



Universidad Veracruzana

FACULTAD DE INSTRUMENTACIÓN
ELECTRÓNICA XALAPA

ANÁLISIS DE SEÑALES Y SISTEMAS

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE
PROCESAMIENTO DE SEÑALES
PARA LA MEJORA DE LA VOZ EN
PACIENTES POST-CORDECTOMÍA**

Profesora: Silvia Hernández Oliva

Integrantes del equipo:

Alfonso Gamboa Rubén

Juncal Rojas Leobardo

Flores Montero Edsel Yetlanezi

Gómez López Rafael

1. Keywords

Procesamiento Digital de Señales, Cordectomía, Filtros Digitales, Formantes Vocales, Python.

2. Introducción

La cordectomía es un proceso quirúrgico que implica la extirpación parcial o total de las cuerdas vocales como se aprecia en la figura 1; esto por cuestiones médicas, como la extirpación de tumores. [1]

La voz es una herramienta fundamental de la persona. Define la identidad y permite a las personas interactuar con su entorno, por lo tanto, este proyecto propone no solo abordar un desafío técnico sino ofrecer una solución que pueda tener un impacto benéfico psicológico, social, laboral, etc. Por lo tanto, el desarrollo de este proyecto aborda la mejoría del paciente desde varios ángulos aparte del clínico; atacando la raíz del problema: la comunicación, por lo que el trabajo busca responder: *¿Se puede mejorar el volumen, timbre y tono de voz en pacientes post-cordectomía con ayuda del análisis de señales y sistemas?*

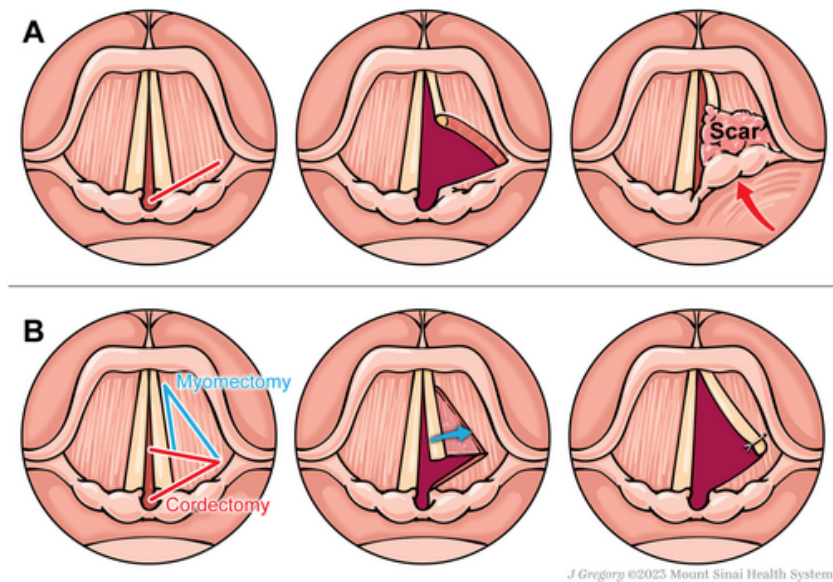


Figura 1: Ilustración de una cordectomía. Tomado de [2].

La rehabilitación vocal tras procedimientos como la corpectomía es un desafío clínico complejo, abordado a través de diversas técnicas quirúrgicas como la cordotomía transversa o la aritenoidectomía medial [2, 3]. Sin embargo, como señalan varios estudios, estas intervenciones quirúrgicas a menudo conllevan compromisos significativos. Procedimientos como la cordotomía tradicional pueden provocar cicatrización y un deterioro de la voz, mientras que otros tratamientos que buscan ampliar la vía aérea afectada a menudo conllevan disfonía y riesgo de aspiración [4, 5]. Esto revela una brecha crítica en el tratamiento actual: la necesidad de soluciones de apoyo no invasivas que puedan mejorar la calidad y la inteligibilidad de la voz sin los riesgos inherentes de una intervención quirúrgica adicional. Es precisamente en esta brecha donde nuestro proyecto, *un sistema de procesamiento de señales en tiempo real*, propone una solución innovadora, buscando restaurar características vocales a través de medios digitales.

Este proyecto ofrece la oportunidad de poner a escalar la solución a ser incorporada a un dispositivo portátil, haciendo esta tecnología como una solución para el uso diario. Mediante el diseño de un sistema de filtrado y amplificación que nos permita poder captar las señales de baja intensidad.

Desde el campo de la ingeniería biomédica, y específicamente desde el estudio del análisis de señales y sistemas, este proyecto se apoya en conceptos fundamentales en la disciplina como; el filtrado digital, transformadas de Fourier, análisis espectral, procesamiento en tiempo real y diseño de sistemas entre otros.

Se busca el desarrollar un sistema que nos permite poder analizar y filtrar una señal de una voz de pacientes post-corpectomía recibiendo una señal, donde primeramente se filtrará y después se amplificará para poder escucharla con un buen volumen y que sea entendible.

Objetivos

Objetivo General: Lo que se busca es el desarrollar un sistema que nos permite poder analizar y filtrar una señal de una voz de pacientes con post-corpectomía. Recibimos nuestra señal, donde primeramente se filtrará y después la amplificaremos para poder escucharla con un buen volumen y que sea entendible

Objetivos Específicos:

- Implementar técnicas de filtrado digital para reducir el ruido y analizar los componentes armónicos de la señal de voz.
- Comparar de manera subjetiva, a criterio del paciente, la mejoría de la voz.
- Validar el desempeño del sistema mediante pruebas simuladas.

3. Metodología definida

La presente corresponde al diseño de un sistema enfocado en el desarrollo de una herramienta computacional para el análisis acústico de la voz en pacientes pre-corpectomía. La metodología se organiza en dos fases principales: (1) la definición de criterios de elegibilidad y análisis para la elección de las herramientas, y (2) el desarrollo del algoritmo de procesamiento y análisis de la señal.

3.1. Fase 1. Pre-etapa y Establecimiento de la Muestra.

3.1.1. Fase 1.0 Inclusión y elección de herramientas computacionales.

Esta fase se centra en definir el sujeto de estudio y la métrica objetivo para la rehabilitación.

Los criterios mínimos incluirán, entre otros: tipo de corpectomía realizada, tiempo post-operatorio, ausencia de patologías laríngeas adicionales y capacidad mínima de producción de sonido (capacidad de producir sonido por al menos 3 segundos).

Se ha elegido **Python** (versión 3.13.7) como lenguaje de programación principal para este algoritmo. Esta elección se sustenta en su robusto ecosistema de código abierto, su amplia adopción en la comunidad científica, el procesamiento de señales, y su flexibilidad para la integración de futuras herramientas de machine learning.

Para la manipulación numérica fundamental, el manejo de arreglos (arrays) de datos y las operaciones matemáticas, se empleará la biblioteca **NumPy** [6]. Esta biblioteca es la base del cómputo científico en Python y es esencial para la implementación de algoritmos de procesamiento de señales. Librosa, Pydub y Matplot son otras librerías secundarias que

serán utilizadas, las cuales permiten la manipulación de audio en diferentes formatos, y Matplot, para la creación de gráficos.

3.1.2. Fase 1.1 Definición de la “voz Objetivo”.

Todo el manejo de las grabaciones de voz (datos pre y post-corpectomía) se adherirá estrictamente a los protocolos de confidencialidad y anonimización de datos del paciente, asegurando el cumplimiento de las normativas de privacidad de información médica sensible. Así mismo, se le entregará al paciente un formato de consentimiento informado al inicio del proceso dónde se informará claramente el procedimiento, como serán manejados sus datos y cualquier otro detalle o pregunta que el paciente pueda tener.

3.1.3. Fase 1.2 Consideraciones Éticas.

Todo el manejo de las grabaciones de voz (datos pre y post-corpectomía) se adherirá estrictamente a los protocolos de confidencialidad y anonimización de datos del paciente, asegurando el cumplimiento de las normativas de privacidad de información médica sensible. Así mismo, se le entregará al paciente un formato de consentimiento informado al inicio del proceso dónde se informará claramente el procedimiento, como serán manejados sus datos y cualquier otro detalle o pregunta que el paciente pueda tener.

3.2. Fase 2. Desarrollo del Algoritmo de Procesamiento de Señal.

Esta fase destaca el desarrollo del algoritmo propuesto para el análisis de las grabaciones de voz de los pacientes (tanto pre como post-corpectomía).

3.2.1. Fase 2.0 Adquisición y Carga de Datos.

El algoritmo iniciará con la importación de los archivos de audio en formato MP3. Los archivos convertidos en un arreglo numérico (vector de amplitud en función del tiempo), que representa la señal de audio cruda, utilizando librerías de manipulación de audio (Librosa y Pydub).

3.2.2. Fase 2.1 Pre-procesamiento: Cancelación de Ruido.

La señal de audio importada será sometida a una etapa de preprocesamiento para aumentar la calidad de los datos. Se implementará un filtro digital de cancelación de ruido con el objetivo de atenuar el ruido ambiental capturado durante la grabación y aislar la señal foniátrica de interés [7].

3.2.3. Fase 2.2 Análisis Espectral: Transformada Rápida de Fourier (FFT).

Una vez que la señal esté limpia, el núcleo del algoritmo aplicará una Transformada Rápida de Fourier (FFT). Esta transformación matemática, esta incluida en la librería de NumPy, convertirá la señal foniátrica desde el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

El análisis en el dominio de la frecuencia es crucial, ya que permite la identificación y cuantificación de los componentes acústicos clave de la voz, como la frecuencia fundamental (F0), la intensidad de los armónicos y la posición de los formantes, los cuales suelen verse alterados tras una cordectomía [8] siendo importante su análisis tanto pre como post-cordectomía.

3.2.4. Fase 2.3. Vistrualización de Resultados.

Los datos espectrales resultantes del análisis de la FFT serán procesados para su interpretación clínica. El algoritmo generará dos salidas principales:

1. Gráfica (Visualización):** Se generará un gráfico de espectro de potencia (Amplitud vs. Frecuencia) lo cual permitirá visualizar la estructura armónica de la voz producida.
2. Tabla (Cuantificación):** Los datos clave (ej. picos de frecuencia, amplitudes de armónicos, F0) serán exportados (.csv y .txt). Estos datos, permitirán una alternativa para la visualización de los datos en forma de una tabla organizada que permitirá un análisis numérico y el seguimiento del progreso del paciente en comparación con la “voz objetivo”. Así mismo, permitirá el manejo de datos para futuros proyectos con o sin relación a este.

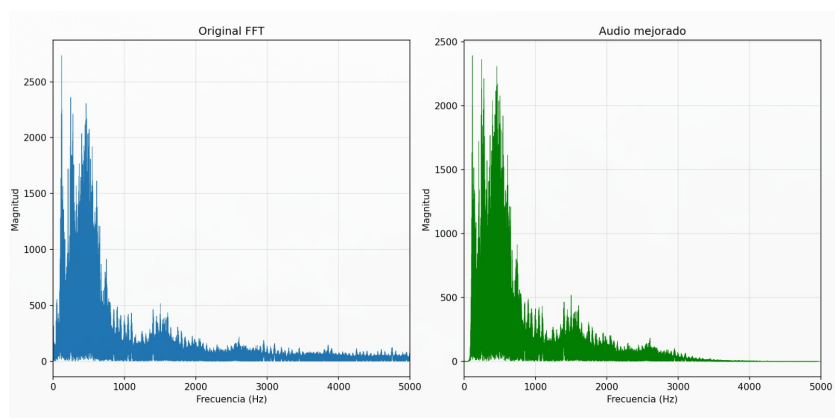


Figura 2: Imágen del primer sujeto

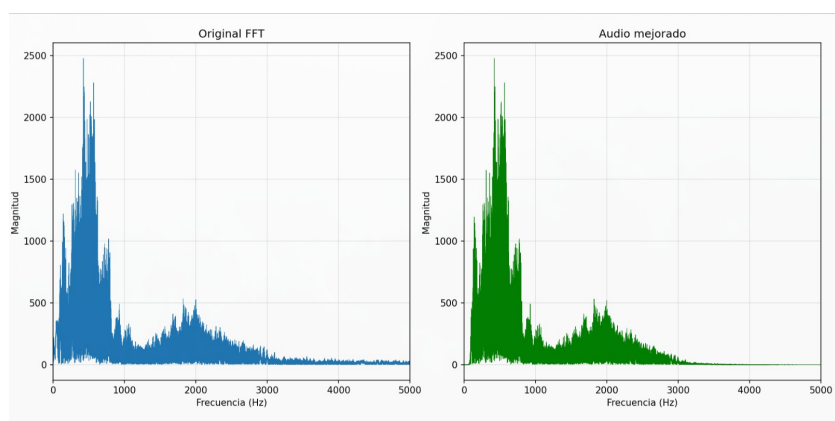


Figura 3: Imágen del segundo sujeto

Referencias

- [1] M. Remacle, H. E. Eckel, A. Antonelli, D. Brasnu, D. Chevalier, G. Friedrich, J. Olofsson, H. H. Rudert, W. Thumfart, M. De Vincentiis, *et al.*, “Endoscopic cordectomy. a proposal for a classification by the working committee, european laryngological society,” *European archives of oto-rhino-laryngology*, vol. 257, no. 4, pp. 227–231, 2000.
- [2] M. N. D’Agostino, F. Missale, L. I. G. I. S. S. A. Gissa, P. B. Boscolo, M. Moccetti, M. R. Romani, C. Piazza, and A. Schreiber, “Transoral laser

- microsurgery and adjuvant radiotherapy for advanced laryngeal cancer,” *The Laryngoscope*, vol. 134, no. 1, pp. 386–394, 2024.
- [3] B. M. Laitman, G. R. Rivera, and P. Woo, “Transverse cordotomy with thyroarytenoid myectomy for bilateral vocal fold immobility,” *Laryngoscope*, vol. 134, no. 6, 2024.
 - [4] B. Bosley, C. A. Rosen, C. B. Simpson, B. T. McMullin, and J. L. Gartner-Schmidt, “Medial arytenoidectomy versus transverse cordotomy as a treatment for bilateral vocal fold paralysis,” *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, vol. 114, no. 12, pp. 922–926, 2005.
 - [5] Y. Li, E. C. Pearce, R. Mainthia, S. M. Athavale, J. Dang, D. H. Ashmead, C. G. Garrett, B. Rousseau, C. R. Billante, and D. L. Zealear, “Comparison of ventilation and voice outcomes between unilateral laryngeal pacing and unilateral cordotomy for the treatment of bilateral vocal fold paralysis,” *ORL*, vol. 75, no. 2, pp. 68–73, 2013.
 - [6] C. R. Harris, K. J. Millman, S. J. van der Walt, R. Gommers, P. Virtanen, D. Cournapeau, E. Wieser, J. Taylor, S. Berg, N. J. Smith, R. Kern, M. Picus, S. Hoyer, M. H. van Kerkwijk, M. Brett, J. Goldblatt, J. Koo, R. Cimrman, K. J. Quintero, C. R. Harris, A. M. Archibald, A. Olmo, S. van der Walt, M. E. Bach, E. V. Batty, M. Wiebe, S. J. van der Walt, K. J. Millman, and C. R. Harris, “Array programming with NumPy,” *Nature*, vol. 585, pp. 357–362, Sep 2020.
 - [7] S. F. Boll, “Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction,” *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 27, pp. 113–120, Apr 1979.
 - [8] M. A. Little, P. E. McSharry, S. J. Roberts, and L. O. Ramig, “Exploiting nonlinear recurrence and fractal scaling properties for voice disorder detection,” *BioMedical Engineering OnLine*, vol. 6, p. 23, Jun 2007.