



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

SEMINARIO DE AUDIO PROFESIONAL - 66.66

## Trabajo práctico N° 1

---

### Análisis de amplificador clase B

---

*Alumnos:*

LUNA Diego

[diegorluna@gmail.com](mailto:diegorluna@gmail.com)

Padrón N° 75451

*Docentes:*

Ing. SINNEWALD Daniel Nestor

Ing. RUBINSTEIN Lucas Tomás

7 de Junio de 2020



# Índice

<b>Índice</b>	<b>I</b>
<b>1. Objetivos</b>	<b>1</b>
1.1. Resumen de objetivos . . . . .	1
1.2. Desarrollo . . . . .	1
<b>2. Análisis cualitativo</b>	<b>2</b>
2.1. Secciones del circuito . . . . .	2
<b>3. Punto de reposo</b>	<b>3</b>
<b>4. Respuestas a preguntas en el enunciado</b>	<b>6</b>
4.1. Punto 1 . . . . .	6
4.2. Punto 2 . . . . .	6
4.3. Punto 3 . . . . .	6
<b>5. Observaciones y conclusiones</b>	<b>7</b>
5.1. Observaciones y conclusiones . . . . .	7
<b>6. Bibliografía</b>	<b>9</b>
<b>Apéndices</b>	<b>11</b>
<b>A. Hojas de datos</b>	<b>11</b>
A.1. TL431 . . . . .	11
A.2. TL082 . . . . .	11
A.3. BC548 . . . . .	11
A.4. BC558 . . . . .	11
A.5. BD137 . . . . .	12
A.6. MJE15032 . . . . .	12
A.7. MJE2955 . . . . .	12
A.8. Metal film resistor . . . . .	12
A.9. Carbon film resistor . . . . .	12
A.10. Ceramic capacitor . . . . .	13
A.11. Electrolytic Aluminum capacitor . . . . .	13

## Índice de figuras

1.1. Circuito propuesto. . . . .	1
3.1. Punto de reposo. . . . .	4

## Índice de cuadros

3.1. Resistores seleccionados. . . . .	5
3.2. $I_{CQ}$ y elementos del modelo de pequeña señal de los transistores. . . . .	5



# 1. Objetivos

## 1.1. Resumen de objetivos

El trabajo práctico consiste en el análisis del circuito de un amplificador de audio clase B, en la clásica configuración de 3 etapas, una entrada diferencial, una etapa VAS y una etapa de salida clase B.

## 1.2. Desarrollo

El análisis pedido consiste en llevar el circuito a un punto Q y de compensación determinados, para luego hacer un análisis de su THD en diferentes condiciones. En la figura [1.1] se observa el circuito propuesto.

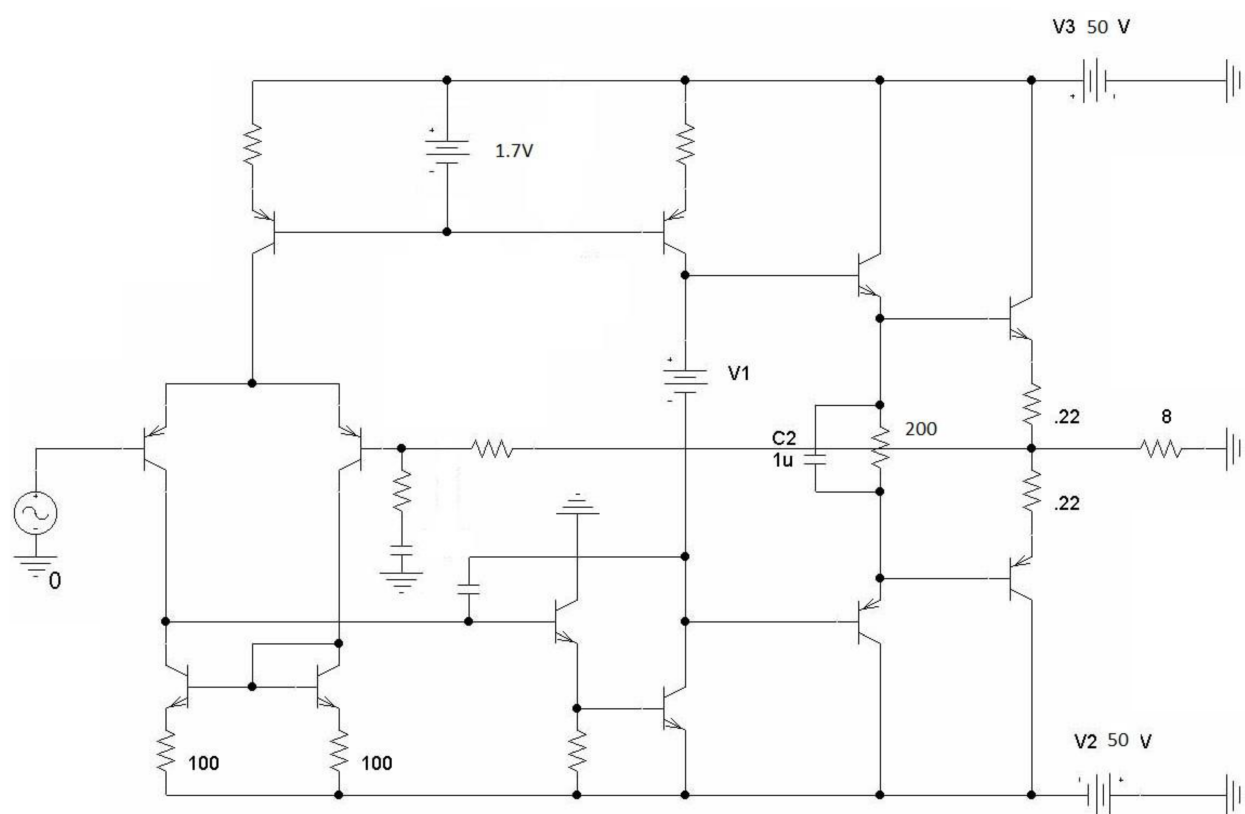


Figura 1.1: Circuito propuesto.

## 2. Análisis cualitativo

### 2.1. Secciones del circuito

La topología del circuito corresponde a la de un típico amplificador de potencia de tres etapas realimentado, donde la “señal” a amplificar es una referencia de tensión, armada en torno a una referencia de tensión comercial, el **TL431**, la tensión de salida es muestreada y sumada a la entrada, formando un lazo de realimentación **serie-paralelo**, estabilizando la tensión de salida, el resultado de esta configuración es una fuente de tensión regulada. El circuito además posee un segundo lazo de realimentación, donde se muestrea la corriente de salida, se convierte a tensión y se suma a la entrada, formando un lazo de realimentación **serie-serie**, estabilizando la corriente de salida. El circuito trabaja con solo uno de los lazos de realimentación funcionando en un dado momento, el switcheo de uno a otro, se realiza en forma automática, con un subcircuito dedicado, según sea el estado de carga, el amplificador de potencia es el mismo en ambos lazos, solo cambia la red de realimentación. El circuito además cuenta con una limitación extra de corriente que actúa únicamente durante transitorios, además el circuito se encuentra compensado en frecuencia en ambos lazos (tema de la segunda parte del trabajo práctico). En el circuito se pueden diferenciar claramente las secciones que se marcan en la figura [??], las mismas son:

- Amplificador diferencial con carga activa: realiza la suma (resta) de la señal realimentada y provee amplificación.
- Referencia de tensión: Provee una tensión estable de referencia de aproximadamente 1V y además provee alimentación para algunas partes del circuito (10V).
- Seguidor con carga activa: Provee adaptación de impedancia entre la primera y la tercera etapa.
- Par compuesto (Sziklai): Maneja la corriente de salida, presentando a la carga una muy baja impedancia y una alta impedancia a la segunda etapa.
- Limitación de corriente simple: Formada solo por un transistor que limita durante transitorios, simplemente deriva corriente de la base del seguidor (segunda etapa).
- Llave analógica: Hace el switcheo automático entre los lazos de tensión y corriente, es prácticamente transparente a fines prácticos.
- Realimentación de tensión: Red de muestreo y realimentación de tensión (la mitad de la llave forma parte de la misma).
- Realimentación de corriente: Red de muestreo y realimentación de corriente (la mitad de la llave forma parte de la misma).



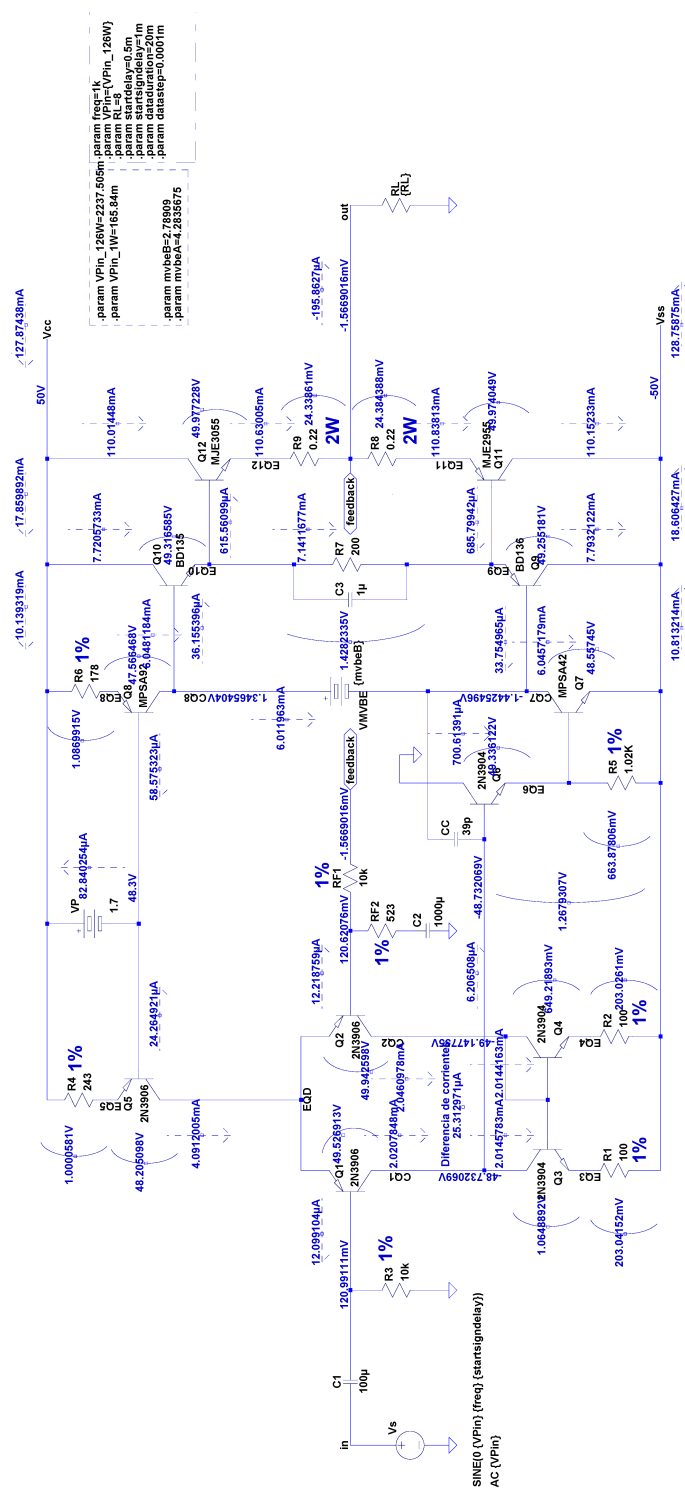
### 3. Punto de reposo

Se hizo inicialmente un cálculo rápido de los valores necesarios para los resistores para lograr el punto Q requerido, luego se refinaron por simulación estos valores, para finalmente llevar a valores comerciales de la serie **E24** (5 %) o **E96** (1 %), figura [3.1]. Se utilizaron los de la serie al 1 % para aquellos resistores que deben estar apareados (espejo de corriente) y para aquellos resistores que fijan la polarización o forman parte de la red de realimentación, en este último caso, también deberían utilizarse resistores de film de óxido metálico, por ser los resistores con mayor estabilidad térmica. En el cuadro [3.1] se muestran los resistores seleccionados y su tipo, y en el cuadro [3.2] se resumen los valores de polarización finalmente obtenidos.

El capacitor  $C_1$  que se coloca para impedir que continua aplicada al circuito por la fuente de la señal de audio, o una etapa previa, altere la polarización, debería ser un capacitor electrolítico no polarizado, y su valor de 100 $\mu$ F se seleccionó para cumplir con una frecuencia de corte inferior de como máximo 20Hz, y no influir significativamente en el THD a bajas frecuencias. Con un valor de 47 $\mu$ F sería suficiente para cumplir con la frecuencia de corte inferior, pero su influencia sobre el THD se hace apreciable incluso a 1kHz

El capacitor  $C_2$  de 1000 $\mu$ F se seleccionó para que no tenga efecto apreciable sobre el THD, especialmente a bajas frecuencias, y debería ser un capacitor electrolítico de buena calidad, de bajo ESR y no polarizado. La calidad de este capacitor es crítica por hallarse en la red de realimentación, influyendo directamente en la calidad y estabilidad del amplificador. En un circuito mas completo deberían agregarse diodos que protejan este capacitor de un valor de tensión que podría aparecer a la salida, que supere su máxima tensión de trabajo.

El capacitor  $C_C$ , de 39pF, que se coloca para realizar la compensación de Miller, debería ser un capacitor de poliestireno o poliéster.



**Figura 3.1:** Punto de reposo.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	RF1	RF2
$R [\Omega]$	100	100	10e3	243	1.02e3	178	200	0.22	0.22	10e3	523
<i>Tolerancia</i> [%]	1	1	1	1	1	1	5	5	5	1	1
<i>Potencia</i> [W]	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	2	2	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$
TIPO	Metal Film	Metal Film	Metal Film	Metal Film	Metal Film	Metal Film	Carbon Film	Wired	Wired	Metal Oxide Film	Metal Oxide Film

**Cuadro 3.1:** Resistores seleccionados.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
MODEL	2N3906	2N3906	2N3904	2N3904	2N3906	2N3904	MPSA42	MPSA92	BD136	BD135	MJE2955	MJE3055
$I_C$ [A]	2.02e-3	2.05e-3	2.01e-3	2.01e-3	4.09e-3	700.61e-6	6.05e-3	6.05e-3	7.79e-3	7.72e-3	110.00e-3	110.14e-3
$gm$ [mA/V]	56.00	56.60	48.10	48.10	111.00	17.50	20.40	22.90	300	298.00	4060.00	4170.00
$r_o$ [ $\Omega$ ]	92.7e3	91.7e3	462.0e3	462.0e3	45.3e3	1.41e6	24.5e3	24.3e3	18.5e3	21.3e3	1.36e3	903.0
$\beta[AC]$	174	174	140	140	170	143	157	108	242	223	162	196
$r_\pi$ [ $\Omega$ ]	3.10e3	3.07e3	2.90e3	2.90e3	1.53e3	8.17e3	772.0	472.0	806.0	748.0	40.0	47.0
$f_T$ [MHz]	210.00	211.00	227.00	222.00	247.00	164.00	74.90	81.10	115.00	178.00	6.80	4.24

**Cuadro 3.2:**  $I_{C_Q}$  y elementos del modelo de pequeña señal de los transistores.

## 4. Respuestas a preguntas en el enunciado

### 4.1. Punto 1

**Enunciado:** Analizar qué función cumple y como opera el subcircuito compuesto por  $R_{12}$  a  $R_{17}$ ,  $C_{16}$  y  $U_3A$ . Luego incluir  $R_S$ . ¿Qué características tiene éste subcircuito, por ejemplo, su transferencia, su ancho de banda, su dependencia de las especificaciones del amplificador operacional TL082, de sus fuentes de alimentación, de la temperatura, de la tolerancia y tecnología de los resistores con los que se lo implemente, etc.

Se explica en detalle en [??].

### 4.2. Punto 2

**Enunciado:** Analizar qué función cumple y como opera el subcircuito compuesto por  $R_{18}$  a  $R_{19}$ ,  $C_{15}$  y  $U_3B$ . ¿Qué características tiene éste subcircuito, por ejemplo, su transferencia, su ancho de banda, su dependencia de las especificaciones del amplificador operacional TL082, de sus fuentes de alimentación, de la temperatura, de la tolerancia y tecnología de los resistores con lo que se lo implemente, etc. ( $R_{18}$  puede variarse desde  $0\Omega$  a  $18k\Omega$ ).

Se explica en detalle en [??].

### 4.3. Punto 3

**Enunciado:** Analizar qué función cumple y cómo opera el subcircuito compuesto por  $R_{20}$  a  $R_{23}$  y  $Q_7$ - $Q_9$ - $Q_{10}$ - $Q_{11}$ . ¿Qué características tiene éste subcircuito?

El circuito se explica en forma cualitativa y con simulaciones en la sección [??]. A partir de la sección [??] y hasta la sección sección [??], se analiza la transferencia en pequeña señal como parte de las redes de realimentación del circuito.

## 5. Observaciones y conclusiones

### 5.1. Observaciones y conclusiones

Los resultados obtenidos son razonables, los resultados calculados manualmente se acercan razonablemente a lo simulado. Creemos luego de haber analizado tanto el circuito que lo entendemos bien, y mejoramos la comprensión del tema realimentación. Un punto en el que sabemos el informe es pobre, es en la descripción de características y tecnologías de los componentes, pero el tiempo impidió profundizar mas en el tema, hay mucho material disponible.



## 6. Bibliografía

### Referencias

- [1] *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits (3<sup>rd</sup> Edition)*  
Author: Paul R. Gray  
Author: Robert G. Meyer  
Publisher: John Wiley & Sons, Inc.; 3<sup>rd</sup> Edition (January 15, 1993)  
Copyright: © 1993, John Wiley & Sons, Inc.  
ISBN 10: 0471574953  
Website: [Analysis and Design of Analog Integrated Circuits \(3<sup>rd</sup> Edition\)](#)
  
- [2] *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits (4<sup>th</sup> Edition)*  
Author: Paul R. Gray  
Author: Paul J. Hurst  
Author: Stephen H. Lewis  
Author: Robert G. Meyer  
Publisher: John Wiley & Sons, Inc.; 4<sup>th</sup> Edition (2001)  
Copyright: © 2001, John Wiley & Sons, Inc.  
ISBN 10: 0471321680  
ISBN 13: 9780471321682  
Website: [Analysis and Design of Analog Integrated Circuits \(4<sup>th</sup> Edition\)](#)
  
- [3] *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits (5<sup>th</sup> Edition)*  
Author: Paul R. Gray  
Author: Paul J. Hurst  
Author: Stephen H. Lewis  
Author: Robert G. Meyer  
Publisher: John Wiley & Sons, Inc.; 5<sup>th</sup> Edition (2009)  
Copyright: © 2001, John Wiley & Sons, Inc.  
ISBN 10: 0470245999  
ISBN 13: 9780470245996  
Website: [Analysis and Design of Analog Integrated Circuits \(5<sup>th</sup> Edition\)](#)

[4] *Circuitos microelectrónicos (4<sup>ta</sup> Edición) español*

Author: Adel. S. Sedra

Author: Kenneth C. Smith

Publisher: Oxford, University press; 4<sup>ta</sup> Edición (2001)

Copyright: © 1999, Oxford, University press México.

Original Copyright: © 1998, 1991, 1987, 1982, Oxford, University press Inc.

ISBN 10: 01951166310

Website: [Circuitos microelectrónicos \(4<sup>ta</sup> Edición\) español](#)

[5] *Microelectronic circuits (5<sup>th</sup> Edition)*

Author: Adel. S. Sedra

Author: Kenneth C. Smith

Publisher: Oxford, University press; 5<sup>th</sup> Edition (2004)

Copyright: © 2004, 1998, 1991, 1987, 1982, Oxford, University press Inc.

ISBN 10: 0195142527

Website: [Microelectronic circuits \(5<sup>th</sup> Edition\)](#)



# Apéndices

## A. Hojas de datos

### A.1. TL431

***TL431****Adjustable precision shunt regulator*Manufacturer page: <http://www.ti.com/product/TL431>Manufacturer Datasheet: <http://www.ti.com/lit/gpn/tl431>

### A.2. TL082

***TL082****Dual High Slew Rate JFET-Input Operational Amplifier*Manufacturer page: <http://www.ti.com/product/TL082?keyMatch=TL082>Manufacturer Datasheet: <http://www.ti.com/lit/gpn/tl082>

### A.3. BC548

***BC548****NPN Epitaxial Silicon Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=BC548>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BC550-D.pdf>

### A.4. BC558

***BC558****PNP Bipolar Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=BC558B>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BC556B-D.PDF>

### A.5. BD137

#### ***BD137***

1,5A, 60V *NPN Bipolar Power Transistor*

Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=BD137>

Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BD135-D.PDF>

### A.6. MJE15032

#### ***MJE15032***

*Bipolar Transistor, NPN, 250V, 8,0A*

Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MJE15032>

Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MJE15032-D.PDF>

### A.7. MJE2955

#### ***MJE2955***

*Bipolar Power Transistor, PNP, 10A, 60V, 75W*

Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MJE2955T>

Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MJE2955T-D.PDF>

### A.8. Metal film resistor

#### ***Metal film resistor***

*Metal film resistor*

Manufacturer page: <https://www.vishay.com/resistors-fixed/metal-film/tab/doclibrary/>

### A.9. Carbon film resistor

#### ***Carbon film resistor***

*Carbon film resistor*

Manufacturer page: <http://www.vishay.com/resistors-fixed/carbon-film/tab/doclibrary/>

## A.10. Ceramic capacitor

### *Ceramic capacitor*

#### *Ceramic disk capacitor*

Manufacturer page: <https://www.vishay.com/capacitors/ceramic/disc/>

## A.11. Electrolytic Aluminum capacitor

### *Electrolytic capacitor*

#### *Electrolytic aluminum capacitor*

Manufacturer page: <https://www.vishay.com/capacitors/aluminum/>