

INFORME PREVIO LABORATORIO V MODULACIÓN QPSK

1. OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- ❖ Comprender los fundamentos teóricos de la **modulación digital por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK)**.
- ❖ Implementar en **MATLAB** una simulación completa de un sistema QPSK: **modulación, canal con ruido AWGN y demodulación coherente**.
- ❖ Analizar el comportamiento de la señal QPSK en el **dominio del tiempo, espectro, diagrama de constelación y tasa de error de bits (BER)**.
- ❖ Construir en **Simulink** un sistema QPSK equivalente al desarrollado en MATLAB, comparar resultados y validar el desempeño del sistema.
- ❖ Evaluar la **mejora en eficiencia espectral** de QPSK frente a BPSK.

2. Preguntas

- a. ¿Qué es la modulación QPSK y en qué se diferencia de BPSK?
- b. ¿Cuál es la expresión matemática de la señal QPSK?
- c. ¿Cuántos bits se transmiten por símbolo en QPSK y cómo se mapean?
- d. ¿Qué significa demodulación coherente en QPSK y por qué es necesaria?
- e. ¿Cuál es la probabilidad de error teórica de QPSK en un canal AWGN?
- f. ¿Cuál es la eficiencia espectral de QPSK comparada con BPSK?
- g. ¿Por qué QPSK es ampliamente utilizada en sistemas modernos como Wi-Fi, LTE y enlaces satelitales?

3. Requisitos de software

MATLAB (Signal Processing y Communications Toolbox) + Simulink (DSP/Comms blocks).

4. 4. SIMULACIÓN EN MATLAB

4.1 Código MATLAB – Modulación QPSK

```
clc; clear; close all;

% Parámetros
N = 2000; % número de bits (par)
Rb = 1000; % tasa de bits
Tb = 1/Rb;
Fs = 100*Rb; % frecuencia de muestreo
fc = 2000; % frecuencia portadora

t = 0:1/Fs:2*Tb-1/Fs; % duración de símbolo (2 bits)

% Generación de bits
bits = randi([0 1], 1, N);

% Agrupar bits de dos en dos
bits_reshape = reshape(bits, 2, []);

% Mapeo QPSK (Gray)
I = 2*bits_reshape(1,:)-1;
Q = 2*bits_reshape(2,:)-1;

% Portadoras
carrier_I = cos(2*pi*fc*t);
carrier_Q = sin(2*pi*fc*t);

% Modulación QPSK
x = [];
for k = 1:length(I)
    x = [x I(k)*carrier_I - Q(k)*carrier_Q];
end

% Señal modulada
figure;
plot(x(1:2000));
title('Señal QPSK (primeros símbolos)');
xlabel('Muestras');
ylabel('Amplitud');
```

4.2 Canal AWGN y Demodulación Coherente

```
EbN0_dB = 0:2:12;
BER = zeros(size(EbN0_dB));

for i = 1:length(EbN0_dB)

    % Canal AWGN
    y = awgn(x, EbN0_dB(i), 'measured');

    % Reorganizar señal recibida
    y_mat = reshape(y, length(t), []);

    % Demodulación coherente
    I_hat = sum(y_mat .* carrier_I', 1);
    Q_hat = -sum(y_mat .* carrier_Q', 1);

    % Decisiones
    bits_I = I_hat > 0;
    bits_Q = Q_hat > 0;
```

```

bits_hat = reshape([bits_I; bits_Q], 1, []);

% BER
BER(i) = sum(bits ~= bits_hat)/N;
end

% Curva BER
figure;
semilogy(EbN0_dB, BER, '-o');
grid on;
title('Curva BER de QPSK en canal AWGN');
xlabel('Eb/N0 (dB)');
ylabel('BER');

```

4.3 Diagrama de Constelación QPSK

```

figure;
scatter(I, Q, 'filled');
grid on;
axis equal;
title('Constelación QPSK');
xlabel('In-phase (I)');
ylabel('Quadrature (Q)');

```

4.1. Simulación en Matlab

Realizar lo mismo que el caso anterior, pero ahora la señal de prueba ya no serán bits aleatorios sino una imagen médica en estándar DICOM. Deberán mostrar la curva de BER, la constelación y la imagen transmitida y recibida para valores de SNR de 5dB, 10dB y 15dB.

5. Simulación en Simulink

La simulación debe contener los siguientes bloques:

- ✓ Random Integer Generator
- ✓ BPSK Modulator Baseband
- ✓ AWGN Channel
- ✓ BPSK Demodulator Baseband
- ✓ Error Rate Calculation
- ✓ Scope (señal temporal)
- ✓ Constellation Diagram
- ✓ Spectrum Analyzer

6. Resultados esperados

- La señal QPSK presentará **cuatro posibles estados de fase** separados 90° .

- Cada símbolo transporta **2 bits**, duplicando la eficiencia espectral frente a BPSK.
- En presencia de ruido, la constelación se dispersa alrededor de los cuatro puntos ideales.
- La curva BER disminuirá exponencialmente conforme aumenta Eb/N0.
- QPSK presentará **mejor eficiencia espectral** que BPSK, manteniendo un desempeño BER similar.

7. Análisis y conclusiones

- a) ¿Cómo varía la tasa de error de bits (BER) de un sistema QPSK conforme aumenta el ruido en el canal AWGN?
- b) ¿Por qué QPSK ofrece mayor eficiencia espectral que BPSK?
- c) ¿Qué ventajas presenta QPSK frente a ASK y FSK en sistemas digitales modernos?
- d) ¿Cómo influye la sincronización de fase en la demodulación coherente QPSK?
- e) ¿Qué mejoras permitirían aumentar aún más la eficiencia espectral (8-PSK, 16-QAM)?