

Prototipo de audio amplificador con ganancia controlada con potenciómetro y tarjeta digital

Audio prototype amplifier with controlled gain with digital potentiometer and digital card

Vidal Huichapan Perla María¹, Cabrera López Eduardo², Franco Méndez Alberto³, Castro Sánchez Rogelio⁴.

^{1,2,3} Licenciatura en ingeniería en comunicaciones y electrónica

⁴ Departamento de ingenierías en comunicaciones y electrónica, división de ingenierías Irapuato-Salamanca. Universidad de Guanajuato

pm.vidalhuichapan@ugto.mx¹

e.cabreraleopez@ugto.mx²

a.francomendez@ugto.mx³

castro@ugto.mx⁴

Resumen

En este artículo se presenta el diseño y la construcción de un prototipo de audio amplificador con ganancia controlada digitalmente que permite mantener un volumen constante a la salida del amplificador dentro de un rango de ganancia máxima de 25 dB a una distancia de 2.5 metros y rechazo o atenuación de manera automática a entradas de audio entre 2 niveles de audición máximo y mínimo.

Abstract

This article presents the design and construction of a prototype audio amplifier with digitally controlled gain that allows maintaining a constant volume at the output of the amplifier within a maximum gain range of 25 dB at 2.5 meters and rejection or automatically attenuates audio inputs between 2 maximum and minimum listening levels.

Palabras clave: Amplificador de Audio, potenciómetro digital, Arduino.

Introducción

Los problemas auditivos son prevalentes en personas de la tercera edad, aunque también afectan a personas de menor edad. La exploración de amplificadores de audio con ganancia controlada dentro de un rango específico es esencial para mejorar la respuesta de volumen ante sonidos abruptos y bajos en el ambiente. Los aparatos de audio comerciales, fabricados por empresas especializadas, suelen ser costosos, y aquellos de bajo costo presentan características limitadas lo cual disminuye su eficiencia. Este proyecto se centra en la investigación y estudio de las características de los amplificadores auditivos, con el objetivo de diseñar y crear un prototipo con control automático de ganancia. Para ello, se emplea un potenciómetro y una tarjeta programable ambos digitales, logrando así un dispositivo que pueda ajustar la ganancia de manera óptima y mantener un volumen constante. La implementación de esta tecnología es crucial para personas con deficiencias auditivas, mejorando su capacidad para percibir sonidos del entorno de manera clara y equilibrada. Algunos dispositivos comerciales se muestran en la figura 1.



Figura 1. Tipos de audífonos inalámbricos.

A continuación, se muestran en la Fig. 2 varios tipos de audífonos adaptados a diferentes necesidades personales.

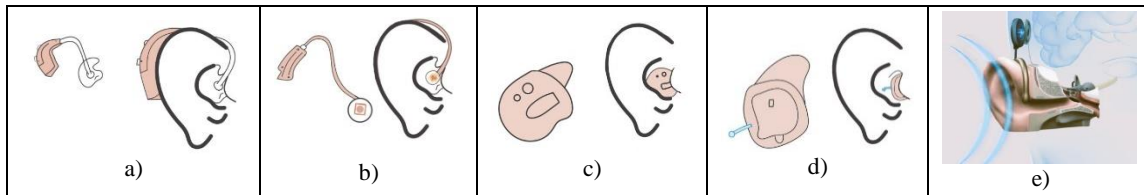


Figura 2. Tipos de audífonos.

Una descripción de los diversos tipos de audífonos es: **2a) Retroauriculares (BTE)**, colocados detrás de la oreja, son los más grandes y adecuados para personas de todas las edades, especialmente niños. **2b) Receptor en el canal (RIC)**, más pequeños que los BTE, también se colocan detrás de la oreja y son menos visibles. **2c) Intraauriculares (ITE)**, se ajustan completamente en el oído externo. **2d) En el canal (ITC) y completamente en el canal (CIC)**, los más pequeños, ajustándose parcial o totalmente en el canal auditivo, siendo menos visibles, pero más difíciles de manejar. **2e) Un dispositivo coclear, o implante coclear**, se implanta quirúrgicamente para proporcionar una sensación de sonido a una persona con pérdida auditiva profunda o sordera. Funciona mediante la estimulación directa del nervio auditivo, enviando señales eléctricas que el cerebro interpreta como sonido. En la **Tabla 1** [1][2] se muestra un comparativo entre audífonos e implante coclear:

Tabla 1. Ventajas y desventajas en dispositivos auditivos.

Características	Audífono	Implante Coclear
Requiere cirugía	No	Sí
Ajustabilidad	Sencillo de ajustar y reemplazar	Necesita ajustes y programación especial.
Efectividad	Menos efectivo en pérdida auditiva profunda.	Muy efectivo para pérdida auditiva profunda y severa.
Visibilidad	BTE es más visible, ITC y CIC son menos visibles	Menos visibles después de la cirugía, pero incluye componentes externos.
Costo	Menor costo inicial y de mantenimiento.	Alto costo inicial y costos adicionales de mantenimiento.
Mantenimiento	Requiere limpieza y ajuste regulares.	Necesita mantenimiento regular de partes.
Ruido de fondo	Puede amplificar el ruido ambiental, dificultando la comprensión del habla.	Mejora la capacidad de entender el habla en entornos ruidosos.
Duración de la batería	Generalmente días a semanas.	Generalmente más corta, requiere recarga diaria.
Adaptabilidad	Adecuado para los tipos de pérdida auditiva, pero no para casos severos.	Beneficioso para aquellos que no se benefician de los audífonos tradicionales.
Comodidad	Incómodo, causa irritación en algunos usuarios.	Menos problemas de comodidad después de la adaptación postquirúrgica.
Actualización	Fácilmente actualizable a nuevas tecnologías.	Actualizaciones limitadas, requiere nuevas cirugías para mejoras significativas.
Rehabilitación	No requiere rehabilitación extensa.	Necesita rehabilitación postquirúrgica.
Funcionalidad con húmedos	Puede afectado por la humedad.	Resistente al agua con precauciones.
Conectividad	Ofrecen conectividad Bluetooth y compatibilidad con otros dispositivos.	Conectividad con otros dispositivos puede ser más compleja.
Compatibilidad con dispositivos médicos.	Generalmente no interfiere con otros dispositivos médicos (marcapasos, etc.).	Puede haber interferencias o requerir precauciones adicionales con ciertos dispositivos médicos.

La pérdida auditiva y la sordera

La pérdida auditiva varía de leve a profunda, y puede afectar uno o ambos oídos. Casi una de cada dieciséis personas en todo el mundo [3] tiene una pérdida auditiva que afecta su vida diaria. Los diferentes niveles de audición se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Grados de pérdida auditiva.

Característica	Rango	Descripción
Audición normal	< 20 dbHL	Escucha los sonidos sin ningún problema

Pérdida auditiva leve	20<35 dbHL	Tiene dificultad para oír lo que se dice en lugares ruidosos.
Pérdida auditiva moderada	35<50 dbHL	Tiene dificultad para oír el habla coloquial en lugares ruidosos.
Pérdida auditiva moderadamente grave	50<65 dbHL	Tiene dificultad para participar en conversaciones en lugares ruidosos. Puede oír voces elevadas sin dificultad.
Pérdida auditiva grave	65<80 dbHL	Le es difícil oír voces elevadas, oír conversaciones y participar en ellas en lugares ruidosos.
Pérdida auditiva profunda	80<95 dbHL	Tiene dificultad extrema para oír voces altas.
Pérdida auditiva completa (sordera)	95 dbHL o mayor	No puede oír lo que se dice ni la mayoría de los sonidos del ambiente.

Audiometría

Es importante considerar el funcionamiento de nuestro oído, las pruebas que se realizan para determinar el estado de salud auditivo y los distintos dispositivos que existen para medir la respuesta en frecuencia y hacer ajustes en la ganancia media del amplificador y en el ancho de banda para que sus características se adapten a las necesidades del usuario. Las figuras 3 y 4 [4] muestran la estructura del oído y la sección de un ecualizador como herramienta para la medición de la respuesta de un oído (por medio de una computadora y audífonos) a las distintas frecuencias y a la amplitud de las señales que se detectan.

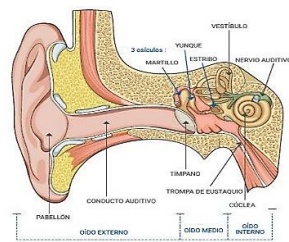


Figura 3. Partes del oído.

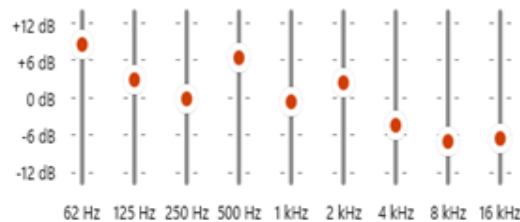


Figura 4. Ecualizador gráfico.

Lo anterior permite identificar y comprender las principales dificultades que enfrentan las personas que utilizan dispositivos auditivos de una manera económica. La información obtenida es fundamental para considerar y abordar las características que debe tener el amplificador y rango de ganancia y respuesta en frecuencia para el diseño del prototipo. Las características generales que se tomaron en cuenta se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Características del prototipo.

CARACTERÍSTICA	RANGO
Rango de Frecuencia	Audio (125 Hz a 10 KHz)
Ganancia	25 dB
Distancia	2.5 mts.
Tiempo de respuesta	200 ms
Fuente de alimentación	4.8 Vdc (Bateria recargable)
Tipo de amplificador	LM358
Tipo de tarjeta digital	Arduino
Costo Aproximado	\$ 1250.00 M.N.

Este trabajo pretende aplicar los conocimientos básicos de alumnos de la licenciatura en electrónica y aplicarlos a una necesidad humana que se da con la edad de las personas mayores proponiendo una alternativa más en el uso de dispositivos del mercado nacional.

Marco teórico

Una señal analógica de audio con amplitud variable requiere de un transductor, la señal de salida de este transductor - micrófono debe amplificarse [5] y para que la señal de salida del amplificador se mantenga constante se requiere de una etapa de rectificación para que su salida de DC sea procesada por una tarjeta digital y posteriormente modificar la ganancia del amplificador por medio de un dispositivo que varíe su resistencia por medio de señales digitales como se muestra en el diagrama a bloques de la figura 5.

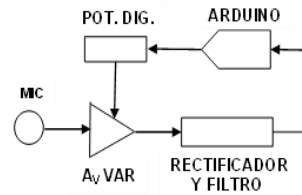


Figura 5. Diagrama a bloques del amplificador con ganancia controlada.

Los diseños de amplificadores de marcas comerciales utilizados en audífonos para oídos están naturalmente muy bien resguardados por los fabricantes, entonces una alternativa es utilizar por ahora dispositivos discretos que satisfagan los objetivos del proyecto.

El diseño debe de utilizar: **a)** un micrófono, **b)** un amplificador de audio [6] con un ancho de banda superior al rango entre 20 Hz a 20 KHz, **c)** componentes electrónicos, **d)** placa para soldar, **e)** pines para hacer mediciones en puntos de prueba estratégicos, **f)** tarjeta digital [9] para el controlar la ganancia del amplificador por medio de **g)** el potenciómetro digital [7,8] para variar la ganancia a un valor promedio. Todo el circuito será alimentado por **h)** una batería comercial y todo el material es fácilmente obtenido del mercado nacional.

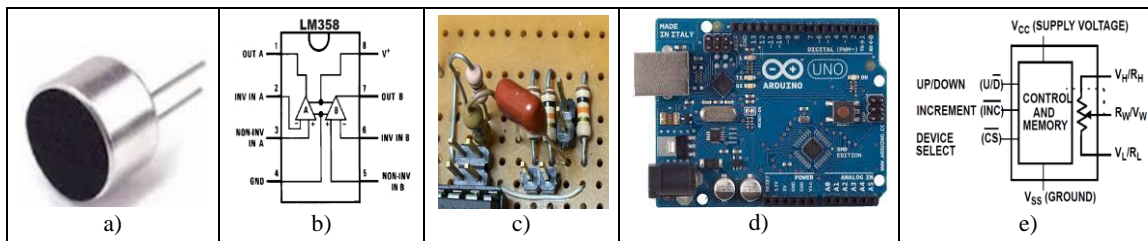


Figura 6. Componentes electrónicos para el prototipo.

La contribución en el diseño de este prototipo radica en la integración de componentes que son controlados digitalmente lo cual permite una mayor precisión y versatilidad en el control de la ganancia. El uso de un potenciómetro digital ofrece una respuesta rápida y precisa en comparación con uno con terminal móvil. Además, la tarjeta digital programable ajusta los parámetros del amplificador según las necesidades específicas del usuario, adaptándose a diferentes entornos acústicos y niveles de audición. Este prototipo no se enfoca por ahora en la miniaturización sino en la técnica para mantener un volumen constante en la salida del amplificador.

Materiales y metodología

Basándose en la **Tabla 3**, en la simulación de la figura **7a)**, la señal de audio se obtiene de un generador de funciones y es amplificada 5 veces en la primera etapa. La configuración es inversora, pero con una señal de DC en la entrada no inversora para que la salida del amplificador sea siempre positiva y con un voltaje de DC de 2.5 V (canal 1 del osciloscopio). La señal de salida anterior entra a la segunda etapa de amplificación con ganancia variable (R_4) y con misma componente de DC en la entrada no inversora para obtener una señal amplificada positiva y variable alrededor de 2.5 V_{DC} (canal 2 del osciloscopio). La salida de la segunda etapa se pasa por un rectificador de media onda y se filtra para obtener una señal de DC proporcional al pico máximo de la señal de audio (canal 4 del osciloscopio). La señal de salida de ambos amplificadores debe ser siempre positiva ya que son alimentados con una sola fuente de 5 V_{DC}.

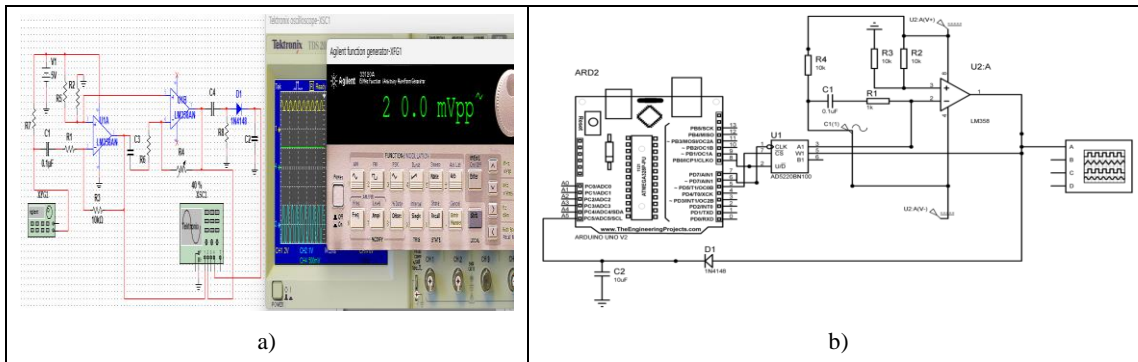


Figura 7. Simulación de operación del circuito y de la Tarjeta digital con el potenciómetro digital.

La señal de DC en la salida del rectificador es la que se requiere para que la tarjeta digital (no mostrada), por medio del programa en Arduino, ubique el valor medio, mínimo y máximo para decidir si la resistencia del potenciómetro digital aumenta o disminuye y mantener el nivel de sonido constante o alrededor del nivel medio. La figura 7b) muestra la simulación de la variación de la resistencia por medio de la Arduino afectando la ganancia del amplificador.

Como muestra la simulación la ganancia de la primera etapa es de 5, la segunda etapa tiene un margen de variar la ganancia hasta de 100, el objetivo de esta ganancia variable es tener una señal de AC mayor al voltaje de umbral del diodo rectificador y así tener un voltaje de DC y poder fijar los valores máximos y mínimos de referencia.

Resultados y discusión

Para la obtención de resultados se construyó y soldó el circuito completo en una tarjeta perforada figura 8a). Se aplicó una señal de audio con un tono de 1 KHz a una distancia de 50 cm al micrófono para comprobar el funcionamiento de la primera etapa de amplificación. La ganancia es fija y luego se aplicó esta señal amplificada a la segunda etapa de amplificación con ganancia variable. Se ajustaron los parámetros de ganancia para aplicar la señal de salida a la etapa de rectificación y filtrado para tener un voltaje de DC y finalmente figura 8b) esta señal se metió a una entrada analógica de la Arduino para que su programa comparara con dos niveles y decidiera aplicar las señales correspondientes al potenciómetro digital para ajustar la ganancia de la primera etapa y mantener constante la amplitud de la salida.

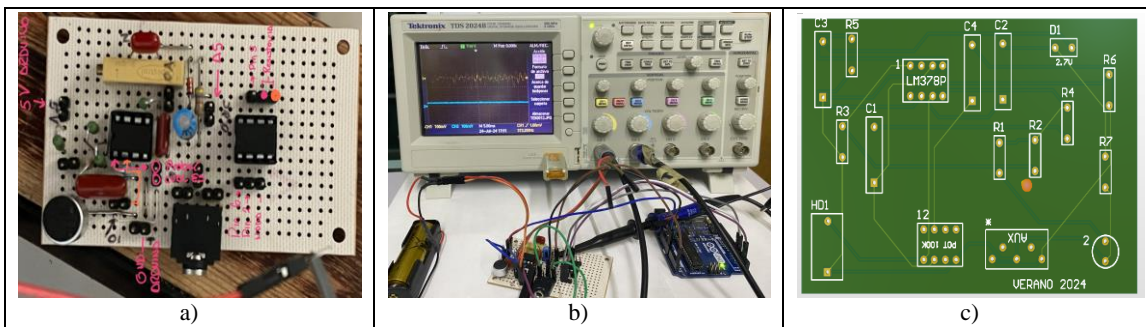


Figura 8. Etapas de construcción del prototipo y pruebas del circuito.

Posteriormente la fuente de audio se fue alejando y se hicieron los ajustes necesarios en el programa y en la ganancia de la segunda etapa para obtener un volumen constante dentro de una distancia de 2 metros a la redonda del circuito. Una propuesta del circuito impreso se muestra en la figura 8c).

El diagrama de flujo del programa en la tarjeta Arduino se muestra en la figura 9a). El circuito que muestra cómo se conecta la tarjeta Arduino y el circuito amplificador con ganancia variable se muestra en la figura 9b).

La conclusión final es haber obtenido cumplido con los objetivos del proyecto y demostrar que el diseño es viable para continuar con su desarrollo.

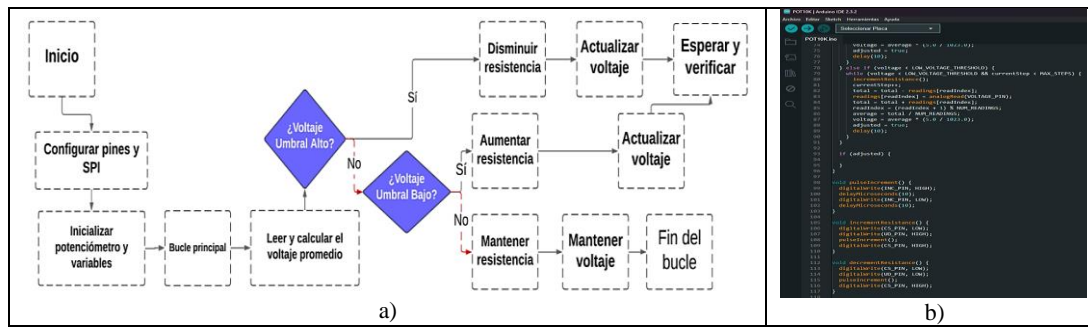


Figura 9. Diagrama de flujo del programa y programa de Arduino.

Conclusiones

- Se seleccionó y diseñó un circuito amplificador inversor para amplificar señales de audio proveniente de un micrófono tipo Electret con ganancia 5 y salida positiva.
- Se seleccionó y diseñó un circuito amplificador inversor con ganancia variable para amplificar señales de audio con ganancia 50 y salida positiva.
- Se seleccionó un rectificador de media onda con filtro para fijar los límites máximo y mínimo correspondiente a un nivel de volumen promedio.
- Se seleccionó el potenciómetro digital de 100 k Ω para el control de la ganancia de una primera etapa de amplificación.
- Se seleccionó la tarjeta digital para el control de la resistencia del potenciómetro digital.
- Se construyó el circuito en una tarjeta perforada y alimentada con una fuente de 4.8 V_{DC}.
- Se probó el circuito completo y se obtuvo una ganancia constante dentro de dos límites de distancia (50 cm y 2.5 m) a la redonda del micrófono.
- Se propone realizar un circuito impreso utilizando componentes de contacto superficial.

Agradecimientos

Los autores, Vidal Huichapan Perla María, Cabrera López Eduardo, y Franco Méndez Alberto, expresan su agradecimiento a la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado de la Universidad de Guanajuato, así como a la División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca y al Laboratorio de Electrónica, por el apoyo proporcionado con infraestructura material y técnica. Se extiende un agradecimiento especial al Dr. Castro Sánchez Rogelio por su invaluable apoyo técnico en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Referencias

- [1] Food and drug administration. (2023). *Lo que debe saber sobre los aparatos auditivos y los productos personales de amplificación del sonido*. URL: <https://www.fda.gov/consumers/articulos-para-el-consumidor-en-espanol/lo-que-debe-saber-sobre-los-aparatos-auditivos-y-los-productos-personales-de-amplificacion-del>
- [2] Cochlear. (2020). *¿Audífonos o implante coclear? Pros y contras que debes conocer*. URL: <https://escucharahoraysiempre.com/blog2/audifonos-o-implante-coclear-pros-y-contras/>
- [3] Organización mundial de la salud. (2020). *Manual básico de cuidado del oído y la audición*. URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/331279/9789240002258-spa.pdf>
- [4] Antonio Álvarez (2019). *El funcionamiento del oído humano*. URL: <https://www.cotral.es/blog/prevencion-riesgos-auditivos/el-funcionamiento-del-oido-humano.html>
- [5] Sergio Franco. (2005). *Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos* (3ª Ed), Edit. Mc Graw Hill.
- [6] DatasheetCatalog. Semiconductor nacional. (2024). *DATASHEET LM358*. URL: [DS007787.PDF \(datasheetcatalog.com\)](https://www.datasheetcatalog.com/DS007787.PDF)
- [7] RENESAS (2019). *DATASHEET X9103*. URL: [x9c102-x9c103-x9c104-x9c503-datasheet \(renesas.com\)](https://www.renesas.com/en/products/analogue-integrated-circuits/operational-amplifiers/low-power-operational-amplifiers/x9103)
- [8] MICROCHIP. (2006). *MCP4021*. URL: [21945e.pdf \(microchip.com\)](https://www.microchip.com/en-us/products/operational-amplifiers/mcp4021)
- [9] ARDUINO. (2024). *Guía de referencia de Arduino*. URL: [Guía de Referencia de Arduino - Guía de Referencia de Arduino](https://www.arduino.cc/reference/en/)