

Teoría de Circuitos 2019

Trabajo Práctico de Laboratorio N°2

Amplificadores Operacionales - Efectos en DC y AC

Consideraciones generales:

- Salvo que se indique lo contrario, suponer siempre amplificadores operacionales ideales.
- Se utilizará la letra **N** para denotar al número del grupo.
- Cuando se indiquen valores de resistencias, se deberá utilizar el valor comercial más cercano.
- Está permitido asistir el desarrollo matemático mediante programas algebraicos, sin embargo todos los resultados y pasos intermedios más importantes deberán quedar asentados en el informe.
- Se realizarán todas las simulaciones de circuitos mediante LTSpice.
- Todas las gráficas de respuesta en frecuencia deberán expresarse en escala semi-logarítmica, incluyendo módulo y fase.
- Se espera coherencia en las cifras significativas a lo largo de las mediciones, cálculos y resultados, tanto en escala lineal como logarítmica.
- Se les recuerda a los alumnos que la política de Fraude y Plagio del Instituto rige sobre este trabajo.
- **No está permitido el uso de herramientas automáticas de medición en este trabajo práctico.**
- La calidad de las placas será evaluada.

Pautas para la evaluación del informe (en orden de importancia):

- Contenido y capacidad de síntesis.
 - Se penalizarán contenidos irrelevantes.
 - Se valorará la presentación clara, concisa, específica y sin redundancias.
 - Se esperan conclusiones relevantes dentro del desarrollo de cada tema y del trabajo práctico en general.
- Adecuado manejo y presentación de magnitudes numéricas.
- Organización grupal del trabajo.
 - Se espera el mayor grado de cohesión y homogeneidad en la resolución de los distintos enunciados. Se deben respetar un estándar y objetivos comunes.
- Originalidad e Inventiva
- Presentación, redacción y ortografía.
- Aportes no obligatorios

Entregas:

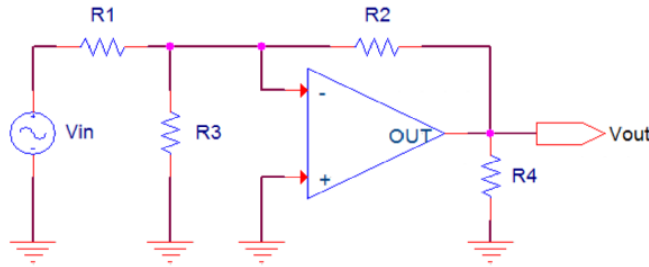
- Versión digital: Jueves 5 de septiembre hasta las 23:59 Hs.
- Revisión Oral: Jueves 12 de septiembre durante el horario de clase en el laboratorio B.

1 Comportamiento de Amplificadores Operacionales

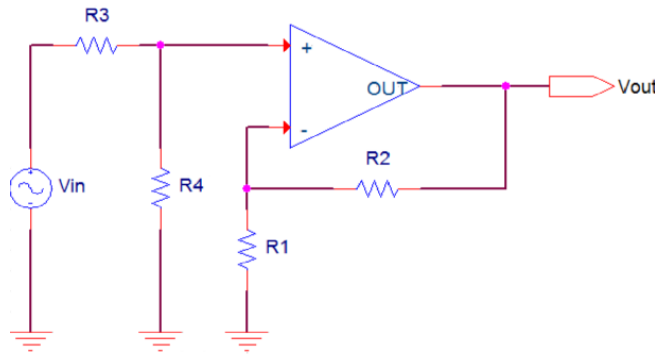
Objetivos de este ejercicio:

- Aprender a manejar el instrumental de trabajo que ofrece el laboratorio.
- Desarrollar la disciplina de llevar adelante un trabajo repetitivo.
- Conocer limitaciones reales de los amplificadores operacionales.
- Adquirir criterio para armar una plata protoboard, para realizar mediciones y para mostrar los resultados obtenidos de forma concisa.

A partir de los circuitos mostrados en las figuras 1a y 1b, se procederá a hacer un análisis detallado de su funcionamiento para comprender las características más importantes de los amplificadores operacionales.



(a) Circuito 1



(b) Circuito 2

Figure 1: Configuración Inversora y No-Inversora

Caso	$R_1 = R_3$	R_2	R_4
1	$2.5 \cdot N \text{ k}\Omega$	$25 \cdot N \text{ k}\Omega$	$10 \cdot N \text{ k}\Omega$
2	$2.5 \cdot N \text{ k}\Omega$	$2.5 \cdot N \text{ k}\Omega$	$10 \cdot N \text{ k}\Omega$
3	$25 \cdot N \text{ k}\Omega$	$2.5 \cdot N \text{ k}\Omega$	$100 \cdot N \text{ k}\Omega$

Table 1: Valores de Resistencias

Para ambos circuitos, lleve a cabo las siguientes actividades:

- Calcular y graficar V_{out}/V_{in} considerando idealidad, A_{vol} finito y $A_{vol}(\omega)$ con polo dominante.
- Calcular y graficar la expresión de la impedancia de entrada vista por el generador en función de la frecuencia.
- Calcular y graficar el máximo valor de V_{in} que permita suponer circuito como lineal en función de la frecuencia, considerando todas las propiedades relevantes de los amplificadores operacionales.
- Identificar sus principales características y analizar sus aplicaciones.

1. ¿Qué efecto presenta la resistencia R_4 en el circuito de la figura 1a? Justifique.
 2. ¿Qué ocurre si la resistencia R_3 tiene un valor de 0Ω ? (analizar ambos circuitos)
 3. ¿Qué fenómenos alineales pueden afectar al comportamiento de los circuitos?
- e. Construir el circuito utilizando el amplificador operacional $LM324$ alimentado con $V_{CC} = \pm 15V$ y para cada uno de los casos presentados en la tabla 1:
1. Medir y graficar un DC Sweep desde $-V_{CC}$ hasta V_{CC} .
 - i. ¿Es el comportamiento del circuito lineal para todos el rango de tensiones de entrada? Justifique.
 - ii. ¿Corresponden las mediciones con aquello predicho en el item a?
 - iii. ¿Qué diferencias de comportamiento observan entre los distintos casos? Justifique.
 2. Estimular al circuito con una señal senoidal de máxima amplitud posible de una década antes de la primera singularidad relevante que presenta el circuito hasta una década después de la última singularidad relevante.
 - i. Medir y graficar el efecto de slew rate.
 - ii. Medir y graficar la respuesta en frecuencia.
 - iii. Medir y graficar la impedancia de entrada vista por el generador.
 - iv. ¿Cómo influye el GBP de distintos operacionales en la respuesta en frecuencia?
- f. Simular todas las mediciones que se realicen.
- g. Contrastar las mediciones y simulaciones con los valores teóricos obtenidos y extraer conclusiones.
1. ¿De acuerdo a los resultados obtenidos, es la aproximación $A_{vol} \rightarrow \infty$ válida? ¿En que casos no lo es? Justifique.
 2. En función de la respuesta al item anterior: ¿Cuál es el error relativo al que se incurre en cada uso posible de A_{vol} ?
- h. Identificar y enumerar:
1. Las limitaciones que tiene el $LM324$ en las condiciones de uso propuestas hasta aquí.
 2. Si se desea realizar un circuito el cual trabaja con señales cuadradas de $1V_{pp}$, con frecuencia variante entre $0.3MHz$ a $2MHz$, con duty variante entre 20% a 80%. ¿Podría utilizar un amplificador operacional $LM324$? ¿Que ocurre si la señal tiene valor medio cero? ¿Que ocurre si la señal tiene un valor medio cosntante igual a $0,3Volt$?
 3. Teniendo en cuenta que la señal del punto (b) cuando tiene duty del 50% tiene valor medio 0. Proponga 3 amplificadores operacionales que podrían amplificar dicha señal con ganancia unitaria. *Sugerencia* : Busque en www.digikey.com

2 Caracterización de Amplificadores Operacionales

Objetivo de este ejercicio:

- Aprender a leer una hoja de datos de un dispositivo electrónico.
- Desde lo teórico entender cuando una configuración es aplicable o no para un amplificador operacional.
- Desarrollar criterio para analizar circuitos, entender cuando una configuración es realizable.
- Chequear de manera analítica y empírica las impedancias de entrada y de salida de un circuito.
- Generar un circuito que oscile, observar dicho fenómeno y buscar teorías del porque ocurre esto.

A partir del circuito mostrado en las figura 2, para los valores de resistencias indicados en la tabla 2 y los integrados *NE5534* y *LM833* alimentados con $V_{CC} = \pm 15V$, resolver:

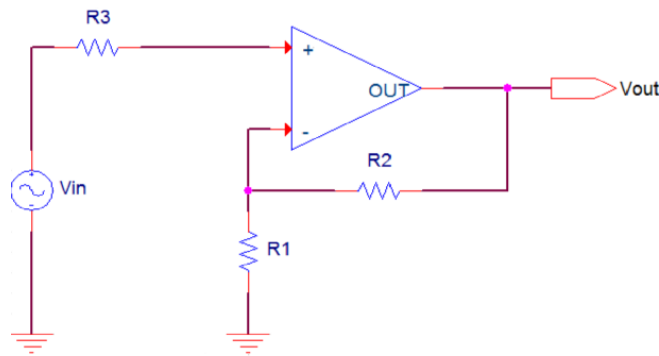


Figure 2: Configuración No-Inversora

R_1	R_2	R_3
$1 \cdot N \text{ k}\Omega$	$80 \cdot N \text{ k}\Omega$	$220 \text{ k}\Omega$

Table 2: Valores de Resistencias

- Estimular al circuito con una señal senoidal de $1 V_{pp}$ de amplitud desde una década antes de la primera singularidad relevante que presenta el circuito hasta una década después de la última singularidad relevante. (Revisar los valores de la impedancia de entrada de los amplificadores operacionales, en caso de necesitar cambiar algún valor, justificar).
 - Medir y graficar la respuesta en frecuencia. ¿Coincide con el modelo teórico? **Justifique utilizando las hojas de datos.**
 - Medir y graficar la impedancia de entrada vista por el generador.
 - ¿Cómo influye el GBP de los distintos operacionales en la respuesta en frecuencia?
 - ¿Qué diferencias de comportamiento observan entre los distintos casos? ¿Para qué tipo de aplicación utilizaría cada amplificador? Justifique.
 - Agregue un capacitor, C_1 entre las terminales de entrada positiva y negativa del operacional. Reemplace R_2 por un preset. Encontrar los valores de C_1 y de R_2 de forma tal que el circuito presente oscilaciones a la salida. Escribir dichos valores en una tabla y enumerar posibles teorías de porque ocurre este fenómeno. (Ayuda: Utilizar valores de C_1 "chicos" y valores de R_2 "grandes").
- Comparar y contrastar todos los resultados obtenidos con modelos teóricos y de simulación apropiados.

3 Medición de Bias (R solo LF356)

Objetivos de este ejercicio:

- Aprender a modelar circuitos.
- Comprender la teoría de realimentación.
- Desarrollar capacidad de abstracción.

Al elegir un amplificador operacional, es importante conocer su tensión de offset y sus corrientes de polarización para poder estimar sus efectos en la salida del circuito. Desconocer estos fenómenos puede dar lugar a errores de diseño que hagan que el amplificador operacional no funcione correctamente, afectando seriamente a la aplicación deseada. En la Fig. 3 se observa un circuito de medición de corrientes de bias. (Este circuito debe realizarse en PCB para realizar de manera correcta las mediciones).

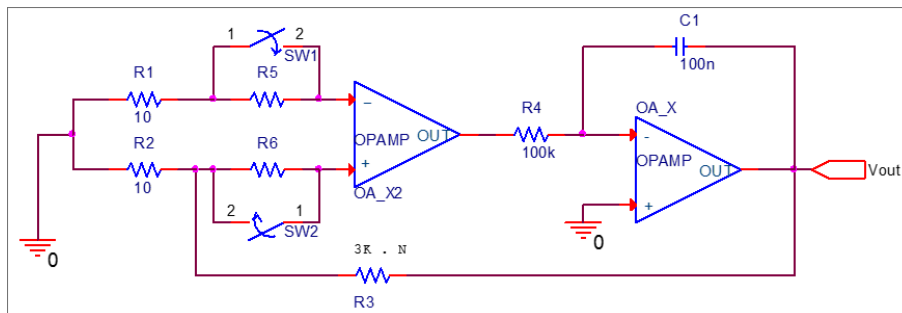


Figure 3: Circuito de medición de corrientes de offset.

R_3
$3 \cdot N \text{ k}\Omega$

Table 3: Valores de Resistencias

Considere el circuito de la figura 3, utilizando amplificadores operacionales *LF356* y *TL081*:

- Explicar el funcionamiento del circuito, la función de OA_X, y determinar el modo más conveniente de medir las corrientes de bias.
 - ¿Se puede afirmar que la configuración utilizada es estable? Justifique.
 - ¿Qué sucede si se invierten las entradas de uno de los amplificadores operacionales? ¿Qué sucede si se invierten las entradas de ambos? ¿Alguna de estas configuraciones presenta una ventaja sobre aquella presentada en el ejercicio?
 - ¿Cuál es el amplificador operacional que está siendo medido?
- Medir la tensión de entrada de offset en función de la tensión de salida con S_1 y S_2 cerrados, con su respectiva propagación de errores.
 - ¿Qué rango de valores es apropiado para C_1 ? ¿Afecta en algo utilizar un valor de C_1 "chico" respecto de uno "grande"?
- Medir las corrientes de offset (polarización) conmutando adecuadamente S_1 y S_2 , y escogiendo valores adecuados para R_5 y R_6 .
- Cotejar resultados con las hojas de datos y analizar el error.
- Investigar un circuito de compensación externo que funcione con ese operacional en configuración inversora.

4 Circuitos Integradores y Derivadores (R - Integrador)

Objetivos de este ejercicio:

- Realizar un circuito integrador y derivador.
- Conocer limitaciones reales de dichos circuitos y describirlas.
- Aprender a implementar una función dada, con un circuito electrónico, identificando bajo que condiciones se comporta de manera ideal.

Avanzando en el conocimiento de los amplificadores operacionales, se presentan dos típicos circuitos de primer orden, que presentan la característica de ser su salida tanto la integral como la derivada de la señal de entrada.

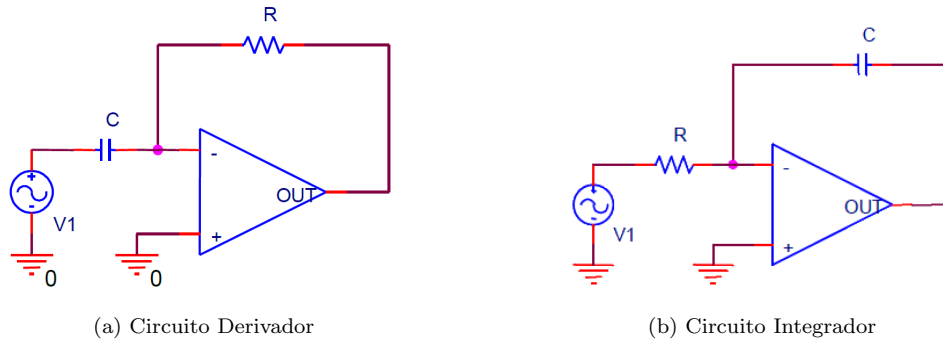


Figure 4: Circuitos Derivador e Integrador

R	C
$5 \cdot N^{1.5} \text{ k}\Omega$	$(20/N^{1.5}) \text{ nF}$

Table 4: Valores de Resistencias

Empleando amplificadores operacionales *LM833* y los valores de resistencias mostrados en la tabla 4, se pide para cada uno de los circuitos mostrados:

- Calcular y graficar V_{out}/V_{in} considerando idealidad, A_{vol} finito y $A_{vol}(\omega)$ con polo dominante.
- Medir la respuesta en frecuencia del circuito, definiendo un criterio adecuado para determinar los extremos del rango de medición.
- Medir la respuesta del circuito ante señales no senoidales. Exhibir imágenes que convaliden el comportamiento integrador y derivador, según corresponda.
- Medir la impedancia de entrada vista por el generador en función de la frecuencia.
- Contrastar estimaciones teóricas, simulaciones y mediciones, poniendo en evidencia las singularidades.
 - ¿Qué comportamiento presenta cada circuito?
 - ¿Cuales son las limitaciones que presenta cada circuito en alta y baja frecuencia?

Agregar una resistencia de compensación en serie o paralelo al capacitor (debiendo determinarse **y justificarse apropiadamente** qué caso corresponde para cada circuito), eligiendo su valor de tal forma que el sistema integre o derive hasta la máxima frecuencia posible, con un margen de error en la fase ≤ 3 grados. Se espera además que el sistema no presente sobrepicos en su transferencia. En caso de no ser realizable este diseño, detallar el motivo.

- Repetir todas las mediciones con los circuitos compensados y extraer conclusiones.
 - ¿Qué beneficios aporta el utilizar una resistencia de compensación?
 - ¿A qué puede deberse el posible sobrepico en la transferencia del circuito?

Nota: En todas las mediciones realizadas, se pide aplicar los siguientes criterios:

- a. Utilizar la máxima amplitud según la frecuencia a la cual la señal de salida no sufre distorsiones.
- b. Contrastar todas las mediciones con sus respectivas simulaciones y modelos teóricos.

5 Distorsión

Objetivos de este ejercicio:

- Implementar un circuito con un amplificador operacional.
- Probar su funcionamiento.

Se presenta en la siguiente figura el diseño de un pedal de distorsión para guitarra eléctrica.

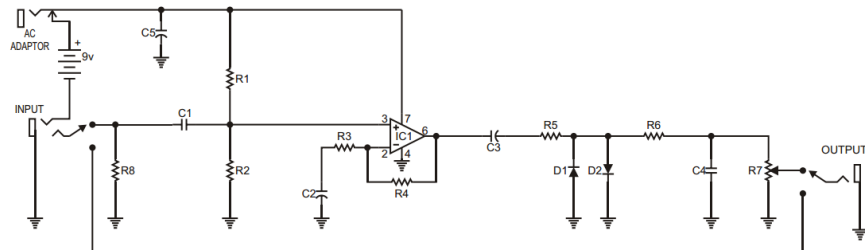


Figure 5: Pedal de distorsión.

La tarea consistirá en tomar el diseño presentado y asignar los valores de componentes que se crean necesarios, siguiendo las siguientes consideraciones:

- La tensión de salida **no deberá poseer continúa** y ser adecuada para la señal de entrada de un parlante.
- Incluir conector de audio mono a la entrada y salida.
- Puede agregar o quitar algún componente si lo justifica debidamente.
- La alimentación deberá ser de +9V no partida.
- Se debe diseñar para el rango de frecuencias de audio.
- Se deberá entregar el circuito en placa impresa o multiperforada.
- Incluir en algún punto del circuito la posibilidad de inyectar señales emulando la salida de una guitarra.

Se deberá especificar en el informe:

- a. El diseño del circuito utilizado y todos los valores de componentes, debidamente justificados.
 - b. La caracterización de todo el sistema, especificando rangos operativos.
 - c. La elección de amplificadores operacionales utilizados con su debida justificación.
 - d. Influencia de las corrientes de bias del amplificador operacional.
 - e. Tensión de polarización del amplificador operacional.
 - f. Funcionamiento de los diodos.
- Simulaciones del circuito y sus etapas.
- a. Respuesta en frecuencia del circuito a partir de las señales inyectadas. Análisis de efectos alineales buscados.
 - b. (Opcional) Grabar la salida generada al inyectar el sonido de una guitarra.

6 Circuito de Aplicación (R)

Objetivos de este ejercicio:

- Aprender a diseñar circuitos electrónicos.
- Realizar una adaptación de señal.
- Verificar

El *LM35* es un circuito integrado cuya tensión de salida varía linealmente con la temperatura. Se desea que la señal pueda ser adquirida por un sistema con (por ejemplo, un conversor analógico/digital) con tensión de entrada variable entre $0V$ y $5V$.

- a. Diseñar un circuito utilizando el *LM35* que adapte la señal para que pueda ser adquirida con máxima excursión para temperaturas que varíen entre $35^{\circ}C$ y $45^{\circ}C$ ($35^{\circ}C \rightarrow 0V - 45^{\circ}C \rightarrow 5V$).
- b. Implementar el circuito en placa multiperforada o PCB.
- c. Diseñar un método de calibración del circuito para que se cumpla la especificación.
- d. El circuito debe contar con una protección de forma tal de que la tensión de salida no se encuentre por debajo de $-1V$ ni por encima de $6V$.
- e. Incluir en el informe un datasheet de la implementación final, incluyendo toda la información relevante.