



FACULTAD DE INGENIERIA

Universidad de Buenos Aires

CIRCUITOS ELECTRÓNICOS II - 66.10
DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS - 86.10

Trabajo práctico final

Diseño y construcción de un amplificador clase G - mediciones

Alumnos:

LUNA Diego

Padrón N° 75451

diegorluna@gmail.com

NEUMARKT FERNÁNDEZ Leonardo

Padrón N° 97471

leoneu928@gmail.com

RIZZO Gonzalo Gabriel

Padrón N° 96772

gonzalorizzo95@gmail.com

Docentes:

Ing. BERTUCCIO José Alberto

Ing. MARCHI Edgardo

Ing. BULACIO Matías

Ing. D'ANGIOLO Federico

Ing. GAMEZ Pablo

12 de Diciembre de 2019

Índice

Índice	I
1. Consideraciones previas al diseño	1
1.1. Objetivo y requerimientos de usuario	1
1.2. Especificaciones	1
2. Simulaciones	2
2.1. Polarización	2
2.2. Simulación de ganancia de lazo	3
2.3. Ancho de banda de potencia	4
2.4. Impedancias de entrada y salida	6
2.5. THD	8
3. Observaciones y conclusiones	10
4. Bibliografía	11
Apéndices	13
A. Hojas de datos	13
A.1. BD135	13
A.2. BD136	13
A.3. BC556	13
A.4. MJL21193	13
A.5. MJL21194	14
A.6. 1N4148	14
A.7. Metal film resistor	14
A.8. Carbon film resistor	14
A.9. Ceramic capacitor	14
A.10. Electrolytic Aluminum capacitor	15

Índice de figuras

2.1. Circuito simulado junto con los valores de polarización	3
2.2. Ganancia de lazo simulado	4
2.3. Ancho de banda de potencia simulado	5
2.4. Valores de impedancia de entrada mediante simulación	6
2.5. Valores de impedancia de salida mediante simulación	7
2.6. THD en función de la frecuencia según la simulación	8
2.7. THD en función de la potencia según la simulación	9

Índice de cuadros

2.1.1. Punto de reposo de los transistores y máxima potencia disipada en operación	2
--	---

1. Consideraciones previas al diseño

1.1. Objetivo y requerimientos de usuario

El objetivo del presente trabajo es armar un circuito amplificador que amplifique una señal de audio que será reproducida en un Baffle (asumimos respuesta resistiva pura en todo el ancho de banda). Debe proveer al usuario con una buena calidad de sonido (algo subjetivo, no obstante acá solo se consideran medidas reales) con volumen alto, sin consumir mucha más energía de la necesaria, ni ser muy grande y pesado. Es decir, debe tener baja distorsión (THD), alta relación señal-ruido (SNR), eficiencia razonable y buena potencia máxima de salida.

1.2. Especificaciones

A continuación se enumeran las especificaciones que fueron tenidas en consideración para la implementación del amplificador de audio.

- Máxima Potencia de Salida: $\geq 40WRMS@8\Omega$
- Salida clase **G**
- THD: $< 0,1\%@1kHz$, $< 0,2\%@10kHz$, a $40WRMS@8\Omega$
- Slew-Rate: $> 5 \frac{V}{\mu S}$
- Impedancia de entrada: $> 21k\Omega$
- Sensibilidad: $1,1V \text{ pico } @8\Omega$
- Ancho de banda: $10Hz \rightarrow 50kHz$
- Factor de amortiguamiento: > 100
- Ancho de banda de potencia: $> 30kHz$
- Alimentación:
 - Baja tensión: $\pm 15V$ nominal (desde transformador de $10V + 10V$), ripple máximo 10%
 - Alta tensión: $\pm 35V$ nominal (desde fuente switching implementada de $15V + 15V$ más fuente de alimentación de $25V + 25V$), ripple máximo 10%
- Máxima excursión: 25V

2. Simulaciones

2.1. Polarización

Se simularon los valores en reposo de los transistores de la etapa amplificadora clase G, junto con la máxima potencia disipada en cada uno. Los resultados se muestran en el cuadro [2.1.1]:

Transistor	V_{BEQ}	V_{CEQ}	I_{CQ}	P_{max}
Q1 (BC546C)	612mV	33.87V	549uA	18.6mW
Q2 (BC556B)	-610mV	-1.31V	549uA	722uW
Q3 (BC546B)	631mV	31.78V	1.1mA	35mW
Q4 (BC556B)	-610mV	33.78V	549uA	334mW
Q5 (BC546B)	612mV	34.6V	549uA	19mW
Q6 (BC546B)	693mV	28.8V	9.71mA	280mW
Q7 (BC556B)	-557mV	30V	170uA	5mW
Q8 (BC556B)	-669mV	30.71V	9.57mA	294mW
Q9 (BD135)	676mV	2.96V	9.40mA	28mW
Q10(BD136)	-722mV	13.9V	15mA	208mW
Q11(BD136)	10.95V	20.32V	31pA	1.1nW
Q12(BD135)	-10.93V	20.32V	31pA	1.1nW
Q13(BD135)	693mV	13.88V	18.9mA	263mW
Q14(MJL21194)	1.04nV	20.32V	26pA	522pW
Q15(MJL21194)	722mV	14.6V	714mA	10.43W
Q16(MJL21193)	-678mV	14.6V	718mA	10.49W
Q17(MJL21193)	-986mV	20.32V	1.76pA	459pW
Q18(2N3906)	-72mV	1.47V	1.47pA	2.2pW
Q19(2N3904)	72mV	1.48V	1.58pA	2.3pW

Cuadro 2.1.1: Punto de reposo de los transistores y máxima potencia disipada en operación

En la figura [2.1] se pueden verificar los resultados de la simulación con las referencias en el circuito pertinente.

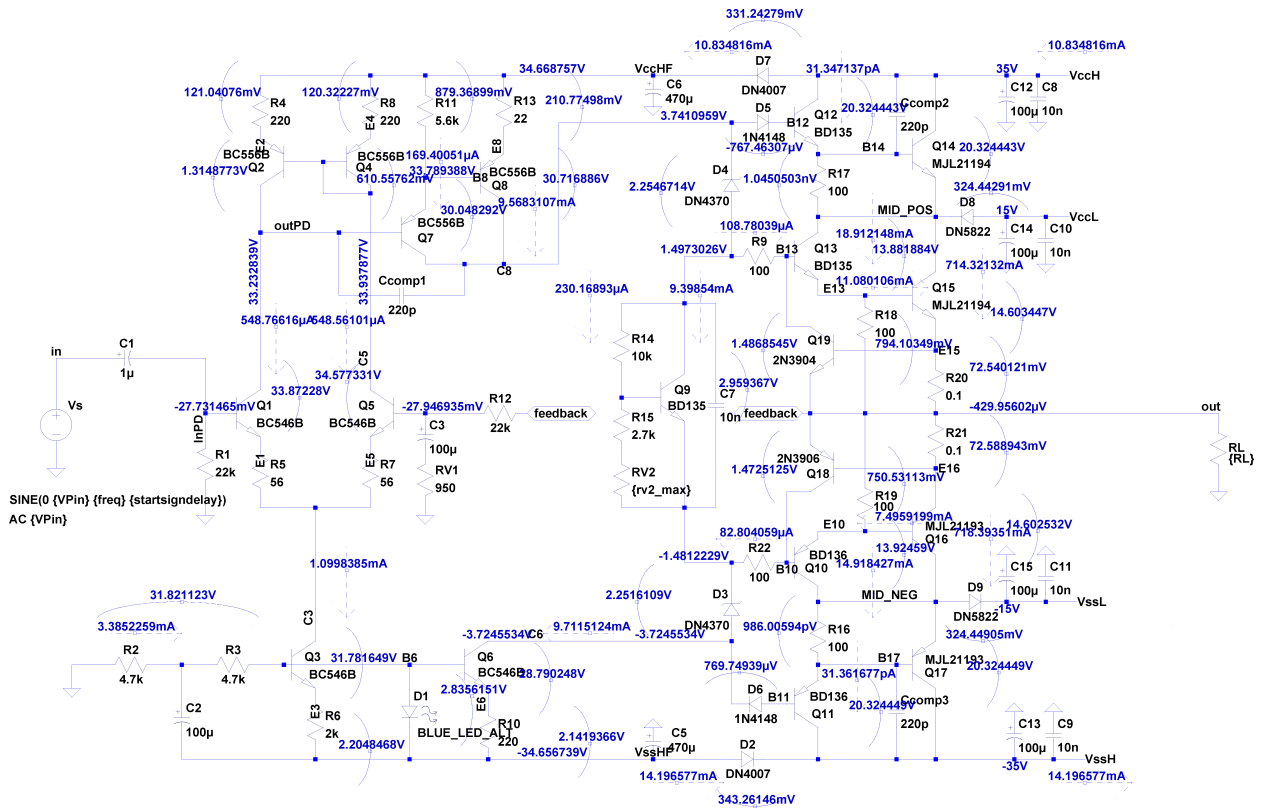


Figura 2.1: Circuito simulado junto con los valores de polarización

2.2. Simulación de ganancia de lazo

En la figura [2.2] se puede observar la ganancia de lazo del circuito, simulado a distintas frecuencias. A su vez, se especifica el margen de ganancia y de fase, para verificar la correcta estabilización del circuito. Obteniéndose de este modo:

- Margen de ganancia: $29,21dB$
- Margen de fase: $86,12^\circ$

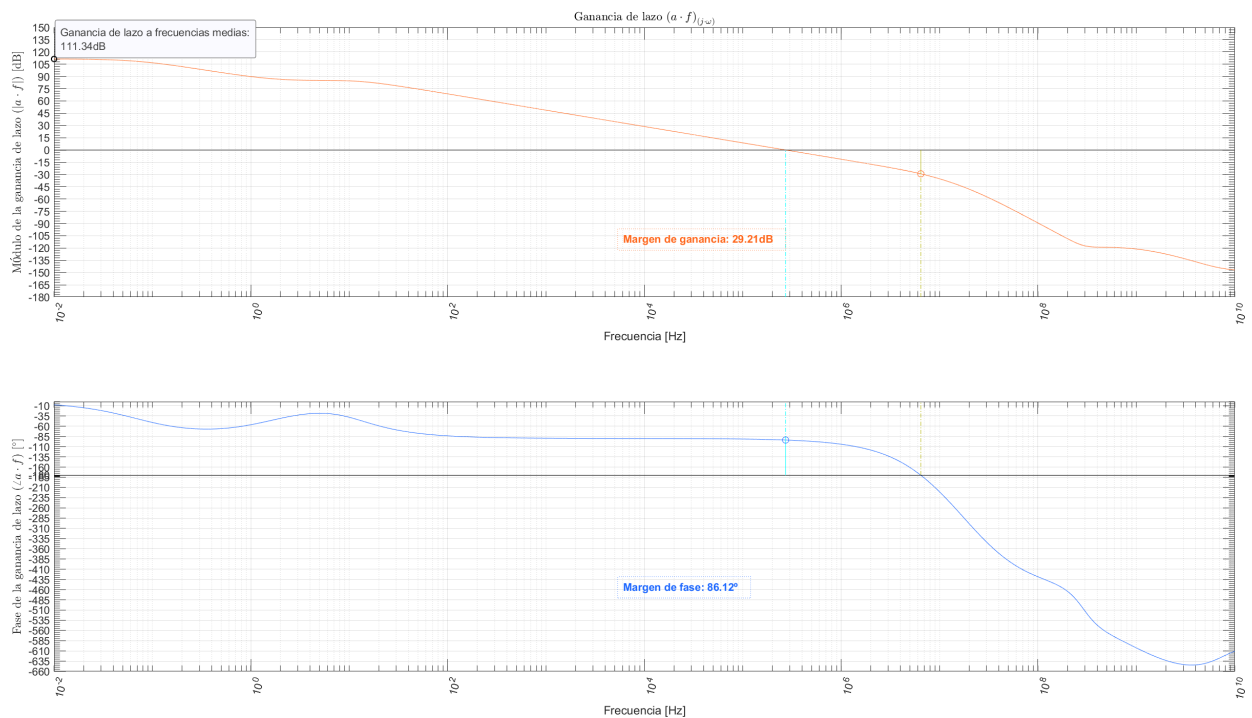


Figura 2.2: Ganancia de lazo simulado

2.3. Ancho de banda de potencia

En la figura [2.3], se observa el resultado de la simulación del ancho de banda de potencia simulado.

Obtenemos en el circuito un ancho de banda de potencia de $97,89kHz$ con frecuencias de corte:

- $f_l = 22,34Hz$
- $f_h = 97,84kHz$

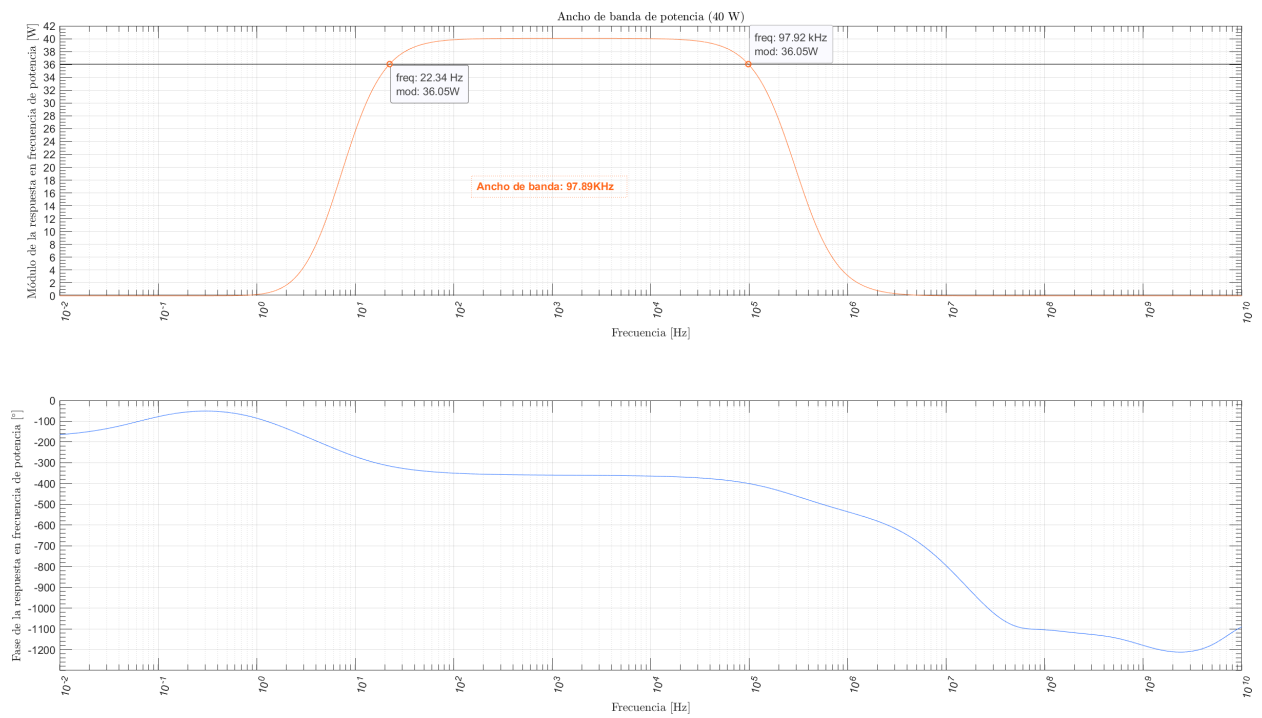


Figura 2.3: Ancho de banda de potencia simulado

2.4. Impedancias de entrada y salida

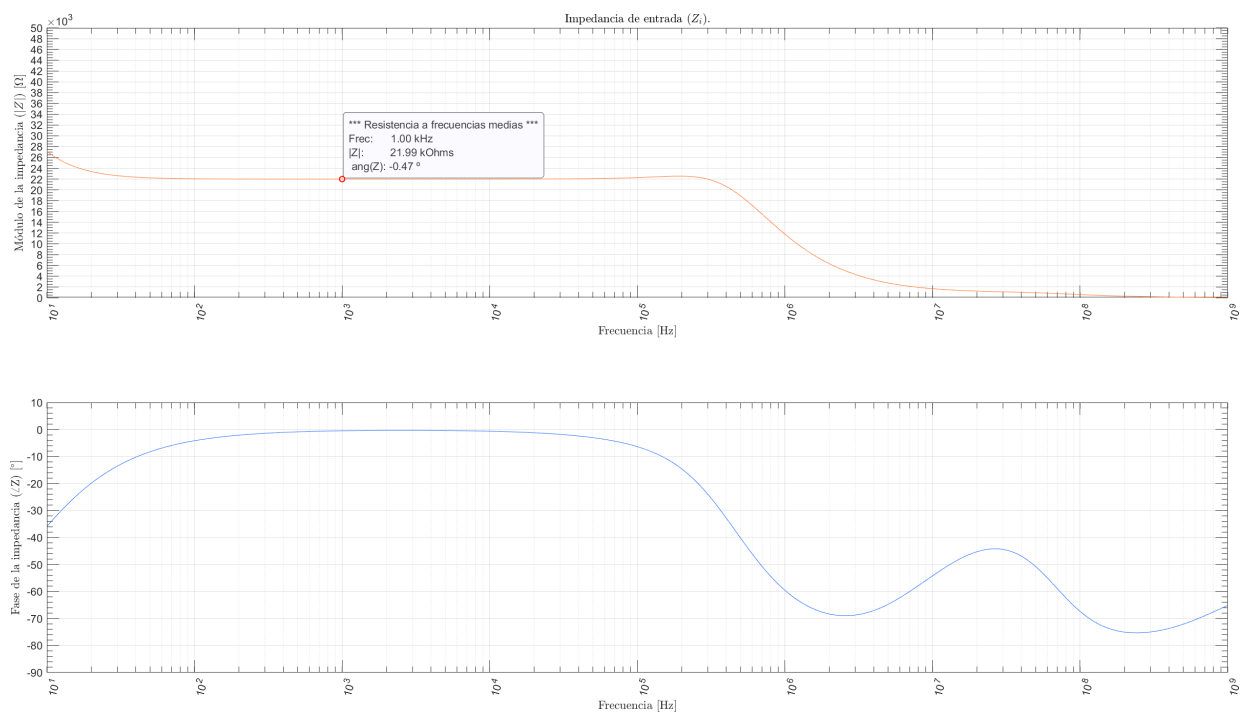


Figura 2.4: Valores de impedancia de entrada mediante simulación

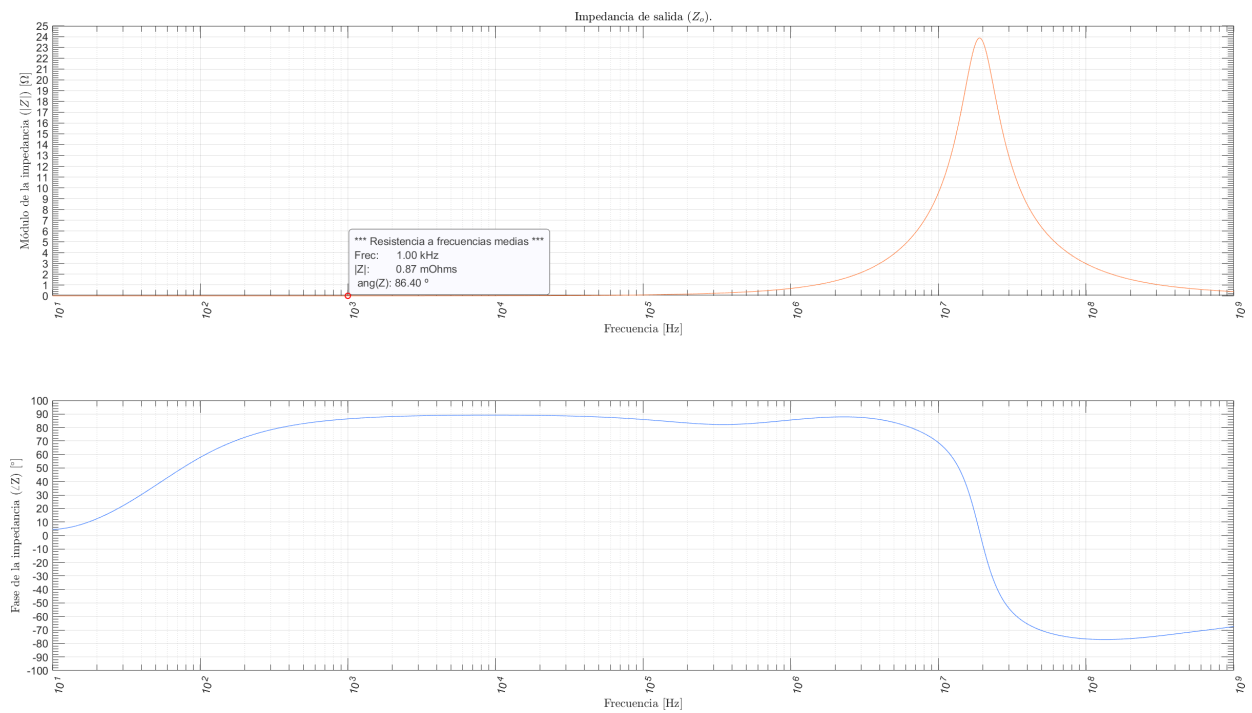


Figura 2.5: Valores de impedancia de salida mediante simulación

2.5. THD

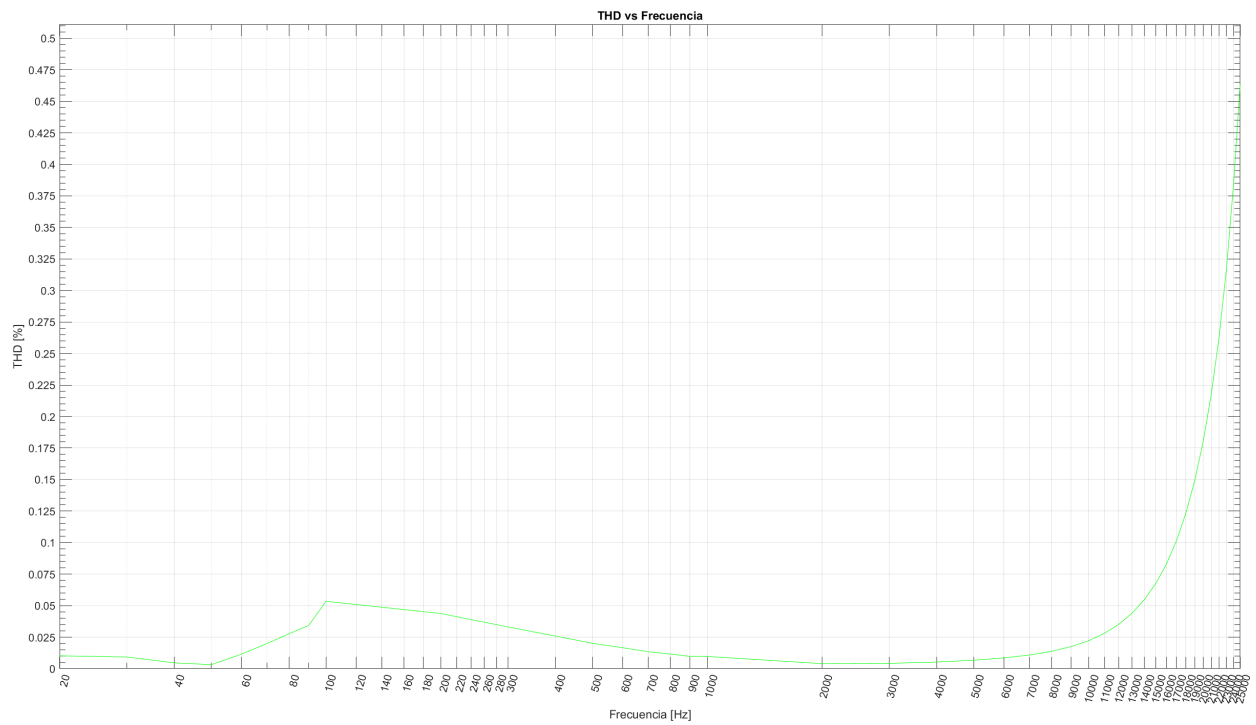


Figura 2.6: THD en función de la frecuencia según la simulación

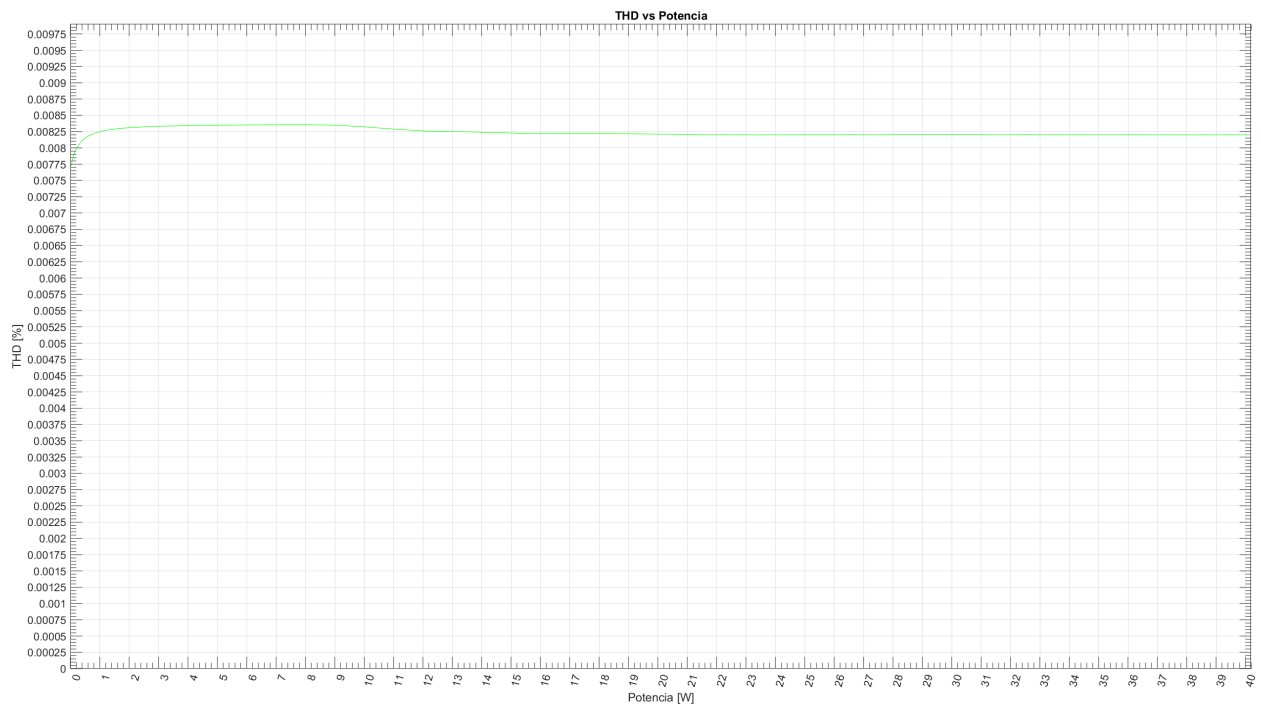


Figura 2.7: THD en función de la potencia según la simulación

3. Observaciones y conclusiones

4. 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 \(5th Edition\)](#)

- [6] *AUDIO POWER AMPLIFIER DESIGN HANDBOOK (5th Edition)*

Author: Douglas Self

Publisher: Elsevier Ltd; 5th Edition (2009)

Copyright: © 2009, Douglas Self. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

ISBN 13: 9780240521626

Website: [AUDIO POWER AMPLIFIER DESIGN HANDBOOK \(5th Edition\)](#)

Apéndices

A. Hojas de datos

A.1. BD135

BD135*NPN Plastic Medium-Power Silicon Transistors*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=BD135>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BD135-D.PDF>

A.2. BD136

BD136*PNP Plastic Medium-Power Silicon Transistors*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=BD136>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BD136G-D.PDF>

A.3. BC556

BC556*PNP Silicon Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=BC556>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BC556BTA-D.pdf>

A.4. MJL21193

MJL21193*PNP Bipolar Power Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MJL21193>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MJL21193-D.PDF>

A.5. MJL21194

MJL21194

NPN Bipolar Power Transistor

Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MJL21194>

Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MJL21193-D.PDF>

A.6. 1N4148

NE5532

Small signal diode

Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=1N4148>

Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/1N914A-D.pdf2>

A.7. Metal film resistor

Metal film resistor

Metal film resistor

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

A.8. Carbon film resistor

Carbon film resistor

Carbon film resistor

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

A.9. Ceramic capacitor

Ceramic capacitor

Ceramic disk capacitor

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

A.10. Electrolytic Aluminum capacitor

Electrolytic capacitor

Electrolytic aluminum capacitor

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