) es la única técnica de transmisión digital entre las técnicas de modulación de pulsos. En PCM, los pulsos son de longitud constante y amplitud constante.

En la modulación de código de pulso (PCM), la señal analógica se muestrea y se convierte en un número binario en serie con una longitud constante para la transmisión. El número binario no coincide con la amplitud de la señal analógica.

El muestreo es el muestreo periódico, procesamiento y envío de muestras de la señal de información que se enviará. Los valores de muestra se cuantifican luego, es decir, se realiza una aproximación a cada valor de muestra desde los niveles predeterminados hasta el valor más cercano a ese valor. Luego, cada valor de muestra, o el nivel de cuantificación correspondiente, se codifica con una palabra de código binario.

En consecuencia, los valores de muestra se representan mediante una secuencia de palabras de código binario. La secuencia 0-1 resultante se transforma en una secuencia de pulsos. "1" indica el pulso y "0" indica la ausencia del pulso.

Los sistemas de comunicación digital incluyen técnicas de modulación analógica y digital y la transmisión de señales digitales y analógicas. En PCM, se utilizan signos binarios (dos niveles). La señal se transmite de un nivel de amplitud a otro (variación entre los niveles 1 y 0). El PCM se pulsa de acuerdo con la definición de portadora en la modulación de impulsos.

Como las señales moduladas por pulsos y las señales PCM son de baja frecuencia, la transmisión directa mediante propagación de ondas electromagnéticas prácticamente no es posible. La razón principal de esto es

que el tamaño de las antenas utilizadas en la práctica es adecuado para transmitir estas señales. Por esta razón, las modulaciones de pulso y PCM pueden modularse con una portadora de alta frecuencia y transmitirse a través de un canal.

En PCM, en lugar de cambiar el signo de un nivel de amplitud a otro, la amplitud, frecuencia o fase de una señal sinusoidal se puede cambiar de un valor a otro. Por lo tanto, una mezcla de modulación de pulso y modulación de onda continua da como resultado una modulación llamada "keying" - conversión - conmutación. Los sistemas de comunicación digital son:

- a) **Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK):** la modulación por desplazamiento de amplitud es la aplicación de señales de información binarias a la modulación de amplitud. La señal de portadora analógica se enciende y apaga de acuerdo con la información de datos digitales. Este tipo de modulación proporciona una transmisión a baja velocidad. (Pavani & Divya, 2017)

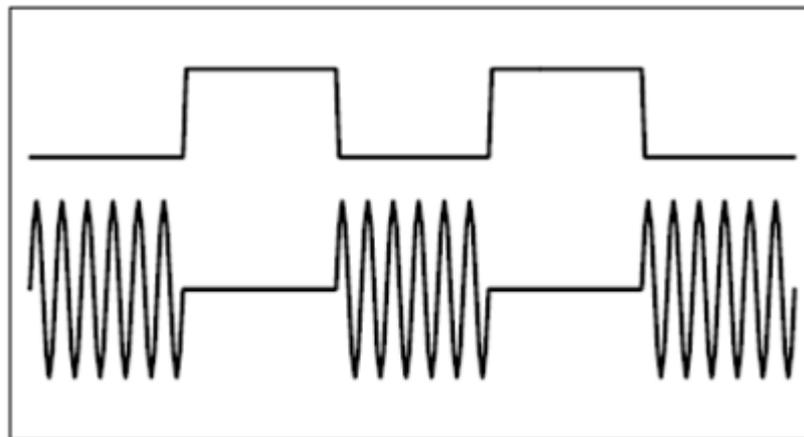


Figura 2. 4: Señal que representa a la modulación por desplazamiento de amplitud.  
Fuente: (Sushmaja & Noorbasha, 2013)

- b) **Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK):** la aplicación de señales de información binarias a la modulación de frecuencia. La frecuencia de modulación es la frecuencia de la portadora de acuerdo con la información digital. La frecuencia de portadora toma dos valores de frecuencia diferentes en la transmisión de información. Aquí también se muestra la buena conectividad del FM al ruido. FSK es mejor que ASK. (Pavani & Divya, 2017)

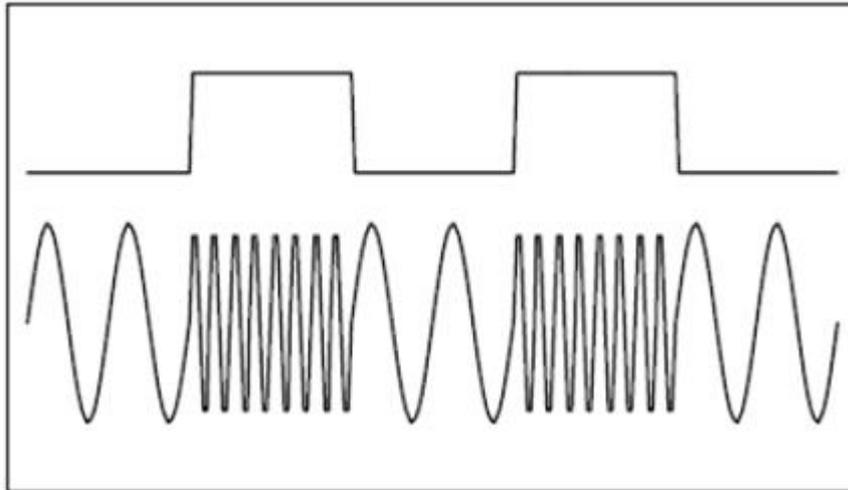


Figura 2. 5: Señal que representa a la modulación por desplazamiento de frecuencia.

Fuente: (Sushmaja & Noorbasha, 2013)

- c) Modulación por desplazamiento de fase (PSK):** la aplicación de señales de información binarias a la modulación de fase. De acuerdo con la información digital, la modulación de la fase de la frecuencia portadora es la modulación. La frecuencia portadora permanece constante en la transmisión de información. (Pavani & Divya, 2017)

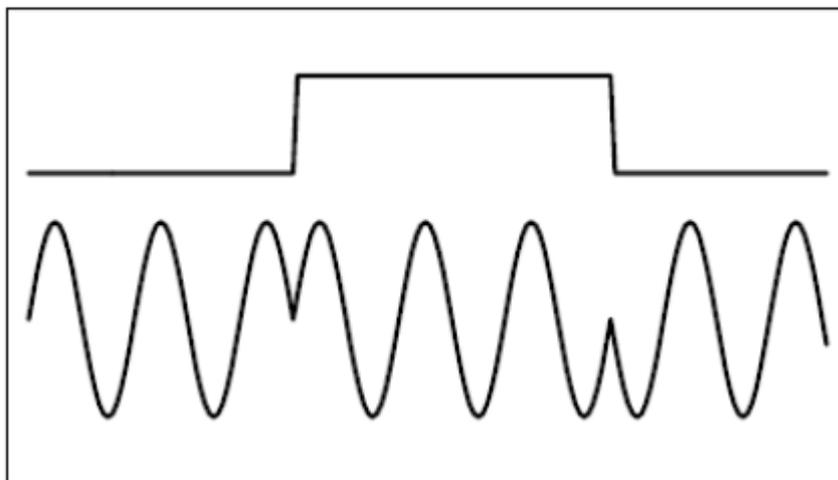


Figura 2. 6: Señal que representa a la modulación por desplazamiento de fase.

Fuente: (Sushmaja & Noorbasha, 2013)

## 2.7. Capacidad de transmisión de la línea de comunicación y el concepto de Baud.

Existe un límite fundamental en los datos a transmitir en una línea de comunicación. Los dos factores de limitación más importantes son el ancho de banda y el ruido de línea. La comunicación requiere un ancho de banda

suficiente para el espectro de la señal, de lo contrario habrá distorsiones en la señal. Cada línea de comunicación tiene un ancho de banda limitado. La señal digital, con el número de símbolos  $r$  en la comunicación de banda base, está relacionada con el ancho de banda de ancho de banda de transmisión  $B$  Hz.

$$B \geq r/2$$

El ancho de banda determina la tasa máxima de símbolos.

Las señales discretas se utilizan para las comunicaciones digitales. En sistemas binarios, hay dos valores, 1 y 0. Se puede aumentar la cantidad de datos a transmitir con símbolos. Por ejemplo, se puede hacer que 00, 01, 10 y 11 transporten dos bits de cada pulso. De acuerdo con este símbolo/seg (un Baud), vendrán dos bits. La unidad de la velocidad de símbolos se llama Baud.

$$C = r * \log_2 M$$

Donde,

M: número de símbolos

R: velocidad de símbolo, [Baud]

C: información transmitida, [bit/seg=bps].

Ruido de la marca; Se expresa como S/N (relación señal/ruido). La relación S/N generalmente se especifica en dB de la siguiente manera.

$$(S/N)dB = 10 * \log_{10}(s/N) dB$$

$$C = B * \log_2(1 + S/N)$$

Donde,

C: información máxima a transmitir (bps)

B: ancho de banda

Q: el poder del signo

N: potencia ruidosa

S / N: relación señal/ruido

La expresión anterior indica la capacidad de transmisión. Por consiguiente, una alta velocidad de bits requiere un gran ancho de banda, que

a su vez proporciona transmisión a una alta velocidad de símbolos (baudios). Se necesitan más símbolos para una mejor S / N.

## **2.8. Conceptos de comunicación de datos**

### **2.8.1. Comunicación en paralelo y en serie**

Hay dos métodos de comunicación de datos. Comunicación en paralelo y comunicación serial. Cada bit en la información que se transferirá al receptor se transfiere desde una ruta de transmisión separada. En el momento de la transmisión, existe la necesidad de "Datos listos" que indique que el transmisor comienza a transmitir bits y líneas de "Solicitud", lo que indica que el receptor puede recibir los bits transmitidos.

La comunicación paralela a menudo se usa entre unidades muy cercanas. Por ejemplo, se usa comunicación en paralelo entre la computadora y la impresora. La información sobre comunicaciones en serie se transfiere en orden de n bits en una sola línea. La velocidad de transferencia de marcas se mide en unidades de "Baud". Baud es la cantidad de señales discretas transmitidas por unidad de tiempo.

El intercambio de información a través de redes de computadoras se basa en comunicaciones seriales. La comunicación en serie en sí se divide en asincrónica y sincrónica.

#### **2.8.1.1. Comunicación serie asíncrona**

El transmisor necesita un pulso de reloj (reloj) por cada bit que enviará. La información por transmitir se divide en bloques de 7 u 8 bits llamados carácter. Se agrega un bit especial "bit de inicio" a la presión del personaje. Al final del personaje, se puede agregar un bit para encontrar el error, seguido del "bit de parada". El bit de inicio es "0" y el bit de parada es "1".

El último bit que se envía mantiene el bit de parada en el nivel "1" hasta que el emisor envía un nuevo carácter después de enviar el bit de parada. Como cada personaje comienza con un "0" en el bit de inicio, el receptor capta fácilmente la huella del personaje. El reloj separa los bits del carácter entrante

contando el período del pulso. Si hay incluso un cambio del 5% entre las frecuencias de los pulsos de reloj del transmisor y del receptor, el error de falla no se notará tan pronto como el transmisor del receptor esté sincronizado al comienzo de cada carácter.

#### **2.8.1.2. Comunicación serial sincrónica**

En la comunicación síncrona, los bits de inicio y parada no se imprimen. El transmisor envía la señal de reloj del receptor modulando los datos. El receptor pasa la secuencia de bits enviada por el transmisor a un "Circuito de bloqueo de fase" para obtener una señal de sincronización de igual frecuencia a la frecuencia del transmisor.

Al agregar prefijos y sufijos especiales al principio y al final de los bits de información en la comunicación síncrona, el receptor puede determinar la presión y el final de la información. Los sufijos no se pueden usar si las cadenas de información se envían después del sucesor. Los prefijos y sufijos deben tener la forma de una secuencia de bits especial que está prohibida o es imposible de encontrar en el campo de información.

#### **2.8.2. Comunicación unidireccional, semidireccional, full-dúplex**

En un sistema de comunicación, la transmisión de información puede ser unidireccional o bidireccional. "Simplex" es un sistema que transmite información solo en una dirección, y "Duplex" es un sistema que transmite información en ambas direcciones. El sistema de comunicación bidireccional se divide en "Half Duplex" y "Full Duplex".

En la comunicación unidireccional, la señal se transmite solo en una dirección. Los ejemplos incluyen emisiones de TV y radio. La señal se puede transmitir en dos direcciones, siempre que la comunicación semidúplex se realice en momentos diferentes. Algunos ejemplos son los sistemas de radio móvil. La comunicación bidireccional completa se puede transmitir en ambas direcciones al mismo tiempo. Un ejemplo es el teléfono.

### Capítulo 3: Desarrollo del componente práctico.

En esta sección, se dan los modelos de simulación de la demodulación diseñados en Matlab/Simulink. Este modelado está diseñado en el programa Matlab/Simulink "R2017a (64 bits)". La señal modulada se transfiere desde la entrada de audio de la computadora hasta la computadora. Esta señal es demodulada por el modelado diseñado en el software Simulink.

#### 3.1. Demodulación de amplitud

La figura 3.1 muestra el modelado de demodulación AM diseñado con el programa Matlab/Simulink. En este modelado, se utiliza el método de demodulación asíncrona como se menciona en la sección 2.1.1. El bloque "desde dispositivo de audio" en el modelado y la señal de la tarjeta de sonido de la computadora se muestrean para procesar en Simulink. El bloque "desde el dispositivo de audio" lee datos de audio en tiempo real de un dispositivo de audio (tarjeta de sonido) en la computadora. Admite transmisión de datos de 2 canales (estéreo) y de 1 canal (mono). Este bloque admite frecuencias de muestreo de 8000, 22050, 44100 o 48000 Hz, dependiendo de la función de la tarjeta de sonido para leer los datos.

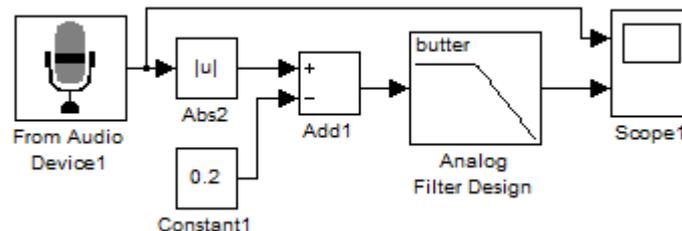


Figura 3. 1: Modelado de la demodulación AM usando Simulink.

Elaborado por: Autor.

La señal modulada pasa a través del bloque rectificador "Abs" (valor absoluto). Se agrega un valor constante a la salida del rectificador con el bloque "Add1". Al agregar un valor negativo, las componentes de CC de la señal se restan de la señal. La señal obtenida se pasa a través de un filtro de paso bajo, y la señal del mensaje se demodula. Para obtener la señal de mensaje, la banda de frecuencia del filtro debe seleccionarse adecuadamente.

La señal modulada se puede observar en el canal 1, y la señal del mensaje se puede observar en el canal 2. La Figura 3.2 muestra la señal modulada y la señal de mensaje resultante de la demodulación. En la figura, la frecuencia de la señal del mensaje es de 200 Hz, mientras que la frecuencia de la señal del transpondedor es de 10 kHz. De acuerdo con la siguiente ecuación, se calcula el valor de m:

$$m = \frac{V_m}{V_p} = 0.5$$

Donde,

$V_m$ , amplitud de la señal del mensaje, y

$V_p$ , amplitud de la señal de la portadora.

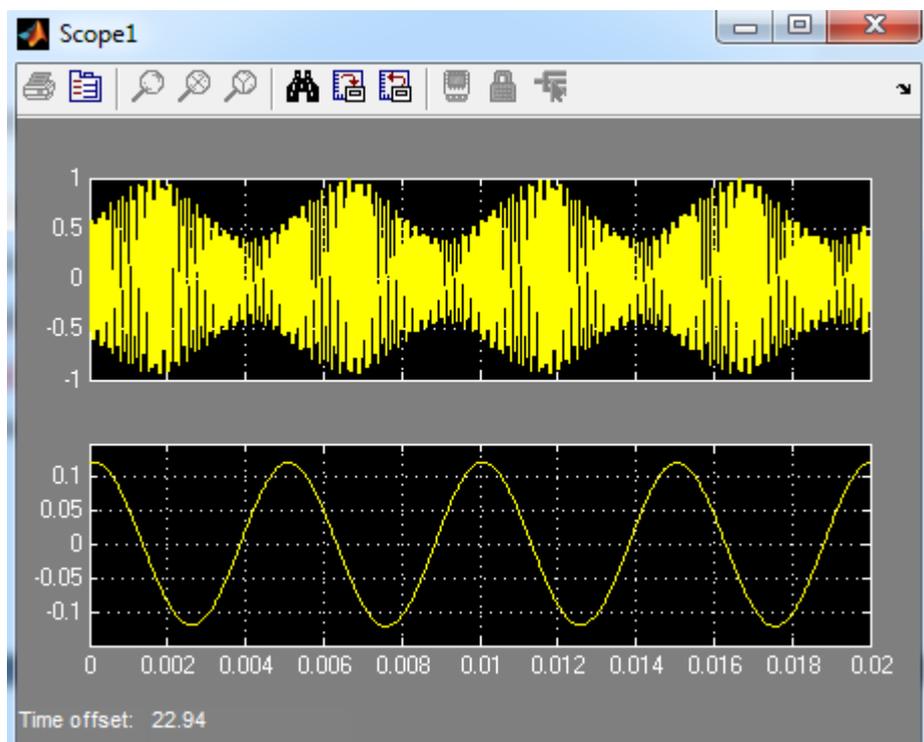


Figura 3. 2: Gráficas de la señal modulada y demodulada AM usando Simulink.  
Elaborado por: Autor

Al cambiar las amplitudes de las mismas señales de frecuencia, se obtiene un 100% de modulación. La señal de mensaje obtenida del 100% de la señal modulada y el resultado de la demodulación se muestran en la figura 3.3. Del mismo modo, la sobremodulación se obtuvo cambiando las amplitudes de las señales sin cambiar la información de la frecuencia. La señal modulada en un 100% y la señal de mensaje se muestran en la figura 3.4.

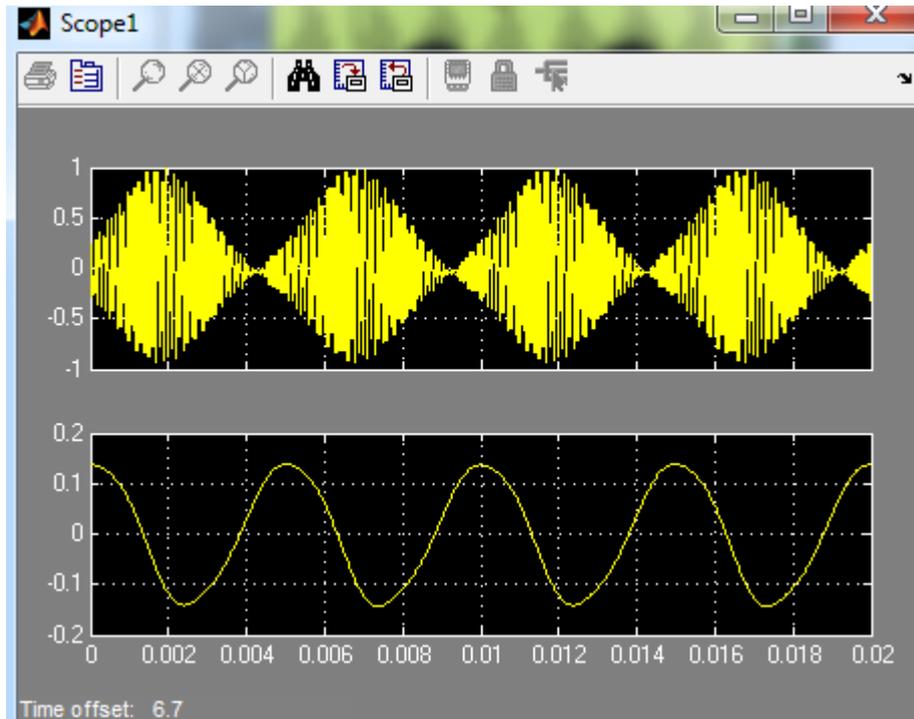


Figura 3. 3: Resultado de la modulación 100% con mensaje de 200 Hz y portadora de 10 kHz en Simulink.  
Elaborado por: Autor.

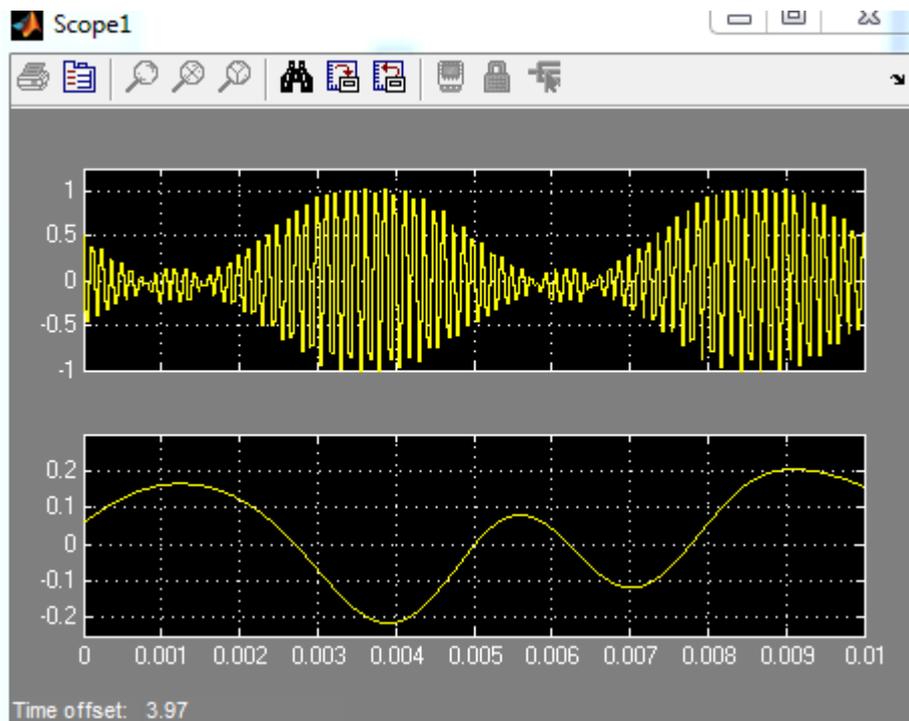


Figura 3. 4: Resultado de la sobremodulación con mensaje de 200 Hz y portadora de 10 kHz en Simulink.  
Elaborado por: Autor.

### 3.2. Demodulación de frecuencia.

El modelo de demodulación de FM con Simulink/Matlab se muestra en la figura 3.5. El modulado "From Audio Device" del bloque y la señal modulada de la tarjeta de sonido de la computadora se muestrean para su procesamiento en Simulink. Después la señal se pasa a través del filtro pasa banda diseñado con el bloque "Analog Filter Design". En esta figura, la señal modulada FM en forma de onda triangular o cuadrada se convierte en una señal sinusoidal. En el bloque "Derivative", la señal AM se obtiene tomando la derivada de la señal. Tal como ocurrió en la demodulación de AM, la señal de mensaje se obtiene usando el detector de envolvente. El bloque "Abs" recibe el valor absoluto de la señal y se comporta como un rectificador. La señal recibida desde la salida del rectificador se pasa a través del filtro pasa bajo para obtener la señal del mensaje. En el bloque "Scope" se puede ver en el canal 1 la señal modulada y en el canal 2 la señal de mensaje.

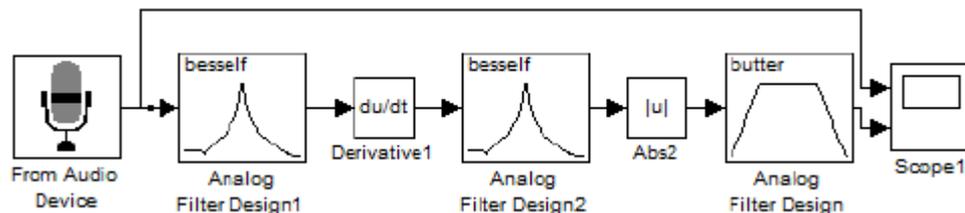


Figura 3. 5: Modelado de la demodulación FM usando Simulink.  
Elaborado por: Autor.

La salida gráfica del bloque "Scope" se muestra en la figura 3.6. La señal modulada de FM aparece como la salida del canal 1, mientras que la señal de mensaje de 900 Hz aparece como salida del canal 2. Mientras que, la figura 3.7 muestra la demodulación de la señal de mensaje de 400 Hz. El espectro de frecuencia de la señal modulada se muestra en la figura 3.8, cuya frecuencia central es de aproximadamente 7200 Hz.

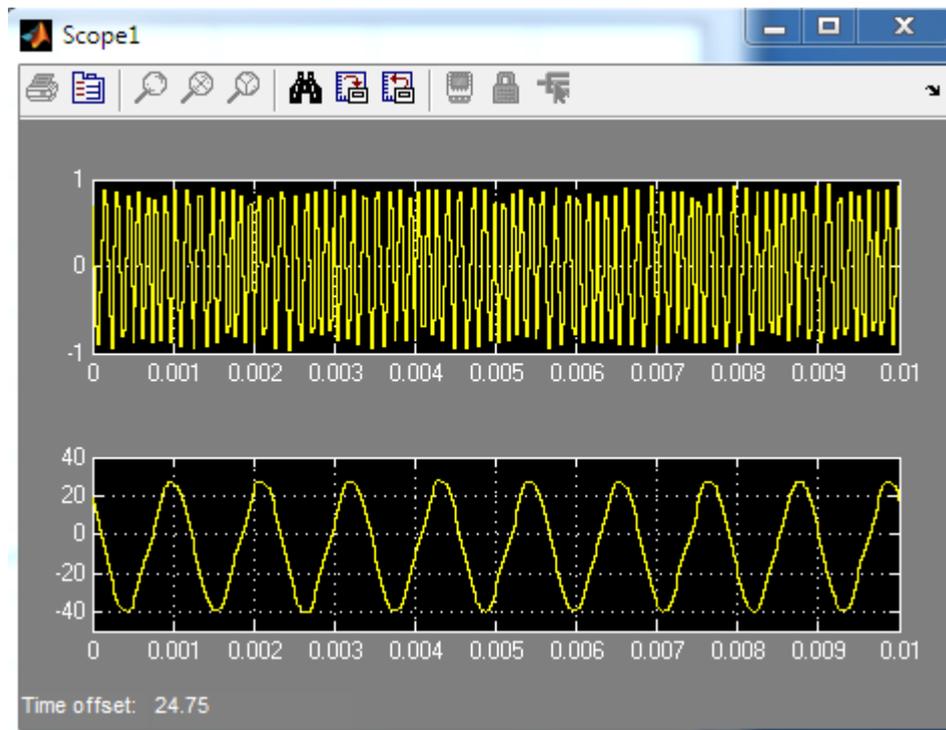


Figura 3. 6: Señales FM y mensaje de 900 Hz en Simulink.  
Elaborado por: Autor.

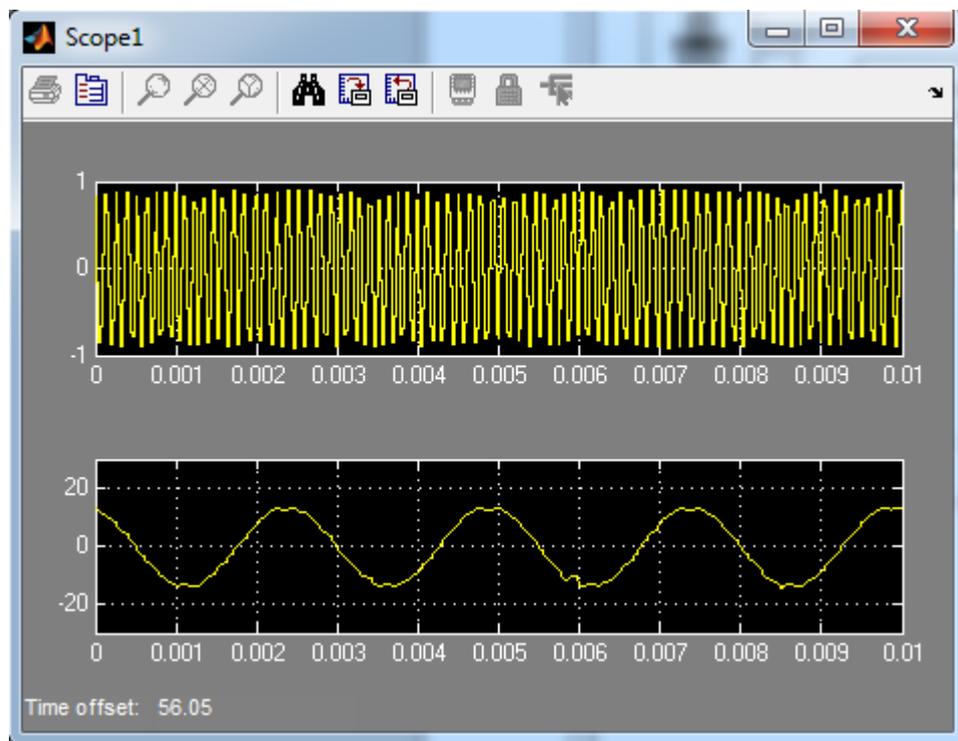


Figura 3. 7: Señales FM y mensaje de 400 Hz en Simulink.  
Elaborado por: Autor.

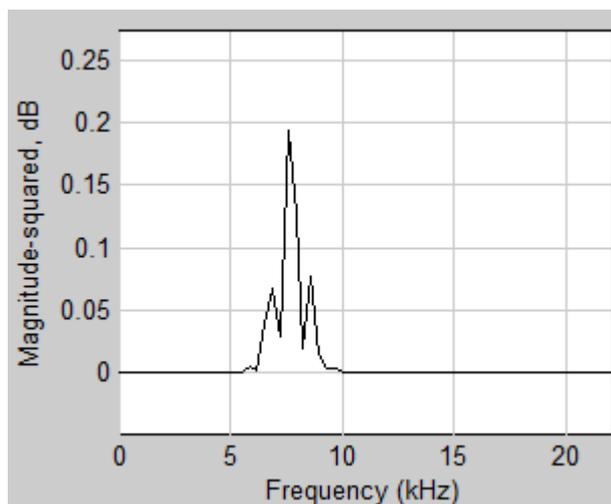


Figura 3. 8: Espectro de frecuencia de la señal modulada de FM.  
Elaborado por: Autor.

### 3.3. Demodulación PWM.

El modelo de demodulación PWM diseñado en Simulink/Matlab se muestra en la figura 3.9. Desde el bloque *"From Audio Device"*, la señal de audio se muestrea desde la tarjeta de sonido de la computadora y se muestra para su procesamiento en Simulink. El bloque *"Multiport Selector"* y la entrada de 2 canales de la tarjeta de sonido están separados y cada canal se procesa como una sola señal. Cuando la señal modulada se toma del canal 1, la señal de mensaje se recibe para hacer la comparación de 2 canales.

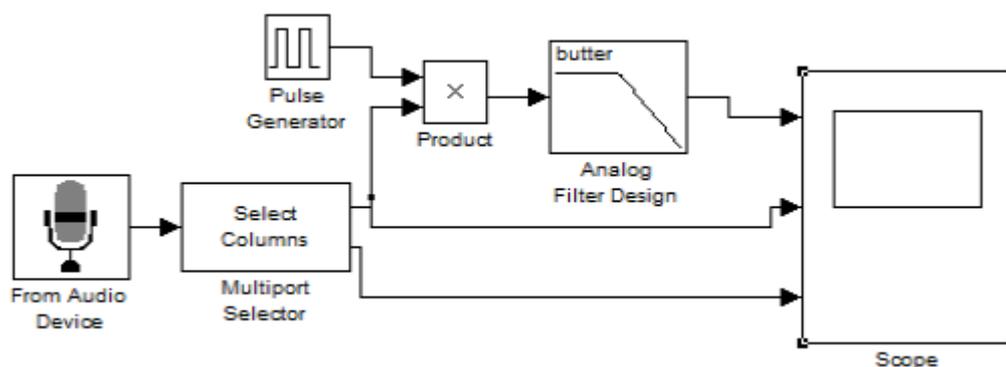


Figura 3. 9: Modelado del 1er método de la demodulación PWM usando Simulink.  
Elaborado por: Autor.

Hay 2 métodos en la demodulación PWM. En el primer método, la señal de la entrada de audio se multiplica en el bloque *"Product"* por la portadora reproducida en el bloque *"Pulse Generator"*. Este bloque generador de impulsos genera el pulso deseado. El bloque *"Product"* multiplica dos señales diferentes, una por una, como su nombre lo sugiere. La señal obtenida en la

salida del bloque "producto" se pasa a través del filtro pasa bajo diseñado en el bloque "Analog Filter Design" para obtener la señal de mensaje. Los filtros, ya sean, pasa bajo, alto o de banda se pueden diseñar con diferentes tipos de filtro en el espaciado de banda deseado. En la figura 3.10 una señal sinusoidal de 100 Hz es modulada por una onda triangular de 1 kHz. Se proporciona una señal sinusoidal de 100 Hz tanto antes como después de la demodulación.

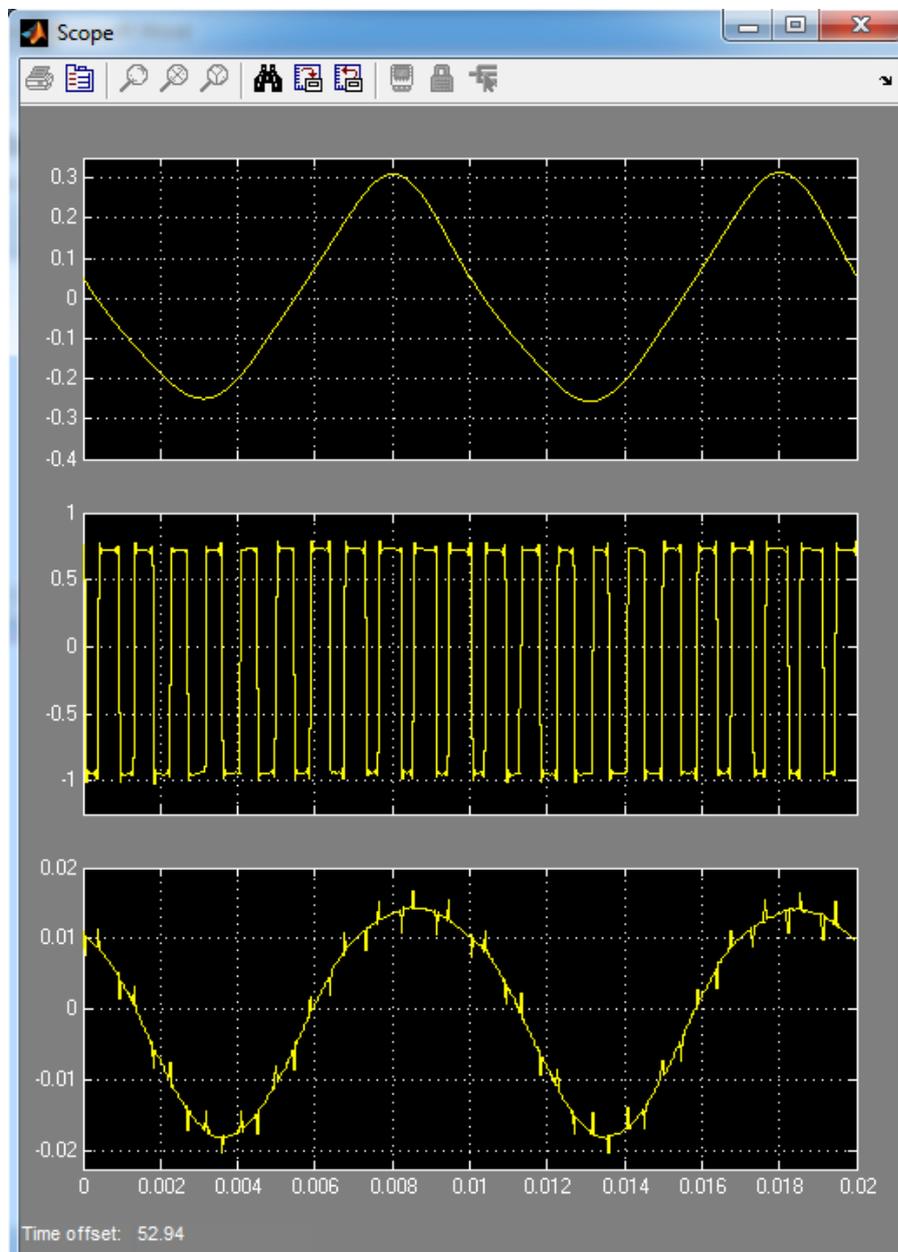


Figura 3. 10: Gráficas de la señal modulada y demodulada PWM usando Simulink  
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.11, la amplitud de la señal sinusoidal de 100 Hz aumenta. La sobremodulación se produjo en el punto donde la amplitud de la señal

sinusal cruza la amplitud de la onda triangular. La señal sinusoidal obtenida después de la demodulación es diferente de la señal del mensaje original.

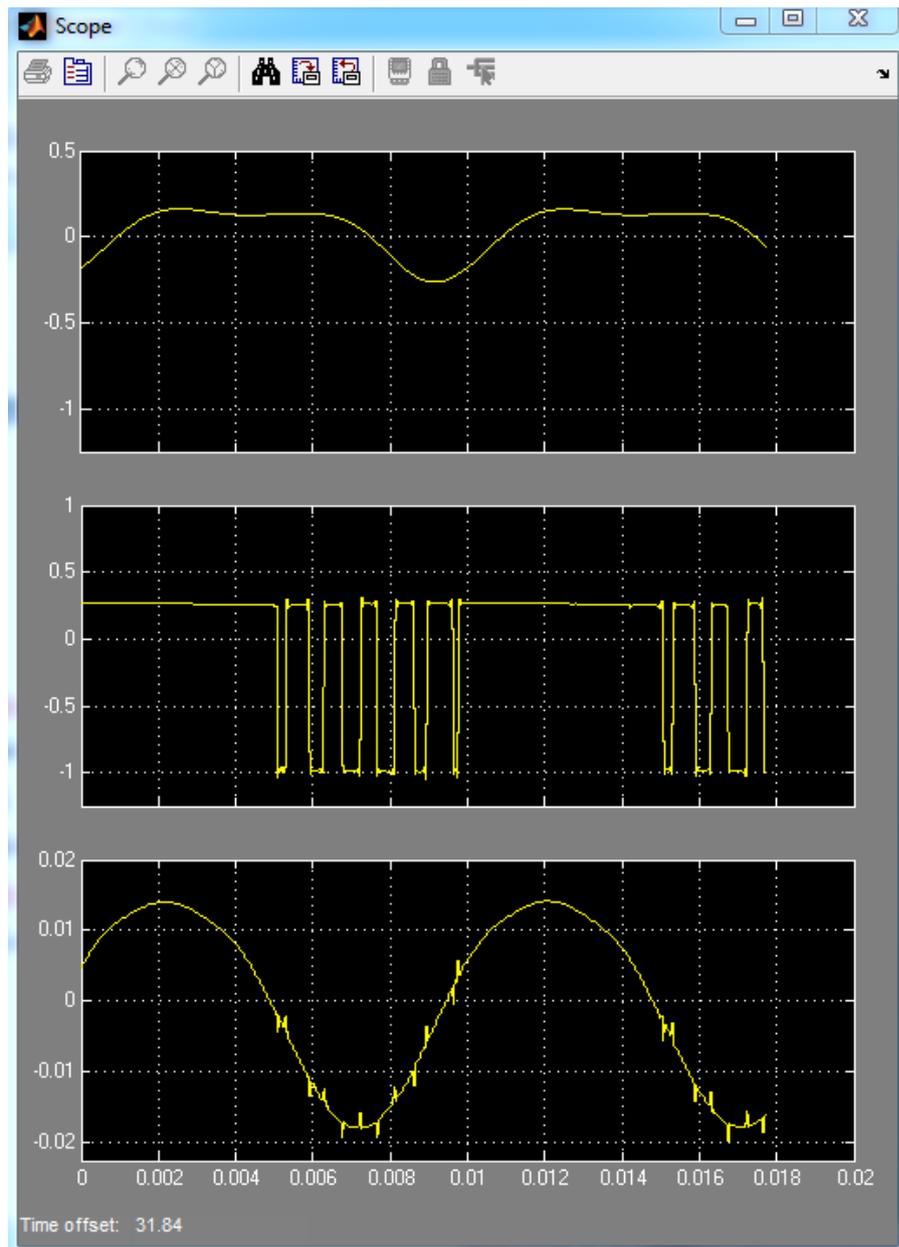


Figura 3. 11: Gráficas de la sobremodulación de PWM usando Simulink  
Elaborado por: Autor.

El segundo método de demodulación es un poco más complejo, la señal PWM primero debe convertirse en una onda PAM. Con el bloque "*Integral*", la señal PWM se integra bit a bit y se obtiene un patrón de rampa. Esta señal se suma con la señal obtenida en el bloque del generador de impulsos. La señal resultante debe saturarse pasando a través del bloque "*Saturation*" para convertirla en una señal PAM. Cuando el bloque de saturación transmite la

señal hasta el valor de referencia, la amplitud sobre el valor de referencia se interrumpe. Entonces, la señal PAM se pasa a través del filtro pasa bajo diseñado en el bloque "Analog Filter Design" para obtener la señal de mensaje. En la figura 3.12 se muestra el modelado del segundo método de demodulación PWM utilizando Simulink.

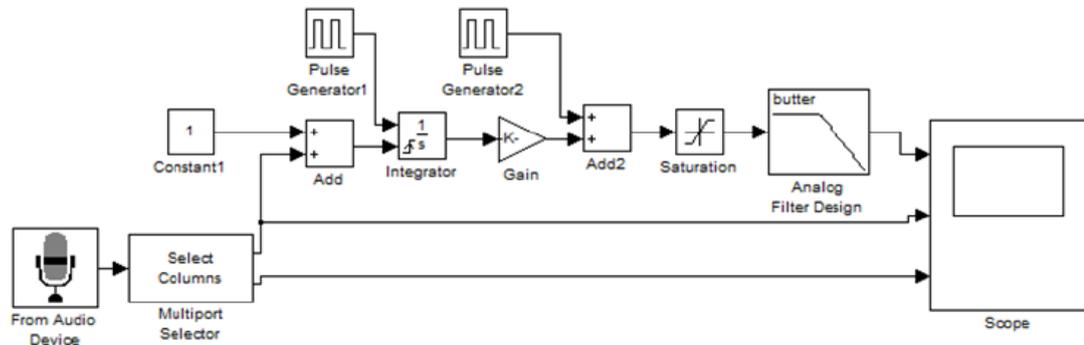


Figura 3. 12: Modelado del 2do método de la demodulación PWM usando Simulink.  
Elaborado por: Autor.

Usando este método, la señal sinusoidal de 200 Hz es modulada por una señal triangular de 1kHz. La señal modulada y la señal demodulada resultante se muestran en la figura 3.13.

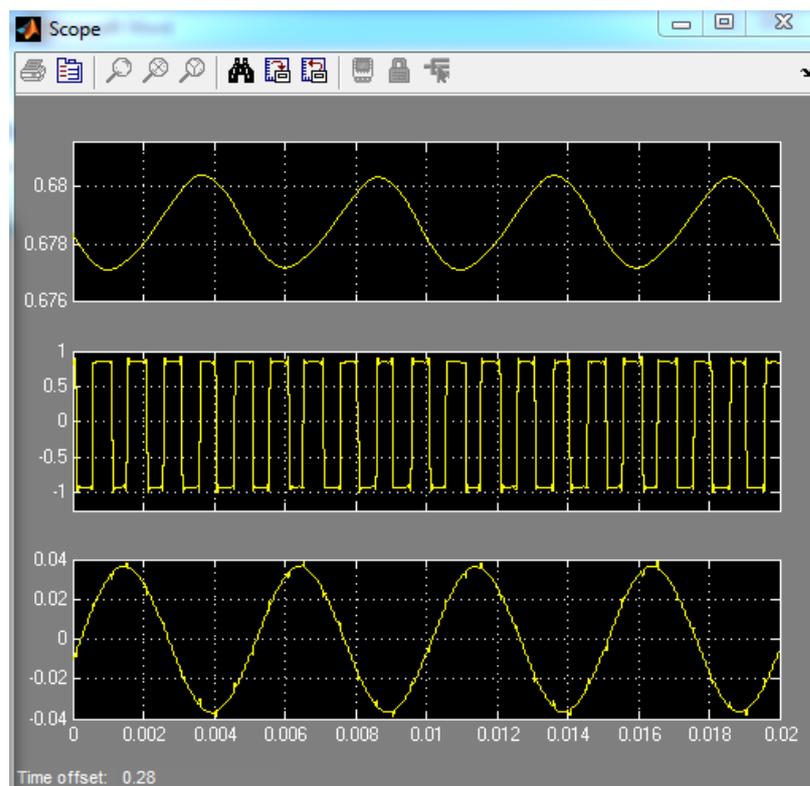


Figura 3. 13: Gráficas del 2do modelado de PWM usando Simulink.  
Elaborado por: Autor.

En el mismo modelo de demodulación, la amplitud de la señal sinusoidal de 200 Hz aumenta. La modulación excesiva ocurre en el punto donde la amplitud de la señal sinusoidal es mayor que la señal triangular. La señal de mensaje resultante está dañada, tal como se muestra en la figura 3.14.

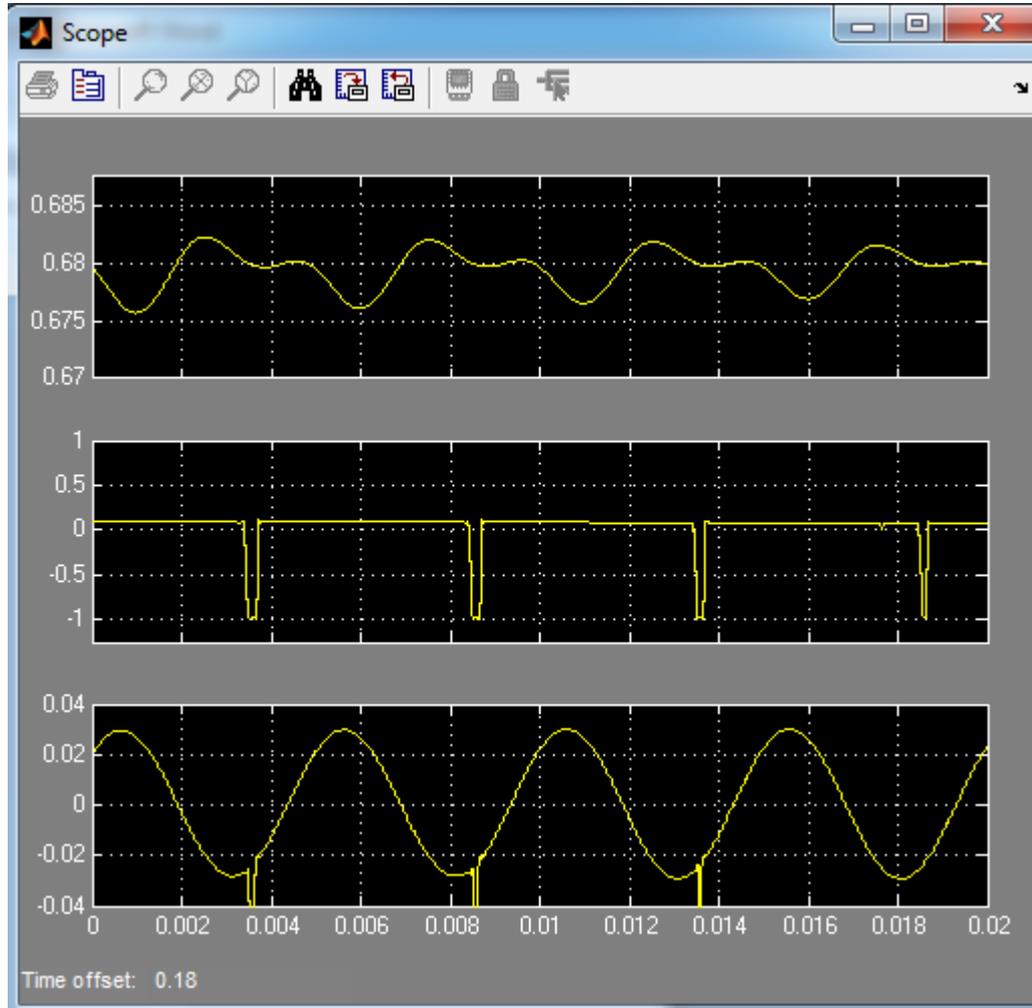


Figura 3. 14: Gráficas de la sobremodulación de PWM del 2do método usando Simulink  
Elaborado por: Autor.

### 3.4. Demodulación FDM

En la figura 3.15, el bloque "From Audio Device" en el modelo diseñado en Simulink y la señal de la tarjeta de sonido de la computadora se muestrean para su procesamiento en Simulink. Con los bloques de "diseño de filtro analógico", la señal de la tarjeta de sonido se divide en dos y pasa a través de dos filtros de paso de banda diferentes. En esta figura, las señales de mensaje deseadas están separadas entre sí por los filtros establecidos en los intervalos de banda apropiados.

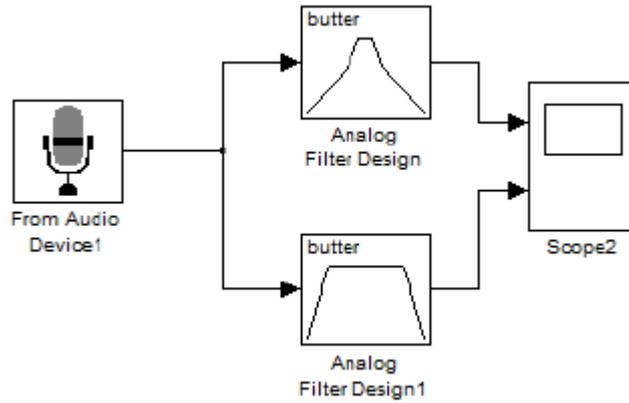


Figura 3. 15: Modelado de la demodulación FDM usando Simulink.  
Elaborado por: Autor.

En la modulación FDM, se transmiten varias señales de diferentes canales. En esta aplicación, se da un ejemplo FDM de dos canales. En la figura 3.16, se aplican y demodulan dos señales de 100Hz y 200Hz.

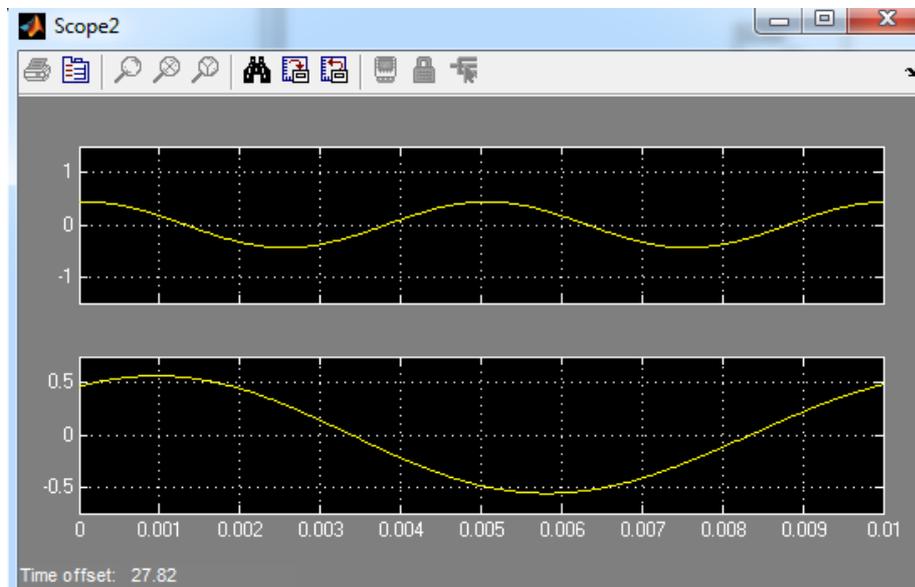


Figura 3. 16: Gráficas de la demodulación FDM para señales de 100 y 200 Hz.  
Elaborado por: Autor.

En la modulación FDM, los anchos de banda apropiados deben dejarse entre los canales. Si las señales transportadas (portadoras) están cerca de las frecuencias de corte de los canales, las señales pueden mezclarse. Para evitar esta situación, se determinan las frecuencias de guarda entre los canales (frecuencia de guarda) y hay un espacio entre las frecuencias. En esta aplicación, el canal 1 se selecciona en el rango de 50-150Hz, el canal 2 se selecciona en el rango de 150-250Hz. Las señales sinusoidales del primer

canal se aplican a 150 Hz y el segundo canal se aplica a 200 Hz. Las señales obtenidas después de la demodulación se muestran en la figura 3.17.

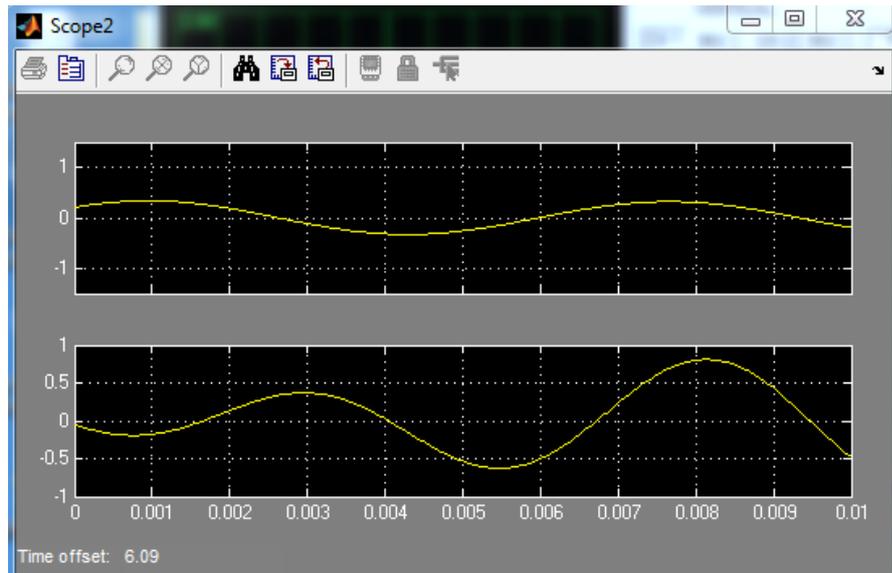


Figura 3. 17: Gráficas de la demodulación FDM para señales de 150 y 200 Hz.  
Elaborado por: Autor.

El canal 1 (50-150 Hz) solo pasó una señal de 150 Hz, el canal 2 (150-250 Hz) pasó una señal de 150 Hz y una señal de 200 Hz. Por lo tanto, la señal deseada no puede recibirse en el canal 2. Para evitar esta situación, se determinan frecuencias de guarda entre canales y las frecuencias se intercalan. En la figura 3.18 hay un espacio de 25 Hz entre canales. El canal 1 está en el rango de 50-150 Hz, el canal 2 en el rango de 175-275 Hz.

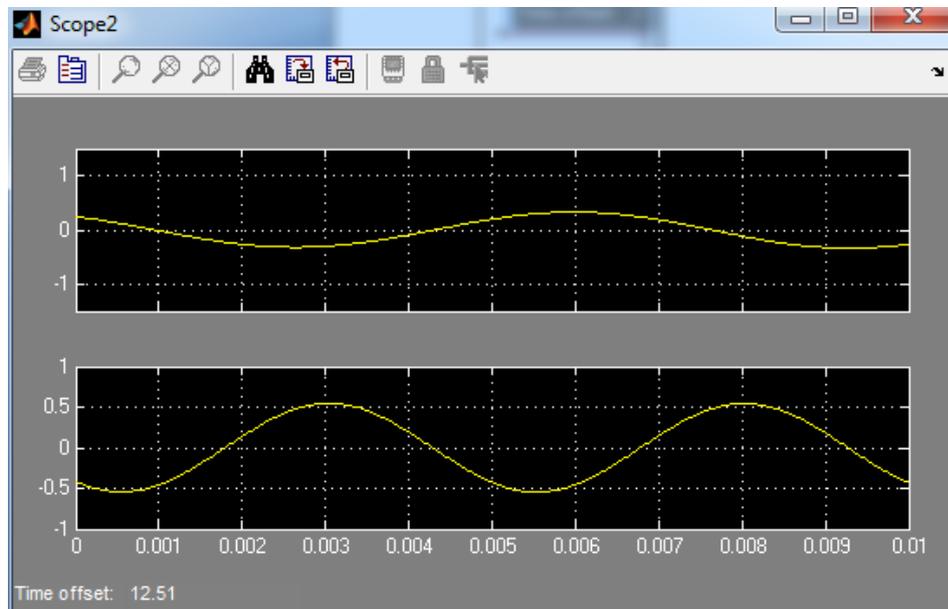


Figura 3. 18: Gráficas de la demodulación FDM para señales entre 50 y 275 Hz  
Elaborado por: Autor.

Como resultado de las frecuencias de guarda dejadas entre los canales, los dos canales no se mezclaron y se obtuvieron las señales deseadas.

### 3.5. Demodulación TDM.

El modelo de demodulación de la señal PAM-TDM realizado en Simulink se muestra en la figura 5.6. Para demodular la señal TDM, un bloque *"From Audio Device"* se muestrea desde la tarjeta de audio de la computadora y se toma una muestra para procesar en Simulink. El bloque *"Multiport Selector"* separa los canales de audio. La señal de reloj que determina la frecuencia de muestreo se toma en el canal 1. En la multiplexación TDM, la señal de reloj se toma directamente del oscilador del conjunto de prueba ya que la sincronización es importante.

El retardo se agrega a la señal del reloj mediante el bloque *"Transport Delay"* y la señal del reloj se convierte en la onda cuadrada mediante el bloque *"Sign"*. El bloque de señal genera ondas cuadradas positivas o negativas ya que la señal entrante está por encima o por debajo del valor de referencia especificado. Es importante que la señal del reloj sea correcta para muestrear la señal TDM correctamente.

La señal TDM está presente en el canal 2 del bloque *"Multiport Selector"*. Esta señal se divide en dos y entra dos bloques diferentes de *"Sample and Hold"*. Este bloque funciona como un circuito de retención, durante el tiempo deseado, la señal de entrada se muestrea y se mantiene el valor de amplitud final. La señal de reloj del bloque *"Sign"* se utiliza para determinar los tiempos de muestreo de los bloques de "muestra y retención". La primera señal de mensaje se muestrea en el borde ascendente de la señal de reloj, y la segunda señal de mensaje se muestrea en el borde descendente de la señal de reloj. Por lo tanto, las dos señales de mensaje están separadas entre sí. Las dos señales obtenidas se convierten en señales analógicas mediante filtrado pasa bajo diseñados en las frecuencias apropiadas.

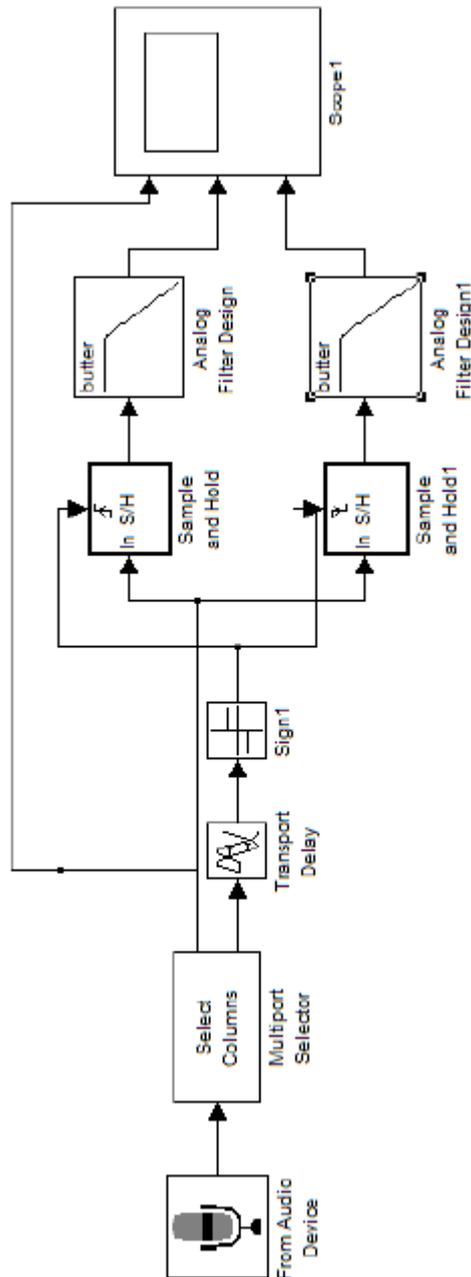


Figura 3. 19: Modelado de la demodulación TDM usando Simulink.  
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.20, la señal triangular de 100Hz y la señal triangular de 100Hz se multiplexan con TDM. La señal de portadora se seleccionó a una frecuencia de 4 kHz. Cuando la señal de la portadora de 4 kHz se reduce a 800 Hz, las señales demoduladas comienzan a deteriorarse. La figura 3.21 muestra la señal TDM demodulada. Ahora, si la señal de la portadora se reduce a 200 Hz, las señales de mensaje se distorsionan por completo, tal como se muestra en la figura 3.22.

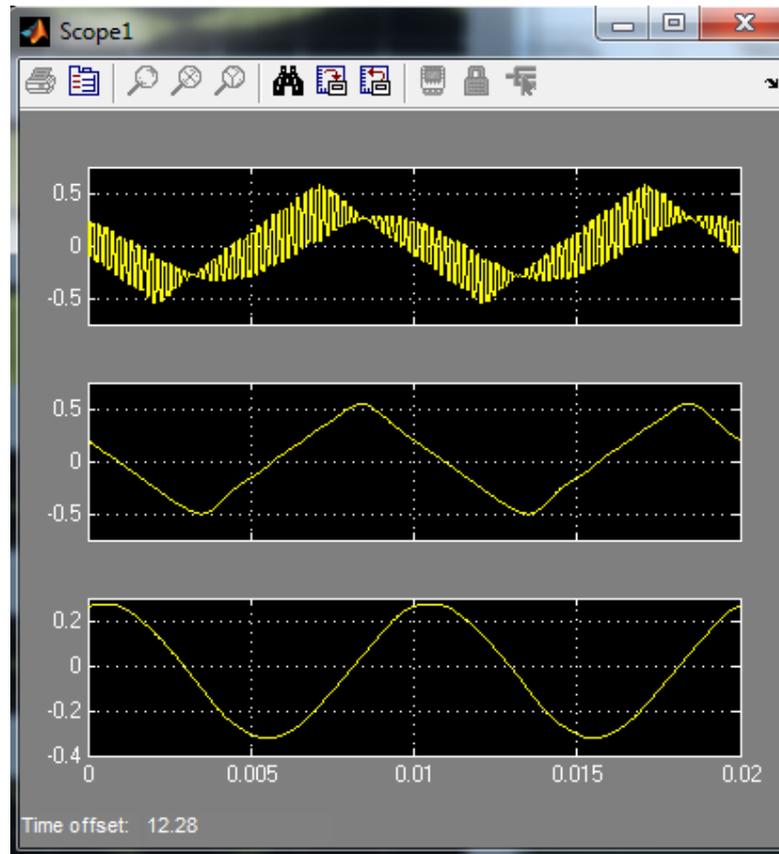


Figura 3. 20: Gráficas de la demodulación TDM con portadora de 4 kHz.  
Elaborado por: Autor.

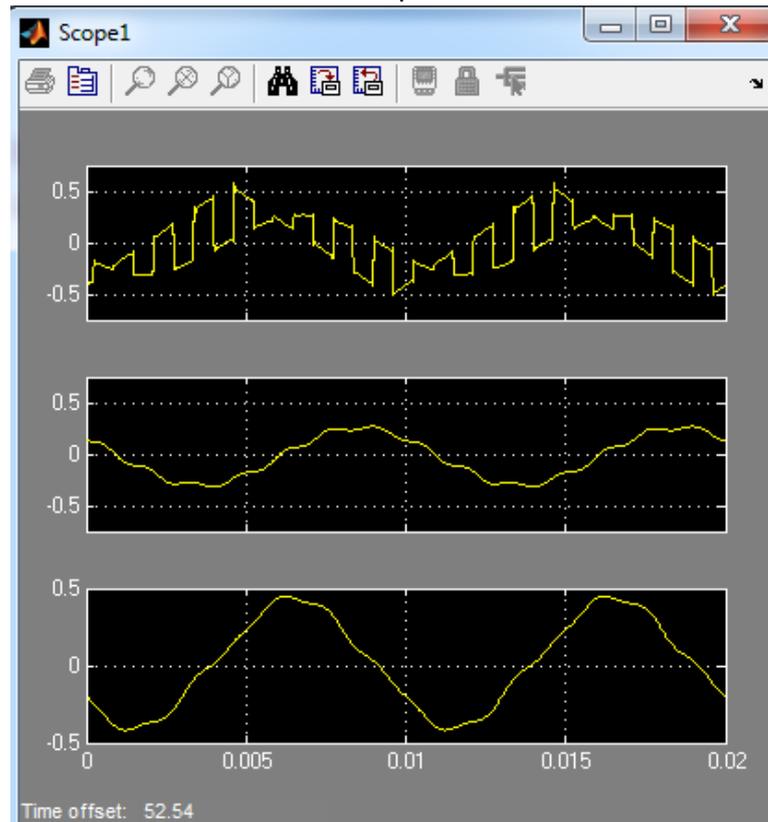


Figura 3. 21: Gráficas de la demodulación TDM con portadora de 800 Hz.  
Elaborado por: Autor.

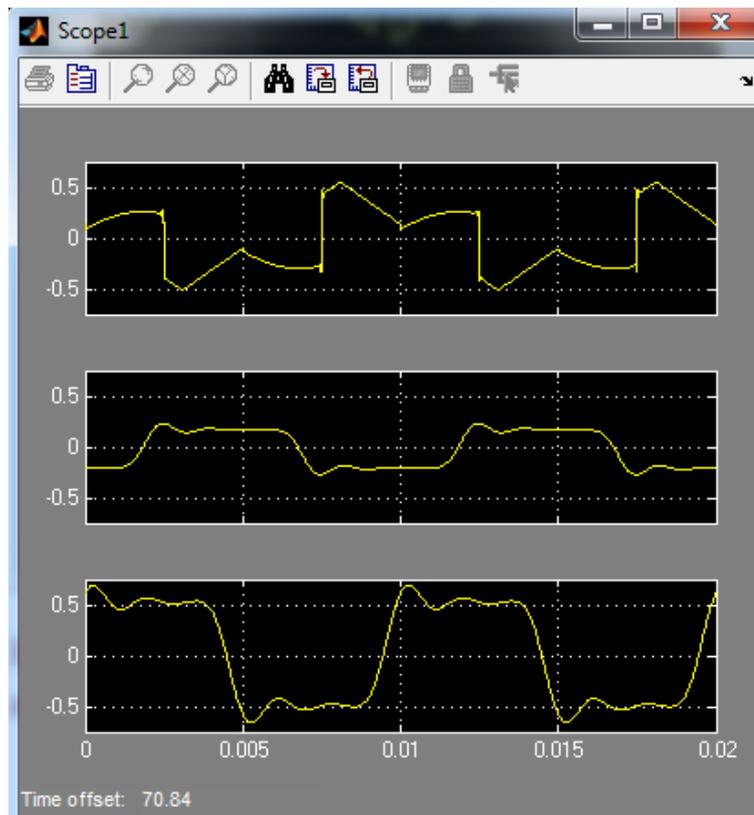


Figura 3. 22: Gráficas de la demodulación TDM con portadora de 200 Hz.  
Elaborado por: Autor.

### 3.6. Demodulación ASK.

La figura 3.23 muestra el modelo de demodulación ASK diseñado en Simulink. El bloque *"From Audio Device"* se muestrea desde la tarjeta de sonido de la computadora y se procesa para su procesamiento en Simulink. En la modulación ASK, la presencia de la portadora en la señal modulada se determina por el hecho de que la señal del mensaje está en el primer estado. Por lo tanto, debe determinarse el intervalo de tiempo en el cual la portadora está disponible. Para esto, el valor absoluto de la señal entrante se toma con el bloque *"Abs"* (absoluto). El bloque Abs traduce las amplitudes negativas de la señal a positiva; es decir, el valor absoluto de la señal.

El valor constante se agrega o resta mediante un bloque *"Constant"* para ajustar la señal obtenida de acuerdo con la tensión de referencia. El bloque constante genera un valor de voltaje constante (DC). Luego, la señal pasa a través de un filtro pasa bajo diseñado con *"Analog Filter Design"* para detectar

la envolvente. La señal resultante se convierte en una onda cuadrada mediante el bloque "Sign". Por lo tanto, se obtiene la señal del mensaje.

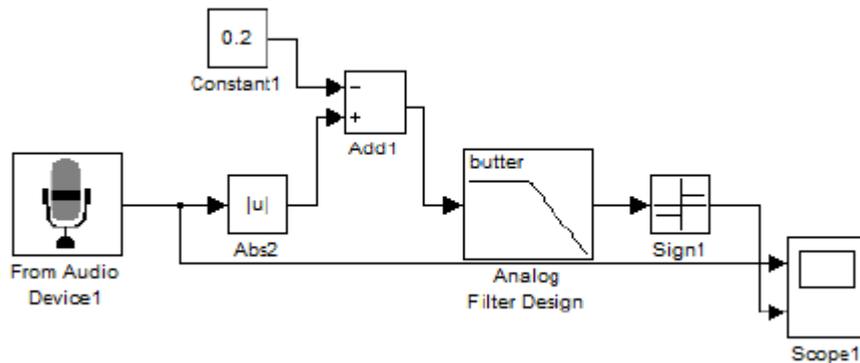


Figura 3. 23: Modelado de la demodulación ASK usando Simulink.  
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.24, se proporcionan señales moduladas ASK con señal de portadora de 4 kHz y señal de mensaje de 100 Hz demodulada. Cuando la frecuencia de la portadora se reduce a 200 Hz, la señal modulada comienza a deteriorarse. En la figura 3.25 se muestra una señal de 100 Hz modulada con una portadora de 200 Hz y aparece la salida de demodulación de esta señal.

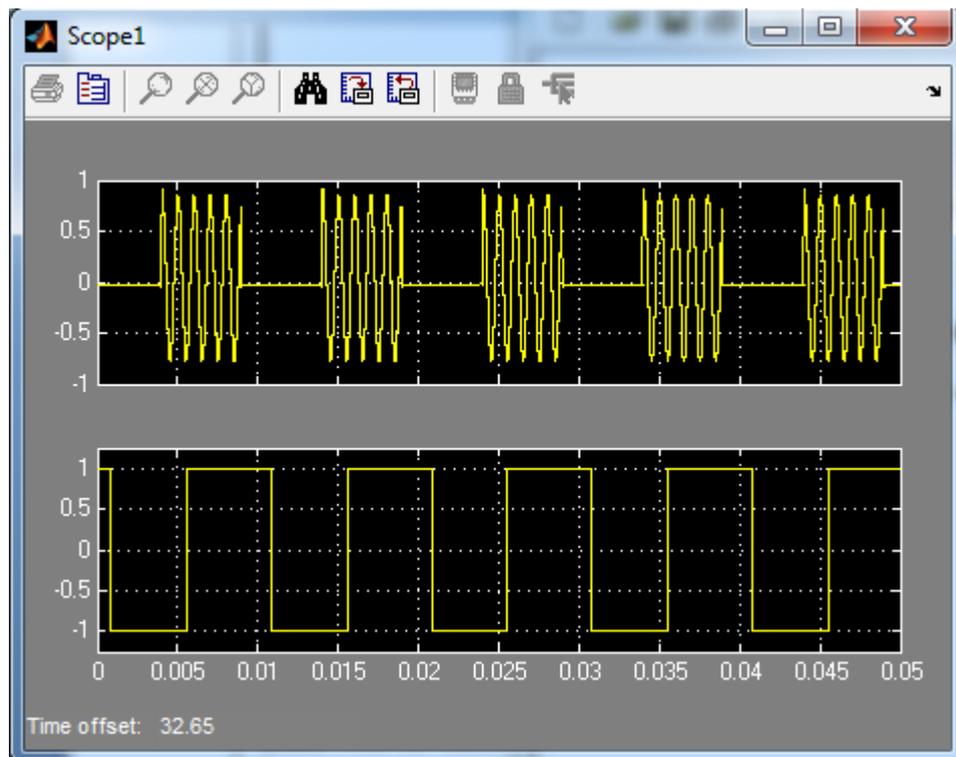


Figura 3. 24: Gráficas de la demodulación ASK con portadora de 4 kHz.  
Elaborado por: Autor.

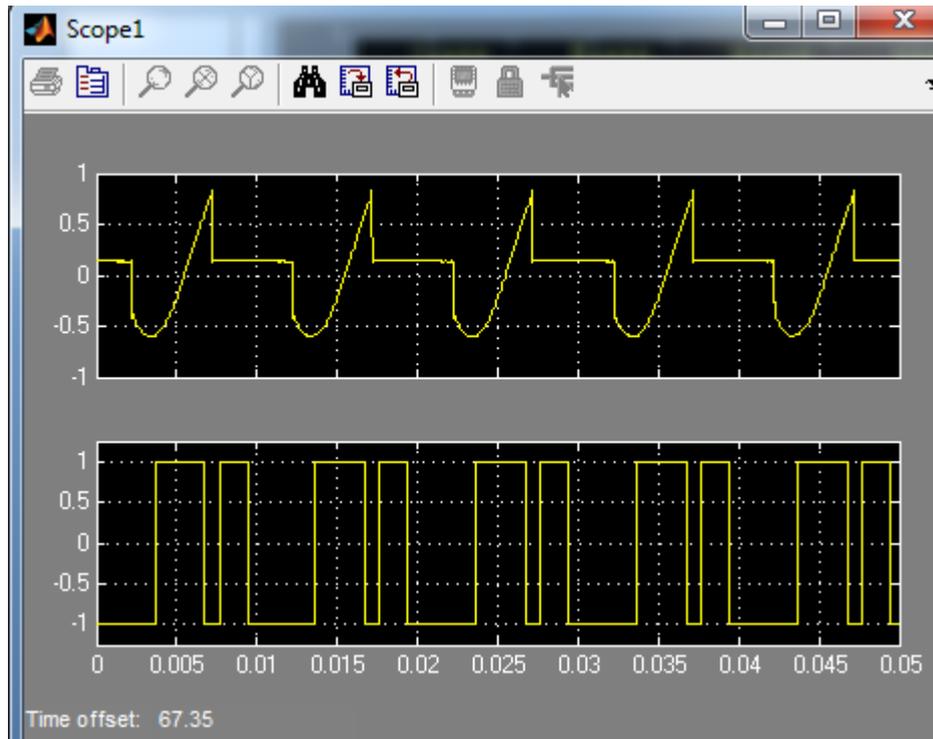


Figura 3. 25: Gráficas de la demodulación ASK con portadora de 200 Hz.  
Elaborado por: Autor.

### 3.7. Demodulación FSK

La figura 3.26 muestra el modelo del demodulador FSK diseñado en Simulink. Este modelo es similar al modelado ASK. La señal FSK puede considerarse como una combinación de dos señales ASK diferentes. Este principio también se enfatiza en el diseño del modelo. El bloque *"From Audio Device"* se muestrea desde la tarjeta de sonido de la computadora y se procesa para su procesamiento en Simulink.

En la modulación FSK, la presencia de la portadora 1 se determina por la presencia de la señal 1 en la señal entrante. Por lo tanto, deben determinarse los tiempos en que está disponible la portadora 1. Para hacer esto, la señal entrante se pasa primero a través de un filtro pasa banda diseñado en el bloque *"Analog Filter Design"*. Entonces, el valor absoluto se toma con el bloque *"Abs"*. La señal filtrada se pasa a través de otro filtro, en este caso un pasa bajo diseñado con *"Analog Filter Design"* para detectar la envolvente. El valor constante se agrega o resta mediante el bloque *"Constant"* para ajustar la señal obtenida de acuerdo con el voltaje de referencia. La señal de mensaje obtenida de la envolvente se dibuja en forma

de onda cuadrada completa con el bloque "Sign". De esta forma, se obtiene la señal del mensaje.

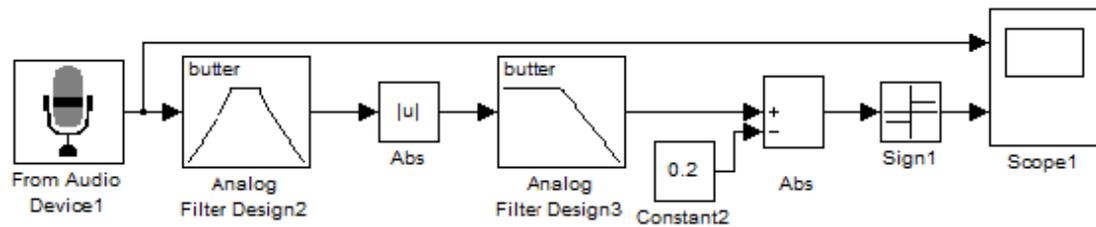


Figura 3. 26: Modelado de la demodulación FSK usando Simulink.  
Elaborado por: Autor.

La figura 3.27 muestra la señal modulada obtenida por dos portadoras de frecuencias 1.9 kHz y 1 kHz, y la onda cuadrada obtenida al demodular esta señal. Ahora, si hay suficiente diferencia de frecuencia entre las portadoras, la señal deseada se obtiene en la demodulación. En la figura 3.28 se muestra la portadora 1 reducida a 1.2 kHz.

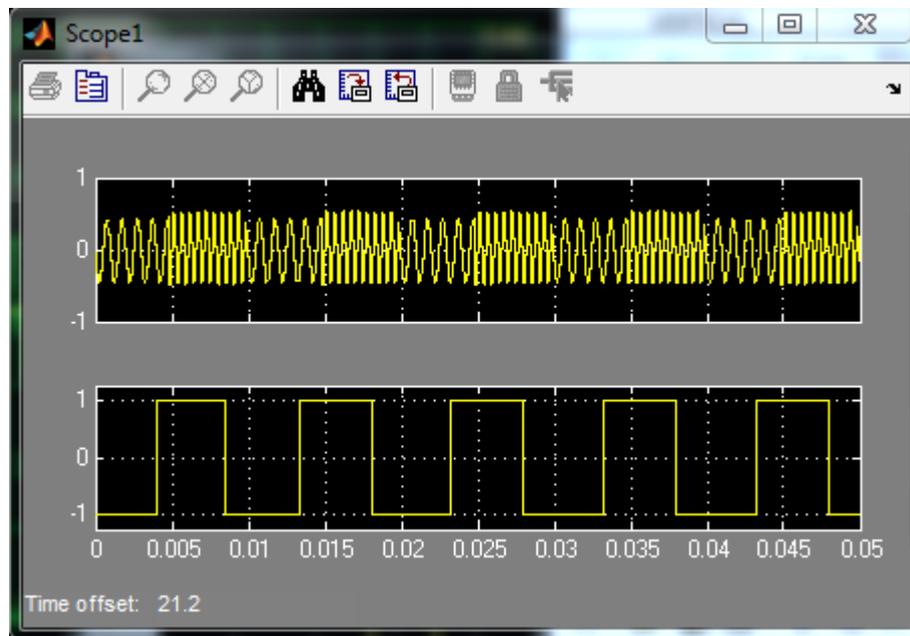


Figura 3. 27: Gráficas de la demodulación FSK con portadoras de 1.9 y 1 kHz.  
Elaborado por: Autor.

A medida que la diferencia de frecuencia entre los transmisores disminuye, la demodulación no beneficia y la señal del mensaje se distorsiona. En la figura 3.29, las portadoras fueron seleccionadas en 100 Hz y 200 Hz y aproximarse a la frecuencia de la señal de mensaje (100 Hz). Se puede observar que la señal del mensaje está completamente corrupta.

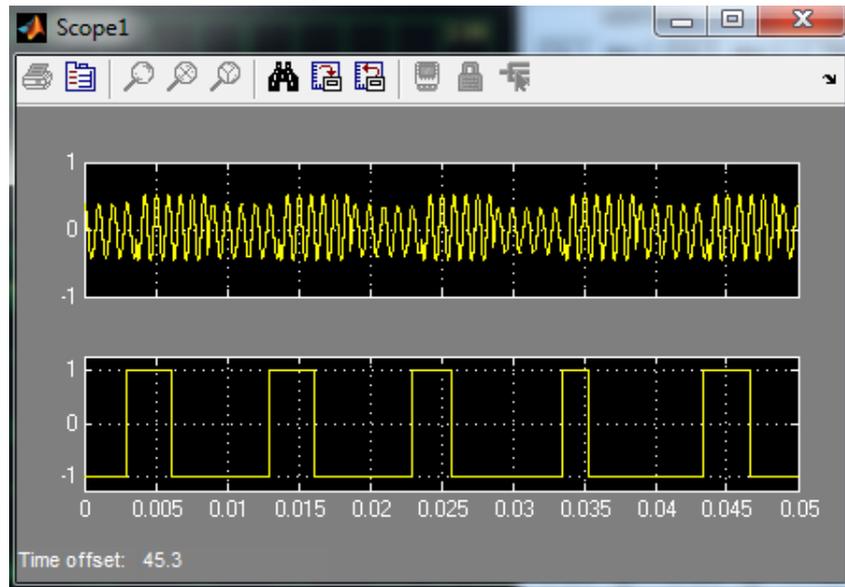


Figura 3. 28: Gráficas de la demodulación FSK con portadoras de 1.2 y 1 kHz  
Elaborado por: Autor.

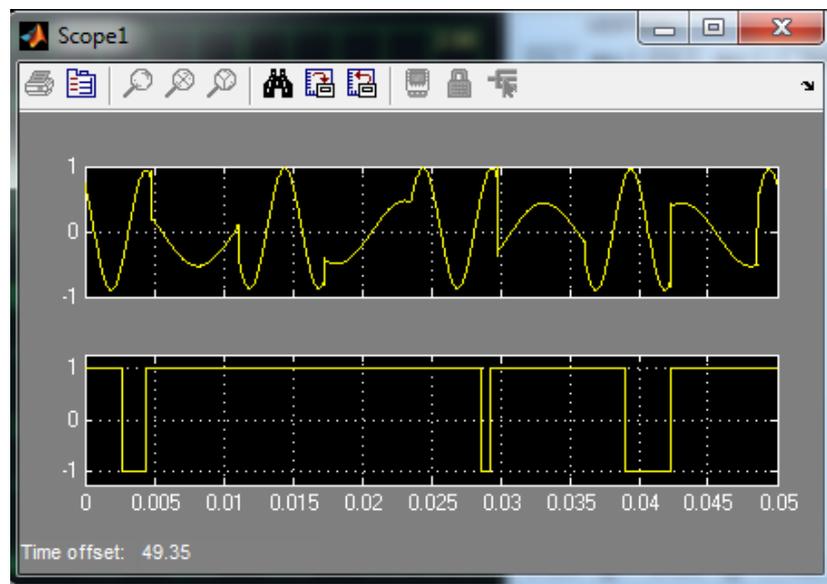


Figura 3. 29: Gráficas de la demodulación FSK con portadoras de 100 y 200 Hz  
Elaborado por: Autor.

### 3.8. Demodulación BPSK.

La figura 3.30 muestra el modelo de demodulador BPSK diseñado en Simulink. El bloque "From Audio Device" se muestrea desde la tarjeta de sonido de la computadora y es procesado en Simulink. En la modulación BPSK, la llegada de la señal entrante está determinada por la presencia de la portadora 1. Por lo tanto, deben determinarse los tiempos en que está disponible la portadora 1. Para esto, el bloque "Multiport Selector" separa los 2 canales de la tarjeta de sonido. El canal 1 transporta la señal modulada y el

canal 2 contiene la portadora, que se multiplican usando el bloque "Product". La señal se integra con el bloque "Integrate and dump". La señal obtenida es corregida en el bloque "Sign" para obtener la señal de mensaje en forma de onda cuadrada completa.

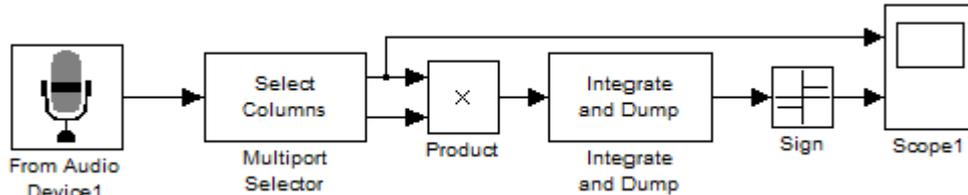


Figura 3. 30: Modelado de la demodulación BPSK usando Simulink.  
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.31, la señal BPSK modulada con una portadora de 1.5 kHz en el canal 1, y la señal demodulada de 400 Hz en el canal 2.

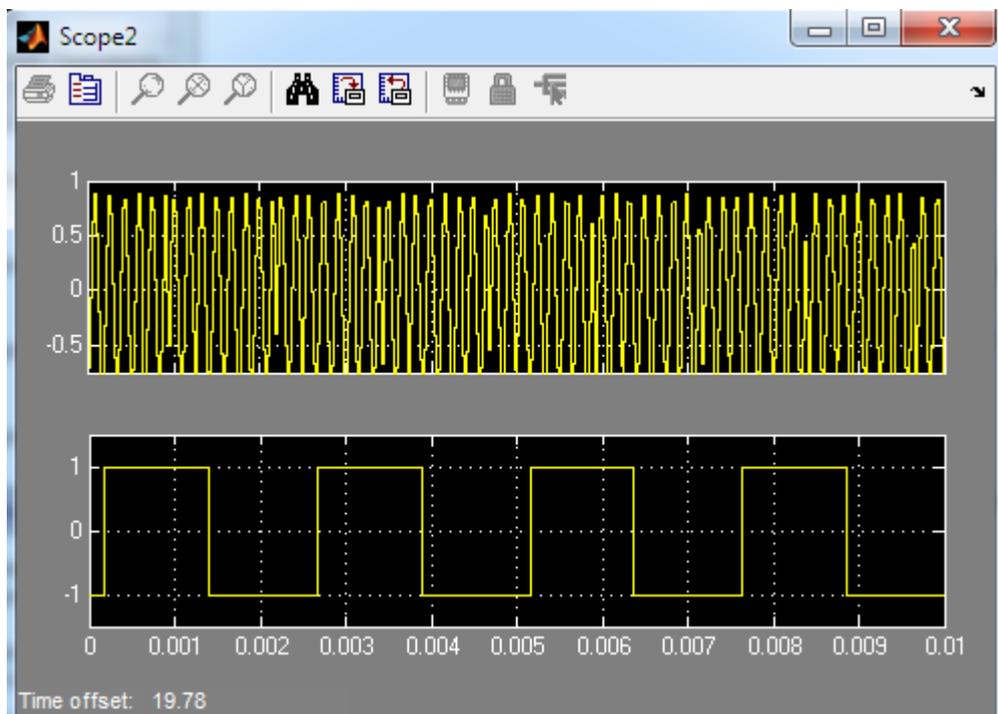


Figura 3. 31: Señales modulada y demodulada BPSK.  
Elaborado por: Autor.

Si la frecuencia de la señal de la portadora se acerca a la señal del mensaje, la señal comienza a deteriorarse. La figura 3.32 muestra la señal obtenida de la señal modulada y demodulación con una portadora de 100 Hz.

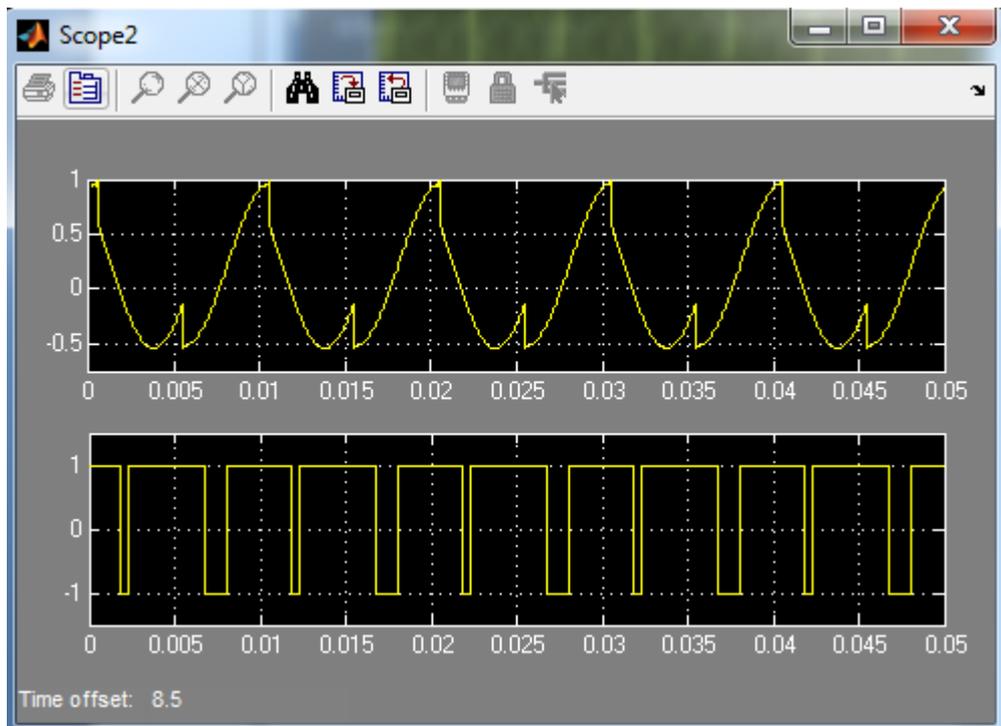


Figura 3. 32: Señales modulada y demodulada con portadora de 100 Hz.  
Elaborado por: Autor.

## **Conclusiones.**

- A través de la descripción teórica de la Teoría de la Comunicación se pudo demostrar los tipos de modulación y su importancia en las redes de telecomunicaciones, y que en la actualidad son muy utilizadas para futuras investigaciones o proyectos de grado.
- El diseño de los modelos de simulación de las diferentes demodulaciones se realizó en la plataforma MatLab/Simulink y también fueron necesarios el uso de una computadora y el dispositivo de procesamiento de audio. Inicialmente, no se conocía del tema debido a la no experticia de la simulación en tiempo real con equipos de bajo costo. Sin embargo, el modelado o simulación fue de gran ayuda para interactuar con los dispositivos mencionados.
- Los resultados obtenidos durante el proceso de demodulación no se podrían llevar a cabo sin los dispositivos ya mencionados, y los mismos permitieron generar señales acordes a las variaciones de la señal de portadora para cada demodulación ejecutada.

## **Recomendaciones.**

A continuación, se propone dos trabajos de titulación que se pueden desarrollar a partir del presente examen complejo componente práctico.

- Implementación de modelos de simulación de comunicaciones ópticas para transmisiones FSO utilizando modulación ASK.
- Análisis comparativo de modulaciones digitales para para transmisiones FSO sobre la plataforma OptiSystem.

## Referencias bibliográficas.

González Barajas, J. E. (2015). *Series y Transformada de Fourier para Señales Continuas y Discretas en el Tiempo*. OmniaScience.

González C., V., & Mezoa R., M. (2018). Introducción a los Sistemas de Comunicaciones Digitales. Recuperado el 7 de marzo de 2018, a partir de <https://archive.cnx.org/contents/dbaf20ce-52d9-45a7-9c5e-e0c5d37c863c@1.html>

Hu, D. (2017). A simulation method of 16QAM modulation and demodulation based on Matlab platform (pp. 172–175). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MAPE.2017.8250825>

Palekar, R. R., Parikh, D. P., & Kulkarni, S. (2017). Study of M-ary phase shift keying modulation and demodulation using MATLAB simulation (pp. 2121–2124). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2017.8286780>

Pavani, M., & Divya, S. B. (2017). Implementation of Digital Modulation using FPGA with System Generator. *International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIST)*, 6(12), 115–121.

Shukla, N., Kumar, A., Jaiswal, A. K., & Yadav, S. (2013). Compressive sensing in wireless mobile communication system at high data rate transmission. *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*, 1(6), 1–5.

Sushmaja, K., & Noorbasha, F. (2013). Implementation of Binary Shift Keying Techniques. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 4(6), 2581–2583.

Tarifa Amaya, A., Del Risco Sánchez, A., Hurtado, C., & Carlos, J. (2012). Modulador-Demodulador ASK con codificación Manchester implementado en un microcontrolador PIC. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 33(3), 63–69.

- Thakare, L. P., & Tembhurne, S. (2012). Implementation of Amplitude Modulation and Demodulation Using Analog Multiplier for 2.4GHz to 2.5GHz (pp. 325–329). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICETET.2012.34>
- Wang, Y., Yao, Y., Guan, Y., Liu, X., Liu, M., & Xu, D. (2017). A novel modulation and demodulation method for wireless power and data transmission (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITEC-AP.2017.8080818>



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, **MORA MESÍAS, ALISON AILEEN** con C.C: # 120622737-1 autor del Trabajo de Titulación: **Implementación de esquemas de demodulación AM, FM, PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK utilizando la plataforma de simulación MatLab/Simulink** 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, 03 de Mayo de 2018

f. \_\_\_\_\_

Nombre: MORA MESÍAS, ALISON AILEEN

C.C: 120622737-1



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Implementación de esquemas de demodulación AM, FM, PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK utilizando la plataforma de simulación MatLab/Simulink		
<b>AUTOR(ES)</b>	MORA MESÍAS, ALISON AILEEN		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. EDWIN F. PALACIOS MELÉNDEZ		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	03 de Mayo de 2018	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	56
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Fundamentos de Comunicación, Sistemas de Comunicación y Programación		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Simulación, modulación, demodulación, amplitud, frecuencia, fase, WLAN		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>En el presente documento se presenta el desarrollo del componente práctico del examen complejo denominado "Implementación de esquemas de demodulación AM, FM, PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK utilizando la plataforma de simulación MatLab/Simulink". Para poder desarrollar el trabajo se realizó una búsqueda bibliográfica de trabajos que están relacionados con la modulación y demodulación de sistemas de comunicaciones. Los artículos revisados fueron de gran utilidad para la implementación de varios esquemas de demodulación y que también utilizaban la plataforma de simulación MatLab/Simulink. A partir de esto se describe la definición del problema a investigar, así como el objetivo general y objetivos específicos. La segunda parte se describe la teoría de la comunicación como parte fundamental del proceso de modulación y demodulación. Finalmente, se realizó el diseño y evaluación de diferentes modelos de simulación de la demodulación de los siguientes esquemas AM, FM, PWM, FDM, TDM, ASK, FSK y BPSK.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-9-84400052	E-mail: <a href="mailto:alisonmm@hotmail.com">alisonmm@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	<b>Teléfono:</b> +593-9-68366762		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			