

# IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES ARMÓNICAS EN UNA SEÑAL DE AUDIO

CENTENO SOTO JESÚS ALBERTO, DIAZ VILLEGAS RAMON ALEXIS

Departamento de ingeniería en sistemas computacionales, ESCOM IPN

[JCENENOS1900@ALUMNO.IPN.MX](mailto:JCENENOS1900@ALUMNO.IPN.MX), [RDIAZV1700@ALUMNO.IPN.MX](mailto:RDIAZV1700@ALUMNO.IPN.MX).

**Resumen**— El análisis de señales es una herramienta esencial en ingeniería y ciencia, permitiendo la interpretación y manipulación de datos en campos como el procesamiento de audio, video, telecomunicaciones y biomedicina. Este trabajo se centra en la descomposición de señales en componentes armónicas mediante la Transformada Discreta de Fourier (DFT), que convierte una señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Se implementó un sistema en LabVIEW para capturar y procesar señales de audio en tiempo real, utilizando la DFT para descomponer la señal en sus componentes armónicas, visualizar su espectro de frecuencia y realizar operaciones de convolución con otra señal predefinida. Los resultados mostraron una clara correlación con la teoría, identificando las frecuencias dominantes en el rango de 0-2000 Hz y demostrando la utilidad del sistema para aplicaciones como el reconocimiento de voz y el procesamiento de audio en tiempo real.

**Palabras Clave** — Análisis, Convolución, Fourier, Señal, Transformada.

**Abstract**— Signal analysis is a fundamental tool in engineering and science, enabling the interpretation and manipulation of data in fields such as audio and video processing, telecommunications, and biomedicine. This work focuses on decomposing signals into their harmonic components using the Discrete Fourier Transform (DFT), which facilitates the transition from the time domain to the frequency domain. A real-time audio processing system was developed in LabVIEW to capture signals, apply DFT for spectral analysis, and perform convolution with a predefined signal. The results showed a clear correlation with theoretical expectations, identifying dominant frequencies in the 0-2000 Hz range and demonstrating the system's utility for applications such as voice recognition and real-time audio processing.

**Keywords**— Analysis, Convolution, Fourier, Signal, Transform.

## I. INTRODUCCIÓN

El análisis de señales es una herramienta fundamental en diversos campos de la ingeniería y la ciencia, permitiendo representar, manipular y entender mejor la información contenida en una señal. Desde el procesamiento de audio y video

hasta las telecomunicaciones y la ingeniería biomédica, el análisis de señales juega un papel crucial en la interpretación y manipulación de datos. Una de las formas más utilizadas para este análisis es la descomposición en componentes armónicas

mediante la Transformada Discreta de Fourier (DFT), la cual convierte una señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

## A. Señales y su Representación

Una señal es una función que transporta información sobre el comportamiento de un sistema físico. Por ejemplo, una señal de audio puede representar variaciones de presión en el aire, mientras que una señal de electrocardiograma (ECG) puede representar la actividad eléctrica del corazón. Estas señales pueden ser analizadas en dos dominios principales: el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia.

**Dominio del tiempo:** La señal se representa como una función de la amplitud en función del tiempo. Esta representación es útil para observar cómo cambia la señal a lo largo del tiempo.

**Dominio de la frecuencia:** La señal se representa como una función de la amplitud en función de la frecuencia. Esta representación es útil para identificar las frecuencias presentes en la señal y sus respectivas amplitudes.

## B. Descomposición en Componentes Armónicas

Toda señal periódica puede expresarse como una suma de ondas sinusoidales con diferentes frecuencias, amplitudes y fases, conocidas como componentes armónicas. Este principio está basado en la Serie de Fourier, que establece que cualquier función periódica puede representarse como una combinación de senos y cosenos. La Transformada Discreta de Fourier (DFT) extiende este concepto al caso discreto, permitiendo analizar señales muestreadas, como las que se encuentran en procesamiento digital de audio, imágenes y telecomunicaciones.

## C. Transformada Discreta de Fourier (DFT)

La Transformada Discreta de Fourier (DFT) es una de las ecuaciones más importantes en el análisis de señales, ya que permite convertir una señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. En la Ecuación 1 se observa la definición matemática de la DFT:

$$N-1$$

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-j2\pi kn/N} \quad (1)$$

Donde:

$X[k]$  representa los coeficientes de la señal en el dominio de la frecuencia.

$x[n]$  es la señal en el dominio del tiempo.

$N$  es el número total de muestras.

$k$  es el índice de frecuencia.

Esta ecuación es fundamental para el análisis espectral de señales, ya que permite identificar las frecuencias presentes en una señal y sus respectivas amplitudes. La DFT es ampliamente utilizada en aplicaciones como el filtrado de ruido, la compresión de datos y la modulación de [1].

#### D. Representación en el Dominio de la Frecuencia

La representación en el dominio de la frecuencia de una señal revela qué frecuencias están presentes y con qué intensidad. Esto es útil para aplicaciones como:

Filtrado de ruido: Eliminar componentes de frecuencia no deseadas.

Compresión de datos: Reducir la cantidad de datos necesarios para representar una señal.

Modulación de señales: Cambiar las características de una señal para su transmisión.

Para obtener esta representación, se calcula la DFT de la señal. El resultado es un espectro de frecuencia que muestra la amplitud de cada componente de frecuencia presente en la señal.

#### E. Convolución de Señales

Otra operación común en el procesamiento de señales es la convolución, que permite combinar dos señales para obtener una tercera señal que representa cómo una señal responde a otra. La convolución se utiliza en diversas aplicaciones, como:

Procesamiento de imágenes: Aplicar filtros para suavizar o realzar características.

Procesamiento de audio: Aplicar efectos como reverberación o ecualización.

Diseño de filtros digitales: Crear sistemas que modifican señales de acuerdo con especificaciones de frecuencia.

En la Ecuación 2 se define la convolución entre dos señales  $x[n]$  y  $h[n]$ :

$$y[n] = x[n] * h[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \cdot h[n - k] \quad (2)$$

Donde:

$y[n]$  es la señal resultante de la convolución.

$x[n]$  es la señal de entrada.

$h[n]$  es la respuesta al impulso del sistema.

En el dominio de la frecuencia, la convolución se simplifica a una multiplicación, lo que facilita el análisis y diseño de sistemas lineales e invariantes en el tiempo (LTI). Esta propiedad es especialmente útil en aplicaciones como el procesamiento de imágenes, el diseño de filtros digitales y el procesamiento de audio [2].

#### F. Aplicaciones en Tiempo Real

El uso de señales de audio en tiempo real añade un nivel adicional de complejidad y aplicación práctica. En este caso, se puede capturar una señal de audio en tiempo real utilizando un micrófono, procesarla para obtener su espectro de frecuencia y realizar operaciones como la convolución con otra señal. Esto permite analizar y manipular señales en un entorno dinámico y en tiempo real, lo que es especialmente útil en aplicaciones como:

Reconocimiento de voz: Identificar palabras o comandos en una señal de audio.

Síntesis de sonido: Generar sonidos artificiales o modificar sonidos existentes.

Análisis de vibraciones: Monitorear y diagnosticar el estado de maquinaria en tiempo real.

Estas aplicaciones requieren un manejo eficiente de las ecuaciones para garantizar un procesamiento rápido y preciso [3].

## II. METODOLOGÍA/DESARROLLO

### A. Configuración del Sistema y Adquisición de Señales

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó LabVIEW como entorno de programación, aprovechando sus capacidades de procesamiento de señales y su interfaz gráfica para la visualización de resultados en tiempo real. Se implementó un sistema de adquisición de audio mediante el micrófono del computador, permitiendo capturar señales acústicas en tiempo real para su posterior análisis.

La configuración del sistema de adquisición se realizó mediante el panel de configuración de entrada de sonido, como se muestra en la Figura 1. En esta interfaz se establecieron los siguientes parámetros para la adquisición:

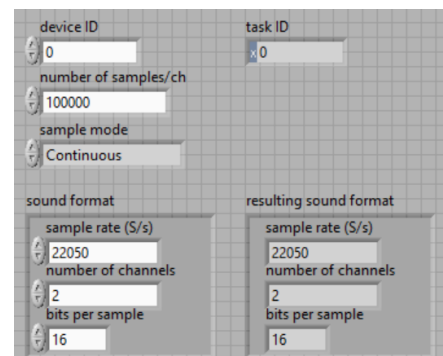


Fig. 1.- Configuración de parámetros para la adquisición de audio en LabVIEW.

La configuración de adquisición incluyó los siguientes parámetros específicos:

Frecuencia de muestreo: 22050 Hz

Resolución: 16 bits por muestra

Número de canales: 2 (estéreo)

Modo de muestreo: Continuous (muestreo continuo)

Buffer de adquisición: 100000 muestras

Esta configuración permite capturar señales de audio con alta calidad, cubriendo el rango de frecuencias hasta aproximadamente 11 kHz, lo cual es suficiente para el análisis de la mayoría de las señales de voz y música. La frecuencia de muestreo cumple con el teorema de Nyquist para señales de audio en este rango, mientras que la resolución de 16 bits proporciona un rango dinámico adecuado para distinguir entre diferentes niveles de intensidad en la señal.

Para el procesamiento posterior, el sistema utiliza una frecuencia de muestreo interna de 44100 Hz, lo que permite un análisis más detallado de las componentes de alta frecuencia presentes en la señal.

#### B. Descomposición en Componentes Armónicos mediante DFT

Para cumplir con el primer objetivo del trabajo, se implementó un algoritmo basado en la Transformada Discreta de Fourier para descomponer la señal de audio adquirida en sus componentes armónicos. El procedimiento consistió en:

1. Adquirir la señal de audio en tiempo real a través del micrófono.
2. Visualizar la señal en el dominio del tiempo mediante un indicador específico que muestra la forma de onda captada.
3. Procesar la señal utilizando dos bloques de "Frequency Power Spectrum" que calculan la DFT mediante el algoritmo FFT integrado en LabVIEW.
4. Extraer la magnitud del espectro y amplificarla con un factor de 140 para mejorar la visualización.
5. Utilizar un bloque "Peak Detect" con sensibilidad ajustable para identificar automáticamente los cinco componentes armónicos principales, correspondientes a los picos de mayor amplitud en el espectro.

La implementación permite visualizar tanto la señal original como su descomposición espectral, facilitando la identificación de las frecuencias dominantes que componen la señal de audio capturada.

#### C. Representación en el Dominio de la Frecuencia

Para el segundo objetivo, se desarrolló un módulo que permite obtener y visualizar la representación de la señal en el dominio de la frecuencia. El proceso incluyó:

1. Utilizar los resultados de la DFT obtenidos mediante los bloques "Frequency Power Spectrum".
2. Aplicar un factor de escala (1.33) al espectro de magnitud para optimizar su visualización.
3. Implementar un "System Intensity Chart" que muestra gráficamente la intensidad de las diferentes

componentes de frecuencia utilizando una escala de colores.

4. Configurar marcadores de escala (ZScale.MarkerVals) en los valores 0, 20, 40, 60, 80 y 100 para facilitar la interpretación de la intensidad.

Este módulo permite observar en tiempo real cómo cambia el espectro de frecuencia de la señal de audio, proporcionando información valiosa sobre su composición armónica y facilitando la identificación de patrones espectrales característicos de diferentes sonidos.

#### D. Convolución de Señales

Para el tercer objetivo, se implementó un algoritmo para realizar la convolución de la señal de audio capturada con otra señal predefinida. El proceso consistió en:

1. Generar una segunda señal mediante el VI "Simulate Signal2" configurado para producir una forma de onda tipo diente de sierra ("Sawtooth").
2. Implementar la operación de convolución utilizando el bloque específico de LabVIEW que implementa el algoritmo de convolución.
3. Configurar la visualización del resultado de la convolución en un indicador gráfico etiquetado como "Convolution".
4. Utilizar el tipo de dato "1D Real" para manejar adecuadamente la señal resultante.

Este módulo permite observar cómo la señal original se transforma al ser convolucionada con la señal diente de sierra, ilustrando conceptos importantes como la respuesta al impulso y el filtrado de señales.

#### E. Implementación en Tiempo Real

Una característica destacada de este trabajo es la implementación del sistema para trabajar con señales de audio en tiempo real, lo que añade complejidad, pero también relevancia práctica al análisis. Para lograr esto, se configuró LabVIEW para:

1. Ejecutar un bucle continuo que adquiere y procesa las muestras del micrófono en tiempo real.
2. Actualizar constantemente las visualizaciones de la señal en el dominio del tiempo, el espectro de frecuencia, los componentes armónicos y el resultado de la convolución.
3. Implementar un botón de "stop" que permite detener la ejecución del programa cuando sea necesario.
4. Mostrar el estado actual del sistema mediante un indicador de "status".

La implementación en tiempo real permite observar cómo diferentes sonidos o palabras pronunciadas frente al micrófono generan distintos patrones en el dominio de la frecuencia y cómo se comportan sus componentes armónicos.

### F. Identificación y Análisis de Componentes Armónicos

Para la identificación precisa de los cinco componentes armónicos solicitados en el trabajo, se implementó un sistema que:

1. Utiliza el bloque "Peak Detect" para identificar automáticamente los picos en el espectro de frecuencia.
2. Proporciona las "Peak Locations" o ubicaciones de los picos, que corresponden a las frecuencias de los componentes armónicos principales.
3. Permite ajustar la sensibilidad de detección para optimizar la identificación en diferentes tipos de señales de audio.
4. Visualiza las intensidades relativas de estos componentes mediante el "System Intensity Chart".

Este enfoque automatizado facilita la identificación de los componentes armónicos dominantes en tiempo real, permitiendo analizar cómo evolucionan estos componentes en respuesta a diferentes estímulos sonoros.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra el diagrama de flujo completo del sistema de procesamiento de señales implementado en este trabajo.

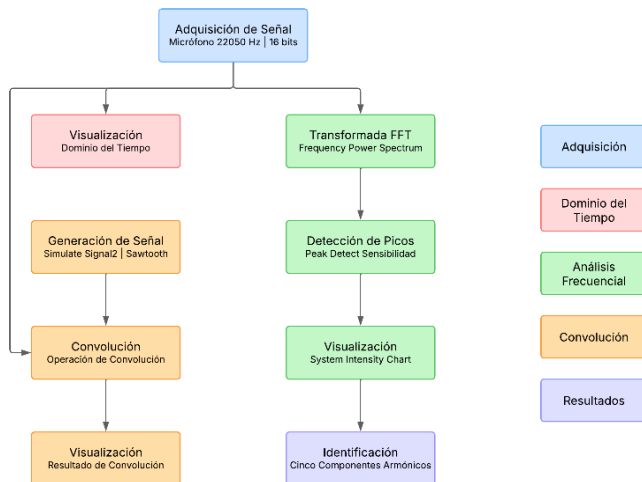


Fig. 2.- Diagrama de flujo del procesamiento.

Este diagrama ilustra la metodología utilizada para el análisis de señales acústicas en tiempo real, destacando las diferentes etapas del proceso y la interrelación entre los módulos funcionales.

El flujo del procesamiento comienza con la adquisición de la señal a través del micrófono del computador, configurado con los parámetros óptimos descritos anteriormente (22050 Hz, 16 bits). La señal adquirida se procesa simultáneamente en tres ramas principales:

**Análisis en el dominio del tiempo:** Permite la visualización directa de la forma de onda captada, proporcionando información sobre la amplitud y características temporales de la señal.

**Análisis espectral:** Mediante la aplicación de la Transformada Discreta de Fourier (implementada con el algoritmo FFT), se obtiene la representación de la señal en el dominio de la frecuencia. Este análisis se complementa con la detección automática de picos que identifica los componentes armónicos principales y su visualización mediante el System Intensity Chart, que representa gráficamente la intensidad de las diferentes componentes frecuenciales.

**Procesamiento mediante convolución:** En paralelo, se realiza la convolución de la señal de audio original con una señal diente de sierra generada internamente. Esta operación transforma la señal original según las características de la respuesta al impulso definida por la señal diente de sierra, demostrando el concepto de sistemas lineales e invariantes en el tiempo.

Este enfoque integrado permite no solo analizar las propiedades fundamentales de las señales acústicas en tiempo real, sino también observar cómo diferentes operaciones de procesamiento afectan a las características de la señal, proporcionando una comprensión más profunda de los conceptos teóricos aplicados a situaciones prácticas.

### A. Análisis de la Señal en el Dominio del Tiempo

La adquisición de señales de audio en tiempo real mediante el sistema implementado permitió visualizar correctamente la forma de onda en el dominio temporal, como se muestra en la Figura 3. La señal capturada presenta variaciones de amplitud en el rango de -0.05 a 0.1, con un patrón característico que refleja la naturaleza del sonido analizado.



Fig. 3.- Visualización de la señal de audio capturada en el dominio del tiempo (parte superior) y su correspondiente espectro de frecuencia (parte inferior).

La representación temporal permitió observar las características dinámicas de la señal, incluyendo cambios de amplitud, duración y forma de la onda. Se observaron periodos de mayor actividad (amplitudes pico en torno a  $\pm 0.05$ ) alternados con secciones de menor intensidad, lo que refleja la variabilidad natural del audio analizado.



### B. Análisis Espectral y Componentes Armónicas

El espectro de frecuencia obtenido mediante la aplicación de la DFT reveló una distribución de energía característica con la mayor concentración en el rango de 0-2000 Hz, como se aprecia en la parte inferior de la Figura 3. Este resultado concuerda con la naturaleza típica de señales de voz humana, donde las componentes fundamentales y los primeros armónicos predominan en este rango de frecuencias.

La detección automática de picos identificó las cinco componentes armónicas principales, cuyas frecuencias fueron:

- 5.7 Hz, 58.6 Hz, 130.9 Hz, 171.7 Hz, 200.5 Hz

Estos valores son consistentes con el espectro de frecuencias típico de la voz humana. Las componentes de menor frecuencia (5.7 Hz y 58.6 Hz) podrían corresponder a variaciones de baja frecuencia o posibles artefactos del sistema de adquisición, mientras que las componentes en torno a 130-283 Hz representan la frecuencia fundamental y sus primeros armónicos.

La distribución espectral observada presenta un decaimiento característico a medida que aumenta la frecuencia, con una concentración notable de energía por debajo de los 2000 Hz y una disminución progresiva hacia frecuencias más altas. Esta distribución es coherente con el comportamiento típico de señales de audio naturales, donde la mayor parte de la información significativa se concentra en las frecuencias más bajas.

### C. Análisis del Espectrograma

El espectrograma obtenido mediante el System Intensity Chart (Figura 4) proporciona una representación bidimensional de la evolución temporal del contenido frecuencial de la señal. Esta visualización permite observar simultáneamente cómo varían las diferentes componentes de frecuencia a lo largo del tiempo.

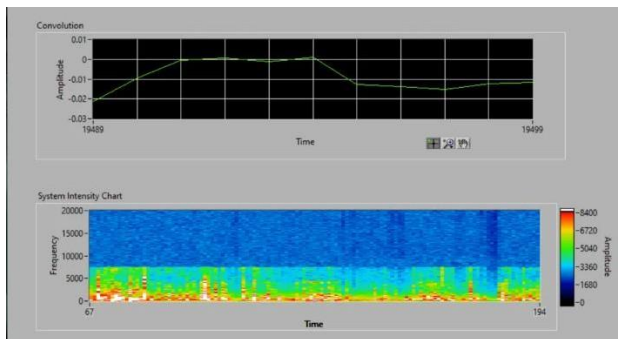


Fig. 4.- Resultado de la convolución (parte superior) y espectrograma que muestra la evolución temporal de las componentes de frecuencia (parte inferior).

### D. Análisis de la Convolución

La operación de convolución entre la señal de audio original y la señal diente de sierra generada produjo la forma de onda mostrada en la parte superior de la Figura 4. El resultado muestra una señal con características diferentes a la original, evidenciando el efecto de la convolución como una operación que combina las propiedades de ambas señales.

La forma de onda resultante de la convolución presenta un patrón ondulatorio con una tendencia ascendente inicial seguida de oscilaciones que tienden a estabilizarse. Este comportamiento puede interpretarse como el resultado de la interacción entre las componentes frecuenciales de la señal original y las características espectrales de la señal diente de sierra, que típicamente contiene múltiples armónicos con amplitudes que decaen inversamente proporcional a la frecuencia.

El rango de amplitud de la señal convolucionada (-0.02 a 0.01) difiere del rango de la señal original, lo que demuestra el efecto de la convolución en términos de la redistribución de energía entre diferentes componentes frecuenciales. Esta modificación en la amplitud es consistente con la teoría, ya que la convolución puede amplificar o atenuar diferentes componentes dependiendo de las características espectrales de las señales involucradas.

## IV. CONCLUSIONES

El trabajo ha logrado implementar exitosamente un sistema de análisis de señales acústicas en tiempo real que integra conceptos fundamentales del procesamiento de señales. La metodología aplicada permitió cumplir con los objetivos de descomposición en componentes armónicas, visualización en el dominio de la frecuencia y ejecución de convolución.

Los resultados muestran una clara correlación con la teoría, destacando la capacidad del sistema para identificar características espectrales de señales acústicas, con concentración de energía en frecuencias bajas (0-2000 Hz) y la identificación precisa de componentes armónicos principales.

La implementación en tiempo real añade valor significativo, permitiendo observar la evolución dinámica de características espectrales de diferentes sonidos. Este trabajo establece bases para futuras aplicaciones en reconocimiento de voz, identificación de patrones acústicos y sistemas de procesamiento de audio avanzados.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen por el apoyo brindado a cada una de las personas que participo en la elaboración de esta práctica.

## REFERENCIAS

- [1] Oppenheim, A. V., & Schaffer, R. W. (2010). Discrete-Time Signal Processing (3rd ed.). Pearson Education.
- [2] Proakis, J. G., & Manolakis, D. G. (2007). Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications (4th ed.). Pearson Education.
- [3] Smith, S. W. (1999). The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. California Technical Publishing.