

# INFORME PREVIO LABORATORIO V MODULACIÓN FSK

## 1) OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- ❖ Comprender los fundamentos teóricos de la modulación digital por desplazamiento de frecuencia (FSK).
- ❖ Implementar en MATLAB una simulación completa de FSK binaria (BFSK): modulación, canal con ruido AWGN y demodulación coherente e incoherente.
- ❖ Analizar espectros, señales temporales, constelaciones y tasas de error.
- ❖ Construir en Simulink un sistema FSK equivalente al de MATLAB, comparar resultados y validar el desempeño.

## 2) Preguntas

- a. ¿Qué es FSK y en qué se diferencia de PSK y ASK?
- b. ¿Cuál es la expresión matemática de FSK binaria (BFSK)?
- c. ¿Qué condición deben cumplir las frecuencias  $f_{0f\_0f0}$  y  $f_{1f\_1f1}$  para que BFSK sea ortogonal?
- d. ¿Qué es la FSK no-coherente?
- e. ¿Cuál es la probabilidad de error teórica de BFSK coherente en AWGN?
- f. ¿Cuál es el ancho de banda aproximado de FSK?
- g. ¿Por qué se usa FSK en sistemas de baja potencia como RFID y comunicaciones IoT?

## 3) Requisitos de software

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

## 4) Simulación en Matlab

### Código MATLAB – Modulación BFSK

```
clc; clear; close all;
```

```
% Parámetros
```

```
N = 1000;           % número de bits
Rb = 1000;          % tasa de bits (bits/seg)
Tb = 1/Rb;          % tiempo de bit
Fs = 100*Rb;        % frecuencia de muestreo
t = 0:1/Fs:Tb-1/Fs;
```

```
% Frecuencias BFSK ortogonales
```

```
f0 = 2000;
f1 = 2000 + Rb/2;    % condición de ortogonalidad
```

```

% Generar bits aleatorios
bits = randi([0 1], 1, N);

% Señales portadoras
s0 = cos(2*pi*f0*t);
s1 = cos(2*pi*f1*t);

% Modulación BFSK
x = [];
for k = 1:N
    if bits(k)==0
        x = [x s0];
    else
        x = [x s1];
    end
end

% Graficar señal modulada
figure; plot(x(1:2000));
title('Señal BFSK (primeros bits)');
xlabel('Muestras'); ylabel('Amplitud');

```

---

## Canal AWGN + Demodulación coherente

```

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

for i = 1:length(EbN0_dB)
    % Ruido AWGN
    y = awgn(x, EbN0_dB(i), 'measured');

    y_reshaped = reshape(y, length(t), N);

    % Correladores
    corr0 = sum(y_reshaped .* s0', 1);
    corr1 = sum(y_reshaped .* s1', 1);

    % Decisión
    bits_hat = corr1 > corr0;

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

% Curva BER
figure;
semilogy(EbN0_dB, BER, '-o');
grid on;
title('Curva BER de BFSK coherente');
xlabel('Eb/N0 (dB)');
ylabel('BER')

```

---

## Demodulación No Coherente (detector de energía)

```

% Detector no coherente BFSK
energy0 = sum(y_reshaped.^2 .* (s0.^2));
energy1 = sum(y_reshaped.^2 .* (s1.^2));

```

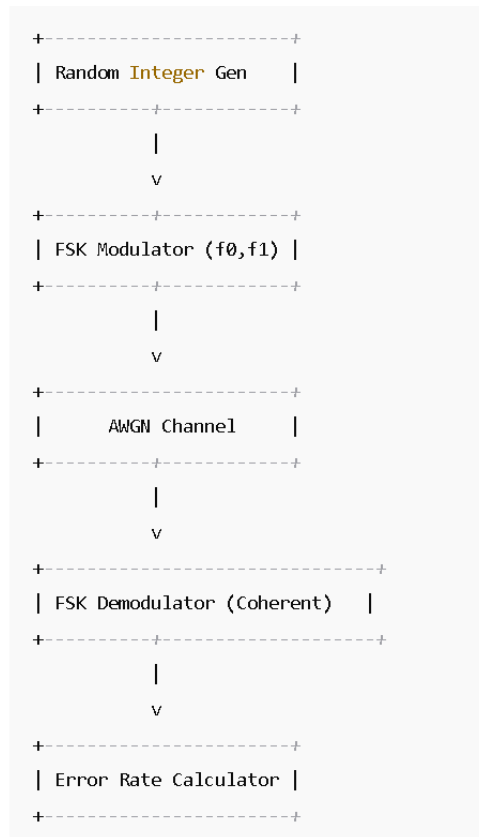
```
bits_hat_nc = energy1 > energy0;

BER_nc = sum(bits ~= bits_hat_nc)/N;
disp(['BER no coherente: ', num2str(BER_nc)]);
```

## 5) Simulación en Simulink

La simulación debe contener los siguientes bloques:

- ✓ **Random Integer Generator** → bits
- ✓ **FSK Modulator Baseband**
- ✓ **AWGN Channel**
- ✓ **FSK Demodulator Baseband**
- ✓ **Error Rate Calculation**
- ✓ **Scope** para observar la señal en tiempo
- ✓ **Spectrum Analyzer** para ver el espectro



## 6) Resultados esperados

- La señal BFSK mostrará saltos entre dos frecuencias.
- En presencia de ruido, la forma de onda será distorsionada pero **detectable**.

- La curva de BER caerá exponencialmente conforme aumenta el SNR.
- La demodulación coherente tendrá menor BER que la no coherente.
- El espectro presentará dos lóbulos centrados en  $f_0$  y  $f_1$ .

## 7) Análisis y conclusiones

- a) ¿Cómo varía la tasa de error de bits (BER) de un sistema FSK conforme aumenta el nivel de ruido en el canal?
- b) ¿En qué rango aproximado de valores de  $E_b/N_0$  la modulación FSK deja de ser eficiente en términos de BER, comparada con esquemas como PSK o QAM?
- c) ¿Cuáles son las principales ventajas y desventajas de la modulación FSK respecto a ASK y PSK, considerando robustez frente al ruido, eficiencia espectral y requisitos de potencia?
- d) ¿Qué relación existe entre el espaciamiento de frecuencias ( $\Delta f$ ), el ancho de banda total y la velocidad de transmisión en sistemas FSK?
- e) ¿Qué técnicas podrían aplicarse para mejorar la resistencia al ruido y la eficiencia de detección en un sistema basado en FSK?