

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica – Programa de Tecnología en Electrónica Industrial

# Proyecto Final DSP I

Procesamiento y Análisis Digital de Señales de Voz

Filtrado, Espectros y Comunicación Digital

**Profesor:**

Dr. Jorge Andrés Puerto Acosta

*Curso: Procesamiento Digital de Señales I*

# 1. Propuesta del Proyecto

Este proyecto integrador de **DSP I** consiste en el diseño e implementación de un sistema completo de procesamiento digital de señales para voz, abarcando desde la captura, filtrado, análisis espectral y visualización, hasta la transmisión digital de información mediante un protocolo seleccionado por el grupo (RS232, MQTT o similar), culminando en una implementación funcional en Raspberry Pi 4.

## Mensaje final para los estudiantes:

*Este proyecto está diseñado para demostrar que ustedes son capaces de implementar de forma práctica los conceptos fundamentales del procesamiento digital de señales. No es solo una simulación; es un sistema real que integra adquisición, filtrado, análisis, transmisión y demostración, que reta sus capacidades técnicas y analíticas. Trabajen con rigor, es la clave del éxito profesional, documenten cada paso y presenten resultados reproducibles y profesionalmente elaborados.*

### 1.1. Metas Específicas

1. **Captura y preprocesamiento de voz:** adquisición robusta, preénfasis, filtro notch 50/60 Hz y paso-bajo 3.4 kHz.
2. **Análisis espectral:** FFT, energía en subbandas y centroide espectral.
3. **Visualización:** gráficos temporales, espectrogramas y comparaciones antes/después del filtrado.
4. **Codificación binaria:** asignar códigos binarios a marcadores o eventos definidos por el grupo.
5. **Comunicación digital:** transmisión/recepción de los códigos usando RS232, MQTT o protocolo equivalente.
6. **Implementación en hardware:** demostración básica en Raspberry Pi 4 usando GPIO o indicadores visuales.

### 1.2. Resultados Esperados

- Integración completa de un pipeline voz  $\rightarrow$  procesamiento  $\rightarrow$  datos.
- Comprensión práctica de filtros, FFT, espectrogramas y protocolos de comunicación.
- Producción de un informe técnico profesional y una presentación Beamer.

### 1.3. Requerimientos Matemáticos

Cada entrega debe incluir los siguientes desarrollos:

1. Ecuación del preénfasis y análisis de su respuesta en frecuencia:

$$H(e^{j\omega}) = 1 - \alpha e^{-j\omega}.$$

2. Filtro notch digital para 50/60 Hz:

$$H(z) = \frac{1 - 2\cos(\omega_0)z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2r\cos(\omega_0)z^{-1} + r^2z^{-2}}, \quad \omega_0 = \frac{2\pi f_0}{f_s}.$$

3. FIR paso-bajo con ventana:

$$h_d[n] = \frac{\omega_c}{\pi} \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega_c}{\pi}(n - M/2)\right).$$

4. SNR antes/después del filtrado:

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left( \frac{\sum s[n]^2}{\sum v[n]^2} \right).$$

5. STFT:

$$X[m, k] = \sum_n x[n + mH]w[n]e^{-j2\pi kn/N}.$$

6. Energía en subbandas y centroide espectral:

$$C = \frac{\sum f|X(f)|}{\sum |X(f)|}.$$

7. Visualización obligatoria: señales, espectros, espectrogramas, comparaciones.

## 2. Objetivos

### Objetivo General

Desarrollar un sistema de procesamiento digital que permita capturar, filtrar, analizar y transmitir señales de voz utilizando técnicas fundamentales de DSP.

### 2.1. Objetivos Específicos

- Implementar filtros digitales FIR/IIR.
- Realizar análisis espectral usando FFT y STFT.
- Visualizar resultados de forma clara y comparativa.
- Transmitir datos procesados usando un protocolo digital.
- Integrar todo el sistema en Raspberry Pi 4.

## 3. Actividades

El propósito de este proyecto es que cada estudiante —y cada equipo de trabajo— desarrolle un sistema funcional de procesamiento digital de señales capaz de capturar, filtrar, analizar y transmitir información proveniente de señales de voz reales. Este trabajo debe reflejar un entendimiento profundo de los conceptos estudiados en clase y su articulación práctica en MATLAB, Python y Raspberry Pi 4.

A continuación, se describen con detalle las tareas que deben realizar, así como los productos finales esperados. Se recomienda seguir este orden tanto para la implementación como para la presentación de resultados en el informe.

### 3.1. Captura de señales de voz

- Cada estudiante debe grabar un conjunto de señales de voz, al menos 15–20 muestras por persona, de palabras o sonidos definidos por el grupo.
- Las grabaciones deben realizarse en formato WAV, con una frecuencia de muestreo mínima de 16 kHz.
- El conjunto debe organizarse en carpetas claras, etiquetadas y con nombres coherentes.
- En el informe, deben incluir:
  - características de la grabación (micrófono, entorno, formato),
  - descripción del dataset,
  - gráficos temporales de al menos 3 señales.

### 3.2. 2. Preprocesamiento: filtro de preénfasis

- Implementar el filtro:

$$y[n] = x[n] - \alpha x[n-1], \quad 0,95 \leq \alpha \leq 0,98.$$

- Mostrar su respuesta en frecuencia y explicar el porqué del realce en altas frecuencias.
- Comparar en gráficos la señal antes y después del preénfasis.

### 3.3. 3. Filtrado digital obligatorio

#### 3.1. Filtro Notch 50/60 Hz

- Diseñar un filtro notch en 50 o 60 Hz:

$$H(z) = \frac{1 - 2 \cos(\omega_0)z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2r \cos(\omega_0)z^{-1} + r^2 z^{-2}}, \quad \omega_0 = \frac{2\pi f_0}{f_s}.$$

- Analizar el efecto del parámetro  $r$  sobre el ancho del rechazo.
- Graficar:
  - respuesta al impulso,
  - respuesta en magnitud y fase,
  - comparación espectral antes/después.

#### 3.2. Filtro Pasabajo FIR (3.4 kHz)

- Diseñar un FIR empleando método de ventana (preferible Hamming).
- Determinar el orden adecuado justificando:

$$h_d[n] = \frac{\omega_c}{\pi} \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega_c}{\pi}(n - M/2)\right).$$

- Mostrar espectros antes y después del filtrado.

### 3.4. Estimación de la SNR

Cada estudiante debe calcular la mejora en la relación señal-ruido (SNR) obtenida con los filtros implementados:

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left( \frac{\sum s[n]^2}{\sum v[n]^2} \right).$$

Debe incluir:

- SNR original,
- SNR después de cada filtro,
- mejora total en dB,
- comentarios interpretativos.

### 3.5. Análisis espectral

Debe implementarse:

- FFT de ventanas de análisis,
- espectrogramas (STFT),
- energía por subbandas,
- centroide espectral:

$$C = \frac{\sum_f f |X(f)|}{\sum_f |X(f)|}.$$

Se espera:

- Comparativa entre señales filtradas y no filtradas,
- Interpretación de cada gráfico,
- Selección correcta de parámetros de ventana y solape.

### 3.6. Transmisión Digital

Cada grupo debe enviar información derivada del análisis (por ejemplo, “evento detectado”, “bandas energéticas”, “marcador binario”, etc.) usando uno de los siguientes:

- RS232,
- MQTT,
- UDP/TCP,
- UART sobre Raspberry Pi.

### **3.7. Implementación en MATLAB o Phyton (Raspberry Pi4 Opcional)**

Cada equipo debe realizar una demostración mínima funcional:

- correr el código en la RPi4,
- mostrar lectura de un archivo o señal,
- efectuar procesamiento básico (FFT o filtrado),
- activar un GPIO (LED o indicador equivalente) asociado a un evento o comando.

Debe incluirse evidencia fotográfica o en vídeo en la presentación.

### **3.8. Informe y Presentación Final**

#### **3.8.1. Informe (10–15 páginas)**

Debe contener:

- Introducción y justificación,
- teoría aplicada,
- desarrollo matemático,
- resultados gráficos,
- análisis y discusión,
- conclusiones,
- anexos de código (o repositorio).

#### **3.8.2. Presentación Beamer**

Debe incluir:

- arquitectura del sistema,
- comparaciones antes/después,
- espectrogramas,
- transmisión digital,
- demo en RPi,
- conclusiones clave.

## 4. Entregables

### Entrega Parcial — 29 de Noviembre de 2025

- Captura y preprocesamiento de señales de voz.
- Cálculo de SNR .
- FFT y análisis espectral básico.
- Visualizaciones iniciales.
- Informe parcial (4–6 páginas).

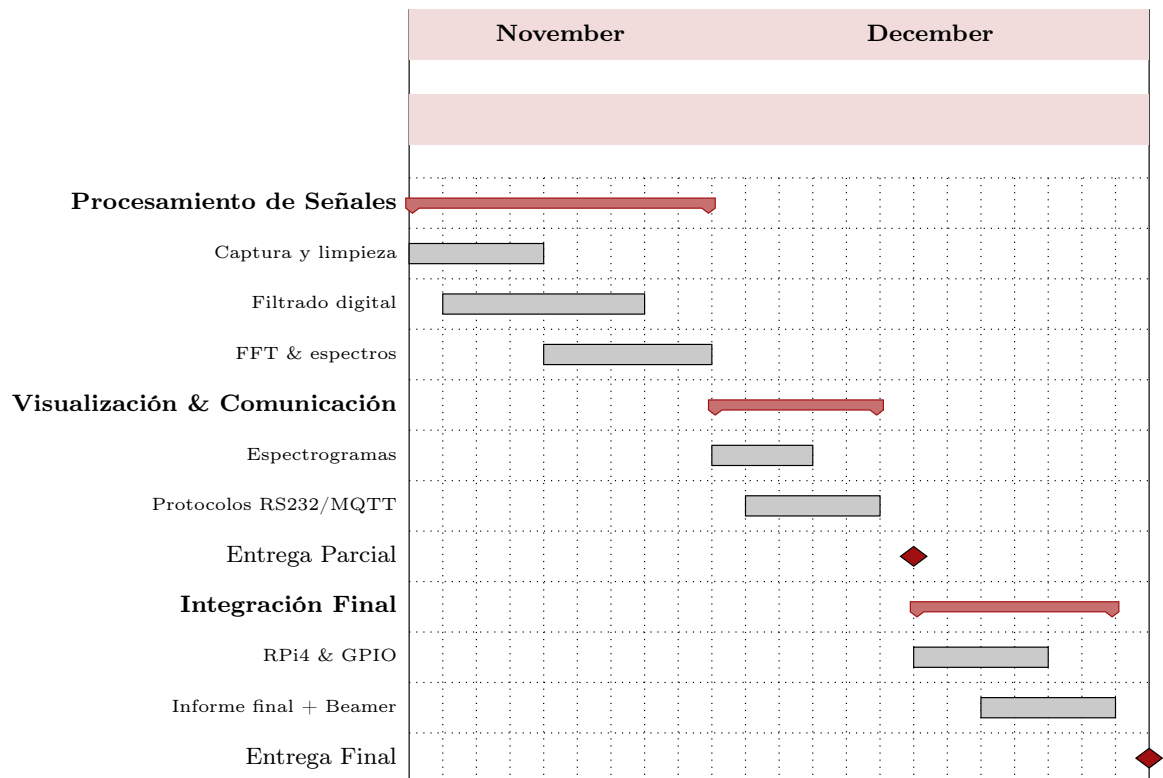
### Entrega Final — 13 de diciembre de 2025

- Implementación y análisis de filtros (preénfasis, notch, LPF).
- Sistema integrado: filtrado + características + visualización.
- Cálculo y comparación de SNR antes/después del filtrado.
- Implementación de transmisión digital (RS232/MQTT).
- Demostración funcional en Raspberry Pi 4.
- Informe final (10–15 páginas).
- Presentación Beamer.

## 5. Rúbrica de Evaluación (100 %)

Criterio	Descripción	Peso
Filtrado digital	Preénfasis, notch, LPF y análisis SNR.	25 %
Análisis espectral	FFT, energía por bandas, centroide, STFT.	25 %
Visualización	Gráficos claros, espectrogramas, comparaciones.	15 %
Comunicación digital	Implementación (RS232/MQTT) y pruebas.	15 %
Implementación RPi4	Demostración GPIO y ejecución real.	10 %
Informe & Beamer	Claridad, calidad técnica, organización.	10 %
<b>TOTAL</b>		<b>100 %</b>

# Cronograma



## Bibliografía

- Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W. *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice Hall.
- Proakis, J. G., & Manolakis, D. G. *Digital Signal Processing*. Pearson.
- Haykin, S. *Communication Systems*. Wiley.