

# Amplificadores Operacionales I

- Guía 1 -

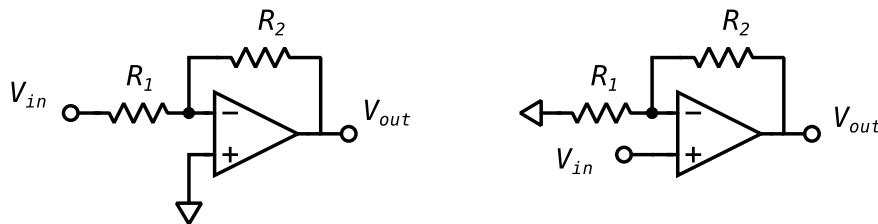
Laboratorio de Electrónica – Departamento de Física – FCEyN – UBA

Cátedra: Schmiegelow

## Características ideales: tensiones continuas

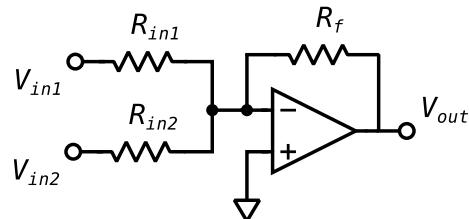
1. **Amplificadores inversor y no inversor.** Consideren los amplificadores operacionales en configuración amplificador inversor/no-inversor, como se indica en la figura.

- Calculen su función de transferencia en cada caso.
- ¿Qué impedancia de entrada tiene idealmente cada circuito?
- Discutan por qué no tiene sentido definir una impedancia de salida y cómo otros parámetros (corriente máxima, potencia máxima, *output swing* o *dropout voltage*) de un amplificador operacional puede tener más sentido utilizar para describir su salida. Busquen esta información para los amplificadores LM358, TL08x y el OP27.



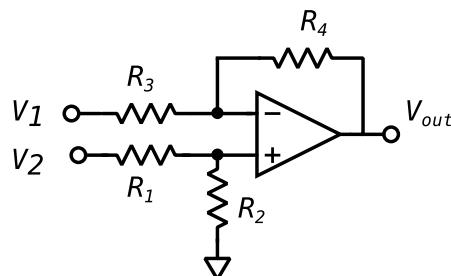
2. **Sumador.** Consideren el amplificador sumador de la figura.

- Calculen su función de transferencia. (Ayuda: Discutan por qué y bajo qué límite vale el principio de superposición. Miren los circuitos anteriores y ayúdense de ellos para resolver este problema)
- ¿Qué impedancia de entrada tiene cada terminal?



3. **Restador.** Consideren el amplificador de diferencia de la figura.

- Calculen su función de transferencia.
- Para estudiar este tipo de amplificadores, es conveniente analizarlos mediante un cambio adecuado de variables. Una base típica se construye con las tensiones diferencial y de modo común:  $V_{diff} = V_2 - V_1$ , y  $V_{CM} = (V_2 + V_1)/2$ . Reescriban la función de transferencia usando estas variables e identifiquen las ganancias correspondientes  $G_{diff}$  y  $G_{CM}$
- ¿Cómo elegirían las resistencias para que este circuito haga la resta exacta de las dos señales ( $V_{out} = V_1 - V_2$ )? Discutan no solo qué relación de valores tienen que tener las resistencias sino también qué valor absoluto conviene usar y por qué.

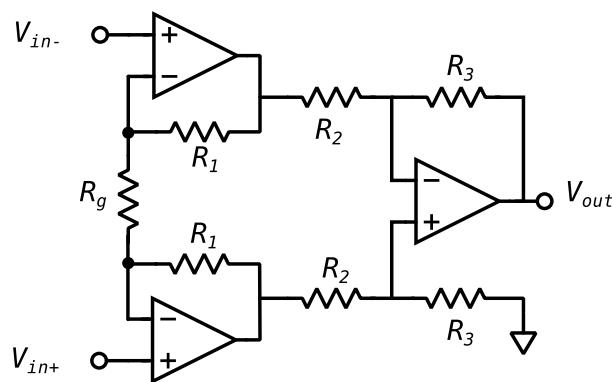


4. **CASO: Amplificador de Instrumentación.** Tiene una ganancia de modo común nula  $G_{CM} = 0$  y alta ganancia diferencial  $G_{diff}$ . Este tipo de amplificadores puede ser construido con tres OpAmps como se indica en la figura.

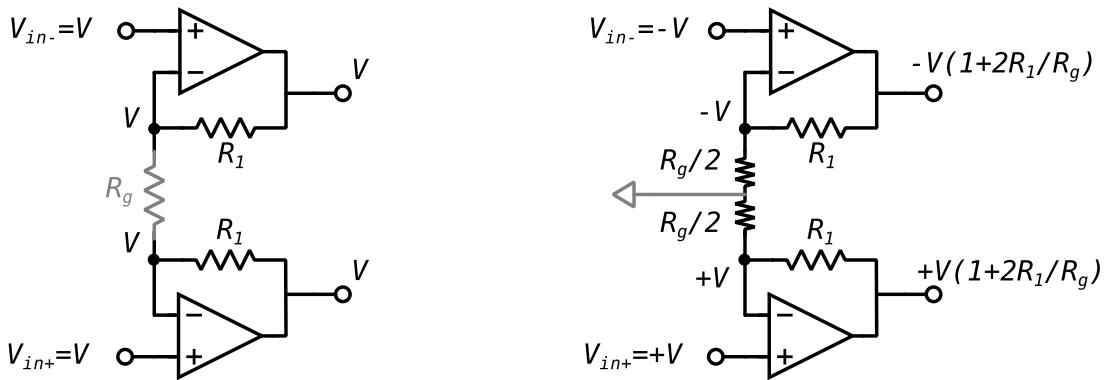
- Muestren que la ganancia diferencial total del este circuito es (ver Ayuda)

$$G_{diff} = \left(1 + 2\frac{R_1}{R_g}\right) \frac{R_3}{R_2}$$

- Comparen el CMRR de un amplificador de instrumentación con el amplificador de diferencias sencillo construido con un único OpAmp.



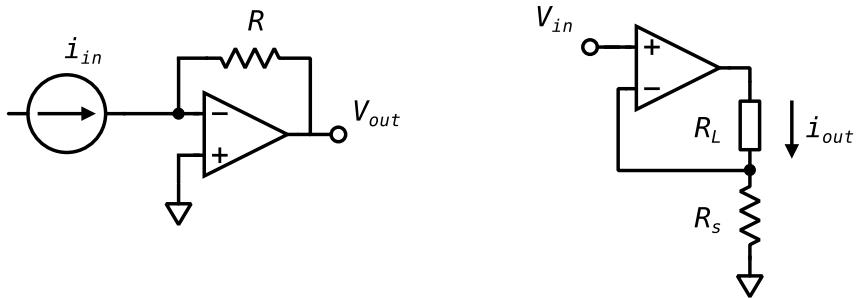
**AYUDA:** Utilicen las tensiones de entrada en la base diferencial y de modo común. Cuando  $V_{diff} = 0$  no fluye corriente por la resistencia  $R_g$ . Por esta razón los dos primeros operacionales funcionan cada uno como un seguidor, con ganancia 1. Cuando  $V_{CM} = 0$ , se pueden pensar como dos amplificadores no inversores con una tierra virtual en la mitad de la resistencia  $R_g$ . De este modo, cada amplificador tiene una ganancia  $1 + 2R_1/R_g$ .



**EXTRA 1:** Noten que esta configuración tiene una ganancia diferencial que se puede variar cambiando una única resistencia, tiene una impedancia de entrada muy alta, y un CMRR muy alto.

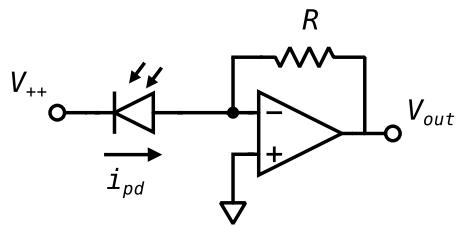
**EXTRA 2:** Este tipo de amplificadores es útil para aplicaciones científicas y de medición. Hay circuitos integrados específicos que implementan esta configuración, como el AD620, INA128, LT1167, AD8221 y MAX4195 sin la necesidad de usar tres OpAmps y tener que elegir las resistencias con cuidado. ¡En casi todos esos casos las resistencias se ajustan en fábrica utilizando corte láser!

- 5. Transimpedancia/Transconductancia.** Los siguientes circuitos convierten corriente a tensión y viceversa. Estúdienlos y convénzanse de que así es y determinen el factor de conversión. Investiguen: ¿para qué tipo de aplicaciones pueden servir estos circuitos?



- 6. CASO: Amplificador de fotodiodo.** Un amplificador de transimpedancia puede utilizarse para la lectura de intensidad de luz en un fotodiodo. Los fotodiodos poseen la siguiente característica: si se los polariza en inversa la corriente que circula es proporcional a la intensidad de luz que llega al fotodiodo. Un amplificador de transimpedancia, como se indica en la siguiente figura, convertirá esta corriente en una tensión proporcional. Consideren el alguno de los siguientes fotodiodos tipo PIN: FDS100, BPX65, BWP34, SFH203 ...

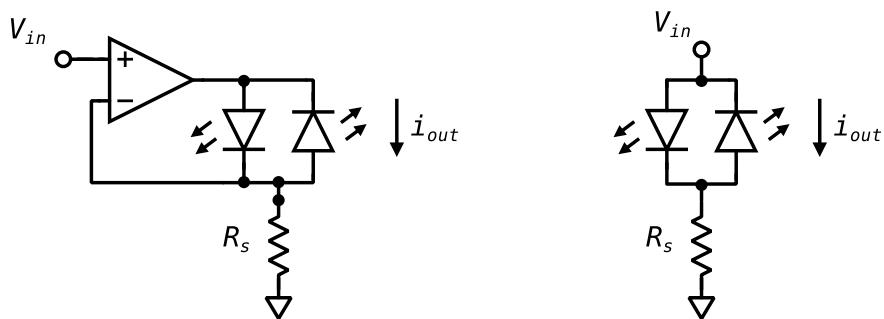
- ¿Qué intensidad de corriente esperan si de los ilumina con 10  $\mu\text{W}$  de luz en 750 nm? ¿y en oscuridad? Discutan sobre la respuesta espectral del fotodiodo que eligieron.
- ¿Qué valor de resistencia  $R$  elegirían para el amplificador si quisieran una salida de 5 V de amplitud para una intensidad de luz como en el inciso anterior?



**7. CASO: LED driver.** Consideren los dos circuitos de transconductancia de la siguiente figura. En un LED la intensidad de luz emitida es aproximadamente proporcional a la corriente que circula a través.

- Analicen cómo es la respuesta de cada circuito para diferentes tensiones de entrada. Esbozen un gráfico de la intensidad de luz emitida en función de la tensión de entrada  $V_{in}$  para ambos casos.
- Un LED común de baja potencia suele tener una corriente máxima de operación de 30 mA y una tensión de umbral un poco menor a 2 V. ¿Cómo elegirían la resistencia  $R_s$  para que se encienda a su máximo brillo con una tensión de control  $V_{in}=5$  V?

NOTA: Los LEDs más modernos, que suelen llamarse de alta eficiencia, pueden tener tensiones umbrales más altas (de hasta 5 V) y soportar corrientes mucho más altas también de hasta varios Ampers.



### Características no ideales (reales)

Los siguientes ejercicios están diseñados para aplicar los conceptos de los amplificadores operacionales reales. A diferencia de un modelo ideal, en estos problemas se deben considerar los efectos de los parámetros no ideales para obtener la respuesta correcta del circuito.

#### 8. Ganancia Finita y Efecto en la Ganancia de Lazo Cerrado

Un amplificador operacional tiene una ganancia de lazo abierto ( $A_{OL}$ ) de  $2 \times 10^5$ . Se configura como un amplificador no inversor con una ganancia de lazo cerrado deseada de 10.

- Calcule la ganancia de lazo cerrado real ( $A_{CL}$ ) del circuito.
- Compare este resultado con la ganancia ideal. ¿Cuál es el error porcentual?
- Si el  $A_{OL}$  del amplificador se reduce a  $5 \times 10^4$ , ¿cómo cambia el error porcentual? Analice las implicaciones de trabajar con una ganancia de lazo abierto más baja.

#### 9. Slew-Rate y Distorsión de Señal

El fabricante de un amplificador operacional indica que su Slew-Rate (SR) es de  $1 \text{ V}/\mu\text{s}$ . Se utiliza en un circuito con ganancia unitaria y la señal de entrada es una onda senoidal de amplitud  $10 \text{ V}_{\text{pico}}$ .

- a) Calcule la frecuencia máxima ( $f_{max}$ ) a la que la salida no presenta distorsión por Slew-Rate.
- b) Si se intenta amplificar una señal de 20 kHz con la misma amplitud, ¿qué distorsión se espera en la salida? Explique por qué.
- c) Proponga dos soluciones para evitar la distorsión sin cambiar la frecuencia de la señal.

#### 10. Voltaje de Offset y Error de Salida

Se utiliza un amplificador operacional con un voltaje de offset de entrada ( $V_{io}$ ) de 5 mV en un amplificador inversor con una ganancia de  $-100$ . La alimentación es  $\pm 15$  V.

- a) Calcule el voltaje de offset de salida ( $V_{oo}$ ).
- b) Determine cómo afecta este offset a una onda senoidal de entrada de  $20 \text{ mV}_{\text{pico}}$ . Calcule el valor máximo y mínimo de la salida.
- c) Proponga un método para compensar este voltaje de offset.

#### 11. Slew-Rate en un Seguidor de Voltaje

Un amplificador operacional se utiliza como seguidor de voltaje. La señal de entrada es una onda senoidal de  $10 \text{ V}_{\text{pp}}$  a 20 kHz. El operacional tiene un Slew-Rate de  $0,5 \text{ V}/\mu\text{s}$ .

- a) ¿La salida podrá seguir a la entrada sin distorsión?
- b) Justifique la respuesta calculando el Slew-Rate mínimo requerido.

#### 12. Offset de Entrada en un Amplificador No Inversor

Un amplificador operacional con voltaje de offset típico de 2 mV se configura como amplificador no inversor con una ganancia de 50. Calcule el voltaje de salida debido al offset.

- 13. CASO: Sample-and-hold.** Consideren el circuito de siguiente figura llamado *sample-and-hold*. Cuándo se acciona la llave el capacitor se carga al valor correspondiente a la tensión de entrada y la salida sigue a la entrada, este es el momento *sample* (muestreo). Al desactivar la llave el capacitor queda cargado porque el amplificador operacional tiene idealmente una impedancia de entrada infinita. A la salida se comporta como una fuente tensión con impedancia baja que copia el valor del capacitor, lo “sostine” (*hold*).

Consideren que el amplificador operacional no es ideal.

- a) ¿Qué característica no ideal es la determinante para este circuito? Busquen cuánto valen los números que caracterizan estas imperfecciones para los amplificadores operacionales LM358, TL08x.
- b) Si utilizamos el amplificador TL08x y una capacidad de  $1 \mu\text{F}$ . En modo *hold*, ¿cuánto tarda en descargarse el capacitor a la mitad de su tensión?

NOTA: Este circuito está muy relacionado con el circuito de detección de picos. Ambos suelen ser una primera etapa antes de un conversor analógico digital. Piensen porqué necesitaría uno tal etapa y que cambia en cada caso. También, revisen su osciloscopio y vean si encuentran cómo usar uno u otro de estos circuitos de entrada para la señal.

NOTA: Este circuito es tan usado que suelen venir integrados con todas las componentes: seguidor, interruptor de estado sólido y etapa *sample-and-hold*. Algunos integrados típicos son el LF398 y el AD783. Busquen sus hojas de datos y entiendan sus diferencias.

