



FACULTAD
DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Proyecto Zero

Ecualizador

E1227 - PROYECTO INTEGRADOR DE ELECTRÓNICA

Autores:

Adriano Scatena, 74725/9
Federico Castiñeira, 74362/1

Tutor:

Flavio Ferrari

Índice

Introducción	3
1 Objetivo del Proyecto Zero	4
2 Pruebas realizadas y resultados	5
2.1 Desacople de continua	5
2.2 Respuesta en frecuencia	5
3 Conclusiones	7

Introducción

En el ámbito del audio, un **ecualizador** (comúnmente descripto con el acrónimo EQ) es un sistema o circuito destinado a modificar selectivamente la amplitud de distintas bandas de frecuencia de una señal. Es decir que se trata de dispositivos que modifican la forma de la respuesta en frecuencia de un conjunto o sistema mayor que los engloba, atenuando o realzando (el control por defecto que se tiene sobre un EQ) distintas bandas de frecuencia. Según *Douglas Self*¹, los ecualizadores cumplen dos funciones fundamentales dependiendo de su contexto de uso:

- En sistemas así llamados de *alta fidelidad (hi-fi)*, la ecualización se aplica de forma *correctiva*, con el objetivo de compensar deficiencias, ya sea de la sala de escucha, de los altavoces o del propio material de audio. En este entorno, los controles de tono básicos resultan preponderantes.
- En consolas de mezcla y producción musical, la ecualización tiene un rol más bien *creativo*. El propósito en este caso es modelar el timbre y el "carácter" del sonido, realzando o atenuando instrumentos o voces por ejemplo. La estructura de este tipo de ecualización suele ser más sofisticada o *paramétrica* por ofrecer mayor control en sus parámetros como *frecuencia*, control de Q , y configuraciones de tipo de ecualización.

Desde un punto de vista técnico, los ecualizadores se basan en filtros activos o pasivos que permiten aplicar ese ajuste de *boost* (realce) o *cut* (atenuación) en rangos específicos del espectro audible. Entre los principales tipos de ecualizadores se encuentran:

- **Controles de tono:** La forma de ecualización más simple, tratándose generalmente de dos o tres bandas, implementándose mayormente filtros con respuesta tipo escalón o *shelf*, predominando los circuitos de topología *James/Baxandall* o tipo *tilt* (que modifica simultáneamente los graves y los agudos de manera complementaria).
- **Ecualizadores gráficos:** Topológicamente suelen ser complejos pero mantienen una baja parametrización en su control, ya que son EQ's con bandas fijas y control de ganancia mediante deslizantes (lo que le da la condición constructiva de ser "gráficos"). Se suele dividir en operación tipo Q -variable o Q -constante.
- **Ecualizadores paramétricos:** Constructivamente complejos y los más versátiles en control, ya que permiten ajustar todos o algunos parámetros - los llamados *semi-paramétricos*- de ecualización, como suele ser la frecuencia central, ganancia, forma del filtrado y factor Q de cada banda.

Algo común a todos los casos, es que la calidad del diseño se define en como influye en el ruido, la distorsión y la interacción entre las bandas.

¹Douglas Self, *Small Signal Audio Design*, 4^a ed., Routledge, 2024, Capítulo 15, p. 466.

1. Objetivo del Proyecto Zero

Luego de un estudio preliminar de la vasta diversidad de clases de ecualizadores presentes en el mundo de audio *Hi-Fi*, evidenciando en cada una de ellas los diferentes objetivos de ecualización que plantean, los diseños y estrategias que toman, y analizando incluso sus aplicaciones en productos comerciales, se plantea como horizonte del presente **Proyecto Zero** sintetizar un circuito simple y sencillo de ecualización basado en la topología ampliamente reconocida de *Baxandall*, sobre la cual se añade el control de una tercera banda (más allá de la división original y atribuida al control de tono de bajas y altas frecuencias o *bass* y *treble*), con el fin de poder aplicar un control de amplitud en el medio del espectro audible, y de allí la diferenciación de frecuencias medias o *middle* siguiendo la correspondencia en inglés. Véase la Figura 1 con el circuito implementado en el presente proyecto.

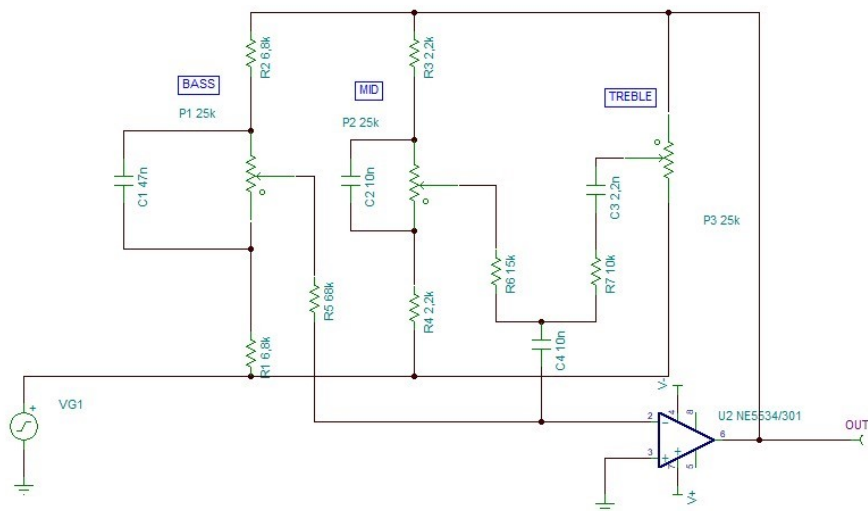


Figura 1: Ecualizador de 3 bandas basado en Baxandall. Proyecto Zero.

Dado que se trata de un ecualizador activo, uno de los principales objetivos en esta etapa es lograr caracterizar la elección de los amplificadores operacionales a utilizar, ya que a partir de la red pasiva en la realimentación del sistema activo esta topología permite lograr baja distorsión y ruido en la señal de audio, por lo que elegir correctamente el *op-amp* se torna un criterio de diseño muy importante. Por otro lado, un objetivo muy importante es lograr comprobar la respuesta en frecuencia del circuito, es decir la ganancia de atenuación/corte lograda comparada con la teórica que plantea *Douglas Self*² como originalmente *P. J. Baxandall*³, así como el requisito de lograr una respuesta *plana* en frecuencia (es decir ganancia unitaria para todo el espectro) al colocar en la posición media a los potenciómetros de control.

²Douglas Self, *Small Signal Audio Design*, 4^a ed., Routledge, 2024, Capítulo 15, p. 468-471.

³Baxandall, P. J. "Negative-Feedback Tone Control". *Wireless World*, octubre de 1952, pp. 402-405

2. Pruebas realizadas y resultados

2.1. Desacople de continua

Se ha detectado una tensión de continua, maliciosa para el parlante receptor de la señal. Por ende se opta por colocar un filtro pasa altos tanto en la entrada como en la salida, con frecuencia de corte en 20 Hz.

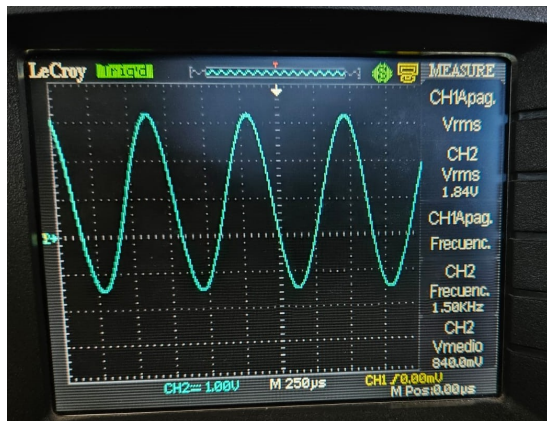


Figura 2: Señal con continua acoplada

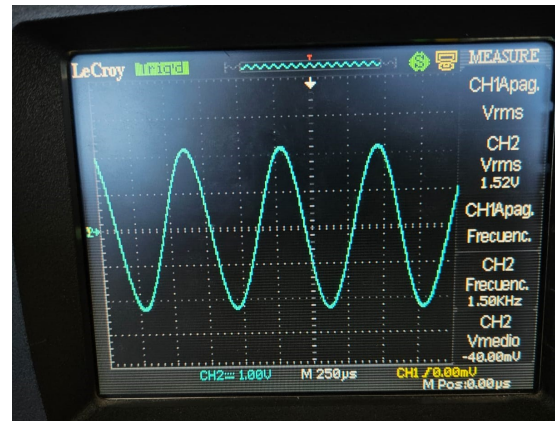


Figura 3: Señal sin continua acoplada

2.2. Respuesta en frecuencia

Con el uso de un analizador de señales, se han obtenido las respuestas en frecuencia para cada realce y corte de cada banda (bajos, medios y altos).

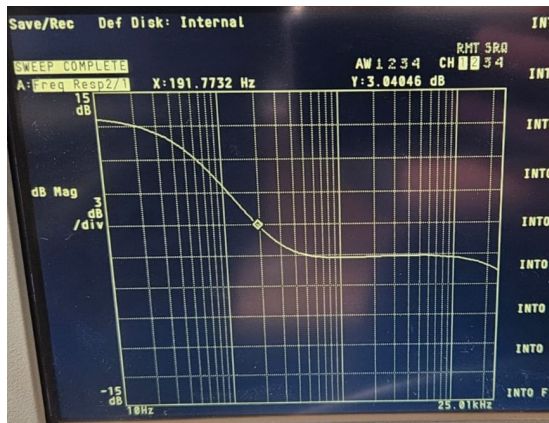


Figura 4: Realce de bajos: $f_{3dB} = 192$ Hz; $f_{0dB} = 530$ Hz; Gain = 12.7 dB

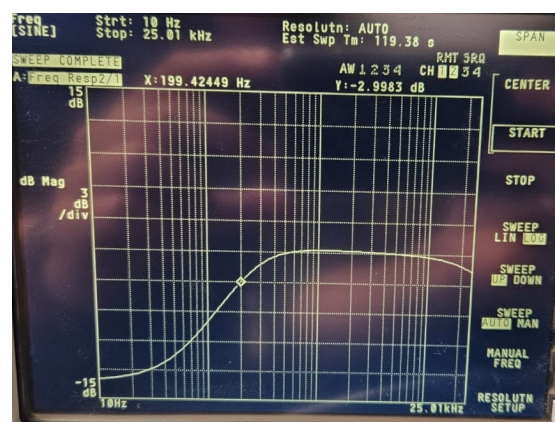


Figura 5: Atenuación de bajos: $f_{3dB} = 200$ Hz; $f_{0dB} = 540$ Hz; Gain = -13 dB

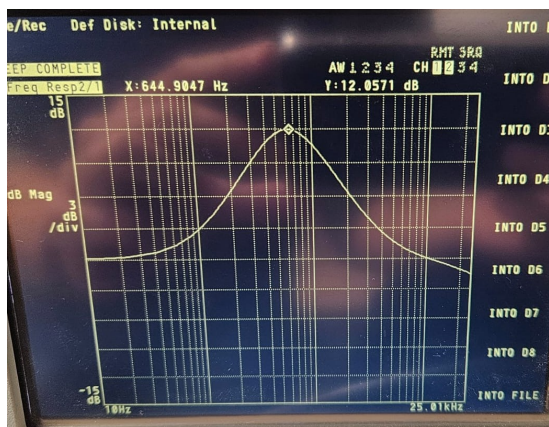


Figura 6: Realce de medios: $BW_{3dB} = 102 \text{ Hz} - 3.6 \text{ kHz}$; Gain = 12.06 dB

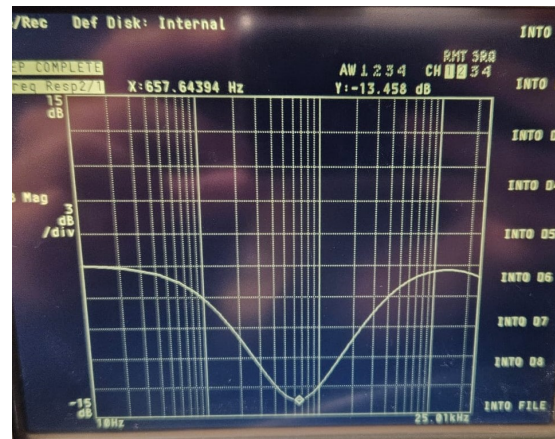


Figura 7: Atenuación de medios: $BW_{3dB} = 98.6 \text{ Hz} - 3.98 \text{ kHz}$; Gain = -13.46 dB

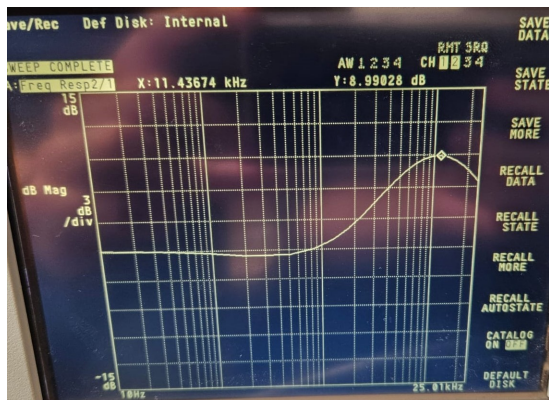


Figura 8: Realce de altos: $f_{3dB} = 2.21 \text{ kHz}$; $f_{0dB} = 784.23 \text{ Hz}$; Gain = 9 dB

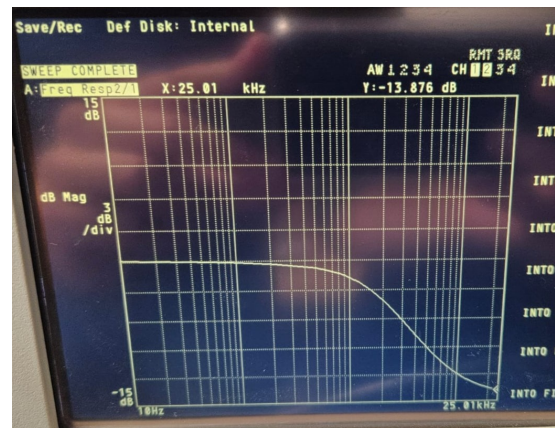


Figura 9: Atenuación de altos: $f_{3dB} = 1.55 \text{ kHz}$; $f_{0dB} = 784.23 \text{ Hz}$; Gain = -13.87 dB

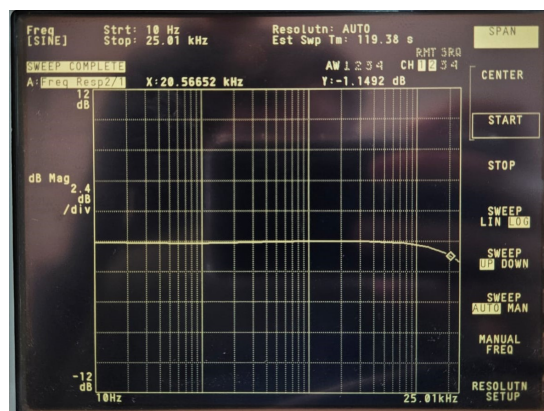


Figura 10: Ganancia unitaria

3. Conclusiones

En este primer trabajo se ha logrado implementar y analizar un ecualizador activo de tres bandas basado en la topología de Baxandall. Se comprueba la importancia del desacople de continua para evitar daños en el parlante y se verifica experimentalmente la respuesta en frecuencia del circuito, obteniendo realces y atenuaciones acordes a lo esperado. Además, se ha alcanzado una respuesta plana con los potenciómetros en posición media, cumpliendo con los objetivos planteados.