

# Índice

<b>1</b>	<b>OpAmp</b>	<b>2</b>
1.1	Introducción . . . . .	2
1.2	Circuito inversor . . . . .	2
1.2.1	Caso $A_{vol}$ infinito . . . . .	3
1.2.2	Caso $A_{vol}$ finito . . . . .	3
1.2.3	Caso $A_{vol}$ con polo dominante . . . . .	4
1.3	Circuito no inversor . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Pedal de Distorsión</b>	<b>4</b>
2.1	Introducción . . . . .	4
2.2	Consideraciones de diseño . . . . .	7
2.3	Diseño del circuito . . . . .	7
2.3.1	Características del amplificador . . . . .	8
2.3.2	Sección de alimentación . . . . .	8
2.3.3	Sección de clipping . . . . .	10
2.3.4	Sección de amplificación . . . . .	11
2.4	Simulaciones . . . . .	12
2.5	Mediciones . . . . .	12

# 1 OpAmp

## 1.1 Introducción

Se analizaron dos circuitos con Amplificadores operacionales. El primero es un circuito inversor, cuya salida es opuesta a la entrada y la amplifica o atenúa, de acuerdo a como se configure. El segundo es no inversor, igual que el primero, atenúa o amplifica la señal de entrada, pero no la invierte. El objetivo es evaluar las características lineales y no lineales de los amplificadores operacionales. También la respuesta en frecuencia y la respuesta a distintos valores de tensiones de entrada.

## 1.2 Circuito inversor

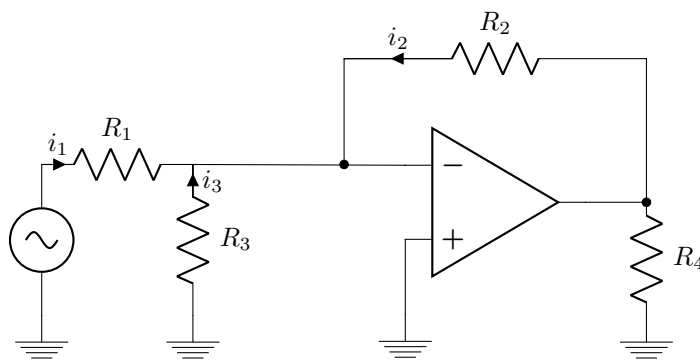


Figura 1: Esquema del circuito Inversor

Los valores de las resistencias utilizados fueron los indicados en la Tabla 1.

Caso	$R_1 = R_3$	$R_2$	$R_4$
1	$5K\Omega$	$50K\Omega$	$20K\Omega$
2	$5K\Omega$	$5K\Omega$	$20K\Omega$
3	$50K\Omega$	$5K\Omega$	$100K\Omega$

Table 1: Valores de resistencias.

algo desir  
alog

### 1.2.1 Caso $A_{vol}$ infinito

Como  $A_{vol}$  lo consideramos infinito,  $V_i = 0$  ( tierra virtual ). Por ende  $i_3 = 0$  e  $i_2 = -i_1$ , Ademas no circula corriente por la entrada del amplificador operacional.

$$V_{out} = -\frac{i_1}{R_2} \quad (1)$$

$$i_1 = \frac{V_{in}}{R_1} \quad (2)$$

Reemplazando 2 en 1 y operando algebraicamente se obtiene:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

### 1.2.2 Caso $A_{vol}$ finito

Como  $A_{vol}$  lo consideramos finito,  $V^+ \neq V^-$ . Se considera que no circula corriente por los terminales de entrada del amplificador operacional, debido a la alta impedancia que hay entre ellos.

$$V_{out} = -V_i \cdot A_{vol} \quad (4)$$

$$i_1 = \frac{V_{in} - V_i}{R_1} \quad (5)$$

$$i_2 = \frac{V_{out} - V_i}{R_2} \quad (6)$$

$$i_3 = \frac{-V_i}{R_3} \quad (7)$$

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad (8)$$

Reemplazando 4,5,6,7 en 8, se obtiene:

$$\frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_{out}}{R_2} + \frac{V_{out}}{A_{vol}} \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = 0$$

Operando algebraicamente, se obtiene:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{A_{vol} \cdot R_2 \cdot R_3}{A_{vol} \cdot R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2} \quad (9)$$

Observacion

$$\lim_{A_{vol} \rightarrow \infty} (9) = -\frac{R_2}{R_1}$$

La expresion se redujo a la ganancia del circuito, con el amplificador operacional ideal (3).

### 1.2.3 Caso $A_{vol}$ con polo dominante

$$A_{vol} = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{W_p}} \quad (10)$$

Reemplazando (10) en (9) se obtiene:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{\frac{A_0}{1 + \frac{s}{W_p}} \cdot R_2 \cdot R_3}{\frac{A_0}{1 + \frac{s}{W_p}} \cdot R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2} \quad (11)$$

Llamando  $K = R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{A_0 \cdot R_2 \cdot R_3}{A_0 \cdot R_1 \cdot R_3 + K} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s}{\frac{W_p \cdot (A_0 \cdot R_1 \cdot R_3 + K)}{K}}} \quad (12)$$

Despejando se obtiene la frecuencia de corte del circuito:

$$f_P = \left( \frac{A_0 \cdot R_2 \cdot R_3 + K}{K} \right) \cdot \frac{W_P}{2 \cdot \pi} \quad (13)$$

*Observacion:* la ecuacion (12) posee la misma forma que la funcion transferencia de un pasabajos.

El amplificador operacional utilizado fue el LM324 de ON Semiconductor, de la hoja de datos se obtuvieron las siguientes características del integrado:

$A_0$	$f_P$
$10 \cdot 10^4$	$12Hz$

Table 2: Características del LM324

Donde  $A_0$  es la ganancia del amplificador operacional a lazo abierto y

## 1.3 Circuito no inversor

## 2 Pedal de Distorsión

### 2.1 Introducción

Se busca implementar un pedal de distorsión para guitarra eléctrica. La distorsión a implementar será de tipo clipping, utilizando diodos para efectuar tal distorsión. Las señales de audio se manejan con

niveles de tensión, que representan directamente la onda de entrada, en nuestro caso proveniente de una guitarra eléctrica. Es luego de la conversión de esta onda sonora a una eléctrica que se realizan los cambios de tensión que darán los efectos distorsionantes deseados al sonido. La señal eléctrica será nuevamente convertida a audio y será la salida de cualquier dispositivo reproductor de audio de elección que caiga dentro de las consideraciones que se enumerarán en la subsección "Consideraciones de diseño".

Malu acá podríamos tirar el link a la subsección mencionada que no se cómo ponerlo. Cuando leas esto please enseñame también.

A modo de delimitar un marco teórico y notacional a partir del cual se presentarán con mayor claridad y precisión los efectos del pedal, se procede a definir el concepto de distorsión a través de la ausencia de la misma:

- Un sistema con entrada  $x(t)$  y salida  $y(t)$  no distorsiona cuando  $y(t) = A x(t+\tau)$ , con  $A$  y  $\tau$  dos constantes. En caso de que esta relación entre entrada y salida no se cumpla, se dice que el sistema en cuestión distorsiona.

De la definición anterior se desprende que un amplificador operacional ideal cuya entrada  $V_d = V^+ - V^-$  no supere los valores de saturación característicos y que tenga comportamiento lineal en amplitud y en fase podrá ser clasificado como un amplificador puro y por lo tanto comprenderá un sistema no distorsionante.

La distorsión de tipo clipping consiste en el establecimiento de un valor de tensión "techo" o límite, el cual la señal de entrada no podrá sobrepasar en su forma original (sufrirá distorsión). En general, la distorsión será en amplitud, de modo que la salida del sistema  $y(t)$  tenderá a valores de tensión cercanos a los del valor techo en aquellos casos en los que la entrada  $x(t)$  supere dicho valor. Cabe destacar que en el caso del pedal implementado, el valor techo utilizado será una cota del módulo de la señal de entrada tal que si  $T$  es el valor techo,  $|x(t)| \leq T$ . Este tipo de clipping se llama clipping simétrico. De esta forma, se puede diferenciar entre dos tipos de clipping, a saber:

1. **Hard-Clipping:** El valor techo del clipping no podrá ser excedido por la señal de salida, y en caso de que la señal de entrada sea superior al valor techo, la señal de salida adoptará el valor constante del techo. Matemáticamente:

$$y(t) = \begin{cases} T & \text{si } x(t) \geq T \\ x(t) & \text{si } -T \leq x \leq T \\ -T & \text{si } x(t) \leq -T \end{cases} \quad (14)$$

De esta definición se muestra el efecto de clipping sobre una senoidal:

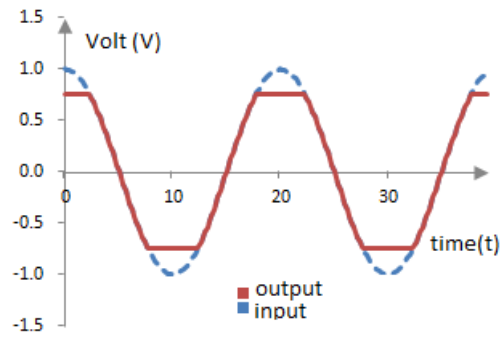


Figura 2: Ejemplo de hard-clipping

2. **Soft-Clipping:** El valor techo del clipping podrá ser levemente excedido de manera tal que la transición entre el valor que adoptaría la señal de entrada sin distorsión y el que deberá adoptar la señal de salida sea más suave. Matemáticamente:

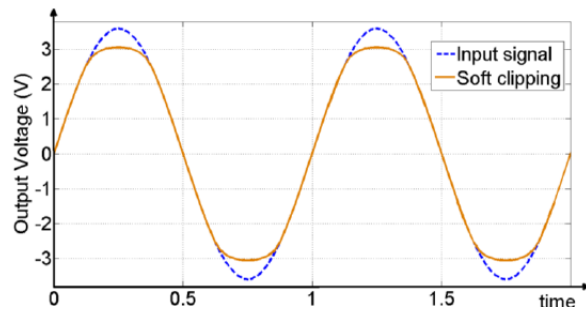


Figura 3: Ejemplo de soft-clipping

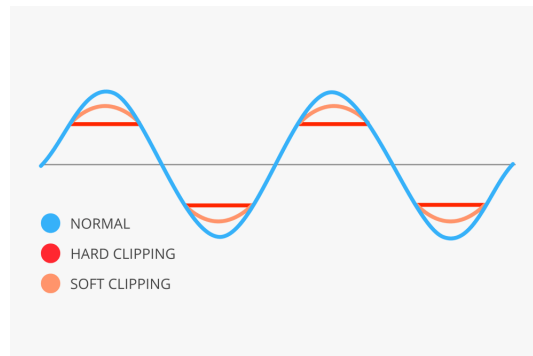


Figura 4: Soft-clipping vs. Hard-clipping

## 2.2 Consideraciones de diseño

Antes de comenzar con el diseño, se definen las asumpciones iniciales sobre las zcuales se comenzará con el diseño del circuito. Estas asumpciones son elegidas de forma tal que se pueda abarcar un gran espectro de las guitarras y aplificadores comerciales.

- La entrada será una señal de audio (20Hz a 20KHz) de amplitud menor o igual a 300mV pico a pico (dentro de esta categoria caen la mayoría de los micrófonos de guitarra eléctrica). La entrada en principio tendrá offset nulo.
- La salida debe ser adecuada para un equipo de audio, por lo que tampoco tendrá tensión de offset continuo.
- La fuente de alimentación debe ser de 9V no partida. De usar un AC ADAPTER, se debe considerar que suele tener un ripple no deseado producto de la conversión no ideal de alterna a continua.
- La salida se conectará a un amplificador de guitarra con impedancia de entrada  $Z_{in}$  mayor o igual a  $200K\Omega$ . Esto es el caso en la mayoría de los amplificadores de guitarra, como por ejemplo la serie Mustang GT de Fender y la serie Cube de Roland, los cuales tienen  $Z_{in} = 1M\Omega$ , o el Fender Rumble para bajo, con  $Z_{in} = 202K\Omega$
- La señal de entrada provendrá de una guitarra eléctrica con impedancia de salida menor a quinchimil millones de ohms.

Buscar Zout guitarras

Zin: hay amplis con Zin mucho mas baja, tipo 44K. Nos falta hacer las cuentas que onda en ese caso, pero creo que nos jode

## 2.3 Diseño del circuito

El circuito con el cual se impondrá la distorsión, con los valores todavía sin definir, es:

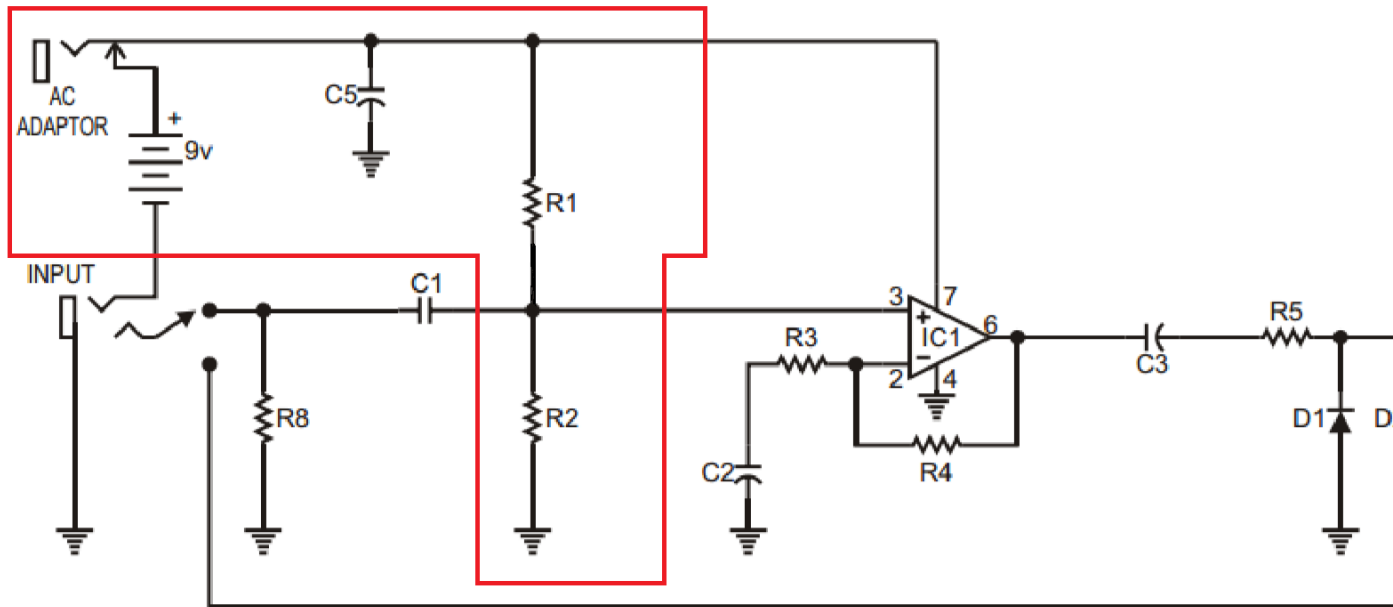


Figura 5: Circuito de distorsión de clipping a implementar para el pedal de guitarra.

Este circuito cuenta con tres secciones notables a saber:

1. Alimentación.
2. Amplificación.
3. Clipping.

La numeración de las secciones se corresponde con la imagen anterior. Cada una puede analizarse independientemente tomando los recaudos necesarios.

### 2.3.1 Características del amplificador

### 2.3.2 Sección de alimentación

Con el objetivo de minimizar tanto el espacio ocupado por el pedal como la cantidad de baterías requeridas por el usuario para utilizarlo, se busca que el amplificador operacional (opamp) requerido para amplificar la señal de entrada sea alimentado únicamente por una batería en el extremo  $V_{cc+}$ , mientras que el otro extremo de alimentación esté conectado directamente a tierra, de esta manera se "ahorra" una batería, que en este caso en particular será de 9 volts por el tipo de señal con el que se trata.



El problema de este tipo de alimentación es que si la señal de entrada oscila alrededor del 0V, el opamp saturará cuando se rodee estos valores, por lo que la señal será completamente distorsionada de una manera no deseada. Como solución, se plantea montar a la señal de entrada sobre una continua de 4.5 V, por lo que si la señal original cumple con las consideraciones de diseño mencionadas en la sección anterior, el opamp no se saturará si se lograra evitar amplificar la continua sobre la cual se la monta.

Es así como para la alimentación se propone el siguiente sub-circuito:

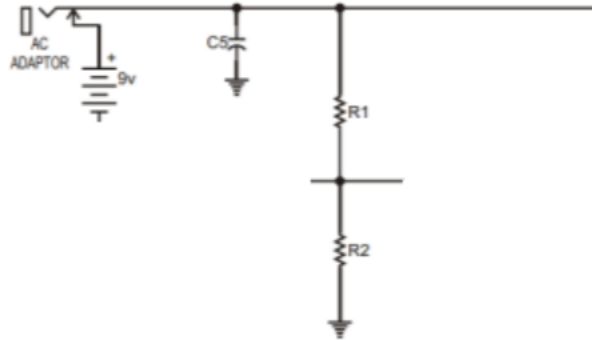


Figura 6: Esquemático sección de alimentación

En el caso en que  $R_1 = R_2$ , las dos resistencias crean un divisor resistivo con el cual se obtienen nodos 9V, 4.5V, y 0V. Esto funciona correctamente siempre que la corriente que circula por ambas resistencias no sea significativamente distinta, ya que en caso contrario la tensión que debería ser de 4.5V va a tomar otro valor. La función del capacitor es eliminar cualquier ruido o ripple presente en la tensión de entrada. El ripple es producto del método de funcionamiento de los transformadores de alterna a continua (anexo). Una fuente de ruido es

Otra causa de ripple para la fuente de continua se dará en aquellos casos en los que el opamp demande corriente abruptamente, en cuyo caso, dado que la batería no es ideal, no podrá mantener la tensión completamente constante. Este problema se soluciona con el agregado del capacitor  $C_5$ , que acumulará carga podrá aportar tensión cuando aparezca el riple, manteniendo la tensión continua. Es claro ver que la impedancia del camino a tierra que produce  $C_5$  disminuye cuanto más alta sea la frecuencia, por lo que fluctuaciones más grandes en tensión irán directamente a tierra en vez de influir en el resto del circuito.

Dado que los cambios en la demanda de corriente por parte del opamp pueden ser significativamente abruptos, se busca un capacitor que pueda acumular una carga acorde (alta capacitancia, en nuestro caso  $1\mu F$ ).

explicar un poquito mejor esto de las corrientes porque no es a prueba de dummies (no aprobó la prueba "Tommy entender")

describir mínimamente ac->dc y como genera ripple y poner en el anexo, y poner una fuente de ruido si amerita.

### 2.3.3 Sección de clipping

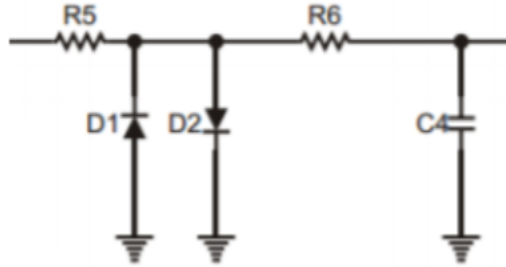


Figura 7: Esquemático sección de clipping

Esta sección del circuito distorsiona la señal recortando abruptamente cualquier pico que se exceda del rango  $\pm 0.6V$  (si no se excede, no se modifica). Este proceso, explicado en la introducción, se conoce como clipping (ver figura 8). El efecto de clipping genera un aumento en los armónicos de alta frecuencia ya que la señal tiende a la forma de una cuadrada en sus picos más altos. Como se mencionó en la introducción, se decidió usar clipping simétrico al elegir acotar el módulo de la señal de entrada por  $T = 0.6V$ .

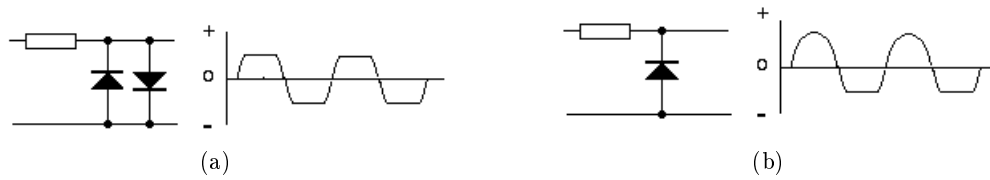


Figura 8: Dos tipos de clipping con diodos: simétrico (8a) y asimétrico (8b)

### 2.3.4 Sección de amplificación

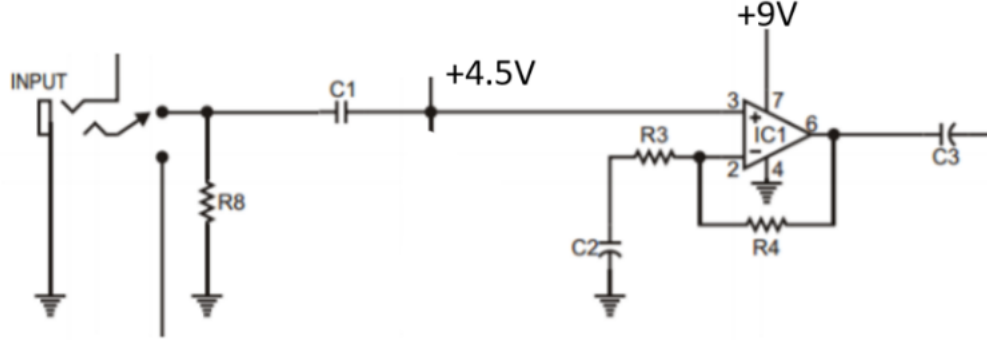


Figura 9: Esquemático sección de amplificación

Dado que la alimentación no es partida, se alimenta el amplificador con  $V_{cc}^- = 0V$  y  $V_{cc}^+ = 9V$ , lo cual genera la necesidad de montar la señal de audio sobre una continua de 4.5V. Para lograr esto, se conecta la entrada a 4.5V, poniendo el capacitor  $C_1$  para que solo pase la tensión alterna de la señal y no la continua que se le suma. Dado que se quiere que este capacitor afecte lo minimo posible a cualquier frecuencia que no sea continua, se eligió un valor alto de capacidad:  $1\mu F$ . En el peor de los casos, tiene un impedancia no despreciable ( $800\Omega$  a  $20Hz$ ), pero para XXXXXXXXXXXXXXX

Redaccion

Para no amplificar la componente continua agregada de la señal, se utiliza el capacitor  $C_2$ . Se puede ver el efecto analizando la función transferencia del amplificador:

$$H_{amp}(s) = \frac{V_B}{V_A} = 1 + \frac{R_4}{R_3 + R_9 + X_{C_2}} \quad (15)$$

en donde se consideró ideal al amplificador. Para continua,  $X_{C_2} = \frac{1}{sC_2} = \infty \Rightarrow |H_{amp}(0)| = 1$ , por lo tanto no se amplifica. Para alterna, idealmente  $X_{C_2} \ll R_3 + R_9$ , entonces:

$$|H_{amp}(s)| \approx 1 + \frac{R_4}{R_3 + R_9} \quad (16)$$

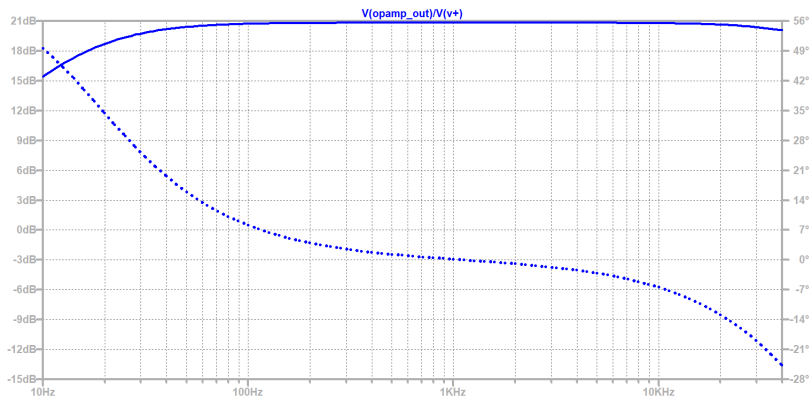
donde se ve que la transferencia queda determinada por  $R_4$ ,  $R_3$  y  $R_9$  y es independiente de la frecuencia entrante (ver figura 10).

Sin embargo, este resultado viene de asumir un modelo de amplificador ideal en el cual no se considera el slew rate (SR), o maxima tasa de cambio de tensión de salida. Se considera el que amplificador tiene un comportamiento lineal si

$$SR \geq G \cdot A \cdot 2\pi \cdot f$$

siendo  $G$  la ganancia (en este caso  $1 + \frac{R_4}{R_3 + R_9}$  si despreciamos los efectos de  $C_2$ ),  $A$  la amplitud de la señal, y  $f$  su frecuencia. Para considerar el peor caso, basta tomar  $G = 1 + \frac{R_4}{R_3} = 11$  y  $A = 0.3V$  (ver sección

escribir deducción transferencia y mandar al anexo. esta bien considerarlo ideal en todos los casos en los que trabajamos? analizar BWP



hacer lindo en matlab la superposicion de lo calculado, lo simulado, y lo medido

Figura 10: Transferencia del amplificador

2.2), y sabiendo que  $SR = 0.5V/\mu s$  se puede obtener la máxima frecuencia en la cual el comportamiento se considera lineal:

$$5 \cdot 10^5 V/s \geq 11 \cdot 0.3V \cdot 2\pi f$$

$$\Rightarrow 24.1 KHz \geq f$$

El SR no afecta el desempeño del pedal como instrumento ya que sus efectos se notan solo en frecuencias fuera del rango audible.

$R_4$  y  $R_3$  controlan la máxima ganancia del amplificador. La función del potenciómetro  $R_9$  es permitirle al usuario tener control sobre el nivel de distorsión variando la ganancia, pero sin permitirle aumentarla tanto que el amplificador sature.

agregar referencia a donde expliquemos que mas amplificación implica mas distorsión

## 2.4 Simulaciones

## 2.5 Mediciones