

DEPARTAMENTO ELECTRONICA DE LA FACULTAD REGIONAL MENDOZA
UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Facultad Regional Mendoza

Departamento de Electrónica

Cátedra: Electrónica Aplicada II

**“Mezclador de audio con 4 canales,
amplificador de potencia de 3W”**

Alumno: Exequiel Juan Magni Genre

N.º Legajo: 46229

Docente titular: Ing. Moyano, Roberto

AÑO 2025

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Índice

1	Definición del problema.....	4
1.1	Solución propuesta	4
1.2	Justificación	4
1.3	Objetivos	4
1.4	Alcances y limitaciones	4
1.5	Diagrama de bloques.....	5
2	Pre-Diseño.....	7
2.1	Parámetros y consideraciones técnicas	7
2.1.1	Fuente de alimentación	7
2.1.2	Selección de componentes electrónicos	7
2.1.3	Valores de tensión	8
2.1.4	Ancho de banda:.....	8
2.1.5	Amplificador de potencia.....	8
2.1.6	Detector de picos.....	8
3	Amplificador de Potencia.....	8
3.1	Especificaciones.....	8
3.2	Esquemático	9
3.3	Observaciones	9
3.4	Cálculo	9
3.4.1	Potencia en la carga.....	9
3.4.2	Ánálisis de Corriente Alterna	10
3.5	Simulación	11
3.6	Resumen de la etapa.....	12
4	Mezclador de Audio (Mixer).....	13
4.1	Introducción	13
4.2	Sumador “MASTER”	13
4.2.1	Especificaciones.....	13
4.2.2	Esquemático	13
4.2.3	Observaciones	14
4.2.4	Cálculo del amplificador	14
4.2.5	Simulación	15
4.2.6	Resumen de la etapa.....	17
4.3	Preamplificador de Micrófono (MIC).....	18

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

4.3.1	Especificaciones	18
4.3.2	Esquemático	18
4.3.3	Observaciones	19
4.3.4	Cálculo	20
4.3.5	Respuesta en frecuencia	21
4.3.6	Simulación	22
4.3.7	Resumen de la etapa.....	23
4.4	Preamplificador de Instrumento (Inst.) + Line + AUX.....	23
4.4.1	Especificaciones	23
4.4.2	Esquemático	24
4.4.3	Observaciones	24
4.4.4	Cálculo	24
4.4.5	Respuesta en frecuencia	25
4.4.6	Simulación	26
4.4.7	Resumen de la etapa.....	28
4.5	Control de Tonos	28
4.5.1	Especificaciones	29
4.5.2	Esquemático	29
4.5.3	Respuesta en frecuencia	29
4.5.4	Simulación	30
4.5.5	Resumen de la etapa.....	32
4.6	Atenuador (Fader)	33
4.6.1	Especificaciones	33
4.6.2	Esquemático	33
4.6.3	Observaciones	34
4.6.4	Cálculo	34
4.6.5	Respuesta en frecuencia	34
4.6.6	Simulación	34
4.6.7	Resumen de la etapa.....	35
4.7	Adicionales.....	36
4.7.1	Detector de picos.....	36
4.7.2	Amplificador para auriculares.....	38
4.7.3	VU Meter	39
5	Fuente de alimentación regulada.....	41

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

5.1	Rectificación y Filtrado.....	41
5.1.1	Especificaciones.....	41
5.1.2	Esquemático	41
5.1.3	Cálculo	41
5.1.4	Simulación	43
5.1.5	Resumen de la etapa.....	43
5.2	Regulador	44
5.2.1	Especificaciones.....	44
5.2.2	Esquemático	44
5.2.3	Cálculo	44
5.2.4	Simulación	45
5.2.5	Resumen de la etapa.....	46
6	Bibliografía y Referencias	47

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

1 Definición del problema

Como parte de los requerimientos de aprobación y/o regularización de la materia Electrónica aplicada II se plantea la necesidad de construir un sistema que plasme/aplique los conocimientos adquiridos en dicha materia. Dicho trabajo deberá ser presentado funcionando (simulado) y con su respectivo informe.

1.1 Solución propuesta

Construcción de un mezclador de 4 canales e integrarlo con un amplificador de audio. La potencia máxima de diseño para el amplificador de potencia es de 3 Watts valor eficaz.

1.2 Justificación

El proyecto abarca gran parte del contenido y conceptos del programa analítico de la materia. Por lo que resulta una buena opción como tema de trabajo final.

Temas incluidos:

- ✓ Tema 1: Amplificadores Realimentados
- ✓ Tema 2 y 3: Amplificadores Operacionales
- ✓ Tema 5: Respuesta en frecuencia
- ✓ Tema 6: Amplificadores de Potencia
- ✓ Tema 7: Fuentes de alimentación regulada

1.3 Objetivos

- Integrar y aplicar los conceptos vistos en la materia y en otras también.

1.4 Alcances y limitaciones

El proyecto consistirá en un mezclador de audio y un amplificador de potencia a su salida, ya que un amplificador operacional no sería capaz de suministrar al parlante la corriente necesaria para la excitación de la bobina.

El mezclador deberá ser capaz de manejar entradas de micrófono balanceados, instrumentos musicales y entradas de audio auxiliares (computadoras, celulares, reproductores, etc.). Para este informe y simulación, se realizará el diseño de un canal completo, es decir, con entradas de micrófono, instrumentos, auxiliares y de línea, pero este proyecto puede ser modificado para que cada canal sea más específico a la entrada que se desea.

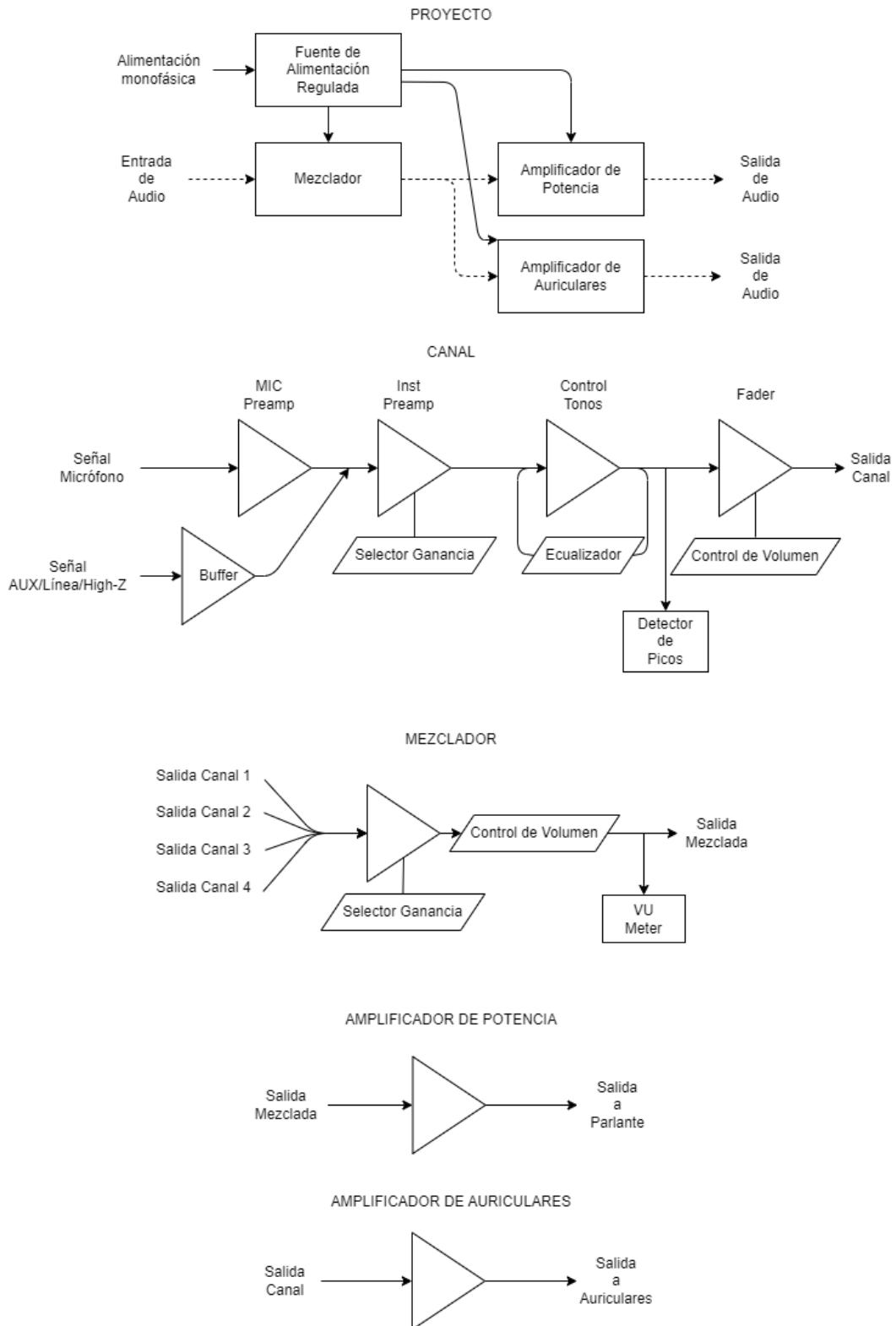
El amplificador de potencia desarrolla una potencia máxima eficaz de 3W (Watts) sobre un parlante equivalente a una carga de 8Ω (Ohm).

También se debe considerar agregar un amplificador para auriculares cuando el operador desea escuchar la señal de audio de cada canal.

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

1.5 Diagrama de bloques

Figura 1.5.1: Diagrama de bloques general



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Figura 1.5.2: Diagrama de bloques fuente de alimentación

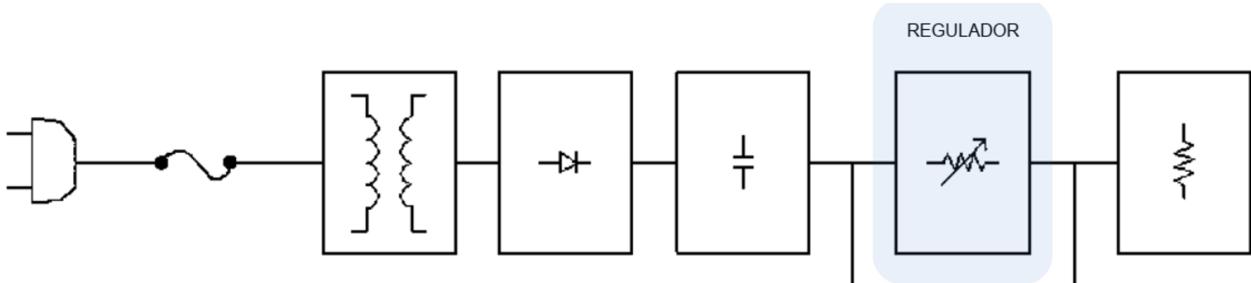


Figura 1.5.3: Diagrama de bloques en KiCad

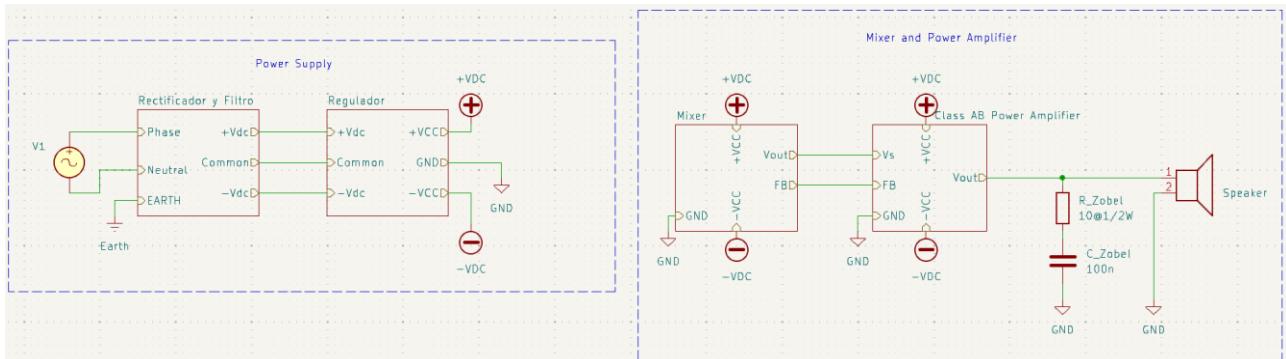
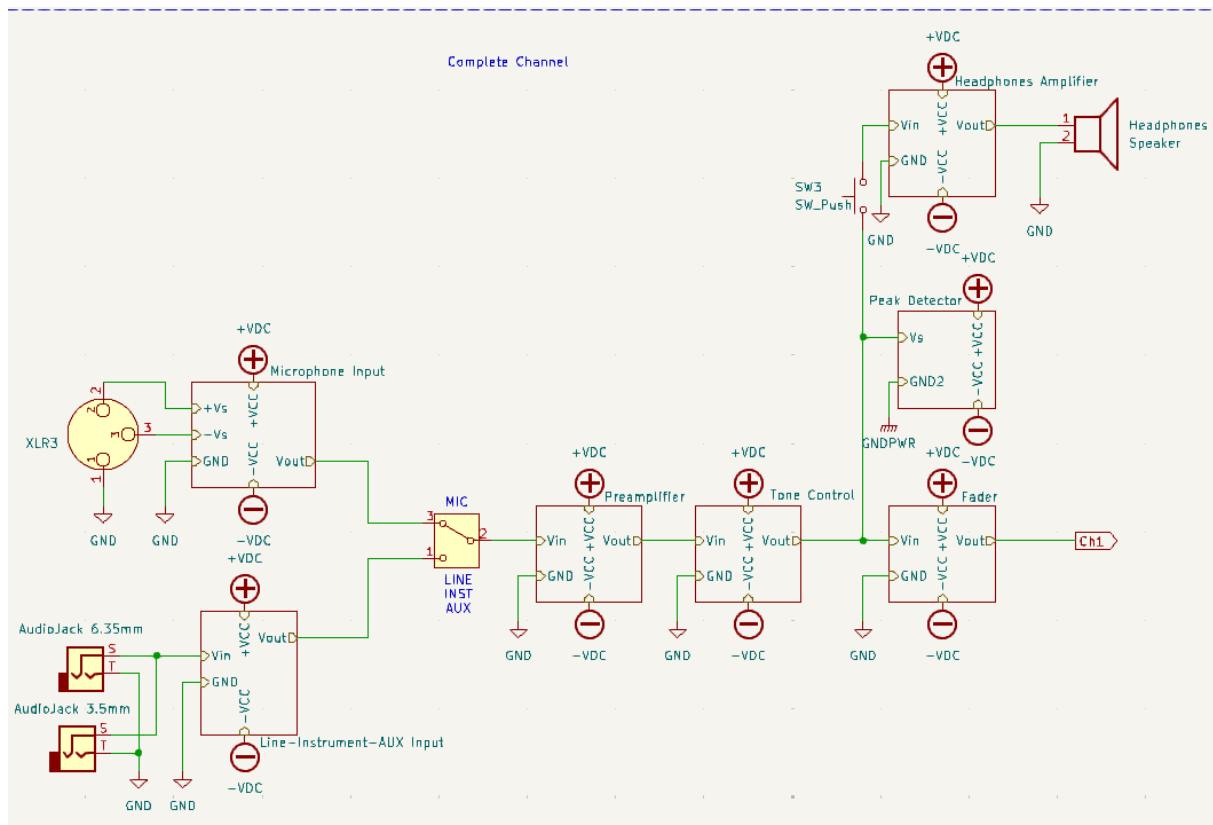
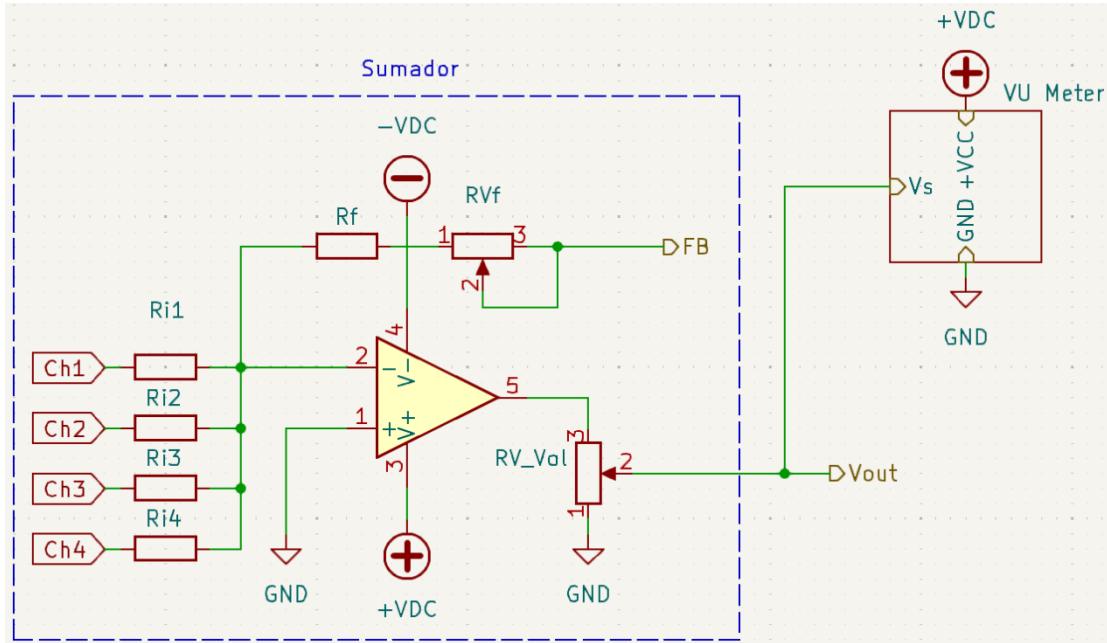


Figura 1.5.4: Diagrama de bloques de un canal completo



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Figura 1.5.5: Diagrama de bloques etapa sumadora



2 Pre-Diseño

2.1 Parámetros y consideraciones técnicas

En el desarrollo del proyecto, se realizó una investigación en la construcción de consolas mezcladoras comerciales. De allí, se logró plantear un circuito que cumpla con expectativas y estándares comerciales.

2.1.1 Fuente de alimentación

La fuente que alimenta a los amplificadores no debería ser conmutada, ya que estas introducen ruido en las señales de audio. Por este motivo, se debe optar por una fuente regulada no conmutada.

2.1.2 Selección de componentes electrónicos

Al momento de la selección de los componentes electrónicos, se debe buscar que estos no introduzcan ruido al sistema, especialmente en la elección de los amplificadores operacionales, los cuales en sus fichas técnicas suelen indicar el valor de SNR (Relación Señal-Ruido) o indican el nivel de ruido respecto a la señal de entrada.

También se evita en el diseño utilizar resistencias de valores elevados, ya que las mismas introducen ruido térmico al sistema.

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

2.1.3 Valores de tensión

Existen valores estandarizados de tensión, definidos como niveles:

- Nivel de línea: suele ser de -10 dBV (nominal) o +4 dBu (profesional)
- Nivel de micrófonos: es la más débil, entre -60 dBu y -20 dBu
- Nivel de instrumentos: entre -20 dBu y -10 dBu
- Nivel de señal AUX (auxiliar): entre -3.3 dBu y 1.15 dBu

Recordamos:

$$dBV \text{ (DecibeliosVolts)} = 20 \cdot \log_{10} V$$

$$dBu \text{ (DecibeliosUnidaddeUnidad)} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{V}{0.775} \right)$$

2.1.4 Ancho de banda:

Debemos respetar el ancho de banda de las señales de audio, el cuál consta de una frecuencia mínima de 20 Hz hasta una frecuencia máxima de 20 kHz (espectro audible), aunque en la práctica, el rango suele ser aproximadamente desde los 50 Hz hasta los 18 kHz. Aun así, buscaremos exigencia en respetar el espectro audible.

2.1.5 Amplificador de potencia

Utilizaremos un amplificador de audio clase AB. Si bien la potencia planteada es menor comparada a algunas consolas mezcladoras comerciales (comúnmente 100W), plantearemos un diseño cuyo alcance pueda ser expandido con simples modificaciones, pero respetando la topología.

2.1.6 Detector de picos

Para el detector de picos se optó por un diseño de detección bipolar, ya que las señales de audio pueden ser muy asimétricas en amplitud y de este modo podremos detectar picos positivos y negativos.

3 Amplificador de Potencia

3.1 Especificaciones

El amplificador de potencia tiene como objetivo proveer un valor de corriente capaz de excitar el bobinado del parlante, por lo tanto, podemos considerarlo un amplificador de corriente. Es por esto, que se utiliza una configuración de Colector Común o Seguidor de Emisor.

Deberemos cumplir con los siguientes requerimientos:

$$\text{Potencia: } P_L = 3W$$

$$\text{Carga: } R_L = 8\Omega$$

Condiciones de máxima transferencia de energía:

$$Z_i \ll R_S$$

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

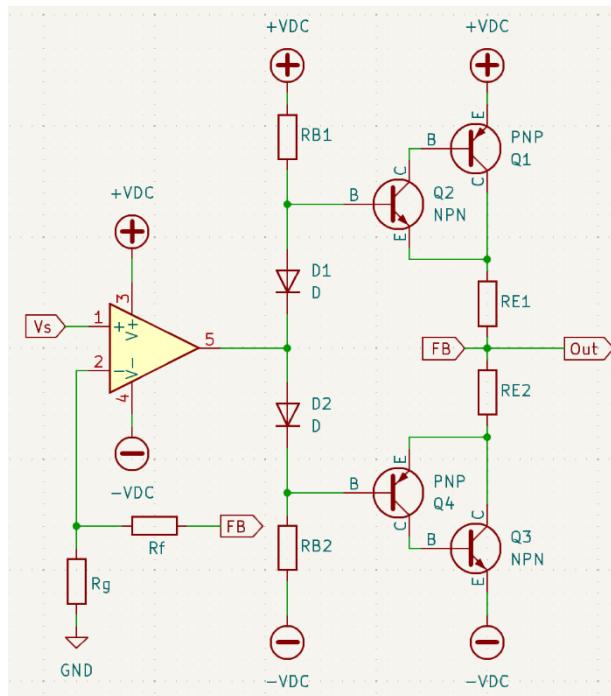
$$Z_o = R_L$$

Los amplificadores Clase AB (Push-Pull) son uno de los diseños de amplificador de audio más preferidos debido a su combinación de eficiencia y alta calidad ya que tienen baja distorsión cruzada y alta linealidad.

3.2 Esquemático

Se plantea como solución el siguiente circuito:

Figura 3.2.1: Amplificador de audio clase AB



3.3 Observaciones

Utilizamos dos pares Sziklai (o pares complementarios) para reducir el valor de corriente de polarización y de señal extraída desde el amplificador operacional.

Añadimos dos resistencias (RE1 y RE2) para evitar un embalamiento térmico.

Unimos la red de realimentación del amplificador operacional a la salida del amplificador de potencia para compensar las alinealidades y las caídas de tensión irregulares en los diodos y junturas, así aseguramos un nivel nulo de continua en la salida.

3.4 Cálculo

3.4.1 Potencia en la carga

Primero determinamos los valores de tensión y corriente en la carga.

$$P_L = \frac{V_L^2}{R_L} = I_{L_max}^2 \cdot R = 3W \quad (1)$$

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

$$V_{L_max} \approx 4.9V \approx 6.93V_p \quad (2)$$

$$I_{L_max} \approx 0.61A \approx 0.87A_p \quad (3)$$

Consideramos que $V_{cc} \geq V_{L_max}$, debido a que V_{cc} es el máximo nivel de desviación en la carga y, por lo tanto, podríamos seleccionar una fuente de 5V. Sin embargo, como utilizaremos la misma fuente tanto para el amplificador de potencia, como para los amplificadores, se decide una tensión de fuente de $V_{cc} = \pm 15V$.

3.4.2 Análisis de Corriente Alterna

Para el diseño de esta etapa recordamos que, para la configuración de seguidor de emisor, la ganancia de tensión es unitaria $A_v \approx 1$, por lo tanto, la tensión de la carga será responsabilidad de la etapa anterior.

- Q1: **TIP32C**
 - $h_{FE_{min}} = 25$
 - Valores máximos:
 - $V_{CE} = 40V$
 - $I_C = 3A$
- Q2: **2N3904**
 - $h_{FE_{min}} = 100$
 - Valores máximos:
 - $V_{CE} = 40V$
 - $I_C = 200mA$
- Q3: **TIP31C**
 - $h_{FE_{min}} = 25$
 - Valores máximos:
 - $V_{CE} = 40V$
 - $I_C = 3A$
- Q4: **2N3906**
 - $h_{FE_{min}} = 100$
 - Valores máximos:
 - $V_{CE} = 40V$
 - $I_C = 200mA$

Cuando el par Sziklai superior esté polarizado, el inferior estará en reposo. Por lo que podemos partir de esa suposición para comenzar el análisis. Desde la malla de salida, podemos decir que la corriente de carga será la corriente de emisor del par Sziklai,

$$I_{L_p} = I_{E1} \approx 0.87A \quad (4)$$

Además, podemos conocer la corriente de base, a partir del valor de ganancia de corriente del transistor.

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

$$\beta_{Sziklai} = \beta_{Q1} \cdot \beta_{Q2} + \beta_{Q1} \quad (5)$$

Si tomamos los valores mínimos que figuran en las hojas de datos:

$$\beta_{Sziklai} = 25 * 100 + 25 = 2525 \quad (6)$$

Por lo tanto,

$$I_{B1} = \frac{I_{E1}}{\beta_{Sziklai}} = \frac{0.87A}{2525} \approx 344.55\mu A \quad (7)$$

Si asumimos que, por los diodos, habrá una circulación de $1mA$:

$$I_{Bias} = I_{B1} + I_D = 344.55\mu A + 1mA \approx 1.34mA \quad (8)$$

Debemos ahora calcular la tensión en la base:

$$V_D = V_{Lp} - V_{RE1} - V_{Sziklai} \quad (9)$$

$$V_D = 6.93V - (0.87A \cdot 0.33\Omega) - 0.7V = 5.94V \quad (10)$$

Ahora podemos calcular el valor de R_{B1} como:

$$R_{B1} = \frac{V_{CC} - V_D}{I_{Bias}} \quad (11)$$

$$R_{B1} = \frac{15V - 5.94V}{1.34mA} \approx 6761\Omega \rightarrow 6.8k\Omega \quad (12)$$

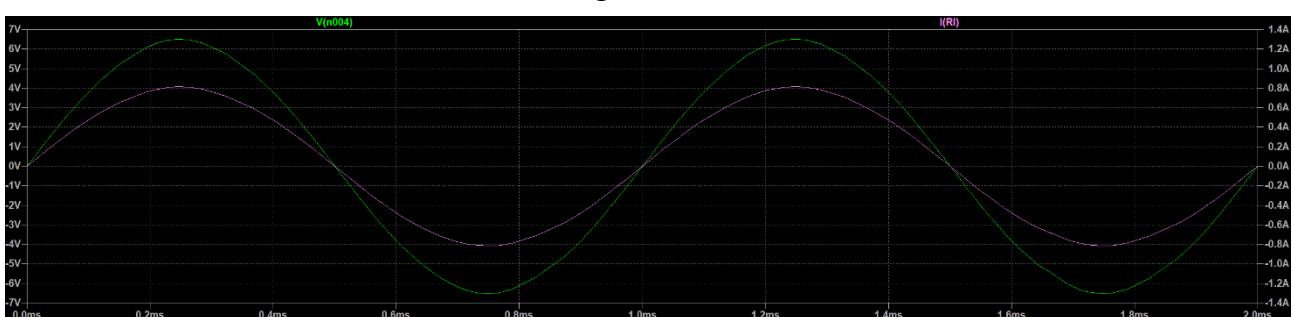
De manera análoga para el par Sziklai inferior:

$$R_{B2} = R_{B1} = 6.8k\Omega \quad (13)$$

3.5 Simulación

Simularemos únicamente la etapa sin realimentación con el sumador, ya que este aún no está diseñado. Luego, se realizará la simulación correspondiente con ambas etapas.

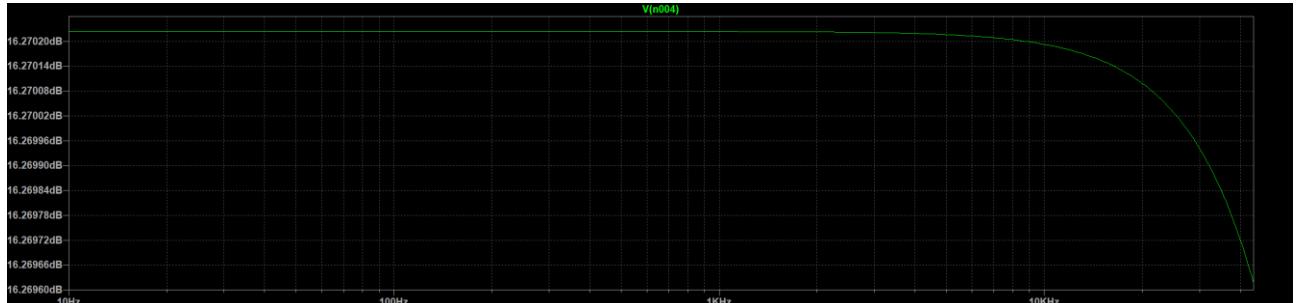
Figura 3.5.1



$V_s = 6.93V$ pico y la salida es $V_o = 6.51V$ pico. Implica $Av=0.939$, que habrá que compensar adelante. $I_o = 813.73mA$ pico, cuando I_L es $870mA$

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Figura 3.5.2: Respuesta en frecuencia



Como no hemos incorporado capacitores, la respuesta de la etapa tiene un ancho de banda más amplio del establecido.

3.6 Resumen de la etapa

Figura 3.6.1: Esquemático resultante

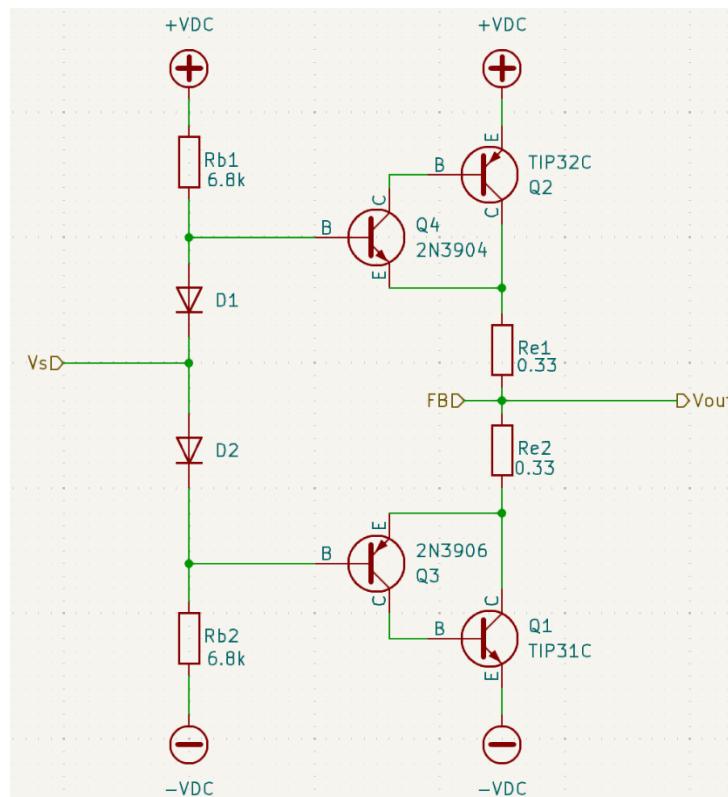


Tabla 1: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R_{e1}, R_{e2}	0.33Ω	
R_{b1}, R_{b2}	$6.8 \text{ k}\Omega$	(12)

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

4 Mezclador de Audio (Mixer)

4.1 Introducción

Para el diseño del mezclador, se determina de primera instancia qué niveles tienen las señales que han de ser mezcladas, y cuánta ganancia es requerida por canal y a nivel general. Siendo que se utilizarán principalmente entradas de micrófono y de instrumentos, se decide como primera medida, adaptar el nivel de micrófono al nivel de instrumento. De esta forma, se comparte el resto del canal para ambas señales. El objetivo entonces será poder llegar a un nivel de línea luego de la etapa preamplificadora.

Si quisieramos agregar al canal, entradas auxiliares (AUX) o de línea, podemos hacerlo antes del preamplificador de instrumento.

4.2 Sumador “MASTER”

4.2.1 Especificaciones

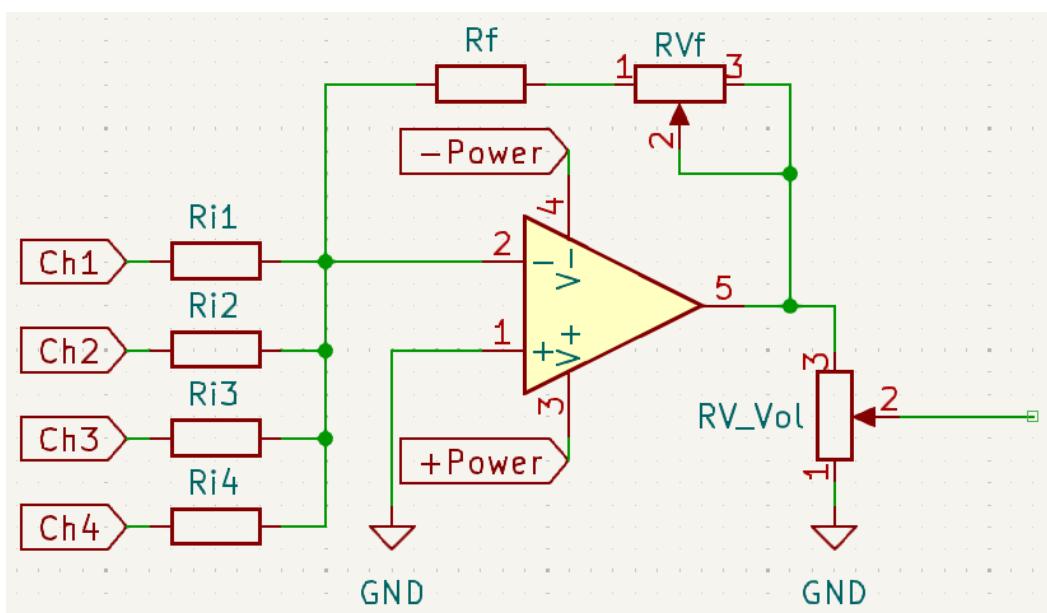
El sumador es la última etapa del mezclador antes del amplificador de potencia. Sabiendo que el amplificador de potencia no tiene ganancia de tensión, implica que la tensión máxima que queremos desarrollar nosotros en la carga, será la tensión máxima de salida del sumador:

$$v_o = V_L = 4V$$

Si bien veremos que, en la etapa del atenuador (“fader”), se le puede dar un “boost” a la señal, tomaremos como tensión máxima de entrada los 1.228Vrms equivalentes a la tensión de línea.

4.2.2 Esquemático

Figura 4.2.1: Etapa sumador



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

4.2.3 Observaciones

El diseño del sumador es bastante sencillo. El añadido de un potenciómetro en la red de realimentación es el control de ganancia del todos los canales, y el potenciómetro a la salida antes de ingresar a la etapa de potencia controla el volumen general. Una lógica similar será aplicada en cada canal.

Si bien el diseño indica 4 canales, es expansible a la cantidad que se requieran.

4.2.4 Cálculo del amplificador

De las especificaciones, sabemos que

$$V_{L_{RMS}} = 4.9V \quad (14)$$

$$|G| = \frac{v_o}{v_i} = \frac{4.9V_{RMS}}{1.228V_{RMS}} \approx 3.99 \rightarrow |G_{dB}| \approx 12dB \quad (15)$$

Debemos recordar que la etapa amplificadora no posee una ganancia de tensión unitaria, como lo vimos en las simulaciones, por lo tanto, podríamos corregir el valor de ganancia deseado en un 6% más.

$$|G| + |G_{corrección}| \approx 4.15 \rightarrow |G_{dB}| \approx 12.36dB \quad (16)$$

Por pedido del usuario, se agrega la posibilidad de atenuar la señal, por lo que el rango de ganancia propuesto es:

$$-10dB \leq |G_{dB}| \leq 12.36 dB \rightarrow 0.316 \leq |G_{dB}| \leq 4.15 \quad (17)$$

Debido a que las impedancias de salida de los canales no serán muy altas, podemos establecer resistencias de entrada de un valor relativamente bajo. Esto a su vez, limita el valor del potenciómetro, el cual no podrá ser un valor elevado.

Sabiendo que:

$$v_o = -(R_f + R_{Vf})\left(\frac{V_{ch1}}{R_{i1}} + \frac{V_{ch2}}{R_{i2}} + \frac{V_{ch3}}{R_{i3}} + \frac{V_{ch4}}{R_{i4}}\right) \quad (18)$$

Al determinar $R_{i1} = R_{i2} = R_{i3} = R_{i4} = R_i$, podemos determinar la ganancia para un canal como:

$$G = -\frac{R_f + R_{Vf}}{R_i} \quad (19)$$

Tenemos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} -\frac{R_f + R_{Vf}}{R_i} = -34.15 \\ -\frac{R_f}{R_i} = -0.316 \end{cases} \quad (20)$$

Reescribimos:

$$\begin{cases} R_f - 4.15R_i = -R_{Vf} \\ R_f - 0.316R_i = 0 \end{cases} \quad (21)$$

Elegimos un valor conveniente para R_{Vf} :

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

$$R_{V_f} = 10k\Omega \quad (22)$$

Ahora tenemos un sistema de 2 ecuaciones y 2 incógnitas. Resolviendo:

$$R_f \approx 824\Omega \rightarrow 820\Omega \quad (23)$$

$$R_i \approx 2608\Omega \rightarrow 2.2k\Omega \quad (24)$$

El rango de ganancia con los valores de resistencias comerciales será de:

$$0.303 \leq |G| \leq 3.33 \quad (25)$$

$$-10.37dB \leq G_{dB} \leq 10.45dB \quad (26)$$

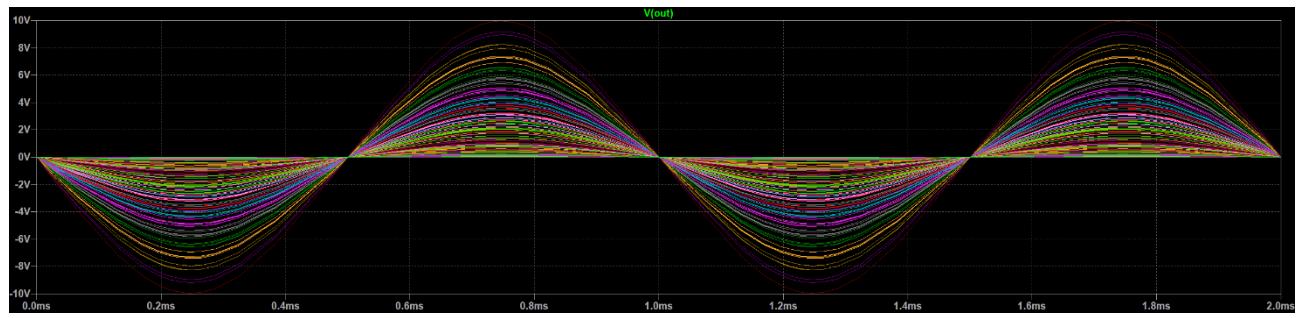
Finalmente, seleccionamos el potenciómetro deslizable para el control de volumen:

$$R_{V_{vol}} = 10k\Omega \quad (27)$$

4.2.5 Simulación

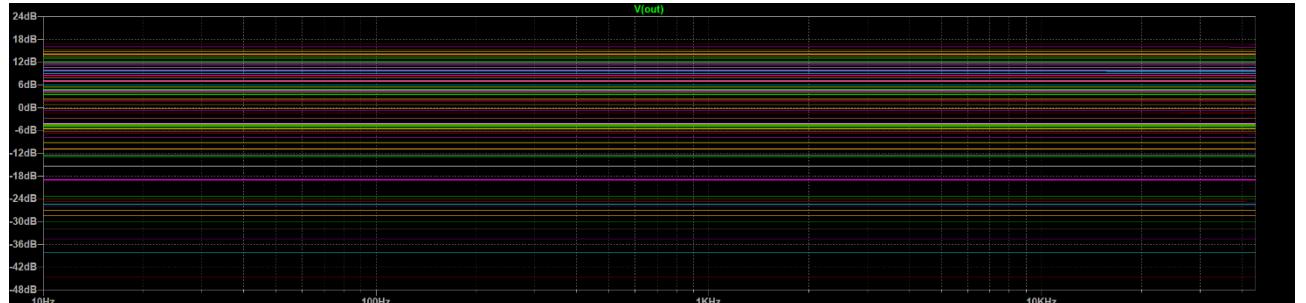
Para la primera simulación, observamos todos los valores posibles con las variaciones de R_{V_f} y $R_{V_{vol}}$, con una señal de entrada en un canal de $1.228V_{RMS}$ y silenciando el resto de los canales ($v = 0V$).

Figura 4.2.2: Posibles valores con variaciones de ambos potenciómetros



Valor mínimo 615.80 mV, Valor máximo 9.95 V

Figura 4.2.3: Respuesta en frecuencia con variaciones de ambos potenciómetros

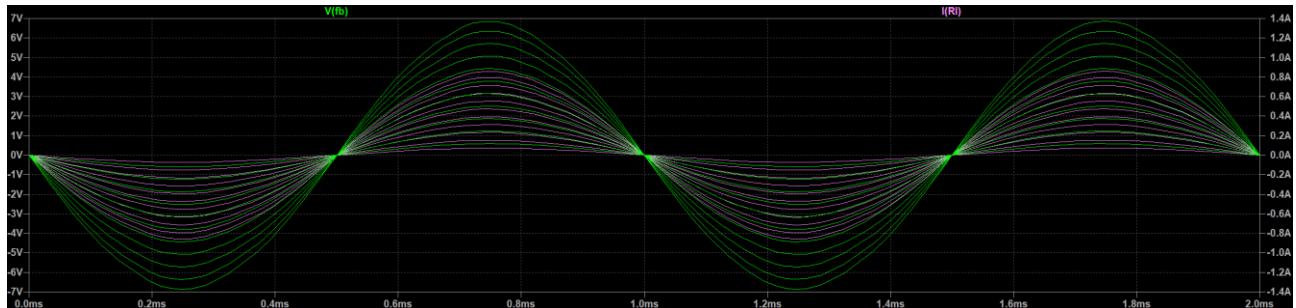


Vemos también que la respuesta en frecuencia es plana para todas las posibilidades.

También simulamos esta etapa con el amplificador de potencia.

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Figura 4.2.4: Potencia desarrollada sobre la carga



$V_{Lmin} = 588.35 \text{ mV}$, $V_{Lmax} = 6.85 \text{ V}$, $I_{Lmin} = 73.54 \text{ mA}$, $I_{Lmax} = 856.57 \text{ mA}$

Confirmamos que los transistores son capaces de disipar la potencia desarrollada en ellos.

Figura 4.2.5: Corriente en resistencias RE

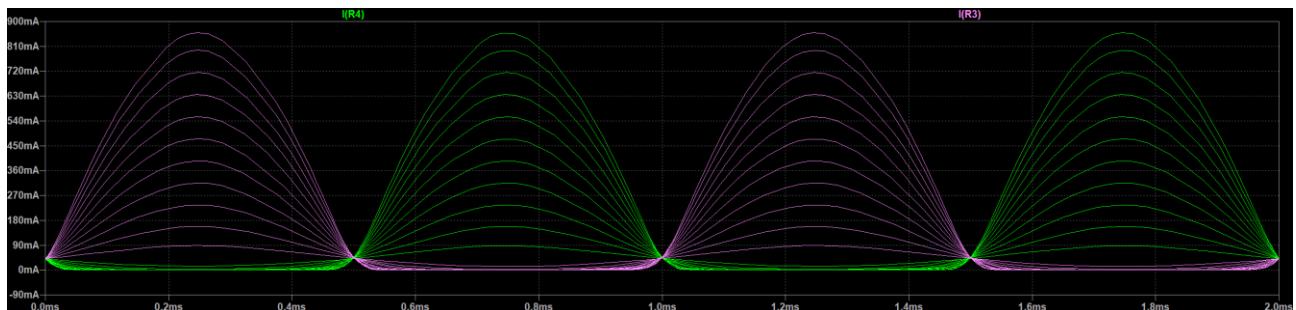


Figura 4.2.6: Tensiones sobre RE referenciadas a 15V

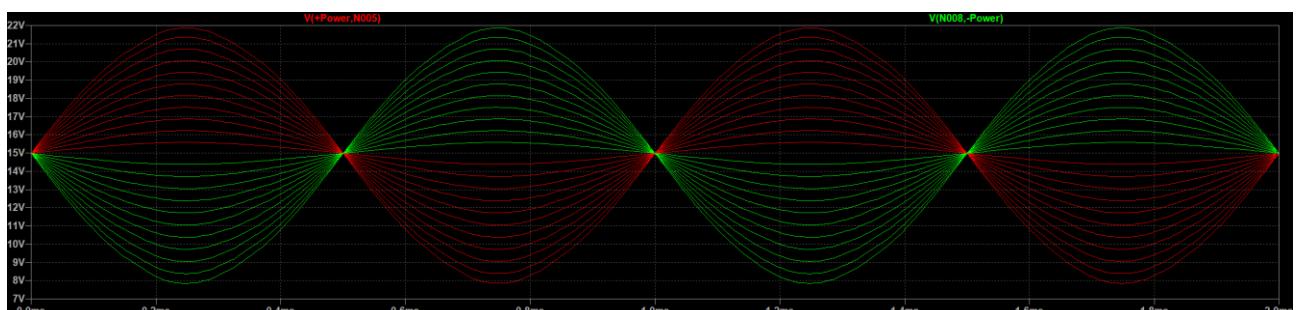
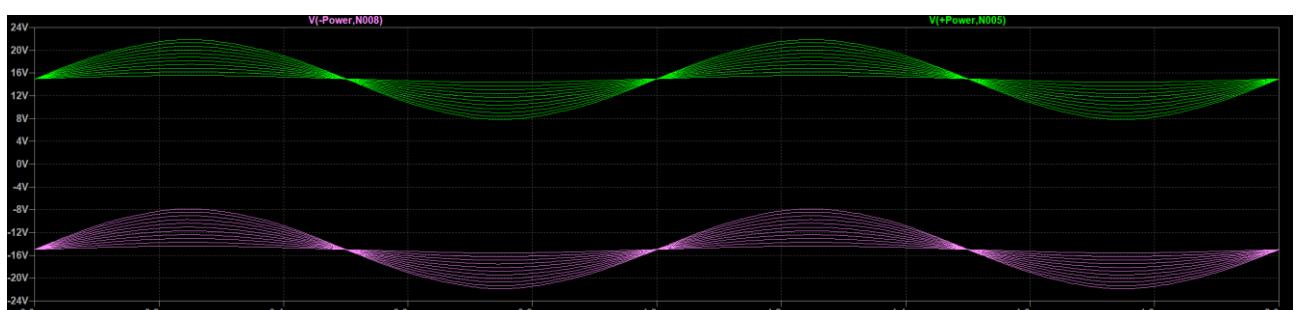


Figura 4.2.7: Tensiones sobre RE referenciadas a GND

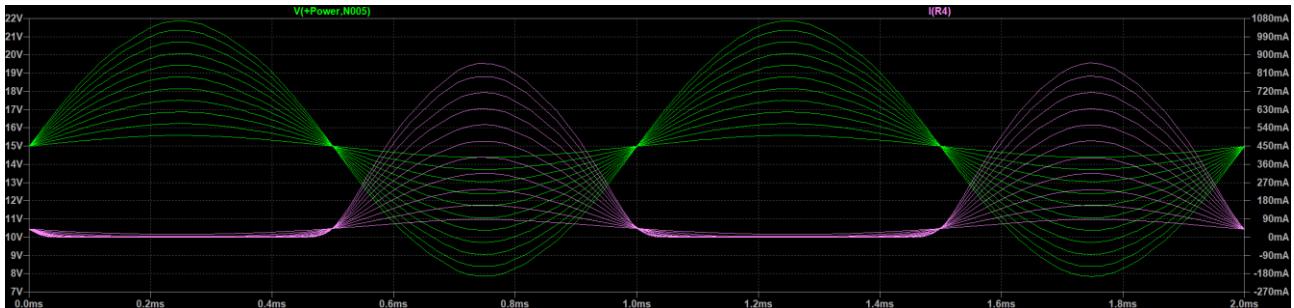


La mayor tensión VCE es aproximadamente 21.87

Vemos las curvas de tensión y corriente para el par superior

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Figura 4.2.8: Curvas tensión y corriente sobre RE1



Para la curva con mayor potencia, tenemos lo siguiente:

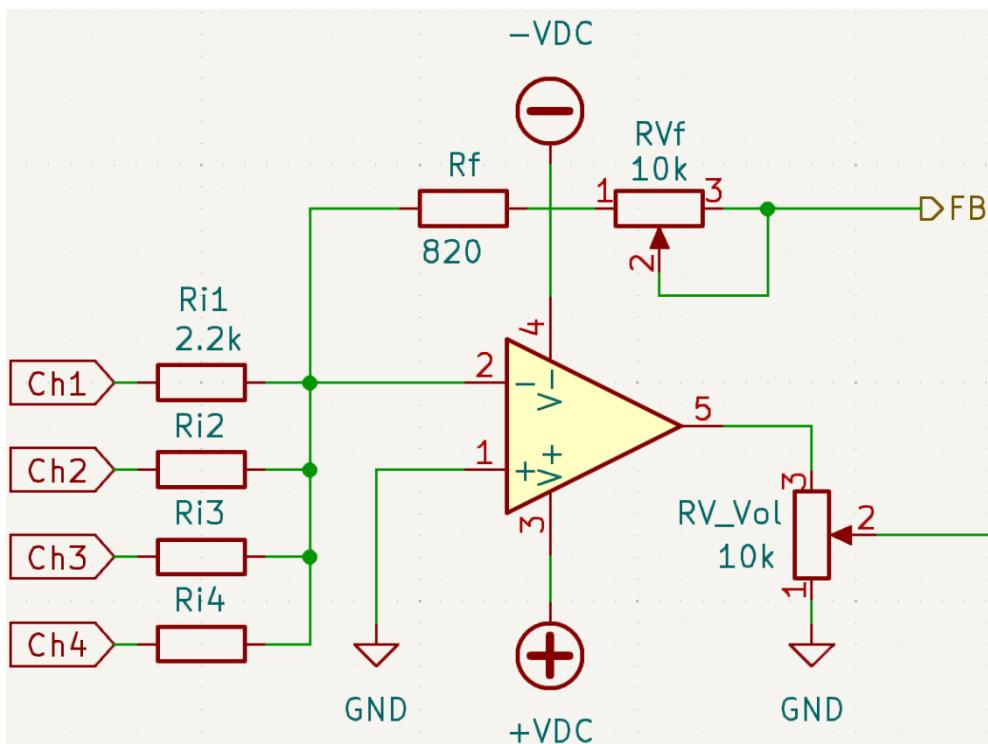
Figura 4.2.9: Curvas tensión, corriente y potencia sobre RE1



La potencia máxima a disipar en el par Sziklai 6.74W, con $I = 857.02\text{mA}$, $V = 7.87\text{V}$

4.2.6 Resumen de la etapa

Figura 4.2.10: Esquemático resultante



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Tabla 2: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
$R_{i1}, R_{i2}, R_{i3}, R_{i4}$	2.2 kΩ	(24)
R_f	820 Ω	(23)
RV_f, RV_{Vol}	10 kΩ	(22)(27)

4.3 Preamplificador de Micrófono (MIC)

4.3.1 Especificaciones

El preamplificador de Micrófonos es balanceado. Los datos para tener en cuenta en el diseño son los siguientes:

Tensión de señal

$$-60 \text{ dBu} \leq v_s \leq -40 \text{ dBu}$$

es decir,

$$\begin{aligned} 775\mu\text{V} &\leq v_s \leq 7.75\text{mV} \\ 1.096 \text{ mV} &\leq v_{sp} \leq 10.96\text{mV} \end{aligned}$$

Impedancia de señal

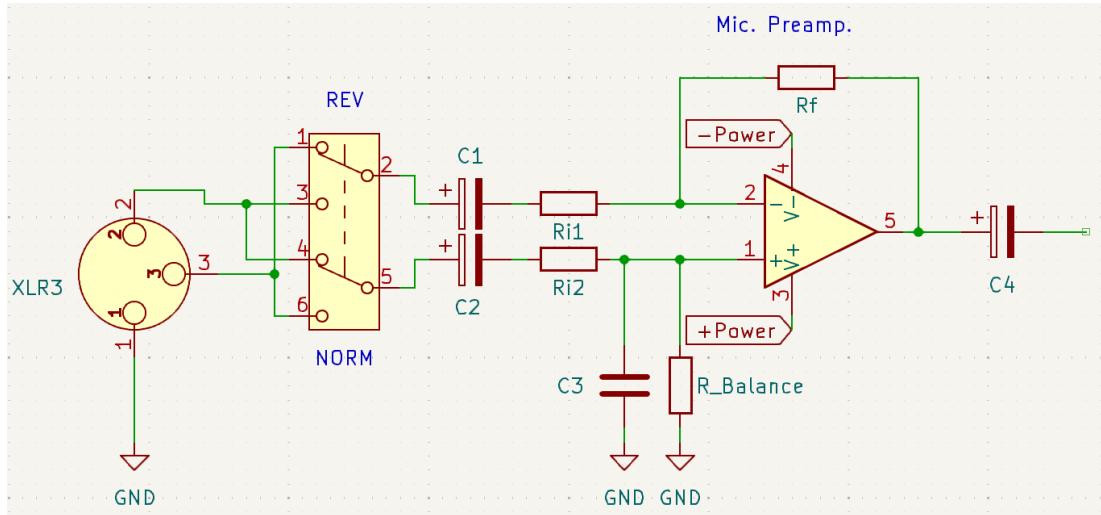
$$Z_{MIC} \approx 150\Omega$$

4.3.2 Esquemático

Se plantea como solución el siguiente circuito:

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Figura 4.3.1: Entrada balanceada de micrófono



4.3.3 Observaciones

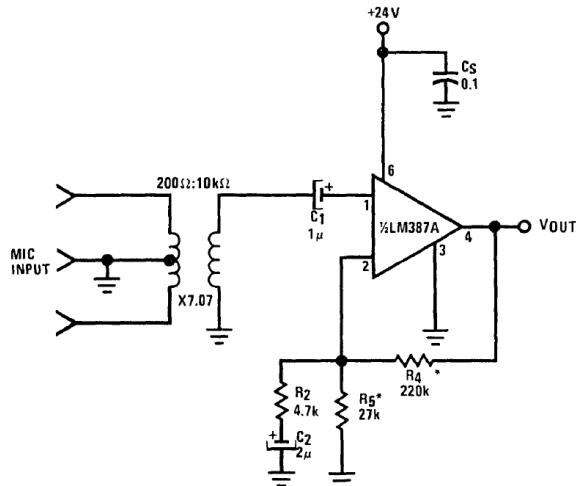
El diseño planteado consta de:

- Un conector hembra estándar Cannon XLR
- Un interruptor para invertir la fase de la señal: usado cuando dos micrófonos se usan en cercanía y producen cancelación de fase debido a la distancia relativa, lo que produce un sonido desagradable
- Capacitores bloqueantes de señal continua
- Amplificador operacional como preamplificador balanceado sin transformador: para la selección del op amp, se debe tener en cuenta su capacidad de rechazo en modo común, cuantificada por la relación de rechazo en modo común (CMRR)

Para obtener mejor resultados, sería conveniente utilizar un transformador para balancear la entrada como se muestra en la Figura 4.3.2, y no realizar un balance electrónico. Además, este método mejora la supresión de ondas de interferencia en radiofrecuencia. La desventaja de este método es que, al trabajar con señales de audio, el transformador debería ser de muy buena calidad para no introducir ruido, lo que implica un costo elevado, además de que introduce cierto nivel de distorsión armónica.

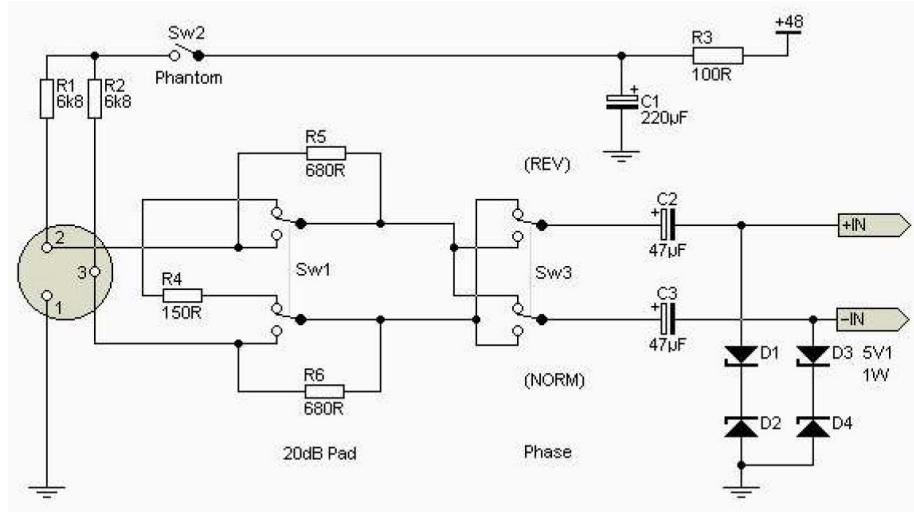
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Figura 4.3.2: Circuito de entrada balanceada con transformador



El circuito podría adaptarse a micrófonos de condensador añadiendo una alimentación “fantasma” (o Phantom), que suele ser de +48V, como se muestra en la Figura 4.3.3. En el caso de optar por este diseño, se le deben añadir diodos de protección.

Figura 4.3.3: Esquemático de entrada con alimentación Phantom y circuito de protección



4.3.4 Cálculo

Primero, consideramos la entrada:

$$Z_i \gg Z_s \rightarrow Z_i \approx 10 Z_s \quad (28)$$

Las resistencias R_{i1} y R_{i2} son las responsables de determinar la impedancia de entrada, por lo que serán de un valor elevado comparado a la impedancia de señal, pero, deben mantenerse en valores lo más chicos posibles. Es la relación de compromiso entre disminuir efectos de carga y mantener bajo ruido. Una buena práctica es:

$$R_{i1} + R_{i2} = 10 Z_s \quad (29)$$

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Por lo tanto:

$$R_{i1} + R_{i2} = 10 \cdot 150\Omega = 1.5k\Omega \quad (30)$$

Si $R_{i1} = R_{i2} = R_i$

$$R_i = 750\Omega \rightarrow 820\Omega \quad (31)$$

Aproximando a un valor comercial cercano, se obtiene un valor de 820Ω .

Para el cálculo de ganancia, tomamos el peor caso (el valor más bajo posible de la señal de entrada) y la máxima tensión que deseamos a la salida, partiendo que lo recomendado es una ganancia mínima de 10dB ($A \approx 3$) para evitar ruido. Como la etapa siguiente es el preamplificador de instrumento, podemos aprovechar dicho circuito para control de ganancia, por lo tanto, llevamos la señal desde un nivel de micrófono a un nivel de instrumento. Determinamos entonces las señales de entrada y salida:

$$v_s = -60dBu \rightarrow v_s = 775\mu V \rightarrow v_{sp} = 1.096 mV \quad (32)$$

$$v_o = -30dBu \rightarrow v_o = 24.5mV \rightarrow v_{op} = 34.65mV \quad (33)$$

Por lo tanto:

$$G_{dB} = 30 dB \rightarrow G \approx 31.6 \quad (34)$$

Para un amplificador diferencial tenemos que:

$$v_o = -V_1 \frac{R_3}{R_1} + V_2 \frac{R_4}{R_2 + R_4} \frac{R_1 + R_3}{R_1} \quad (35)$$

Si tenemos que $R_1 = R_2$ y $R_3 = R_4$:

$$v_o = \frac{R_3}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (36)$$

Sabiendo que en nuestra aplicación V_1 será igual a V_2 desfasada en 180° , podemos decir que $V_1 = -V_2$,

$$v_o = \frac{R_3}{R_2} 2v_i \rightarrow \frac{v_o}{v_i} = \frac{2R_3}{R_2} \quad (37)$$

$$G = \frac{2R_f}{R_i} \quad (38)$$

Es decir,

$$R_f = \frac{G * R_i}{2} = \frac{31.6 * 820\Omega}{2} \approx 12.96k\Omega \rightarrow 12k\Omega \quad (39)$$

Elegimos el valor comercial que introduzca menor error, $12k\Omega$

Respecto a la elección del op amp, se elige el LF357 por sus características electrónicas.

4.3.5 Respuesta en frecuencia

Realizamos los cálculos de los capacitores para que el ancho de banda del preamplificador sea desde 20 Hz hasta 20 kHz.

Para el capacitor de acople:

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi R f_c} \quad (40)$$

$$C_1 = C_2 = \frac{1}{2\pi * 820\Omega * 20Hz} \approx 9.7\mu F \rightarrow 10\mu F \quad (41)$$

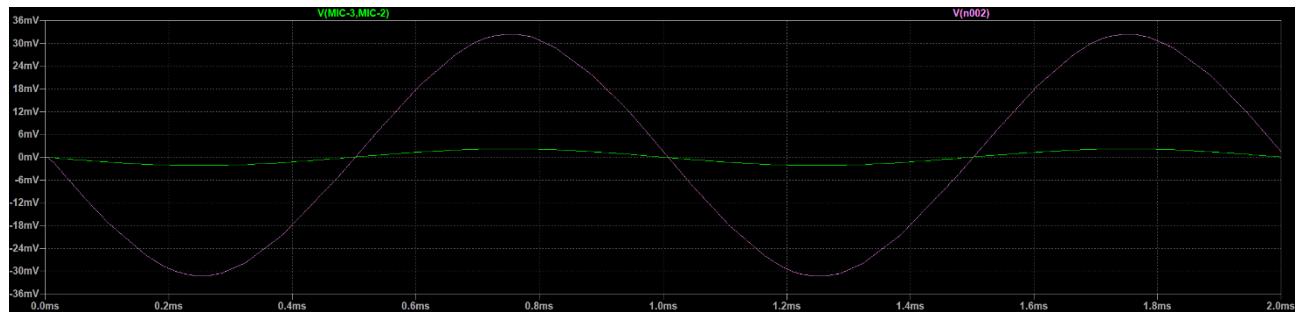
Estos capacitores filtran las frecuencias por debajo de 20 Hz. También asignaremos este valor al capacitor de acople a la siguiente etapa. Para filtrar las frecuencias superiores a 20 kHz añadimos un capacitor en paralelo a la resistencia de realimentación, cuyo valor es:

$$C_f = \frac{1}{2\pi * 12k\Omega * 20kHz} \approx 663pF \rightarrow 680pF \quad (42)$$

4.3.6 Simulación

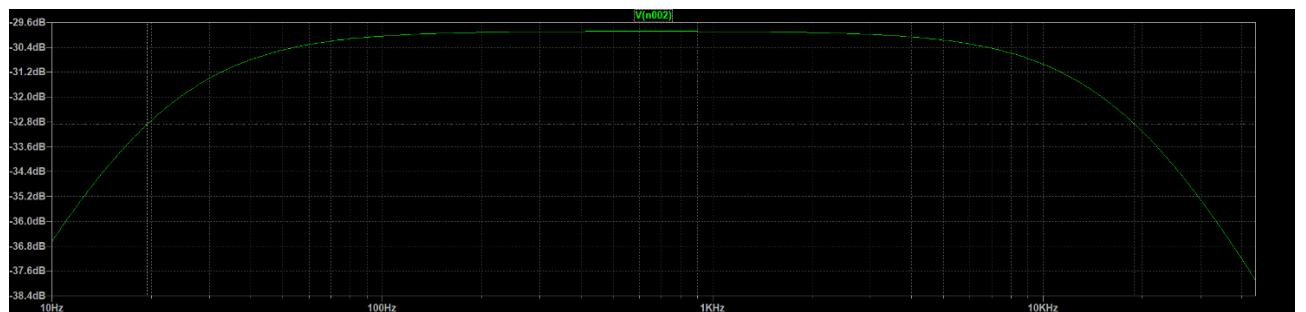
A continuación, se presenta los resultados de simulación.

Figura 4.3.4



Para $MIC_1 = MIC_2 = MIC_3 = 1.096 \text{ mV}_p$, $MIC_2\emptyset = 180^\circ$ se obtuvo $V_o = 32.43 \text{ mV}_p$, con error relativo $\varepsilon_{\%} = \frac{32.43mV - 34.65mV}{34.65mV} \times 100 \approx -6.41\%$.

Figura 4.3.5



$$BW = f_2 - f_1 = 18.94\text{kHz} - 19.42\text{Hz}, \varepsilon_{\%_{20Hz}} \approx -2.9\%, \varepsilon_{\%_{20kHz}} \approx -5.3\%$$

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

4.3.7 Resumen de la etapa

Figura 4.3.6: Esquemático resultante

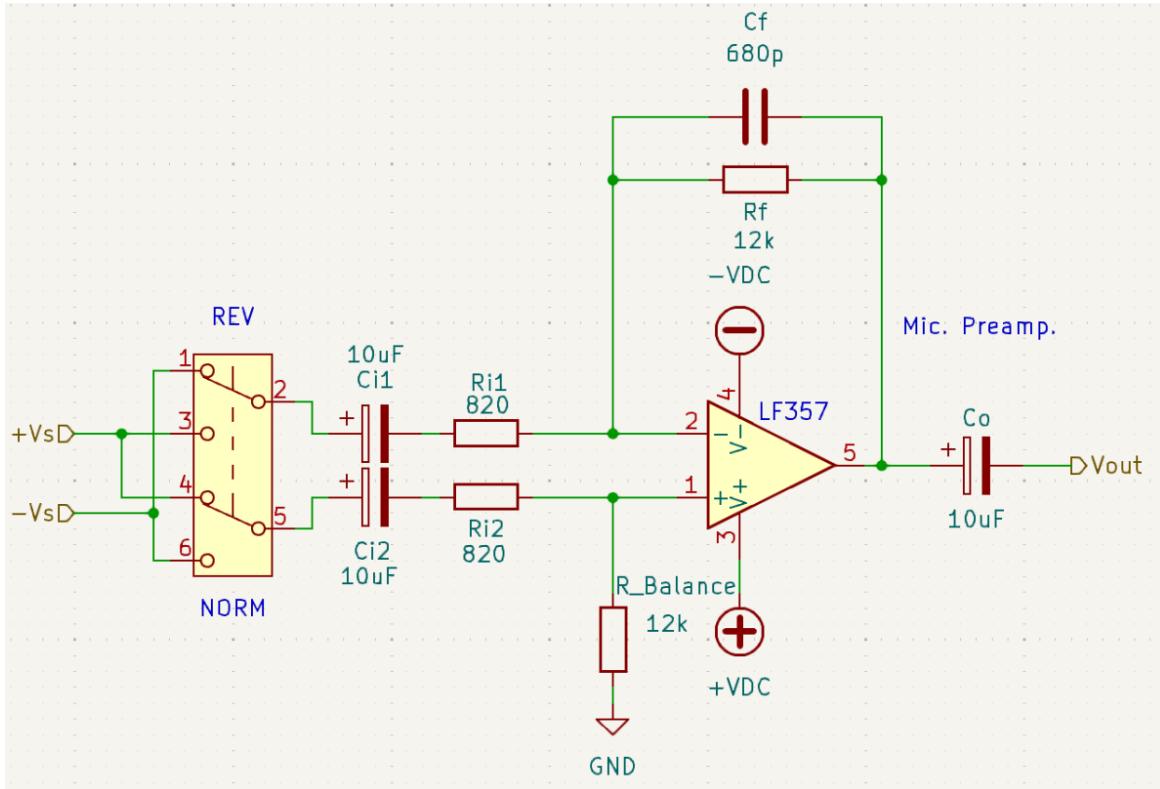


Tabla 3: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R_{i1}, R_{i2}	$820\ \Omega$	(31)
$R_f, R_{Balance}$	$12\ k\Omega$	(39)
C_{i1}, C_{i2}, C_o	$10\ \mu F$	(41)
C_f	$680\ pF$	(42)

4.4 Preamplificador de Instrumento (Inst.) + Line + AUX

4.4.1 Especificaciones

El preamplificador de instrumentos será útil no sólo para estos, sino también para señales de línea y AUX (auxiliares). Además, para permitir la adaptación a estas señales, se utiliza un op amp buffer a la entrada, por lo que será un preamplificador considerado como “High-Z” (de alta impedancia). Los datos para tener en cuenta en el diseño son:

Tensión de señal:

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

$$-30 \text{ dBu} \leq v_s \leq -10 \text{ dBu}$$

es decir,

$$24.5 \text{ mV} \leq v_s \leq 245.08 \text{ mV}$$

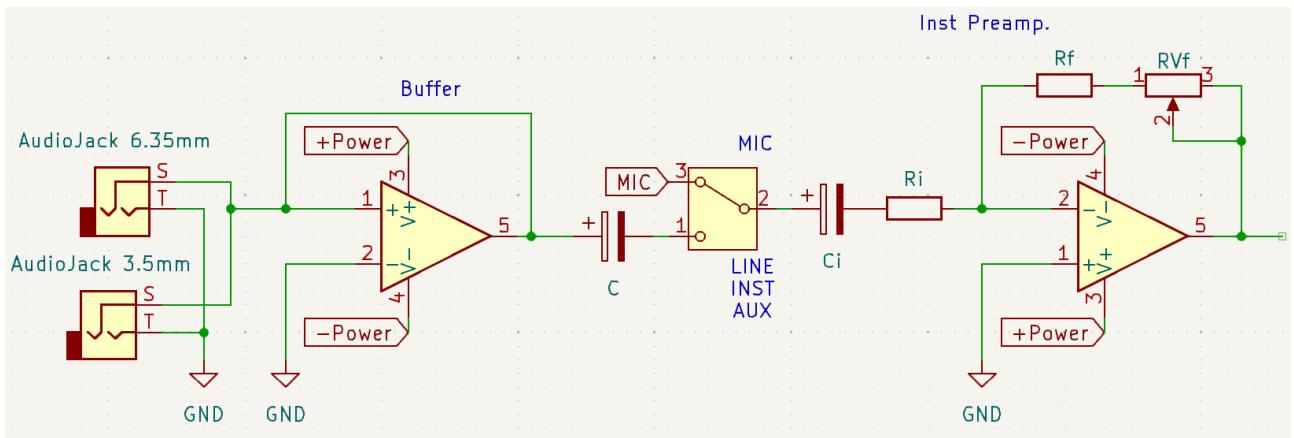
$$34.65 \text{ mV} \leq v_{sp} \leq 346.6 \text{ mV}$$

Impedancia de señal:

$$5 \text{ k}\Omega \leq Z_{Inst} \leq 15 \text{ k}\Omega$$

4.4.2 Esquemático

Figura 4.4.1: Etapa de entrada y preamplificador



4.4.3 Observaciones

Como se mencionó anteriormente, el buffer a la entrada convierte al canal en uno de alta impedancia (desde el instrumento), lo cual implica una mejor transferencia de tensión. Para evitar problemas entre instrumentos y micrófonos, la conexión al preamplificador se realiza por medio de un switch.

En la solución planteada del preamplificador, no hemos introducido capacitores para determinar el ancho de banda de la etapa, por lo que veremos más adelante cuál es su cálculo.

4.4.4 Cálculo

La resistencia R_i es responsable de determinar la impedancia de entrada, nuevamente se encuentra presente la relación de compromiso entre disminuir efectos de carga y mantener bajo ruido. Siendo que la señal fue precedida por una entrada buffer o por el preamplificador balanceado, podemos estimar que la Z_o será de unos pocos ohmios, por lo que podemos determinar un valor beneficioso para el cálculo de ganancia.

$$R_i = 1 \text{ k}\Omega \quad (43)$$

Para el cálculo de ganancia, tomamos el peor caso (tensión de señal más bajo) y la máxima tensión que deseamos a la salida. Llevamos la señal desde un nivel de instrumento a un nivel de línea:

$$v_s = -30 \text{ dBu} \rightarrow v_s = 24.5 \text{ mV} \rightarrow v_{sp} = 34.65 \text{ mV} \quad (44)$$

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

$$v_o = +4dBu \rightarrow v_o = 1.228V \rightarrow v_{op} = 1.74V \quad (45)$$

Por lo tanto:

$$|G_{dB}| = 34 dB \rightarrow |G| \approx 50.12 \quad (46)$$

Esta es la ganancia en el caso más desfavorable. Siendo que, en esta etapa, se desea una ganancia variable, debemos determinar el nivel mínimo y máximo de ganancia. Por deseos del usuario, también se debe posibilitar una atenuación de la señal (ganancia entre 0 y 1). El rango de ganancia establecido es:

$$-30dB \leq |G_{dB}| \leq +34dB \quad (47)$$

Para nuestro preamplificador:

$$G = -\frac{R_f + R_{Vf}}{R_i} \quad (48)$$

$$|G_{min}| = 31.62 * 10^{-3} \rightarrow R_f + R_{Vf} = |G| * R_i \approx 31.62\Omega \quad (49)$$

$$|G_{max}| = 50.12 \rightarrow R_f + R_{Vf} \approx 50.12k\Omega \quad (50)$$

Tomamos entonces, los valores comerciales:

$$R_f = 33\Omega \quad (51)$$

$$R_{Vf} = 50k\Omega \quad (52)$$

Recalculando el intervalo de ganancia:

$$-29.63dB \leq |G_{dB}| \leq +33.99dB \quad (53)$$

Respecto a la elección del op amp, se elige el LM387 debido principalmente a sus características de bajo ruido y que se integran dos op amps, por lo que podremos usar un único IC para el buffer y el preamplificador.

4.4.5 Respuesta en frecuencia

Realizamos los cálculos de los capacitores para que el ancho de banda del preamplificador sea desde 20 Hz hasta 20 kHz.

Para el capacitor de acople:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi R f_c} \quad (54)$$

$$C_i = \frac{1}{2\pi * 1k\Omega * 20Hz} \approx 7.95\mu F \rightarrow 8.2\mu F \quad (55)$$

Agregamos un capacitor en paralelo a las resistencias de realimentación para filtrar las altas frecuencias.

$$C_f = \frac{1}{2\pi * (33 + 50k)\Omega * 20kHz} \approx 159pF \rightarrow 160pF \quad (56)$$

El capacitor de acople con la siguiente etapa ya se incluye más adelante.

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

4.4.6 Simulación

Para la simulación se obtuvo $V_o = 1.75V_p$, con error relativo $\varepsilon\% = \frac{1.75V - 1.74V}{31.74mV} \times 100 \approx 0.57\%$ cuando el potenciómetro se encuentra al 100%, y $V_o = 1.16mV_p$, con error relativo $\varepsilon\% = \frac{1.75V - 1.14mV}{1.14mV} \times 100 \approx 1.75\%$ cuando el potenciómetro se encuentra al 0%.

Figura 4.4.2: Potenciómetro al 100%

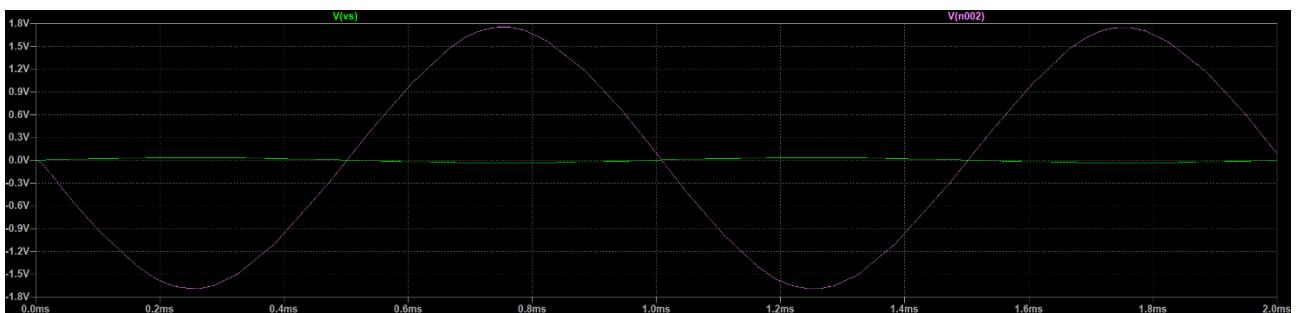


Figura 4.4.3: Potenciómetro al 0%

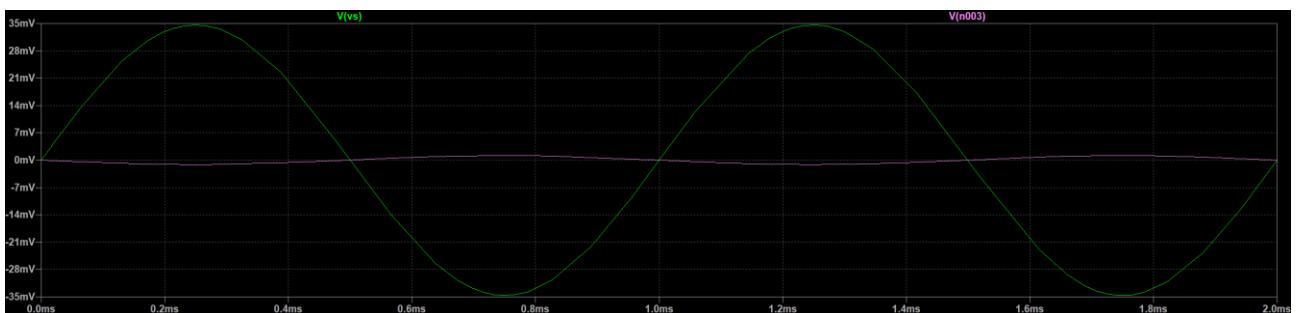


Figura 4.4.4: Potenciómetro al 100%



Ancho de banda en la simulación: BW=18.09kHz-19.41Hz

Si corregimos un poco el valor de C_f al siguiente valor comercial por debajo, mejoramos la frecuencia de corte superior:

$$C_f = 150pF \quad (57)$$

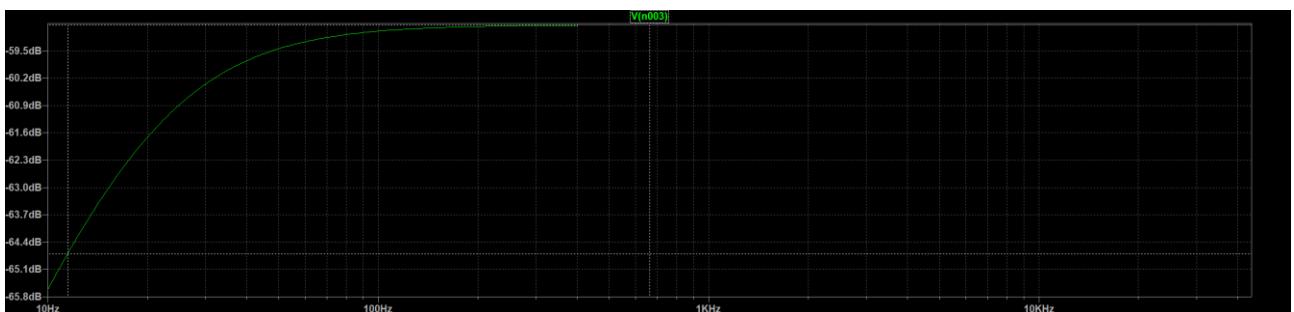
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Figura 4.4.5



$$BW = f_2 - f_1 = 19.14\text{kHz} - 19.41\text{Hz}, \varepsilon_{\%_{20\text{Hz}}} \approx -2.95\%, \varepsilon_{\%_{20\text{kHz}}} \approx -4.3\%$$

Figura 4.4.6: Potenciómetro al 0%



Si bien observamos que la frecuencia de corte superior no se encuentra presente a los 20 kHz, recordemos que la atenuación de la señal es lo suficientemente grande como para no preocuparse por los niveles de señales en alta frecuencia.

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

4.4.7 Resumen de la etapa

Figura 4.4.7: Esquemático resultante

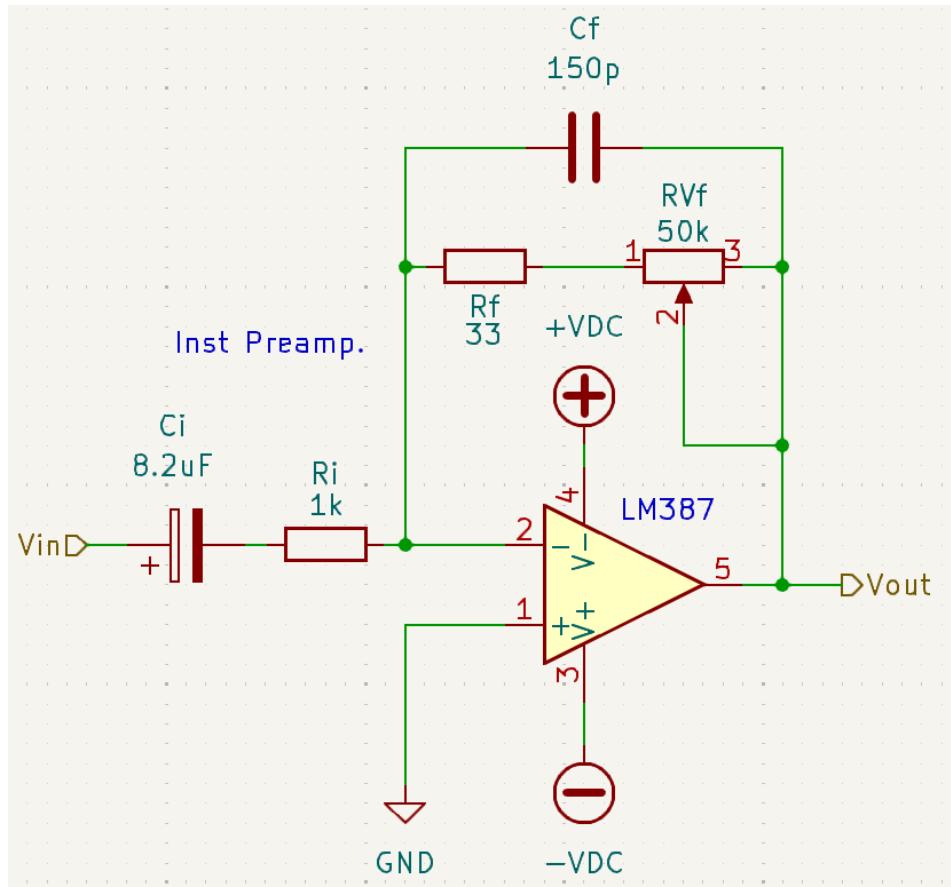


Tabla 4: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R_i	1 kΩ	(43)
R_f	33 Ω	(51)
RV_f	50 kΩ	(52)
C_i	8.2 μF	(55)
C_f	150 pF	(57)

4.5 Control de Tonos

El control de tonos es una etapa donde buscamos dividir el ancho de banda del canal en tres principales bandas: Altos, medios y bajos. El diseño fue extraído de un libro (1980 National

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

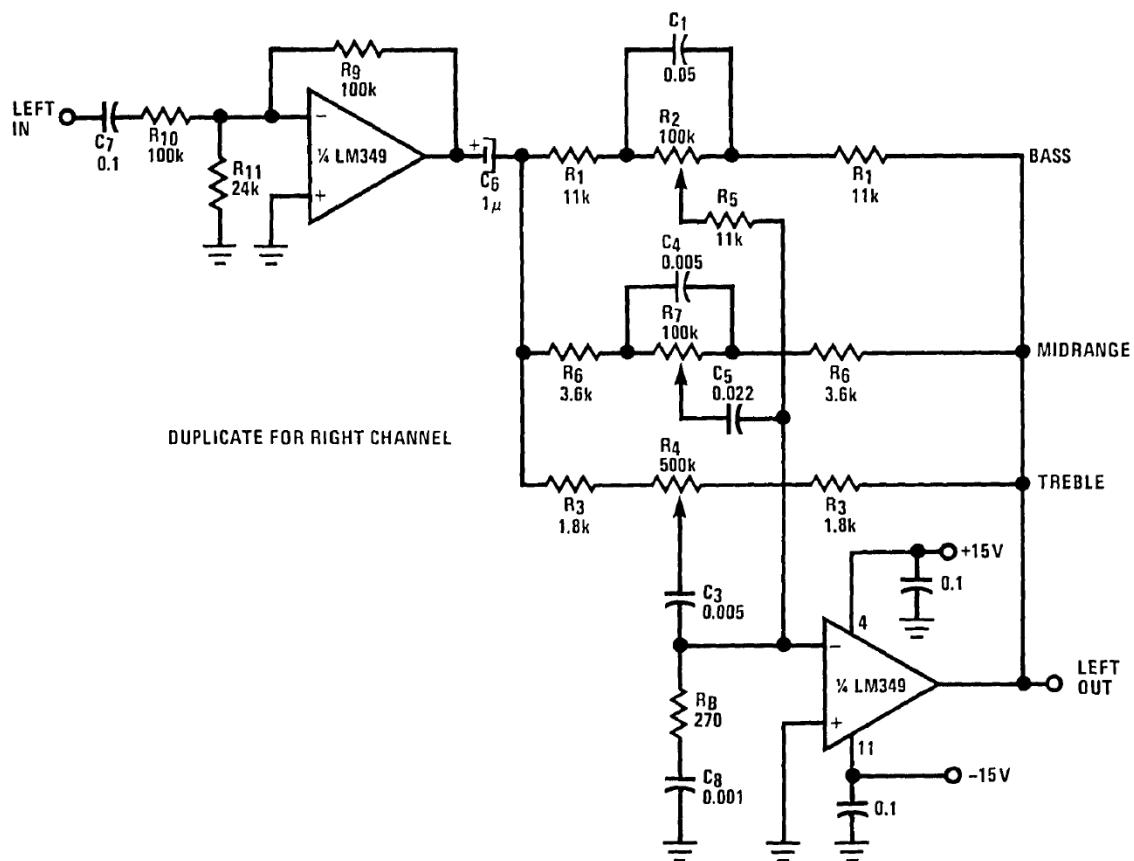
Semiconductor Corp., 1980), ya que el ajuste de esta etapa se realiza por medio de experimentación. Las curvas de la Figura 4.5.2 muestran el resultado obtenido.

4.5.1 Especificaciones

Controlar de manera independiente tres bandas de frecuencia en cada canal.

4.5.2 Esquemático

Figura 4.5.1: Circuito control de tonos



4.5.3 Respuesta en frecuencia

Respuesta prometida en la fuente del circuito es:

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Figura 4.5.2: Respuesta en frecuencia

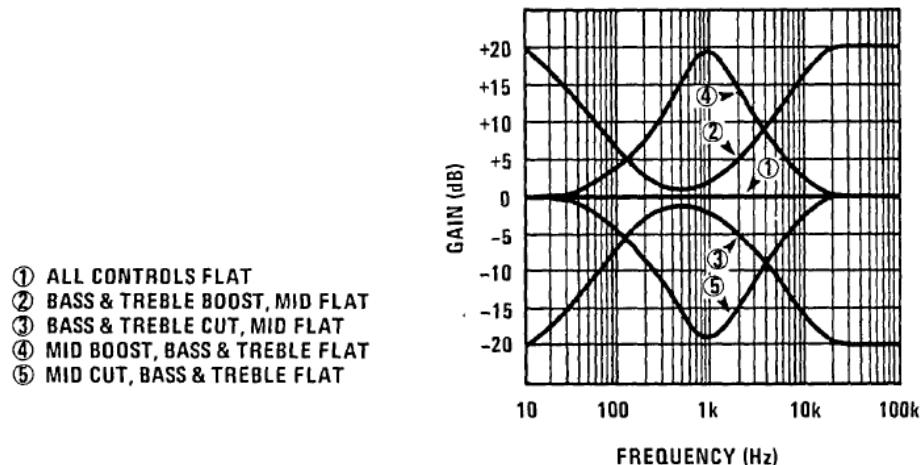


FIGURE 2.14.18 Three Band Active Tone Control (Bass, Midrange & Treble)

4.5.4 Simulación

Para simular la respuesta en frecuencia, utilizaremos un rango de 10 Hz hasta 25kHz con amplitud de 1V para que la escala plana sea a 0 dB.

Figura 4.5.3: Bajos

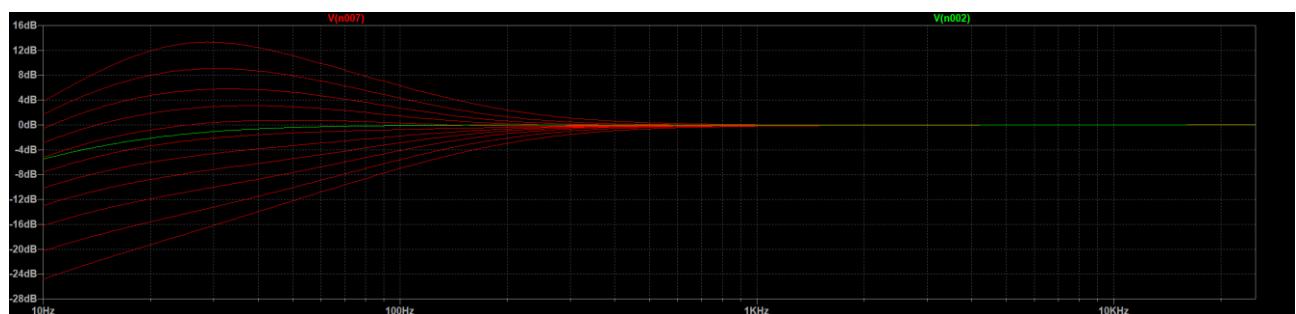
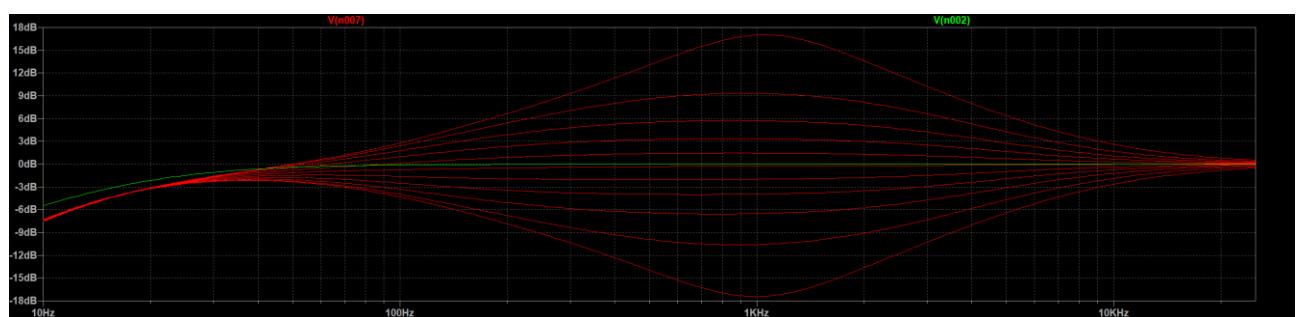
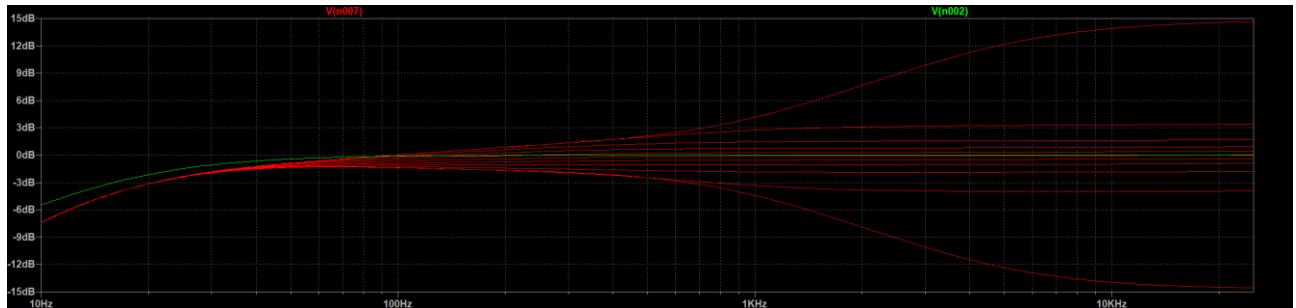


Figura 4.5.4: Medios



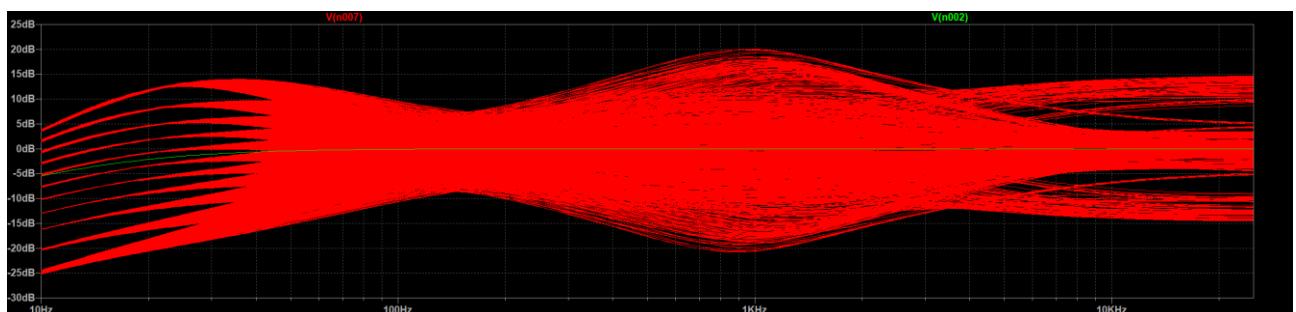
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Figura 4.5.5: Altos



Finalmente, todas las combinaciones posibles, indican una buena flexibilidad en el control de tonos:

Figura 4.5.6: Combinaciones posibles



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

4.5.5 Resumen de la etapa

Figura 4.5.7: Esquemático resultante

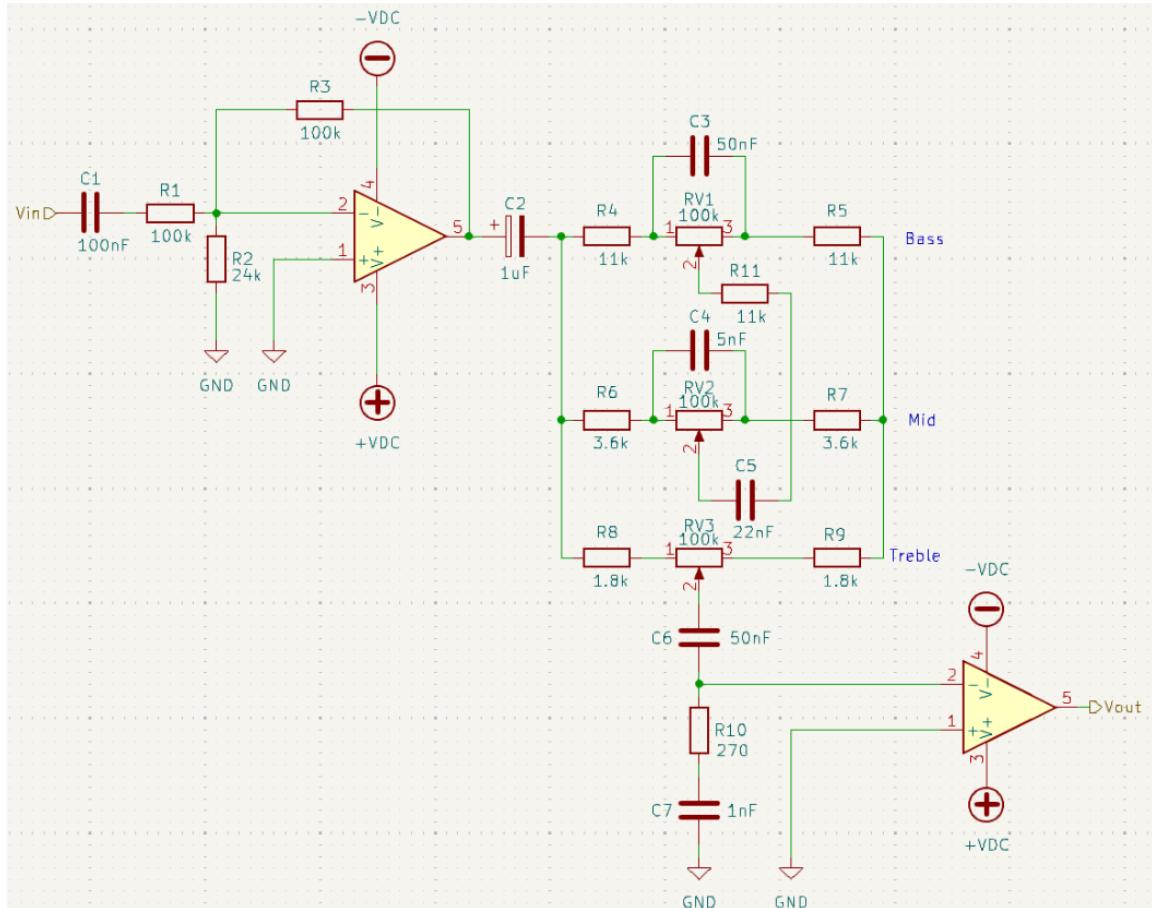


Tabla 5: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
$R_1, R_3, RV_1, RV_2, RV_3$	100 k Ω	
R_2	24 k Ω	
R_4, R_5, R_{11}	11 k Ω	
R_6, R_7	3.6 k Ω	
R_8, R_9	1.8 k Ω	
R_{10}	270 Ω	
C_1	100 nF	
C_2	1 μ F	

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

C_3, C_6	50 nF	
C_4	5 nF	
C_5	22 nF	
C_7	1 nF	

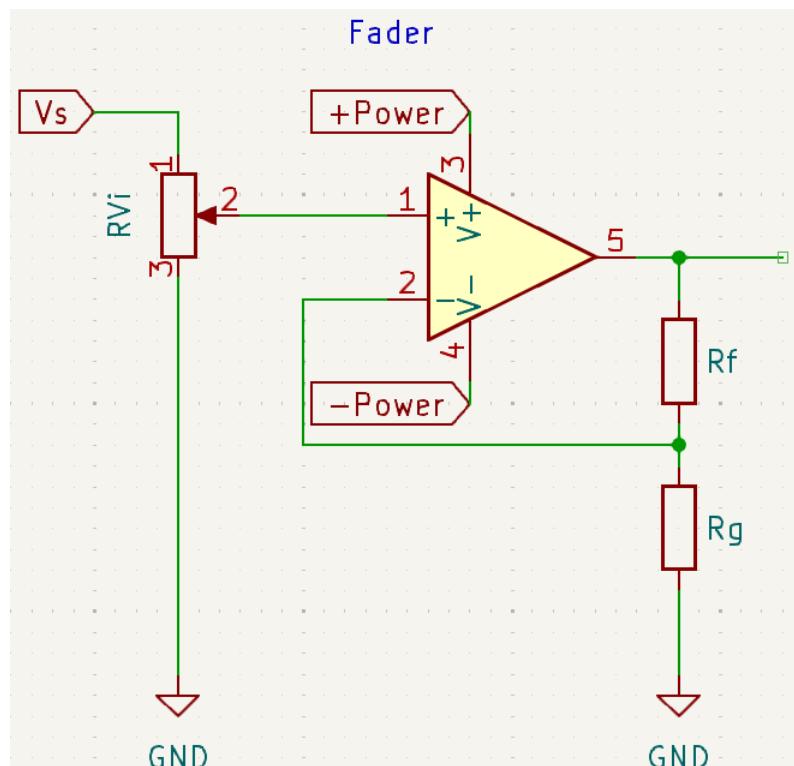
4.6 Atenuador (Fader)

4.6.1 Especificaciones

El atenuador, como su nombre lo indica, tiene como función principal atenuar la señal. Este funciona como un control de volumen del canal. Utilizando un potenciómetro deslizable, cuando la perilla se encuentre en el extremo inferior, no debe haber señal, implicando entonces una ganancia de $-\infty$. También, las consolas que incluyen un “Fader” no solo atenúan, sino que incluso tienen una pequeña ganancia o “boost”. Esto se logra cuando la resistencia variable, es la entrada del circuito.

4.6.2 Esquemático

Figura 4.6.1: Atenuador



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

4.6.3 Observaciones

Aprovechamos la alta impedancia que tiene un op amp en configuración de no inversor, para obtener la máxima transferencia de tensión. Como factor negativo, tenemos que, con esta configuración, nunca lograríamos atenuación, como se representa en esta ecuación:

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_g}$$

Esto implica, que podemos colocar una resistencia variable a la entrada, de esta forma, se logrará un circuito controlador de volumen.

4.6.4 Cálculo

Podemos establecer el valor del potenciómetro deslizable R_{Vi} con criterio basado en su disponibilidad comercial y un valor relativamente bajo para evitar introducir ruido térmico. Además, aplicando el mismo criterio, podemos seleccionar las resistencias R_f y R_g de tal forma que la impedancia de salida sea bastante baja.

$$R_{Vi} = 10k\Omega \quad (58)$$

$$R_f = R_g = 820\Omega \quad (59)$$

De esta forma, se consigue que la ganancia sea unitaria, pero se logre modificar la amplitud de la señal, de forma que estamos controlando volumen:

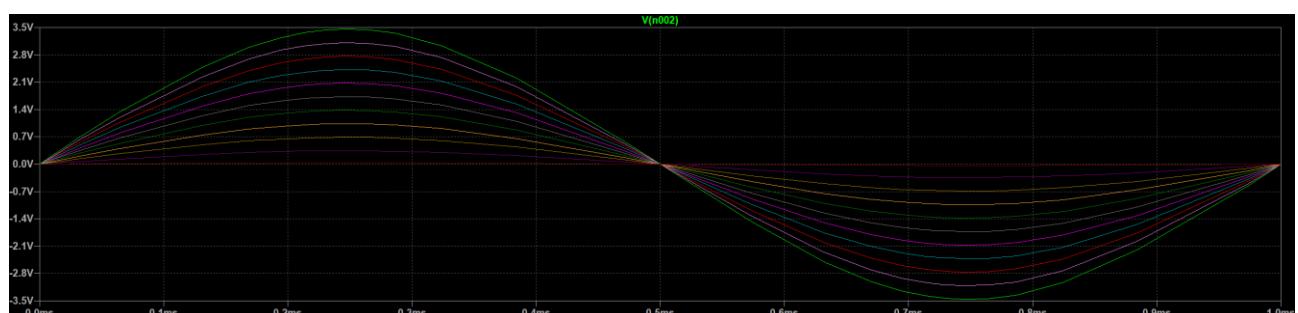
$$0V \leq v_o \leq 2v_i \quad (60)$$

4.6.5 Respuesta en frecuencia

4.6.6 Simulación

Realizamos en la simulación con $v_i = 1.228V_{RMS}$ y a variación del potenciómetro desde el 0% hasta el 100%, obteniendo así, todos los posibles valores:

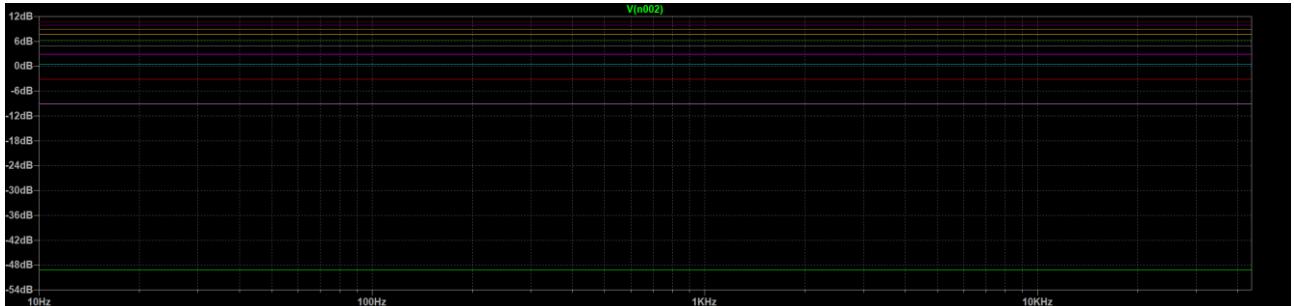
Figura 4.6.2: Respuesta en el tiempo del atenuador



La mayor amplitud ($2v_i$) se logra cuando el potenciómetro se encuentra al 0%, y la menor amplitud (0V) cuando se encuentra al 100%.

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Figura 4.6.3: Respuesta en frecuencia del atenuador



Vemos un comportamiento “flat” (plano) de la amplitud para todas las frecuencias.

4.6.7 Resumen de la etapa

Figura 4.6.4: Esquemático resultante

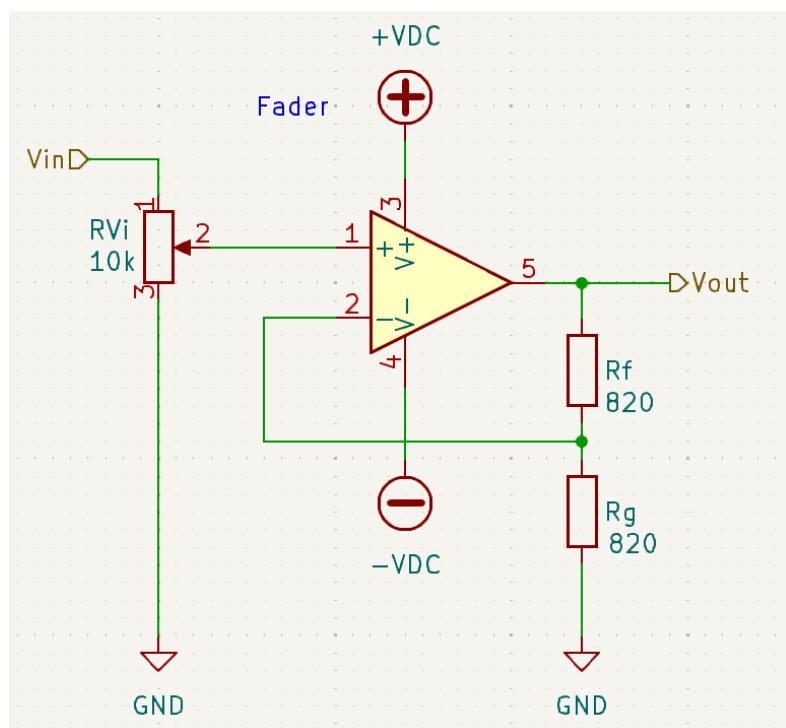


Tabla 6: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
RV_i	$10 k\Omega$	(58)
R_f, R_g	820Ω	(59)

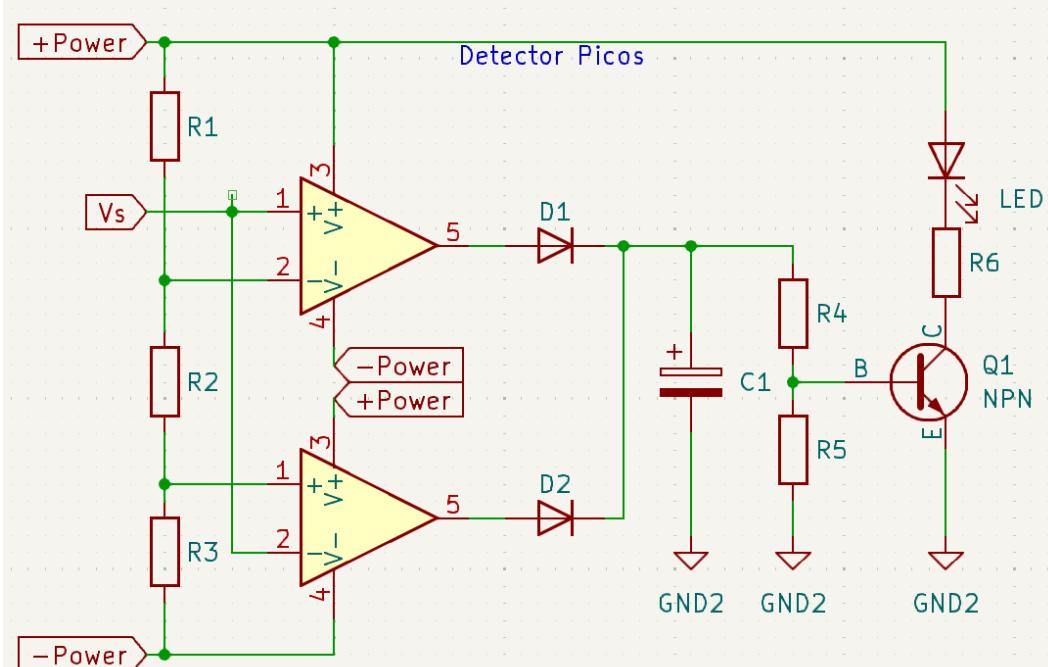
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

4.7 Adicionales

4.7.1 Detector de picos

Es un indicador para asegurar que la señal no se encuentre recortada (anti-clipping). Utilizamos un detector de picos de doble polaridad para detectar recortes tanto en el hemiciclo positivo como en el negativo.

Figura 4.7.1: Detector de picos



Para este diseño, los op amps son utilizados como comparadores. Las resistencias R1, R2 y R3 determinan el valor límite (threshold). Si R1 y R3 son iguales, el límite se ajusta directamente con R2. El capacitor C1 varía la capacidad del circuito para detectar transitorios cortos. Un valor de capacitancia alto detecta mayor cantidad de transitorios cortos, pero disminuye el tiempo del LED para indicar el pico.

La señal de entrada de esta etapa es la salida del control de tonos. Podemos entonces determinar el valor límite donde detectamos un pico:

$$V_{threshold_p} = 1.75 V \quad (61)$$

Sabemos además que para el comparador positivo:

$$V_{threshold} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{supply} \quad (62)$$

Operando, encontramos la relación:

$$R_2 \approx 0.132R_1 \quad (63)$$

Elegimos un valor para R_1 :

$$R_1 = 10k\Omega \quad (64)$$

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

$$R_2 \approx 1.32k\Omega \rightarrow R_2 = 1.2k\Omega \quad (65)$$

No podemos elegir un valor comercial para R_2 superior al calculado, ya que elevaríamos del límite el valor “threshold”. Análogamente para el comparador negativo:

$$R_3 = R_1 = 10k\Omega \quad (66)$$

Por simplicidad podemos seleccionar:

$$R_5 = 0.1R_4 \quad (67)$$

$$R_4 = 10k\Omega \quad (68)$$

$$R_5 = 1k\Omega \quad (69)$$

Y finalmente, R_6 controla la corriente de LED. Para excitar al mismo necesitamos una corriente de aproximadamente 20 mA, por lo que:

$$R_6 = \frac{V_{supply} - V_{LED} - V_{CE(sat)}}{I_{LED}} \approx \frac{15V - 2V - 0.2V}{0.02A} \approx 140\Omega \rightarrow 150\Omega \quad (70)$$

Se presenta a continuación el circuito final:

Figura 4.7.2: Esquemático resultante

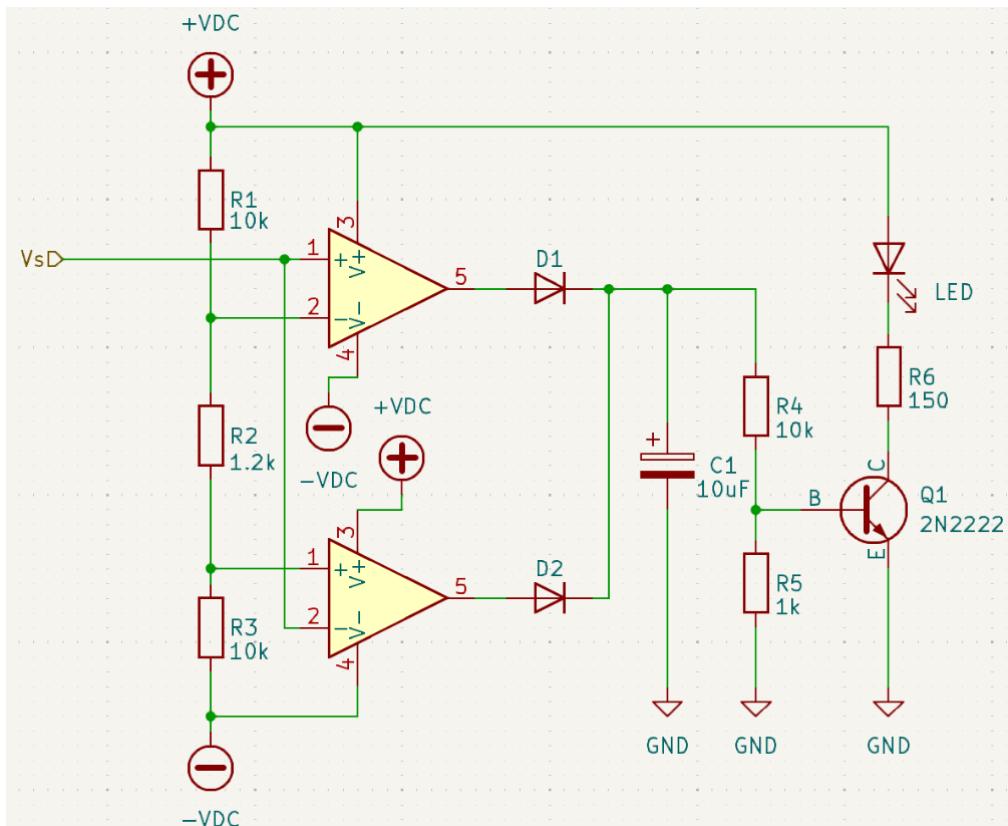


Tabla 7: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
------------	-------	--------------------

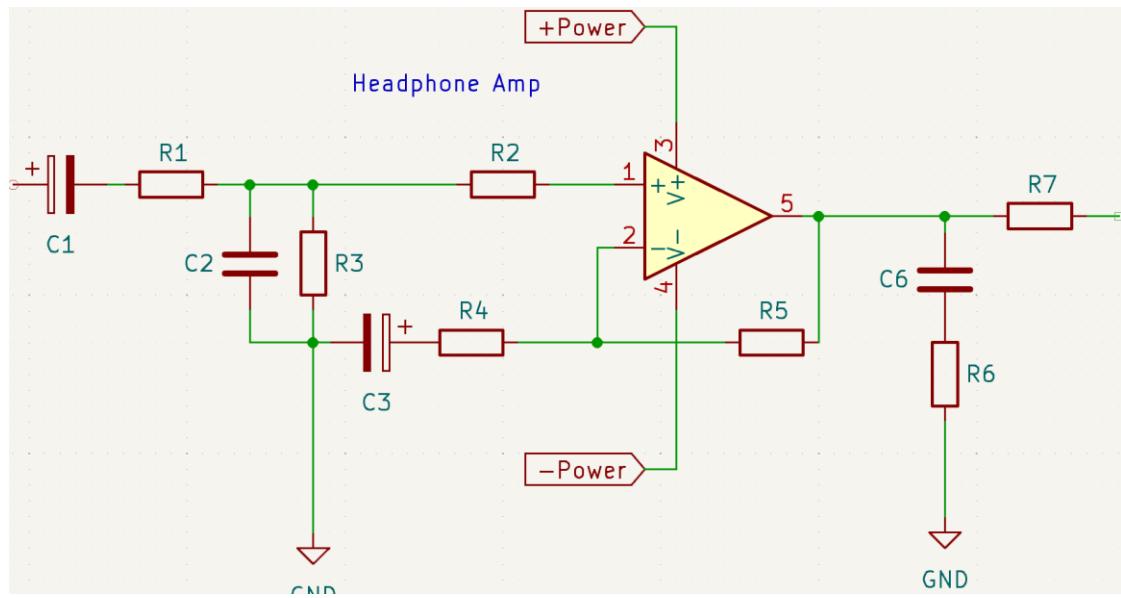
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

R_1, R_3, R_4	10 kΩ	(64)(66)(68)
R_2	1.2 kΩ	(65)
R_5	1 kΩ	(69)
R_6	150 Ω	(70)
C_1	10 μF	

4.7.2 Amplificador para auriculares

Se evalúa la posibilidad de usar un op amp de potencia como el LM1875 por simplicidad de diseño además los auriculares no requieren de una muy alta corriente. Nos basaremos en el diseño de (Elliott, 1999).

Figura 4.7.3: Amplificador para auriculares



Modificar el valor de R_7 permite ajustar el nivel de señal según los requerimientos. Si se necesita aumentar el nivel de señal, debemos reducir el valor de esta resistencia.

A la salida de cada control de tonos tendremos valores de tensión en nivel de línea, debido a que estamos trabajando luego del preamplificador.

Las resistencias R_1, R_3 y R_4 junto con los capacitores C_1, C_2 y C_3 , sirven para los ajustes de la respuesta en frecuencia. Además, R_4 y R_5 son los que cierran el lazo de realimentación. Si observamos, R_6 y C_6 cumplen la función de red de Zobel.

El resultado final es el siguiente:

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Figura 4.7.4: Esquemático resultante

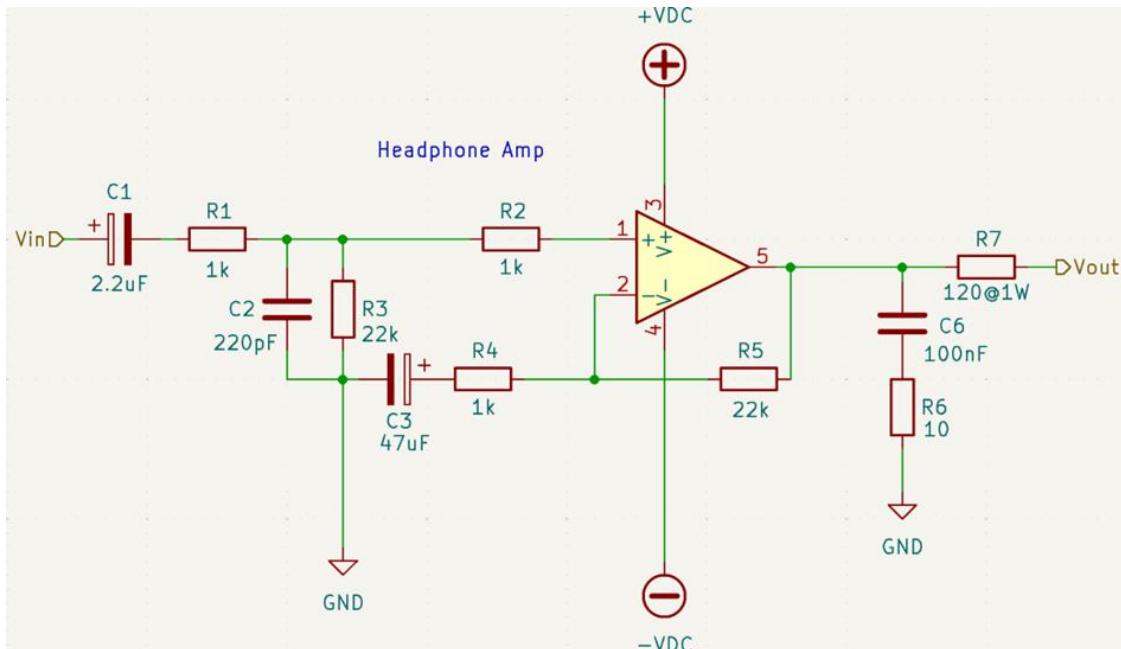


Tabla 8: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R_1, R_2, R_4	1 k Ω	
R_3, R_5	22 k Ω	
R_6	10 Ω	
R_7	120 Ω @ 1 W	
C_1	2.2 μF	
C_2	220 pF	
C_3	47 μF	
C_6	100 nF	

4.7.3 VU Meter

El IC LM3914, utiliza op amps como comparadores. Típicamente la tensión de referencia para estos integrados es 1.25 V, además, su corriente suele ser de 1 mA. Teniendo en cuenta estos datos, podemos obtener los siguientes valores de resistencias:

$$R = \frac{1.25V}{1mA} = 1.25k\Omega \rightarrow 1.2k\Omega \quad (71)$$

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

$$RV_{preset} = 10k\Omega \quad (72)$$

$$R_{led} = \frac{V_{supply} - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{15V - 2V}{0.02A} = 650\Omega \rightarrow 680\Omega \quad (73)$$

El resultado final es el siguiente:

Figura 4.7.5: VU Meter con IC LM3914N

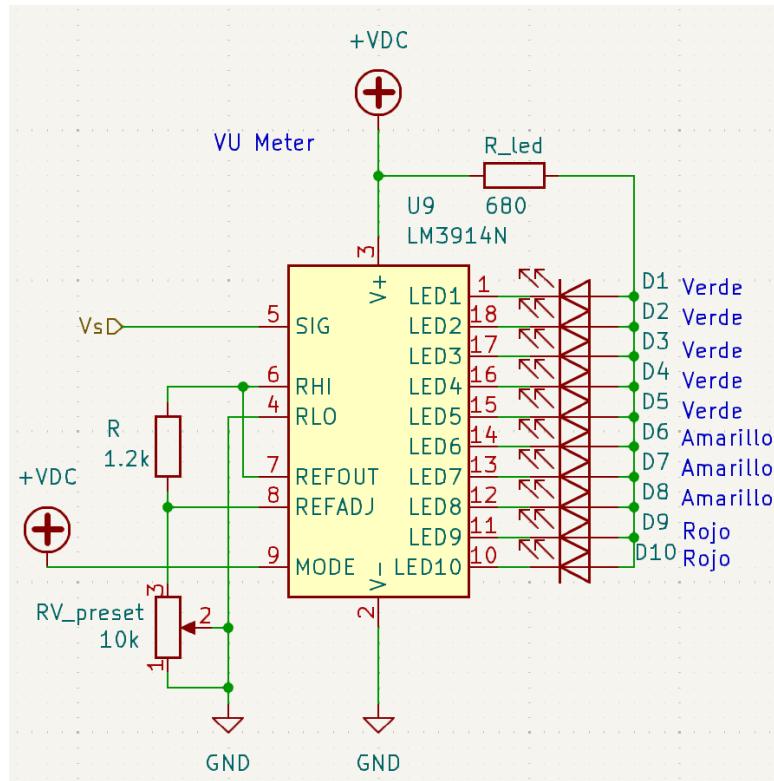


Tabla 9: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R	1.2 kΩ	(71)
RV_{preset}	10 kΩ	(72)
R_{led}	680 Ω	(73)

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

5 Fuente de alimentación regulada

5.1 Rectificación y Filtrado

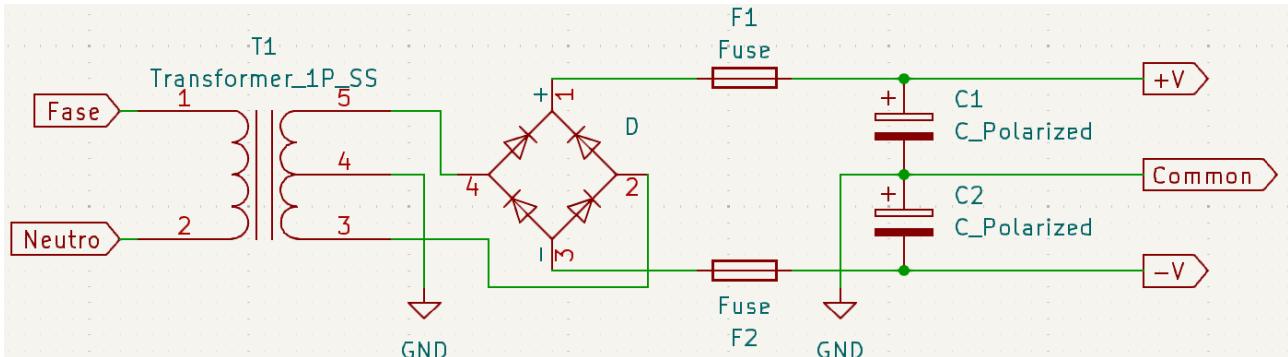
5.1.1 Especificaciones

La fuente de alimentación debe ser capaz de suministrar a cada circuito. El dato que se dispone de ante mano, es que debe suministrar una tensión de $\pm 15V$, con un punto común como GND. Se deberá calcular la corriente.

En esta etapa, nos encargaremos de rectificar y filtrar la tensión de línea. Se considera que la misma es una senoidal pura de 50Hz con amplitud $220V_{RMS}$.

5.1.2 Esquemático

Figura 5.1.1: Etapa rectificadora



5.1.3 Cálculo

Para determinar los componentes necesarios, requerimos conocer la corriente que debe suministrar la fuente. Por lo tanto, debemos sumar las corrientes de cada etapa.

En el caso de los op amp, se debe tener en cuenta que la corriente que consume es:

$$I_{tot} = I_{quiescent} + I_o + I_f \quad (74)$$

donde $I_{quiescent}$ que es la corriente de reposo que se expresa en las hojas de datos, I_o es la corriente de salida del operacional, e I_f es la corriente que circula por la red de realimentación.

Promediamos la corriente de reposo para cada op amp en $100\mu A$. En nuestro proyecto, contamos con 10 amplificadores operacionales, por lo tanto:

$$I_{quiescent} \approx 1mA \quad (75)$$

Luego, analizamos para cada circuito su consumo. Para el amplificador de potencia, nos basamos en las ecuaciones (3) y (8):

$$I_{etapa\ potencia} = I_{Bias} + I_L = 1.24mA + 0.61A \approx 0.61A \quad (76)$$

En la etapa del sumador tenemos:

$$I_o = 1mA \quad (77)$$

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

$$I_f \approx 370\mu A \quad (78)$$

$$I_{sumador} \approx 1.37mA \quad (79)$$

Y en cada canal observamos los siguientes consumos:

$$I_{MIC} + I_{Line} + I_{Preamp} + I_{toneCtrl} + I_{fader} + I_{peakDet} + I_{headphones} \quad (80)$$

La corriente de canal se debe multiplicar por 4, ya que son 4 canales:

$$I_{canales} = 4I_{canal} \quad (81)$$

$$I_{canales} \approx 38.36mA \quad (82)$$

En total tendremos:

$$I_{tot} = I_{power-amp} + I_{sumador} + I_{canales} \quad (83)$$

$$I_{tot} \approx 0.65A \quad (84)$$

Podemos realizar una aproximación a:

$$I_{tot} = 1A \quad (85)$$

Los capacitores determinan el rizado (o “ripple”), lo deseable sería que estos, tengan una gran capacidad, para reducir dicho efecto, aunque esto no es recomendable ya que las corrientes que circulan por los diodos son de corta duración y grandes picos de corriente. Por lo tanto, entramos en esta relación de compromiso. Al tratarse de una aplicación de audio, queremos un rizado máximo de 1V, para evitar distorsión de señal.

Para obtener a la salida del regulador, una tensión de +15V y -15V, deberemos proporcionarle una tensión mínima de aproximadamente +20V y -20V respectivamente desde el transformador. Con este margen, consideramos la tensión de rizado, caídas de tensión de los diodos y además la caída de tensión que se puede producir en el circuito del regulador. Además de las tolerancias de los componentes.

Calculamos entonces la tensión del bobinado será:

$$V_{trafo} = \frac{20V}{\sqrt{2}} \approx 14.14V \quad (86)$$

Nuestro transformador entonces tendrá que ser de 220V a 15+15 V con punto medio. O utilizar dos transformadores de 220V a 15V.

Calculamos los capacitores:

$$C_1 = C_2 = \frac{I}{2f_{RED}V_{v_{pp}}} \quad (87)$$

La tensión de rizado se calcula como:

$$V_{v_{pp}} = V_{trafo} - V_D - V_{reg} \approx (15\sqrt{2} - 0.8) - 18 = 2.41V \quad (88)$$

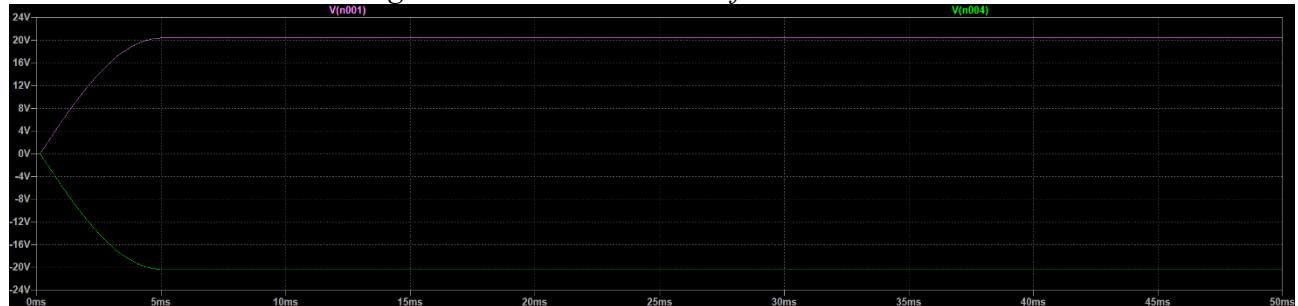
$$C_1 = C_2 \approx 4149.38\mu F \rightarrow 4700\mu F \quad (89)$$

El valor comercial más cercano será 4700μF.

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

5.1.4 Simulación

Figura 5.1.2: Salida del rectificador en vacío



5.1.5 Resumen de la etapa

Figura 5.1.3: VU Meter con IC LM3914N

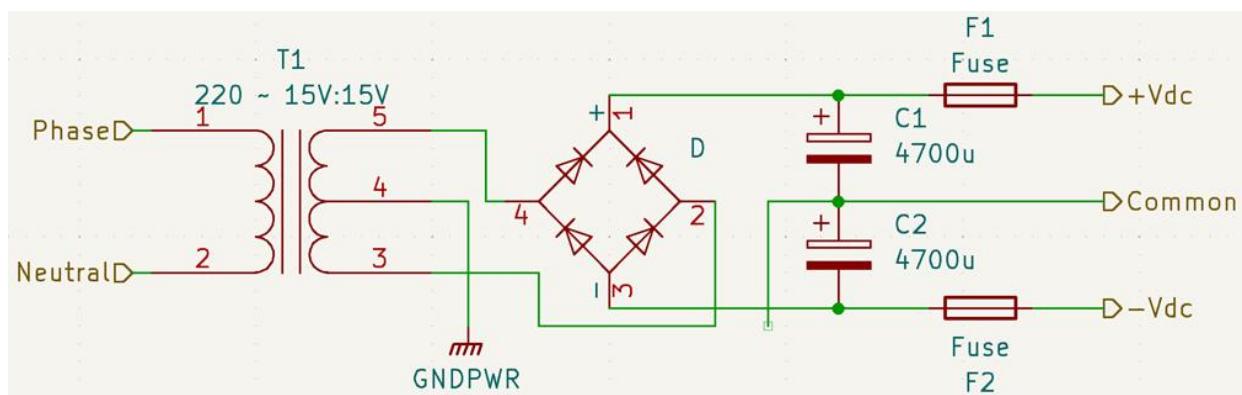


Tabla 10: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
C_1, C_2	$4700 \mu\text{F}$	(89)

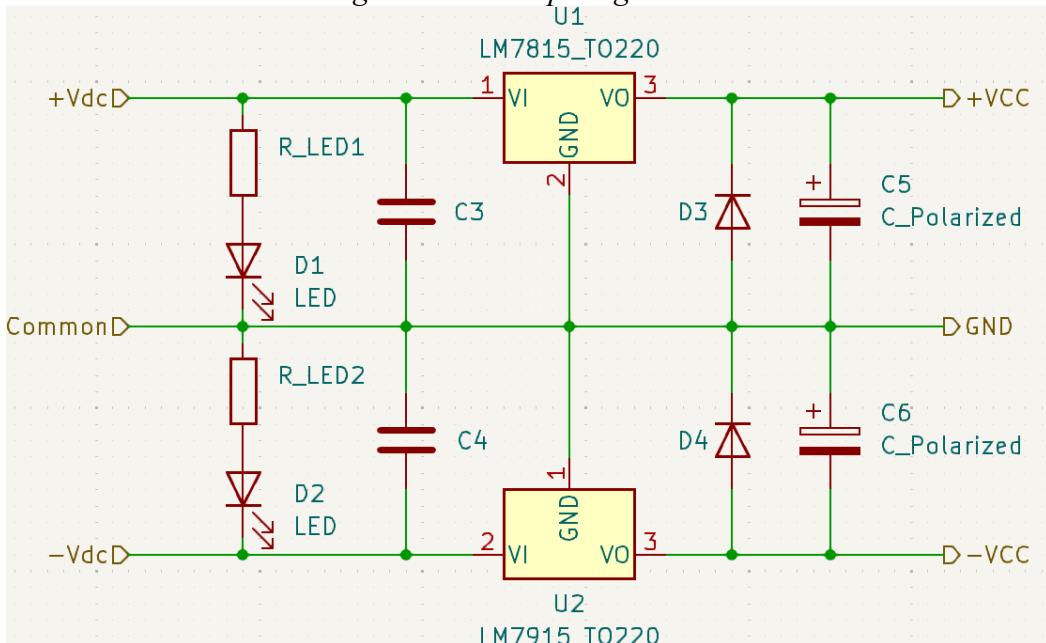
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

5.2 Regulador

5.2.1 Especificaciones

5.2.2 Esquemático

Figura 5.2.1: Etapa reguladora



5.2.3 Cálculo

Para las resistencias de led, tenemos:

$$R_{LED} = \frac{19V - 2V}{20mA} \approx 900\Omega \rightarrow 820\Omega \quad (90)$$

Sabiendo que tenemos que proveer una tensión máxima de $\pm 15V$, y conocemos la corriente en la ecuación (85), podemos calcular la resistencia de carga máxima para la simulación:

$$R_L = \frac{V_{max}}{I_{max}} = \frac{30V}{1A} = 30\Omega \quad (91)$$

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

5.2.4 Simulación

Figura 5.2.2: Tensiones en cada nodo de R_L

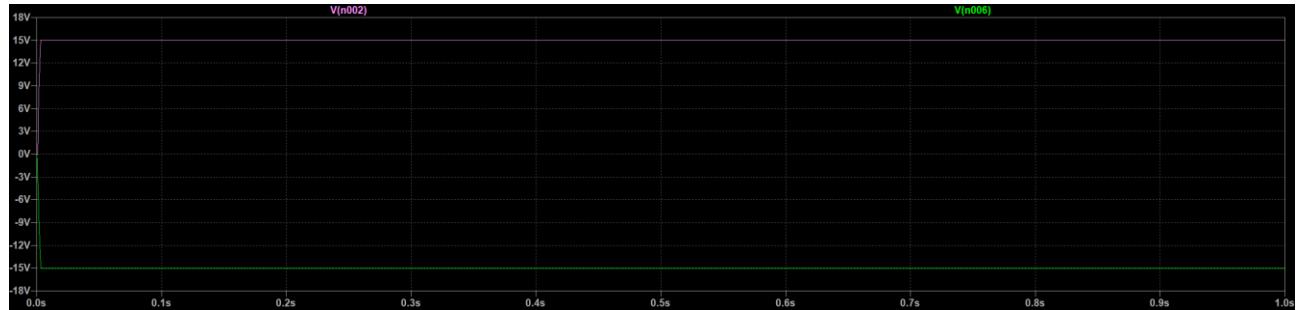


Figura 5.2.3: Tensión V_{R_L}

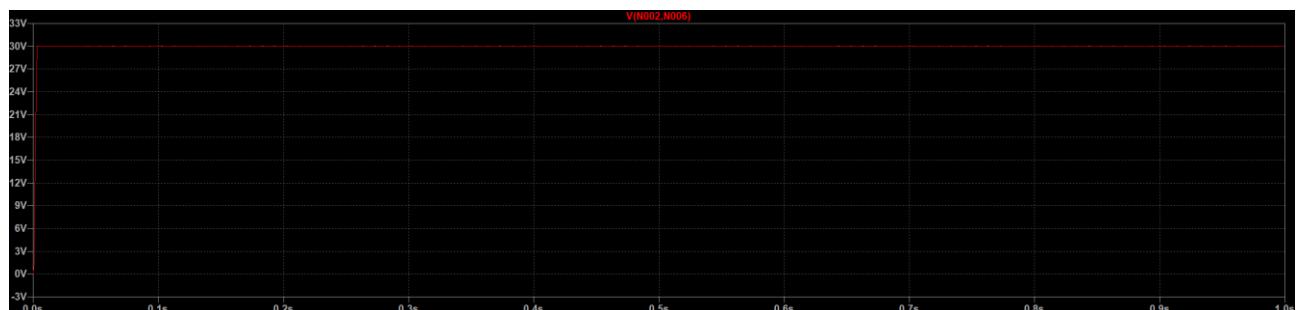


Figura 5.2.4: Corriente I_{R_L}



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

5.2.5 Resumen de la etapa

Figura 5.2.5: Esquemático resultante

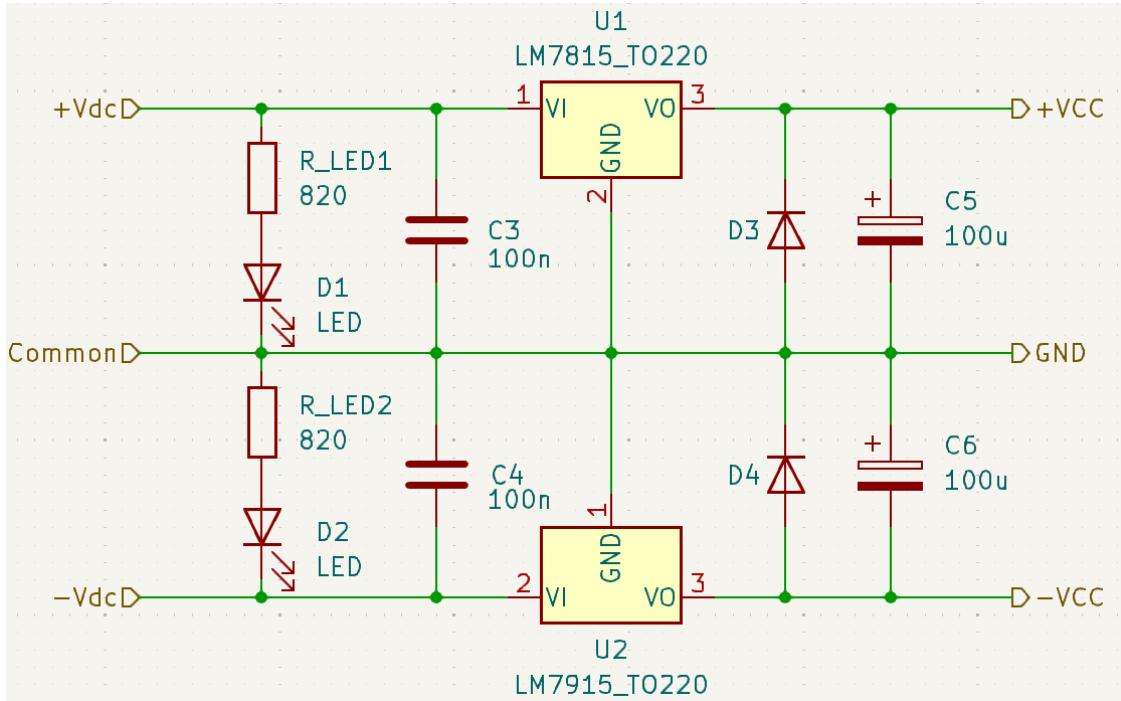


Tabla 11: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R_{LED_1}, R_{LED_2}	820 Ω	(90)
C_3, C_4	100 nF	(41)
C_5, C_6	100 μF	(42)

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

6 Bibliografía y Referencias

- 1980 National Semiconductor Corp. (1980). Audio/Radio Handbook.
- 3 Channel Audio Mixer Circuit.* (s.f.). Obtenido de Electro Schematics:
<https://www.electroschematics.com/3-channel-audio-mixer/>
- ACADENAS. (25 de Febrero de 2020). *Como diseñar fuente de tensión simétrica 12 y -12V con 3A (Clase 91)*. Obtenido de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=Ts09VScBMrs>
- ACADENAS. (4 de Noviembre de 2021). *How the class B and AB power amplifier (Class 57) works*. Obtenido de YouTube: <https://youtu.be/iG-Kr2umHbY>
- Arcortex: electronica. (11 de Noviembre de 2022). *Amplificador clase AB - Análisis conceptual*. Obtenido de YouTube: <https://youtu.be/xcO18-cuovA>
- Baker, D. (28 de Septiembre de 2020). *Controls on a Mixing Desk: An Explanation*. Obtenido de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=UWja2PmL1HQ>
- Behringer XENYX 1622FX User Manual.* (s.f.). Obtenido de manualslib:
<https://www.manualslib.com/manual/454157/Behringer-Xenyx-1622fx.html>
- BJT Current Source.* (2008). Obtenido de eCircuit Center:
https://www.ecircuitcenter.com/Circuits_Audio_Amp/BJT%20Current_Source/BJT_Current_Source.htm
- Design a class AB audio amplifier.* (2020). Obtenido de electronics.stackexchange:
<https://electronics.stackexchange.com/questions/529475/design-a-class-ab-audio-amplifier>
- Differences between Mic, Line, and Instrument level.* (2024). Obtenido de Focusrite:
<https://support.focusrite.com/hc/en-gb/articles/115004171025-Differences-between-Mic-Line-and-Instrument-level>
- Elliott, R. (Septiembre de 1999). *High Quality Audio Mixer*. Obtenido de Elliott Sound Products (ESP): <https://sound-au.com/project30.htm>
- Gupta, S. (14 de Julio de 2020). *Audio Equalizer / Tone Control Circuit with Bass, Treble and MID Frequency Control using Op-Amp*. Obtenido de circuitdigest:
<https://circuitdigest.com/electronic-circuits/audio-equalizer-tone-control-circuit-with-bass-treble-and-mid-frequency-control>
- How to Build an Audio Mixer.* (s.f.). Obtenido de Circuit Basics:
<https://www.circuitbasics.com/what-are-audio-mixers/>
- Kaul, V. (26 de Mayo de 2021). *Line In vs. Mic In (Audio Signals Explained For Dummies)*. Obtenido de Producer Hive: <https://producerhive.com/ask-the-hive/line-in-vs-mic-in/>
- Mixed Signals. (30 de Julio de 2021). *Preamps, Latency, Buffers, Analog to Digital Conversion // Audio Interfaces Part 3*. Obtenido de YouTube:
<https://www.youtube.com/watch?v=6OSLaZVVIFc>
- Mundo Electrónica. (23 de Agosto de 2022). *Aprendiendo desde cero sobre amplificadores clase AB | Teoría, Diseño, Práctica*. Obtenido de YouTube: https://youtu.be/lEq_bKRIazQ
- Nawazi, F. (5 de August de 2022). *Audio Mixer Circuit*. Obtenido de Circuits-diy:
<https://www.circuits-diy.com/audio-mixer-circuit/>
- Non-inverting Operational Amplifier.* (s.f.). Obtenido de Electronics Tutorials:
https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_3.html
- Producer Hive. (12 de Mayo de 2022). *Audio Interface vs Preamp vs Mixer (Key Differences You Must Know)*. Obtenido de Producer Hive: <https://producerhive.com/buyer-guides/audio-interfaces/audio-interface-vs-preamp/>

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

Push-Pull Power Amplifier with Darlington and Sziklai Transistor pairs. (13 de Noviembre de 2023). Obtenido de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=866MYibo8yE>

Ramirez, F. (17 de Junio de 2017). *¿Como operar una consola de sonido?* Obtenido de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=hGGfl6TzgXw>

Sonomarcas. (13 de Agosto de 2021). *Consola Pasiva de 4 Canales, Con Interface + Reproducción de USB y Bluetooth MFX400 AudioPro.* Obtenido de YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=j_ktzWkornU

SRT Amplification. (30 de Agosto de 2020). *BONUS VIDEO: Balanced Inputs and Op Amps.* Obtenido de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=R3Ka8WTCOfQ>

The AudioPhool. (25 de Noviembre de 2021). *Simple DIY Mixer w/ Op-Amps.* Obtenido de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=YCIcnFuRK7w>

The Differential Amplifier. (s.f.). Obtenido de Electronics Tutorials: https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_5.html

Wikipedia. (11 de Diciembre de 2023). *Nivel de línea.* Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Nivel_de_l%C3%ADnea

Xtreme Acoustics. (10 de Enero de 2022). *How to Setup your Xtreme Acoustics XAMXB4 Professional 4 Channel Live Audio Mini Mixer.* Obtenido de YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=H9ldVAt_qsA