

Calculadora de amplificadores operacionales

Dario Alexander Marroquín Kestler y Pablo Antonio Ruiz Campos

*Departamento de Matemática, Universidad del Valle de Guatemala
Ciudad de Guatemala, Guatemala*

mar18269@uvg.edu.gt

rui18259@uvg.edu.gt

I. RESUMEN

En el siguiente informe se realizó una calculadora de op amps la cual realiza el funcionamiento del programa de regresión por mínimos cuadrados aplicado en python y así comparándolo sucesivamente con una trazadora cúbica y poder observar si este método es viable a la hora de realizar ecuaciones lineales. Se demostró como el método de regresión es un éxito teniendo porcentajes de error del 1% o menos en datos experimentales con cierto nivel de ruido como se puede observar con el opamp no inversor siendo de 0.18%. Esta calculadora se puede utilizar para poder comparar los resultados teóricos y así poder encontrar que tanto se acerca o se aleja el comportamiento experimental de un amplificador del resultado definitivo.

II. INTRODUCCIÓN

Los amplificadores operacionales (op amps) son circuitos electrónicos integrados de gran importancia debido a que permiten realizar una variedad de funciones entre las que se encuentran: amplificadores, circuitos sumadores, integradores, derivadores, o incluso, filtros de frecuencias (Boylestad, 2011). Estos se pueden utilizar en campos muy variados: desde el procesamiento de señales hasta la música.

Los circuitos mencionados anteriormente se pueden obtener mediante la combinación de amplificadores operacionales con otros componentes como: inductores, capacitores, resistencias, etc. Sin embargo, los componentes electrónicos pueden tener pequeñas variaciones y no son ideales, como su representación al momento de un análisis. Debido a esto, los resultados que se obtienen al medir la salida de un circuito de forma experimental, aunque generalmente se encuentran en un valor cercano al esperado, no siempre es un valor exactamente igual al teórico (Boylestad, 2011).

Por estas razones, se realizó la calculadora de op amps de circuitos amplificadores no inversores y de amplificadores inversores. Esta permite contar con una función de salida ajustada a los valores medidos de forma experimental para poder predecir el comportamiento de un circuito. Además, la calculadora muestra el error obtenido al evaluar voltajes de entrada en la función ajustada a los datos experimentales con respecto al valor teórico del circuito para tener una mayor visibilidad de su comportamiento.

III. METODOLOGÍA

Para realizar este programa se utilizó Python y Excel. Excel se utilizó para albergar los datos de las mediciones experimentales del voltaje de entrada y salida del circuito amplificador inversor, al igual que el valor de las resistencias en el circuito. Los valores del Excel fueron accedidos a través de Python para su posterior análisis.

En Python se implementaron las funciones de regresión por mínimos cuadrados, que encuentra la distancia mínima a todos los puntos de entrada. También se implementó un ajuste por medio de trazadores cúbicos, para poder analizar las diferencias entre este tipo de ajuste y el de mínimos cuadrados. Finalmente, se elaboraron gráficas donde se compara la función obtenida por medio de los valores experimentales y la función teórica del circuito.

Se realizó el programa el cual sea amigable con el usuario creando así una interfaz gráfica con el módulo de python tkinter el cual tiene las opciones de elegir que opamp se utilizar tanto el amplificador inversor como no inversor. El usuario puede agregar en el recuadro de texto el V_{in} que desea estimar en su circuito para poder así compararlo con los resultados teóricos al presionar el botón calcular. Este puede además, obtener la función experimental de su circuito.

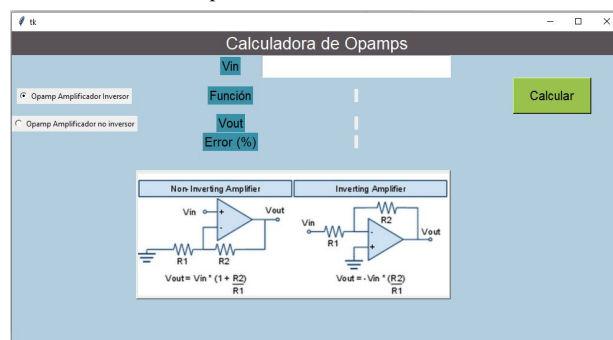


Fig. 1 Vista del programa

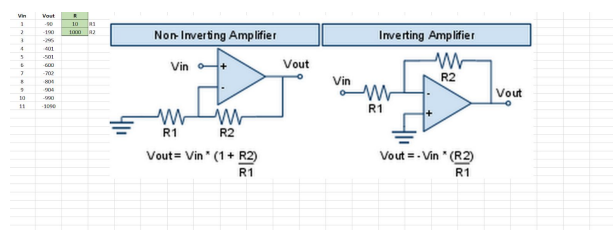


Fig. 2 Vista del Excel

Vin	Vout	R	
1	-90	10	R1
2	-190	1000	R2
3	-295		
4	-401		
5	-501		
6	-600		
7	-702		
8	-804		
9	-904		
10	-990		
11	-1090		

Fig. 3 Vista detallada de los datos en Excel

IV. RESULTADOS

TABLA 1
VOLTAJES DE PRUEBA INEXACTA NO INVERSOR

Voltaje de Entrada (V)	Voltaje de Salida (V)
1	91
2	192
3	293
4	394
5	495
6	596
7	697
8	798
9	899
10	1000
11	1101

Con los voltajes obtenidos se procedió a realizar tanto la regresión por mínimos cuadrados como los trazadores con las resistencias:

TABLA 2
RESISTENCIAS

Resistencias	Ohms
R1	10
R2	1000

Se obtuvieron los siguientes resultados utilizando el programa de python teniendo como base de datos la hoja de excel con los valores mencionados anteriormente:

TABLA 3
OP AMP NO INVERSOR CON DATOS DE NO INVERSOR

Función	Vin (V)	Vout (V)	Error (%)
$100 * Vin - 10$	10.50	1050.50	0.95

TABLA 3
OP AMP INVERSOR CON DATOS DE NO INVERSOR

Función	Vin (V)	Vout (V)	Error (%)
$101 * Vin - 10$	10.50	1050.5	199.95

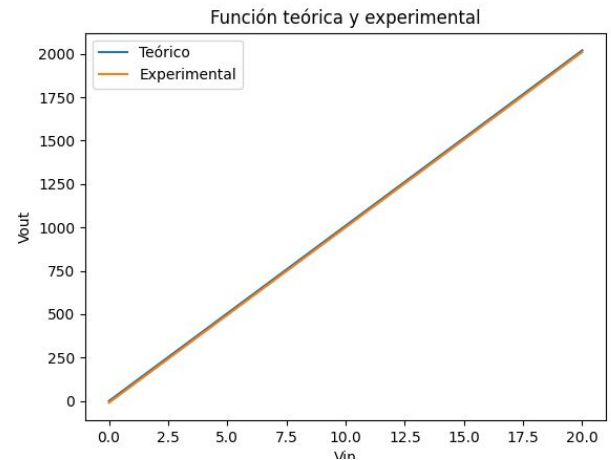


Fig. 5 Gráfica de Amplificador No Inversor con datos de No Inversor

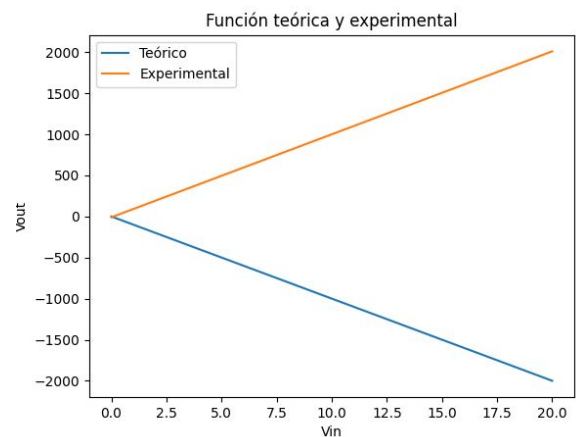


Fig 6 Gráfica de amplificador Inversor con datos de No inversor

```
Error mínimo cuadrado: 0.951927653498334 %
Error trazadores cúbicos: 0.951927653498334 %

Trazadores:
+ 101x - 10 [1, 2]
+ 101x - 10 [2, 3]
+ 101x - 10 [3, 4]
+ 101x - 10 [4, 5]
+ 101x - 10 [5, 6]
+ 101x - 10 [6, 7]
+ 101x - 10 [7, 8]
+ 101x - 10 [8, 9]
+ 101x - 10 [9, 10]
+ 101x - 10 [10, 11]
```

Fig. 7 Trazadores cúbicos y error con circuito y datos de amplificador No inversor

```

Error mínimo cuadrado: 199.952403617325 %
Error trazadores cúbicos: 199.952403617325 %

Trazadores:
+ 101x - 10 [1, 2]
+ 101x - 10 [2, 3]
+ 101x - 10 [3, 4]
+ 101x - 10 [4, 5]
+ 101x - 10 [5, 6]
+ 101x - 10 [6, 7]
+ 101x - 10 [7, 8]
+ 101x - 10 [8, 9]
+ 101x - 10 [9, 10]
+ 101x - 10 [10, 11]

```

Fig. 8 Trazadores y error con circuito inversor y datos de amplificador no inversor

TABLA 4
VOLTAJES DE PRUEBA INEXACTA INVERSOR

Voltaje de Entrada (V)	Voltaje de Salida (V)
1	-90
2	-190
3	-295
4	-401
5	-501
6	-600
7	-702
8	-804
9	-904
10	-990
11	-1090

Se utilizaron la mismas resistencias de la Tabla 2 para las prueba del op Amp inversor:

TABLA 5
OP AMP INVERSOR CON DATOS DE INVERSOR

Función	Vin (V)	Vout (V)	Error (%)
$-100.31 * V_{in} + 4.85$	10.50	-1048.39	0.15

TABLA 6
OP AMP NO INVERSOR CON DATOS DE INVERSOR

Función	Vin (V)	Vout (V)	Error (%)
$-100.31 * V_{in} + 4.85$	10.50	-1048.39	201.16

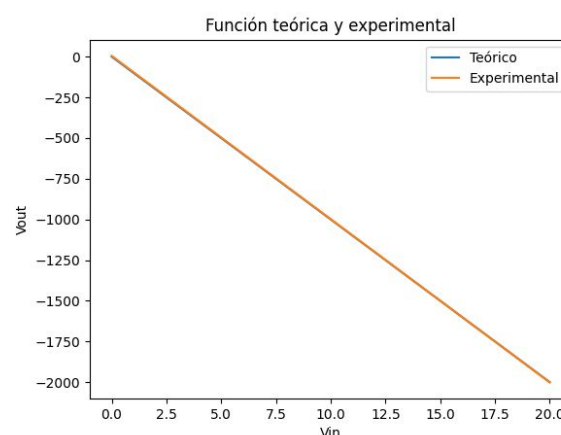


Fig. 9 Gráfica de Amplificador Inversor con datos de inversor

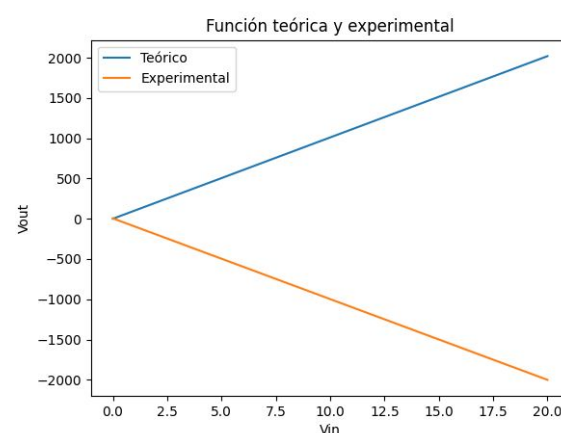


Fig 10 Gráfica de amplificador no inversor con datos de inversor

```

Error mínimo cuadrado: 0.153481959366205 %
Error trazadores cúbicos: 1.44418418040250 %

Trazadores:
- 0.9186x^3 + 2.7559x^2 - 101.8373x + 10 [1, 2]
- 0.4069x^3 - 0.3147x^2 - 95.6961x + 5.9059 [2, 3]
0.4049x^3 - 1.4796x^2 - 110.6249x + 39.2582 [3, 4]
0.2064x^3 + 0.3423x^2 - 115.6709x + 42.9975 [4, 5]
- 0.1730x^3 + 0.5363x^2 - 89.1552x - 47.0047 [5, 6]
- 0.0243x^3 - 0.1328x^2 - 97.1832x - 6.8635 [6, 7]
0.0507x^3 - 0.4954x^2 - 103.1332x + 26.8250 [7, 8]
0.2491x^3 - 4.8982x^2 - 70.7907x - 51.7429 [8, 9]
- 0.0314x^3 + 13.2994x^2 - 330.1869x + 1013.3008 [9, 10]
13.1948x^3 - 435.4290x^2 + 4676.5238x - 17407.1586 [10, 11]

```

Fig. 11 Trazadores cúbicos y error con circuito y datos de amplificador inversor

```

Error mínimo cuadrado: 201.155016778960 %
Error trazadores cúbicos: 202.458626022207 %

Trazadores:
- 0.9186x^3 + 2.7559x^2 - 101.8373x + 10 [1, 2]
- 0.4069x^3 - 0.3147x^2 - 95.6961x + 5.9059 [2, 3]
0.4049x^3 - 1.4796x^2 - 110.6249x + 39.2582 [3, 4]
0.2064x^3 + 0.3423x^2 - 115.6709x + 42.9975 [4, 5]
- 0.1730x^3 + 0.5363x^2 - 89.1552x - 47.0047 [5, 6]
- 0.0243x^3 - 0.1328x^2 - 97.1832x - 6.8635 [6, 7]
0.0507x^3 - 0.4954x^2 - 103.1332x + 26.8250 [7, 8]
0.2491x^3 - 4.8982x^2 - 70.7907x - 51.7429 [8, 9]
- 0.0314x^3 + 13.2994x^2 - 330.1869x + 1013.3008 [9, 10]
13.1948x^3 - 435.4290x^2 + 4676.5238x - 17407.1586 [10, 11]

```

Fig. 12 Trazadores y error con circuito no inversor y datos de amplificador inversor

```

Error mínimo cuadrado: 0.775667257069471 %
Error trazadores cúbicos: 0.394475004328597 %

Trazadores:
- 0.9186x^3 + 2.7559x^2 - 101.8373x + 10 [1, 2]
- 0.4069x^3 - 0.3147x^2 - 95.6961x + 5.9059 [2, 3]
- 0.4049x^3 - 1.4796x^2 - 110.6249x + 39.2582 [3, 4]
- 0.2064x^3 + 0.3423x^2 - 115.6709x + 42.9975 [4, 5]
- 0.1730x^3 + 0.5363x^2 - 89.1552x - 47.0047 [5, 6]
- 0.0243x^3 - 0.1328x^2 - 97.1832x - 6.8635 [6, 7]
- 0.0507x^3 - 0.4954x^2 - 103.1332x + 26.8250 [7, 8]
- 0.2491x^3 - 4.8982x^2 - 70.7907x - 51.7429 [8, 9]
- 0.0314x^3 + 13.2994x^2 - 330.1869x + 1013.3008 [9, 10]
- 13.1948x^3 - 435.4290x^2 + 4676.5238x - 17407.1586 [10, 11]

```

Fig. 13 Vin inicial que proporciona mejor error en los trazadores que en mínimos cuadrados bajo las condiciones de la tabla 4.

```

Error mínimo cuadrado: 3.01554598239362 %
Error trazadores cúbicos: 7.40714409981427 %

```

Fig. 14 Comportamiento del error bajo mediciones con mayor ruido

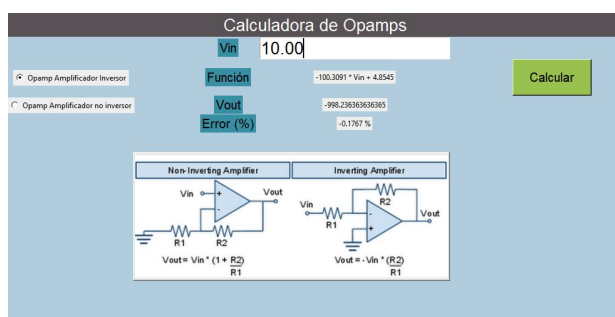


Fig. 15 Vista de los resultados en el programa.

TABLA 7

ERROR OBTENIDO CON VOLTAJES DE PRUEBA IDEALES

Circuito	Error con datos de amp. inversor (%)	Error con datos de amp. no inversor (%)
Amplificador inversor	0.00	199.01
Amplificador no inversor	201.00	0.00

Errores obtenidos con Vin de 10.50 V tanto en trazadores cúbicos como por mínimos cuadrados.

V. DISCUSIÓN

Al evaluar los resultados obtenidos por medio de la regresión por mínimos cuadrados y el ajuste por medio de trazadores cúbicos, se pudo observar que este segundo método no es eficiente para analizar circuitos lineales. Esto es debido a que en las mejores condiciones, se obtuvo un resultado igual o muy cercano al obtenido por medio de la regresión por mínimos cuadrados, pero este tipo de regresión no puede demostrar un comportamiento del circuito a largo plazo. Aunque los trazadores cúbicos sí se ajustaron bien a los puntos presentes en el Excel, el comportamiento del circuito no se puede modelar a largo plazo.

En algunos casos, se puede observar que los trazadores tienen un menor porcentaje de error que la regresión por mínimos cuadrados, pero este comportamiento depende del

valor de Vin a estimar, debido a que la regresión por mínimos cuadrados también proporciona una estimación más certera bajo otros parámetros iniciales, como se muestra en las figuras 11 y 14.

Se pudo observar también, que al analizar datos experimentales de un tipo de amplificador bajo el modelo teórico de otro amplificador se obtiene un porcentaje de error elevado, como el que se muestra en la figura 12. Esto concuerda con el resultado esperado, debido a que el análisis de datos experimentales de un tipo de amplificador bajo un modelo distinto proporciona datos erráticos.

Adicionalmente, se identificó que cuando los datos siguen una recta (sin importar si estos tienen una pendiente distinta a la esperada o una traslación en el eje y), los trazadores tienen la misma eficacia que la regresión por mínimos cuadrados, como se observa en la figura 7, debido a que se obtiene la misma función para todos los trazadores. A pesar de esto, la regresión por mínimos cuadrados se sigue favoreciendo debido a que es más versátil en esta aplicación específica, porque permite modelar valores más allá de los puntos iniciales experimentales bajo un modelo similar al ideal del circuito, mientras que los trazadores solo permiten estimar valores que se encuentran dentro de un rango entre el valor mínimo y máximo de Vin experimental.

También se pudo comprobar que la implementación de la regresión por mínimos cuadrados en el código fue la adecuada debido a que al introducir el comportamiento teórico del circuito en Excel, se obtuvo un porcentaje de error igual a 0. Es decir, la regresión por mínimos cuadrados dio como resultado la función teórica del circuito. Este comportamiento se pudo identificar también en la regresión por trazadores.

Se observó como al utilizar los datos experimentales de un tipo de filtro en el modelo de otro, los porcentajes de error se elevan de una manera significativa ya que estas se desvían mucho de la tendencia de la ecuación del debido op amp. Como se puede observar en la tabla 3, se realizaron las pruebas de regresión de mínimo cuadrado sobre la función del amplificador inversor con valores de del no inversor obteniendo así un error del 199.95%.

El porcentaje de error es el acertado al comparar las gráficas de los resultados obtenidos con los diferentes puntos evaluados con la grafica ideal del amplificador seleccionado. Se puede observar esta tendencia gracias a la regresión por mínimos cuadrados ya que esta se encarga de observar la tendencia de la primera gráfica resultante de los diferentes puntos para luego poder así compararla con nuestra gráfica real y tabular los datos dando así un porcentaje de error certero. En casos donde el comportamiento del circuito de forma experimental se encuentre muy cercano al teórico, la gráfica experimental será muy parecida a la teórica, como se observa en la figura 5. Cuando el comportamiento experimental no es bueno, las gráficas tendrán discrepancias, como se observa en la figura 6. Para poder realizar estas gráficas, es importante la regresión de mínimos cuadrados, debido a que los trazadores no permiten una estimación para una función que cumpla en valores más allá del mínimo Vin al máximo Vin (inclusivo) en los datos experimentales.

Para que cumplan los resultados de este programa, se tomaron en cuenta distintos factores. Primero, se asume que el comportamiento del circuito medido experimentalmente es similar al de un amplificador inversor o un amplificador no inversor, para poder identificar la diferencia de error proporcionada por los trazadores cúbicos y la regresión por mínimos cuadrados. También, se espera que el amplificador operacional, en el rango medido, no se sature, debido a que al saturarse, este proporcionará un comportamiento no congruente con la función representativa del circuito, al no poder amplificar de forma correcta la salida.

VI. CONCLUSIONES

A pesar de tener un buen ajuste a los datos experimentales, los trazadores cúbicos no son la mejor manera de estimar la función del amplificador inversor o no inversor, debido a que no puede estimar una función certera para un V_{in} fuera del rango de valores experimentales.

Se favorecen métodos como la regresión por mínimos cuadrados que resultan en una estimación lineal, debido a que representan una función del mismo grado y comportamiento similar a la función teórica del circuito y permiten una estimación con una entrada V_{in} fuera del rango de los valores experimentales.

La regresión por mínimos cuadrados es más eficiente que los trazadores siempre y cuando el comportamiento del circuito experimental sea cercano al teórico, es decir, que este se comporte de una forma lineal o cercana a esta. Se espera que para circuitos donde se tengan salidas oscilatorias o con funciones no lineales, los trazadores cúbicos proporcionen un mejor resultado para el comportamiento del mismo. Sin embargo, se tendrá siempre la limitante de no poder estimar un V_{in} fuera del rango de valores experimentales.

VII. REFERENCIAS

Boylestad, R. (2011). *Introducción al Análisis de circuitos*. (12ª ed.). Pearson Educación, S. A.