

CONESCAPANHONDURAS2025paper71.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Document Details

Submission ID

trn:oid:::14348:477769672

Submission Date

Jul 31, 2025, 11:21 PM CST

Download Date

Aug 12, 2025, 2:45 PM CST

File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper71.pdf

File Size

635.9 KB

6 Pages




3,509 Words

20,021 Characters

12% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 12%  Internet sources
- 3%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags




0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 12%  Internet sources
- 3%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	www.slideshare.net	4%
2	Internet	export.arxiv.org	1%
3	Internet	www.ijsta.com	<1%
4	Internet	bio-asplab.citi.sinica.edu.tw	<1%
5	Internet	www.coursehero.com	<1%
6	Internet	noticias.enfoquedigital.cl	<1%
7	Internet	ouci.dntb.gov.ua	<1%
8	Internet	www.docstoc.com	<1%
9	Internet	www.ufrgs.br	<1%
10	Internet	www.revuerics.com	<1%
11	Internet	www.alek.pucp.edu.pe	<1%

12	Internet	www.interfilm.es	<1%
13	Internet	research.unipg.it	<1%
14	Internet	scholar.uprm.edu	<1%
15	Internet	www.akkushop-austria.at	<1%
16	Internet	www.researchgate.net	<1%
17	Internet	catalonica.bnc.cat	<1%
18	Internet	east.hwslabs.vmware.com	<1%
19	Internet	es.unionpedia.org	<1%
20	Internet	icc2.act.uji.es	<1%
21	Internet	www.e-asr.org	<1%
22	Internet	www.tocavinilos.com	<1%

Diseño e Implementación de un Sistema de Asistencia Auditiva Open-Source con Chasis 3D y Control por App

First Author
Department Name
Institution Name
City, Country
Email

Second Author
Department Name
Institution Name
City, Country
Email

Third Author
Department Name
Institution Name
City, Country
Email

Abstract—To address the need for accessible and customizable hearing assistive devices, this paper details the design and implementation of a low-cost system for real-time audio processing. The system is centered on the ESP32-S3 microcontroller, utilizing an INMP441 digital microphone for audio capture and a PCM5102A DAC for high-fidelity output to wired headphones. A key feature is the custom mobile application that, via wireless communication (Wi-Fi/Bluetooth), enables the user to adjust parameters such as volume. The hardware, including a lithium battery charging circuit (TP4056) and a boost converter (MT3608) for stable voltage, is housed in a 3D-printed enclosure. The resulting prototype constitutes a compact, cost-effective, and highly customizable alternative to traditional hearing aids, significantly improving accessibility and audio quality for individuals with hearing impairments.

keywords— *Hearing Aid, Assistive technology, IoT-Based hearing aid, Hearing assistance, Customizable hearing aid*

I. INTRODUCCIÓN

El sonido es una onda de presión fluctuante que viaja a lo largo del medio (aire, líquido, rígido). Este proceso se aplica a la compresión y la rareza. La distancia entre los picos de compresión se denomina longitud de onda y se invierte proporcionalmente a la frecuencia.

El tono está determinado por la frecuencia. Las ondas sonoras sinusoidales contienen toda la energía y se perciben como sonidos puros. Las ondas sonoras complejas, como las conversaciones o la música, consisten en simples sumas de ondas con varias frecuencias y amplitudes diferentes [1]. La intensidad o volumen depende de la amplitud de la onda sonora y se expresa como una cierta escala (db). Cada oído se compone de tres detalles básicos: el oído externo, el entorno y el interior. Los lados externo y medio del oído transmiten ondas sonoras a través del aire al oído interno lleno de líquido, amplificando las ondas sonoras en el proceso [2]. La capacidad del oído humano suele estar limitada a las frecuencias entre 12 Hz y 20 000 Hz

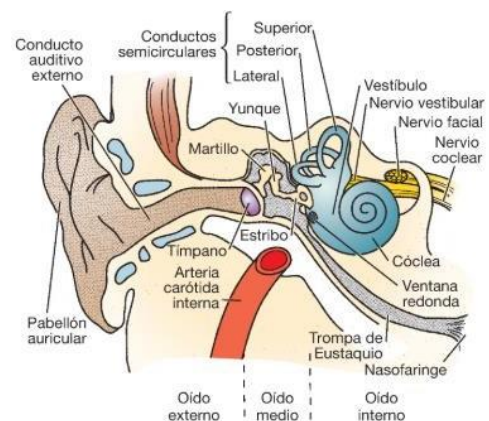


Ilustración 1: Estructura básica del oído humano. [2]

La pérdida de audición es actualmente un problema de salud pública mundial. Se estima que más de 1.500 millones de personas viven con algún grado de pérdida auditiva y alrededor de 430 millones requieren rehabilitación auditiva [3]. Esta condición afecta tanto la comunicación como el desarrollo social y cognitivo, especialmente en niños y ancianos. A lo largo de los años, diversos proyectos de investigación han promovido la mejora de los audífonos en términos de eficiencia, compacidad y accesibilidad tecnológica. En este contexto, Chung [4]. Analizó el uso de técnicas de compresión dinámica multibanda y mostró una mejora sustancial en la inteligibilidad del habla al modelar selectivamente el rango dinámico de las señales acústicas en presencia de ruido ambiental. Shannon et al. [5]. Por su parte, demostraron que la percepción del habla oral puede seguir siendo funcional incluso con una resolución espectral limitada, lo que sentó las bases teóricas para el desarrollo de algoritmos de procesamiento de señales que priorizan la información temporal sobre la espectral. En una investigación reciente, Xu et al. [6]. Propusieron la implementación de modelos de aprendizaje profundo, en particular redes neuronales profundas (DNN), para la cancelación de ruido

adaptativa en tiempo real, avanzando en el paradigma de los audífonos inteligentes con procesamiento contextualizado del entorno acústico.

El presente estudio ofrece una solución innovadora mediante la integración de componentes electrónicos de bajo costo, como el microcontrolador ESP32-S3 y el convertidor de digital a analógico PCM5102A, junto con un micrófono digital de alta sensibilidad y una aplicación móvil configurada individualmente. A diferencia de los sistemas comerciales tradicionales, que suelen caracterizarse por arquitecturas propietarias y de alto costo, esta plataforma se presenta como una alternativa modular, escalable y de código abierto que permite su reproducibilidad, adaptación funcional y adaptación a entornos con recursos limitados. La implementación de protocolos de comunicación como I2S para la transmisión de audio digital, junto con la conectividad Wi-Fi o Bluetooth Low Energy (BLE), permite una interfaz de usuario dinámica capaz de ajustar los parámetros acústicos en tiempo real.

Sin embargo, esta arquitectura también viene con ciertas limitaciones. Entre los más importantes se encuentran la falta de validaciones clínicas en condiciones del mundo real, la falta de algoritmos avanzados de cancelación de ruido adaptativa y los desafíos asociados con la optimización de la energía para operaciones sostenibles. Se propone que las futuras iteraciones del sistema consideren la inclusión de sensores de contexto acústico y modelos computacionales basados en un aprendizaje computacional bajo para permitir la adaptación autónoma a escenarios acústicos dinámicos. En conclusión, este proyecto se enmarca en el marco de las tecnologías asistenciales de bajo costo y no solo aporta una solución funcional para la rehabilitación auditiva, sino que también sienta las bases de una plataforma tecnológica abierta y escalable orientada al diseño e implementación de audífonos personalizables. Esta propuesta está en consonancia con las tendencias emergentes en ingeniería biomédica y salud digital, en particular en lo que respecta a la integración de dispositivos inteligentes, la interoperabilidad de sistemas y la personalización centrada en el usuario a través de tecnologías de conectividad y procesamiento digital de señales.

II. METODOLOGÍA

A. Selección de hardware y software

El dispositivo contará con los siguientes elementos:

Alimentación y batería: se utilizó un módulo de carga TP4056 y un step-up con protección, se cargará vía USB-C, las baterías serán de litio recargables.



Ilustración 2: imágenes obtenidas de Amazon

Micrófono para captura el sonido: utilizamos un INMP441, es un micrófono digital de alta sensibilidad para capturar sonido con baja latencia.



Ilustración 3: INMP441 obtenido de Amazon

Microcontrolador y procesamiento de audio: Se utilizó un ESP32 como control principal, se ha elegido porque ya cuenta con módulo WIFI/bluetooth para comunicación con la app a desarrollar.



Ilustración 4: ESP32-S3-Wroom- 1 obtenido de Amazon

DAC para convertir audio digital en señal analógica y enviarla a los auriculares.



Ilustración 5: PCM5102A obtenido de Amazon

Auriculares con cable para salida de audio: para el prototipo se utilizarán lo más accesibles, pero idealmente se buscarían aquellos con sonido neutro y tamaño compacto. App móvil: se desarrolló en AppInventor, con programación por bloques, la carcasa se pensaba en 3D para su posterior impresión,

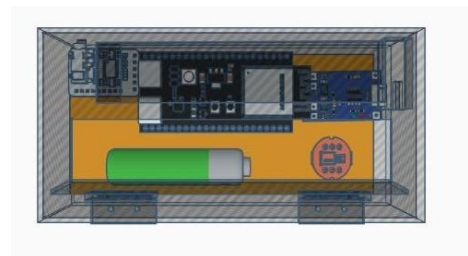


Ilustración 6: diseño 3D de la carcasa

B. Diagrama de bloques estructurado del dispositivo

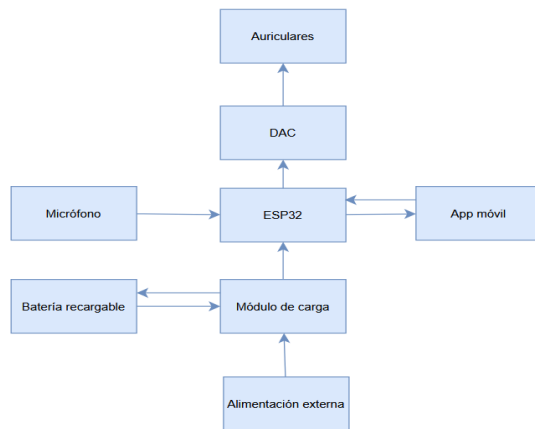


Ilustración 7

El sistema de alimentación se basa en una batería de litio recargable, gestionada por un módulo de carga dedicado. Este módulo cumple una doble función: por un lado, recarga la batería de manera segura cuando se conecta a una fuente de alimentación externa, como un puerto USB; por otro, suministra una tensión estable y continua al ESP32 y a todos los componentes periféricos, garantizando así la portabilidad y autonomía del dispositivo.

El flujo del procesamiento de audio comienza con el micrófono, que captura el sonido del ambiente y lo envía en formato digital al ESP32. Actuando como la unidad central de procesamiento, el ESP32 recibe y procesa esta señal de audio en tiempo real. La señal es modificada según los ajustes personalizados que el usuario establece a través de una aplicación móvil, la cual se comunica con el microcontrolador mediante Bluetooth Low Energy para configurar parámetros como el volumen o la ecualización. Una vez procesada, la señal de audio digital es enviada al módulo PCM5102A, que se encarga de convertirla a una señal analógica. Finalmente, esta señal analógica es entregada a los auriculares con cable para que el usuario la escuche.

En resumen, el flujo de datos del sistema es secuencial y lógico: el sonido ambiental es capturado, procesado por el ESP32 bajo el control de la aplicación móvil, convertido a formato analógico y, por último, reproducido para el usuario. Paralelamente, el flujo de energía asegura un funcionamiento autónomo, donde la batería alimenta todo el sistema y puede ser recargada externamente a través de su módulo de gestión.

C. Procesamiento de sonido

Para la captura de audio, se emplea un micrófono digital que convierte las ondas de sonido en una señal digital a través de su convertidor analógico-digital (ADC) integrado. La transmisión de esta señal al microcontrolador se realiza mediante la interfaz I²S (Inter-IC Sound). Este es un protocolo de comunicación serial diseñado específicamente

para la gestión de audio, con la ventaja de separar la información de la señal de las líneas de reloj y control. El bus I²S es eficiente en el uso de pines, ya que se compone únicamente de tres líneas principales: el reloj serie continuo (SCK), la línea de selección de palabra (WS), que se utiliza para la sincronización y para alternar entre el canal izquierdo y derecho, y la línea de datos serie (SD), por donde se transmite la información de audio. Dependiendo de su rol, la interfaz I²S puede configurarse para operar como transmisor, receptor o controlador del bus [7].

El micrófono captura el sonido al vibrar un diafragma interno al haber ondas sonoras, estas vibraciones se convierten en señales eléctricas, el ADC interno convierte la señal analógica a digital, y se envía al ESP32 a través de la interfaz I²S para su procesamiento [8].

ESP32 funciona como la unidad central de procesamiento del sistema, donde se aplican diversas técnicas de procesamiento digital de señales (DSP) en tiempo real. Estas manipulaciones incluyen la aplicación de filtrado digital para ecualización, la normalización del volumen y la compresión del rango dinámico para mejorar la claridad del audio. Una vez que la señal digital ha sido procesada, es convertida a una señal analógica mediante el convertidor digital-analógico (DAC) integrado en el propio ESP32. Posteriormente, esta señal analógica se amplifica adecuadamente antes de ser enviada a los auriculares para el usuario final [9].

El módulo conversor digital-analógico (DAC) PCM5102A es el responsable de transformar la señal de audio procesada a un formato analógico. Este dispositivo recibe el flujo de audio digital desde el microcontrolador en formato I²S, el cual se compone de tres líneas principales: el reloj de palabra (LRCK) que define el canal de audio (izquierdo o derecho), el reloj de bit (BCK) que sincroniza la transferencia de los bits de datos, y la línea de datos (DIN) que contiene la información de audio en modulación por impulsos codificados (PCM). La función principal del PCM5102A es convertir estos datos PCM en una señal de voltaje analógica continua. Para asegurar una alta fidelidad, el módulo incorpora un filtro interno que mejora la calidad del audio y posee una relación señal-ruido (SNR) de 112 dB, lo que garantiza una distorsión mínima y un ruido casi imperceptible. Finalmente, el conversor genera dos salidas de audio analógico (izquierda y derecha) capaces de alimentar directamente unos auriculares [10].

D. Desarrollo de la app móvil

Para la personalización de la experiencia auditiva, se ha desarrollado una aplicación móvil dedicada que permite al usuario ajustar los parámetros de audio en tiempo real. La aplicación, creada utilizando el entorno de programación por bloques App Inventor, establece comunicación con el microcontrolador ESP32 a través de Bluetooth Low Energy (BLE) [11]. Esta conexión inalámbrica es fundamental para enviar comandos de control, como los ajustes de volumen, y para recibir información de estado sobre el procesamiento de audio directamente desde el dispositivo.

El flujo de trabajo de la aplicación está diseñado para ser intuitivo. El proceso comienza con una fase de inicio donde

la aplicación busca y se empareja con el dispositivo ESP32 disponible. Una vez conectado, se presenta una interfaz de control minimalista que permite al usuario modificar los parámetros del sonido. Cada ajuste se traduce en un comando que es enviado de manera inmediata al ESP32 para su ejecución. La aplicación también está preparada para recibir retroalimentación, monitorizando el estado del dispositivo. Para mejorar la experiencia del usuario, la configuración preferida puede ser guardada y cargada automáticamente en futuras conexiones, asegurando consistencia y facilidad de uso [12].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A) Código de Esp32S3.

Este estudio presenta la implementación de la etapa de adquisición de señal acústica para una prótesis auditiva, utilizando un microcontrolador ESP32 y un micrófono digital MEMS INMP441. El objetivo principal es capturar el sonido ambiental con alta fidelidad, para lo cual se emplea el protocolo de comunicación I²S. En esta arquitectura, el ESP32 actúa como maestro receptor del bus, controlando el flujo de datos desde el sensor. Se ha definido una frecuencia de muestreo estándar de 44.1 kHz y una resolución de 32 bits por muestra para garantizar una representación digital del sonido con un amplio rango dinámico, sentando las bases para un procesamiento de calidad.

Para la gestión eficiente de los datos, el sistema utiliza el acceso directo a memoria (DMA) para transferir bloques de 1024 muestras a un buffer local, evitando así la sobrecarga del procesador y asegurando una captura continua y sin interrupciones. Con fines de validación y análisis, las muestras de audio crudas almacenadas en el buffer son enviadas a través del puerto serie. Esto permite monitorizar el comportamiento del sistema en tiempo real y verificar la integridad de la señal capturada mediante herramientas externas. Esta metodología de adquisición robusta es fundamental, ya que proporciona una base de datos de audio precisa y sin degradación para las etapas posteriores de procesamiento digital de la señal.

B) Desarrollo de App móvil

Inicialmente, el desarrollo se llevó a cabo con herramientas como Flutter y Android Studio. Sin embargo, debido a la capacidad limitada de RAM de la laptop utilizada, ejecutar máquinas virtuales para probar la aplicación resultó poco viable, provocando problemas de sobrecalentamiento. Por ello, se consideró buscar alternativas. Una de las alternativas consideradas fue MIT App Inventor, una plataforma que facilita la creación de interfaces de manera intuitiva y la programación mediante bloques visuales. Para probar la aplicación, se puede descargar en la Play Store la app MIT AI2 Companion, la cual permite escanear un código QR generado en el mismo sitio web de desarrollo, facilitando la prueba de la app sin complicaciones.

C) Conexión de la App con el dispositivo

La implementación de la comunicación en la aplicación se fundamenta en el protocolo Bluetooth Low Energy (BLE). Se define un serviceUUID para agrupar las funcionalidades de control de audio y un characteristicUUID para especificar cada parámetro ajustable, como el volumen o la ganancia. Es crucial que estos identificadores únicos coincidan con los configurados en el firmware del ESP32 para permitir la interacción. El flujo operativo comienza con la inicialización de la aplicación, que escanea los dispositivos BLE cercanos. Una vez que el usuario selecciona el ESP32 de la lista, se establece la conexión. A partir de ese momento, los ajustes realizados en la interfaz, como mover un deslizador de volumen, envían el valor correspondiente a la característica específica, permitiendo el control en tiempo real. Finalmente, la aplicación incluye una función para terminar la conexión BLE de manera controlada.



Ilustración 8: interfaz del usuario

D) Diseño de la carcasa en 3D

El modelo 3D de prótesis auditiva, desarrollado en Autodesk Inventor, partió de una idea inicial que, tras un proceso de análisis y evaluación, fue modificada para dar lugar a un nuevo diseño más funcional. El resultado es una estructura rectangular con dimensiones aproximadas de 12 cm de largo, 6 cm de ancho y 4 cm de alto, pensada para proteger componentes internos y facilitar su acceso gracias a una puerta integrada.



Ilustración 9. Primer diseño 3D de la prótesis auditiva.

El nuevo diseño, se desarrolló en Tinkercad. El modelo presenta una forma simple y ordenada, con un diseño simétrico y líneas limpias que optimizan tanto su apariencia como su funcionalidad. Está concebido como un ensamble modular, con espacios y ranuras estratégicamente ubicados para permitir la conexión de cables, la integración de un micrófono y un módulo de carga.

Una característica clave del diseño es el área destinada al montaje de la puerta, la cual permite acceder fácilmente al interior para cambiar la batería o realizar mantenimientos, en caso de fallas o ajustes necesarios.

Este tipo de estructura resulta ideal para proyectos como carcasas electrónicas compactas, prototipos funcionales o sistemas modulares, ya que ofrece protección sin comprometer la accesibilidad. En conjunto, el modelo refleja una propuesta bien pensada, que equilibra utilidad, diseño y adaptabilidad.

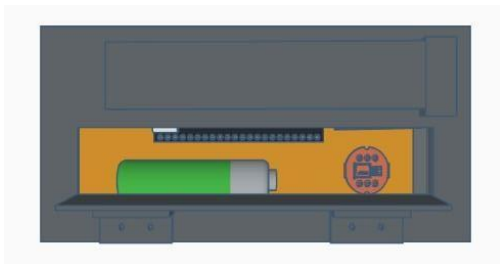


Ilustración 10: Diseño 3D final

E) Diseño y quemado de la PCB

El diseño del circuito impreso (PCB) se realizó mediante el software PCB Wizard, donde se tomaron consideraciones clave como asegurar el ancho de pista adecuado para la corriente nominal y verificar la integridad de las conexiones para evitar cortocircuitos. El diseño final se exportó en formato PDF negativo para su posterior fabricación. La placa se fabricó utilizando el método de transferencia de tóner sobre una placa virgen de fibra de vidrio con capa de cobre. Este proceso comenzó con la transferencia térmica del diseño, impreso en papel fotográfico, a la superficie de cobre previamente pulida. A continuación, se llevó a cabo el grabado químico sumergiendo la placa en una solución de percloruro férrico (FeCl_3), la cual disuelve selectivamente el cobre no protegido por el tóner, dejando únicamente las pistas del circuito. La etapa de acabado incluyó la eliminación del tóner residual con un solvente y la perforación de los orificios para los componentes. Finalmente, se procedió a la soldadura de todos los componentes electrónicos en sus posiciones correspondientes.



Ilustración 11: Componentes soldados en la placa

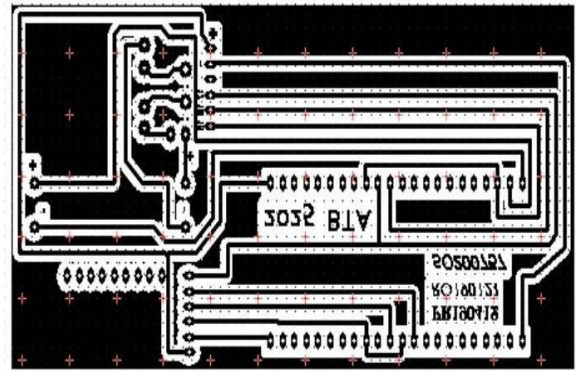


Ilustración 12: Circuito de la PCB



Ilustración 13: Prototipo final y funcional

F) Validación experimental del prototipo

Mario Quijano, un paciente de 24 años, fue diagnosticado por el otorrino con otosclerosis, una enfermedad del oído medio que provoca hipoacusia conductiva unilateral, con una pérdida auditiva significativa, aunque no total. Al probar el dispositivo, Mario sintió una sensación parecida a la de usar un auxiliar auditivo, con cierto desequilibrio, como si el sonido estuviera cargado hacia un solo lado, probablemente por la falta de hábito. Sin embargo, comentó que el tamaño y la forma del dispositivo le resultaron cómodos, similar a usar audífonos comunes. Gracias al equipo pudo escuchar con claridad lo que decían las personas, aunque la amplificación del sonido le resultó algo incómoda, ya que no está acostumbrado a escuchar con ambos oídos de manera clara. A pesar de esto, notó una mejora evidente en comparación con no usarlo.



Ilustración 14: Validación del usuario del dispositivo

IV. CONCLUSIONES

El sistema prototipo de prótesis auditiva, basado en el microcontrolador ESP32-S3, ha sido implementado y validado con éxito. El dispositivo demuestra una captura, procesamiento y reproducción de audio en tiempo real con latencia mínima, validando su viabilidad como una solución accesible y adaptable para personas con discapacidad auditiva. La integración de técnicas de procesamiento digital de señales para el control de ganancia, junto con la comunicación inalámbrica fluida con una aplicación móvil, confirman la robustez y funcionalidad del diseño propuesto, cumpliendo con todos los objetivos técnicos iniciales.

La fabricación aditiva permitió la creación de una carcasa ergonómica y funcional, si bien la miniaturización del dispositivo a través de un diseño de PCB optimizado se identifica como una línea de mejora clave. Los desafíos críticos del proyecto, como la gestión de recursos computacionales y la optimización del consumo energético, fueron resueltos eficazmente mediante el uso de acceso directo a memoria (DMA) y un sistema de alimentación dedicado, respectivamente. La aplicación móvil demostró ser una herramienta efectiva para el control en tiempo real; sin embargo, se reconoce que el desarrollo en plataformas nativas podría optimizar su rendimiento y capacidad de respuesta.

Este proyecto aporta al campo de la ingeniería biomédica una arquitectura de bajo costo, abierta y personalizable que se posiciona como una alternativa viable a las prótesis auditivas comerciales. Las líneas de investigación futuras se enfocarán en tres áreas principales: la implementación de algoritmos avanzados de cancelación de ruido adaptativo, la validación clínica del prototipo con usuarios y la integración de técnicas de aprendizaje automático para la optimización autónoma del

dispositivo. En síntesis, este trabajo reafirma el potencial transformador de las tecnologías embebidas y el DSP en el desarrollo de soluciones de salud accesibles y centradas en el usuario.

Quijano experimentó una mejora significativa en su capacidad auditiva mediante el uso del dispositivo, lo que demuestra su efectividad como apoyo en casos de otosclerosis. Aunque presentó una adaptación inicial complicada a la amplificación del sonido y a la percepción auditiva unilateral, el diseño ergonómico y la funcionalidad del equipo permitieron una experiencia satisfactoria y cómoda, validando su utilidad en situaciones reales.

V. REFERENCES

- [1] G. Brooker, *Introduction to Biomechanics*, SciTech Publishing: Recursos electrónicos UDB, 2012.
- [2] R. A. Rhoades, *Fisiología médica: fundamentos de medicina clínica*, Philadelphia: Wolters Kluwer Health, 2012.
- [3] World Health Organization, *World Report on Hearing*, 3 marzo 2021. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020481>. [Accessed: 29 abril 2025].
- [4] K. Chung, "Challenges and recent developments in hearing aids: Part 1. Speech understanding in noise, microphone technologies and noise reduction algorithms," *Trends in Amplification*, vol. 8, no. 3, pp. 83–124, 2004.
- [5] R. V. Shannon, F. Zeng, V. Kamath, J. Wygonski and M. Ekelid, "Speech recognition with primarily temporal cues," *Science*, vol. 270, no. 5234, pp. 303–304, 1995.
- [6] Y. Xu, J. Du, L.-R. Dai and C.-H. Lee, "A regression approach to speech enhancement based on deep neural networks," *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 23, no. 1, pp. 7–19, 2015.
- [7] L. Chen, "placapcb," WellPCB Technology Co., Ltd. [Online]. Available: <https://placapcb.com/Protocolo-I2S-La-guia-definitiva-para-principiantes.html>. [Accessed: 13 febrero 2025].
- [8] Dielect, "INMP441 micrófono omnidireccional I2S." [Online]. Available: <https://ssdielect.com/sensores-para-medir-sonido/3843-inmp441.html>. [Accessed: 13 febrero 2025].