

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE EFECTOS PARA GUITARRA ELÉCTRICA

HUGO C. LONGONI¹ y BRUNO TURRA¹

¹Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN. FRC), Maestro López Esq. Cruz Roja Argentina. CP X5016ZAA. Córdoba, Argentina.
38566@electronica.frc.utn.edu.ar, 57841@electronica.frc.utn.edu.ar

Resumen – *Habitualmente los músicos utilizan diversos procesadores de audio para modificar la señal original que entregan diversos instrumentos eléctricos. En este trabajo se realiza la simulación y análisis de dos procesadores de audio (pedales de efectos) para guitarra eléctrica con alta aceptación por parte de músicos del ámbito nacional e internacional, como el OCTAVIA y el BIG MUFF PI. Las simulaciones son realizadas en PSpice. El objetivo es analizar el comportamiento de determinados parámetros como respuesta de frecuencia y contenido espectral para diversas configuraciones y determinar el funcionamiento del procesador.*

1. INTRODUCCIÓN

En esta última década internet se ha convertido en un espacio virtual de donde puede conseguirse una infinidad de circuitos electrónicos (diagramas esquemáticos y circuitos impresos) de procesadores de audio para guitarras eléctricas y otros instrumentos musicales. Un caso particular son los pedales de efectos, ya que con el pasar de los años, han sido discontinuados en su producción o por intervención de aficionados dichos dispositivos son modificados para lograr un sonido *propio* ó *único*. Estos hechos, hicieron que se forjara un movimiento denominado *Do It Yourself* (Hazlo tú mismo) el cual propone a los usuarios con conocimientos básicos de electrónica, desarrollar sus propios procesadores de efectos. Sin embargo, se puede afirmar que no toda la información que circula por internet es confiable. En este trabajo se propone la simulación y análisis de dos pedales de efectos, el OCATAVIA y el BIG MUFF PI, con el objetivo de: a) verificar que el diagrama esquemático del circuito seleccionado funciona correctamente; b) analizar el principio de funcionamiento, siendo este último una actividad fundamental para los estudiantes de ingeniería electrónica. Para la simulación se toma en cuenta la influencia de todo el sistema, abarcando el pickup de la guitarra, cables, pedal de efecto y entrada del amplificador. Se realiza el análisis en el dominio del tiempo y de la frecuencia para diversas configuraciones.

2. MODELIZACION

2.1. Modelo general

El sistema a simular se compone de: la guitarra eléctrica, los cables de interconexión, el efecto y el amplificador. La guitarra eléctrica, que es la fuente de señal, se conecta por medio de un cable a la entrada del efecto. La salida del efecto se conecta por medio

de otro cable a la entrada del amplificador, tal como puede verse en la Figura 1.

Cada uno de estos elementos será modelizado a partir de las especificaciones técnicas de los fabricantes para optimizar la simulación.

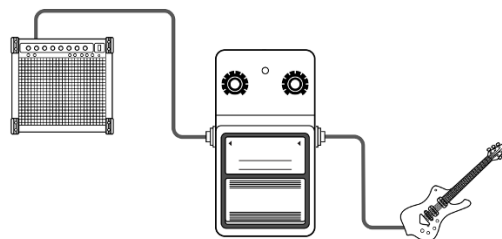


Figura 1: Ilustración del sistema, compuesto por una guitarra eléctrica, cables de instrumentos, efecto (distorsión) y amplificador con altavoz.

2.2. Modelización del cable de instrumentos

Una característica importante del cable que se utiliza para interconectar la guitarra al efecto (y el efecto al amplificador) es la capacitancia del mismo, que se presenta entre sus conductores [1].

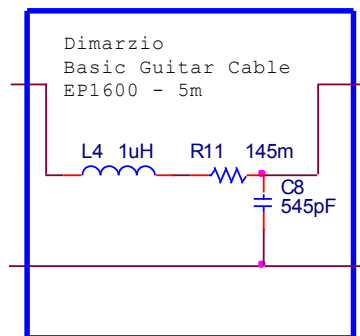


Figura 2: Modelo del cable de instrumentos.

La capacitancia del cable se expresa en pico Faradios por unidad de longitud [1] [2]. Combinada con la impedancia de la fuente (pickup de la guitarra), la capacitancia del cable forma un filtro pasa bajos entre la guitarra y el efecto (y entre el efecto y el amplificador) [1]. Por tal motivo, ha de considerarse un modelo de los cables de interconexión contemplando su capacitancia por unidad de longitud.

El cable seleccionado fue un DiMarzio Basic Guitar Cables EP1600 cuyas especificaciones son, entre otras [2]:

- Capacitancia, C : 109 pF/m
- Resistencia, R : 29 ohm/Km
- Inductancia, L : 0,2 μ H/m

En la Figura 2 se presenta el modelo de simulación para un cable DiMarzio® Basic Guitar Cables EP1600 de 5 m de longitud, cuyos parámetros son:

- Capacitancia, $C = 545$ pF
- Resistencia, $R = 145$ m Ω
- Inductancia, $L = 1$ μ H

2.3. Modelización del pickup de la guitarra

Constructivamente, el pickup de la guitarra eléctrica es un inductor de alambre de cobre delgado, bobinado estrechamente alrededor de un núcleo que puede consistir de varios imanes (permanentes) cilíndricos [3] como se observa en Figura 3 y Figura 4.

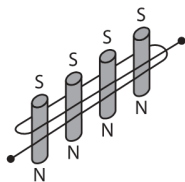


Figura 3: Bobinado de alambre de cobre alrededor de imanes cilíndricos.

La vibración de una cuerda de acero sobre los imanes del pickup modifica el campo magnético establecido por estos, y tal variación del campo magnético induce una tensión en la bobina del pickup. Dicha tensión es proporcional a la amplitud, y tiene la misma frecuencia, que la vibración cuerda [3] [4].



Figura 4: Pickup de guitarra eléctrica.

En la Figura 5 se muestra el circuito equivalente del pickup donde puede apreciarse la fuerza electromotriz (f.e.m.) generada en la bobina, la inductancia L de la bobina, la resistencia R del alambre y la capacitancia equivalente C entre espiras, conformando un filtro pasabajos de segundo orden [5].

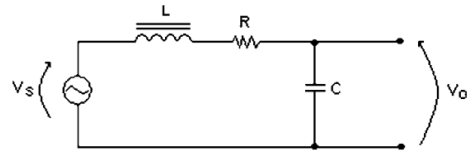


Figura 5: Modelo simplificado del pickup de la guitarra eléctrica [5].

El pickup seleccionado para modelar es el H1A de la firma EMG, siendo los datos que provee el fabricante [6]:

- Inductancia, $L = 7,80$ H
- Resistencia, $R = 13,65$ K Ω
- Frecuencia de resonancia, $F_0=3,00$ kHz, para 1M Ω y 47pF.

Para calcular el valor del capacitor se parte de la ecuación de la frecuencia de resonancia de un circuito RLC [7]:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad (1)$$

De (1) se despeja C :

$$C = \frac{1}{L \cdot \omega^2} = 47 \text{ pF} \quad (2)$$

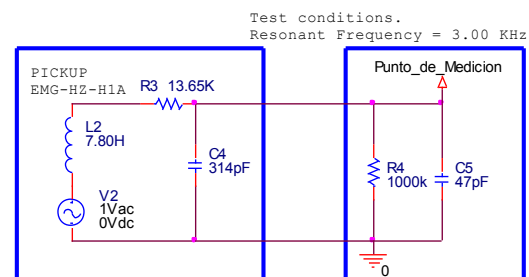


Figura 6: Modelo de simulación del pickup EMG-HZ-H1A, y condiciones en que se especifica la frecuencia de resonancia.

En (2), los 47 pF corresponden a las condiciones bajo las cuales el fabricante especifica la frecuencia de resonancia (como puede verse en la Figura 6), dando como resultado:

- $C = 314$ pF

En la Figura 7 se presenta el gráfico de la respuesta en frecuencia del pickup bajo las condiciones especificadas por el fabricante del mismo.

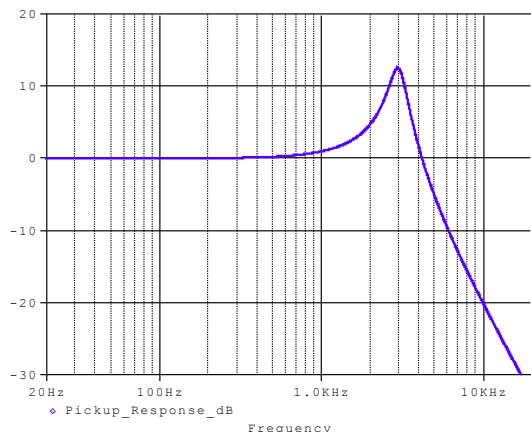


Figura 7: Respuesta en frecuencia del pickup modelo EMG-HZ-H1A.

2.4. Modelización del control de tono y volumen de la guitarra

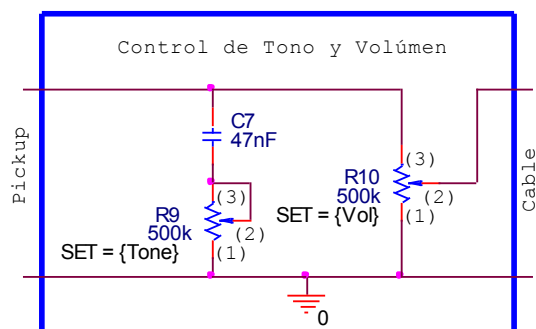


Figura 8: Configuración del control de tono y volumen.

El circuito de control de tono y de volumen de la Figura 8 es una configuración típica utilizada en guitarras eléctricas [8] [9] [10].

Los valores de los potenciómetros y del capacitor son los recomendados por el fabricante del pickup [11]. Los potenciómetros utilizados son del tipo logarítmico para aplicaciones de audio, en los cuales el 50 % de rotación mecánica inicial produce una variación del 10 % de la resistencia total, y el 50 % de rotación mecánica final produce la variación del 90 % restante [12]. La configuración de los terminales de los potenciómetros se realiza según la misma de la serie PDB181-GTR del fabricante Bourns [13].

En la Tabla 1 se presenta la función de transferencia del potenciómetro, como el porcentaje de la resistencia total del mismo, que se obtiene entre los terminales de salida (entre 1 y 2), para distintos valores de rotación mecánica del eje del potenciómetro. Los datos se obtuvieron de los gráficos “A2 Taper” y “C2 Taper” de la hoja de datos de la serie PDB181-GTR [13] que pueden verse en las Figura 9 y Figura 10 respectivamente.

% Rotación Sentido Horario	R1-2	
	A2 Taper. Logarítmico Sentido Horario	C2 Taper. Logarítmico Sentido Antihorario
0%	0%	100%
5%		99%
10%		86%
15%		73%
20%	1%	60%
25%	2%	47%
30%	3%	32%
35%	4%	22%
40%	6%	16%
45%	8%	12%
50%	10%	10%
55%	12%	8%
60%	16%	6%
65%	22%	4%
70%	32%	3%
75%	47%	2%
80%	60%	1%
85%	73%	
90%	86%	
95%	99%	
100%	100%	0%

Tabla 1: Función de transferencia de los potenciómetros utilizados.

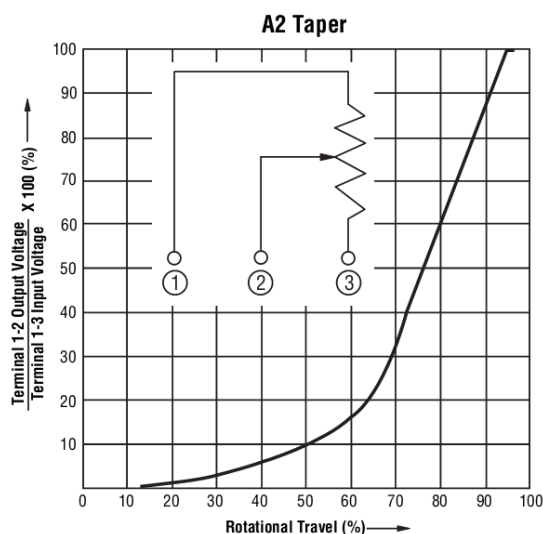


Figura 9: Función de transferencia del potenciómetro logarítmico para aplicaciones de audio sentido horario.

En la Figura 12 se presenta el circuito esquemático utilizado para la determinación de la respuesta en frecuencia del bloque control de tono y

volumen de la guitarra eléctrica, mostrado en la Figura 8.

El circuito de la Figura 12 consta del pickup, control de tono y volumen, cable de instrumentos y entrada del amplificador y es en éste último punto donde se realiza la medición.

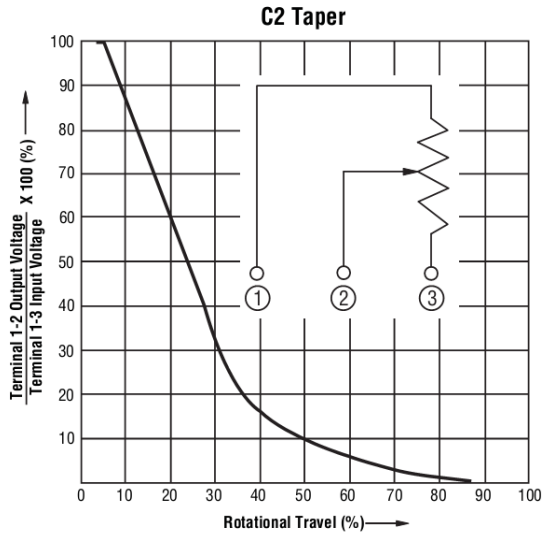


Figura 10: Función de transferencia del potenciómetro logarítmico para aplicaciones de audio sentido antihorario.

En la Figura 11 se presenta la respuesta en frecuencia del circuito de la Figura 12, para distintos ajustes del control de tono: *mínimo*, *medio* y *máximo*.

En la Figura 13 se presenta la respuesta en frecuencia del circuito de la Figura 12, para distintos ajustes del control de volumen: 20 %, 50 % y 100 % de rotación del eje del potenciómetro.

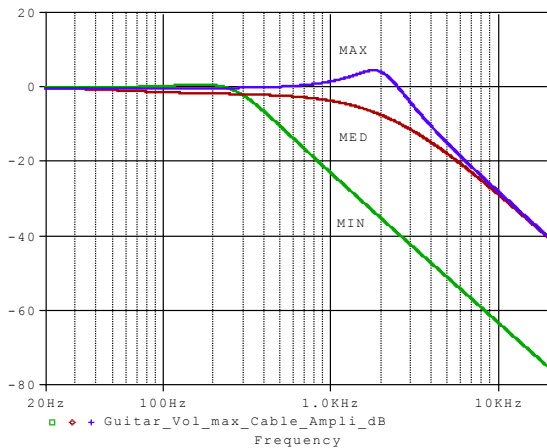


Figura 11: Respuesta en frecuencia para distintos ajustes del control de tono: *mínimo*, *medio* y *máximo*.

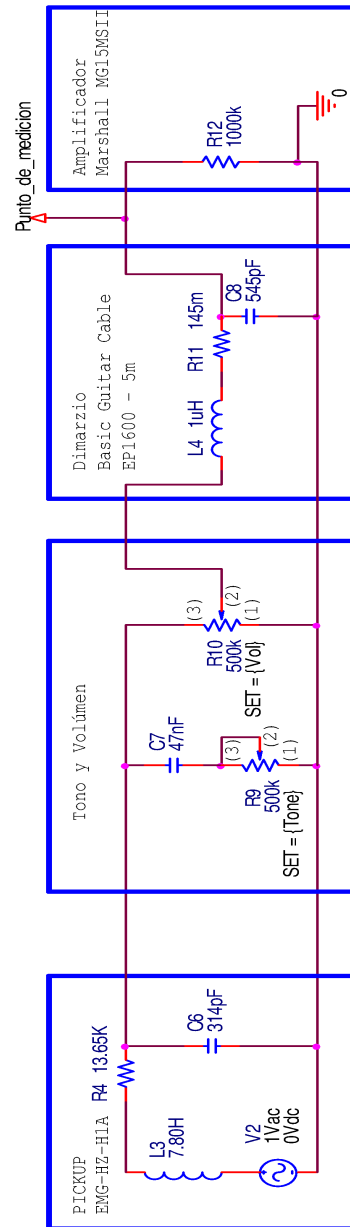


Figura 12: Circuito esquemático con pickup, control de tono y volumen, cable de instrumentos y amplificador para determinar la respuesta en frecuencia del control de tono y volumen.

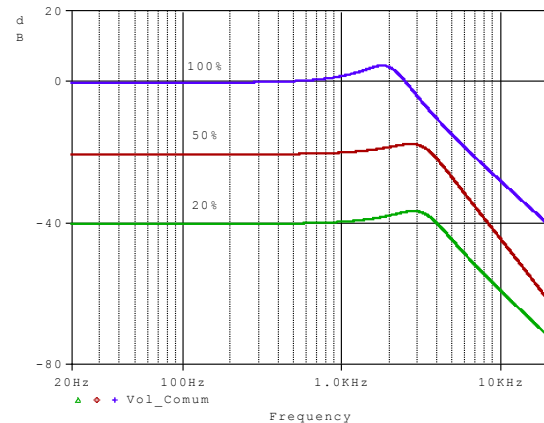


Figura 13: Respuesta en frecuencia para distintos ajustes del control de volumen: 20 %, 50 % y 100 % de rotación del eje del potenciómetro.

4.2. Control GANANCIA

En las Figura 16, Figura 18 y Figura 19 se presentan las formas de onda de entrada al efecto (trazo discontinuo) y salida del mismo (trazo continuo) para una tensión de entrada senoidal de 100 mV_p y frecuencia de 1 kHz.

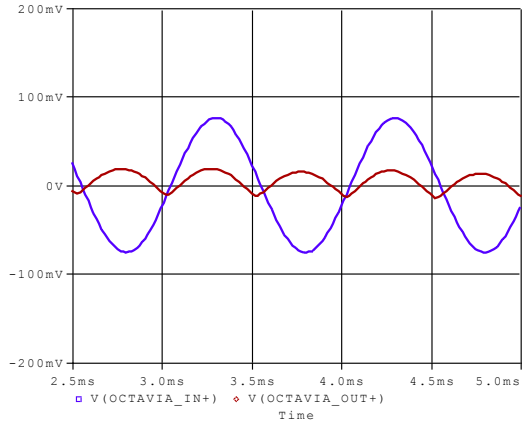


Figura 16: Forma de onda de entrada (trazo discontinuo) y salida (trazo continuo), para ganancia en *mínimo*.

En la Figura 16 se ve claramente el efecto octavador del réplica Octavia, que se produce en la etapa rectificadora de la Figura 17.

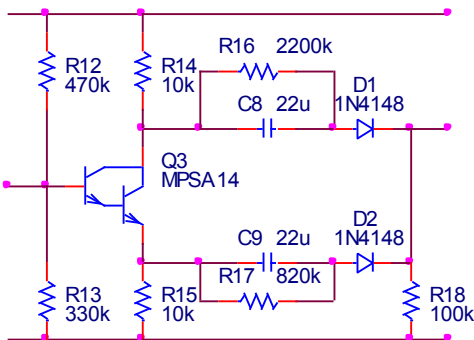


Figura 17: Etapa rectificadora del efecto replica Octavia

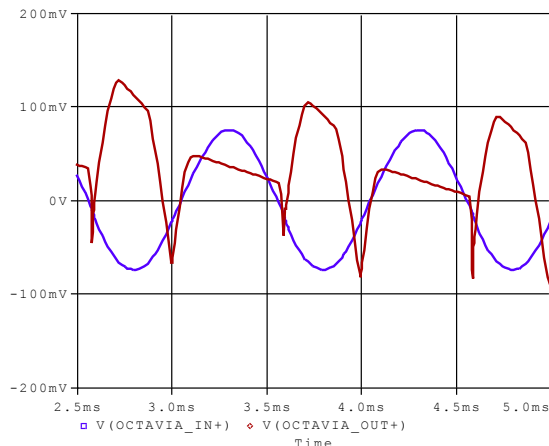


Figura 18: Forma de onda de entrada (trazo discontinuo) y salida (trazo continuo), para ganancia en *medio*.

Para un aumento del control ganancia, la distorsión producida en la primera etapa, formada por Q_1 y Q_2 en la Figura 15, comienza a ser

predominante, tal como se ve en las Figura 18 y Figura 19.

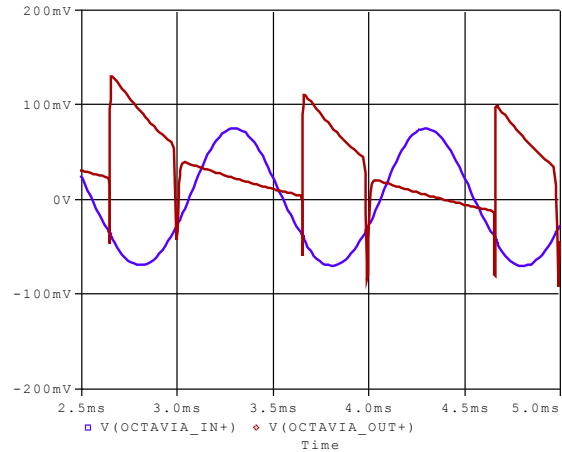


Figura 19: Forma de onda de entrada (trazo discontinuo) y salida (trazo continuo), para ganancia en *máximo*.

4.3. Análisis espectral

Para el análisis espectral de la señal de salida del efecto réplica Octavia, se utiliza una señal de entrada senoidal, inducida en la bobina del pickup, de 1 kHz y amplitud de 100 mV_p. El control de volumen de la guitarra se ajusta en *máximo* y el control de tono de la misma en *medio*. El control de volumen del pedal se ajusta en *medio*. Se analizará el efecto de la variación del control ganancia.

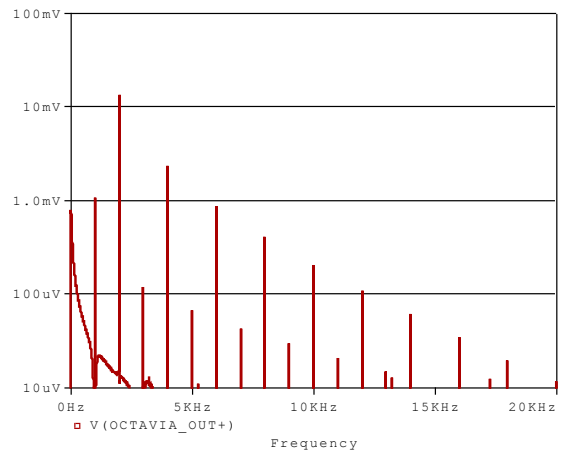


Figura 20: Espectro de la señal de salida para ganancia en *mínimo*.

En la Figura 20 se presenta el contenido espectral de la salida del efecto replica Octavia, para el control de ganancia ajustado en *mínimo*. En el mismo se puede observar que predomina la componente de 2 kHz, y las armónicas pares de la señal de entrada.

En Figura 21 y Figura 22 se observa que el aumento en el control ganancia produce un aumento del contenido armónico de la salida del efecto replica Octavia, predominando la componente de 1 kHz cuando el control de ganancia se ajusta en máximo.

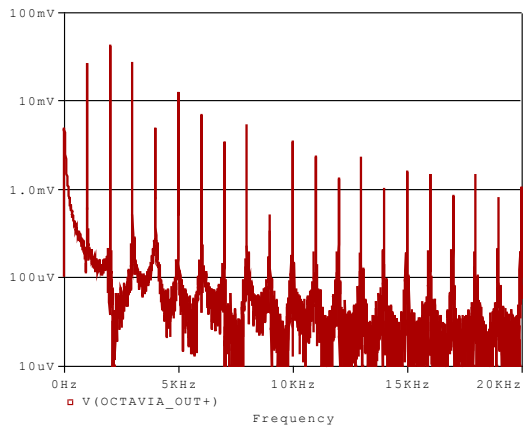


Figura 21: Espectro de la señal de salida para **GANANCIA = MEDIO**.

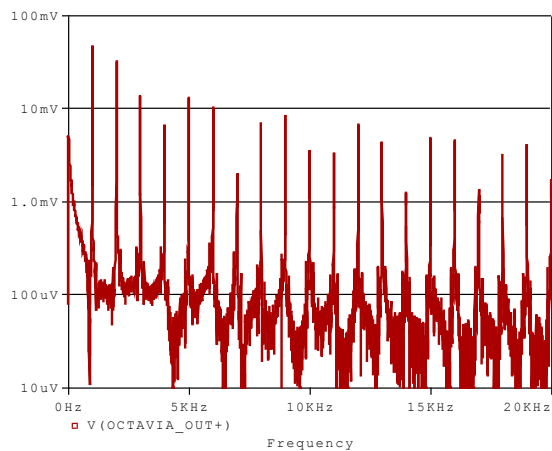


Figura 22: Espectro de la señal de salida para ganancia en *máximo*.

5. RÉPLICA BIG MUFF PI

En la Figura 23 se presenta el circuito esquemático de una réplica del efecto para guitarra eléctrica llamado BIG MUFF PI [19].

El BIG MUFF PI produce un dulce sonido, como de violín que se sostiene y perdura. Posee un control de volumen que ajusta el nivel de salida, un control de sostén que controla la cantidad de sostén y distorsión del sonido y un control de tono que provee un rango de sonidos desde agudos altos (1 kHz) hasta bajos profundos (400 Hz) [20].

En el circuito esquemático de la Figura 23 se puede observar el control *sostén*, $R20$; el control *tono*, $R19$; y un control de *volumen*, $R10$. Los potenciómetros $R20$ y $R10$ son del tipo logarítmico para aplicaciones de audio sentido horario y el potenciómetro $R19$ es del tipo lineal.

5.1. Simulación

Para simular el funcionamiento del efecto réplica BIG MUFF PI se aplicará una tensión de entrada senoidal V_{in} de 1 kHz en el pickup, cuya amplitud será de 100 mV_p y otra de 1 V_p con decaimiento exponencial, para comprobar el funcionamiento del control *sostén*.

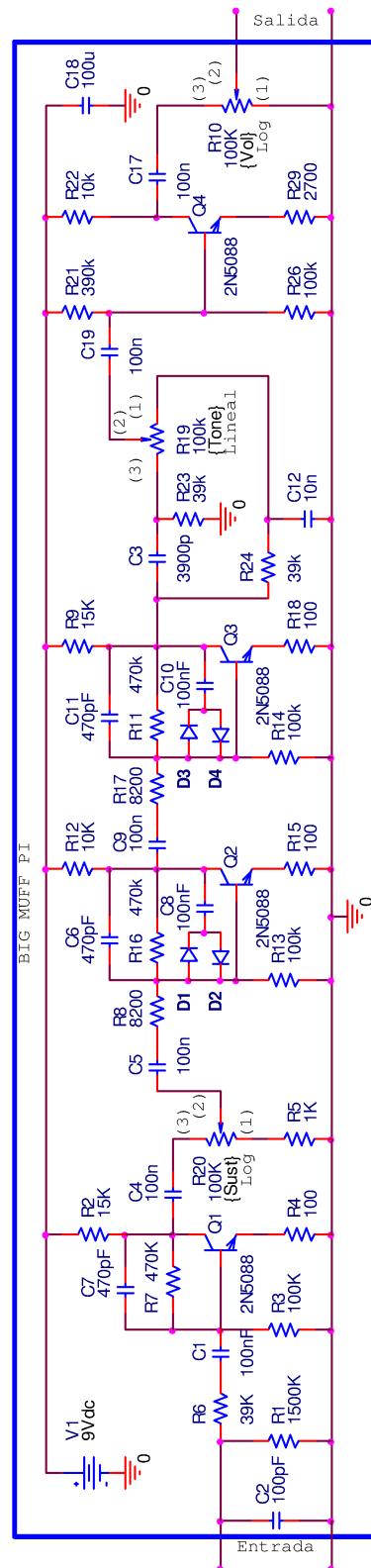


Figura 23: Circuito esquemático de una réplica del efecto BIG MUFF PI.

El control de volumen se mantendrá ajustado en *medio*. El control *sostén* se variará en tres puntos: *mínimo*, *medio* y *máximo* con el control *tono* ajustado en *medio*. Luego el control *tono* se variará entre *mínimo* y *máximo* manteniendo el control *sostén* ajustado en *medio*.

5.2. Control sostén

En las Figura 24, Figura 25 y Figura 26 se presentan las formas de onda de entrada al efecto (trazo discontinuo) y salida del mismo (trazo continuo) para una señal de entrada senoidal de 100 mV_p y frecuencia de 1 kHz. Los controles de *volumen* y *tono* se mantienen ajustados en medio, mientras que se varía el control *sostén* entre *mínimo*, *medio* y *máximo*. La forma de onda de salida se asemeja a la letra π .

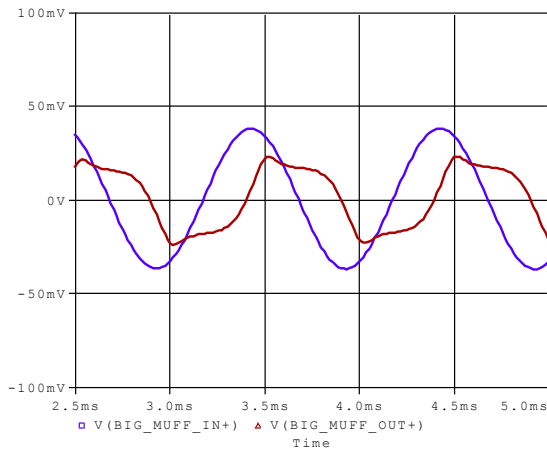


Figura 24: Forma de onda de entrada (trazo discontinuo) y salida (trazo continuo), para *sostén en mínimo*.

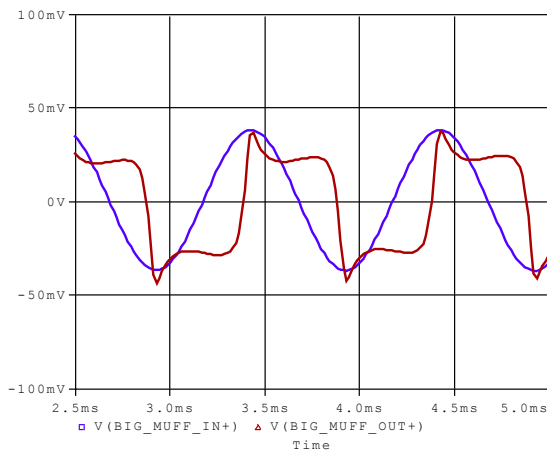


Figura 25: Forma de onda de entrada (trazo discontinuo) y salida (trazo continuo), para *sostén en medio*.

Con el arreglo de la Figura 27 se aplicará desde el pickup de la guitarra una señal senoidal de 1 kHz y amplitud 1 V_p con decaimiento exponencial para verificar el efecto de la variación del control *sostén*. El resultado puede verse en la Figura 28.

En el gráfico de la Figura 28 se presentan las envolventes superiores de tensión de entrada con decaimiento exponencial y tensión de salida, para distintos ajustes del control *sostén*. La envolvente superior de la tensión de entrada con decaimiento exponencial se ve como una línea recta con pendiente negativa debido a que el eje vertical del gráfico tiene escala logarítmica.

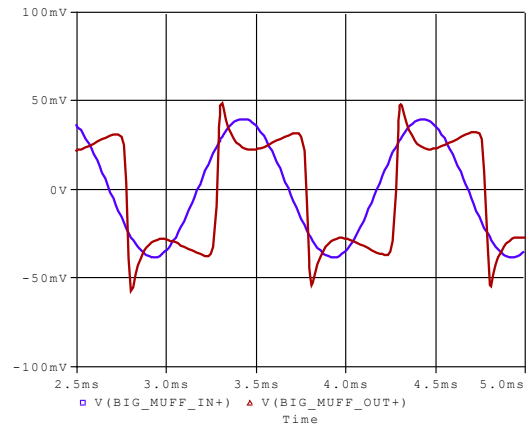


Figura 26: Forma de onda de entrada (trazo discontinuo) y salida (trazo continuo), para *sostén en máximo*.

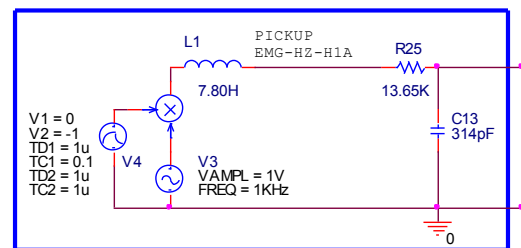


Figura 27: Arreglo en el modelo del pickup para aplicar una señal de 1 V_p con decaimiento exponencial.

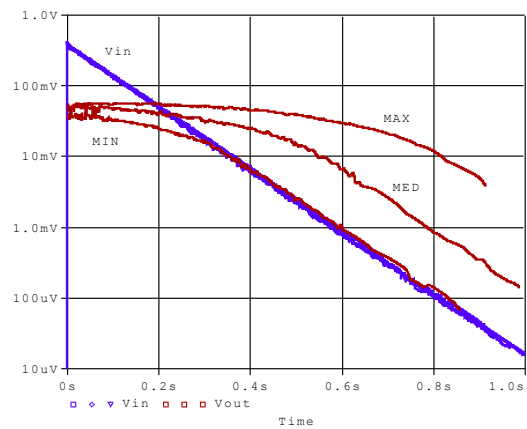


Figura 28: Envolventes superiores de tensión de entrada con decaimiento exponencial y tensión de salida, para distintos ajustes del control *sostén*.

Se observa en la Figura 28 que el control *sostén* tiene el efecto de prolongar la duración de la nota proveniente de la entrada.

5.3. Control tono

En la Figura 29 se presenta el bloque del control *tono*. En la misma puede observarse que con el potenciómetro *R19* ajustado al mínimo (lado terminal 1), el filtro pasa bajos formado por *R24* y *C12* es conecta directamente a la salida. Cuando se ajusta el potenciómetro *R19* al máximo (lado terminal 3), el cursor conecta directamente a la salida el filtro pasa altos formado por *C3* y *R23*.

En la Figura 30 y Figura 31 se presentan las formas de onda de entrada al efecto (trazo

discontinuo) y salida del mismo (trazo continuo) para una señal de entrada senoidal de 100 mV_p y frecuencia de 1 kHz. Los controles de volumen y sostén se mantienen ajustados en *medio*, mientras que se varía el control *tono* entre *mínimo* y *máximo*.

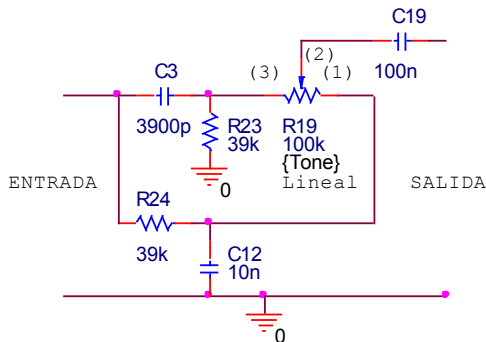


Figura 29: Control de tono. Detalle del circuito esquemático del efecto réplica BIG MUFF PI.

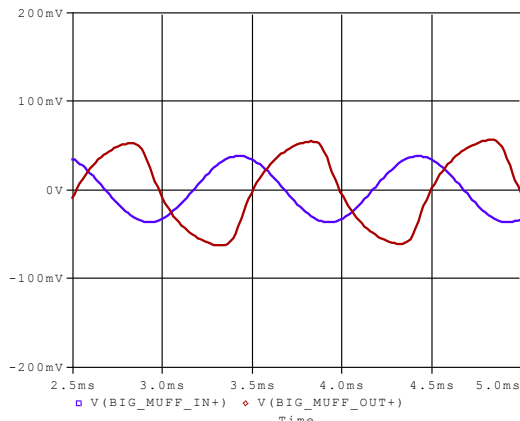


Figura 30: Forma de onda de entrada (trazo discontinuo) y salida (trazo continuo), para *tono a mínimo*.

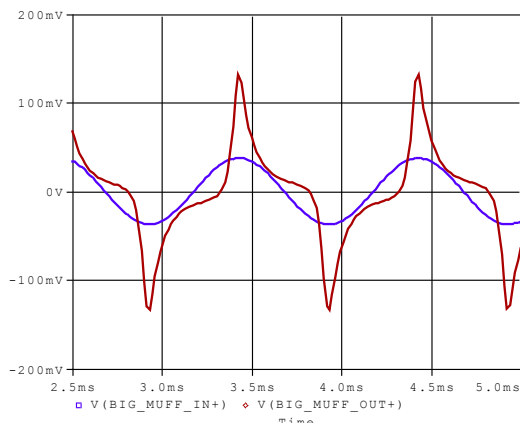


Figura 31: Forma de onda de entrada (trazo discontinuo) y salida (trazo continuo), para *tono a máximo*.

5.4. Análisis espectral

Para el análisis espectral de la señal de salida del efecto réplica BIG MUFF PI, se utiliza una señal de entrada senoidal, inducida en la bobina del pickup, de 1 kHz y amplitud de 100 mV_p. El control de *volumen* de la guitarra se ajusta en *máximo* y el control de *tono* de la misma en *medio*. El control de *volumen* del pedal se ajusta en *medio*.

Primero se analizará el efecto del control *sostén*, manteniendo el control *tono* en *medio*. Luego se analizará el efecto del control *tono*, manteniendo el control *sostén* en *medio*.

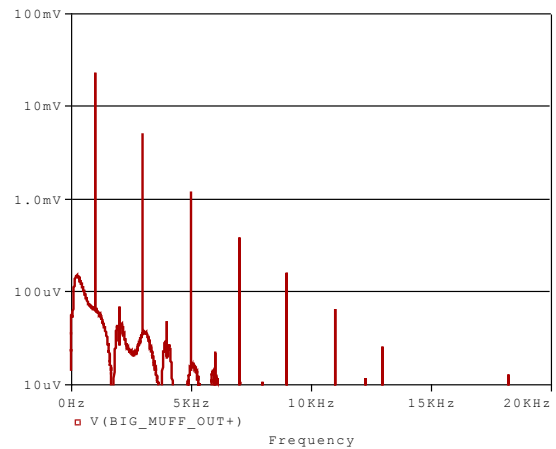


Figura 32: Espectro de la señal de salida para *sostén en mínimo* y *tono en medio*.

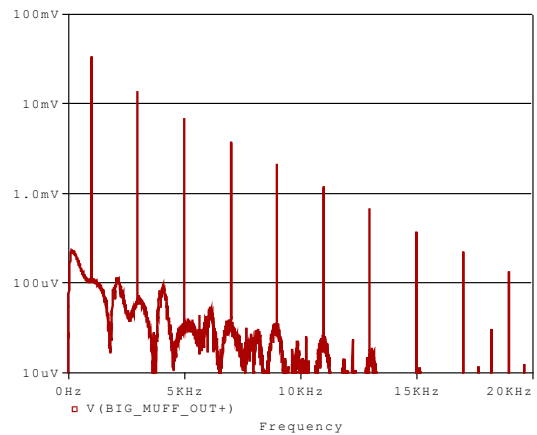


Figura 33: Espectro de la señal de salida para *sostén en medio* y *tono en medio*.

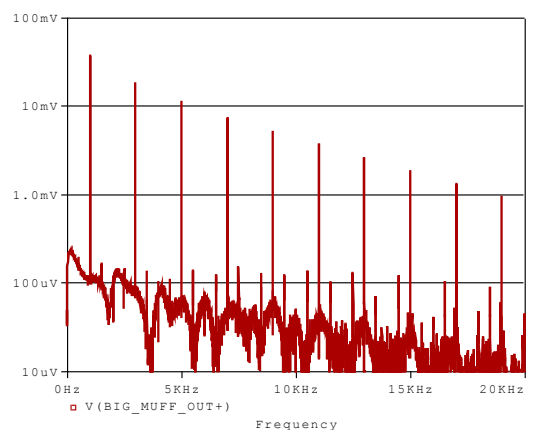


Figura 34: Espectro de la señal de salida para *sostén en máximo* y *tono en medio*.

Bajo las condiciones mencionadas, el espectro de la señal de salida del efecto réplica BIG MUFF PI se caracteriza por la presencia de armónicas impares de la señal de entrada, como puede verse en las Figura 32, Figura 33 y Figura 34, para distintos ajustes del control *sostén*.

En Figura 35 y Figura 36 se puede observar el resultado de la variación del control *tono*. Con el control *tono* ajustado en *mínimo* se produce una atenuación de las componentes de alta frecuencia, lo cual surge de la comparación de la Figura 33 y la Figura 35. Comparando la Figura 33 con la Figura 36 se observa que el control *tono* ajustado en *máximo* aparecen componentes de alta frecuencia

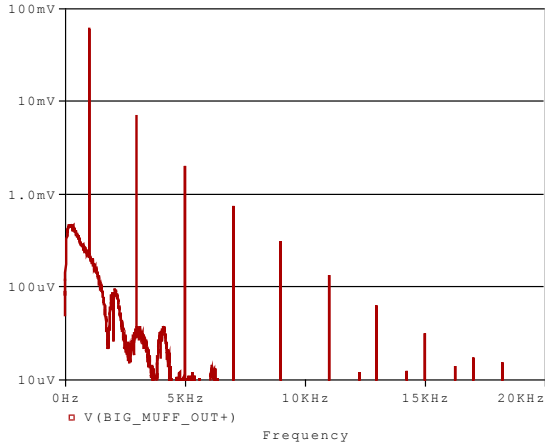


Figura 35: Espectro de la señal de salida para *sostén en medio y tono en mínimo*.

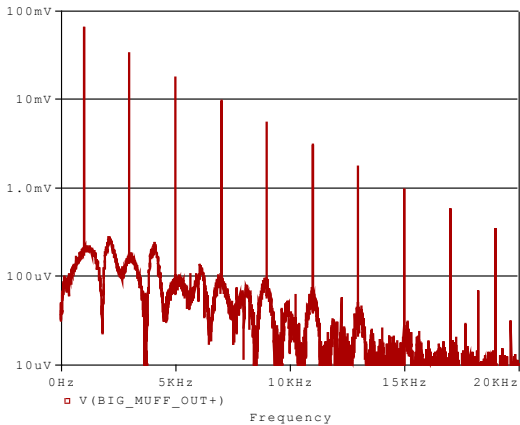


Figura 36: Espectro de la señal de salida para *sostén en medio y tono en máximo*.

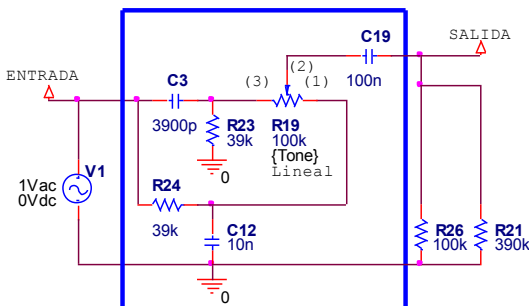


Figura 37: Detalle de la etapa del control *tono*, para analizar su respuesta en frecuencia.

En la Figura 37 se muestra el arreglo utilizado para analizar la respuesta en frecuencia del control *tono*. En el mismo se ha considerado la carga que producen en la salida *R26* y *R21*. Se desprecia la carga de la resistencia de emisor *R29*, debido a que su

valor reflejado a la base de *Q4* es $hFE+1$ veces mayor [21], y hFE entre 300 a 900 para el transistor 2N5088 [22], lo cual da una resistencia de emisor reflejada a la base de 812 a 2430 k Ω .

En las Figura 38, Figura 39 y Figura 40 se presenta la respuesta en frecuencia del bloque de la Figura 37, para el control *sostén* ajustado en *medio*, para el control *tono* ajustado en *medio*, *mínimo* y *máximo* respectivamente.

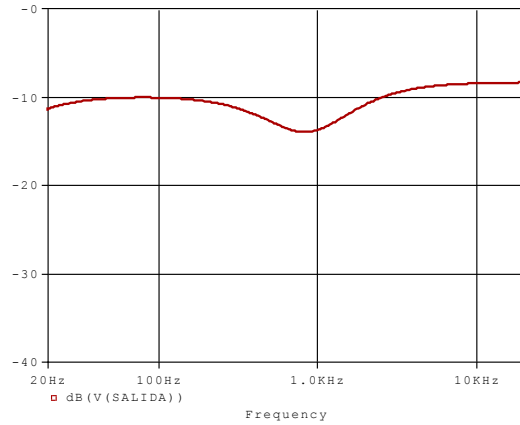


Figura 38: Respuesta en frecuencia del control *tono en medio*.

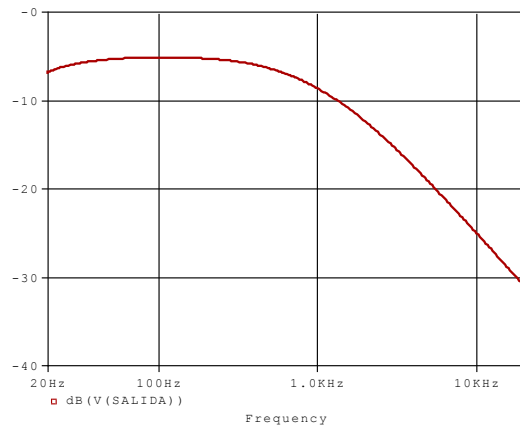


Figura 39: Respuesta en frecuencia del control *tono en mínimo*.

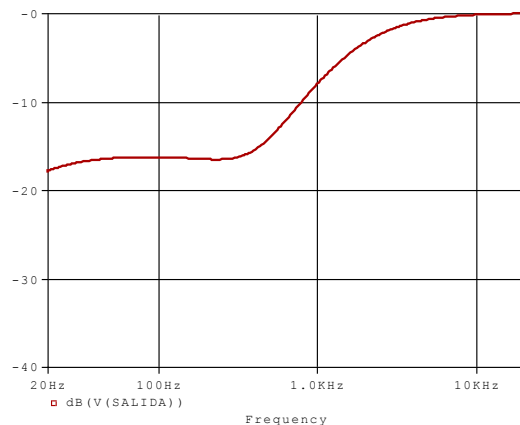


Figura 40: Respuesta en frecuencia del control *tono en máximo*.

Cuando el control *tono* está ajustado en *medio*, la respuesta en frecuencia es aproximadamente plana, como puede verse en la Figura 38. La salida está 10 dB por debajo de la entrada, aproximadamente.

En la Figura 39 puede observarse que el control *tono* en *mínimo* hace que el bloque se comporte como un filtro pasa bajos. La parte plana de la respuesta está en -5 dB. La pendiente del filtro es de -6 dB por octava.

Cuando el control *tono* se ajusta en *máximo* la respuesta en frecuencia del bloque presenta una banda pasante en alta frecuencia y una banda de atenuación en baja frecuencia, 16 dB por debajo de la banda pasante, tal como puede verse en la Figura 40.

6. CONCLUSIONES

Al simular los pedales de efectos, se verifica su perfecto funcionamiento. Pudiendo comprobar en el caso del Octavia y el Big Muff Pi el agregado de armónicos en la señal. En el caso del Octavia, armónicos que corresponden al doble de la frecuencia de la señal de entrada, siendo así, la octava de su nota musical. Con respecto al Big Muff Pi, que es un distorsionador se muestra el agregado de armónicos prevaleciendo los armónicos impares, lo cual hace a un sonido "*chillón*". En este trabajo se generó un método eficaz para lograr una comprensión del mismo y así adquirir habilidades para poder realizar modificaciones o efectuar nuevos diseños o rediseños de pedales de efectos, y así poder personalizar el sonido del músico que lo requiera. *Do It Yourself*.

7. REFERENCIAS

- [1] Pro Co Sound, Inc "*Cable Anatomy I: Understanding The Instrument Cable*", p. 3.1997.
- [2] *Basic Guitar Cable EP1600*. <http://www.dimarzio.com/cables/instrument/basic-guitar-cable>. Consultado 24 de junio de 2012.
- [3] Dailey, D. J., "*Single Coil Magnetic Pickups*". Electronics for guitarists, pp. 26-27. Springer Science+Business Media. New York, USA. 2011.
- [4] Koch, M., "*Pickups*". Building Electric Guitars, p. 31. www.BuildYourGuitar.com. Gleisdorf, Austria. 2001.
- [5] Dailey, D. J., "*Approximate Circuit Model for a Magnetic Pickup*". Electronics for guitarists, p. 32. Springer Science+Business Media. New York, USA. 2011.
- [6] Hoja de datos EMG-HZ – H1 - H4. EMG, Inc. Santa Rosa, CA, USA. 2001.
- [7] Halliday, D. Resnick, R. Krane, K. S., "*Circuito RLC de una sola malla*". Física. Volumen 2, p. 284. Compañía Editorial Continental. S. A. de C. V., México. 1994.
- [8] Koch, M., "*Passive circuits*". Building Electric Guitars, p. 46. www.BuildYourGuitar.com. Gleisdorf, Austria. 2001.
- [9] Brosnac, D., "*Volume pot operation*", "*Tone control*". Guitar electronics for musician. pp. 53-54. Amsco Publications. USA. 2009.

- [10] Dailey, D. J., "*Basic Guitar Tone Control Operation*". Electronics for guitarists, p. 41. Springer Science+Business Media. New York, USA. 2011.
- [11] "*Passive Installations*". Hoja de datos EMG-HZ – S1 – S3. EMG, Inc. Santa Rosa, CA, USA. 2002.
- [12] "*Panel controls taper*". Technical Note. Bourns, Inc. 2010.
- [13] "*PDB181-GTR Series - 17 mm Guitar Potentiometer*". Bourns, Inc. 2011.
- [14] Manual de usuario MG Series – MG15MSII, p. 6. Marshall Amplification. 2002.
- [15] "*Frequency-Domain Parts*". OrCAD PSpice® A/D - Schematics version User's Guide. Capítulo 6, p. 41. OrCAD, Inc. Beaverton, USA. Noviembre 1999.
- [16] Analogguru's Paradise. "*Octavia - Octave Fuzz*". <http://analogguru.an.ohost.de/>, consultado 15 de julio de 2012.
- [17] "*Vison Octavia*". Nota de aplicación. Royer Mayer. 2003.
- [18] "*Guitar Effects Pedals by Roger Mayer - Octavia*". <http://www.roger-mayer.co.uk/octavia.htm>. Royer Mayer. Consultado 23 de junio de 2012.
- [19] "*BMP - Violet Ram's Head Version*". <http://www.generalguitargadgets.com/projects/17-distortion/108-big-muff-pi>. Consultado 12 de agosto de 2012.
- [20] Electro-Harmonix. "*Instrucciones - Big Muff Pi*". 2008.
- [21] Schilling D. L., Belove C., "*Reflexión de impedancia en el transistor*". Circuitos electrónicos discretos e integrados. 3ra ed., p. 295. McGraw-Hill. Madrid, España. 2003.
- [22] ON Semiconductor. "*Small-Signal Characteristics*". Hoja de datos del transistor 2N5088/D, p. 2. 2007.

8. DATOS BIOGRÁFICOS

Hugo Longoni, nacido en Córdoba el 08/11/1979. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Sus intereses son: acústica de recintos, Procesamiento digital de señales, realidad acústica virtual y electroacústica. E-mail: 38566@electrónica.frc.utn.edu.ar

Bruno Turra, nacido en Rosario el 13/02/85. Estudiante de ingeniería electrónica, cursando los primeros tres años en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Rioja y actualmente en Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. E-mail: brunoturra@gmail.com