

DISEÑO DE UN EMULADOR DE CAJA DE GUITARRA

Kaspierowicz Iván¹, Petrini Aaron²

Electroacústica I, Ingeniería de sonido

Universidad Nacional de Tres de Febrero, Buenos Aires, Argentina.

¹ kaspierowicz@gmail.com ² aaron.petrini96@gmail.com,

26/11/2019

Resumen

Este artículo describe el trabajo realizado por estudiantes de la Universidad Nacional de Tres de Febrero para la materia Circuitos Electrónicos I. El diseño propuesto es la creación de un emulador de caja de guitarra con dos selecciones, Marshall y Mesa-Boogie y un filtro activo seleccionable de dos bandas. Mediante el diseño y conexión en serie de distintos filtros se logró imitar la respuesta en frecuencia de dichas cajas de forma bastante satisfactoria.

Keywords: Circuitos Electrónicos I, UNTREF, Filtros, Cab-simulator

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se busca diseñar un emulador de caja de guitarra activo, basado en dos respuestas en frecuencias de una caja Marshall y otra Mesa Boogie, ambas 4x12 con parlantes Celestion Vintage 30 y grabadas con un micrófono Shure SM57 entre el cono y el borde, se utiliza esta configuración debido a que es la más habitual en cuanto a sonido de guitarra se refiere.

El informe está dividido en tres partes: la primera el marco teórico en la cual se explica la teoría para entender el diseño y la forma en la que se abordó el diseño. La segunda consta del procedimiento experimental a la hora de llevar a cabo el proyecto, planteando metas y objetivos y conexión de los filtros, diseño del ecualizador activo y por último la forma de poder seleccionar otra caja. La tercera y última los resultados obtenidos y posibles mejoras.

2. MARCO TEÓRICO

En la presente sección se explican la teoría básica necesaria para el entendimiento del diseño propuesto.

2.1. Colector Común

Este tipo de configuración utilizada con transistores BJT como se puede apreciar en la figura 1, también conocida como seguidor o Buffer, posee las siguientes características: Ganancia de tensión

en fase aproximadamente igual a 1, resistencia de salida baja y una alta resistencia de entrada. [1]

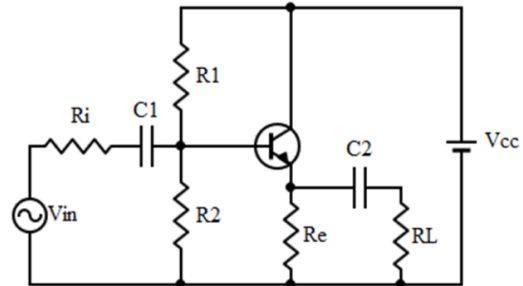


Figura 1: Configuración colector común.

2.2. Re sin puntear

Al igual que el caso anterior, este tipo de configuración es utilizada con transistores BJT y posee las siguientes características: Ganancia de tensión en contrafase menor a 10 veces, resistencia de salida media y una alta resistencia de entrada.

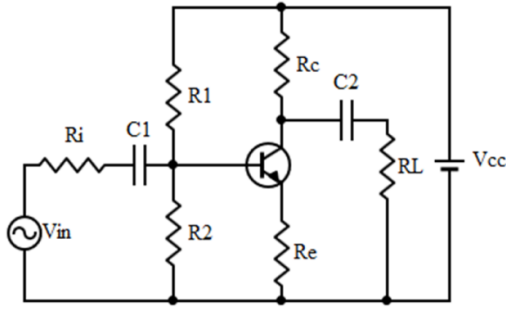


Figura 2: Configuración Re sin puentear.

Es importante destacar que la ganancia en este tipo de configuración esta dada por $G_v = \frac{R_c}{R_e}$

2.3. Sallen Kay HPF

Se decide utilizar este tipo de filtro pasa altos por dos razones fundamentales, la primera es que es sencillo y con pocos elementos, la segunda y mas interesante es que nos permite una caída de 12 dB/oct la cual es de interés como se explicará más adelante. La siguiente figura 2, muestra un filtro Sallen Kay realizado con amplificador operacional.

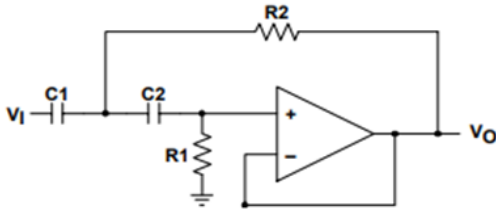


Figura 3: Filtro Sallen Kay con OPAMP.

Como se puede observar consta de un operacional utilizado en configuración seguidor, dado que el eje central de la materia es el aprendizaje y uso de transistores, se pasa de este esquema a uno con transistores, colocando un transistor en configuración colector común, como se puede apreciar en la siguiente figura 3.

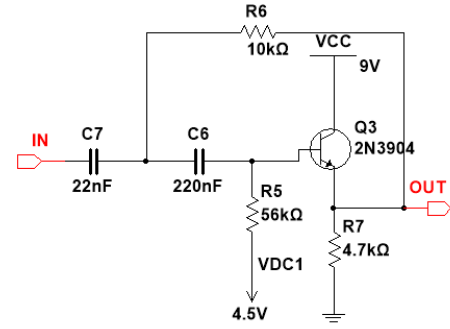


Figura 4: Filtro Sallen Kay con transistor.

2.4. Sallen Kay LPF

Al igual que el caso anterior, se utiliza esta configuración por los mismas ventajas que presenta la configuración. Como se aprecia en la siguiente figura 5 es muy parecido a un filtro Sallen Kay HPF pero se invierten los componentes de capacitores por resistencias.

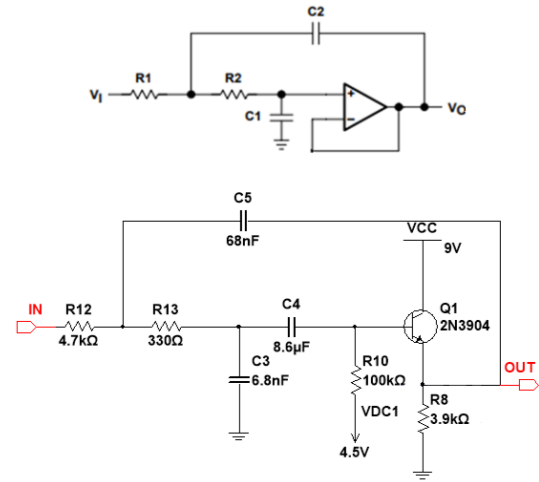


Figura 5: Filtro Sallen Kay con OPAMP y transistor.

Cabe destacar, que este tipo de filtro tiene la especialidad de simular el comportamiento de un inductor, es por eso que es muy utilizado en este tipo de diseños, ya que al cargarlo con una resistencia se pueden generar filtros del tipo RLC aunque limitados ya que no se puede conseguir mucha selectividad.

2.5. Notch

Conocidos también como filtros eliminabanda, la configuración de este tipo de filtros consta de un Sallen Kay HPF cargando a una resistencia R, esto se puede apreciar en la siguiente figura 6.

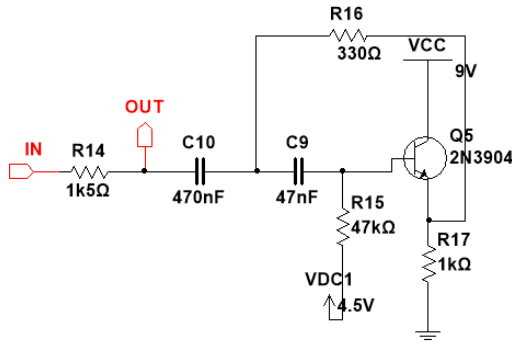


Figura 6: Filtro Notch.

2.6. Resonantes

La idea planteada para estos filtros, es que tenga una ganancia y Q para una cierta frecuencia de resonancia, y luego para el resto del espectro una ganancia de 0 dB .

La configuración utilizada consta de un filtro Re sin puentear con una ganancia de 1, a la que le colgamos en paralelo un filtro resonante RLC a modo de disminuir la resistencia de emisor y así aumentar su ganancia de tensión pero sólo para una determinada frecuencia. En la siguiente figura 7 se puede observar un filtro resonante con dos resonancias.

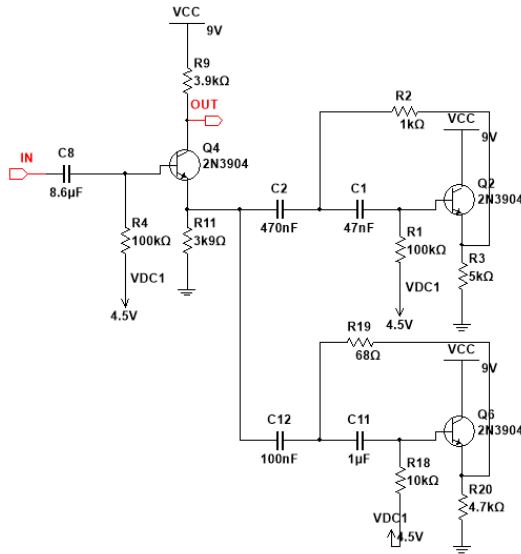


Figura 7: Filtro con dos resonancias.

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Respuesta en frecuencia de una caja de guitarra

Para emprender este proyecto el primer paso fue obtener de alguna forma las respuestas en frecuencia de las cajas mencionadas ya que el objetivo

es imitarlas mediante filtros. Para esto, se optó por recurrir a respuestas al impulso de ambas cajas realizadas por la compañía Ownhammer, quienes realizan esto de manera profesional y en las mejores condiciones posibles.

Luego de realizar un análisis auditivo de las diversas opciones que se tenía, se eligieron dos respuestas al impulso (una de cada caja) por preferencia subjetiva de su sonido a través de una señal de guitarra de línea y un software mediante el cual se cargaban dichas respuestas.

Una vez seleccionadas, se procedió a analizarlas en el software REW, para si obtener el gráfico de la respuesta en frecuencia del archivo, el cual sería la referencia para comenzar a diseñar los filtros.

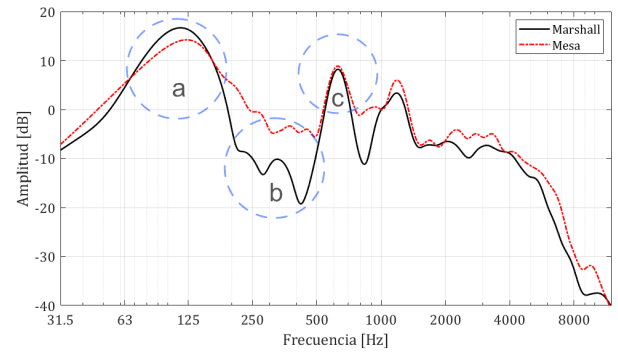


Figura 8: Respuestas en frecuencias de dos cajas medidas.

En la figura 8 se pudo visualizar las respuestas en frecuencias de las dos respuestas al impulso seleccionadas para ser los dos filtros fijos del emulador. Se aprecia que si bien ambas son similares poseen sus principales diferencias en la región de bajas frecuencias.

Para comenzar a realizar los filtros se tomó la respuesta en frecuencia de la caja Marshall como primera referencia y se dividió la respuesta en frecuencia de referencia en partes, para así pensarla como diferentes filtros que, conectados en cascada, formarían la curva deseada.

En primera instancia se decidió realizar los dos filtros característicos de la respuesta frecuencial de cualquier parlante, un filtro pasa altas y uno pasa bajos en ambos extremos para luego dar paso a las tres resonancias fundamentales marcadas en la figura como **a**, **b** y **c**.

3.2. Simulaciones

Antes del armado experimental del circuito, se procedió a realizar borradores y simularlos de manera digital a través del programa *Multisim* hasta llegar a los objetivos planteados anteriormente.

Para el diseño del circuito se utiliza una tensión de base igual a $V_B = \frac{V_{CC}}{2}$ para todos los transistores, de modo de utilizar el mismo divisor resistivo a partir de los 9v de la fuente.

Al tratarse de filtros, las tensiones de polarizaciones varían según la ganancia requerida para cada filtro, por ejemplo: en el caso de los filtros resonantes la resistencia de emisor en paralelo al Girador RLC determina la ganancia, y esto modifica la polarización del transistor, es por eso que se utilizó como criterio acercarnos lo más posible a la ganancia requerida pero sin que R_e sea demasiado grande ya que no es recomendable trabajar con corrientes tan bajas.

Por otro lado, dadas las condiciones de que en primer lugar, el cálculo de capacitores presenta un grado alto de dificultad, y la segunda y más importante que el emulador de caja empieza con un filtro pasa-altos con caída de 12 dB/oct en aproximadamente 100 Hz , entonces se utiliza como criterio de cálculo de capacitores de by-pass usar valores de aproximadamente $10\text{ }\mu\text{F}$ para todos, ya que es un valor suficientemente alto para asegurarnos que no modifique nuestra respuesta en frecuencia.

3.2.1. Filtro pasa altos

En la figura 4 se puede visualizar el circuito utilizado para realizar este filtro. Se optó por un Sallen Key HPF en el cual se reemplazó el tradicional amplificador operacional por un transistor. Se procuro lograr una caída de 12 dB por octava y una frecuencia de corte de 90 Hz .

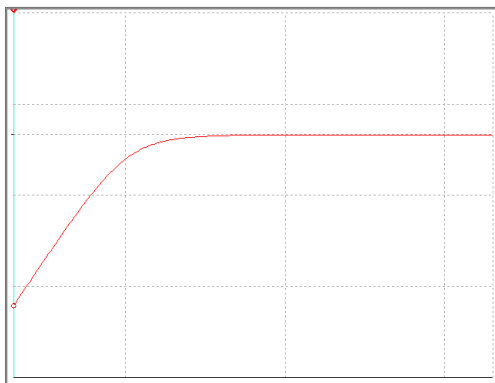


Figura 9: Simulación de la respuesta del filtro pasa altos

3.2.2. Filtro pasa bajos

Para este circuito se utilizó un Sallen Key LPF (Figura 5) en el cual también se reemplazó el amplificador operacional por un transistor. Los componentes se eligieron en función de lograr una caída de 12 dB por octava y ubicar la frecuencia de corte

en 6 kHz . A continuación, el gráfico de la respuesta en frecuencia realizado en el simulador de circuitos.

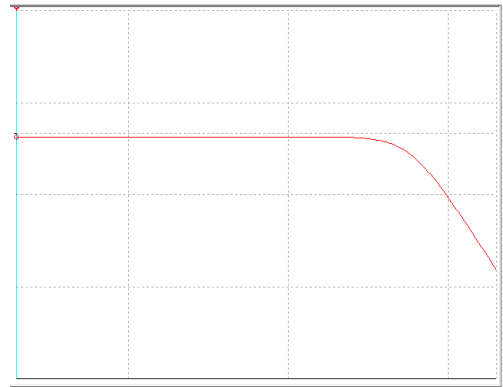


Figura 10: Simulación de la respuesta del filtro pasa bajos

3.2.3. Filtros Resonantes

Como se mostró anteriormente, se destacan dos filtros resonantes en la respuesta de la caja, uno de mayor ganancia con frecuencia central 111 Hz y Q de aproximadamente 2 y otro en 625 Hz con una ganancia menor y un Q mayor de aproximadamente 5.

En la figura 7 podemos ver el filtro correspondiente a la frecuencia central de 125 Hz colocado por encima del de 500 Hz cuya simulación se aprecia en la siguiente figura 11.

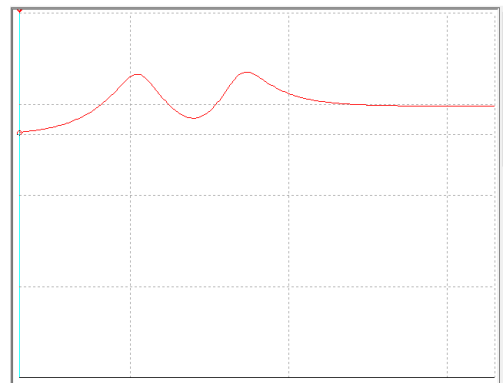


Figura 11: Simulación de la respuesta de los filtros resonantes

3.2.4. Filtro Notch

Como componente principal de la respuesta en frecuencia de la caja también se destacó una caída en la zona entre 250 Hz y 450 Hz , la cual se decidió simplificar en un filtro eliminabanda en la frecuencia de 330 Hz que corresponde a la figura 6, ya que de otra forma al presentar irregularidades en

su forma hubiera sido muy difícil de lograr con la metodología de trabajo elegida.

A continuación, se muestra el gráfico realizado con el simulador.

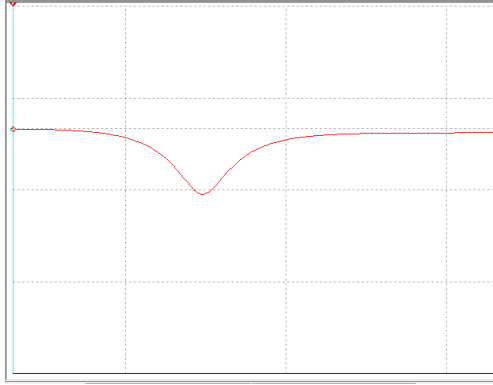


Figura 12: Simulación de la respuesta del Filtro Notch

3.3. Caja Mesa/Boogie

Al visualizar las diferencias entre ambas cajas se trató de buscar una solución que no extendiera mucho el circuito final que se tenía. Debido a que ambas respuestas en frecuencia son muy parecidas se propuso como objetivo principal lograr ese refuerzo en frecuencias bajas que caracteriza a la respuesta de la caja Mesa/Boogie respecto a la Marshall, ya que dicho refuerzo le aportara el componente sonoro mas relevante a la hora de la utilización del emulador de caja.

Con dicha explicación en mente, se decidió hacer un simple cambio del valor de la resistencia R_{14} de la figura 6, mediante la conmutación de una llave, del valor de $1,5\text{ k}\Omega$ (Para la caja Marshall), por una de $680\text{ }\Omega$. Provocando así un refuerzo en la zona de interés de aproximadamente 3 dB .

3.4. Ecualizador de dos bandas

Luego de lograr los dos filtros fijos, se optó por añadir un ecualizador posterior a dichos filtros que pueda modificar la parte del espectro mas significativa para que así el usuario no se vea limitado a solo la elección de las dos cajas.

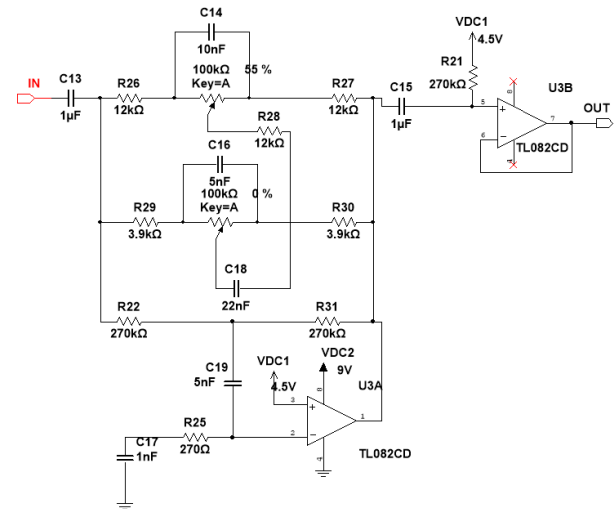


Figura 13: Circuito del ecualizador

En el circuito podemos visualizar los dos potenciómetros correspondientes a Bass y Mid, no se añadió un potenciómetro Treble, ya que se consideró que modificar esta parte del espectro frecuencial modificaría una parte esencial para que el emulador de caja de guitarra se comporte como tal. Como se menciona antes, en esta zona frecuencial los parlantes utilizados para cajas de guitarra presentan una caída de aproximadamente 12 dB por octava. Reforzar esta zona de altas frecuencias provocaría un sonido indeseable y atenuarla aun mas provocaría un corte demasiado brusco, por lo cual se decidió no incluir este potenciómetro en el circuito.

El ecualizador se colocó en serie de los filtros anteriormente nombrados con la intervención de una llave para poder activarlo o no de ser deseado.

3.5. Montado experimental

Una vez realizadas las simulaciones se procede a armar el circuito experimentalmente, en la siguiente figura 14 se puede ver un ejemplo del circuito en sus fases finales.

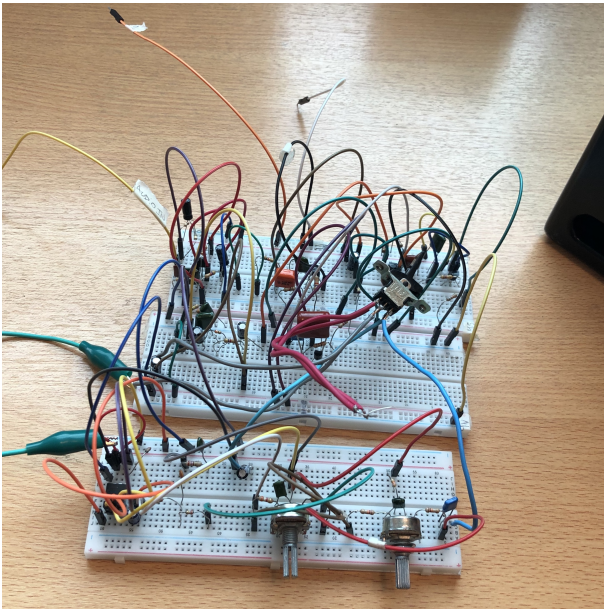


Figura 14: Circuito montado en protoboard para pruebas y mediciones

Dado que se realizó el emulador de a pasos y en distintas etapas, el procedimiento general que se llevó a cabo para este fue:

- Diseñar el filtro correspondiente en la computadora y simularlo
- Realizar filtro en protoboard, medir su respuesta en frecuencia con Smaart y corroborar concordancia con la simulación.
- Modificar circuito para lograr objetivo deseado.
- Conectar siguiente filtro y repetir el proceso

Se midió cada filtro por separado y luego en cascada, los resultados de las mediciones se podrán hallar en la parte de resultados y en el anexo se encuentra el esquemático del emulador.

Luego de terminar los filtros se procedió a la parte de escucha de los mismos con una señal de guitarra previamente grabada, y esto formó una parte esencial del proyecto ya que se considera el resultado audible como el más importante.

4. RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados obtenidos del diseño propuesto a través de mediciones mediante el software Smaart con ruido rosa limitado en banda. En la siguiente figura visualiza la respuesta en frecuencia del emulador correspondiente a la caja Marshall.

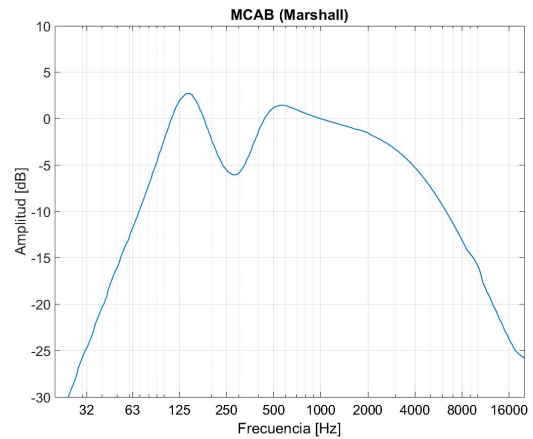


Figura 15: Curva del MCAB caja Marshall.

En la próxima figura se observa la respuesta en frecuencia del emulador correspondiente a la caja Mesa/Boogie.

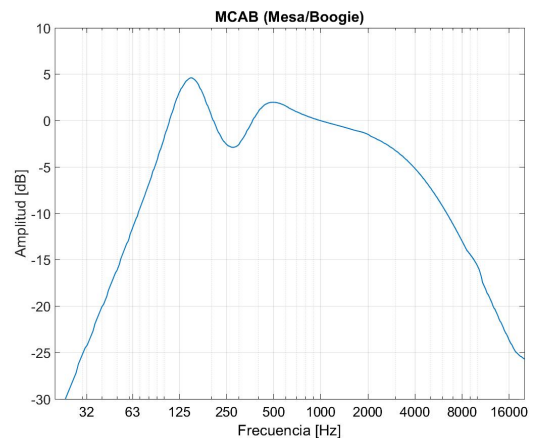


Figura 16: Curva del MCAB caja Mesa Boogie.

A modo de comparación se solaparon las respuestas de las cajas en un mismo gráfico. De esta forma se puede visualizar el refuerzo logrado en bajas frecuencias que distinguía una caja de la otra.

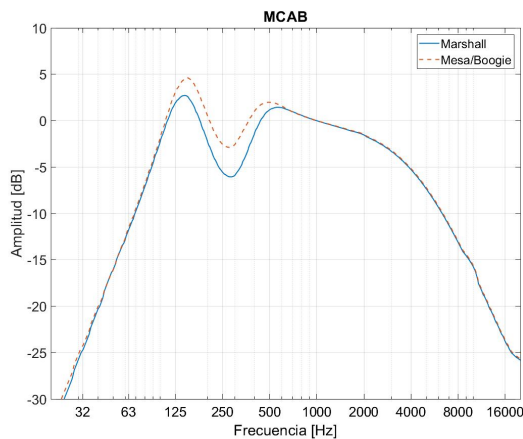


Figura 17: Comparación entre ambos filtros fijos del emulador MCAB.

A continuación se muestra el gráfico del filtro correspondiente a la caja Marshall modificado con el ecualizador. Se puede corroborar aquí que el ecualizador interrumpe en la parte del espectro deseado como se había explicado anteriormente.

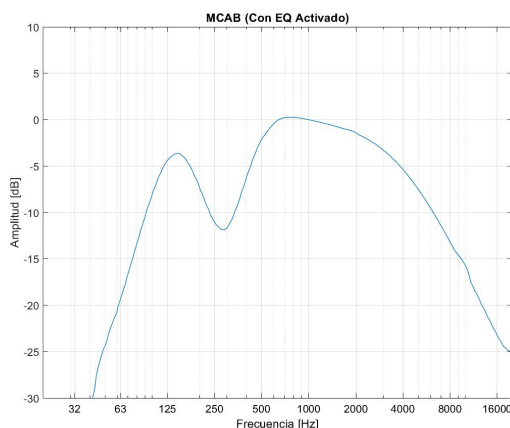


Figura 18: MCAB con ecualizador modificando la respuesta

5. CONCLUSIONES

Se pudo realizar el emulador de manera óptima, obteniendo los resultados esperados, tanto en las mediciones como sonoramente y a su vez incorporar de manera teórica los conceptos abordados.

En cuanto a posibles correcciones futuras, se mencionan algunas a continuación:

- **Mejorar la curva en la zona correspondiente al Notch.** Esta parte fue bastante simplificada al momento de diseñarla ya que presentaba irregularidades en la respuesta en frecuencia obtenida de la respuesta al impulso de las cajas, y si bien se obtuvieron resultados sonoros agradables se cree que con una utilización de dos filtros eliminabanda en cascada quizás se podría haber emulado esta parte del espectro con aún mas detalle.
- **Emulación de la caja Mesa/Boogie.** Al realizar el segundo filtro fijo se trato de hacerlo en función al primero (caja Marshall), con el cambio de algunos componentes. Si en vez de esto se hubiera realizado otro filtro completamente desde cero, o por lo menos la zona de los filtros resonantes y el notch, se hubiera podido obtener una curva no tan dependiente de la caja Marshall y mas similar a la de la caja Mesa/Boogie.
- **Incorporación de salida para auriculares.** Debido al tiempo disponible para realizar el trabajo, esta fue una de las opciones que se tuvo en mente pero fue descartada. Sería útil tener una salida a auriculares en caso de utilizarse el emulador sin disponer de un parlante potenciado de respuesta plana.
- **Incorporación de emulación de potencia.** Una de las propuestas a futuro es agregar también de modo seleccionable, una etapa que emule el color que produce a la señal de guitarra una etapa de potencia valvular.

Si bien estas mejoras aportarían al resultado final, se considera que se lograron los objetivos planteados en un principio y que el producto final puede ser utilizado sin ningún problema por cualquiera que requiera del mismo.

Referencias

- [1] Cotella Juan G. Chaik David. *Apunte de circuitos electrónicos I*. UNTREF, 2019.

