



FACULTAD DE INGENIERIA

Universidad de Buenos Aires

CIRCUITOS ELECTRÓNICOS II - 66.10

Trabajo práctico N° 2

Analizar el amplificador de potencia del Turner 730

Alumnos:

IRUSTA Pablo Padrón N° 80171

pabirus@gmail.com

LUNA Diego Padrón N° 75451

diegorluna@gmail.com

NIERO Adrián Padrón N° 80533

adrianniero@gmail.com

ROMERO Daniel Padrón N° 69456

danielosrom@gmail.com

Docentes:

Ing. BERTUCCIO José Alberto

Ing. ACQUATICCI Fabián*

Ing. MARCHI Edgardo

Ing. BULACIO Matías

Ing. D'ANGIOLO Federico

Ing. GAMEZ Pablo

(*) Docente asignado.

13 de mayo de 2019

Índice

Índice	I
1. Objetivos	1
1.1. Resumen de objetivos	1
1.2. Desarrollo	1
2. Análisis cualitativo	2
3. Punto de reposo	4
4. Respuestas a preguntas en el enunciado	7
5. Observaciones y conclusiones	7
5.1. Observaciones y conclusiones	7
6. Bibliografía	9
Apéndices	11
A. Hojas de datos	11
A.1. BC548	11
A.2. BC558	11
A.3. BD135	11
A.4. BD136	11
A.5. TIP41	12
A.6. Metal film resistor	12
A.7. Carbon film resistor	12
A.8. Ceramic capacitor	12
A.9. Electrolytic Aluminum capacitor	12

Índice de figuras

1.1. Circuito del amplificador de potencia Turner 730	1
2.1. Circuito esquematizado con las etapas indicadas.	2
3.1. Punto de reposo del circuito.	6

Índice de cuadros

3.1. Elementos del modelo de pequeña señal de los transistores ($f_{(I_C)}$).	6
---	---

1. Objetivos

1.1. Resumen de objetivos

El objetivo del presente trabajo, es el análisis del amplificador de potencia de audio **Turner 730**, el circuito del mismo se muestra en la figura [1.1]. El amplificador es un modelo que se comercializó hace varios años, pero que hasta hoy en día es buscado por aficionados al audio y es también construido en su versión original, o en varias variantes que se pueden encontrar en foros sobre audio.

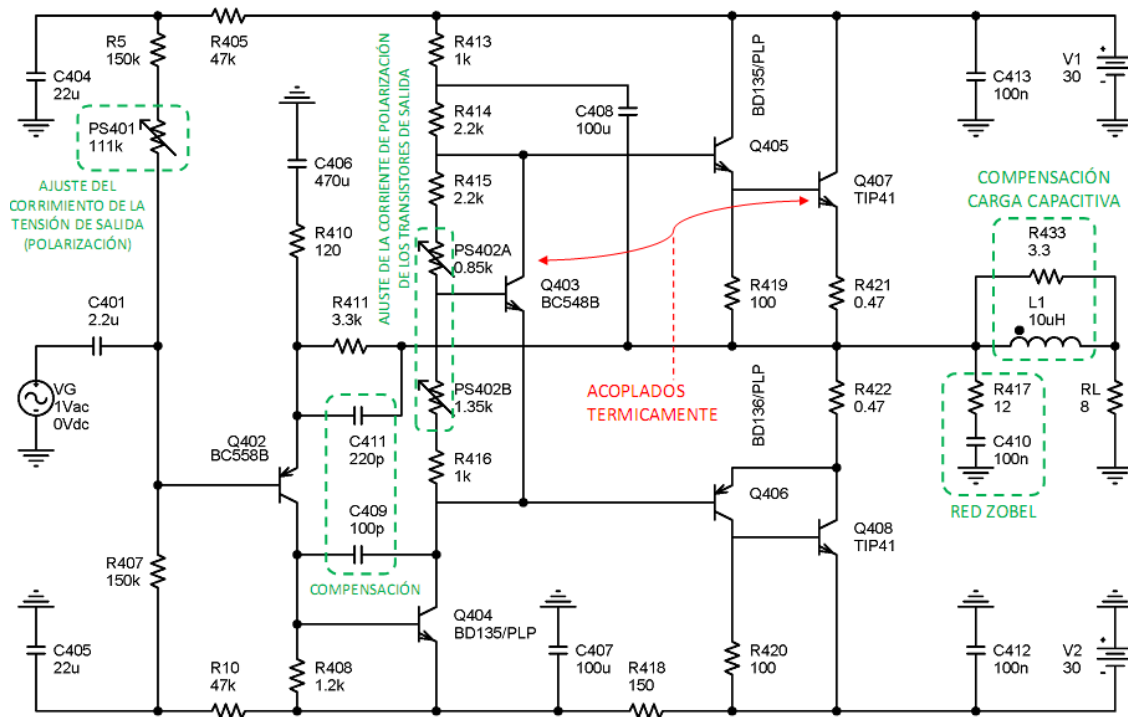


Figura 1.1: Circuito del amplificador de potencia **Turner 730**.

1.2. Desarrollo

El desarrollo se hace en base a los puntos del enunciado, pero básicamente es el mismo esquema que con cualquier circuito, primero se analiza en forma manual el punto de reposo de todos los transistores en la sección [??], para luego analizar el circuito en señal, encontrando la ganancia del camino directo, mediante el análisis de cada etapa, sección [??], luego se analiza la realimentación y se encuentra la ganancia de lazo, sección [??], ganancia global, sección [??], y así siguiendo con otras características del amplificador. Se hace también un análisis de potencia de los transistores de salida, para determinar si es necesario un disipador térmico, y de ser así cuál sería el indicado. Finalmente luego de los cálculos manuales, los mismos se verifican con un análisis por simulación con **SPICE** (**LTSPICE** en nuestro caso), a partir de la sección [??].

2. Análisis cualitativo

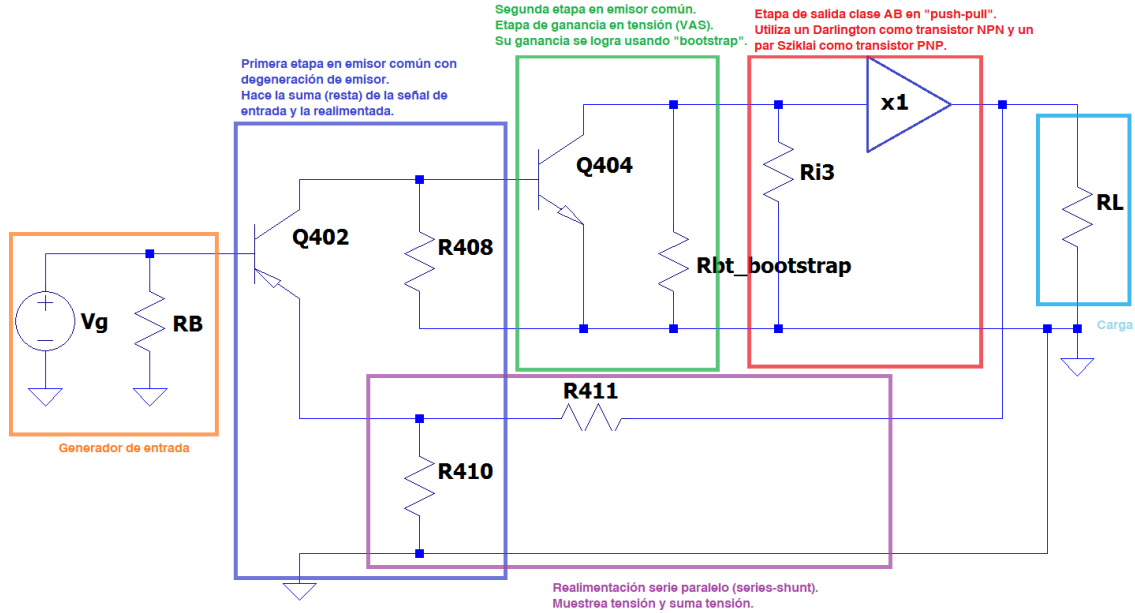


Figura 2.1: Circuito esquematizado con las etapas indicadas.

En la figura [2.1] se muestra el circuito de señal simplificado del amplificador, en donde se detallan las etapas que lo conforman, se trata de las tres típicas etapas de un amplificador de potencia, una primera etapa en emisor común con degeneración de emisor, donde se realiza la suma (resta) de la señal de entrada y la realimentada, esta etapa, como se verá mas adelante en la sección [??], tiene muy poca ganancia de tensión, una segunda etapa (VAS), en emisor común, que gana casi toda la ganancia en tensión en el amplificador, esta etapa contiene también el circuito multiplicador de V_{BE} que polariza la siguiente etapa, no se muestra en este esquema simplificado. Finalmente tenemos una etapa de salida **clase A-B**, un **push-pull** implementado con transistores compuestos, donde el transistor **NPN** está conformado por un **Darlington** y el transistor **PNP** está conformado por un par **Sziklai**.

Los pares compuestos de la etapa de salida tienen además unas resistencias de degeneración de emisor para mejorar la estabilidad térmica, además de que el transistor del **Darlington** está térmicamente acoplado al transistor del multiplicador de V_{BE} , de manera de compensarlo térmicamente. Los transistores de salida de ambos pares van montados sobre disipadores, como el cálculo en la sección [??], muestra que es necesario.

La realimentación **serie-paralelo** (series-shunt) estabiliza la ganancia de tensión, ya que como se demuestra en la sección [??], la ganancia de lazo, es mucho mayor a 1.

El amplificador no amplifica desde continua, ya que además de estar acoplado con un capacitor el generador de entrada (el punto de entrada no está a tensión nula), se tienen otros capacitores que desacoplan para la señal otras partes del circuito, con lo que se espera tener una frecuencia de corte inferior, cosa que es aceptable para un amplificador de audio, como lo es en este caso

3. Punto de reposo

Para el cálculo manual del punto de reposo, se procedió a tomar en cuenta primero los requisitos de salida, $V_{oQ} = 0V$, $I_{C_{Q407}} = 10mA$ y $I_{C_{Q408}} = 10mA$, se despreciaron además todas las corrientes de base de los transistores (excepto Q_{402} , para ajustar PS_{401}).

Todas los V_{BE} de los transistores se estimaron en base a las curvas dadas en las hojas de datos correspondientes, una vez obtenida la corriente de colector, para tener algo mas de precisión en los cálculos.

En detalle, se realizaron los siguientes pasos para hallar el punto de reposo:

- (1) $V_{B_{Q407}} = 0,6V$, tomado de la **Figura 10**, “On Voltages”, de la hoja de datos del transistor **TIP41**, apéndice [A.5].
- (1') Despreciando la caída en R_{401} , se tiene $I_{R_{419}} = \frac{V_{BE_{Q407}}}{R_{419}} = \frac{0,6V}{100\Omega} = 6mA$.
- (2) $V_{B_{Q405}} = 1,2V$, a $V_{B_{Q407}}$ se suma $V_{BE_{Q405}} = 0,6V$, este último estimado de la **Figura 4**, “Base-Emitter On Voltage”, de la hoja de datos del transistor **BD135**, apéndice [A.3], tomando la corriente obtenida en (1').
- (3) $I_{C_{Q404}} = \frac{V_{CC} - V_{B_{Q405}}}{R_{413} + R_{414}} = \frac{30V - 1,2V}{1k\Omega + 2,2k\Omega} = 9mA$.
- (4) $I_{C_{Q402}} = \frac{V_{BE_{Q404}}}{R_{408}} = \frac{0,65V}{1,2k\Omega} = 0,54mA$, donde $V_{BE_{Q404}}$ se estima igual que antes de las hoja de datos, usando la corriente obtenida en (3).
- (5) $V_{E_{Q402}} = V_{oQ} - I_{C_{Q402}} \cdot R_{411} = 0V - 0,54mA \cdot 3,3k\Omega \approx -1,8V$.
- (5') $V_{B_{Q402}} = V_{E_{Q402}} + V_{BE_{Q402}} = -1,8V - 0,65V = -2,45V$, donde $V_{BE_{Q402}}$ se estima de la **Figura 2**, “Saturation and On Voltages”, de la hoja de datos del transistor **BC558**, apéndice [A.2], usando la corriente obtenida en (4).
- (6) $I_{R_{422}} = I_{C_{Q407}} + I_{R_{419}} - I_{R_{411}} = 10mA + 6mA - 0,5mA = 15,5mA$.
- (7) $V_{B_{Q408}} = 0,55V$, se estima igual que antes de las hoja de datos, se elige menor que en (1) debido a que en este caso no tenemos resistencia de emisor y además coincide con $I_{C_{Q406}}$, que hallamos en el siguiente item.
- (7') $I_{C_{Q406}} = 15,5mA - 10mA = 5,5mA$, $V_{B_{Q406}} = -0,6V$, estimado de la **Figura 4**, “Base-Emitter On Voltage”, de la hoja de datos del transistor **BD136**, apéndice [A.4], usando $I_{C_{Q406}}$, recién obtenida.
- (8) $V_{CE_{Q403}} = V_{C_{Q403}} - V_{E_{Q403}} = 1,2V - (-0,6V) = 1,8V$.
- (9) $I_{R_{415}} = \frac{V_{CE_{Q403}}}{R_{415} + PS_{402} + R_{416}} = \frac{1,8V}{2,2k\Omega + 2,2k\Omega + 1k\Omega} = 0,33mA$.
- (9') $I_{C_{Q403}} = I_{R_{414}} - I_{R_{415}} = 9mA - 0,33mA = 8,67mA$.

- (10) Primeramente obtenemos $V_{BE_{Q_{403}}} = 0,7V$, se estima de la **Figura 2**, “Saturation and On Voltages”, de la hoja de datos del transistor **BC548**, apéndice [\[A.1\]](#).

Luego tenemos que $PS_{402B} = \frac{0,7V}{0,33mA} - 1k\Omega = 1121\Omega$, con lo que $PS_{402A} = 2200\Omega - 1121\Omega = 1079\Omega$

Finalmente:

$$PS_{402A} = 1079\Omega \text{ y } PS_{402B} = 1121\Omega$$

- (11) Primero se considera que $I_{R_{418}} = 9,54mA$, la suma de $I_{C_{Q_{404}}}$ e $I_{R_{408}}$, circulan por R_{418} , con esto se obtuvo un primer valor de $V_{EQ_{404}} = -28,57V$, primera aproximación (se calcula en el punto (12)), con esto último se obtiene $I_{R_{407}} = \frac{V_{B_{Q_{402}}} - V_{EQ_{404}}}{R_{407} + R_{10}} = \frac{-2,45V - (-28,57V)}{197k\Omega} = 132,6\mu A$, con esto obtenemos el valor final de $I_{R_{418}} = 9,67mA$.
- (12) $V_{EQ_{404}} = I_{R_{418}} \cdot R_{418} + V_{SS} = 9,67mA \cdot 150\Omega - 30V = -28,55V$.
- (13) Con este valor reajustamos $I_{R_{407}}$ para ajustar mejor PS_{401} , quedando finalmente $I_{R_{407}} = \frac{V_{B_{Q_{402}}} - V_{EQ_{404}}}{R_{407} + R_{10}} = \frac{-2,45V - (-28,55V)}{197k\Omega} = 132,5\mu A$.
- (14) $I_{B_{Q_{402}}} = \frac{I_{C_{Q_{402}}}}{\beta_{402}} = \frac{0,54mA}{330} = 1,6\mu A$.
- (14') $I_{PS_{401}} = I_{R_{407}} - I_{B_{Q_{402}}} = 130,9\mu A$.
- (15) $PS_{401} = \frac{V_{CC} - V_{B_{Q_{402}}}}{I_{PS_{401}}} - R_5 - R_{405} = \frac{30V - (-2,45V)}{130,9\mu A} - 150k\Omega - 47k\Omega \approx 50,9k\Omega$

Se verifica que todos los transistores están en modo activo directo. El punto de reposo obtenido se muestra sobre el circuito en la figura [\[3.1\]](#), las corrientes de colector y los elementos del modelo de pequeña señal para los transistores se resumen en el cuadro [\[3.1\]](#).

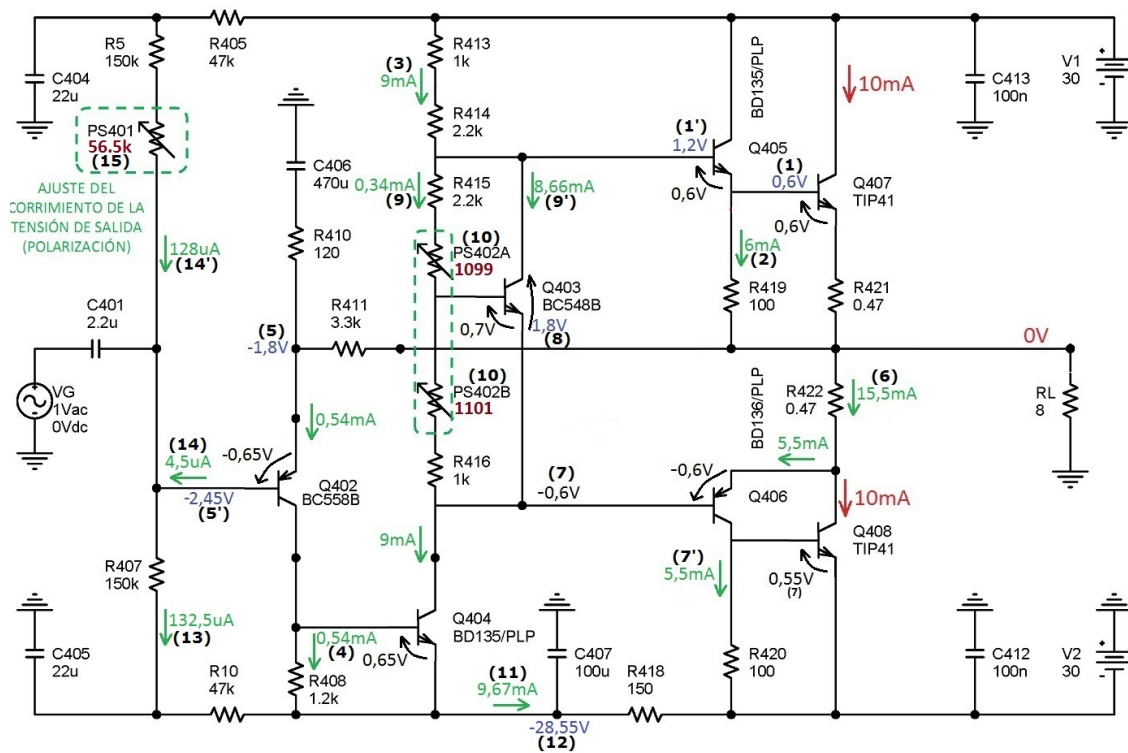


Figura 3.1: Punto de reposo del circuito.

	Q_{402}	Q_{403}	Q_{404}	Q_{405}	Q_{406}	Q_{407}	Q_{408}
I_C [mA]	0,54	8,66	9	6	5,5	10	10
gm [mA/V]	21,6	346	360	240	220	400	400
r_π [Ω]	15300	9554	389	583	636	125	125
r_o [Ω]	—	—	12900	—	—	—	—
β	330	330	140	140	140	50	50

Cuadro 3.1: Elementos del modelo de pequeña señal de los transistores ($f_{(I_C)}$).

4. Respuestas a preguntas en el enunciado

5. Observaciones y conclusiones

5.1. Observaciones y conclusiones

6. Bibliografía

Referencias

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

- [4] *Circuitos microelectrónicos (4^{ta} Edición) español*
Author: Adel. S. Sedra
Author: Kenneth C. Smith
Publisher: Oxford, University press; 4^{ta} Edición (2001)
Copyright: © 1999, Oxford, University press México.
Original Copyright: © 1998, 1991, 1987, 1982, Oxford, University press Inc.
ISBN 10: 01951166310
Website: [Circuitos microelectrónicos \(4^{ta} Edición\) español](#)

- [5] *Microelectronic circuits (5th Edition)*
Author: Adel. S. Sedra
Author: Kenneth C. Smith
Publisher: Oxford, University press; 5th Edition (2004)
Copyright: © 2004, 1998, 1991, 1987, 1982, Oxford, University press Inc.
ISBN 10: 0195142527
Website: [Microelectronic circuits \(5th Edition\)](#)

Apéndices

A. Hojas de datos

A.1. 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.2. 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.3. BD135

BD135*1,5A, 45V NPN Bipolar Power Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=BD135>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BD135-D.PDF>

A.4. BD136

BD136*1,5A, 45V PNP Bipolar Power Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=BD136>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BD136-D.PDF>

A.5. TIP41

TIP41

NPN Bipolar Power Transistor, 6A, 60V

Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=TIP41>

Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/TIP41A-D.PDF>

A.6. Metal film resistor

Metal film resistor

Metal film resistor

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

A.7. Carbon film resistor

Carbon film resistor

Carbon film resistor

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

A.8. Ceramic capacitor

Ceramic capacitor

Ceramic disk capacitor

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

A.9. Electrolytic Aluminum capacitor

Electrolytic capacitor

Electrolytic aluminum capacitor

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