



INSTITUTO POLITÉCNICO  
NACIONAL



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERÍA Y  
TECNOLOGÍAS AVANZADAS

## PRACTICA 2

---

# Señales OFDM

---

*Autores:*

Víctor Manuel Cabello Vargas  
Guadalupe Nohemi Serrano Hernández

*Profesor:*

Noé Torres Cruz

**Unidad de Aprendizaje: Sistemas Celulares**

**Grupo: 2TM5**

30 de abril de 2024

---

---

# Índice

1. Objetivo	3
2. Introducción	3
3. PARTE 1. CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL OFDM	3
4. PARTE 2. IMPLEMENTACIÓN DIGITAL DE LA SEÑAL OFDM.	7
5. Conclusión	8
6. Anexo 1. Diagrama de flujo del programa	9

---

## 1. Objetivo

1. Demostrar que las muestras de una señal OFDM se pueden generar mediante el uso de la IFFT.
2. Analizar las características de una señal OFDM, tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia.

## 2. Introducción

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) es un esquema de modulación de banda ancha capaz de hacerle frente a los problemas de la recepción multitrayectoria, transmitiendo muchas señales digitales de banda angosta en paralelo y traslapadas dentro de una banda amplia. Este aumento del número de canales de transmisión paralelo reduce la tasa de datos que cada portadora individual debe transportar y alarga el período de símbolo. Como resultado, el tiempo de retardo de las ondas reflejadas es comprimido dentro de un tiempo de símbolo.

En OFDM, cada portadora es ortogonal al resto de portadoras, siendo la versión óptima de los esquemas de transmisión multiportadora ya conocidos. La diferencia más importante entre FDM y OFDM es que el primero asigna cada canal a un usuario mientras que el segundo asigna todos los canales a un usuario. Para esto, el receptor necesita precisar la fase de las portadoras demoduladas y los tiempos de muestreo para mantener así, una interferencia entre subcanales aceptable [1].

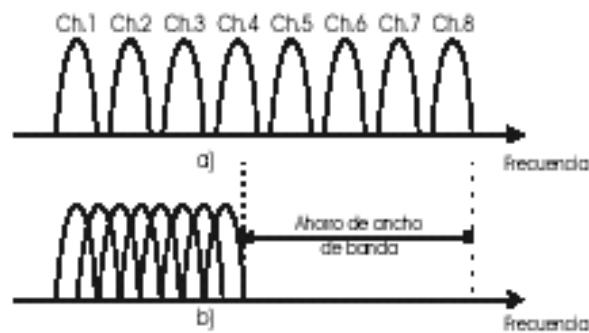


Figura 1: Comparación del ancho de banda usado en FDM y OFDM

## 3. PARTE 1. CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL OFDM

1. Genere 8 bits aleatorios,  $b_k(t)$ , y represéntelos con pulsos rectangulares de duración  $T_u$  y cuyas magnitudes pueden ser +1 y -1. A cada uno de estos símbolos multiplíquelo por una portadora de la forma  $S_k(t) = e^{i \cdot 2\pi \cdot k \cdot \Delta f \cdot t}$ ,  $k \in [0, 1, \dots, 7]$ .
    - Grafique la magnitud de las 8 señales moduladas  $b_k(t) \cdot S_k(t)$
    - Además, obtenga el espectro (mediante la transformada de Fourier) de cada una de las señales anteriores y grafique la magnitud de dicha transformada. Asegúrese de escalar correctamente el eje horizontal, de modo que sus valores correspondan a frecuencias reales en Hz (esto lo puede verificar, asegurándose de que las portadoras están ubicadas en múltiplos enteros de  $\Delta f = 1,600 \text{ Hz}$ )
-

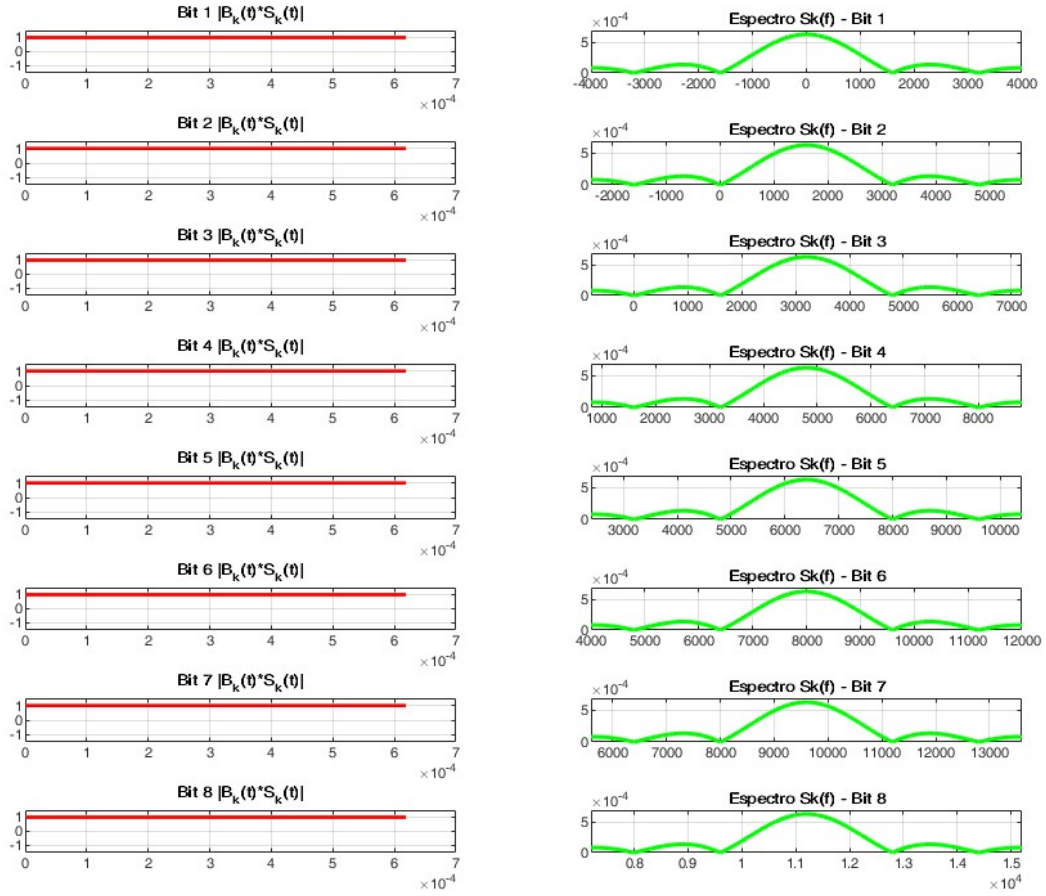


Figura 2: Transmisión de bits y espectros

En la Figura 2, se muestra el espectro de frecuencia de los 8 bits que son transmitidos. Donde cada bit se transmite en una subportadora que esta separada exactamente por  $\Delta f = 1600Hz$ , garantizando que las subportadoras no interfieran entre sí. Esto se observa mejor en la Figura 3, cada subportadora presenta un pico individual, mientras que las demás subportadoras en esa frecuencia se encuentran en cero. Esta propiedad, conocida como ortogonalidad, garantiza que las subportadoras no interfieran entre sí, permitiendo una transmisión eficiente de datos.

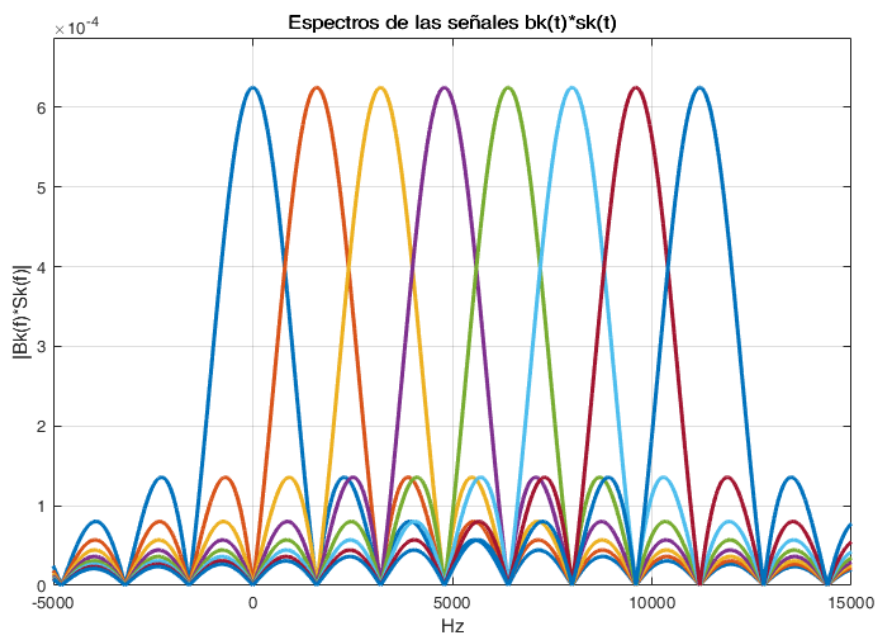


Figura 3: Espectros

2. Obtenga la señal multiplexada  $S(t) = \sum_{k=0}^7 b_k(t) \cdot S_k(t)$  y grafique su magnitud. Además, obtenga el espectro de esta señal, al que se le denominará  $S(f)$ , y grafique la magnitud de éste.

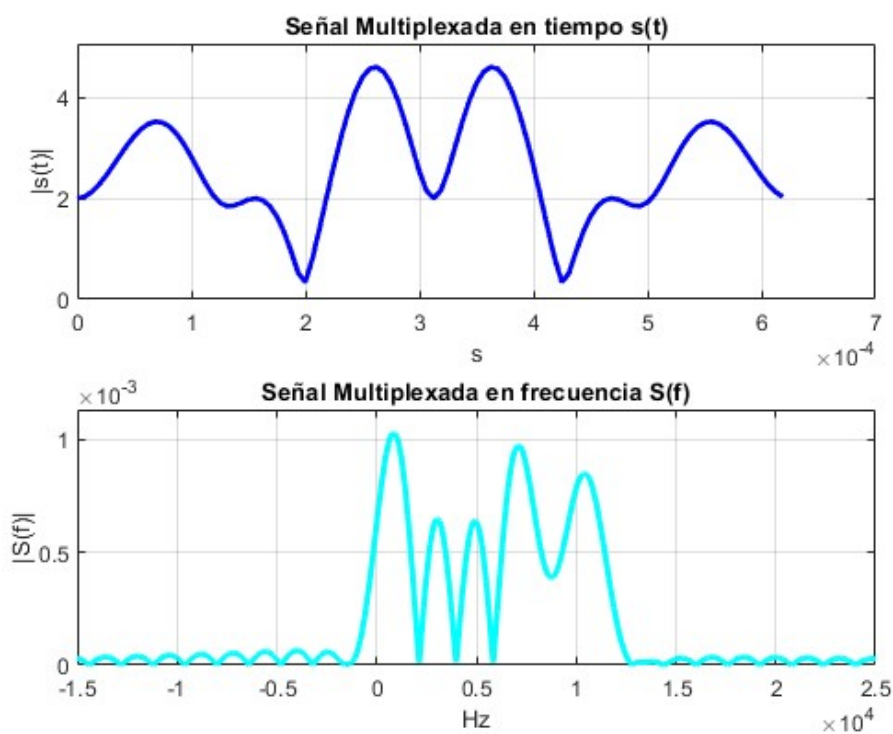


Figura 4: Señal multiplexada en los dominios del tiempo y frecuencia

---

En la figura 4 se muestra las representaciones en dominios de tiempo y frecuencia de una señal multiplexada mediante un sistema de Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonal (OFDM).

En la gráfica de la señal multiplexada en tiempo  $S(t)$  cada símbolo encapsula un conjunto de bits de datos codificados y modulados en subportadoras ortogonales.

En la gráfica de la señal multiplexada en frecuencia  $S(f)$  no se puede observar a simple vista que la señal sea ortogonal en el dominio de la frecuencia, sin embargo, al estar separada exactamente  $\Delta f$  si existe ortogonalidad. Esta distribución de la información en múltiples subportadoras permite un uso eficiente del ancho de banda disponible.

3. Repita las actividades 1 y 2 para  $\Delta f = 2,000$  y  $3,200Hz$

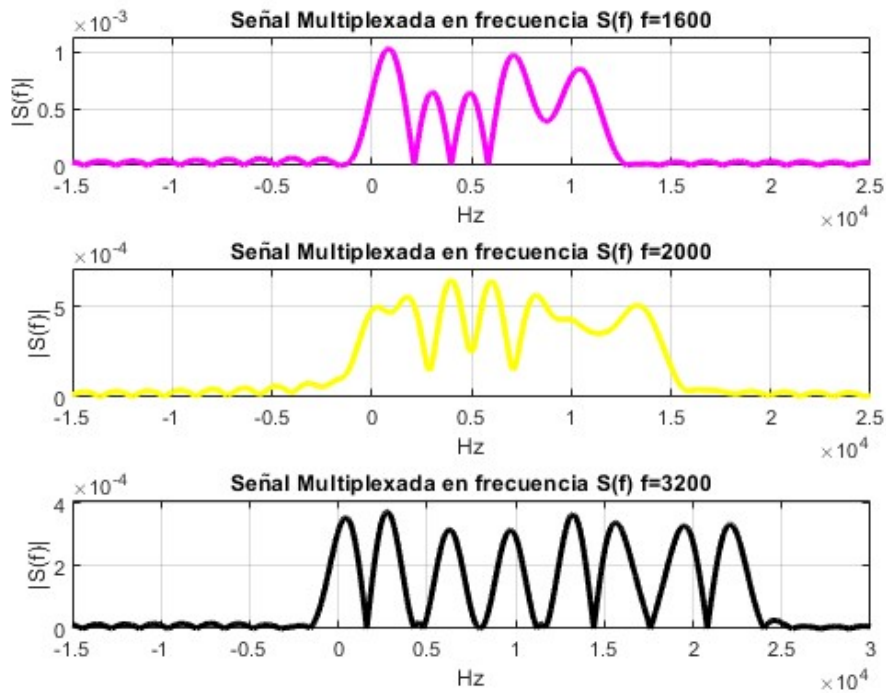


Figura 5: Magnitud de  $X(f)$  para  $\Delta f = 1,600$  ,  $2,000$  y  $3,200Hz$

En la figura 5, se muestra que al incrementar  $\Delta f$ , se genera un mayor espaciamiento entre las subportadoras, lo que se traduce en un aumento del ancho de banda disponible para cada señal original. Por ende, cada señal puede transportar una mayor cantidad de información, lo que resulta en un incremento general de la tasa de transmisión. Y por lo tanto, conlleva un incremento del ancho de banda total del sistema.

---

---

## 4. PARTE 2. IMPLEMENTACIÓN DIGITAL DE LA SEÑAL OFDM.

1. Utilice la IFFT para crear las muestras de  $s(t)$  a partir de los bits utilizados en la Actividad 1, es decir, genere la señal  $S_n$ . Para esta actividad use inicialmente  $N=16$ . Determine la magnitud de  $S_n$ .

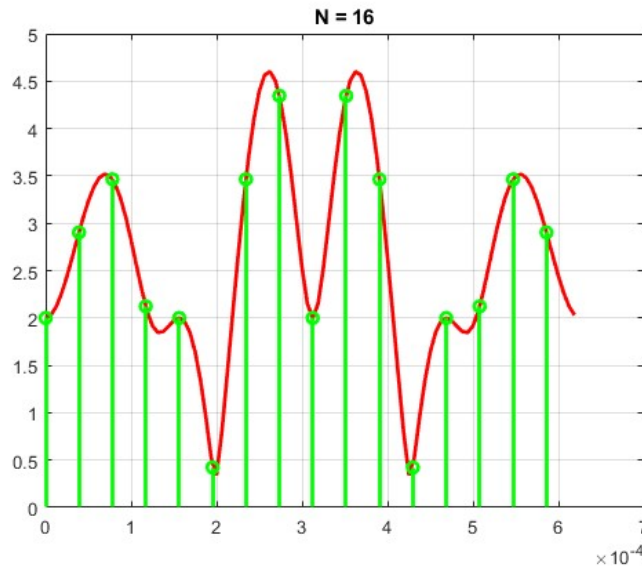


Figura 6: Magnitudes de  $s(t)$  y de  $S_n$

2. Repita la Actividad 4, mientras varía el módulo de la IFFT para  $N=6, 8, 16$  y  $32$ .

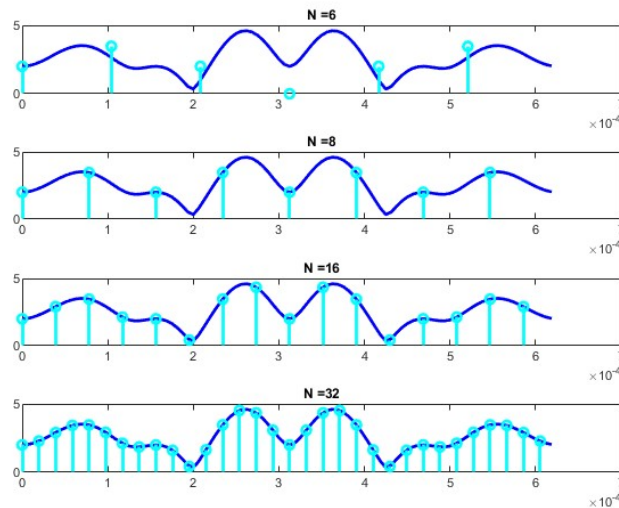


Figura 7: Magnitud de  $s(t)$  y magnitud de  $S_n$  para  $N=6, 8, 16$  y  $32$

Se puede observar en la Figura 7, cómo la forma de la señal  $S_n$  se aproxima cada vez más a la forma de la señal  $s(t)$  a medida que  $N$  aumenta. Esto indica una mejor captura de los detalles de la señal original. Por lo que podemos decir que, la precisión de la representación de la señal  $s(t)$  en el dominio del tiempo aumenta a medida que se incrementa el valor de  $N$  en la IFFT. Esto se debe a que un mayor valor de  $N$

---

---

permite dividir la señal en un mayor número de subportadoras más estrechas, lo que mejora la resolución en el dominio de la frecuencia y reduce la interferencia entre las subportadoras.

## 5. Conclusión

Como se observó en la práctica, la propiedad ortogonal de las subportadoras en OFDM es fundamental para prevenir la interferencia intersimbólica (ISI). Esto se debe a que las subportadoras no se solapan en el dominio de la frecuencia, lo que garantiza que los pulsos de cada símbolo no interfieran entre sí, ni con los pulsos de símbolos adyacentes.

También nos dimos cuenta que, optimiza el uso del ancho de banda disponible. Al distribuir la información en múltiples subportadoras estrechas, OFDM permite una transmisión eficiente en canales de banda ancha. Cada subportadora actúa como un canal de comunicación independiente, transportando un bit de datos de forma individual. Esta distribución del espectro permite aprovechar al máximo el ancho de banda.

Además, al aumentar el número de subportadoras o el ancho de banda de cada subportadora, se puede incrementar significativamente la tasa de transmisión general del sistema.

Por último, el valor de  $N$  en la IFFT es importante para la precisión de la representación de la señal  $s(t)$ . Un valor de  $N$  mayor permite dividir la señal en un mayor número de subportadoras más estrechas, lo que mejora la resolución en el dominio de la frecuencia y reduce la interferencia entre las subportadoras.

---



---

## 6. Anexo 1. Diagrama de flujo del programa

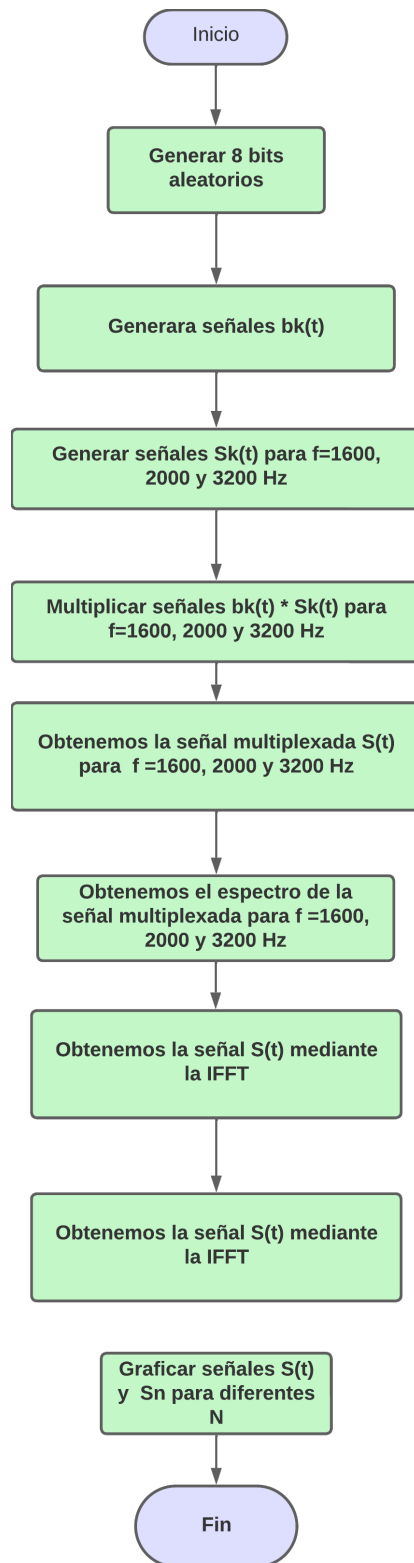


Figura 8: Diagrama de Flujo del programa

---

---

## Referencias

- [1] Óscar F. Corredor Camargo, L. F. Pedraza Martínez, y C. A. Hernández Suárez, “OFDM: Una perspectiva,” *Vis. Electron.*, vol. 2, n.º 2, pp. 86–97, dic. 2008.