

Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Electrónica, Computación y
Control
Diseño de Equipo Electrónico

Práctica 1: Función de Red y Ajuste

José A. Tovar B.

C.I 29.565.036

Julio, 2023

Índice

1. Resumen	2
2. Introducción:	3
3. Objetivos:	4
4. Metodología	5
4.1. Experiencia 1: Función de Red	5
4.2. Experiencia 2: Ajuste	5
4.3. Experiencia 3: Múltiples Ajustes	6
5. Desarrollo Teórico:	7
5.1. Función de Red	7
5.2. Ajuste	7
6. Cálculos Previos	9
6.1. Error de la función de red:	11
6.2. Ajuste	12
7. Materiales e Instrumentos	13
8. Presentación de Resultados:	13
8.1. Ajuste:	15
8.2. Múltiples Ajustes:	16
9. Análisis de Resultados	17
10. Conclusiones y Recomendaciones	17
11. Anexos	19

1. Resumen

La presente práctica de laboratorio consistió en utilizar diferentes configuraciones de redes pasivas y activas con amplificadores operacionales, y ajustar sus funciones de red mediante el uso de potenciómetros. Se tomaron mediciones de las señales de entrada y salida de los circuitos utilizados, y se analizaron las formas de onda obtenidas para determinar el comportamiento de las funciones de red y la eficacia del ajuste realizado.

Para llevar a cabo

En resumen, este informe presenta los resultados de la experiencia de laboratorio sobre funciones de red y ajuste mediante el uso de potenciómetros en circuitos electrónicos que constan de redes pasivas y activas con amplificadores operacionales. Los resultados obtenidos demuestran la importancia de la comprensión y habilidad en la manipulación de señales electrónicas para el diseño de sistemas electrónicos eficientes y precisos.

2. Introducción:

Las funciones de red son una parte fundamental del diseño de circuitos electrónicos, ya que permiten manipular y procesar señales eléctricas según las necesidades específicas de cada aplicación.

La manipulación de señales electrónicas mediante circuitos es una habilidad muy importante hoy en día para cualquier ingeniero o diseñador electrónico. En particular, la comprensión de las funciones de red y la capacidad de ajustarlas de manera adecuada son esenciales para diseñar sistemas electrónicos eficientes y precisos. En este informe se presentan los resultados correspondientes a la práctica de laboratorio 1, que tuvo como objetivo explorar las funciones de red y su ajuste, tanto en redes pasivas como en redes activas con amplificadores operacionales.

3. Objetivos:

Objetivo General:

- Reconocer las ventajas del uso de un modelo lineal que caracterice el comportamiento de una función de red.
- Verificar el funcionamiento del proceso de ajuste.
- Obtener las especificaciones de funciones de red (valor de la función y su error) utilizando el modelo obtenido de los elementos de la red.

Objetivos Específicos:

- Determinar la expresión analítica de la función de red para redes pasivas y activas.
- Diseñar las redes para que las mediciones a realizar se encuentren en una misma escala.
- Determinar el modelo de para el valor de una característica para varias resistencias de diversos valores nominales.
- Determinar el valor de la función de red y su error para redes pasivas y activas.
- Implementar las redes pasivas y activas para estudiar el error de la función.
- Realizar el proceso de ajuste de las redes pasivas y activas.
- Estudiar el proceso de múltiples ajustes para dos funciones de red.

4. Metodología

4.1. Experiencia 1: Función de Red

Para llevar a cabo esta práctica, es necesario determinar las funciones de red ($\frac{V_o}{V_i}$) para cada uno de los circuitos dados.

Una vez obtenidas estas funciones, se deben diseñar los circuitos utilizando valores de resistencias comerciales con una tolerancia del 5 % tomando en cuenta la escala a utilizarse en el instrumento de medición. Después de determinar los valores de resistencia, se debe calcular el error de cada una de las funciones de red.

Una vez realizados los cálculos anteriores, se procede a realizar el montaje de los circuitos y medir cada una de las funciones de red para 10 valores diferentes de entrada, sin hacer cambios en la escala del instrumento de medición.

4.2. Experiencia 2: Ajuste

Para cada una de las funciones de red previamente determinadas, se debe llevar a cabo el proceso de ajuste, lo que implica determinar el nuevo valor del elemento de ajuste, el valor del elemento ajustado y el error de la función ajustada.

Con los resultados obtenidos del proceso de ajuste, se deben hacer las modificaciones necesarias para incluir los elementos de ajuste. Luego, se debe medir el valor de la función de red sin ajuste, realizar el proceso de ajuste y tomar el valor de la función ajustada. Para considerar que una función de red está ajustada, se deben cumplir las siguientes condiciones:

1. Se considerará ajustada una función cuando se obtenga una medición de la red que coincida con el valor esperado teóricamente o tenga un error mínimo en comparación con este.

2. En caso de que no se pueda lograr lo anterior, se considerará ajustada una función cuando se llegue al límite de accionamiento del elemento de ajuste en el sentido en el que se acerca el valor de la función de red al valor esperado teóricamente.

4.3. Experiencia 3: Múltiples Ajustes

Para esta experiencia se debe realizar el ajuste de ambas funciones simultáneamente utilizando un solo elemento de ajuste. Para esto se debe seleccionar el elemento a ajustar tal que ambas funciones de red de este circuito se vean afectadas por su variación. Luego se debe alimentar ambas entradas con una misma señal de entrada y tomar mediciones de la función de red sin ajustar, luego, realizar el proceso de ajuste y medir con la función de red ajustada.

5. Desarrollo Teórico:

Para la realización de los cálculos previos es necesario introducir varios conceptos teóricos correspondientes a Funciones de Red y Ajuste, consultados de [1].

5.1. Función de Red

Una función de red se refiere a una función matemática que describe el comportamiento de una red eléctrica.

Las funciones de red se utilizan para modelar y analizar diferentes aspectos de una red eléctrica, como la distribución de voltajes y corrientes, la impedancia de la red, la transferencia de potencia, la estabilidad de la red y la respuesta a diferentes tipos de fallas y perturbaciones.

Las funciones de red se pueden expresar en términos de parámetros eléctricos como la resistencia, la inductancia y la capacitancia, y se utilizan para simular el comportamiento de la red en diferentes condiciones y escenarios.

Dada una función de red, su error vendrá dado por:

$$\Delta f(X_o) = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f(x)}{\partial X_i} \right|_{X_i} \frac{\Delta X_i}{X_i} \Bigg|_{X=X_o} \quad (1)$$

5.2. Ajuste

El ajuste se refiere al proceso de modificar los valores de los elementos de una red eléctrica con el fin de hacer que la función de red resultante se acerque lo más posible al valor definido por los componentes ideales.

Durante el proceso de ajuste, se introduce una variación o cambio en uno de los elementos que forman la red, con el objetivo de anular los errores de los demás elementos y reducir la discrepancia entre el valor de la función de red medido y el valor ideal. Este proceso requiere de una medición precisa y comparación con un patrón, que puede ser el valor ideal o una medida de referencia.

El ajuste se realiza de forma discreta, variando los valores de los elementos en pasos equivalentes al cambio mínimo que permiten su construcción. Sin embargo,

esta variación no garantiza que se obtenga el valor de la función definido por los componentes ideales en todos los casos.

En resumen, el ajuste es un proceso de calibración que implica la modificación de los valores de los elementos de la red eléctrica para hacer que la función de red se acerque al valor ideal, y que requiere de una medición precisa y comparación con un patrón.

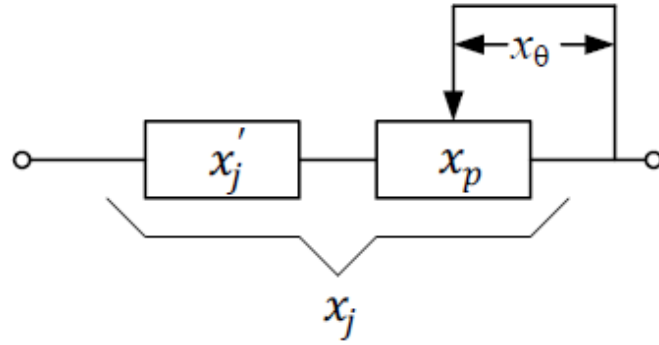


Figura 1: Modelo utilizado para el ajuste.

El punto de arranque del ajuste viene dado por:

$$X\theta = \frac{Xp}{2} \quad (2)$$

El elemento fijo será:

$$Xj' = Xj - \frac{Xp}{2} \quad (3)$$

Mientras que el elemento variable:

$$Xp = 2 \frac{\Delta f(X)}{\left| \frac{\partial f(X)}{\partial X_j} \right| \left[1 - 2 \frac{\Delta X_p}{X_p} + \frac{\Delta X_j}{X_j} \right]} \Bigg|_{X=X_o} \quad (4)$$

6. Cálculos Previos

Para esta práctica se analizaron los siguientes circuitos:

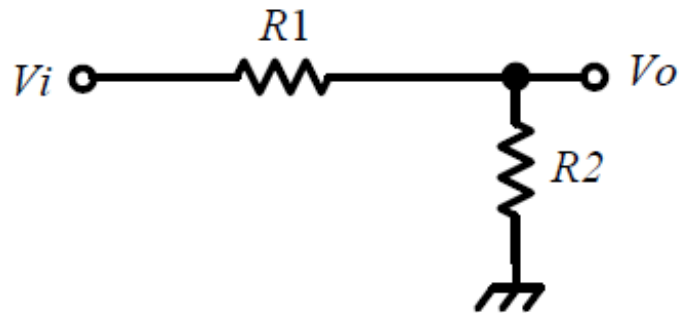


Figura 2: Red Pasiva 1.

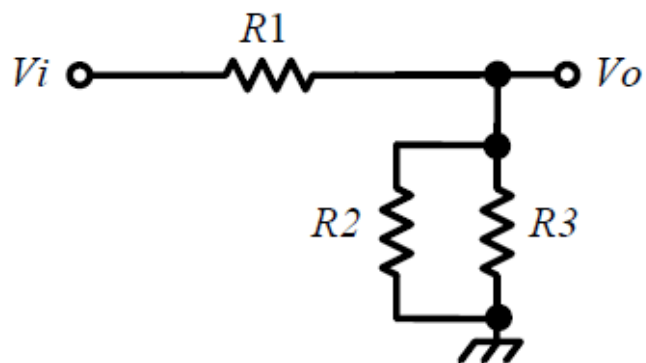


Figura 3: Red Pasiva 2.

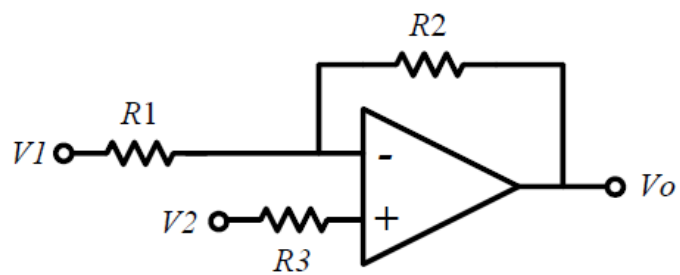


Figura 4: Red Activa 1.

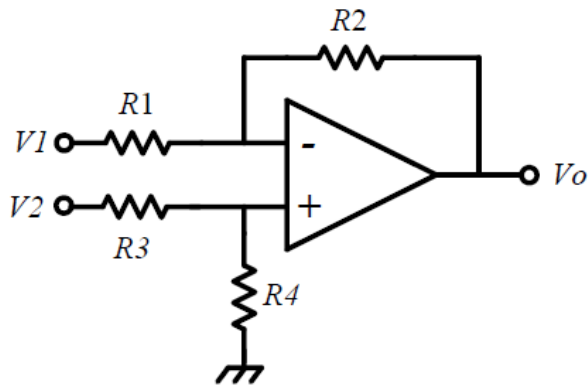


Figura 5: Red Activa 2.

En primer lugar, se requería la expresión analítica de cada función de red.

- Para la red de la Figura 2: $\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$
- Para la red de la Figura 3 $\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2 // R_3}{R_1 + R_2 // R_3}$
- Para la red de la Figura 11 $\frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_2}{R_1} \Big|_{V_2=0}$ y $\frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \Big|_{V_1=0}$

Luego, era necesario llevar a cabo el diseño tal que V_o y V_i estuvieran dentro del rango entre 0-20 V (escala del multímetro escogida) para evitar cambios de escala al medir.

Para esto, se seleccionaron los siguientes valores de Resistencias:

Tabla 1: Valores de resistencia escogidos.

Red	Pasiva 1	Pasiva 2	Activa 1 (Inversor)	Activa 1 (No Inversor)
R1	6,2kΩ	6,2kΩ	3,3kΩ	3,3kΩ
R2	5,6kΩ	5,6kΩ	1kΩ	1kΩ
R3	-	7,5kΩ	3,3kΩ	3,3kΩ
$\frac{V_o}{V_i}$	0.47458	0.34085	-0.303	1.303

Se escogieron estos valores debido a que eran parte de los disponibles en la tabla de resistencias (ver Anexo), además de ser resistencias adecuadas para que no fueran necesarios cambios de escala en el instrumento de medición.

Para cada caso se utilizaron resistencias de la serie 5 %, obteniéndose los siguientes modelos para el valor de una característica:

- Figura 2: $V_m = (5915 \pm 595)\Omega$
- Figura 3: $V_m = (6595,5 \pm 1277,5)\Omega$
- Figura 11: $V_m = (2207,5 \pm 1257,5)\Omega$

6.1. Error de la función de red:

Para hallar el error asociado a cada función de red se hizo uso de la ecuación 1. Obteniéndose:

- Circuito 1: $\Delta \frac{V_o}{V_i} = \left| \frac{-R_2}{(R_1+R_2)^2} \right| \Delta R_1 + \left| \frac{-R_1}{(R_1+R_2)^2} \right| \Delta R_2$
- Circuito 2: $\Delta \frac{V_o}{V_i} = \left| \frac{-R_2 R_3 (R_2+R_3)}{[R_1(R_2+R_3)+R_2 R_3]^2} \right| \Delta R_1 + \left| \frac{R_1 R_3^2}{[R_1(R_2+R_3)+R_2 R_3]^2} \right| \Delta R_2 + \left| \frac{R_1 R_2^2}{[R_1(R_2+R_3)+R_2 R_3]^2} \right| \Delta R_3$
- Circuito 3:
 - Inversor: $\Delta \frac{V_o}{V_i} = \left| \frac{-R_2}{(R_1)^2} \right| \Delta R_1 + \left| \frac{-1}{R_1} \right| \Delta R_2$
 - No Inversor: $\Delta \frac{V_o}{V_i} = \left| \frac{-R_2}{(R_1)^2} \right| \Delta R_1 + \left| \frac{1}{R_1} \right| \Delta R_2$

Evaluando en el punto de operación y tomando los valores de resistencias de la Tabla 1:

Tabla 2: Valores de las funciones de red en conjunto con su error.

Red	Pasiva 1	Pasiva 2	Activa 1 (Inversor)	Activa 1 (No Inversor)
$\frac{V_o}{V_i}$	$0,47458 \pm 0,02494$	$0,34085 \pm 0,02225$	$-0,303 \pm 0,030$	$1,303 \pm 0,030$

Seguidamente, se calcula el valor de la función de red con su error tomando en cuenta el modelo para el valor de una característica planteado previamente:

Tabla 3: Valores de las funciones de red en conjunto con su error según modelos.

Red	Pasiva 1	Pasiva 2	Activa 1 (Inversor)	Activa 1 (No Inversor)
$\frac{V_o}{V_i}$	$0,5000 \pm 0,0503$	$0,33333 \pm 0,04304$	$-1,0000 \pm 1,1392$	$2,0000 \pm 1,1392$

6.2. Ajuste

Haciendo uso de las ecuaciones propuestas en el marco teórico correspondientes al Ajuste de una función de red (Ecuación 2, 3 y 4) se obtuvieron los siguientes valores para el ajuste:

Tabla 4: Valores propuestos para el proceso de ajuste.

Red	Pasiva 1	Pasiva 2	Activa 1
X_j	R1	R1	R2
X_p	1kΩ	1kΩ	1kΩ
X_j'	5,6kΩ	5,6kΩ	510Ω
$\Delta f(X_o)$ ajustada	0.00698	0.00622	0.008392

7. Materiales e Instrumentos

- Fuente DC Variable de dos canales Protek Modelo 3015 S/N 9309063
- Multímetro con 2 dígitos de precisión.
- Potenciómetros de ajuste de $1k\Omega \pm 20\%$ Marca PIHER de Carbón.
- Resistencias de carbón aglomerado del 5 %.
- Amplificador operacional cuádruple LM3900 de Texas Instruments.

8. Presentación de Resultados:

Tabla 5: Mediciones de la Experiencia 1 sobre la Red Pasiva 1.

Vi [V]	Vo [V]	f(X)
1,00 ± 0,01	0,46 ± 0,01	0,4600 ± 0,0146
2,02 ± 0,01	0,94 ± 0,01	0,4653 ± 0,0073
3,00 ± 0,01	1,44 ± 0,01	0,4800 ± 0,0049
4,03 ± 0,01	1,90 ± 0,01	0,4715 ± 0,0037
5,01 ± 0,01	2,40 ± 0,01	0,4790 ± 0,0030
6,00 ± 0,01	2,85 ± 0,01	0,4750 ± 0,0025
7,00 ± 0,01	3,32 ± 0,01	0,4758 ± 0,0018
8,05 ± 0,01	3,83 ± 0,01	0,4758 ± 0,0018
9,00 ± 0,01	4,31 ± 0,01	0,4789 ± 0,0016
10,09 ± 0,01	4,75 ± 0,01	0,4708 ± 0,0015
	Promedio	0,4731 ± 0,0043

Tabla 6: Mediciones de la Experiencia 1 sobre la Red Pasiva 2.

Vi [V]	Vo [V]	f(X)
1,02 ± 0,01	0,35 ± 0,01	0,3431 ± 0,0132
2,05 ± 0,01	0,71 ± 0,01	0,3463 ± 0,0066
3,00 ± 0,01	1,04 ± 0,01	0,3467 ± 0,0045
4,00 ± 0,01	1,38 ± 0,01	0,3450 ± 0,0034
4,99 ± 0,01	1,73 ± 0,01	0,3467 ± 0,0027
6,02 ± 0,01	2,07 ± 0,01	0,3439 ± 0,0022
7,01 ± 0,01	2,42 ± 0,01	0,3452 ± 0,0019
8,05 ± 0,01	2,77 ± 0,01	0,3441 ± 0,0017
9,00 ± 0,01	3,17 ± 0,01	0,3522 ± 0,0015
10,03 ± 0,01	3,46 ± 0,01	0,3450 ± 0,0013
	Promedio	0,3458 ± 0,0039

Tabla 7: Mediciones de la Experiencia 1 sobre la Red Activa 1 como Inversor.

Vi [V]	Vo [V]	f(X)
1,02 ± 0,01	0,87 ± 0,01	0,8529 ± 0,0182
2,02 ± 0,01	1,25 ± 0,01	0,6188 ± 0,0066
3,03 ± 0,01	1,63 ± 0,01	0,5380 ± 0,0051
4,01 ± 0,01	2,07 ± 0,01	0,5162 ± 0,0038
5,06 ± 0,01	2,56 ± 0,01	0,5059 ± 0,0030
6,00 ± 0,01	3,02 ± 0,01	0,5033 ± 0,0025
6,97 ± 0,01	3,50 ± 0,01	0,5022 ± 0,0022
8,02 ± 0,01	4,05 ± 0,01	0,5050 ± 0,0019
8,99 ± 0,01	4,52 ± 0,01	0,5028 ± 0,0017
10,02 ± 0,01	5,03 ± 0,01	0,5020 ± 0,0015
	Promedio	0,5547 ± 0,0048

Tabla 8: Mediciones de la Experiencia 1 sobre la Red Activa 1 como No Inversor.

Vi [V]	Vo [V]	f(X)
1,00 ± 0,01	1,06 ± 0,01	1,0600 ± 0,0206
1,97 ± 0,01	1,52 ± 0,01	0,7716 ± 0,0090
3,05 ± 0,01	2,38 ± 0,01	0,7803 ± 0,0058
4,01 ± 0,01	3,14 ± 0,01	0,7830 ± 0,0044
4,99 ± 0,01	3,90 ± 0,01	0,7816 ± 0,0036
5,99 ± 0,01	4,70 ± 0,01	0,7846 ± 0,0030
7,05 ± 0,01	5,52 ± 0,01	0,7830 ± 0,0025
8,05 ± 0,01	6,35 ± 0,01	0,7888 ± 0,0022
8,96 ± 0,01	7,09 ± 0,01	0,7913 ± 0,0020
10,02 ± 0,01	7,92 ± 0,01	0,7904 ± 0,0018
	Promedio	0,8115 ± 0,0055

8.1. Ajuste:

Tabla 9: Valores obtenidos en el proceso de ajuste.

Red	Vi [V]	Vo s.e.a [V]	Vo c.e.a [V]	Vo ajust. [V]	# Accionamientos	Sentido
Pasiva 1	5,09 ± 0,01	2,43 ± 0,01	2,48 ± 0,01	2,41 ± 0,01	6	Horario
Pasiva 2	5,07 ± 0,01	1,76 ± 0,01	1,74 ± 0,01	1,73 ± 0,01	2	Horario
Activa 1.1	1,50 ± 0,01	-0,91 ± 0,01	-0,87 ± 0,01	-0,90 ± 0,01	5	Horario
Activa 1.2	0,98 ± 0,01	1,83 ± 0,01	1,81 ± 0,01	2,87 ± 0,01	6	Antihorario

Donde:

- Vi: Voltaje de Entrada.
- Vo s.e.a: Voltaje de salida sin elemento de ajuste.
- Vo c.e.a: Voltaje de salida con elemento de ajuste.
- Vo ajust.: Voltaje de salida ajustado.

- Accionamientos: Número de accionamientos necesarios para alcanzar el valor teórico deseado.

Para la red activa 1.2 (Amplificador No Inversor) se observó un comportamiento no esperado por parte del amplificador operacional, que pudo constatar el profesor guía en el laboratorio. El amplificador en cuestión era un LM3900 de Texas Instruments, el cual según su datasheet (el cual se adjunta como anexo) aseguraba, podía trabajar con una sola fuente de voltaje de hasta 32V. Si bien para ganancias menores a 1 el comportamiento era menos errático, para ganancias mayores a 1 el amplificador no era capaz de proveer la salida deseada. Este problema se ataca en la experiencia de múltiples ajustes, en donde fue necesario el uso de dos fuentes de tensión conectadas entre sí para crear un voltaje negativo, lográndose así obtener las ganancias esperadas. Para comprobar el correcto funcionamiento del amplificador con la fuente dual, se reemplazaron las resistencias $R1$ y $R2$ por $R1 = 3,3k\Omega$ y $R2 = 6,2k\Omega$ respectivamente, esto para que la ganancia fuera mayor que 1.

A su vez, en las hojas de datos anexadas pueden observarse las distintas mediciones realizadas antes de alcanzar el valor deseado a la salida.

8.2. Múltiples Ajustes:

Para este proceso se utilizaron los siguientes valores, esto para obtener valores de ganancia deseables y que dieran mediciones dentro de la escala utilizada, además de estar disponibles en la tabla de resistencias:

- $R1 = 300\Omega$
- $R2 = 620\Omega$
- $R3 = 300\Omega$
- $R4 = 620\Omega$
- $X_{j'} = 110\Omega$
- $X_p = 1k\Omega$

Tabla 10: Valores obtenidos en el proceso de multiajuste.

Red	Vi [V]	Vo s.e.a [V]	Vi c.e.a [V]	Vo ajust final. [V]	# Acc.	Sentido
Activa Inv.	$2,02 \pm 0,01$	$-4,17 \pm 0,01$	$2,02 \pm 0,01$	$-4,12 \pm 0,01$	6	Horario
Activa No Inv.	$1,27 \pm 0,01$	$4,18 \pm 0,01$	$2,00 \pm 0,01$	$4,16 \pm 0,01$	6	Horario

9. Análisis de Resultados

A partir de los resultados obtenidos se observa que en todas las experiencias llevadas a cabo en el laboratorio, existen discrepancias entre los valores teóricos esperados y los valores medidos. Si bien esto es de esperarse en toda práctica de laboratorio, en este caso estos resultados confirman la importancia del análisis de las características de tolerancia propias de cada elemento en conjunto con el error en las funciones de red estudiadas en estas experiencias.

En cuanto al proceso de ajuste, se lograron obtener valores muy cercanos a los valores teóricos deseados luego de llevar a cabo el ajuste, en ocasiones sin necesidad de múltiples accionamientos del elemento móvil. En las funciones de red correspondientes a las redes activas, se observa que el comportamiento no era el esperado en términos de ganancia, problema que se ataca al utilizar una fuente dual en los siguientes apartados. A pesar de estos desafíos, se logró llegar al final del proceso de ajuste, asumiéndose el ajuste como culminado una vez se alcanzaba el valor teórico deseado.

Para el apartado de multiajuste, se observó como un solo elemento de ajuste ocasionaba cambios en las 2 funciones de red de interés, siendo el final del ajuste el accionamiento que causara que alguna de las 2 funciones llegara a su valor teórico deseado primero.

10. Conclusiones y Recomendaciones

Durante la realización de esta práctica se lograron reforzar exitosamente los conocimientos vistos en clases respecto a funciones de red, error en la función de red y ajuste de las mismas.

Con base en los resultados obtenidos para los puntos de operación estudiados se puede observar que es de vital importancia el estudio del error presente en toda función de red, siendo la tolerancia de los elementos presentes en la red la primera fuente de error en todo circuito electrónico.

Las experiencias se vieron afectadas en varias ocasiones por los instrumentos de laboratorio, como por ejemplo fuentes que no mantenían su valor de salida constante, y también por el comportamiento no deseado del amplificador operacional LM3900, el cual solo proporcionó resultados esperados al conectarlo a una fuente dual.

A pesar de estos desafíos, los objetivos de la práctica fueron completados con éxito, lográndose:

- Reconocer las ventajas del uso de un modelo lineal que caracterice el comportamiento de una función de red.
- Verificar el funcionamiento del proceso de ajuste.
- Obtener las especificaciones de funciones de red (valor de la función y su error) utilizando el modelo obtenido de los elementos de la red.

Referencias

- [1] Panayotis Tremante. “Clases de Diseño de Equipo Electrónico”. En: (2023). Documento digital.

11. Anexos

Tabla 11: Tabla de valores de resistencias disponibles.

Valor de Resistencia [Ω]
110
510
7.5k
100
100k
6.2k
1k
3.3k
1.3k
620
5.6k
560
1.2k
270
6.8k
300

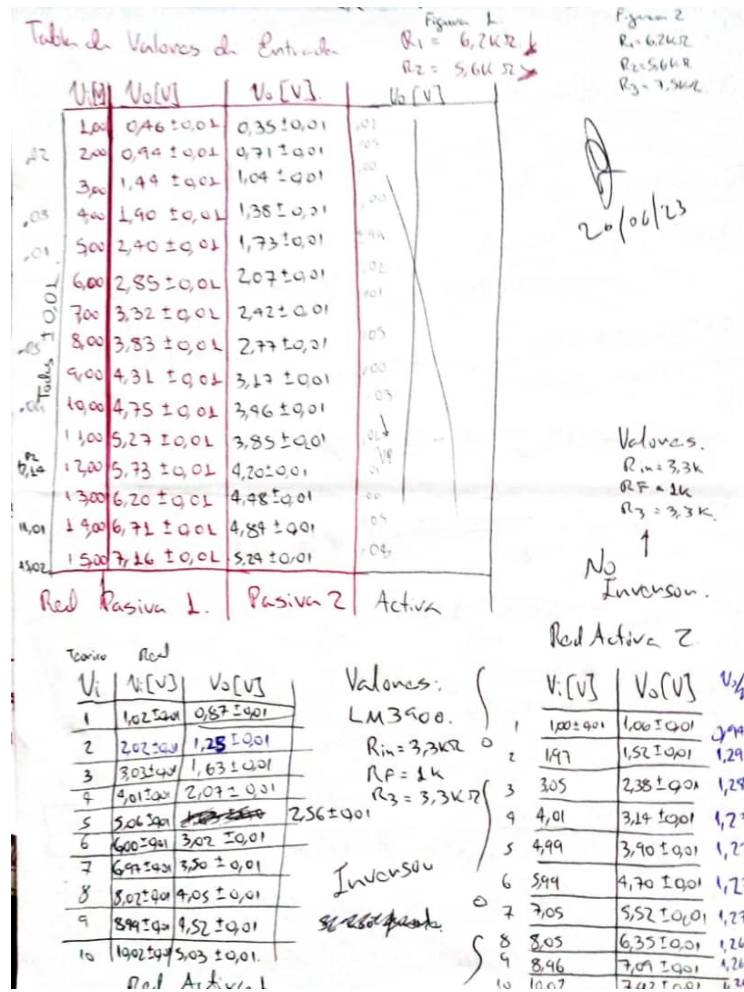


Figura 6: Hoja de Datos 1.

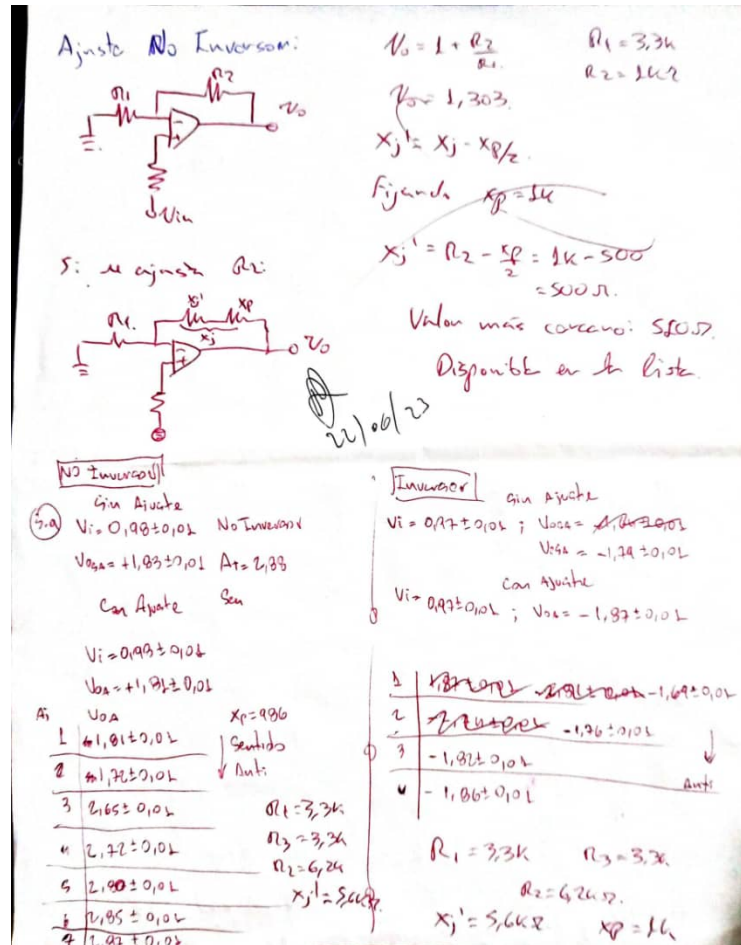


Figura 7: Hoja de Datos 2.

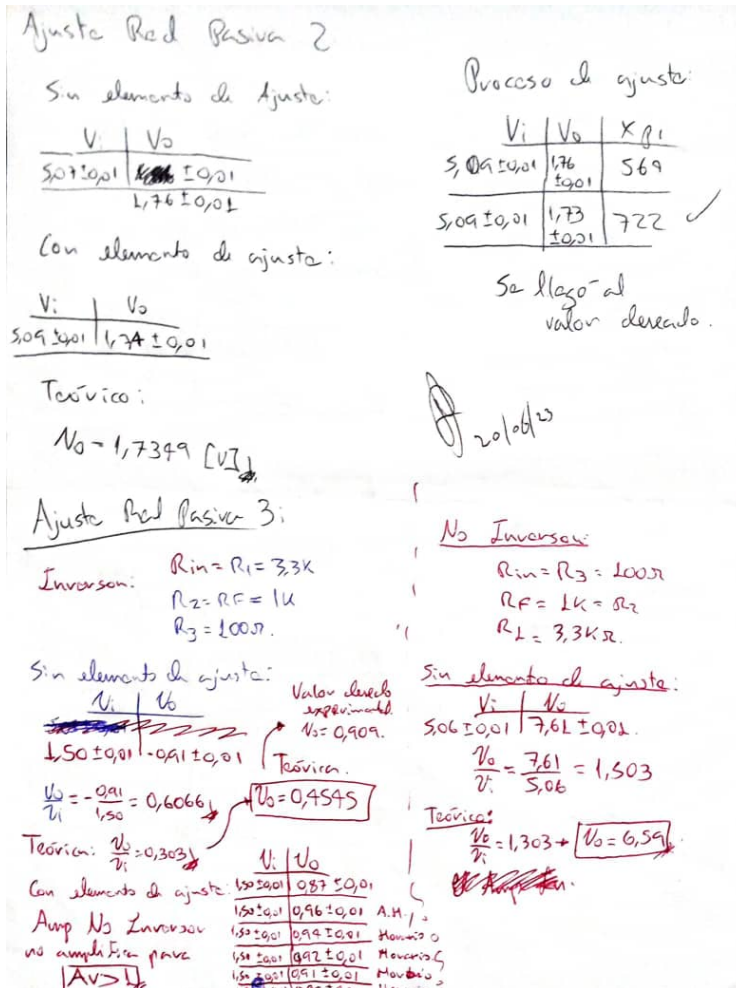


Figura 8: Hoja de Datos 3.

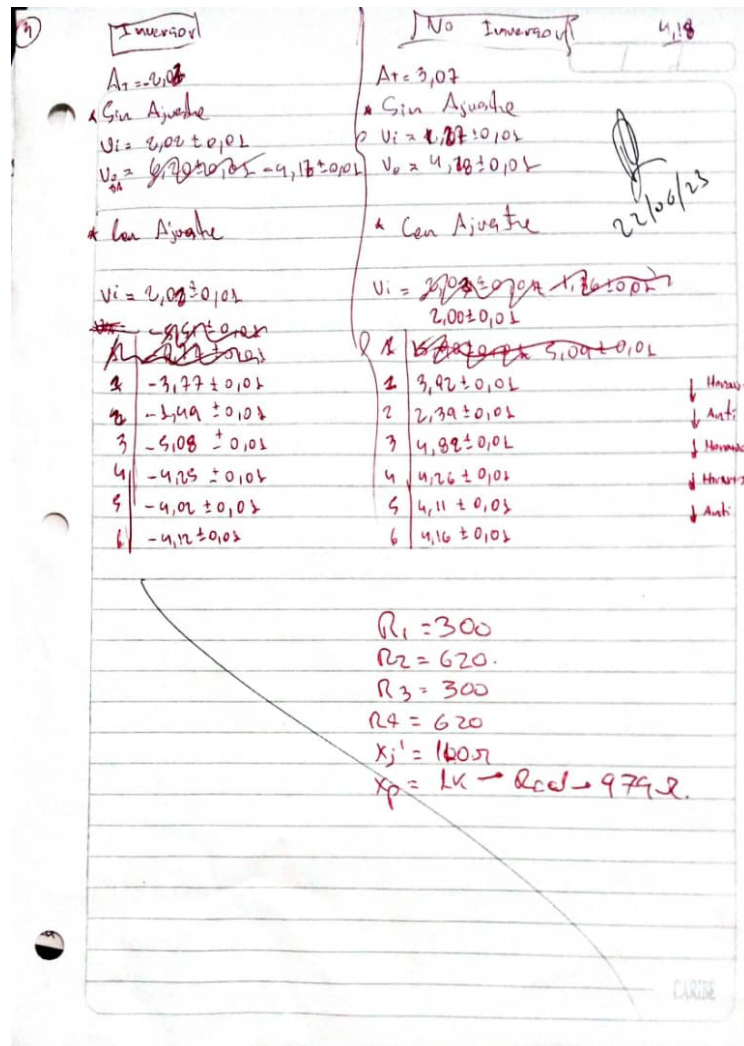


Figura 9: Hoja de Datos 4.

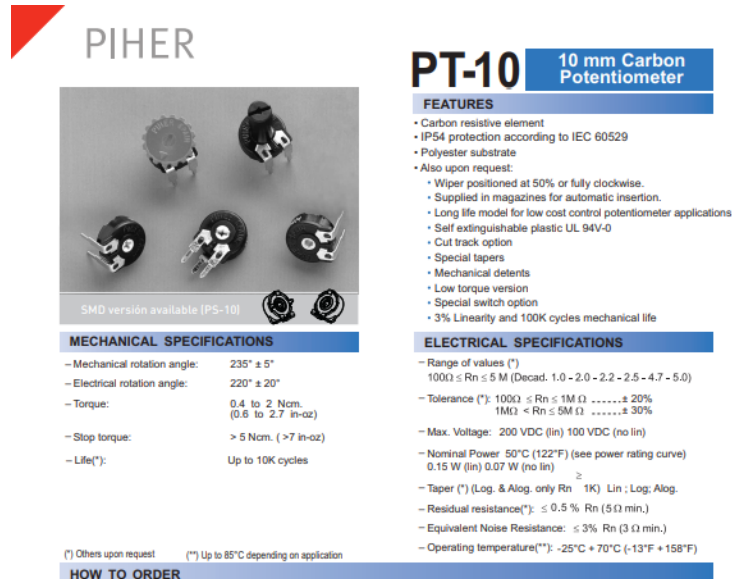


Figura 10: Datasheet del potenciómetro utilizado.

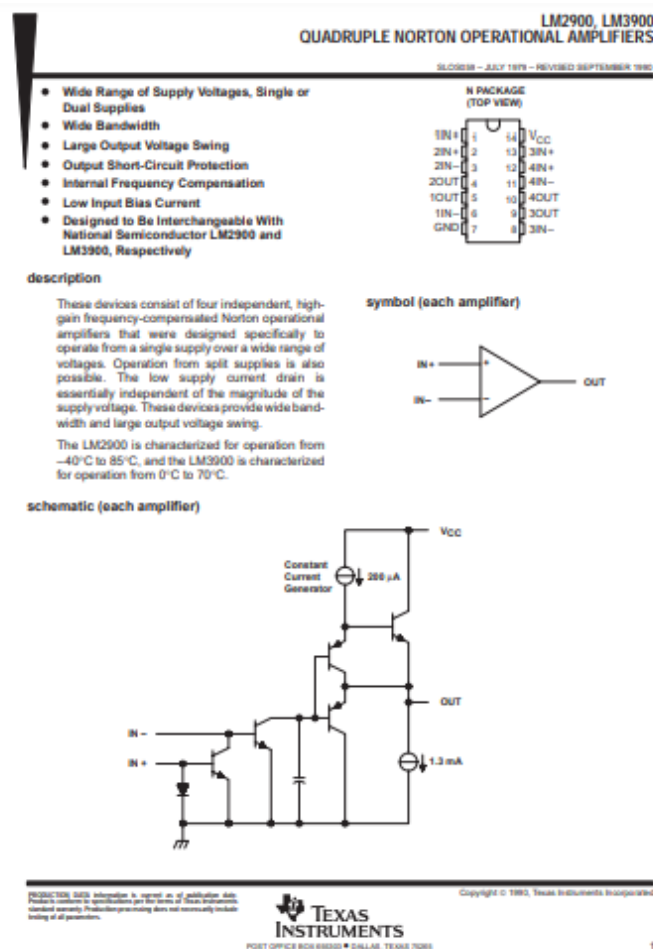


Figura 11: Datasheet del Amplificador Operacional utilizado.