

2025

Análisis de sistemas

PRÁCTICA 2

PABLO MOSIAH CAJIGAL DURAN

Tabla de contenido

Objetivo2

Antecedentes.....2

Desarrollo3

Ecuaciones en diferencias6

Diagramas en Bloques7

La respuesta al impulso8

Conclusiones10

Correlación Cruzada 11

Objetivo

Analizar el comportamiento de sistemas LTI (Lineales e Invariantes en el Tiempo) aplicados a señales de voz, mediante la implementación de técnicas de convolución y ecuaciones en diferencias, así como evaluar la similitud entre señales mediante la correlación cruzada. Se busca observar fenómenos como el eco y la reverberación, así como identificar patrones coincidentes en señales de audio mediante herramientas de procesamiento digital.

Antecedentes

En el análisis de sistemas digitales, los sistemas Lineales e Invariantes en el Tiempo (LTI) son fundamentales para modelar el comportamiento de respuestas a señales. Estos sistemas permiten describir fenómenos como el eco, generado por una señal retardada y atenuada, y la reverberación, como una superposición de múltiples ecos con menor intensidad, típicamente presente en espacios cerrados.

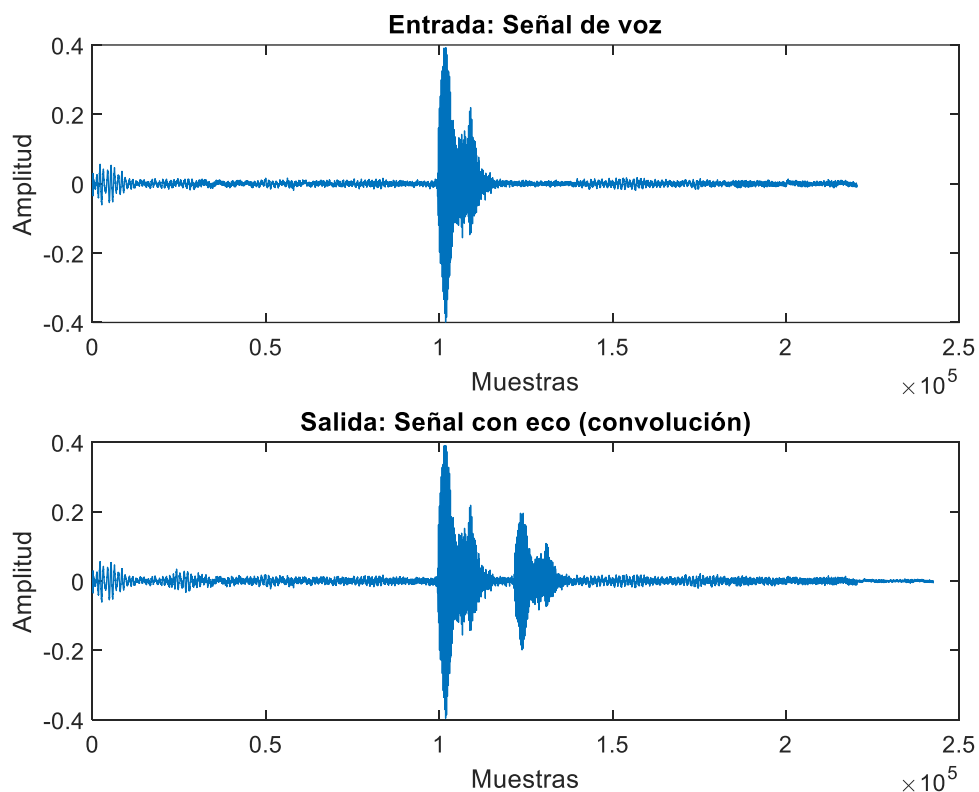
Para caracterizar estos efectos, se recurre a herramientas como la convolución, que permite obtener la salida de un sistema conociendo su respuesta al impulso, y a las ecuaciones en diferencias, que representan relaciones recursivas entre entradas y salidas. Además, la correlación cruzada es una técnica clave para identificar el grado de similitud entre dos señales, incluso cuando existe un desfase entre ellas.

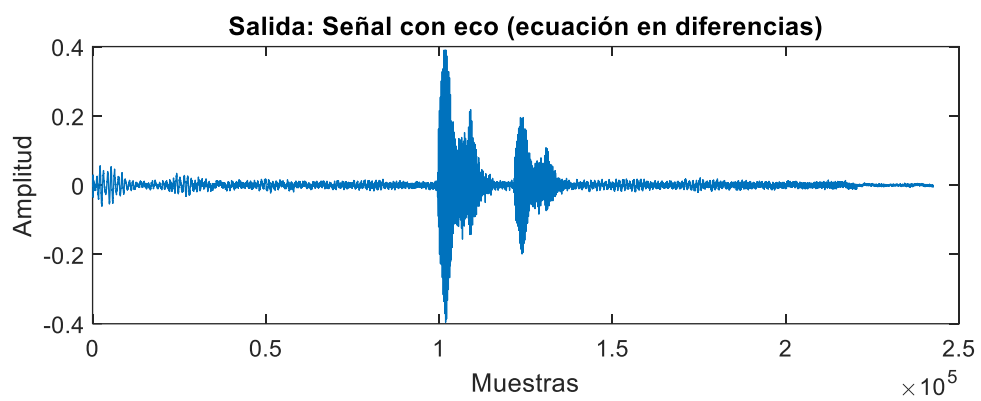
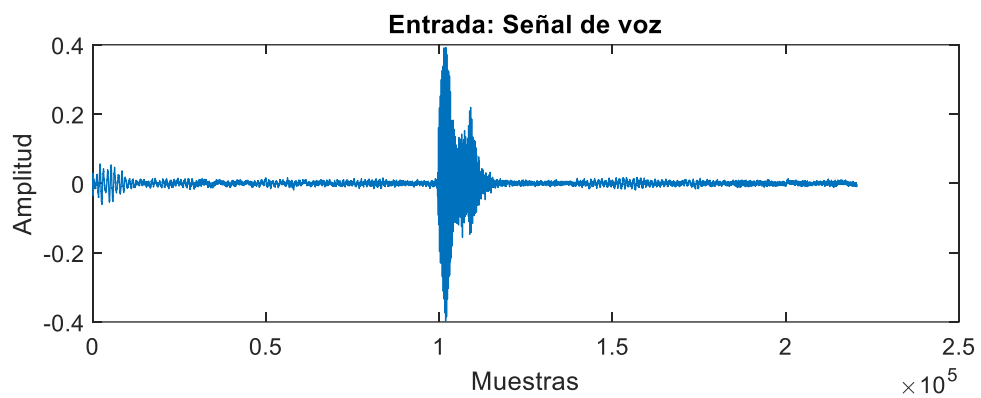
Estas herramientas forman parte del núcleo del procesamiento digital de señales, con aplicaciones que van desde sistemas de audio y acústica hasta reconocimiento de voz y verificación biométrica.

Desarrollo

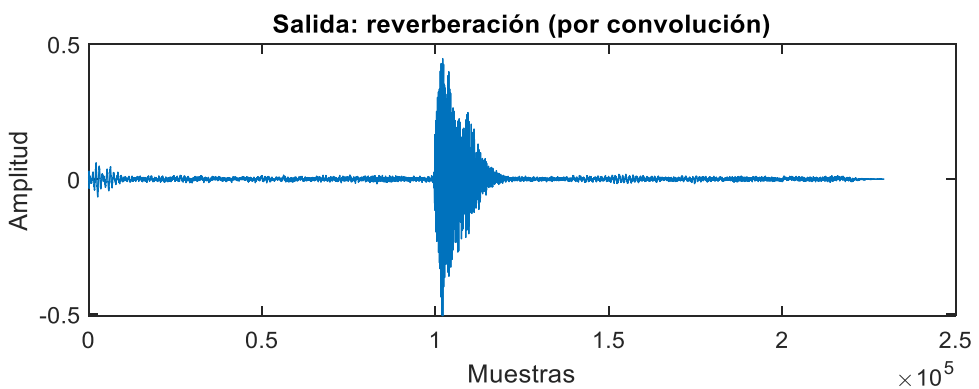
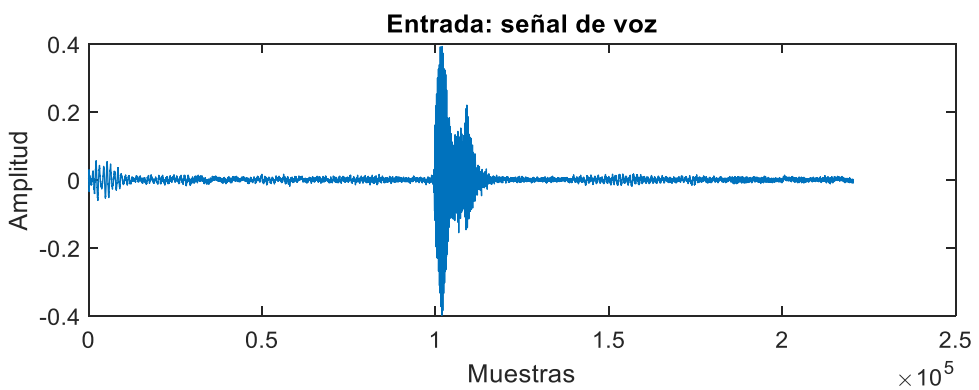
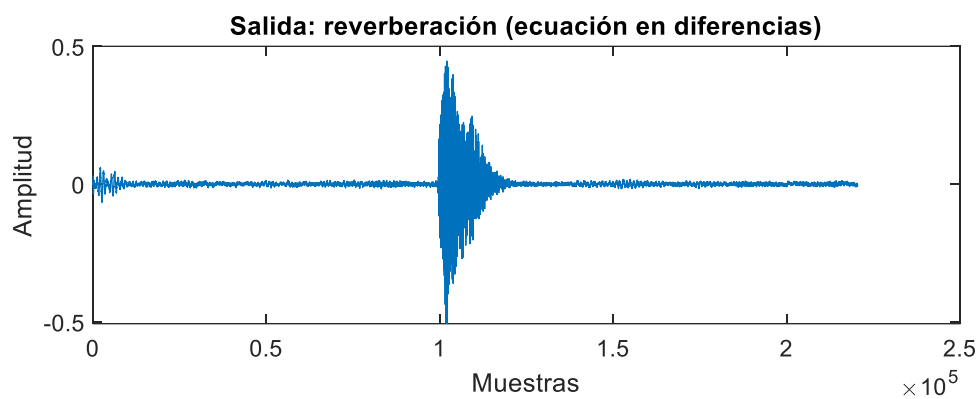
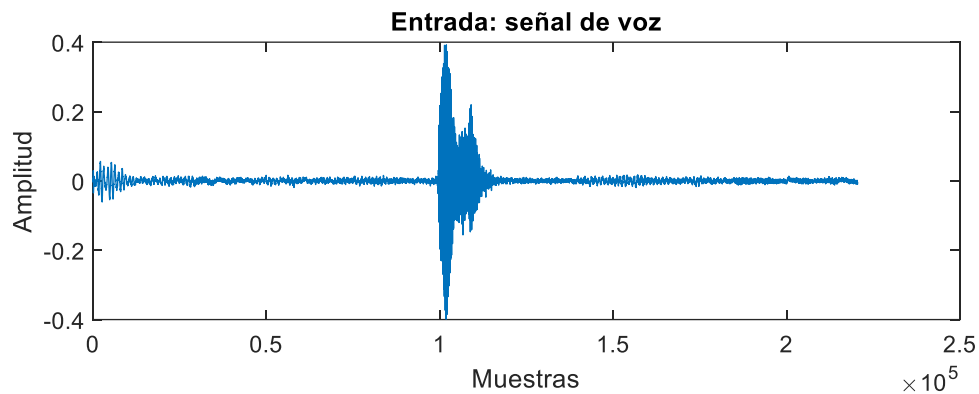
Se generó un audio correspondiente a una sola palabra: “Pablo”, utilizando una frecuencia de muestreo de 44,100 Hz. Esta señal fue empleada como entrada para el análisis de dos sistemas LTI distintos: eco y reverberación.

El primer sistema simula el fenómeno del eco, en el cual se observa una réplica retardada y atenuada de la señal original. Este fue implementado tanto mediante convolución como por ecuaciones en diferencias, obteniéndose resultados similares en la percepción del efecto, aunque mediante enfoques computacionales distintos.





El segundo sistema corresponde al fenómeno de la reverberación, caracterizado por una sucesión de ecos que se acumulan y decrecen progresivamente. Esta reverberación fue modelada también por ambos métodos: una respuesta al impulso compuesta (por convolución) y una realimentación controlada (por ecuación en diferencias)



Ecuaciones en diferencias

- Eco

$$y[n] = x[n] + \alpha \cdot x[n - N]$$

$$y[n] = x[n] + 0.5 \cdot x[n - 22050]$$

- $x[n]$: señal de entrada
- $y[n]$: señal de salida
- $\alpha = 0.5$: coeficiente de atenuación del eco
- N : cantidad de muestras de retardo ($N = 22050$ equivale a 0.5 s)

- Reverberación

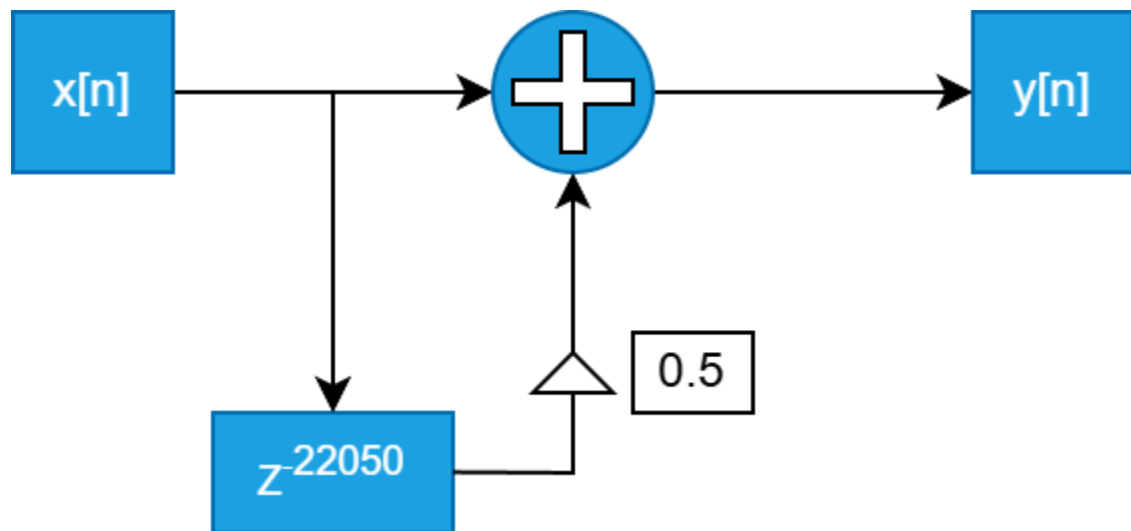
$$y[n] = x[n] + \alpha \cdot y[n - d]$$

$$y[n] = x[n] + 0.6 \cdot y[n - 1764]$$

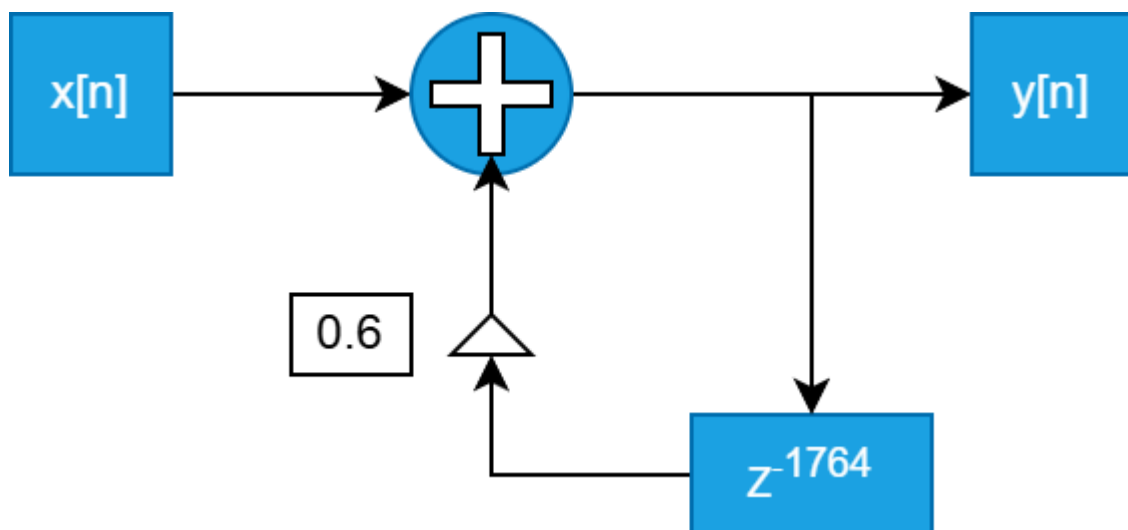
- $a = 0.6$: coeficiente de realimentación
- d : retardo en muestras (1764 muestras para 40 ms)

Diagramas en Bloques

- Eco



- Reverberación

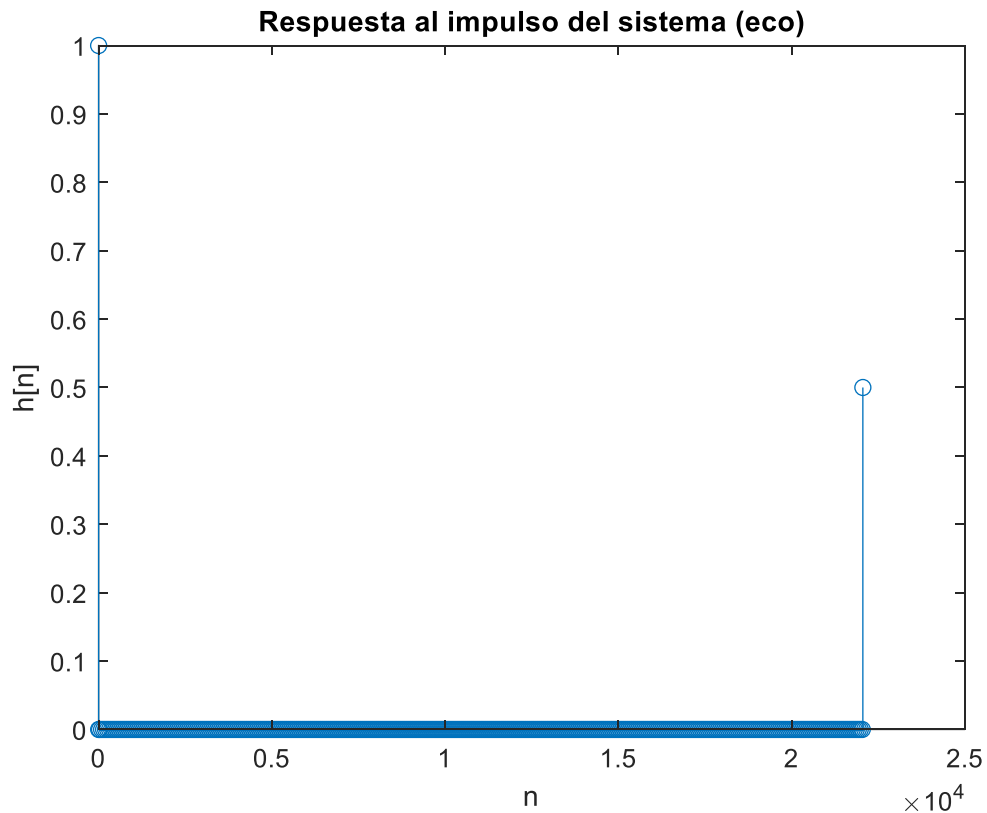


La respuesta al impulso

- Eco

$$h[n] = \{1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \dots 0.5\}$$

- El 0,5 se representa en la muestra numero 22050

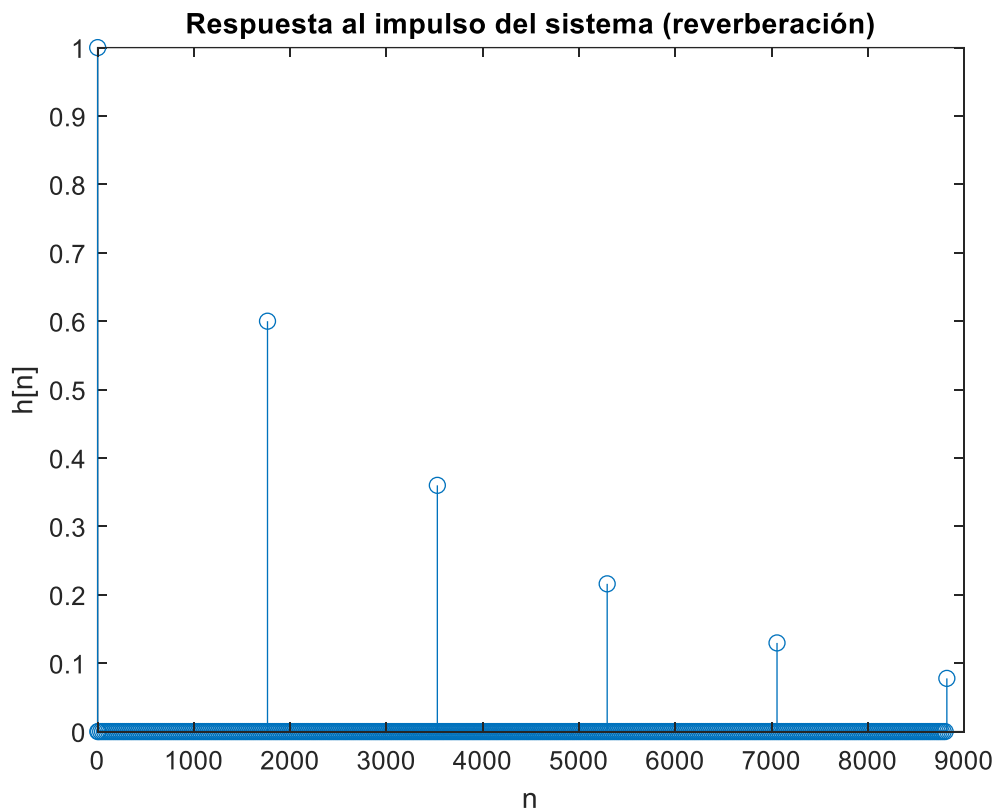


Dado que la respuesta al impulso del sistema de eco, mostrada en la figura correspondiente, presenta una duración finita y un número limitado de coeficientes distintos de cero, se identifica al sistema como un sistema de tipo FIR (Finite Impulse Response).

- Reverberación

$$h[n] = \{1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \dots 0.6 \dots 0.36 \dots 0.216 \dots 0.129 \dots 0.077\}$$

- El 0.6 se representa en la muestra 1764
- El 0.36 se representa en la muestra 3528
- El 0.216 se representa en la muestra 5292
- El 0.129 se representa en la muestra 7056
- El 0.077 se representa en la muestra 8821



Dado que la respuesta al impulso del sistema de reverberación implementado mediante ecuación en diferencias con realimentación presenta un decaimiento progresivo, pero no se anula completamente, se identifica al sistema como un IIR.

Conclusiones

En esta práctica se trabajó con una señal de voz grabada y se analizaron los efectos del eco y la reverberación, usando diferentes formas de implementación: por convolución y por ecuaciones en diferencias.

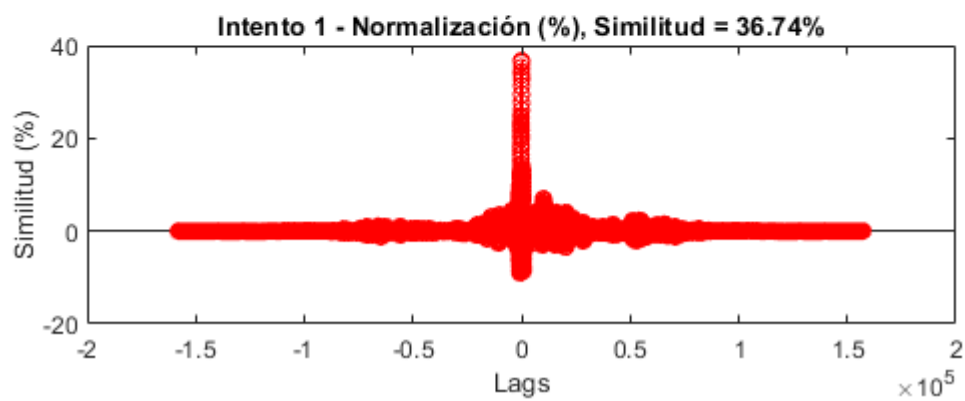
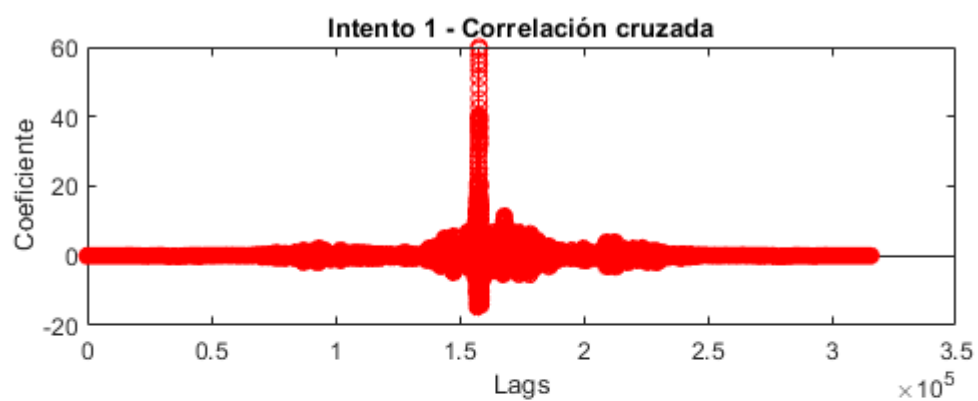
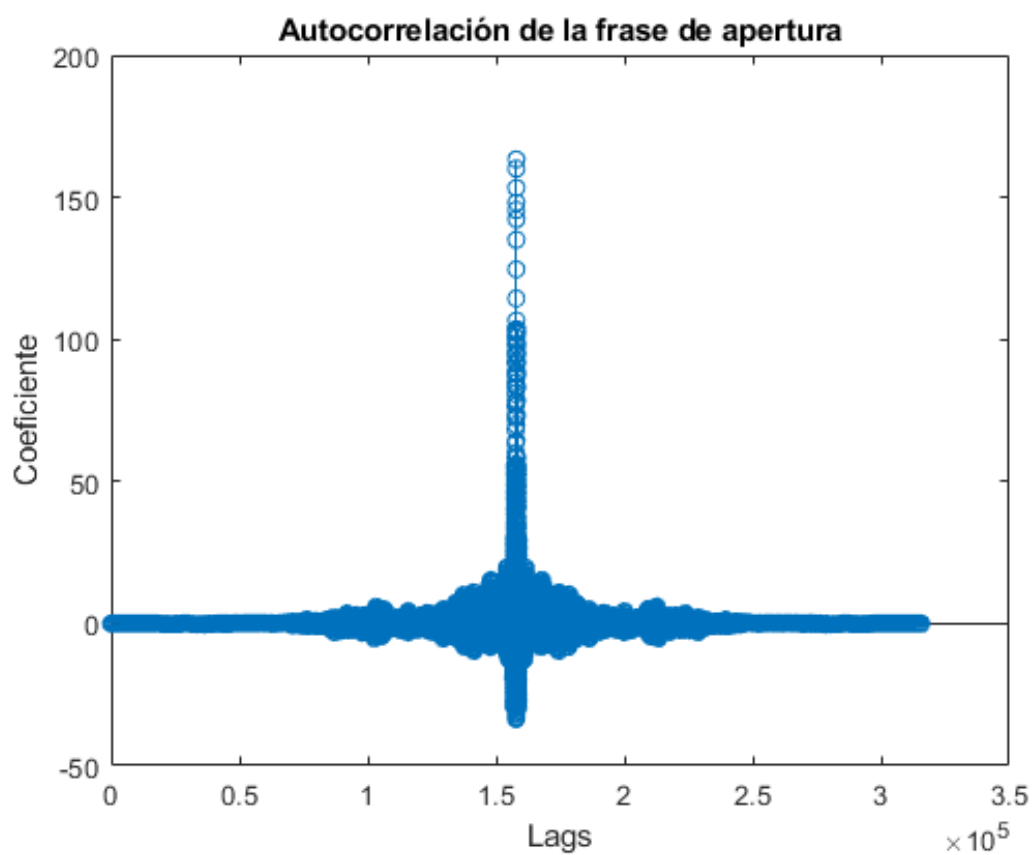
Se usó una frecuencia de muestreo de 44,100 Hz, que es común en audio porque permite una buena calidad. Para el eco, se aplicó un retardo de 0.5 segundos, que equivale a 22,050 muestras. Este valor se eligió porque es suficiente para que el eco se escuche claramente, sin mezclarse con la palabra original ni sonar como reverberación.

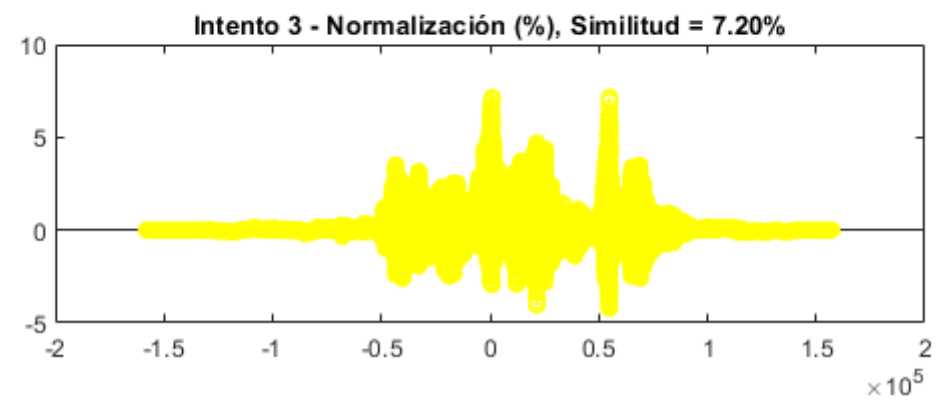
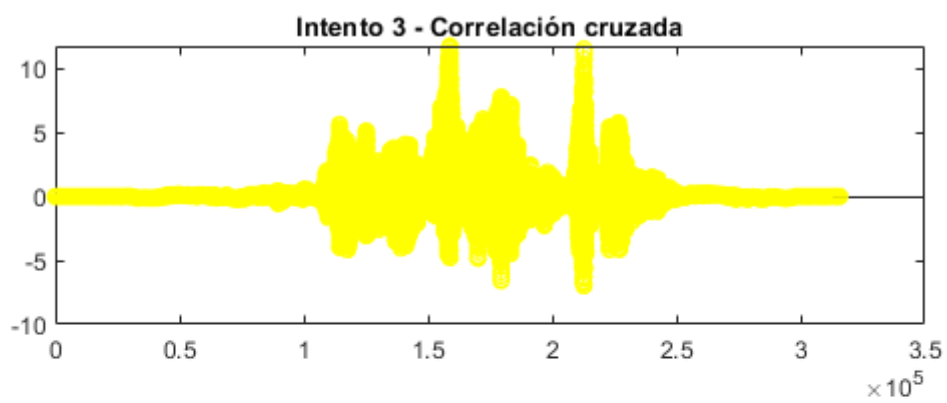
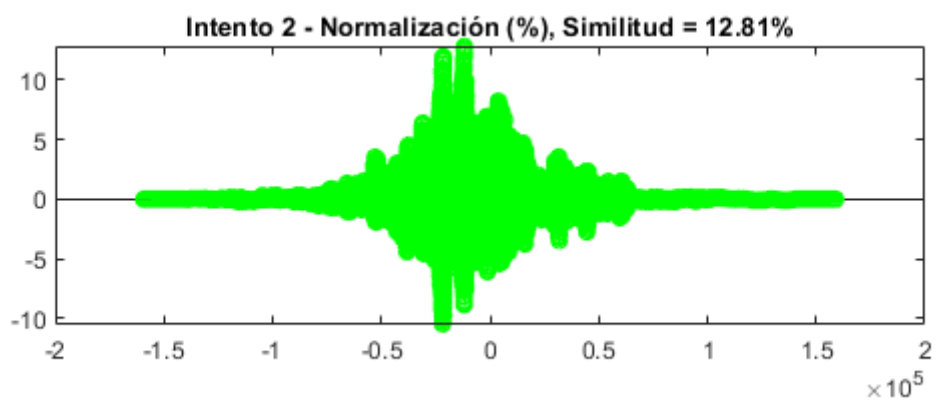
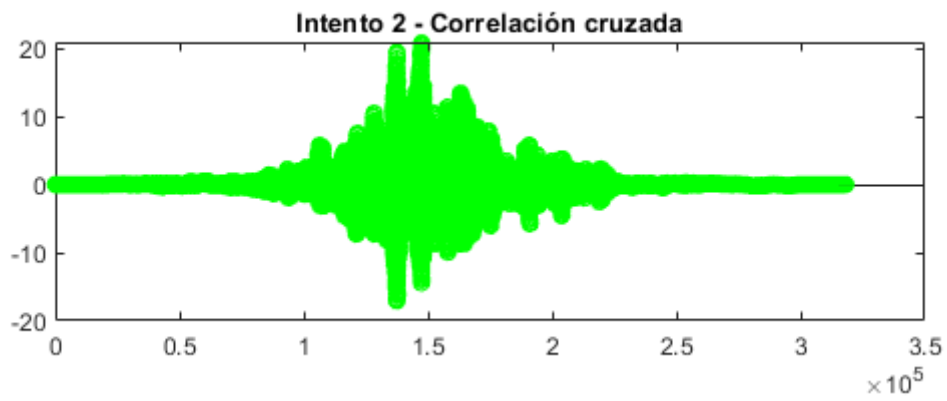
Para la reverberación, se usó un retardo de 40 milisegundos, que equivale a 1,764 muestras. Este valor da un efecto más natural, como si la palabra se hubiera dicho en una sala con rebotes de sonido. También se eligió un coeficiente de atenuación que permitiera que los rebotes se notaran, pero sin hacer que el sonido se prolongue demasiado.

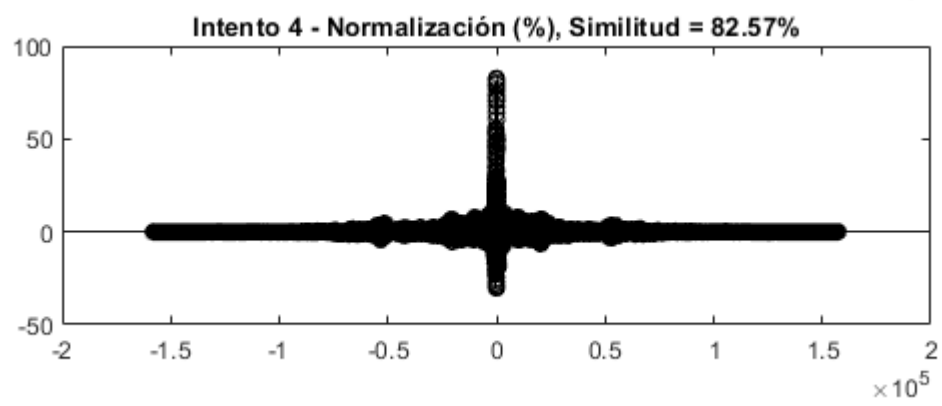
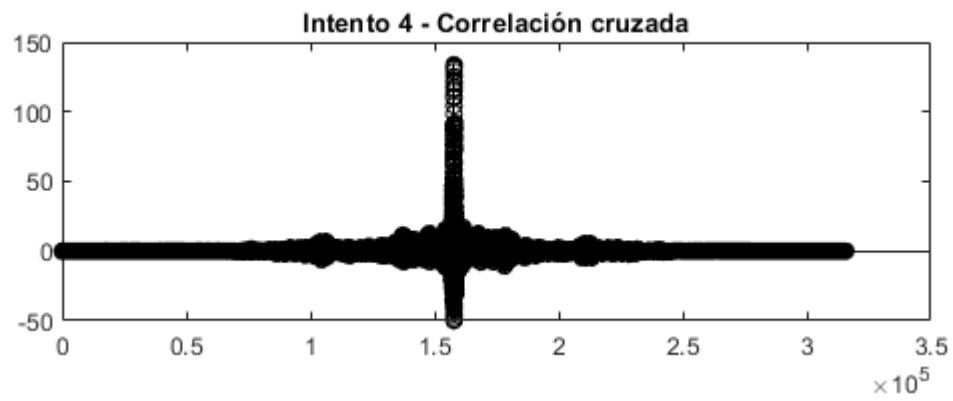
En resumen:

- El eco fue un sistema FIR, porque su respuesta al impulso se apaga rápido y no usa retroalimentación.
- La reverberación fue FIR o IIR dependiendo del método: FIR por convolución (porque tiene rebotes limitados) e IIR con realimentación (porque sigue generando salida con el tiempo).

Correlación Cruzada







Con el fin de identificar cuál de los cuatro intentos logró abrir la caja fuerte, se aplicó la correlación cruzada entre cada señal de intento y la frase original almacenada en FraseApertura. Aunque las gráficas permiten una comparación visual, se utilizó además un método cuantitativo basado en la normalización respecto a la autocorrelación, obteniendo así un porcentaje de similitud para cada caso.

Esto facilitó medir con mayor precisión qué tan parecida era cada señal con respecto a la frase correcta.

Comparación con FraseApertura	Porcentaje de coincidencia
Intento 1	36.74%
Intento 2	12.81%
Intento 3	6.48%
Intento 4	82.57%

A simple vista, algunos intentos podrían parecer similares al original, pero al revisar los datos obtenidos, se confirma que el Intento 4 presenta el mayor nivel de coincidencia, con un 82.57 %, lo que indica que fue el intento que logró activar la apertura de la caja fuerte