

**DEPARTAMENTO ELECTRONICA DE LA FACULTAD REGIONAL MENDOZA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA 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.....	5
1.1	Solución propuesta	5
1.2	Justificación	5
1.3	Objetivos	5
1.4	Alcances y limitaciones	5
1.5	Diagrama de bloques.....	6
2	Pre-Diseño.....	8
2.1	Parámetros y consideraciones técnicas	8
2.1.1	Fuente de alimentación	8
2.1.2	Selección de componentes electrónicos	8
2.1.3	Valores de tensión	8
2.1.4	Ancho de banda:.....	8
2.1.5	Amplificador de potencia.....	9
2.1.6	Detector de picos.....	9
3	Amplificador de Potencia.....	9
3.1	Especificaciones.....	9
3.2	Esquemático	10
3.3	Observaciones	10
3.4	Cálculo	10
3.4.1	Potencia en la carga.....	10
3.4.2	Elección transistores	11
3.4.3	Determinar valores de CC	11
3.4.4	Ánálisis de Corriente Alterna	12
3.4.5	Red Zobel.....	13
3.4.6	Consumo de corriente	13
3.4.7	Eficiencia	13
3.4.8	Simulación	14
3.5	Resumen de la etapa.....	15
4	Mezclador de Audio (Mixer).....	15
4.1	Introducción	15
4.2	Sumador “MASTER”	16
4.2.1	Especificaciones	16
4.2.2	Esquemático	16

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	16
4.2.4	Cálculo del amplificador	16
4.2.5	Respuesta en frecuencia	18
4.2.6	Simulación	19
4.2.7	Resumen de la etapa.....	22
4.3	Atenuador (Fader)	23
4.3.1	Especificaciones	23
4.3.2	Esquemático	23
4.3.3	Observaciones	23
4.3.4	Cálculo	24
4.3.5	Respuesta en frecuencia	24
4.3.6	Simulación	24
4.3.7	Resumen de la etapa.....	25
4.4	Control de Tonos	26
4.4.1	Especificaciones	26
4.4.2	Esquemático	26
4.4.3	Respuesta en frecuencia	27
4.4.4	Simulación	27
4.4.5	Resumen de la etapa.....	29
4.5	Preamplificador de Instrumento (Inst.) + Line + AUX	30
4.5.1	Especificaciones	30
4.5.2	Esquemático	30
4.5.3	Observaciones	30
4.5.4	Cálculo	31
4.5.5	Respuesta en frecuencia	32
4.5.6	Simulación	32
4.5.7	Resumen de la etapa.....	34
4.6	Preamplificador de Micrófono (MIC)	34
4.6.1	Especificaciones	34
4.6.2	Esquemático	35
4.6.3	Observaciones	35
4.6.4	Cálculo	37
4.6.5	Respuesta en frecuencia	38
4.6.6	Simulación	38

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

4.6.7	Resumen de la etapa.....	40
4.7	Adicionales.....	40
4.7.1	Detector de picos de precisión	40
4.7.2	VU Meter (vúmetro)	44
5	Amplificador para auriculares.....	46
5.1	Especificaciones.....	46
5.2	Esquemático	47
5.3	Observaciones	47
5.4	Cálculo	48
5.4.1	Potencia en la carga.....	48
5.4.2	Elección transistores	48
5.4.3	Determinar valores de CC	49
5.4.4	Etapa excitadora	49
5.4.5	Etapa de entrada	50
5.4.6	Red de realimentación.....	50
5.4.7	Ancho de banda.....	51
5.4.8	Sumador	52
5.4.9	Red Zobel	54
5.4.10	Consumo de corriente	54
5.4.11	Eficiencia	54
5.5	Simulación	54
5.6	Resumen de la etapa.....	57
6	Fuente de alimentación regulada.....	58
6.1	Rectificación y Filtrado.....	58
6.1.1	Especificaciones.....	58
6.1.2	Esquemático	58
6.1.3	Cálculo	58
6.1.4	Simulación	60
6.1.5	Resumen de la etapa.....	60
6.2	Regulador	61
6.2.1	Especificaciones.....	61
6.2.2	Esquemático	61
6.2.3	Círculo equivalente reguladores	62
6.2.4	Cálculo	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”

6.2.5	Simulación	64
6.2.6	Resumen de la etapa.....	65
6.3	Regulador sin IC - Simétrico	66
6.3.1	Introducción	66
6.3.2	Cálculo	68
6.3.3	Simulación	70
6.3.4	Resumen de la etapa.....	71
6.4	Regulador sin IC – 8 Volts	71
6.4.1	Introducción	71
6.4.2	Cálculo	71
6.4.3	Simulación	73
6.4.4	Resumen de la etapa.....	73
7	Resultado de proyecto	74
7.1	Esquemático	74
7.2	Simulación	75
7.3	Rendimientos	78
7.3.1	Amplificador clase AB de 3W	78
7.3.2	Amplificador clase AB de 250mW	78
8	Bibliografía y Referencias	79

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 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.

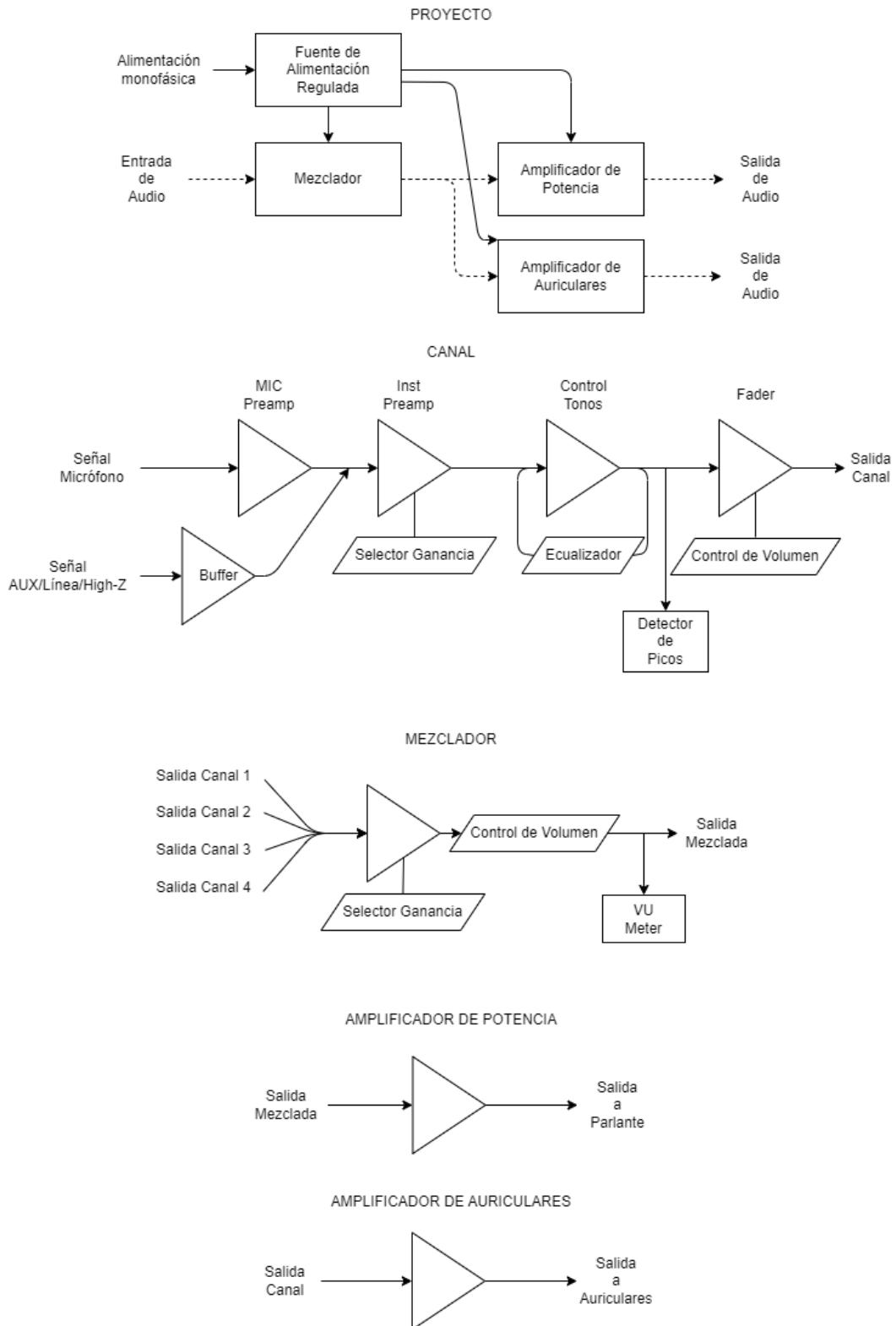
El mezclador deberá ser capaz de manejar entradas de micrófono balanceados, instrumentos musicales y entradas de audio auxiliares (computadoras, celulares, reproductores, etc.). Para este informe y simulación, se realizará el diseño de un canal completo, es decir, con entradas de micrófono, instrumentos, 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

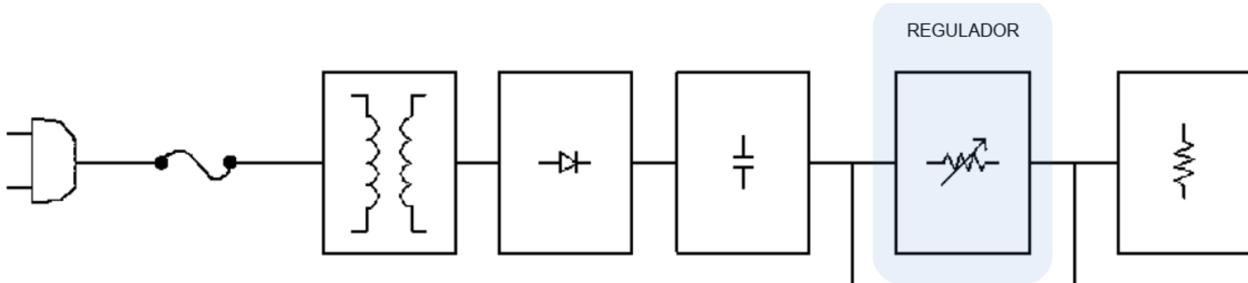


Figura 1.5.3: Diagrama de bloques en KiCad

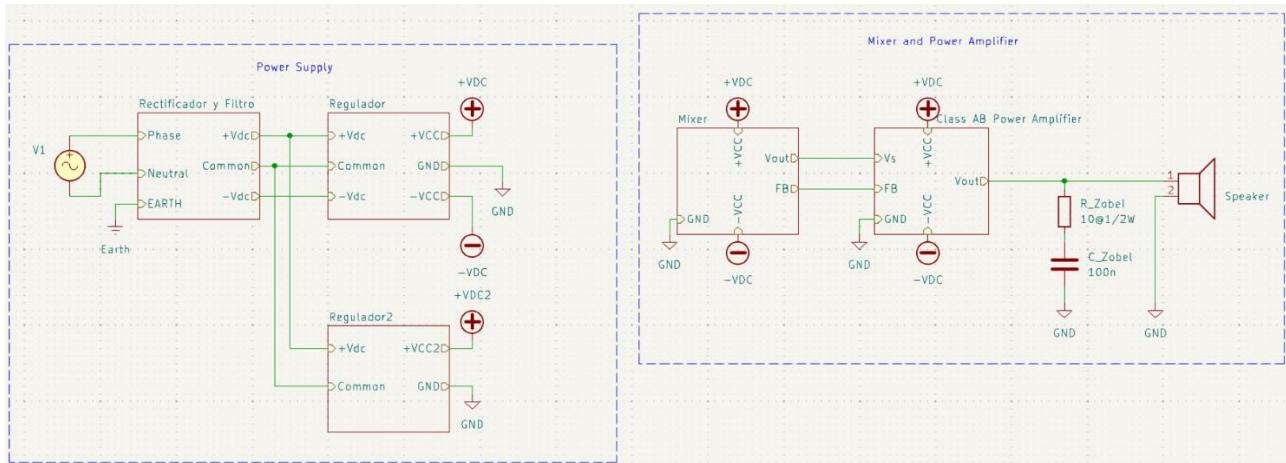
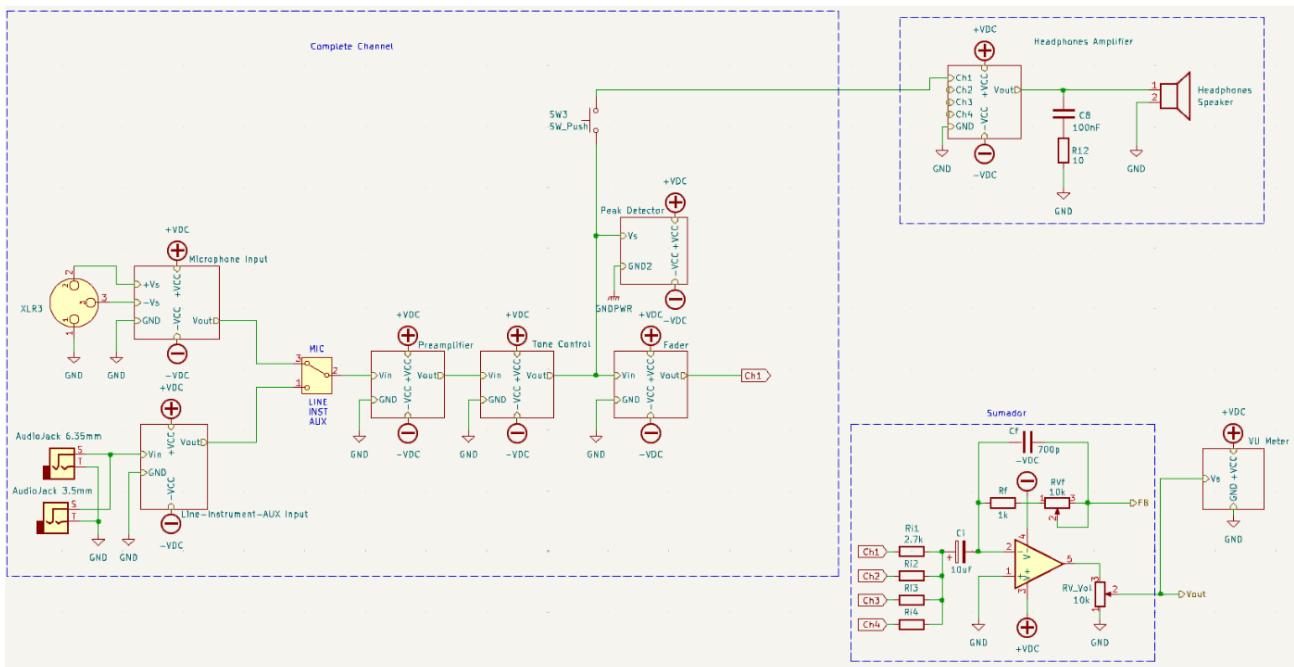


Figura 1.5.4: Diagrama de bloques Canal-Sumador-Amp. Auriculares



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 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.

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 -30 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 (spectro 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 para los cálculos así trabajamos con un margen de error.

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

2.1.5 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:

$$Z_i \ll R_S$$

$$Z_o = R_L$$

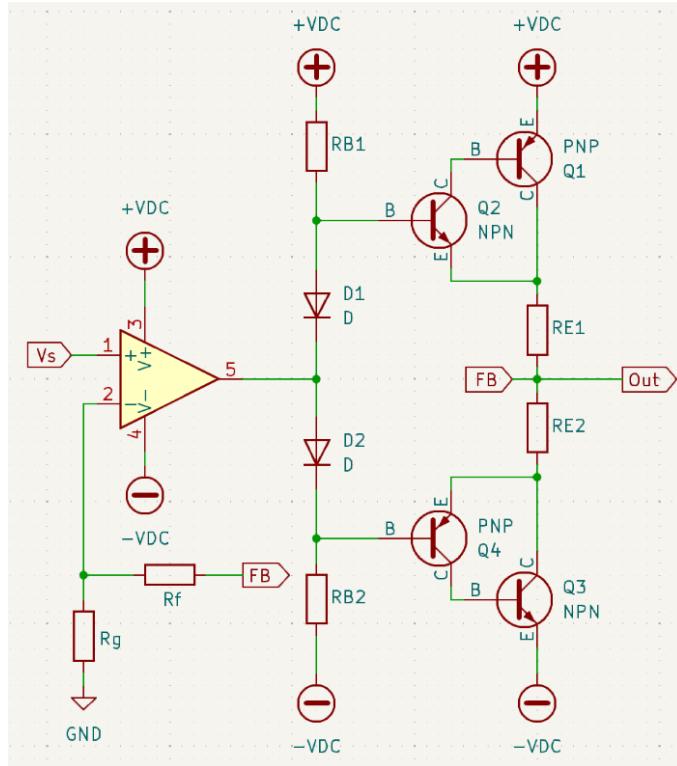
Los amplificadores Clase AB son uno de los diseños de amplificador de audio más preferidos debido a su combinación de eficiencia y alta calidad ya que tienen baja distorsión cruzada y alta linealidad. Si bien la eficiencia de estos amplificadores es menor que un amplificador clase B, evitamos la distorsión por cruces por cero.

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

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.

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

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

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

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

Luego, determinamos las resistencias para el embalamiento térmico suelen tener un valor bajo:

$$0.05 R_L \leq R_{E1} \leq 0.1 R_L \quad (4)$$

Un valor común dentro de estos parámetros es:

$$R_{E1} = R_{E2} = R_E = 0.33\Omega \quad (5)$$

3.4.2 Elección transistores

Elegimos los transistores para tener una guía de parámetros.

- Q1: **TIP32**
 - $h_{FE_{min}} = 25$
 - $V_{CE(sat)} = 1.2V$
 - Valores máximos:
 - $V_{CE} = 40V$
 - $I_C = 3A$
- Q2: **2N3904**
 - $h_{FE_{min}} = 100$
 - Valores máximos:
 - $V_{CE} = 40V$
 - $I_C = 200mA$
- Q3: **TIP31**
 - $h_{FE_{min}} = 25$
 - $V_{CE(sat)} = 1.2V$
 - Valores máximos:
 - $V_{CE} = 40V$
 - $I_C = 3A$
- Q4: **2N3906**
 - $h_{FE_{min}} = 100$
 - Valores máximos:
 - $V_{CE} = 40V$
 - $I_C = 200mA$

3.4.3 Determinar valores de CC

Con esta información, podemos determinar el valor de tensión de la fuente, donde debe cumplirse que $V_{cc} \geq V_{L_max}$, debido a que V_{cc} es el máximo nivel de desviación en la carga. Considerando las caídas de tensión en los transistores y resistores,

$$V_{cc} = 2 (V_o + I_{L_max_p} * R_{E1} + V_{CE(sat)}) \quad (6)$$

$$V_{cc} = 2 (6.93V + 0.87A * 0.33\Omega + 1.2V) \approx 16.83V \quad (7)$$

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 practicidad, la fuente de alimentación será simétrica, resultando entonces en

$$|V_{cc}| \approx 8.42V \quad (8)$$

Dejando un margen del 10% y aproximando a un valor de salida de reguladores de tensión comerciales como el 7812 y 7912,

$$V_{cc}^+ \approx 12V \wedge V_{cc}^- = -12V \quad (9)$$

Que se encuentra dentro de los parámetros de operación recomendados por los fabricantes de los amplificadores operacionales (NE5532).

3.4.4 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.

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,

$$I_{L_p} = I_{E1} \approx 0.87A \quad (10)$$

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

$$\beta_{Sziklai} = \beta_{Q1} \cdot \beta_{Q2} + \beta_{Q1} \quad (11)$$

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

$$\beta_{Sziklai} = 25 * 100 + 25 = 2525 \quad (12)$$

Por lo tanto,

$$I_{B1} = \frac{I_{E1}}{\beta_{Sziklai}} = \frac{0.87A}{2525} \approx 344.55\mu A \quad (13)$$

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

$$I_{Bias} = I_{B1} + I_D = 344.55\mu A + 1mA \approx 1.34mA \quad (14)$$

Debemos ahora calcular la tensión en la base:

$$V_D = V_{L_p} - V_{RE1} - V_{Sziklai} \quad (15)$$

$$V_D = 6.93V - (0.87A \cdot 0.33\Omega) - 0.7V = 5.94V \quad (16)$$

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

$$R_{B1} = \frac{V_{CC} - V_D}{I_{Bias}} \quad (17)$$

$$R_{B1} = \frac{12V - 5.94V}{1.34mA} \approx 4522\Omega \rightarrow 4.7k\Omega \quad (18)$$

De manera análoga para el par Sziklai inferior:

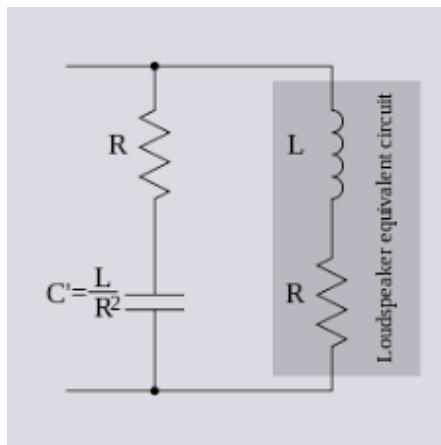
$$R_{B2} = R_{B1} = 4.7k\Omega \quad (19)$$

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

3.4.5 Red Zobel

Debido a que un parlante (o Speaker) no es un componente únicamente resistivo, añadir una red para adaptar impedancias, ya que, ante la variación de frecuencias, la impedancia de carga varía. Por lo tanto, podemos añadir una red RC paralela al modelo de la carga como muestra la Figura 3.4.1.

Figura 3.4.1: Red Zobel



Esta red varía según la impedancia, aunque como este proyecto es de propósito general tomaremos los siguientes datos para el diseño:

$$R_L = 8\Omega, \quad L = 99mH$$

Podemos realizar los cálculos correspondientes:

$$R_Z \approx R_L \rightarrow R_Z = 10\Omega \quad (20)$$

$$C_Z = \frac{L}{R_Z} \approx 100nF \quad (21)$$

3.4.6 Consumo de corriente

Calculamos las corrientes que provienen de la fuente de alimentación (despreciamos la corriente consumida por el amplificador operacional):

$$I_o = I_{L_{max}} = 0.87A \quad (22)$$

De (14) obtenemos el valor de I_{Bias} , y por lo tanto la corriente total de la fuente de alimentación para esta etapa es

$$I_{dc} = \frac{I_o}{\pi} + I_{Bias} = \frac{870mA}{\pi} + 1.34mA = 278.27mA \quad (23)$$

3.4.7 Eficiencia

Con las corrientes ya calculadas, podemos obtener la potencia entregada por la fuente como

$$P_{cc} = 24V * 278.27mA = 6.67W \quad (24)$$

Por lo tanto, la eficiencia calculada es del

$$\eta = \frac{P_o}{P_{cc}} \times 100 = \frac{3W}{6.68W} \times 100 = 45\% \quad (25)$$

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

3.4.8 Simulación

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

Figura 3.4.2

Amplificador clase AB: Respuesta en el tiempo

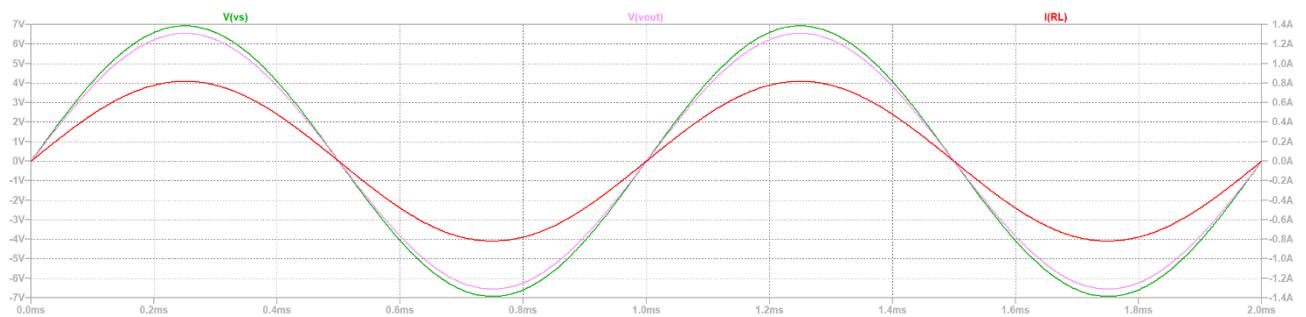


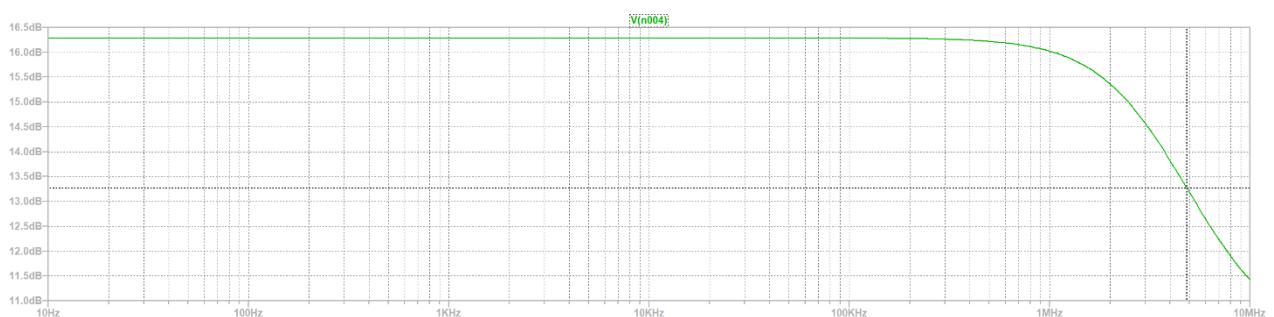
Tabla 1: Resultados simulación

$$v_{sp} = 6.93V$$

Señal	Calculado	Simulado	Error relativo
$v_{op}[V]$	6.93	6.54	-5.63%
$i_{op}[A]$	0.87	0.82	-5.75%
A_v	1	0.94	-6%

Figura 3.4.3

Amplificador clase AB: Respuesta en frecuencia



El resultado muestra un ancho de banda de aproximadamente 4.82MHz.

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

3.5 Resumen de la etapa

Figura 3.5.1: Esquemático resultante

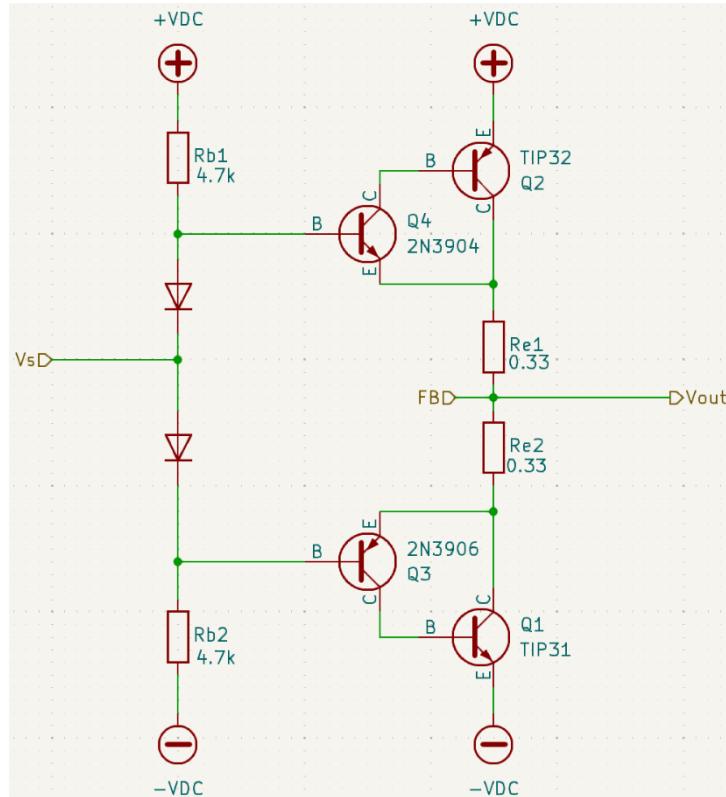


Tabla 2: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R_{e1}, R_{e2}	0.33Ω	(5)
R_{b1}, R_{b2}	$4.7 \text{ k}\Omega$	(18)(19)

4 Mezclador de Audio (Mixer)

4.1 Introducción

Esta etapa es la encargada de suministrar el nivel de tensión necesario en la carga, y tiene como principal objetivo realizar la adición de las señales de cada canal. Para determinar la entrada, podemos establecer, por criterio, el valor de tensión de línea.

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 Sumador “MASTER”

4.2.1 Especificaciones

La magnitud de la señal de salida será

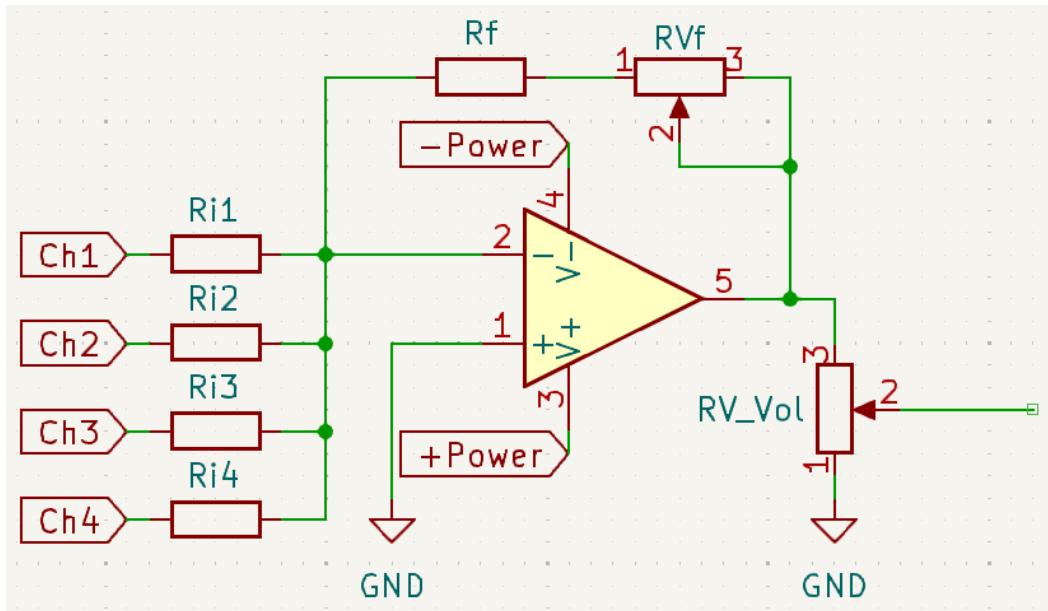
$$v_o = V_L = 4.9V$$

Si bien veremos que, en la etapa del atenuador (“fader”), se le puede dar un pequeño “boost” a la señal, tomaremos, por criterio, una tensión máxima de entrada en nivel de línea, es decir, una tensión con valor RMS de

$$v_i = 1.228V$$

4.2.2 Esquemático

Figura 4.2.1: Etapa sumador



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.

4.2.4 Cálculo del amplificador

De las especificaciones, sabemos que

$$V_{L_{RMS}} = 4.9V \quad (26)$$

$$v_s = 1.228V_{RMS} \quad (27)$$

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

Sin embargo, debemos recordar que las señales de cada canal se adicionan, por lo que, para evitar una tensión superior a la deseada para $V_{L_{RMS}}$, deberemos distribuir la tensión máxima de entrada por canal:

$$v_{i_{sumador}} = \frac{v_s}{\text{Número Canales}} \quad (28)$$

Es decir, que cada canal tendrá una tensión de salida de

$$v_{o_{canal}} = v_{i_{sumador}} = 0.307V_{RMS} \quad (29)$$

Esta tensión, la volveremos a utilizar en el diseño del preamplificador.

Debemos recordar que la etapa amplificadora no posee una ganancia de tensión unitaria, como lo vimos en las simulaciones Figura 3.4.2. De todas formas, observaremos lo que ocurre al incluir la red de realimentación a la salida. Si esto no mejora en la simulación, se deberá calcular una ganancia de compensación.

Silenciando todos los canales, para un canal, la ganancia de sumador será

$$|G| = \frac{v_o}{\text{Número Canales} \cdot v_{s_{ch1}}} \quad (30)$$

Nuestra ganancia será entonces:

$$|G| = \frac{4.9V_{RMS}}{4 * 0.307V_{RMS}} \approx 3.99 \rightarrow G_{dB} \approx 12dB \quad (31)$$

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

$$-10dB \leq |G_{dB}| \leq 12 dB \rightarrow 0.316 \leq |G| \leq 3.99 \quad (32)$$

Debido a que las impedancias de salida de los canales no serán muy altas, podemos establecer resistencias de entrada de un valor relativamente bajo (para disminuir ruido térmico). Esto a su vez, limita el valor del potenciómetro, el cual tiene una relación proporcional (aumentar el potenciómetro, implica aumentar las resistencias de entrada).

Sabiendo que:

$$v_o = -(R_f + R_{Vf}) \left(\frac{V_{ch1}}{R_{i1}} + \frac{V_{ch2}}{R_{i2}} + \frac{V_{ch3}}{R_{i3}} + \frac{V_{ch4}}{R_{i4}} \right) \quad (33)$$

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

$$G = -\frac{R_f + R_{Vf}}{R_i} \quad (34)$$

Tenemos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} -\frac{R_f + R_{Vf}}{R_i} = -3.99 \\ -\frac{R_f}{R_i} = -0.316 \end{cases} \quad (35)$$

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

Reescribimos:

$$\begin{cases} R_f - 3.99R_i = -R_{Vf} \\ R_f - 0.316R_i = 0 \end{cases} \quad (36)$$

Elegimos un valor conveniente para R_{Vf} :

$$R_{Vf} = 10k\Omega \quad (37)$$

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

$$R_f \approx 860\Omega \rightarrow 1k\Omega \quad (38)$$

$$R_i \approx 2722\Omega \rightarrow 2.7k\Omega \quad (39)$$

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

$$0.29 \leq |G| \leq 4.22 \quad (40)$$

$$-10.75dB \leq G_{dB} \leq 12.51dB \quad (41)$$

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

$$R_{Vvol} = 10k\Omega \quad (42)$$

4.2.5 Respuesta en frecuencia

Podemos agregar capacitores para restringir el ancho de banda.

Para el capacitor de acople:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi R f_c} \quad (43)$$

$$C_i = \frac{1}{2\pi * 2.7k\Omega * 20Hz} \geq 2.95\mu F \rightarrow 10\mu F \quad (44)$$

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

$$C_f = \frac{1}{2\pi * (1k + 10k)\Omega * 20kHz} \approx 723pF \rightarrow 700pF \quad (45)$$

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

4.2.6 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 $0.307V_{RMS}$.

Figura 4.2.2

Sumador: Respuesta en el tiempo – Variación RV_f

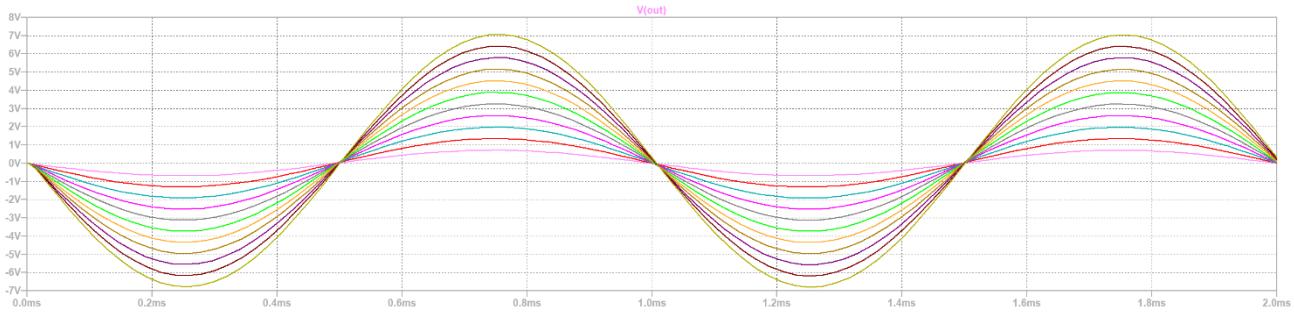


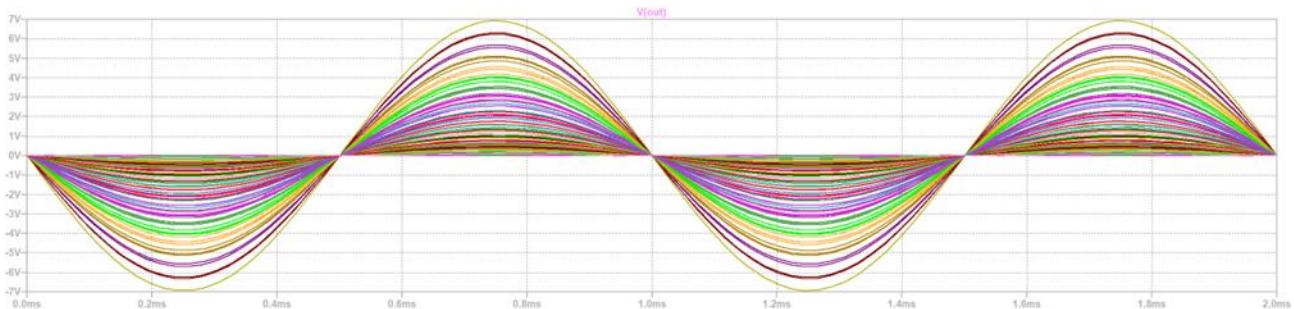
Tabla 3: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error relativo
$v_{o_{max}}[V]$	6.93	7.05	1.73%
$v_{o_{min}}[mV]$	548.78	714.71	30.24%
G_{max}	3.99	4.05	1.50%
G_{min}	0.316	0.41	29.75%

Si bien es llamativo el error en la salida mínima deseada, es un valor aceptable ya que tenemos la posibilidad de variar el potenciómetro de volumen.

Figura 4.2.3

Sumador: Respuesta en el tiempo – Variación ambos potenciómetros



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

Sumador: Respuesta en frecuencia – Máxima ganancia

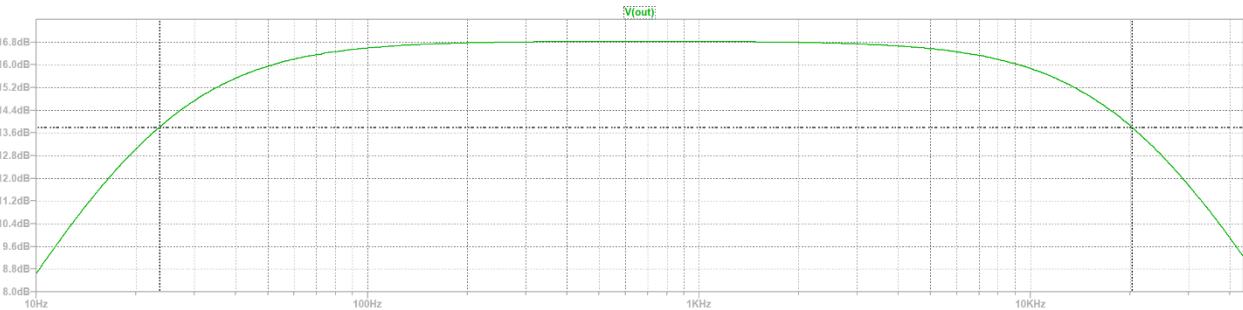


Tabla 4: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error
$f_{min}[\text{Hz}]$	20	23.51	17.55%
$f_{max}[\text{kHz}]$	20	20.23	1.15%

También simulamos esta etapa (el sumador) con el Amplificador de Potencia.

Figura 4.2.5

Sumador & Amp. Pot.: Respuesta en el tiempo – Variación RV_f

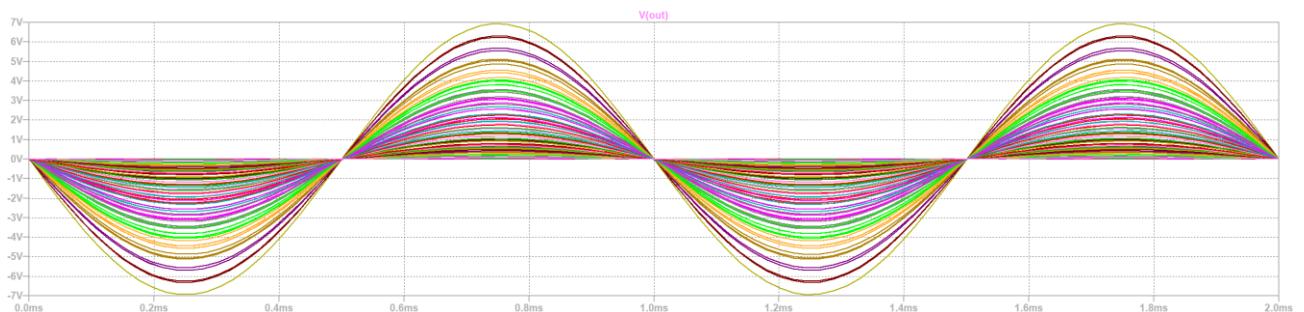


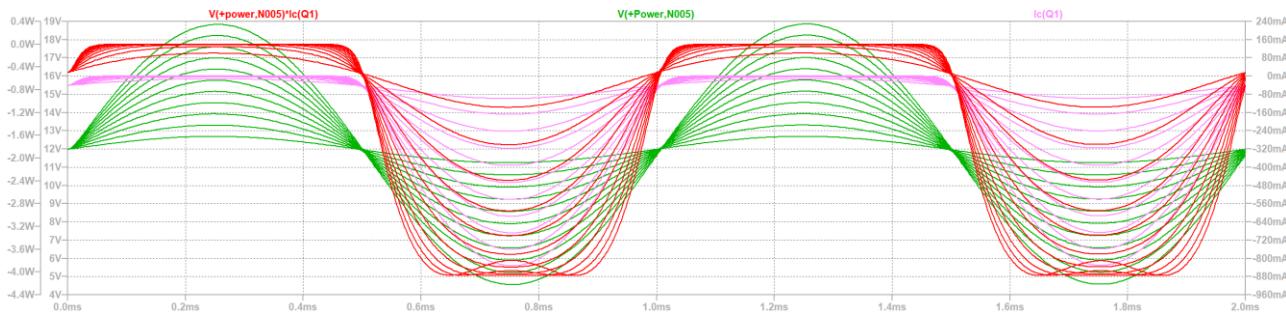
Tabla 5: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error
$v_{o_{max}}[\text{V}]$	6.93	7.14	3.03%
$v_{o_{min}}[\text{mV}]$	548.78	721.27	31.43%
$i_{o_{max}}[\text{mA}]$	870	893.51	2.70%
$P_L[\text{W}]_{RMS}$	3	3.19	6.33%

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

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

Sumador & Amp. Pot.: Respuesta en el tiempo – Variación RV_f



Vemos que los valores máximos que deberán soportar los pares de transistores son:

$$V_{CE} = 18.86V, \quad I_E = 832.52mA, \quad P = 4W$$

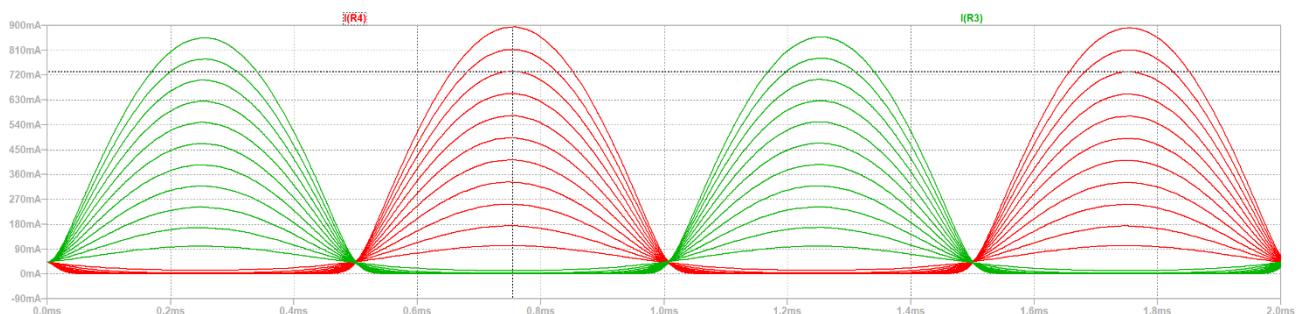
Colaborando con la hoja de base de datos, vemos que no será necesario realizar cálculos de disipación de temperatura, y los valores de tensión y corriente son aptas para el dispositivo.

Figura 4.2.6: Referencia a hoja de datos transistor de potencia

Characteristic	Symbol	TIP31 TIP32	TIP31A TIP32A	TIP31B TIP32B	TIP31C TIP32C	Unit
Collector-Emitter Voltage	V _{CEO}	40	60	80	100	V
Collector-Base Voltage	V _{CBO}	40	60	80	100	V
Emitter-Base Voltage	V _{EBO}			5.0		V
Collector Current - Continuous - Peak	I _C			3.0 5.0		A
Base Current	I _B			1.0		A
Total Power Dissipation@T _c = 25°C Derate above 25°C	P _D			40 0.32		W W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T _{J,T_{STG}}			-65 to +150		°C

Figura 4.2.7

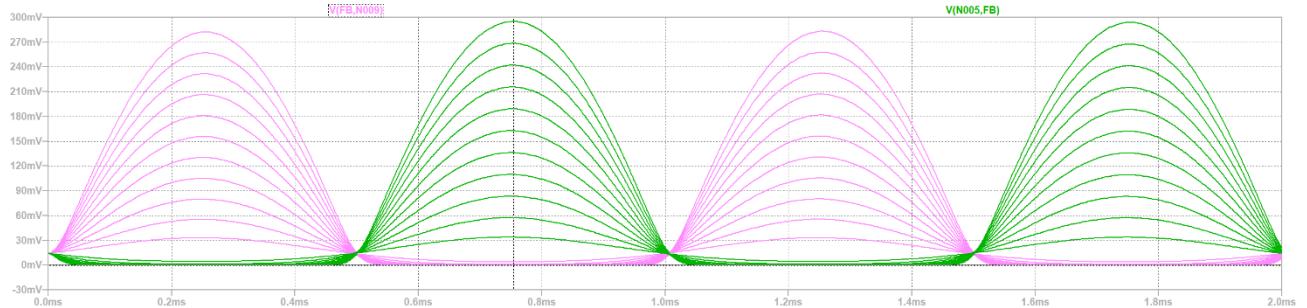
Sumador & Amp. Pot.: Corriente en resistencias RE1 y RE2



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

Sumador & Amp. Pot.: Tensiones sobre RE1 y RE2



4.2.7 Resumen de la etapa

Figura 4.2.9: Esquemático resultante

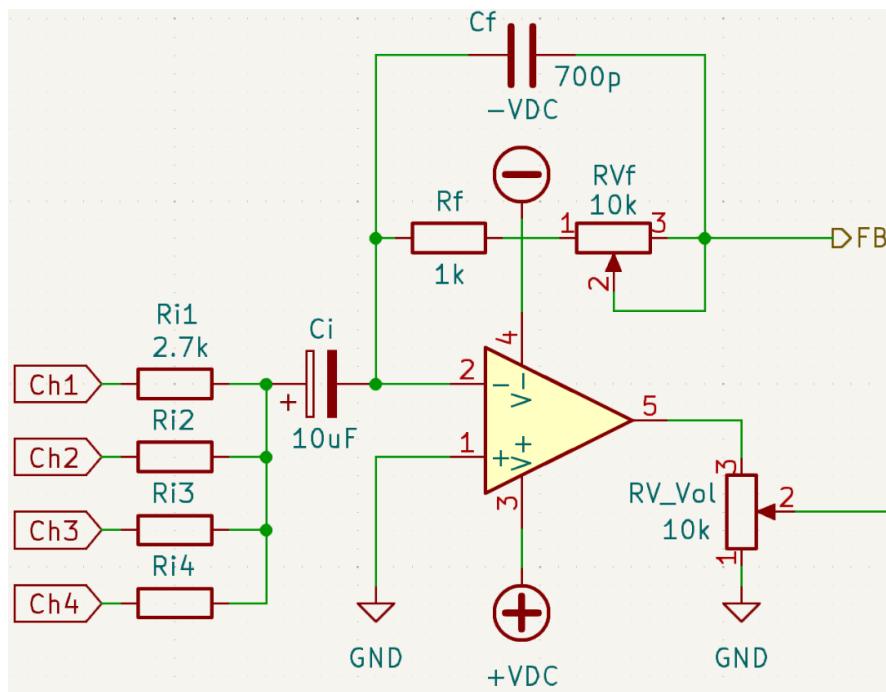


Tabla 6: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
$R_{i1}, R_{i2}, R_{i3}, R_{i4}$	2.7 kΩ	(39)
R_f	1 kΩ	(38)
RV_f, RV_{Vol}	10 kΩ	(37)(42)
C_i	10 μF	(44)
C_f	700 pF	(45)

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

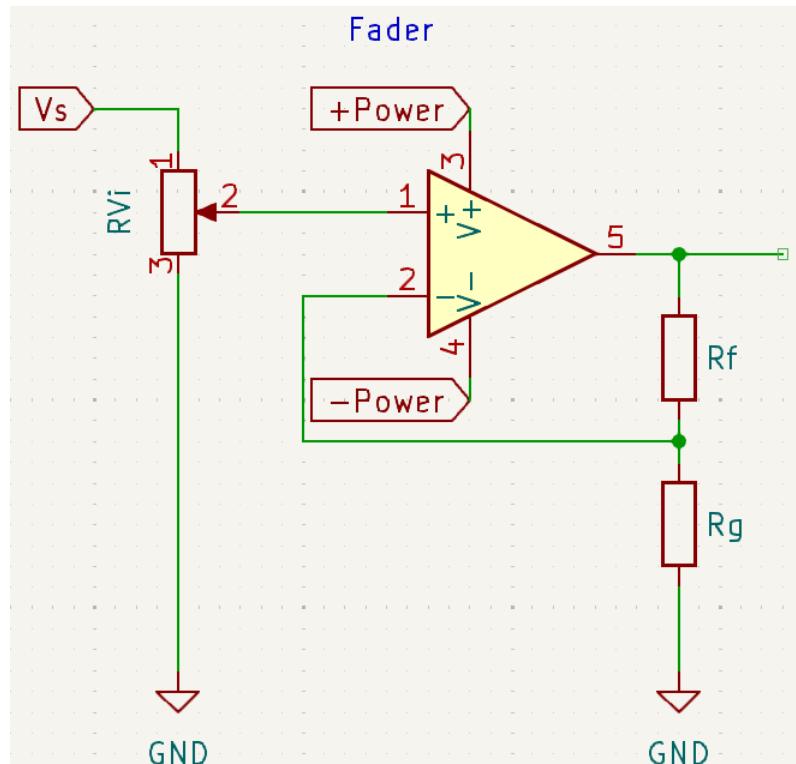
4.3 Atenuador (Fader)

4.3.1 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 atenuan, sino que incluso tienen una pequeña ganancia o “boost”. Esto se logra cuando la resistencia variable, es la entrada del circuito.

4.3.2 Esquemático

Figura 4.3.1: Atenuador



4.3.3 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.

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

4.3.4 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.

$$R_{Vi} = 10k\Omega \quad (46)$$

$$R_g = 820\Omega \quad (47)$$

$$R_f \ll R_g \Rightarrow R_f \approx 0.1R_g = 82\Omega \quad (48)$$

De esta forma, se consigue que la ganancia sea lo más cercana a la unidad posible

$$A_v = 1 + \frac{82\Omega}{820\Omega} = 1.1 \quad (49)$$

y modificar la amplitud de la señal controlando el volumen:

$$0V \leq v_o \leq 2v_i \quad (50)$$

4.3.5 Respuesta en frecuencia

4.3.6 Simulación

Realizamos en la simulación con $v_i = 0.307V_{RMS}$ y a variación del potenciómetro desde el 0% hasta el 100%, obteniendo así, todos los posibles valores:

Figura 4.3.2

Atenuador: Respuesta en el tiempo – Variación RV_i

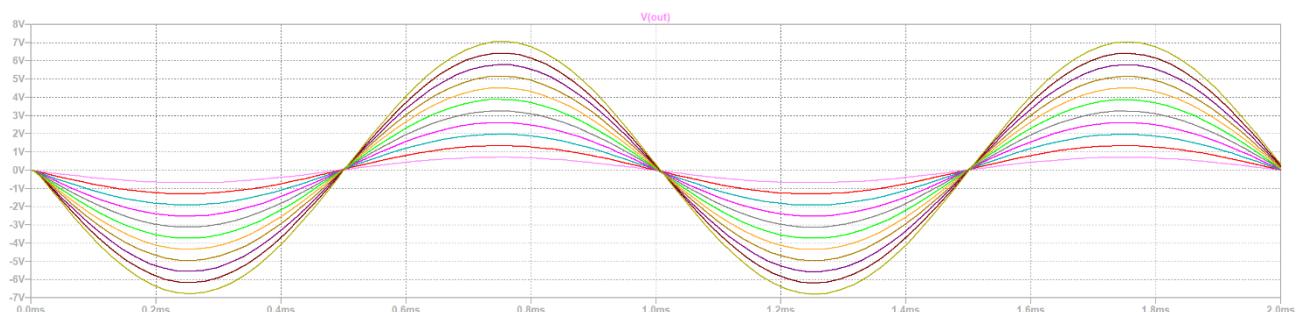


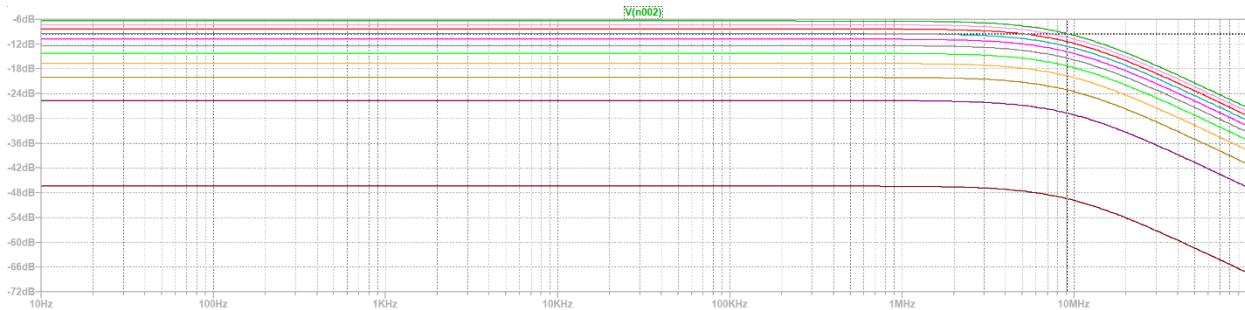
Tabla 7: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error relativo
$v_{o_{max}}[mV]$	477.58	476.78	-0.17%
$v_{o_{min}}[mV]$	0	4.73	-
G_{max}	1.100	1.098	-0.18%

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

Figura 4.3.3

Atenuador: Respuesta en frecuencia



El resultado muestra un ancho de banda de aproximadamente 9.074MHz.

4.3.7 Resumen de la etapa

Figura 4.3.4: Esquemático resultante

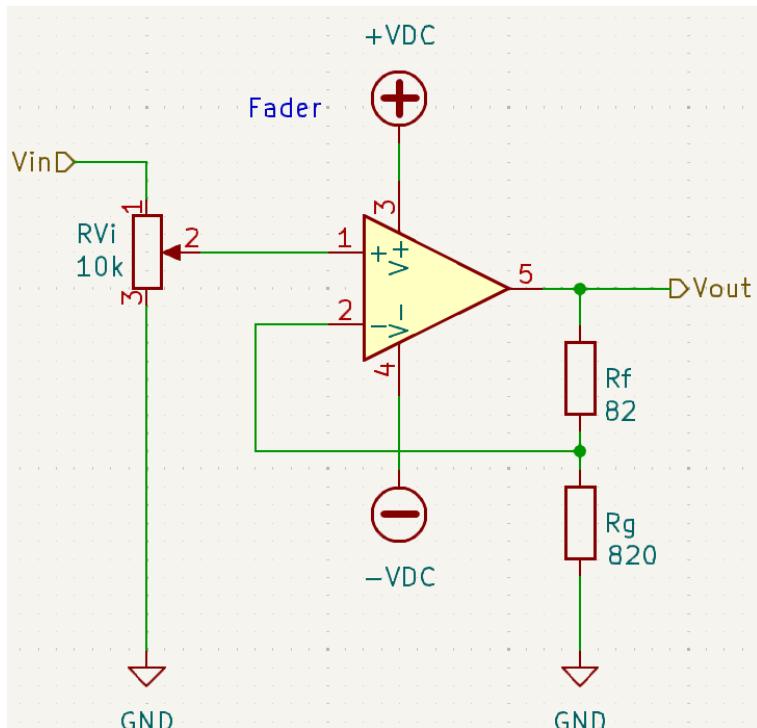


Tabla 8: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
RV_i	$10 \text{ k}\Omega$	(46)
R_g	820Ω	(47)
R_f	82Ω	(48)

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 Control de Tonos

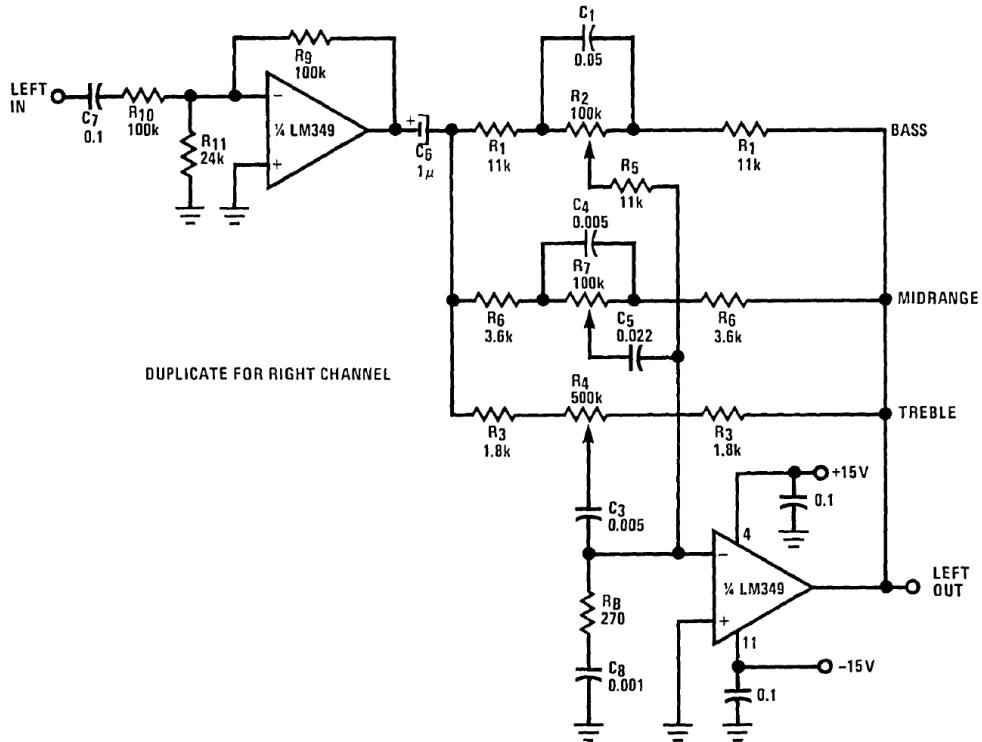
El control de tonos es una etapa donde buscamos dividir el ancho de banda del canal en tres principales bandas: Altos, medios y bajos. El diseño fue extraído de un libro (1980 National Semiconductor Corp., 1980), ya que el ajuste de esta etapa se realiza por medio de experimentación. Las curvas de la Figura 4.4.2 muestran el resultado obtenido.

4.4.1 Especificaciones

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

4.4.2 Esquemático

Figura 4.4.1: Circuito control de tonos



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

4.4.3 Respuesta en frecuencia

Respuesta prometida en la fuente del circuito es:

Figura 4.4.2: Respuesta en frecuencia

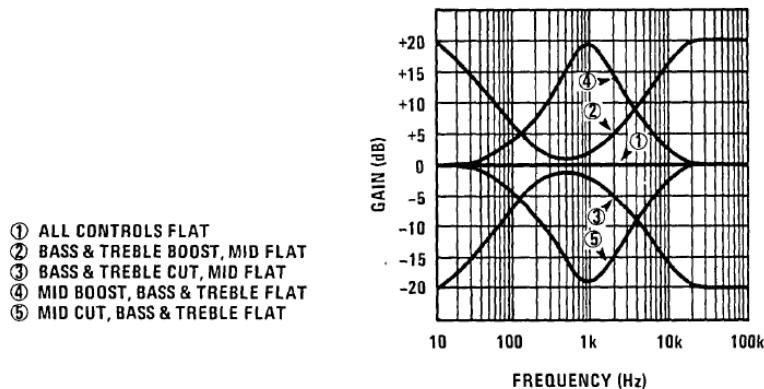


FIGURE 2.14.18 Three Band Active Tone Control (Bass, Midrange & Treble)

4.4.4 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 4.4.3

Control de tonos: Bajos

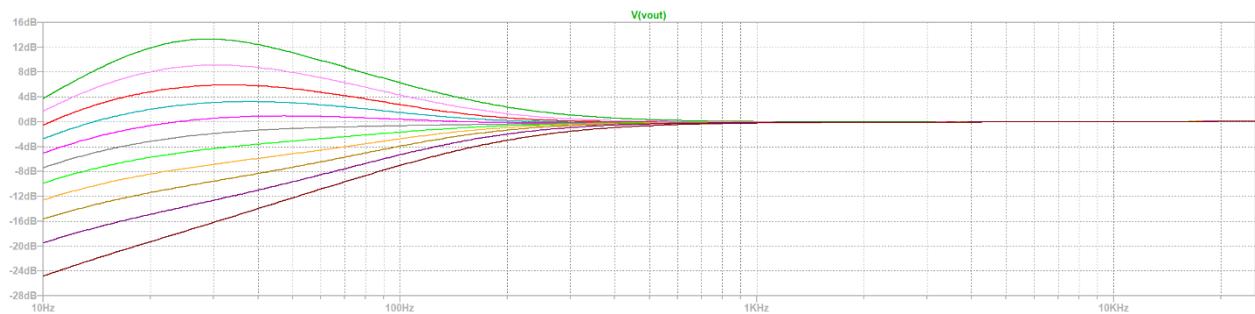
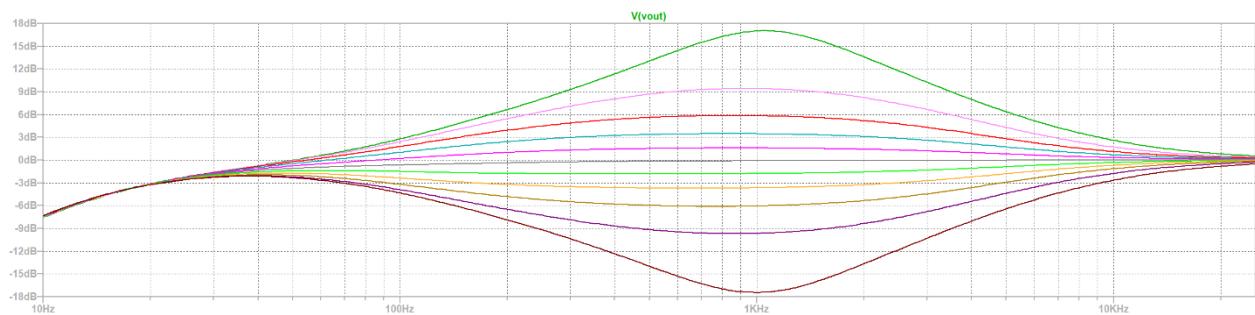


Figura 4.4.4

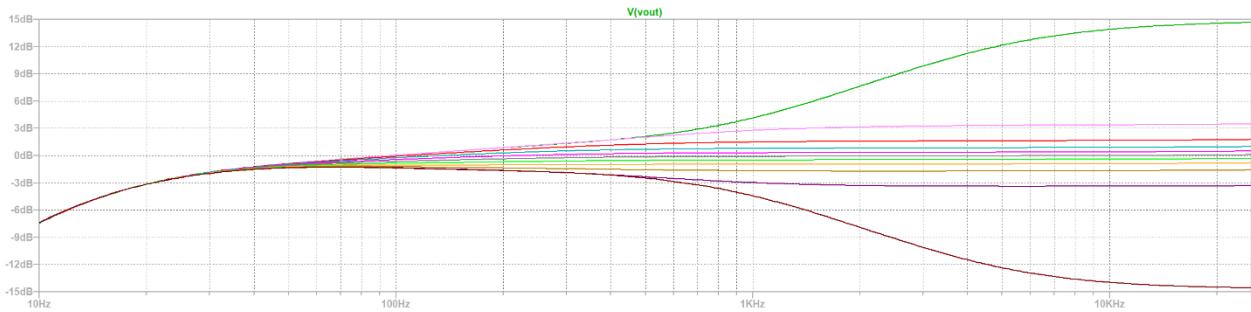
Control de tonos: Medios



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 4.4.5

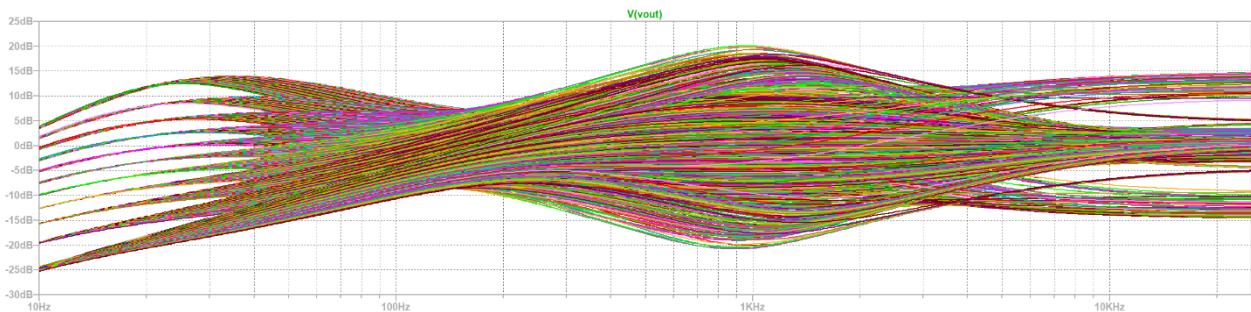
Control de tonos: Altos



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

Figura 4.4.6

Control de tonos: 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”

4.4.5 Resumen de la etapa

Figura 4.4.7: Esquemático resultante

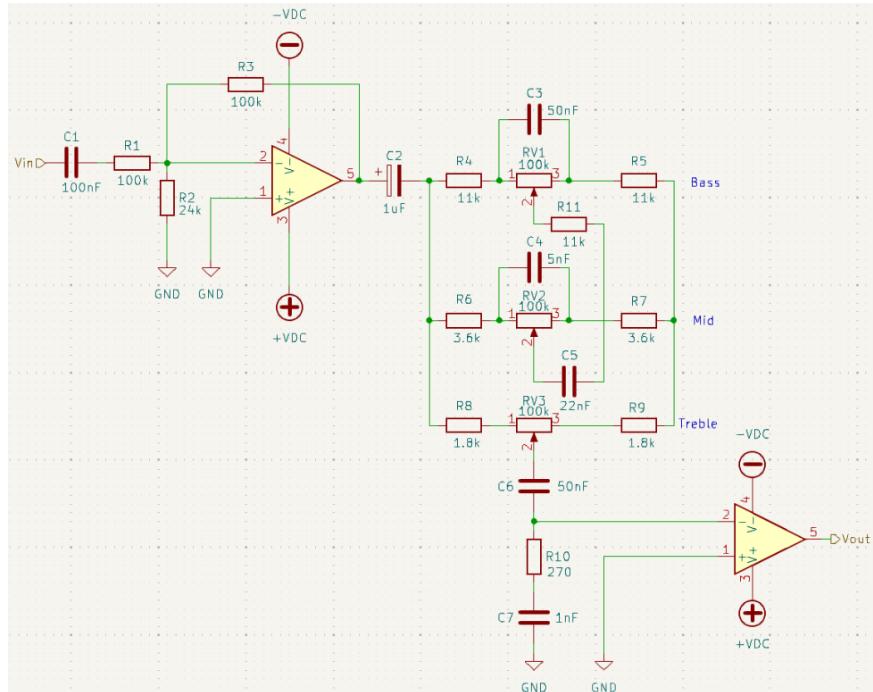


Tabla 9: Componentes de la etapa

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

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 Preamplificador de Instrumento (Inst.) + Line + AUX

4.5.1 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:

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

es decir,

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

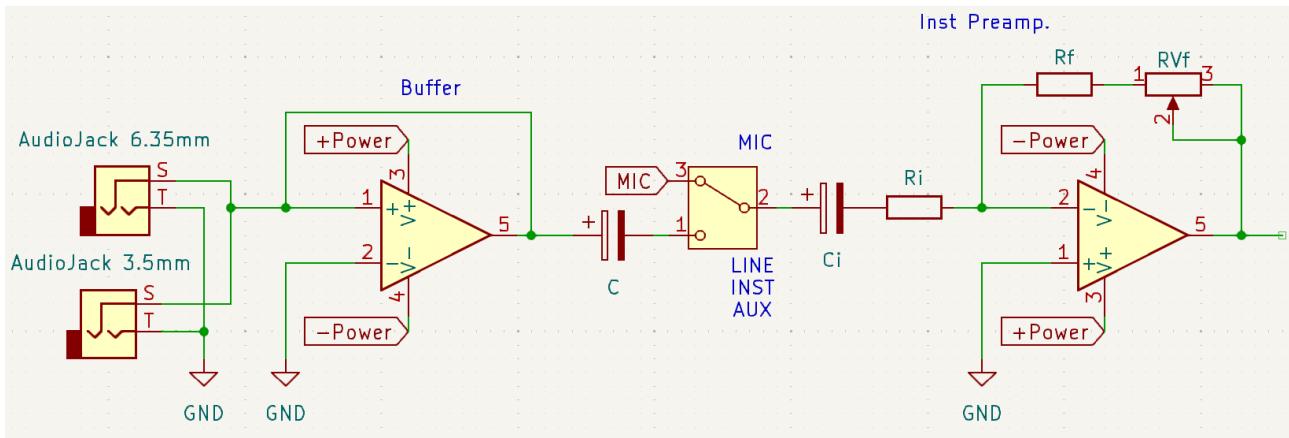
$$34.65 \text{ mV} \leq v_{s_p} \leq 346.6 \text{ mV}$$

Impedancia de señal:

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

4.5.2 Esquemático

Figura 4.5.1: Etapa de entrada y preamplificador



4.5.3 Observaciones

Como se mencionó anteriormente, el buffer (seguidor de voltaje) 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.

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

4.5.4 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.

$$R_i = 1k\Omega \quad (51)$$

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:

$$v_s = -30dBu \rightarrow v_s = 24.5mV \rightarrow v_{s_p} = 34.65mV \quad (52)$$

Recordando la ecuación (29), nuestra tensión de salida objetivo será

$$v_o = 0.307V_{RMS} \rightarrow v_{o_p} \approx 434.16mV \rightarrow v_o \approx -8dBu \quad (53)$$

Por lo tanto:

$$|G| \approx 12.53 \rightarrow |G_{dB}| = 21.96dB \quad (54)$$

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:

$$-20dB \leq |G_{dB}| \leq +22dB \quad (55)$$

Para nuestro preamplificador:

$$G = -\frac{R_f + R_{Vf}}{R_i} \quad (56)$$

$$\begin{cases} R_f - 12.59R_i = -R_{Vf} \\ R_f - 0.1R_i = 0 \end{cases} \quad (57)$$

Elegimos un valor conveniente para R_{Vf} :

$$R_{Vf} = 50k\Omega \quad (58)$$

Resolviendo (57):

$$R_f \approx 400\Omega \rightarrow 390\Omega \quad (59)$$

$$R_i \approx 4003\Omega \rightarrow 3.9k\Omega \quad (60)$$

Recalculando el intervalo de ganancia:

$$\begin{aligned} 0.1 &\leq |G| \leq 12.92 \\ -20dB &\leq |G_{dB}| \leq +22.23dB \end{aligned} \quad (61)$$

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.

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 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, recordando (43):

$$C_i = \frac{1}{2\pi * 3.9k\Omega * 20Hz} \approx 2.04\mu F \rightarrow 2.2\mu F \quad (62)$$

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

$$C_f = \frac{1}{2\pi * (390 + 50k)\Omega * 20kHz} \approx 158pF \rightarrow 150pF \quad (63)$$

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

4.5.6 Simulación

Para la señal de entrada en $v_s = 34.65mV$,

Figura 4.5.2

Preamplificador: Respuesta en el tiempo – Variación RV_f

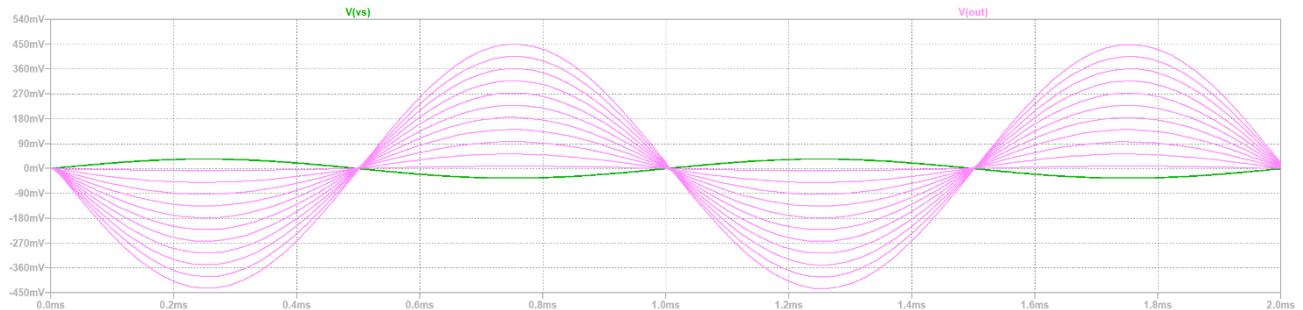


Tabla 10: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error relativo
$v_{o_{max}}[mV]$	434.16	449.95	3.64%
$v_{o_{min}}[mV]$	3.47	8.05	115.24%
G_{max}	12.53	12.99	3.67%
G_{min}	0.1	0.23	130%

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 4.5.3

Preamplificador: Respuesta en frecuencia - Variaciones ambos potenciómetros

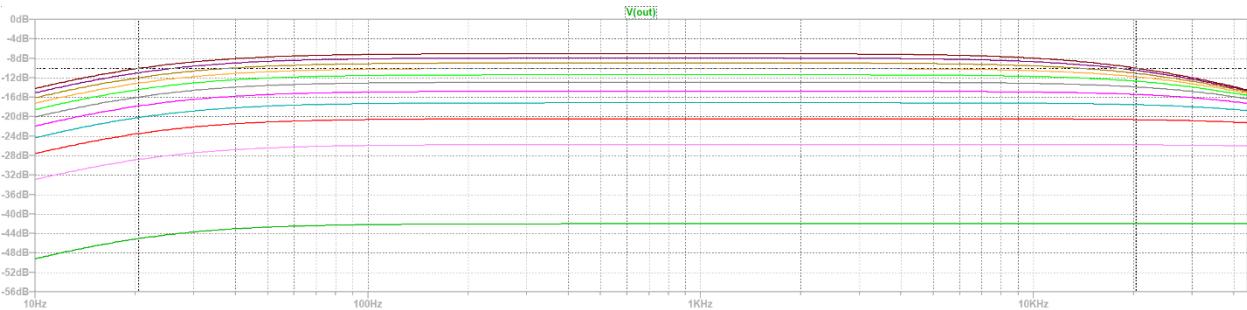


Tabla 11: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error
$f_{min}[\text{Hz}]$	20	20.42	2.1%
$f_{max}[\text{kHz}]$	20	20.29	1.45%

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

4.5.7 Resumen de la etapa

Figura 4.5.4: Esquemático resultante

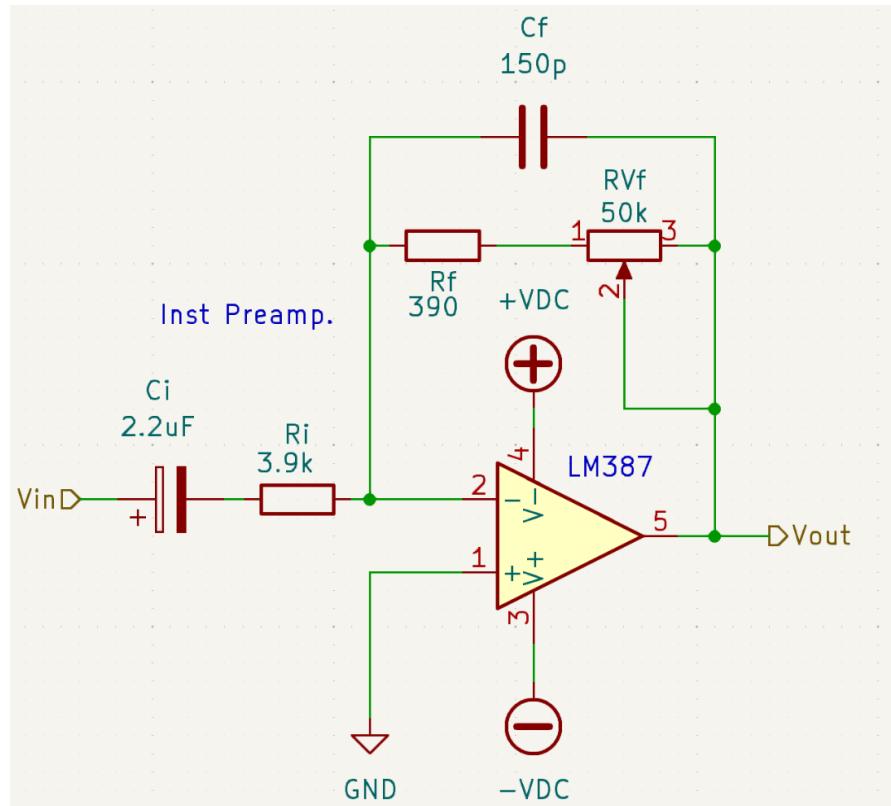


Tabla 12: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R_i	3.9 k Ω	(60)
R_f	390 Ω	(59)
RV_f	50 k Ω	(58)
C_i	2.2 μF	(62)
C_f	150 pF	(63)

4.6 Preamplificador de Micrófono (MIC)

4.6.1 Especificaciones

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

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

Tensión de señal

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

es decir,

$$775 \mu\text{V} \leq v_s \leq 7.75 \text{ mV}$$

$$1.096 \text{ mV} \leq v_{sp} \leq 10.96 \text{ mV}$$

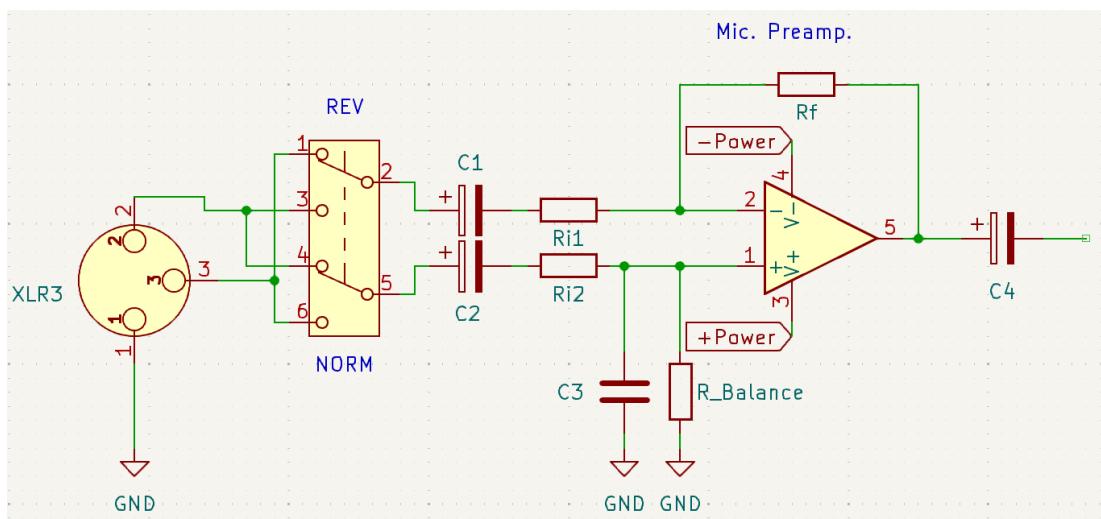
Impedancia de señal

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

4.6.2 Esquemático

Se plantea como solución el siguiente circuito:

Figura 4.6.1: Entrada balanceada de micrófono



4.6.3 Observaciones

El diseño planteado consta de:

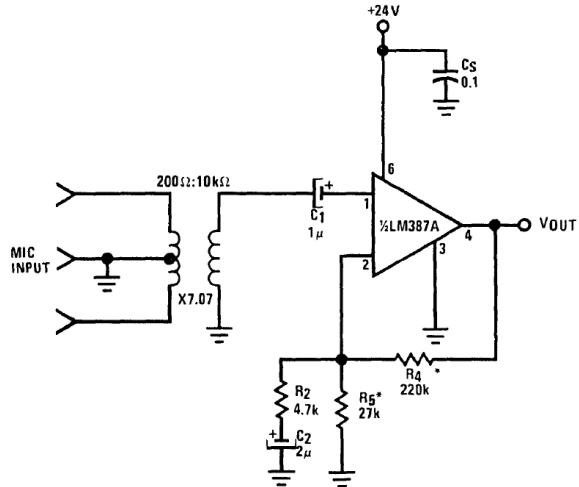
- Un conector hembra estándar Cannon XLR
- Un interruptor para invertir la fase de la señal: usado cuando dos micrófonos se usan en cercanía y producen cancelación de fase debido a la distancia relativa, lo que produce un sonido desagradable
- Capacitores bloqueantes de señal continua
- Amplificador 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 4.6.2, 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

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

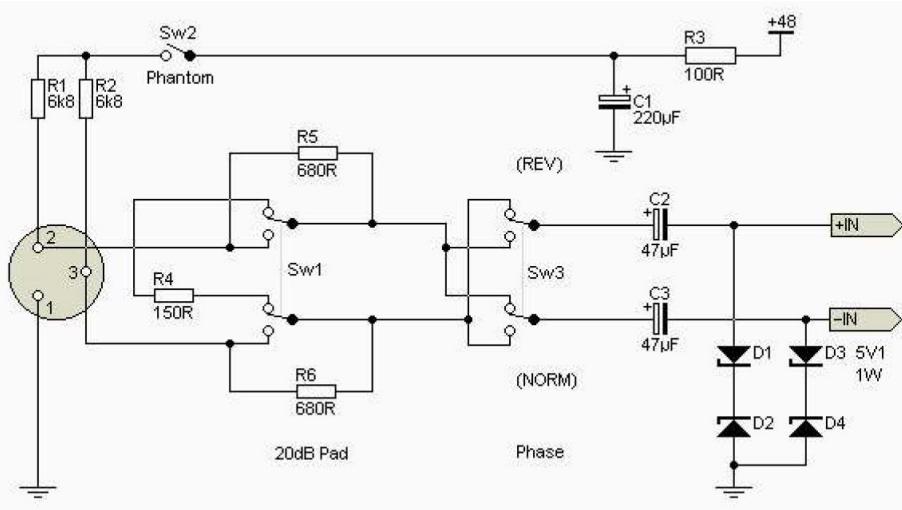
introducir ruido, lo que implica un costo elevado, además de que introduce cierto nivel de distorsión armónica.

Figura 4.6.2: 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 4.6.3. En el caso de optar por este diseño, se le deben añadir diodos de protección.

Figura 4.6.3: Esquemático de entrada con alimentación Phantom y circuito de protección



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

4.6.4 Cálculo

Primero, consideramos la entrada:

$$Z_i \gg Z_s \rightarrow Z_i \approx 10 Z_s \quad (64)$$

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:

$$R_{i1} + R_{i2} = 10 Z_s \quad (65)$$

Por lo tanto:

$$R_{i1} + R_{i2} = 10 \cdot 150\Omega = 1.5k\Omega \quad (66)$$

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

$$R_i = 750\Omega \rightarrow 820\Omega \quad (67)$$

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:

$$v_s = -60dBu \rightarrow v_s = 775\mu V \rightarrow v_{sp} = 1.096 mV \quad (68)$$

$$v_o = -30dBu \rightarrow v_o = 24.5mV \rightarrow v_{op} = 34.65mV \quad (69)$$

Por lo tanto:

$$G_{dB} = 30 dB \rightarrow G \approx 31.6 \quad (70)$$

Para un amplificador diferencial tenemos que:

$$v_o = -V_1 \frac{R_3}{R_1} + V_2 \frac{R_4}{R_2 + R_4} \frac{R_1 + R_3}{R_1} \quad (71)$$

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

$$v_o = \frac{R_3}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (72)$$

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

$$v_o = \frac{R_3}{R_2} 2v_i \rightarrow \frac{v_o}{v_i} = \frac{2R_3}{R_2} \quad (73)$$

$$G = \frac{2R_f}{R_i} \quad (74)$$

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

Es decir,

$$R_f = \frac{G * R_i}{2} = \frac{31.6 * 820\Omega}{2} \approx 12.96k\Omega \rightarrow 12k\Omega + 820\Omega \quad (75)$$

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

4.6.5 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:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi R f_c} \quad (76)$$

$$C_1 = C_2 = \frac{1}{2\pi * 820\Omega * 20Hz} \approx 9.7\mu F \rightarrow 10\mu F \quad (77)$$

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:

$$C_f = \frac{1}{2\pi * 12.82k\Omega * 20kHz} \approx 620pF \rightarrow 600pF \quad (78)$$

4.6.6 Simulación

A continuación, se presentan los resultados de simulación con $MIC_1 = MIC_2 = MIC_3 = 1.096 \text{ mV}_p$, $MIC_2\emptyset = 180^\circ$.

Figura 4.6.4

Entrada Micrófono: Respuesta en el tiempo

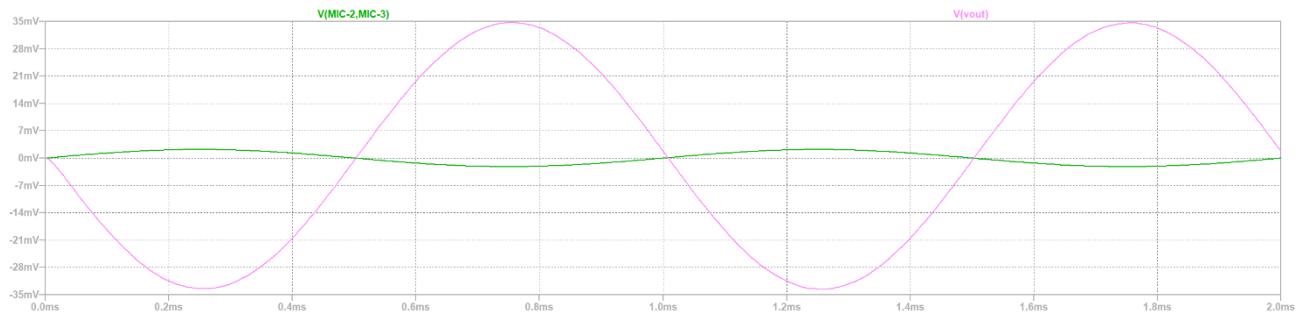


Tabla 13: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error relativo
$v_{op} [mV]$	34.65	34.73	0.23%
G	31.6	31.69	0.28%

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 4.6.5

Entrada Micrófono: Respuesta en frecuencia

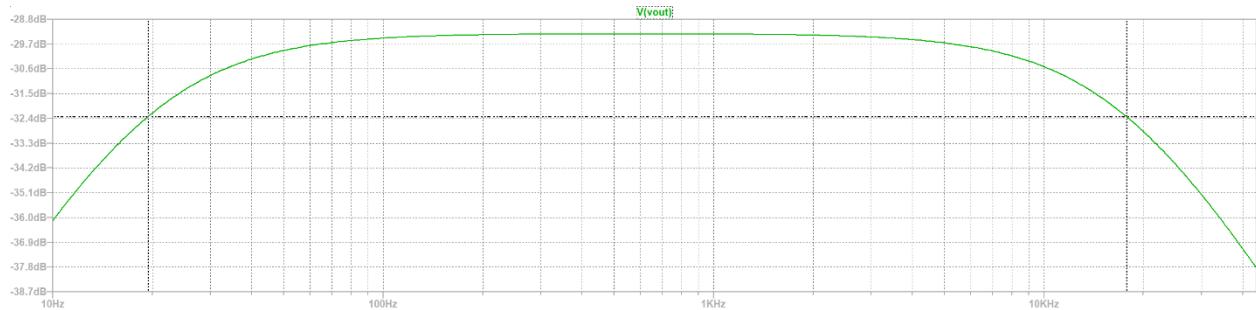


Tabla 14: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error
$f_{min}[\text{Hz}]$	20	19.42	-2.90%
$f_{max}[\text{kHz}]$	20	20.04	0.20%

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

4.6.7 Resumen de la etapa

Figura 4.6.6: Esquemático resultante

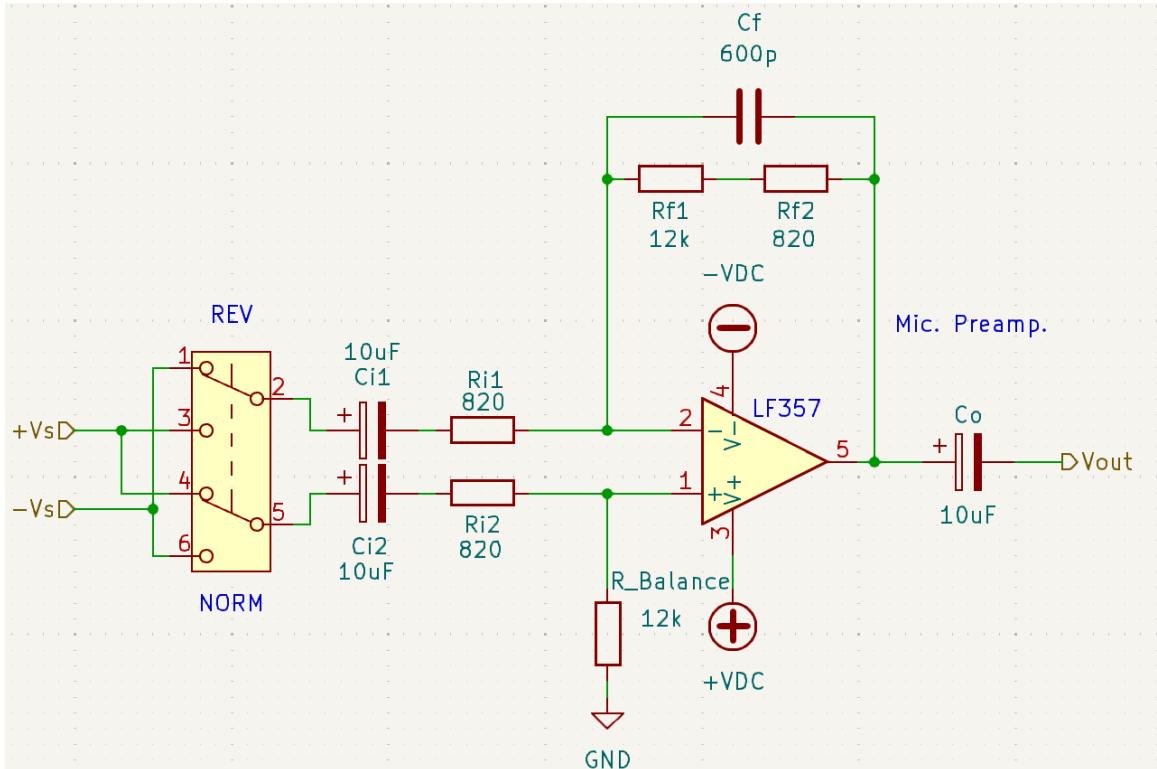


Tabla 15: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R_{i1}, R_{i2}, R_{f2}	820Ω	(67)(75)
$R_f, R_{Balance}$	$12 \text{ k}\Omega$	(75)
C_{i1}, C_{i2}, C_o	$10 \mu\text{F}$	(77)
C_f	600 pF	(78)

4.7 Adicionales

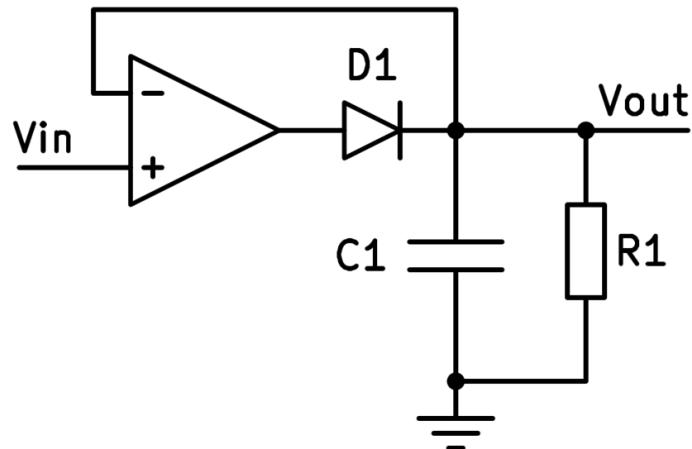
4.7.1 Detector de picos de precisión

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.

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

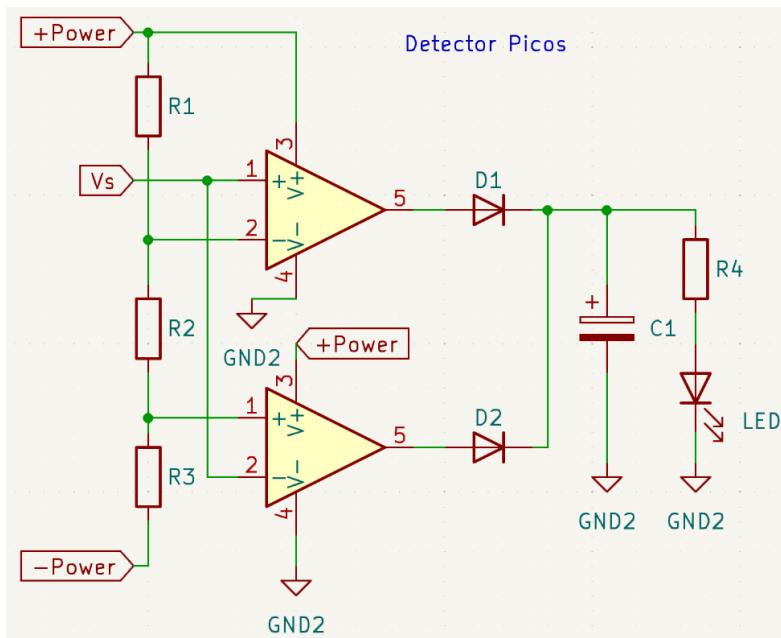
Un ejemplo de un detector de picos sencillos es

Figura 4.7.1: Ejemplo detector de picos simple



Observamos que la aplicación es bastante sencilla, ya que se trata de utilizar un amplificador operacional como comparador, salvo que realizaremos algunas modificaciones. La solución propuesta es la siguiente:

Figura 4.7.2: Detector de picos



Para este diseño, los op amps son utilizados como comparadores, uno para cada tensión de referencia. 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, además de determinar el tiempo de descarga. Un valor de capacitancia alto detecta

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

mayor cantidad de transitorios cortos, pero disminuye el tiempo del LED para indicar el pico. El diodo a la salida del amplificador operacional impide que este pueda entregar corriente negativa. Como el operacional solo podrá entregar tensión y corriente positivas, el condensador de salida subirá de tensión hasta igualar la máxima tensión de entrada y mantendrá esta tensión. La resistencia R4 y el LED forman el camino por el cual el capacitor se descarga.

En este caso, los operacionales deben operar sólo con alimentación positiva, ya que, de otra forma, obtendríamos una salida de $-V_{cc}$ en la salida de los operacionales.

La señal de entrada de esta etapa es la salida del control de tonos, cuyo valor es aproximadamente el determinado en la ecuación (53). Podemos entonces determinar el valor límite de pico:

$$V_{threshold_p} = 450mV \quad (79)$$

Sabemos además que

$$V_{R1} = V_{R2} \quad (80)$$

y tenemos a la entrada un divisor de tensión donde se cumple que

$$V_{threshold} = \frac{R_1}{R_2 + R_1} \times V_{supply} \quad (81)$$

Operando,

$$R_2 + R_1 = R_1 \times \frac{V_{supply}}{V_{threshold}} \quad (82)$$

$$R_2 = R_1 \times \left(\frac{V_{supply}}{V_{threshold}} - 1 \right) \quad (83)$$

La relación entre R_1 y R_2

$$R_2 \approx 25.67 R_1 \quad (84)$$

Elegimos un valor para R_2 :

$$R_2 = 120\Omega \quad (85)$$

$$R_1 \approx 3850\Omega \quad (86)$$

Dividimos este valor por 2, por simetría, y aproximamos a un valor comercial

$$R_1 = R_3 = 1.5k\Omega \quad (87)$$

Por simplicidad podemos seleccionar:

$$R_4 = 10k\Omega \quad (88)$$

cuyo valor protege a su vez al LED. Para el capacitor podemos determinar un valor común y que implique un tiempo de respuesta rápido.

$$C_1 = 100pF \quad (89)$$

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

Se presenta a continuación el circuito final:

Figura 4.7.3: Esquemático resultante

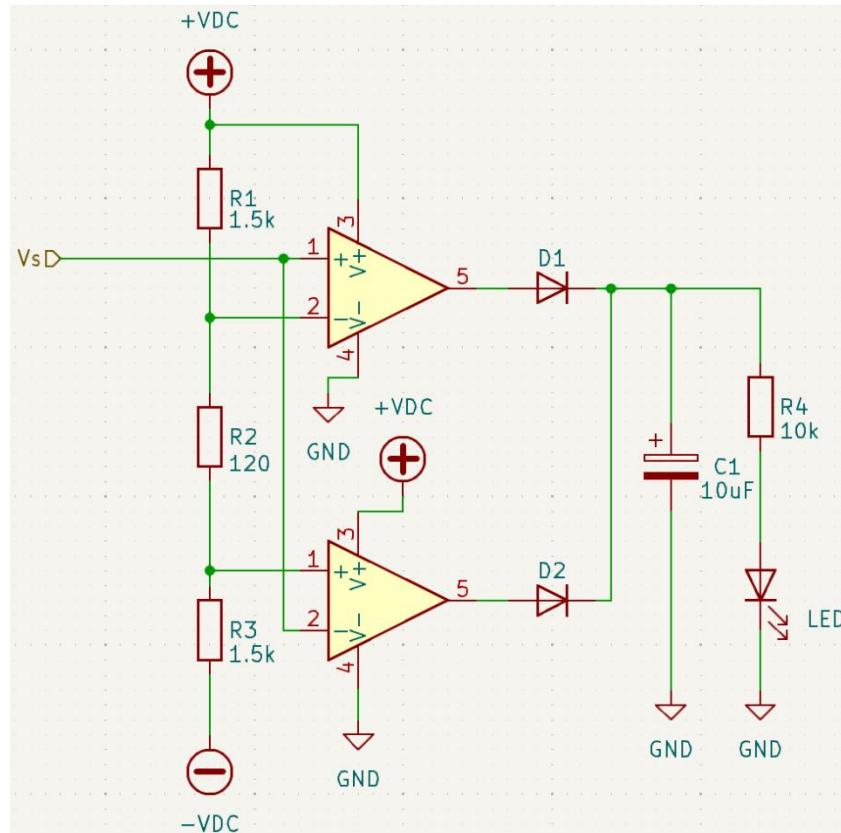
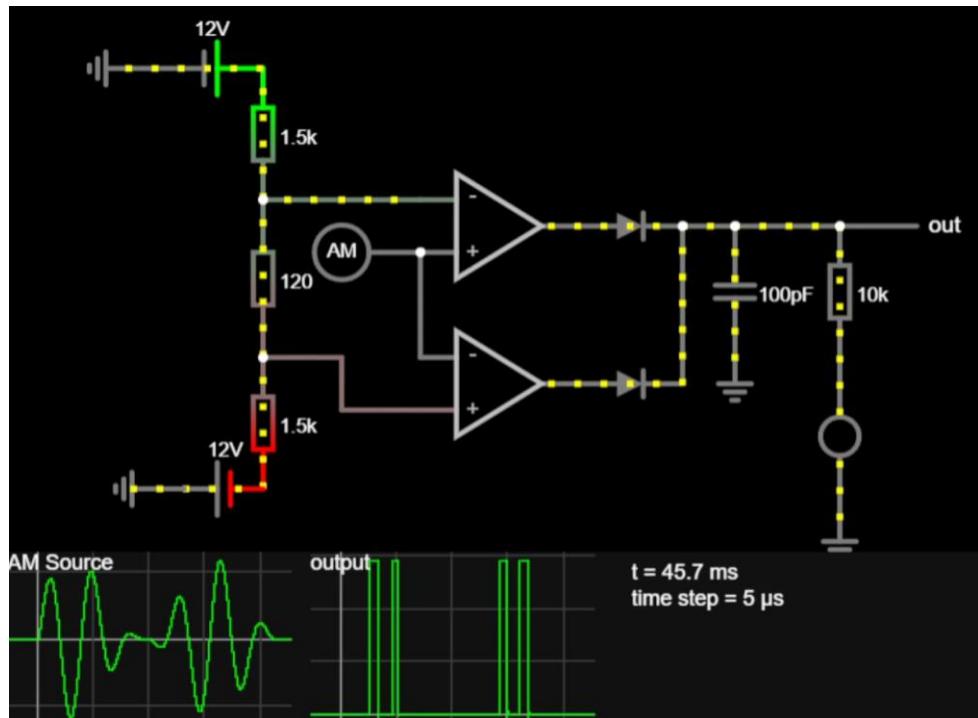


Tabla 16: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R_1, R_3	1.5 k Ω	(87)
R_2	120 Ω	(85)
C_1	100pF	(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”

Figura 4.7.4:
Detector de picos: Simulación con una señal de AM



4.7.2 VU Meter (vúmetro)

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 1mA. Teniendo en cuenta estos datos, podemos obtener los siguientes valores de resistencias:

$$R = \frac{1.25V}{1mA} = 1.25k\Omega \rightarrow 1.2k\Omega \quad (90)$$

$$RV_{preset} = 10k\Omega \quad (91)$$

$$R_{led} = \frac{V_{supply} - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{12V - 2V}{0.02A} = 500\Omega \rightarrow 510\Omega \quad (92)$$

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 4.7.5: VU Meter con IC LM3914N

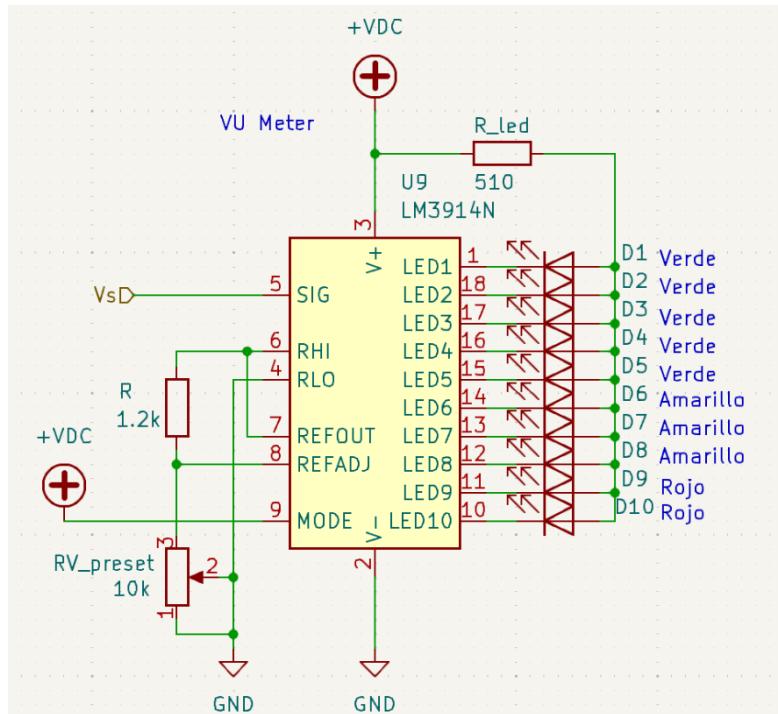
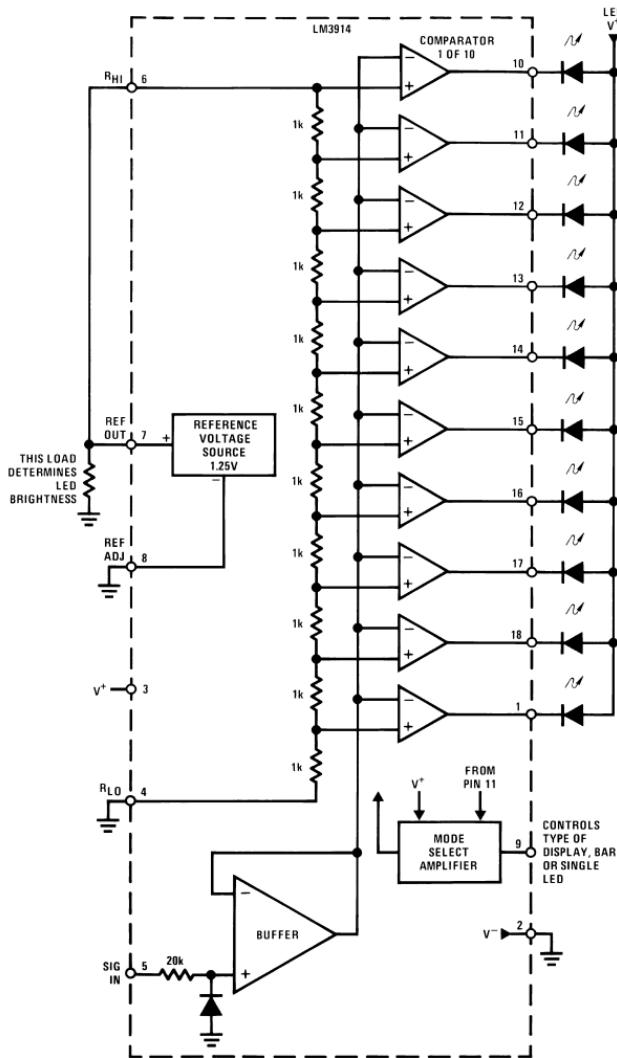


Tabla 17: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R	$1.2 \text{ k}\Omega$	(90)
RV_{preset}	$10 \text{ k}\Omega$	(91)
R_{led}	510Ω	(92)

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 4.7.6: Circuito equivalente IC LM3914N



5 Amplificador para auriculares

5.1 Especificaciones

El amplificador de auriculares tiene una topología similar al amplificador de potencia, sólo que, con diferentes parámetros. Otra modificación es que no utilizaremos la red de realimentación del amplificador operacional, sino que diseñaremos una. La señal será tomada antes del atenuador, después del control de tonos. Sabemos que la resistencia de entrada debe ser mayor a la resistencia de etapa salida anterior, aunque esta al ser pequeña, podemos establecer un valor relativamente bajo para evitar ruido térmico.

Deberemos cumplir con los siguientes requerimientos:

$$P_L = 250mW, \quad R_L = 8\Omega, \quad v_{ch_{RMS}} = 0.307V$$

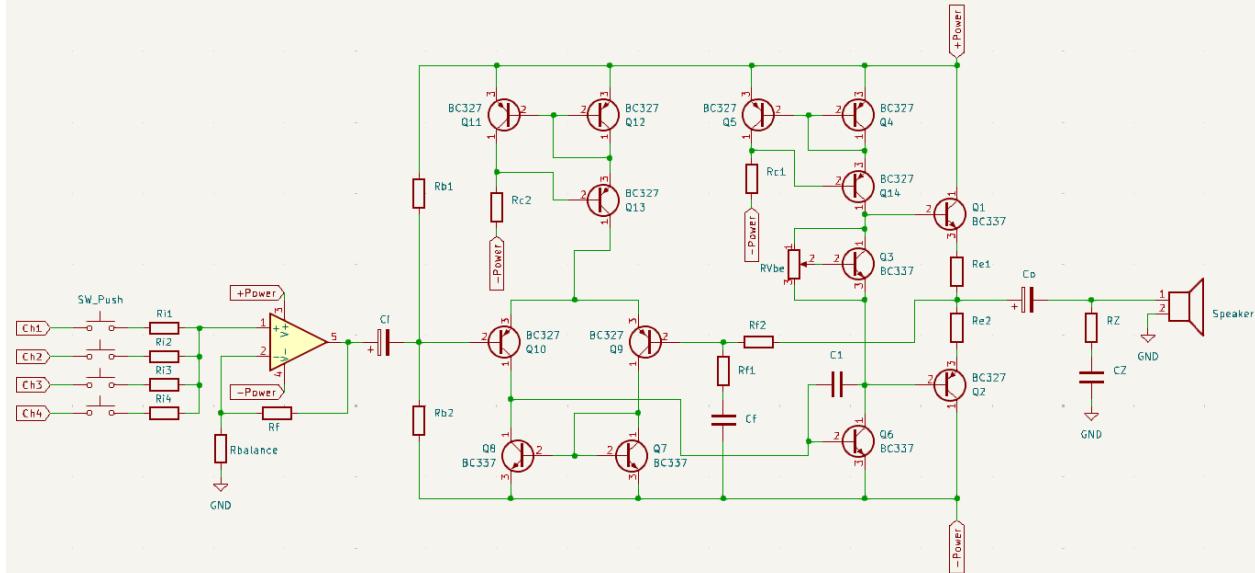
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

5.2 Esquemático

Se plantea como solución el siguiente circuito:

Figura 5.2.1

Auriculares: Amplificador de audio clase AB



Aclaración: Esta es la solución propuesta antes de decidir usar una fuente +Vcc y GND, y no una fuente simétrica.

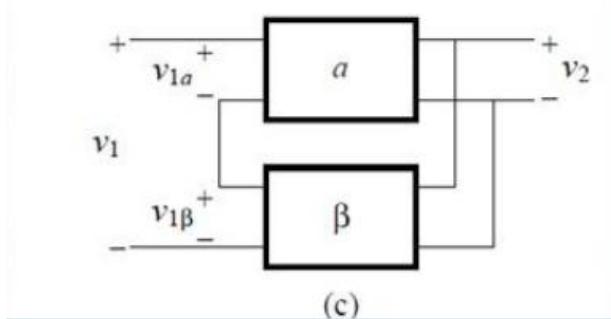
5.3 Observaciones

En este caso, ya que la potencia es baja, no requerimos de los pares Sziklai, ya que trabajaremos con amplificadores de baja señal. Por las especificaciones podemos prever que la ganancia será baja, por esta razón, se plantea un circuito sofisticado para garantizar la mayor estabilidad y desensibilizar el circuito ante perturbaciones.

Empleamos fuentes de corriente Wilson, ya que este es similar a los espejos de corriente, pero nos independiza del β y aumenta la resistencia de salida.

Al utilizar un sumador en configuración no inversora, tenemos la ventaja que la impedancia de entrada será muy elevada.

La red de alimentación tiene una configuración Serie-Paralelo, donde muestrea y compara tensión.



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

5.4 Cálculo

5.4.1 Potencia en la carga

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

$$P_L = \frac{V_L^2}{R_L} = I_{L\max}^2 \cdot R = 250mW \quad (93)$$

$$V_{L\max} \approx 1.41V \approx 1.99V_p \quad (94)$$

$$I_{L\max} \approx 176.78mA \approx 250mA_p \quad (95)$$

Luego, determinamos las resistencias para el embalamiento térmico suelen tener un valor bajo:

$$0.05 R_L \leq R_{e1} \leq 0.1 R_L \quad (96)$$

Elegimos

$$R_{e1} = R_{e2} = 0.33\Omega \quad (97)$$

Al igual que la etapa sumadora, debemos considerar la situación donde todos los canales tienen una señal máxima y que todos los botones estén presionados. En ese caso, tendremos

$$\begin{aligned} v_i &= 4 * v_{ch} = 1.228V \\ v_{ip} &\approx 1.74V \end{aligned} \quad (98)$$

Por lo tanto, la ganancia de tensión

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{1.41V}{1.228V} \approx 1.15 \quad (99)$$

5.4.2 Elección transistores

Elegimos los transistores para tener una guía de parámetros y así poder realizar los cálculos siguientes.

- NPN: **BC337**
 - $h_{FEmin} = 100$
 - Valores máximos:
 - $V_{CE} = 45V$
 - $I_C = 800mA$
- PNP: **BC327**
 - $h_{FEmin} = 100$
 - Valores máximos:
 - $V_{CE} = 45V$
 - $I_C = 800mA$

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

5.4.3 Determinar valores de CC

Con esta información, podemos determinar el valor de tensión de la fuente, donde debe cumplirse que $V_{cc} \geq V_{L_max}$, debido a que V_{cc} es el máximo nivel de desviación en la carga. Considerando las caídas de tensión en los transistores y resistores,

$$V_{cc} = 2(V_o + I_{L_max_p} * R_{E1} + V_{CE(sat)}) \quad (100)$$

$$V_{cc} = 2(1.99V + 0.25A * 0.33\Omega + 1.2V) \approx 6.545V \quad (101)$$

Elegiremos un valor con margen más del 10%

$$V_{cc} = 8V \quad (102)$$

Que se encuentra dentro de los parámetros de operación recomendados por los fabricantes de los amplificadores operacionales (LM358).

5.4.4 Etapa excitadora

Recordemos que para evitar la distorsión de cruces por cero debemos proporcionar la tensión en las bases de los transistores para polarizarlos ligeramente. En nuestro caso utilizamos el multiplicador de tensión base-emisor. Para saber el valor del potenciómetro debemos conocer la corriente de base que necesitamos:

$$I_{e_{Q1}} = I_L = 250mA \quad (103)$$

$$I_{b_{Q1}} \approx \frac{I_{e_{Q1}}}{\beta_{Q1}} \approx 2.5mA \quad (104)$$

Debido a que la etapa excitadora está basada en transistores bipolares de BC327 y BC337, su corriente de colector debería de ser mayor a la corriente de base

$$I_{c_{Q6}} \approx 25mA \quad (105)$$

Realizamos ahora el análisis de nodos en el transistor Q_3

$$I_{c_{Q6}} = I_{preset} + I_{c_{Q3}} \quad (106)$$

Si $I_{c_{Q3}} \gg I_{b_{Q3}}$

$$I_{preset} \approx \frac{2.8V}{RV_{be}} + I_{c_{Q3}} \quad (107)$$

Planteando la condición

$$0.1 I_{c_{Q3}} \leq I \leq I_{c_{Q3}} \quad (108)$$

Vemos que un valor de para el potenciómetro puede ser

$$RV_{be} = 1k\Omega \quad (109)$$

Por lo tanto,

$$I_{c_{Q3}} \approx 10mA \quad (110)$$

Ahora podemos realizar el cálculo para el espejo de corriente que proporciona las corrientes necesarias para un correcto funcionamiento. La fuente debe brindar la corriente especificada en (105).

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

$$R_{c1} = \frac{V_{cc} - 2 * V_{BE}}{I_{cQ3}} \approx 660\Omega \rightarrow 680\Omega \quad (111)$$

5.4.5 Etapa de entrada

Se opta por un arreglo de diferencial de transistores, que amplifica la diferencia de voltaje entre dos señales de entrada, suprimiendo la señal común presente en la señal de entrada. La señal de modo común es una señal parásita que no lleva información útil, es por ello por lo que aprovecharemos la relación al rechazo del modo común, que es una relación entre la señal útil y la del modo común, que cuantifica la calidad del amplificador diferencial. Mientras más alta sea, mayor capacidad de atenuar señales de modo común presenta el circuito.

Se propone que la corriente de polarización del par diferencial sea 10 veces mayor la corriente de base del transistor Q_6 ,

$$I_{cQ10} = 10 * I_{bQ6} = 10 * \frac{I_{cQ6}}{\beta_{Q6}} = 10 * \frac{25mA}{100} = 2.5mA \quad (112)$$

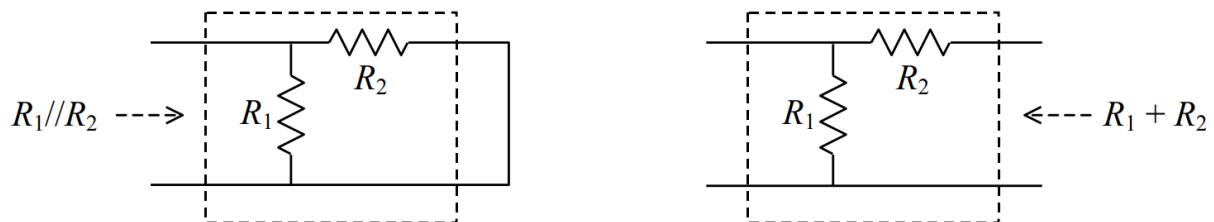
Esta corriente es a su vez la que debe entregar la fuente, por lo que podemos calcular

$$R_{c2} = \frac{V_{cc} - 2 * V_{BE}}{I_{cQ10}} \approx 2640\Omega \rightarrow 2.7k\Omega \quad (113)$$

5.4.6 Red de realimentación

Figura 5.4.1: Red de realimentación

$$R_1 = R_{f1}, R_2 = R_{f2}$$



Sabemos para esta configuración que

$$A_{vf} = \frac{A_v}{1 + A_v \beta} \quad (114)$$

donde

$$\beta = \frac{V_2 \beta}{V_1 \beta} = \frac{V_o}{V_{1\beta}} = \frac{R_{f1}}{R_{f1} + R_{f2}} \quad (115)$$

Para realizar el cálculo, suponemos

$$R_{b1} = R_{b2} = 150k\Omega \quad (116)$$

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

La resistencia en la red de realimentación R_{f2} debe ser

$$R_{f2} = R_{b1} \parallel R_{b2} = 75k\Omega \rightarrow 82k\Omega \quad (117)$$

De esta forma, eliminamos la tensión de offset del par diferencial. La resistencia R_{f1} está ligada a la ganancia deseada, por lo tanto

$$A_v = \frac{R_{f2}}{R_{f1}} + 1 \quad (118)$$

$$R_{f1} = \frac{R_{f2}}{A_v - 1} \approx 547k\Omega \rightarrow 510k\Omega \quad (119)$$

Por lo tanto, de (115):

$$\beta = \frac{510k\Omega}{510k\Omega + 82k\Omega} \approx 0.86 \quad (120)$$

5.4.7 Ancho de banda

Para el análisis en el dominio de la frecuencia debemos determinar los valores de los capacitores. Será necesario realizar unos cálculos previos:

$$V_T \approx 25mV \quad (121)$$

$$r_{e1} = \frac{25mV}{I_{E_{Q1}}} \approx 0.1\Omega \quad (122)$$

$$r_{\pi_{10}} = \frac{V_T}{I_B} \approx 7.81k\Omega, \quad r_{\pi_8} \approx 5.88k\Omega, \quad r_{\pi_{13}} \approx 3.59k\Omega, \quad r_{\pi_6} \approx 714\Omega \quad (123)$$

$$r_{o_{10}} = \frac{V_A}{I_C} \approx 78.13k\Omega, \quad r_{o_8} \approx 80k\Omega, \quad r_{o_{13}} \approx 40.65k\Omega, \quad r_{o_6} \approx 10.42k\Omega, \quad r_{o_9} \approx 83.33k\Omega \quad (124)$$

Ya teniendo los parámetros de los transistores, podemos comenzar con el cálculo de las resistencias y encontrar los valores de los capacitores.

Para C_o :

$$R_{C_o} \approx R_L + \frac{1}{\frac{1}{R_{e1} + r_{e1}} + \frac{1}{R_{f2} + \frac{1}{\frac{1}{R_{f1}} + \frac{1}{2r_{\pi_{10}}}}}} \approx 8.21\Omega \quad (125)$$

$$C_o = \frac{1}{2\pi f R_{C_o}} \approx 969\mu F \rightarrow 1000\mu F \quad (126)$$

Para C_f :

$$R_{C_f} \approx R_{f1} + \frac{1}{\frac{1}{2r_{\pi_{10}}} + \frac{1}{R_{f2} + \frac{1}{\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_{e1} + r_{e1}}}}} \approx 523.11k\Omega \quad (127)$$

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

$$C_f = \frac{1}{2\pi f R_{Cf}} \approx 15.21nF \rightarrow 15nF \quad (128)$$

Para C_i :

$$R_{Ci} \approx R_s + \frac{1}{\frac{1}{R_{b1}} + \frac{1}{R_{b2}} + \frac{1}{2r_{\pi_{10}}}} \approx 12.91k\Omega \quad (129)$$

$$C_i = \frac{1}{2\pi f R_{Ci}} \approx 616.40nF \rightarrow 1\mu F \quad (130)$$

En conjunto, forman la frecuencia cuadrantal inferior. La frecuencia cuadrantal superior está determinada por el conjunto de capacitancias parásitas y de transistores. Por lo tanto, compensamos con un capacitor basado en el efecto Miller.

$$R_{CM} \approx \frac{\frac{A_{vf} + 1}{1} + \frac{1}{\frac{1}{R_W} + \frac{1}{\left(r_{e1} + \frac{1}{R_L + R_{e1}}\right)} + \frac{1}{r_{o_6}}}}{\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_{b1}} + \frac{1}{R_{b2}} + r_{\pi_{10}}} \quad (131)$$

$$R_{CM} \approx 172.51\Omega \quad (132)$$

$$C_M = \frac{1}{2\pi f R_{CM}} \approx 46.13nF \rightarrow 47nF \quad (133)$$

5.4.8 Sumador

Calculamos el sumador en configuración de no inversor con ganancia unitaria, para que sea equivalente a un seguidor de voltaje. Por ley de las corrientes de Kirchhoff, podemos decir, en el caso del sumador no inversor, en su entrada V^+ tendremos:

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0 \quad (134)$$

$$\frac{V_1 - V^+}{R_1} + \frac{V_2 - V^+}{R_2} + \frac{V_3 - V^+}{R_3} + \frac{V_4 - V^+}{R_4} = 0 \quad (135)$$

Operando podemos llegar a la expresión

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_4}{R_4} = V^+ \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \quad (136)$$

Si hacemos $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$

$$\frac{1}{R} (V_1 + V_2 + V_3 + V_4) = \frac{4V^+}{R} \quad (137)$$

$$V^+ = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{4} \quad (138)$$

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

Para el no inversor, será entonces

$$V_o = V^+ \left(1 + \frac{R_f}{R_{balance}} \right) = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{4} \left(1 + \frac{R_f}{R_{balance}} \right) \quad (139)$$

Si queremos obtener $V_o = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$, tenemos que hacer

$$1 + \frac{R_f}{R_{balance}} = 4 \quad (140)$$

Por lo tanto

$$R_f = 3 R_{balance} \quad (141)$$

Aunque tenemos otra condición que $R_{balance}$ tiene que cumplir

$$R_{balance} = \frac{R_f R_p}{R_p - R_f} \quad (142)$$

Donde R_p es el paralelo entre las resistencias de entrada:

$$R_p = R_1 \parallel R_2 \parallel \cdots \parallel R_n \quad (143)$$

Si el signo del resultado de $R_{balance}$ es negativo, la resistencia se coloca del pin inversor a tierra, y si el resultado es positivo la resistencia se coloca del pin no inversor a tierra.

Reemplazando (141) en (142):

$$\frac{3R_{balance} R_p}{R_p - 3R_{balance}} \quad (144)$$

Operando

$$R_{balance} = -\frac{2}{3} R_p \quad (145)$$

Para calcular el valor de R_p debemos saber el valor de las resistencias de entrada. El valor de dichas resistencias estará entonces ligado a la condición

$$Z_i \gg R_s \rightarrow Z_i \geq 10R_s \geq 10 * 32\Omega \quad (146)$$

Un valor que es aceptable produce poco ruido térmico y hemos utilizado antes es

$$R_F = R_1 = R_2 = \cdots = R_n = 2.7k\Omega \quad (147)$$

La ecuación (143) es en nuestro caso:

$$R_p = \left(\frac{1}{2.7k\Omega} * 4 \right)^{-1} = 675\Omega \quad (148)$$

Resolviendo (145):

$$R_{balance} = -450\Omega \rightarrow 470\Omega \quad (149)$$

En (141):

$$R_f = 1410\Omega \quad (150)$$

Para mejorar la precisión, podríamos entonces reemplazar R_f por un preset

$$R_{V_f} = 2k\Omega \quad (151)$$

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

Esto es una ventaja, ya que en caso de que necesitemos mayor potencia, podremos simplemente incrementar el valor de R_{V_f} .

5.4.9 Red Zobel

Al igual que vimos anteriormente para la etapa de potencia, debemos implementar una red Zobel a la salida antes del parlante. Utilizamos los mismos datos de diseño:

$$R_L = 8\Omega, \quad L = 99mH$$

y cálculos correspondientes:

$$R_Z \approx R_L \rightarrow R_Z = 10\Omega \quad (152)$$

$$C_Z = \frac{L}{R_Z} \approx 100nF \quad (153)$$

5.4.10 Consumo de corriente

Calculamos las corrientes que provienen de la fuente de alimentación (despreciamos la corriente consumida por el amplificador operacional):

$$I_{R_{b1}} = \frac{V_{cc}}{R_{b1} + R_{b2}} = \frac{24V}{150k\Omega * 2} \approx 80\mu A \quad (154)$$

$$I_{c_{Q11}} = \frac{V_{cc} - 2V_{BE}}{R_{c2}} = \frac{12 - 2 * 0.7}{3.9k\Omega} \approx 2.72mA \quad (155)$$

$$I_{c_{Q5}} = \frac{V_{cc} - 2V_{BE}}{R_{c1}} = \frac{12 - 2 * 0.7}{1k\Omega} \approx 10.6mA \quad (156)$$

$$I_o = \frac{v_i}{R_L \beta} = \frac{1.74V}{8\Omega * 0.86} \approx 252.9mA \quad (157)$$

La corriente total de la fuente de alimentación para esta etapa es

$$I_{dc} = \frac{I_o}{\pi} + \frac{I_{R_{b1}} + I_{c_{Q11}} + I_{c_{Q5}}}{\sqrt{2}} \approx 89.97mA \quad (158)$$

5.4.11 Eficiencia

Con las corrientes ya calculadas, podemos obtener la potencia entregada por la fuente como

$$P_{cc} = 8V * 89.97mA = 719.76mW \quad (159)$$

Por lo tanto, la eficiencia calculada es del

$$\eta = \frac{P_o}{P_{cc}} \times 100 = \frac{250mW}{719.76mW} \times 100 = 34.73\% \quad (160)$$

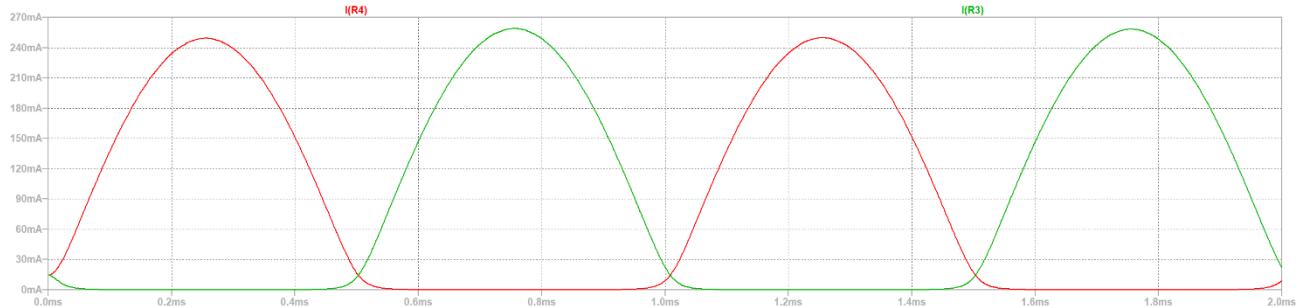
5.5 Simulación

Determinamos primero el valor al que el preset en la etapa excitadora debe estar. Comprobamos con las corrientes sobre las resistencias R_{e1} y R_{e2} :

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 5.5.1

Amplificador para auriculares: Ajuste de bias



Obtuvimos este trabajo complementario para un preset al 47% ($RV_{be} \approx 470\Omega$). Observamos los resultados cuando $v_{ch1} = v_{ch2} = v_{ch3} = v_{ch4} = 434.16mV_p$

Figura 5.5.2

Amplificador para auriculares: Respuesta en el tiempo

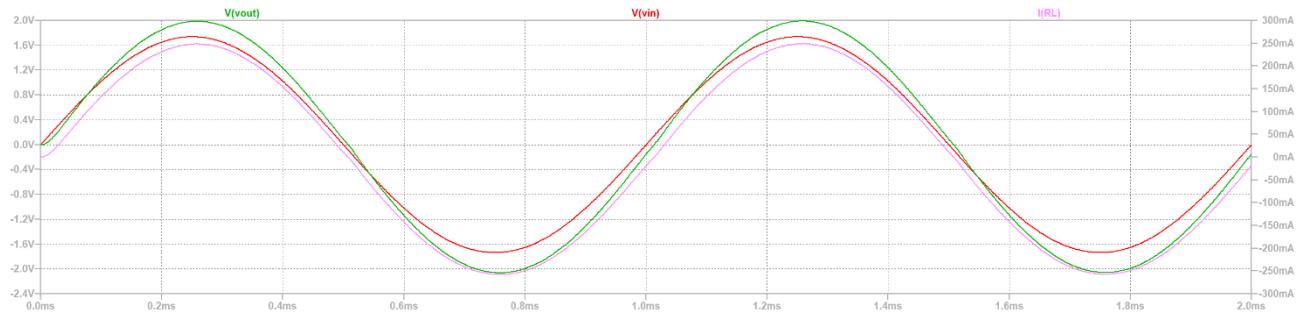


Tabla 18: Resultados simulación

$$v_{sp} = 4v_{ch} \approx 1.74V$$

Señal	Calculado	Simulado	Error relativo
$v_{op}[V]$	1.990	1.989	-0.05%
$i_{op}[mA]$	250	248.71	-0.52%
A_v	1.150	1.145	-0.43%
$P_L[mW]$	250	247.34	-1.06%

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 5.5.3

Amplificador para auriculares: Respuesta en frecuencia

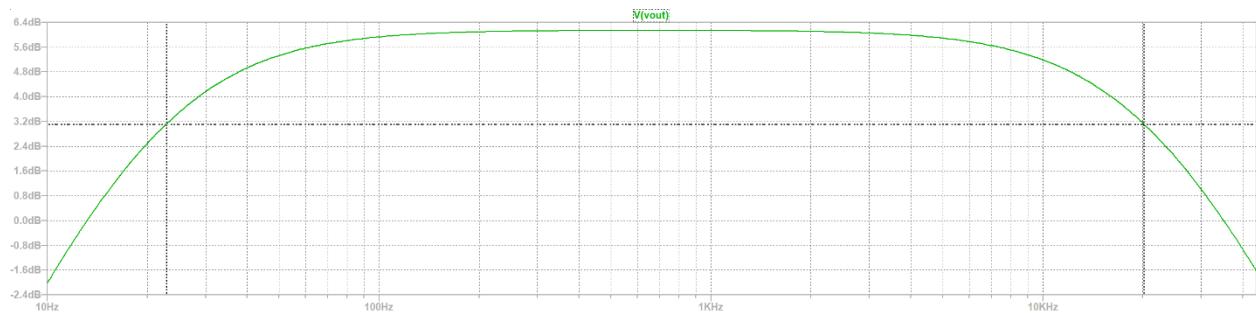


Tabla 19: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error
$f_{min}[\text{Hz}]$	20	22.81	14.05%
$f_{max}[\text{kHz}]$	20	20.11	0.55%

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

5.6 Resumen de la etapa

Figura 5.6.1: Esquemático resultante

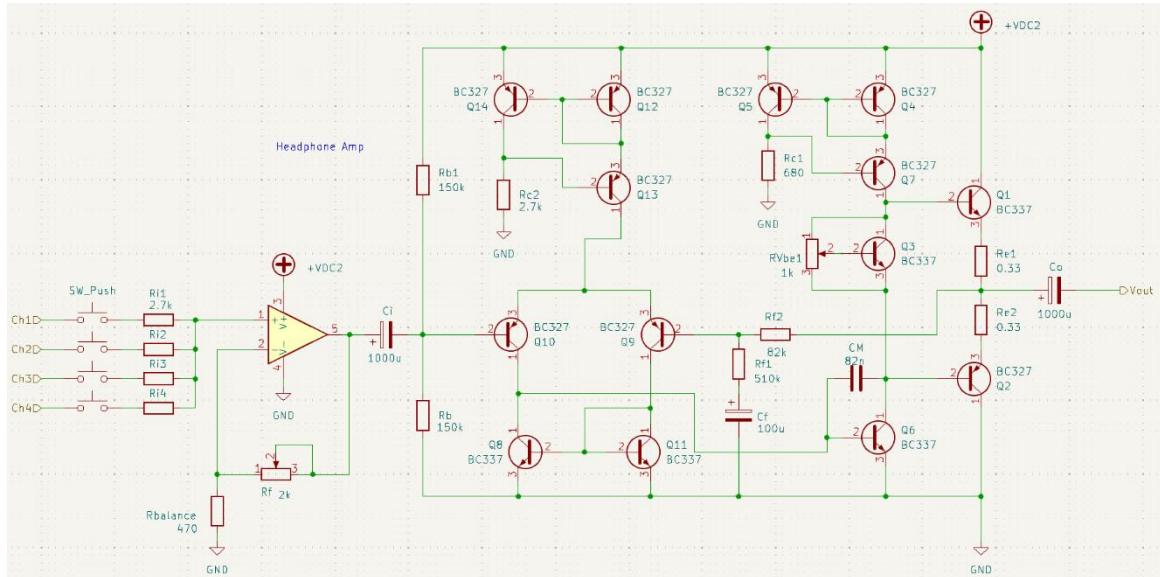


Tabla 20: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R_{e1}, R_{e2}	0.33 Ω	(97)
RV_{be}	1 k Ω	(109)
R_{c1}	680 Ω	(111)
R_{c2}	2.7 k Ω	(113)
R_{b1}, R_{b2}	150 k Ω	(116)
R_{f2}	82 k Ω	(117)
R_{f1}	510 k Ω	(120)
C_o	1000 μF	(126)
C_i	1 μF	(130)
C_f	15 nF	(128)
C_M	47 nF	(133)

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 Fuente de alimentación regulada

6.1 Rectificación y Filtrado

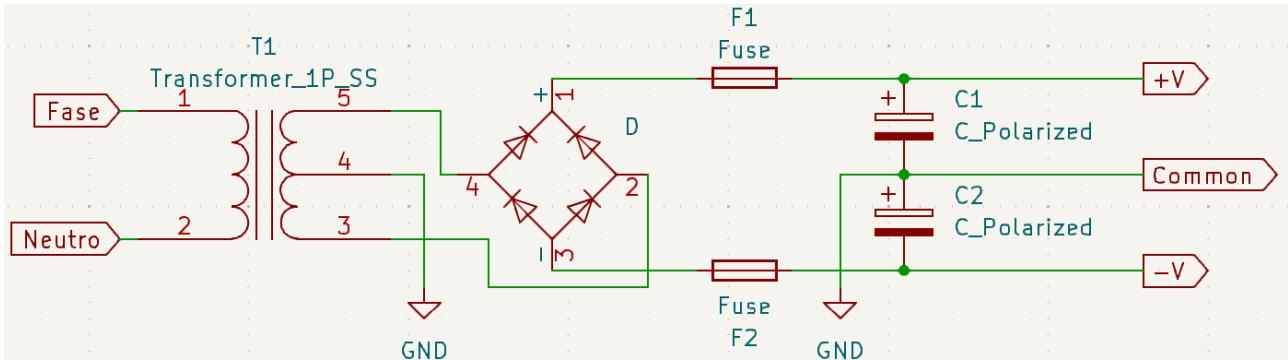
6.1.1 Especificaciones

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 $\pm 12V$, 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 $220V_{RMS}$.

6.1.2 Esquemático

Figura 6.1.1: Etapa rectificadora



6.1.3 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:

$$I_{tot} = I_{quiescent} + I_o + I_f \quad (161)$$

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:

$$I_{quiescent} \approx 1mA \quad (162)$$

Luego, analizamos para cada circuito su consumo.

Amplificador de potencia (ecuación (23)):

$$I_{3W} = 278.27mA \quad (163)$$

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

Sumador:

$$I_o = 1mA \quad (164)$$

$$I_f \approx 370\mu A \quad (165)$$

$$I_{sumador} \approx 1.37mA \quad (166)$$

Canal:

$$I_{canal} = I_{MIC} + I_{Line} + I_{Preamp} + I_{toneCtrl} + I_{fader} + I_{peakDet} \quad (167)$$

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

$$I_{canales} = 4I_{canal} \quad (168)$$

$$I_{canales} \approx 38.36mA \quad (169)$$

En total tendremos:

$$I_{tot} = I_{3W} + I_{sumador} + I_{canales} \quad (170)$$

$$I_{tot} \approx 0.318A \quad (171)$$

Determinamos la máxima corriente de suministro dejando un margen:

$$I_{tot} = 0.5A \quad (172)$$

De aquí podemos saber la resistencia de carga máxima:

$$R_{Lmax} = \frac{V_{dc}}{I_{tot}} = \frac{12V * 2}{0.5A} = 48\Omega \quad (173)$$

Sabemos que, para los reguladores, debemos tener un cierto margen de 3 a 5 volts. Por lo tanto, podemos determinar los parámetros del transformador:

$$V_{ACtrafo} = \frac{V_{ireg} + 2 V_{iD}}{\sqrt{2}} \quad (174)$$

Donde V_{ireg} es la tensión de continua a la entrada del regulador, y V_{iD} es la tensión de caída en los diodos (realizamos el cálculo para una polaridad, por simplificación de simetría). Dando el margen, la ecuación nos queda

$$V_{ACtrafo} = \frac{V_o + 3V + 1.4V}{\sqrt{2}} \geq 11.6V \quad (175)$$

Por lo que podemos tomar un transformador con toma central y relación de transformación de 220Vac a +12Vac y -12Vac.

Para el rectificador empleamos un puente de diodos (cuatro en total) para rectificación de onda completa. Para el filtrado determinamos un valor de ripple aceptable. En nuestro caso, decidimos que la magnitud máxima de ripple sea de aproximadamente el 5% de la entrada. El capacitor tendrá el valor

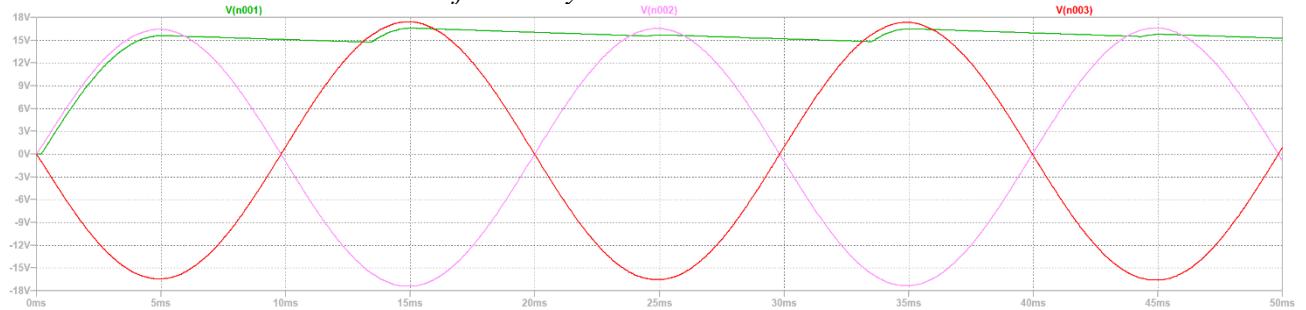
$$C = \frac{I_o}{f \times V_{ripple}} = \frac{1A}{100Hz \times 0.85V} \approx 11764\mu F \rightarrow 12000\mu F \quad (176)$$

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

6.1.4 Simulación

Figura 6.1.2

Rectificación y Filtrado: Señal de salida



6.1.5 Resumen de la etapa

Figura 6.1.3: Esquemático resultante

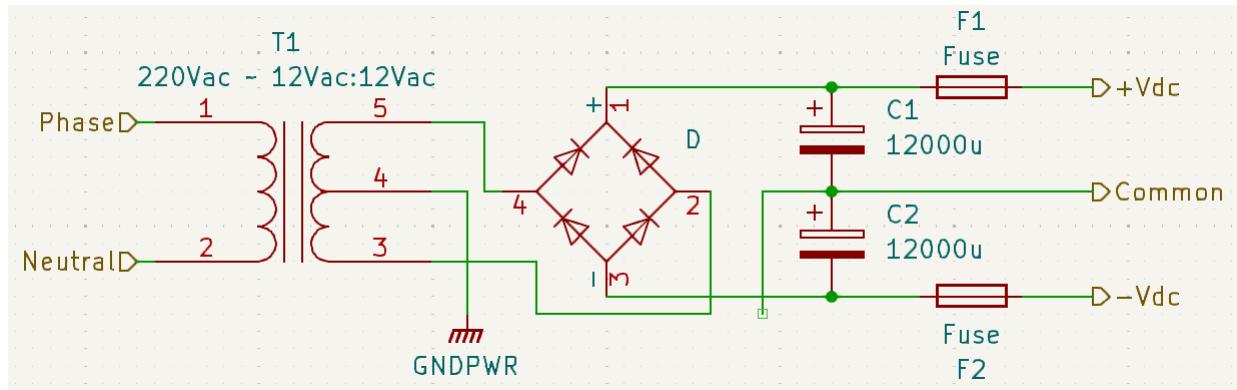


Tabla 21: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
C_1, C_2	$12000 \mu\text{F}$	(176)

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

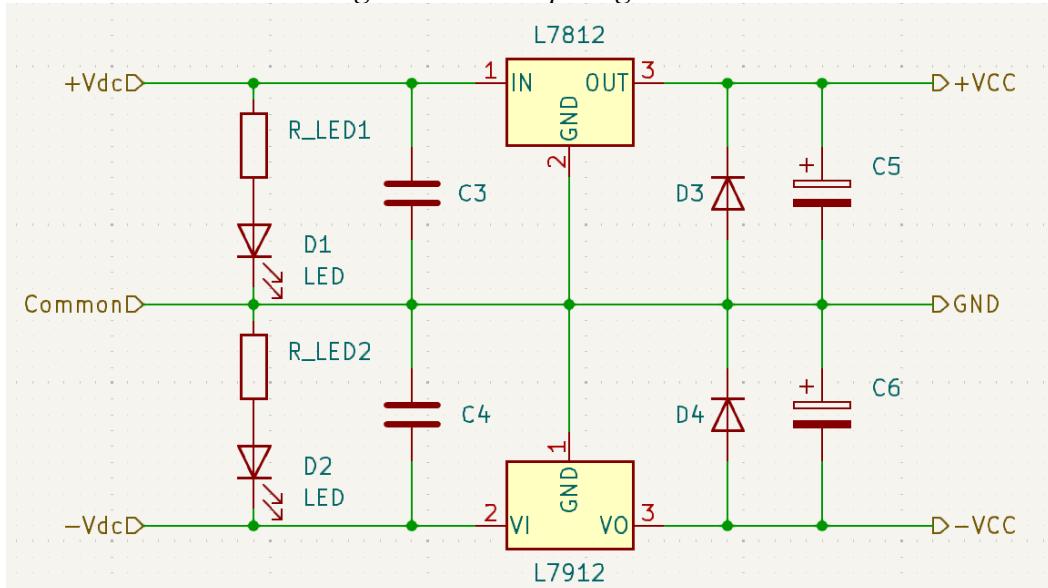
6.2 Regulador

6.2.1 Especificaciones

Como hemos previsto anteriormente, debemos llegar al regulador con una tensión de margen de unos 3 volts para tener una salida estable de 12 volts a su salida. Realizaremos el diseño de una manera práctica con reguladores LM7812 y LM7912, aunque también abordaremos un diseño más “discreto” y “didáctico” donde podamos observar el comportamiento del circuito.

6.2.2 Esquemático

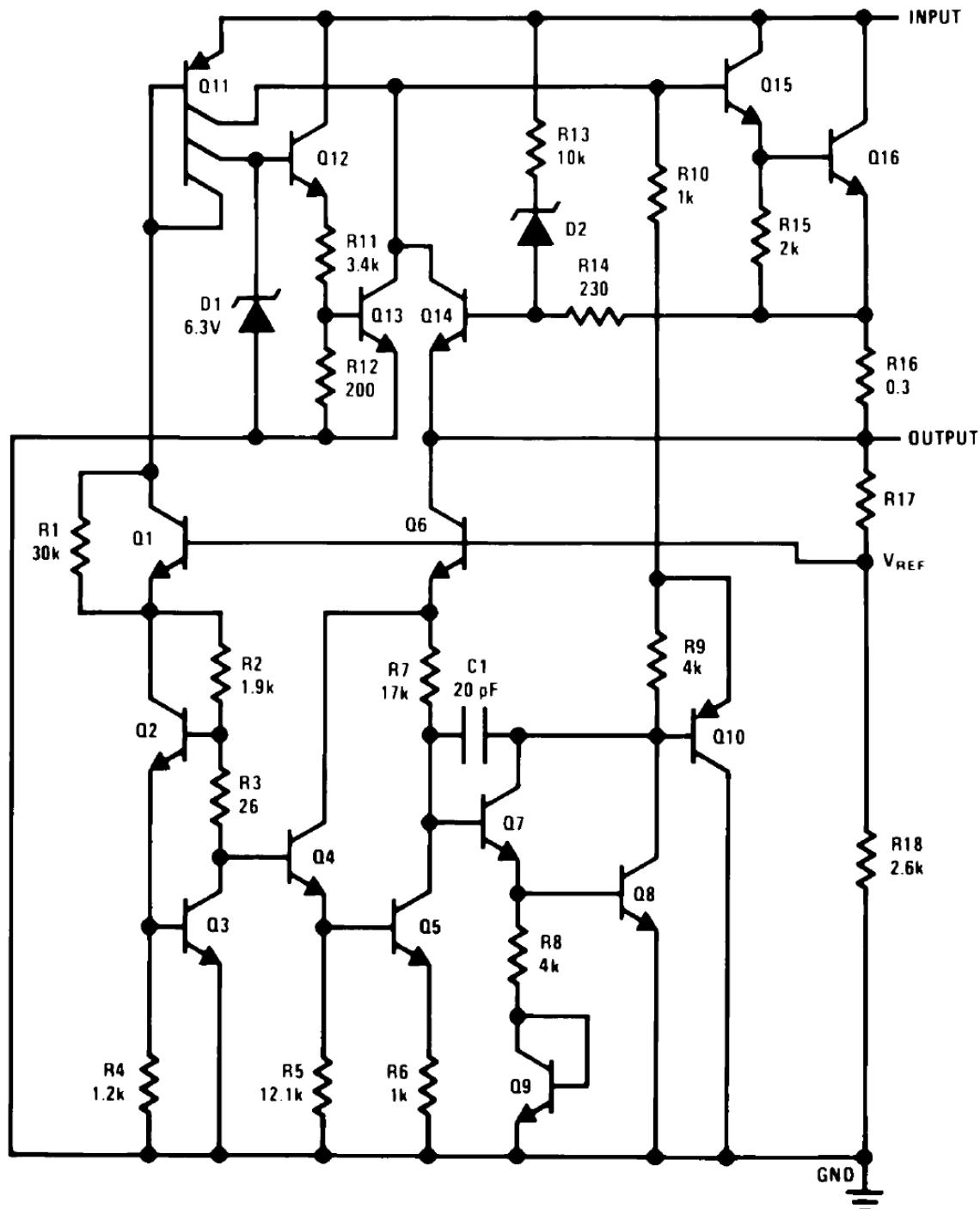
Figura 6.2.1: Etapa reguladora



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

6.2.3 Circuito equivalente reguladores

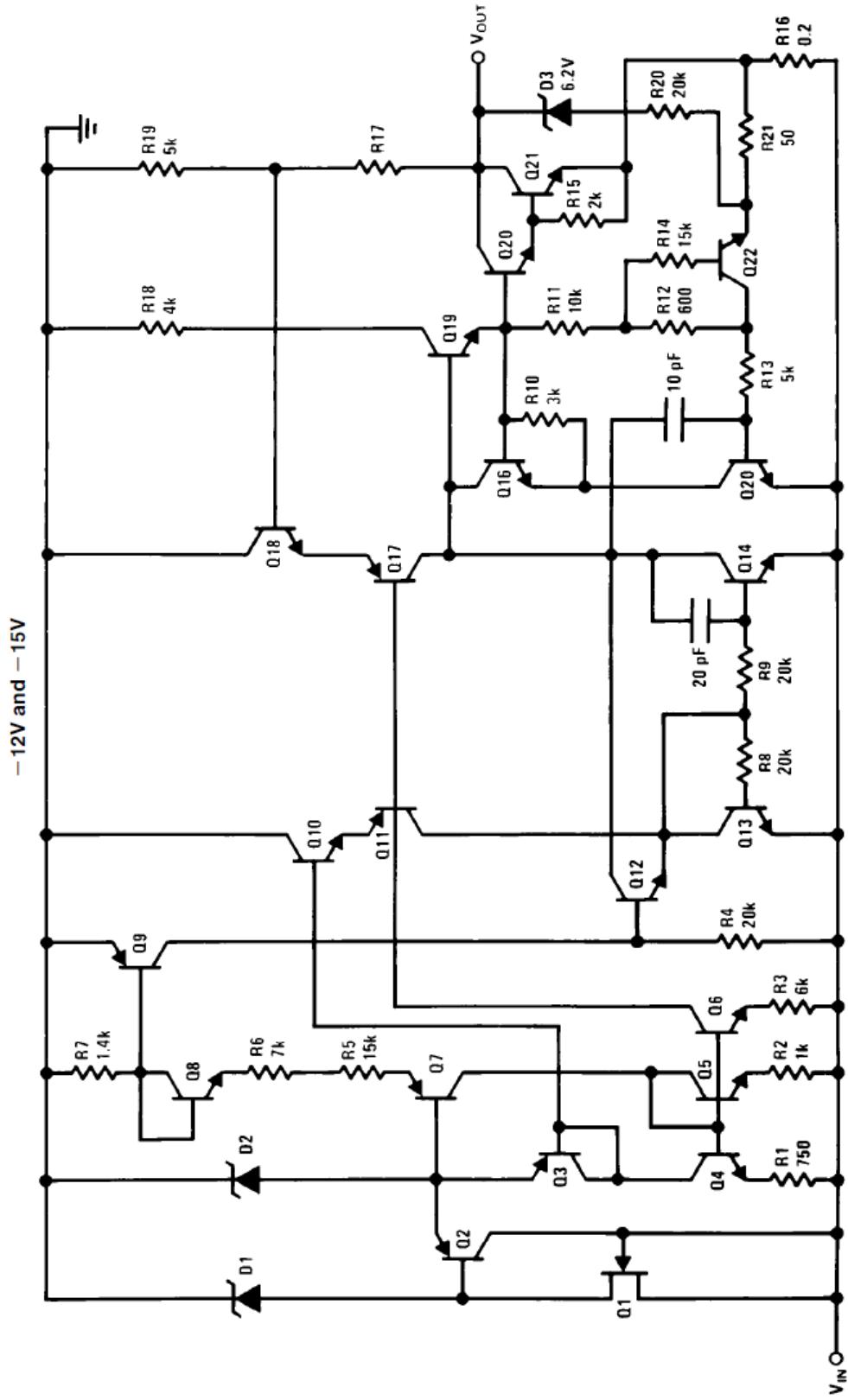
Figura 6.2.2: LM7812



DS007746-1

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

Figura 6.2.3: LM7912



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

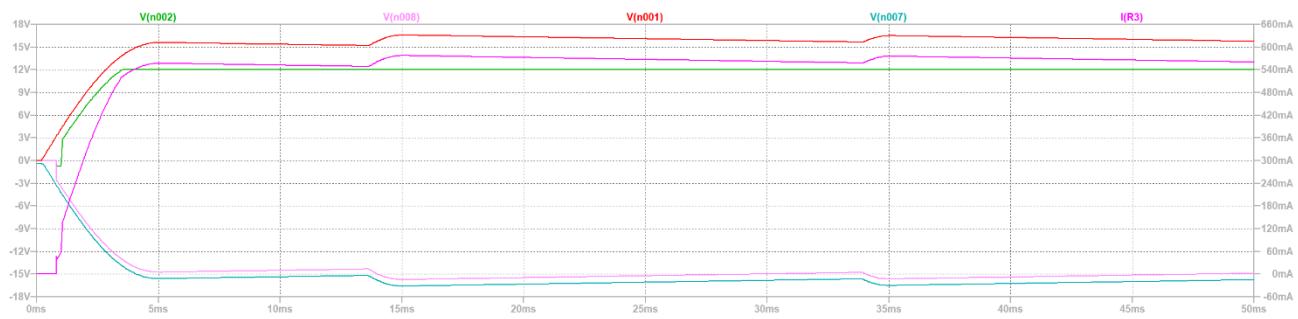
6.2.4 Cálculo

Para las resistencias de led, tenemos:

$$R_{LED} = \frac{15V - 2V}{20mA} \approx 650\Omega \rightarrow 680\Omega \quad (177)$$

6.2.5 Simulación

Figura 6.2.4: Salida regulador



Aclaración: la salida negativa inestable se debe al modelo simulado. Ya que no se encuentra un modelo en LTspice de los reguladores de tensión LM7812 y LM7912, estos se tuvieron que simular. Aun así, los parámetros son los esperados (pese a su inestabilidad).

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

6.2.6 Resumen de la etapa

Figura 6.2.5: Esquemático resultante

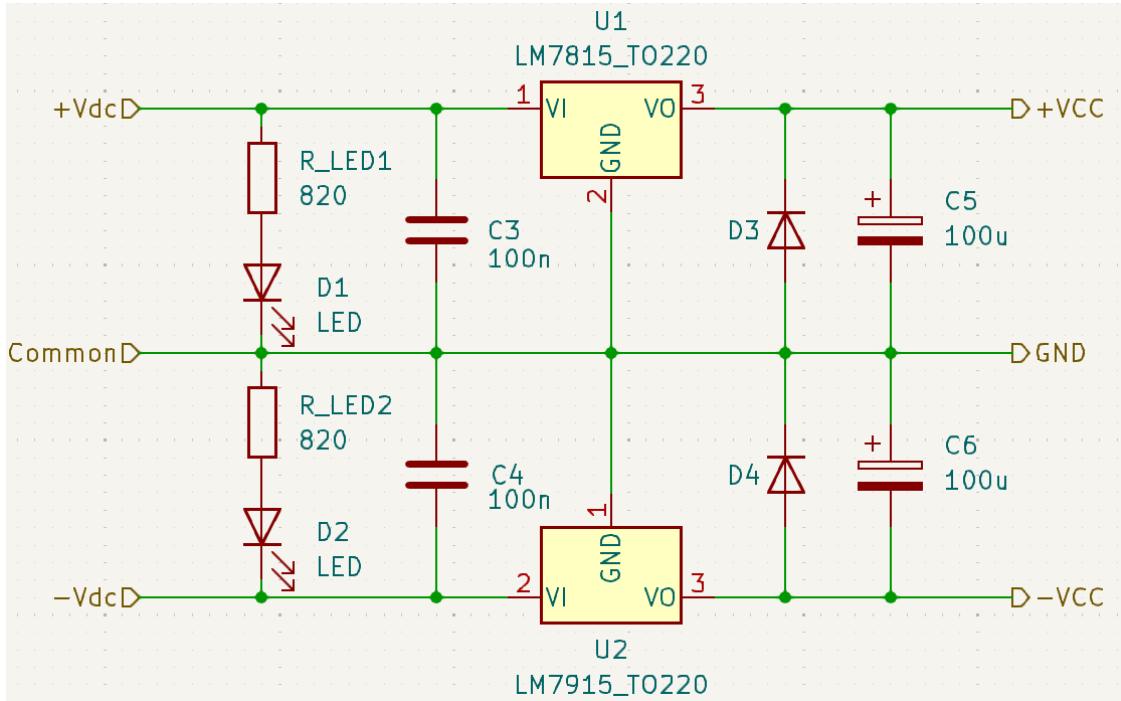


Tabla 22: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R_{LED_1}, R_{LED_2}	820 Ω	(177)
C_3, C_4	100 nF	(77)
C_5, C_6	100 μ F	(78)

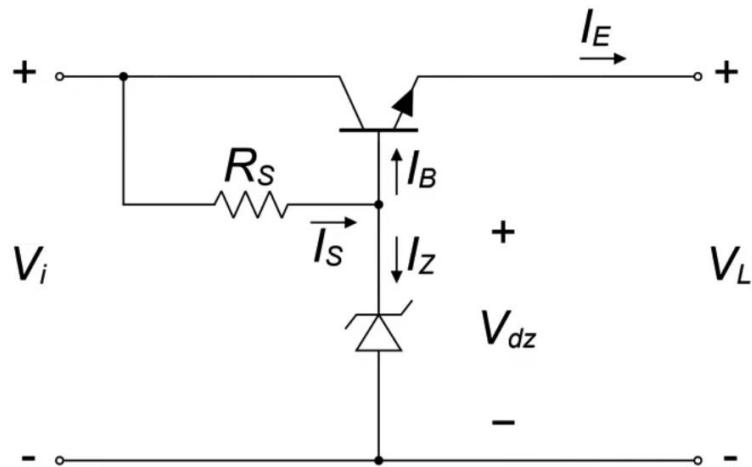
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Ingeniería electrónica – Electrónica aplicada II – 2025
Anteproyecto para trabajo final de cátedra
“Mezclador y Amplificador de 3 W”

6.3 Regulador sin IC - Simétrico

6.3.1 Introducción

Un conocido y simple regulador, es el regulador de tensión en serie:

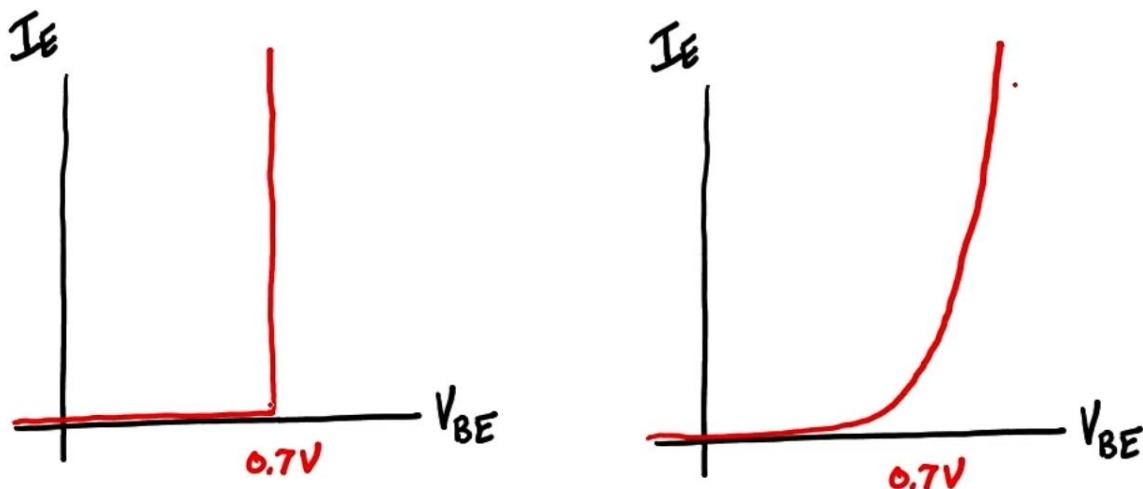
Figura 6.3.1: Regulador serie de tensión



Pero este circuito tiene un problema. Sabemos que la tensión de salida será dada por la tensión del diodo Zener menos la tensión base emisor del transistor. Como resultado tendríamos un modelo como se representa en la Figura 6.3.2, pero en la práctica, el comportamiento de la juntura tiene una respuesta similar a la de un diodo, como se muestra en la Figura 6.3.3.

Figura 6.3.2: Comportamiento ideal del transistor

Figura 6.3.3: Comportamiento real del transistor

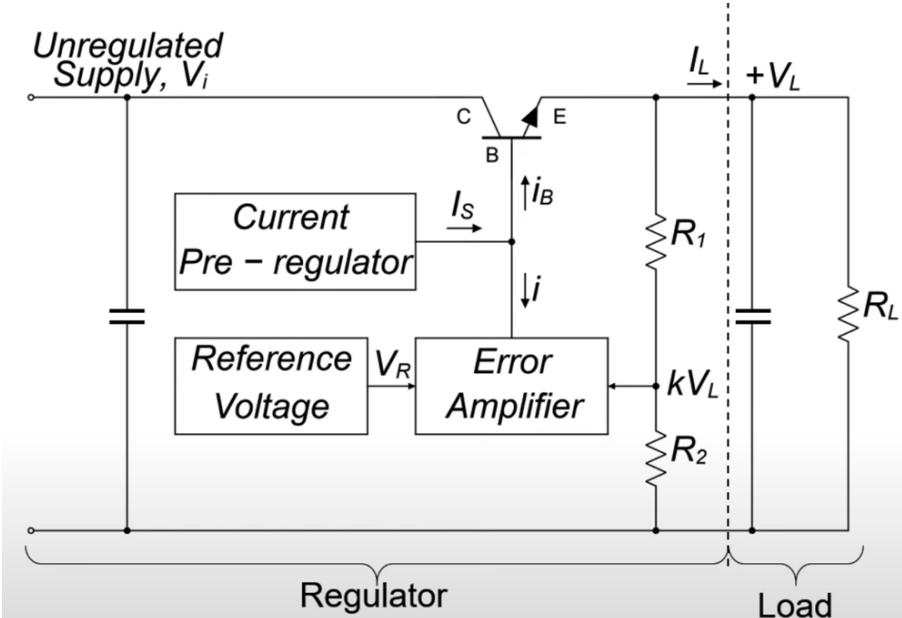


El efecto en el regulador es que a medida que la carga del regulador varía, la cantidad de corriente a través de esta también varía, y, por lo tanto, así lo hace la tensión de juntura base-emisor, haciendo que la tensión de salida sea inestable.

Para resolver este inconveniente, implementamos una red de realimentación negativa

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 6.3.4: Regulador serie de tensión



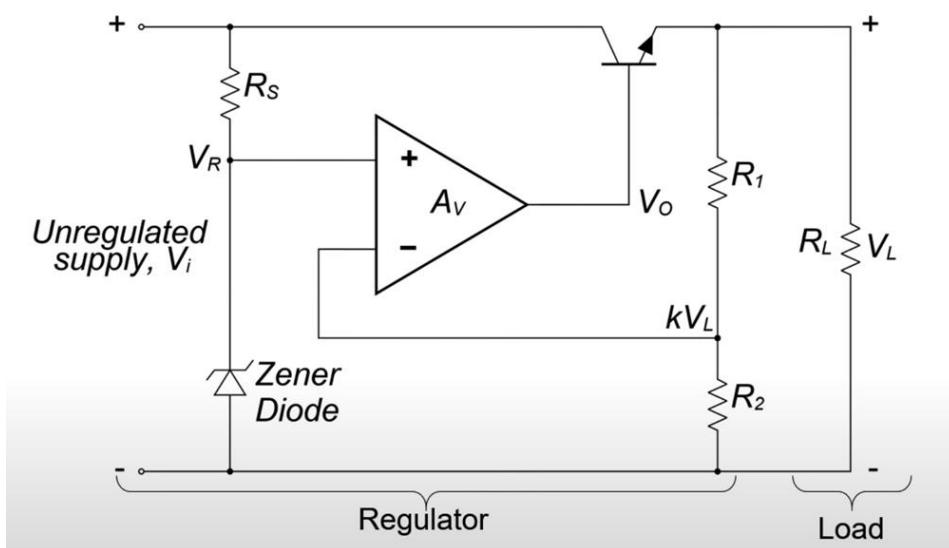
El amplificador de error es prácticamente un comparador que compara la tensión de salida con la tensión de referencia (la cual queremos obtener a la salida). Cuando haya diferencia de voltaje, el amplificador de error modificará la corriente de base del transistor.

Respecto a las resistencias R_1 y R_2 , debemos tener como precaución de elegir valores útiles a la división de tensión, pero que no impliquen un consumo alto de corriente.

Para evitar que el transistor sature, su tensión colector-emisor debemos considerar un margen. Este margen puede ser de 3 a 5 voltos. Es la diferencia entre la salida y la entrada del regulador.

Por simplicidad, implementaremos un diseño utilizando un amplificador operacional como amplificador de error, y un diodo Zener para la tensión de referencia.

Figura 6.3.5: Regulador serie de tensión



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

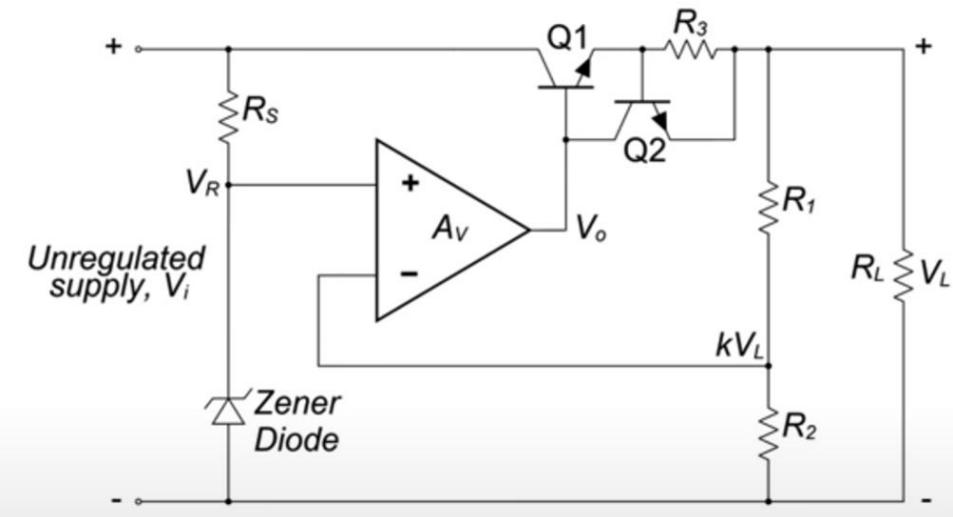
Debemos tener en cuenta precaución mencionada sobre el divisor de tensión, y también que por el diodo Zener no circule mucha corriente. Al usar un op amp, el consumo de corriente es bajo, y, por lo tanto, la corriente en R_S no debe ser elevada.

Analizamos las situaciones posibles:

- $kV_L = V_R$: El amplificador está operando en el punto deseado, por lo tanto $V_o = V_{deseada}$
- $kV_L < V_R$: El amplificador operacional aumenta su tensión de salida
- $kV_L > V_R$: El amplificador operacional disminuye su tensión de salida

Nos queda solucionar el caso donde la salida se cortocircuite. Para eso, agregaremos un protector de sobre corriente.

Figura 6.3.6: Regulador serie de tensión



El principio de funcionamiento es simple. Mientras que la corriente de salida sea la calculada, el segundo transistor tendrá un suministro de corriente base muy bajo, y la mayor parte de corriente circulará por el resistor. Esto es una condición de funcionamiento normal. La desventaja es que debemos considerar el valor de caída de tensión de la resistencia R_3 .

Para mantener Q_2 apagado, necesitamos que se cumpla (para un transistor de silicio)

$$V_{R3} < 0.6V \quad (178)$$

cuando haya un aumento de la corriente de salida, aumentará V_{R3} y, por lo tanto, Q_2 entra en funcionamiento, haciendo que la corriente de base en Q_1 se reducirá, entonces lo hará la corriente de colector (corriente de salida).

6.3.2 Cálculo

Primero realizaremos los cálculos para la regulación positiva, y tendremos la parte negativa de manera análoga (por simetría). Para realizar el cálculo, recordemos los datos necesarios:

$$V_o = 12V, \quad I_o = 0.25A \quad (179)$$

$$V_i = 16V \pm 1V \quad (180)$$

Asumimos que

$$I_{op\ amp} \approx 3mA, \quad I_{Zener\ breakdown} \approx 1mA, \quad V_{Zener} = 5.1V \quad (181)$$

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

Comenzando por la entrada, trabajaremos con el valor mínimo de tensión de entrada

$$R_S = \frac{V_i - V_{Zener}}{I_{R_S}} \approx \frac{15V - 5.1V}{1mA} \approx 10k\Omega \quad (182)$$

La potencia máxima por disipar en el diodo será

$$I_{Zenermax} = \frac{17V - 5.1V}{10k\Omega} = 1.19mA \quad (183)$$

$$P_{Zener} = 5.1V * 1.19mA \approx 6.07mW \quad (184)$$

Para el divisor de tensión, debemos tener en cuenta que

$$V_o \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V_{Zener} \quad (185)$$

Tomando un valor

$$R_2 = 5.1k\Omega \quad (186)$$

resulta

$$R_1 = 6900\Omega \rightarrow 6.8k\Omega + 100\Omega \quad (187)$$

Con estos resultados, calculamos la corriente suministrada a la red de realimentación:

$$I_\beta = \frac{V_o}{R_1 + R_2} = \frac{12V}{5.1k\Omega + 6.9k\Omega} = 1mA \quad (188)$$

Representa el 0.2% de la corriente de salida deseada.

Calculamos la potencia a disipar en el transistor:

$$P_Q = V_{CEmax} * (I_o + I_\beta) = (V_{i_{max}} - V_o) * (I_o + I_\beta) \quad (189)$$

$$P_Q = 1.255W \quad (190)$$

Calculamos el valor de la resistencia del circuito de protección

$$R_3 = \frac{0.6V}{0.25A} = 2.4\Omega \rightarrow 2.2\Omega \quad (191)$$

$$P_{R_3} = (0.25A)^2 * 2.2\Omega \approx 0.14W \quad (192)$$

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

6.3.3 Simulación

Figura 6.3.7

Regulador sin IC: Salida regulador

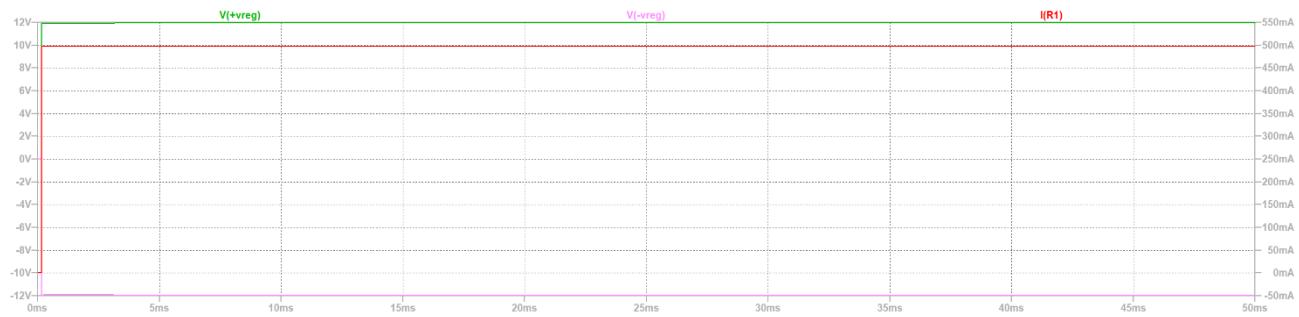


Tabla 23: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error
$V_{reg}^+[V]$	12	11.94	-0.5%
$V_{reg}^-[V]$	-12	-11.94	0.5%
$I_o[mA]$	500	498	-0.4%

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

6.3.4 Resumen de la etapa

Figura 6.3.8: Esquemático resultante

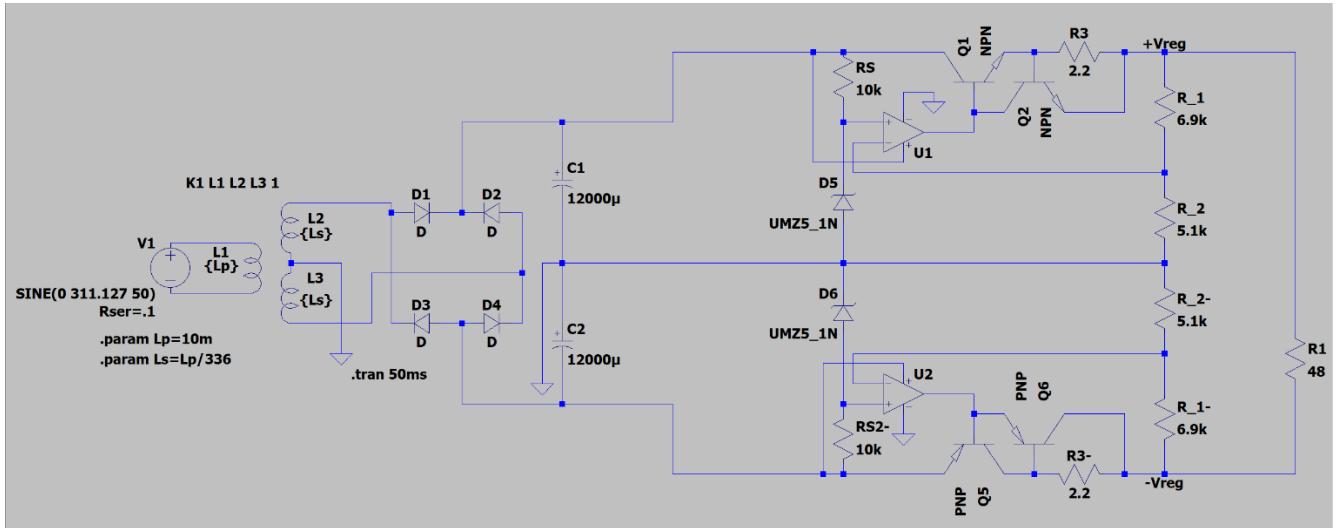


Tabla 24: Componentes de la etapa

Componente	Valor	Número de Ecuación
R_S	10 kΩ	(182)
R_2	5.1 kΩ	(186)
R_1	$6.8 \text{ k}\Omega + 100 \Omega$	(187)
R_3	2.2 Ω	(191)

6.4 Regulador sin IC – 8 Volts

6.4.1 Introducción

Procedemos de igual manera que con el regulador simétrico.

6.4.2 Cálculo

Recordemos los datos necesarios para este regulador:

$$V_o = 8V, \quad I_o = 0.1A \quad (193)$$

$$V_i = 16V \pm 1V \quad (194)$$

Asumimos que

$$I_{op\ amp} \approx 3mA, \quad I_{Zener\ breakdown} \approx 1mA, \quad V_{Zener} = 5.1V \quad (195)$$

Comenzando por la entrada, trabajaremos con el valor mínimo de tensión de entrada

$$R_S = \frac{V_i - V_{Zener}}{I_{R_S}} \approx \frac{15V - 5.1V}{1mA} \approx 10k\Omega \quad (196)$$

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

La potencia máxima por disipar en el diodo será

$$I_{Zener_{max}} = \frac{17V - 5.1V}{10k\Omega} = 1.19mA \quad (197)$$

$$P_{Zener} = 5.1V * 1.19mA \approx 6.07mW \quad (198)$$

Para el divisor de tensión, debemos tener en cuenta que

$$V_o \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V_{Zener} \quad (199)$$

Tomando un valor

$$R_2 = 5.1k\Omega \quad (200)$$

resulta

$$R_1 = 2900\Omega \rightarrow 1.2k\Omega + 1.8k\Omega \quad (201)$$

Con estos resultados, calculamos la corriente suministrada a la red de realimentación:

$$I_\beta = \frac{V_o}{R_1 + R_2} = \frac{12V}{5.1k\Omega + 3k\Omega} \approx 987\mu A \quad (202)$$

Representa el 1% de la corriente de salida deseada.

Calculamos la potencia a disipar en el transistor:

$$P_Q = V_{CE_{max}} * (I_o + I_\beta) = (V_{i_{max}} - V_o) * (I_o + I_\beta) \quad (203)$$

$$P_Q = 909mW \quad (204)$$

Calculamos el valor de la resistencia del circuito de protección

$$R_3 = \frac{0.6V}{0.1A} = 6\Omega \rightarrow 5.6\Omega \quad (205)$$

$$P_{R_3} = (0.1A)^2 * 5.6\Omega = 56mW \quad (206)$$

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

6.4.3 Simulación

Figura 6.4.1

Regulador sin IC: Salida regulador

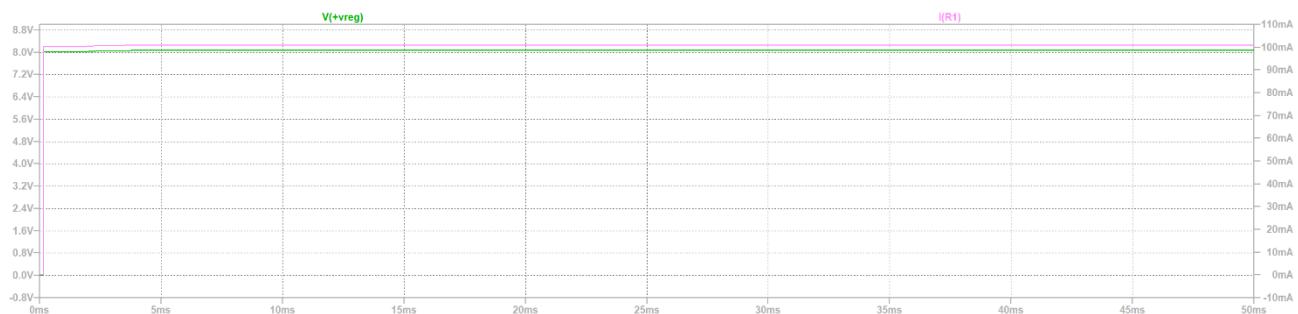


Tabla 25: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error
$V_{reg}^+[V]$	8	8.06	0.75%
$I_o [mA]$	100	100.77	0.77%

6.4.4 Resumen de la etapa

Figura 6.4.2: Esquemático resultante

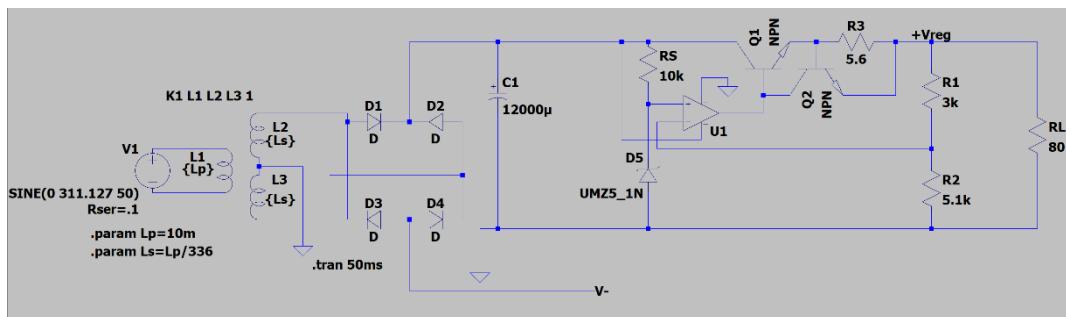


Tabla 26: Componentes de la etapa

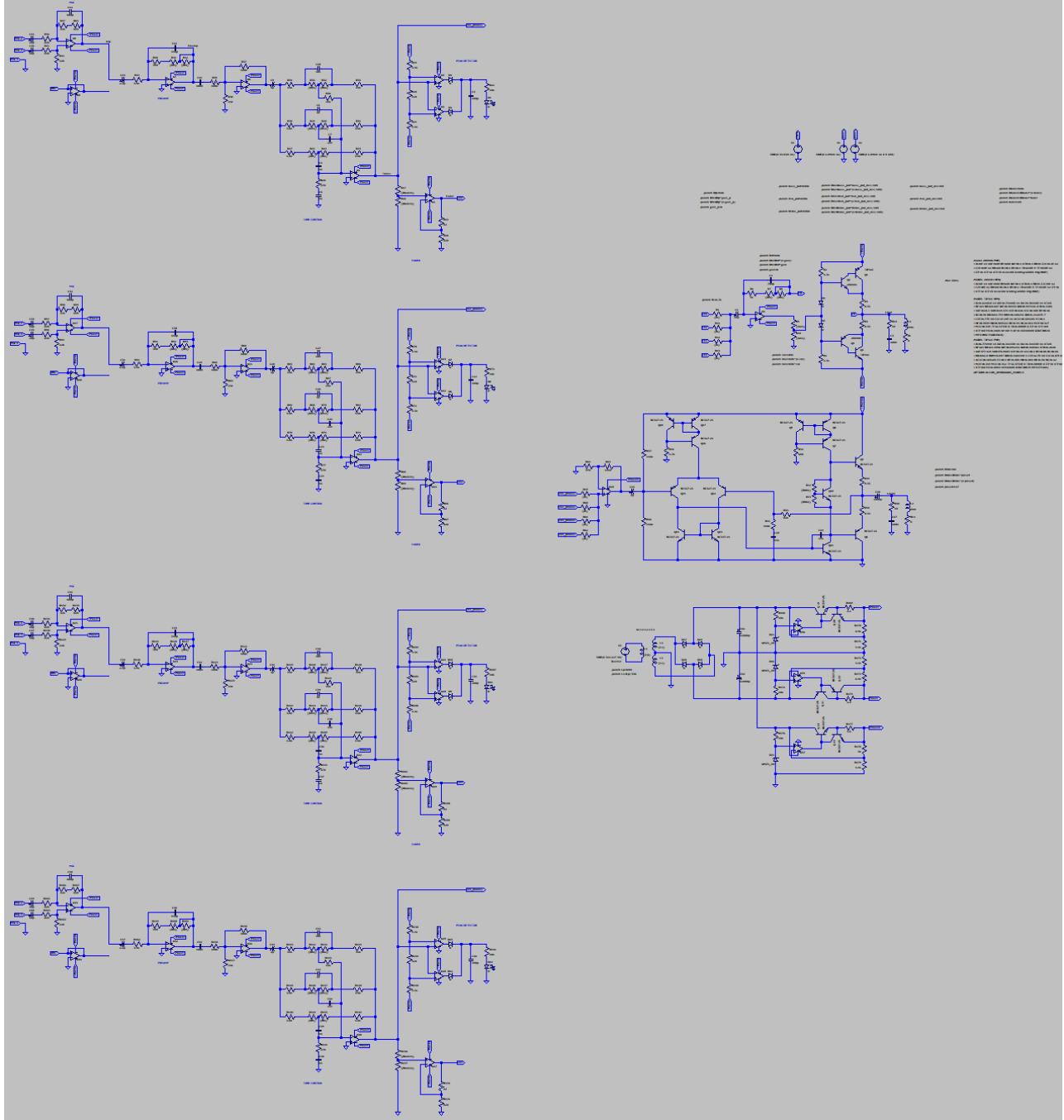
Componente	Valor	Número de Ecuación
R_S	$10 \text{ k}\Omega$	(196)
R_2	$5.1 \text{ k}\Omega$	(200)
R_1	$1.2 \text{ k}\Omega + 1.8 \text{ k}\Omega$	(201)
R_3	5.6Ω	(205)

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

7 Resultado de proyecto

7.1 Esquemático

Presentamos a continuación el resultado final del proyecto:



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

7.2 Simulación

Figura 7.2.1

Proyecto final: Salida de un canal

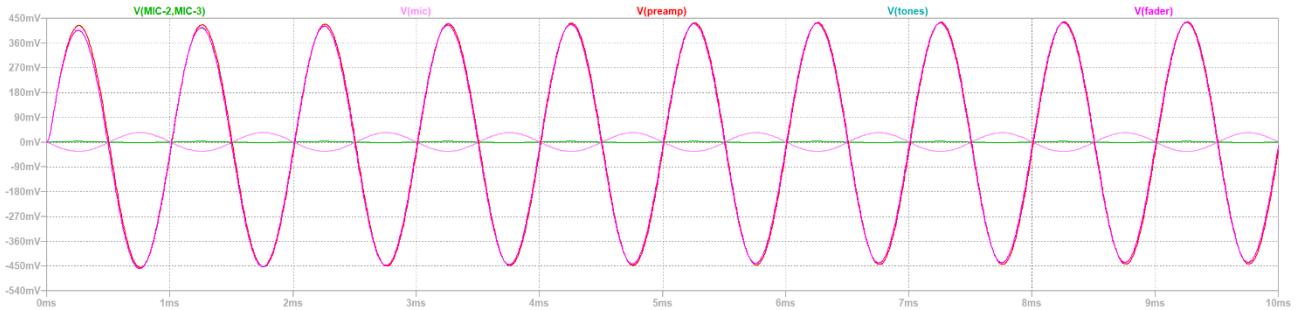


Tabla 27: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error relativo
$v_{o_{MIC}} [mV]$	34.65	34.48	-0.49%
$v_{o_{preamp}} [mV]$	434.16	447.01	2.96%
$v_{o_{tones}} [mV]$	434.16	441.79	1.75%
$v_{o_{fader}} [mV]$	434.16	442.23	1.86%

Figura 7.2.2

Proyecto final: Amplificador de 3W

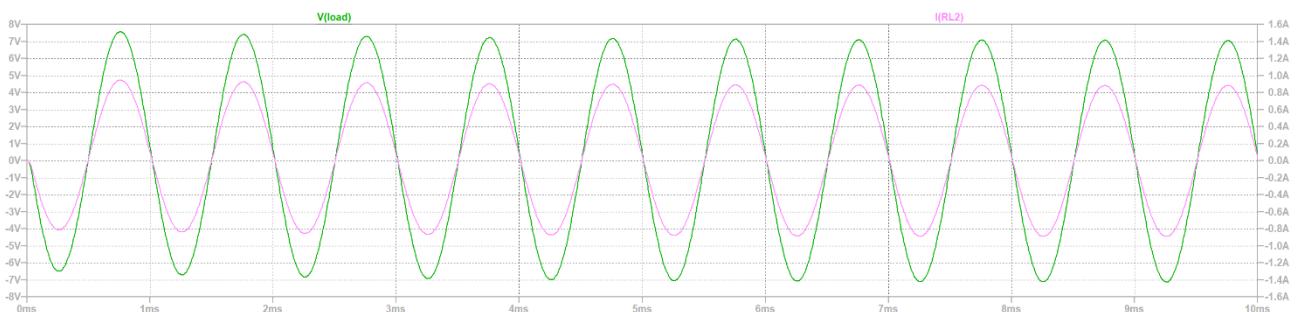


Tabla 28: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error
$v_{o_{max}} [V]$	6.93	7.13	2.89%
$i_{o_{max}} [mA]$	870	890.72	2.38%
$P_L [W]_{RMS}$	3	3.18	6%

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 7.2.3
Proyecto final: Amplificador 250mW

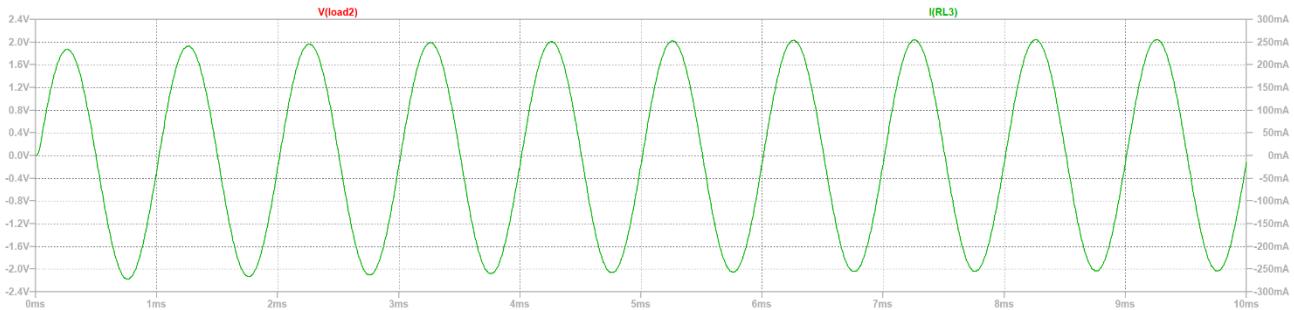


Tabla 29: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error
$v_{o_{max}}[V]$	1.99	2.02	1.51%
$i_{o_{max}}[mA]$	250	252.18	0.87%
$P_L[mW]_{RMS}$	250	254.70	1.88%

Figura 7.2.4
Proyecto final: Amplificador 3W

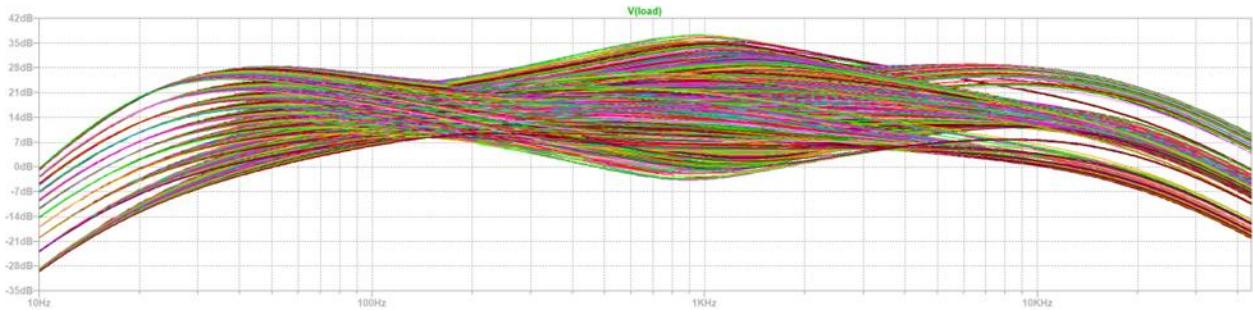
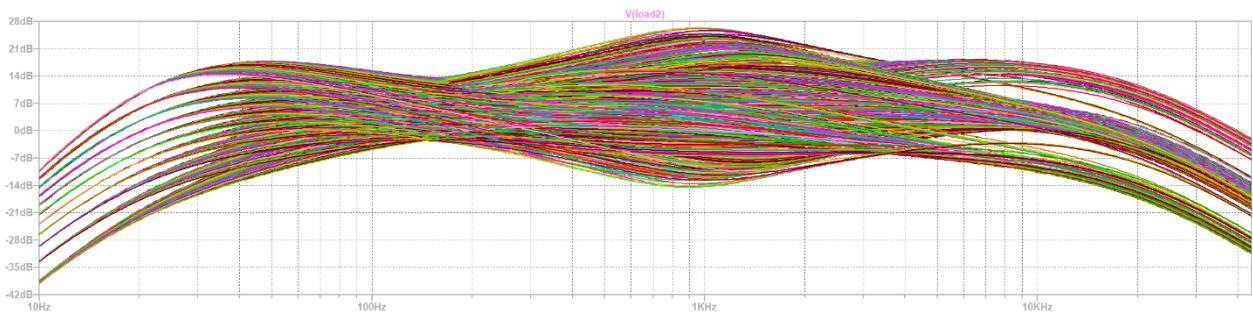


Figura 7.2.5
Proyecto final: Amplificador 250mW



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 7.2.6

Proyecto final: Respuesta en frecuencia - 3W

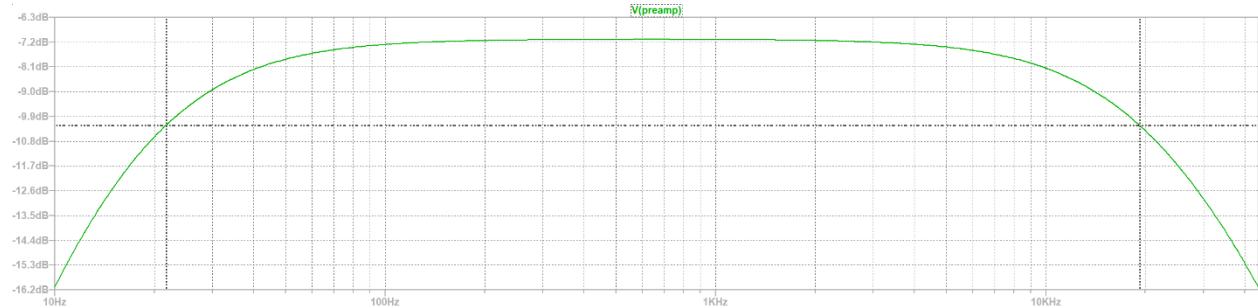


Tabla 30: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error
$f_{min}[\text{Hz}]$	20	21.75	8.75%
$f_{max}[\text{kHz}]$	20	19.21	-3.95%

Figura 7.2.7

Proyecto final: Respuesta en frecuencia - 3W

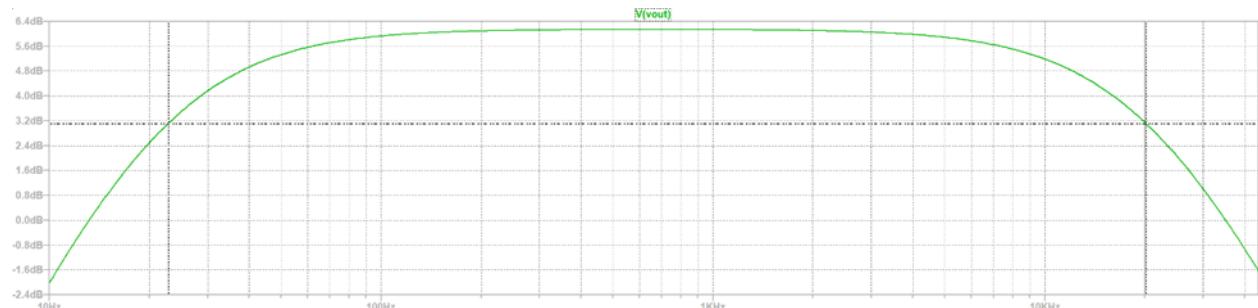


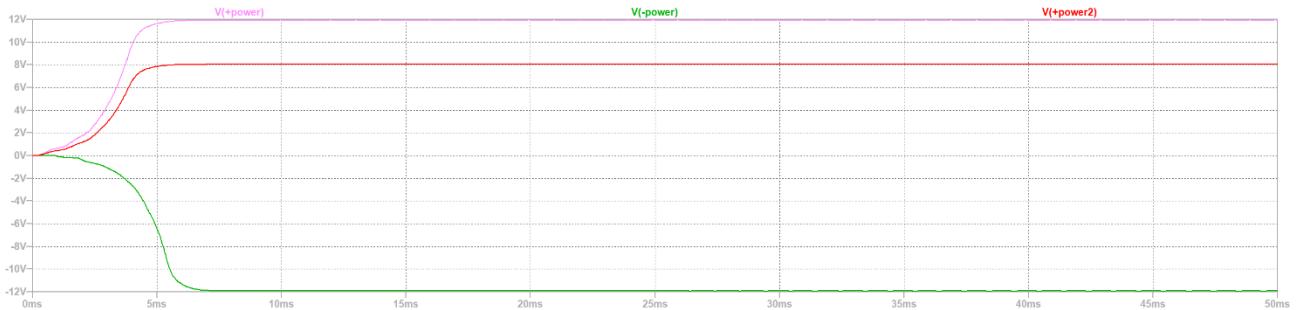
Tabla 31: Resultados simulación

Señal	Calculado	Simulado	Error
$f_{min}[\text{Hz}]$	20	21.79	8.95%
$f_{max}[\text{kHz}]$	20	20.07	0.35%

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 7.2.8

Proyecto final: Salida fuente de alimentación



7.3 Rendimientos

7.3.1 Amplificador clase AB de 3W

Obtenido por simulación, el consumo de corriente es

$$I_{3W} = \frac{890.72mA}{\pi} + 2mA = 285.52mA \quad (207)$$

El rendimiento es

$$P_{fuente} = 6.85W \quad (208)$$

$$\eta = \frac{P_{3W}}{P_{fuente}} \times 100 = \frac{3.18W}{6.85W} \times 100 = 46.42\% \quad (209)$$

7.3.2 Amplificador clase AB de 250mW

Obtenido por simulación, el consumo de corriente es

$$I_{250mW} = \frac{252.18mA}{\pi} + 25\mu A + 9.69mA + 2.46mA = 92.43mA \quad (210)$$

El rendimiento es

$$P_{fuente} \approx 739.49mW \quad (211)$$

$$\eta = \frac{P_{3W}}{P_{fuente}} \times 100 = \frac{254.7mW}{739.49W} \times 100 = 34.44\% \quad (212)$$

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

8 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