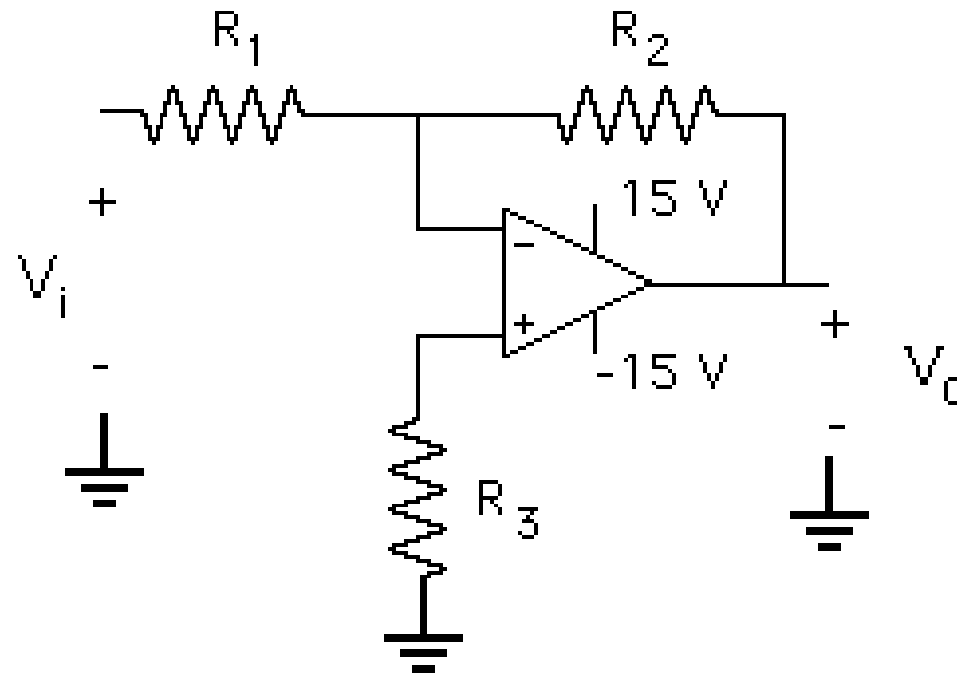


**EC1281 LABORATORIO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS
PRELABORATORIO N° 7**

PRÁCTICA N° 9

**MEDICIONES SOBRE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS
CIRCUITOS BÁSICOS DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL**



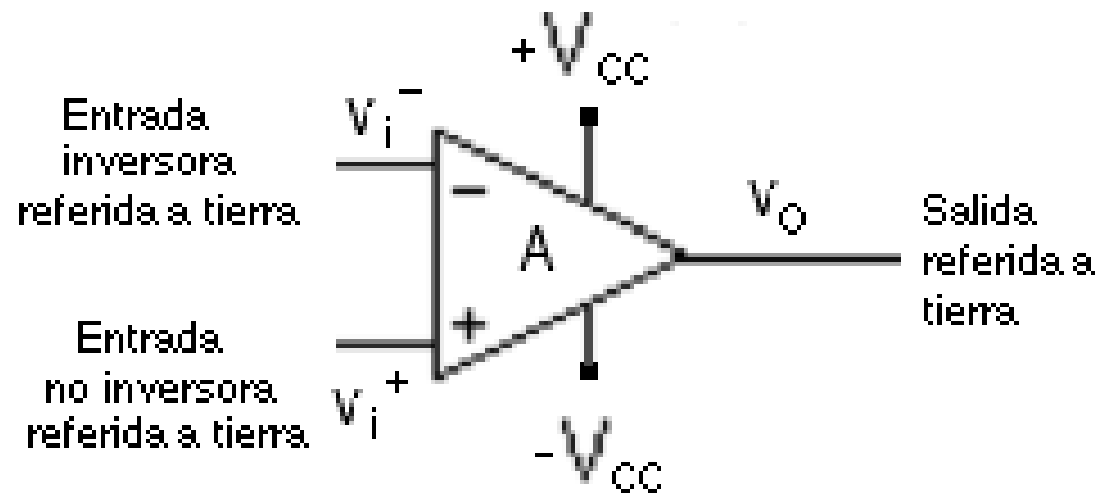
Configuración del amplificador inversor

CARACTERÍSTICAS DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL

Ganancia infinita $A = \infty$

Impedancia de entrada infinita $R_i = \infty$

Impedancia de salida cero $R_o = 0$



$$V_o = A (V_i^+ - V_i^-)$$

AMPLIFICADOR INVERSOR BÁSICO CON EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL

$$V_o = A(v_i^+ - v_i^-)$$

Realimentación negativa

Con $A = \infty$, el voltaje de salida distinto de cero implica $v_i^+ = v_i^-$

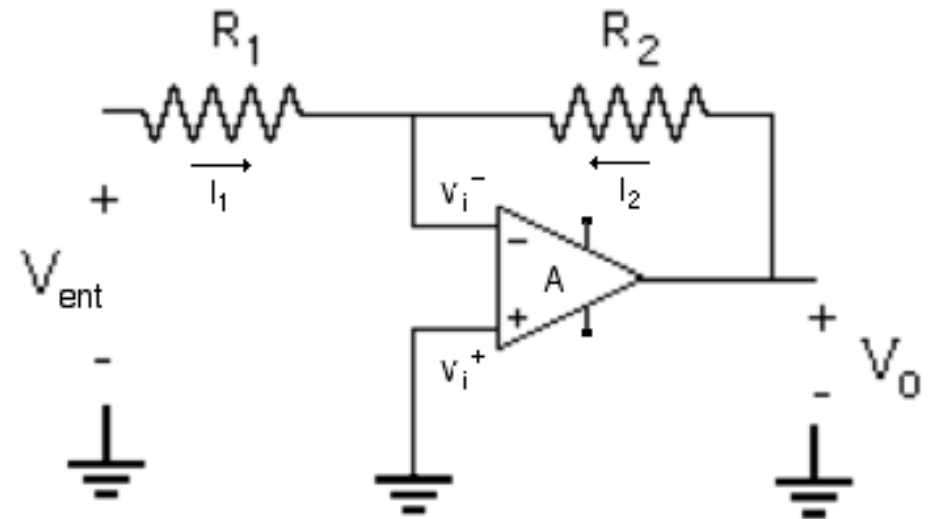
En este caso $v_i^+ = v_i^- = 0$

Entonces: $V_{ent} = R_1 I_1$ y $V_o = R_2 I_2$

Si la impedancia de entrada es ∞ se cumple $I_1 = -I_2$

Por lo tanto se cumple que $\frac{V_{ent}}{R_1} = -\frac{V_o}{R_2}$

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_{ent}$$



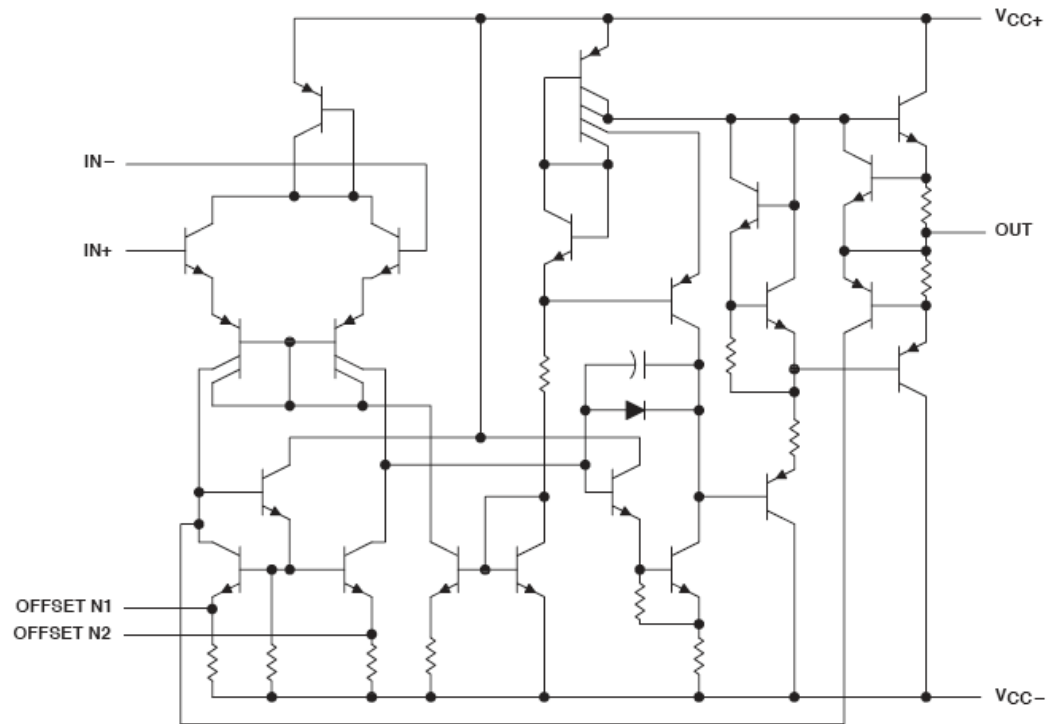
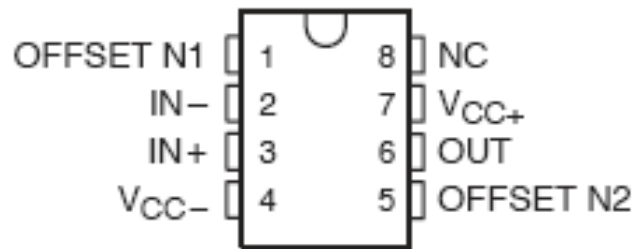
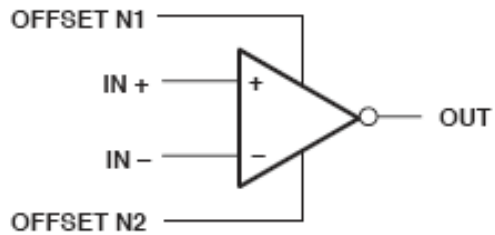
ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LOS AMPLIFICADORES OPERACIONALES REALES (UA741)

- * La ganancia A no es infinita, pero es muy grande (del orden de 10^5 o superior).
- * La impedancia de entrada no es infinita, pero es elevada ($1\text{M}\Omega$ o más).
- * La resistencia de salida no es cero, pero es pequeña (pocos ohmios).
- * Las fuentes de voltaje de alimentación ($\pm 15\text{V}$) definen el rango de operación del amplificador y la salida no puede alcanzar el valor de la fuente (para las fuentes de $\pm 15\text{V}$ las salidas máximas están alrededor de $\pm 14\text{V}$).
- * Las entradas no son perfectamente simétricas, las corrientes en ambas entradas no son exactamente iguales. Esta es la razón para utilizar la resistencia de R_3 en la entrada no inversora ($R_3 = R_1 \parallel R_2$) a fin de ayudar a balancear las corrientes de entrada.
- * Presentan un ancho de banda finito.

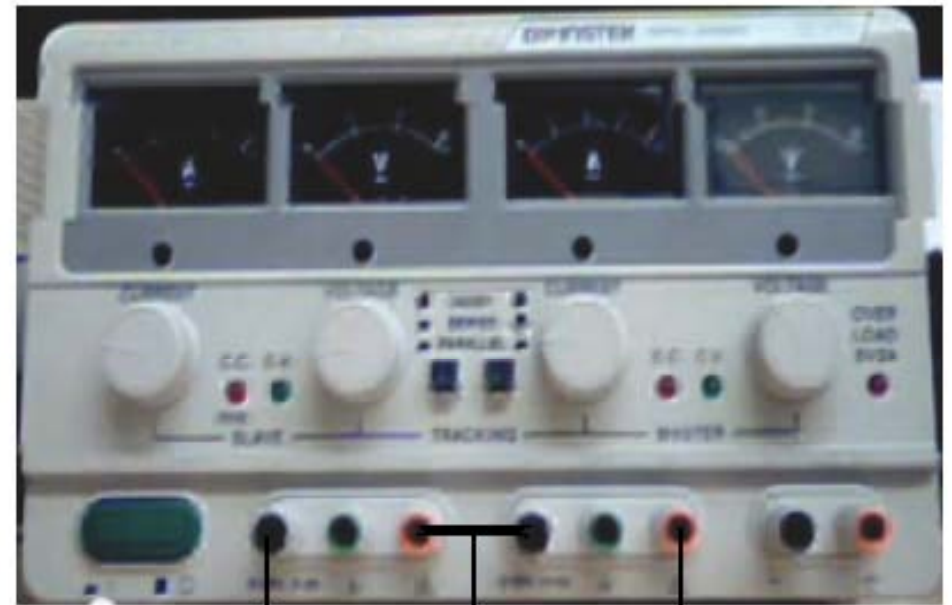
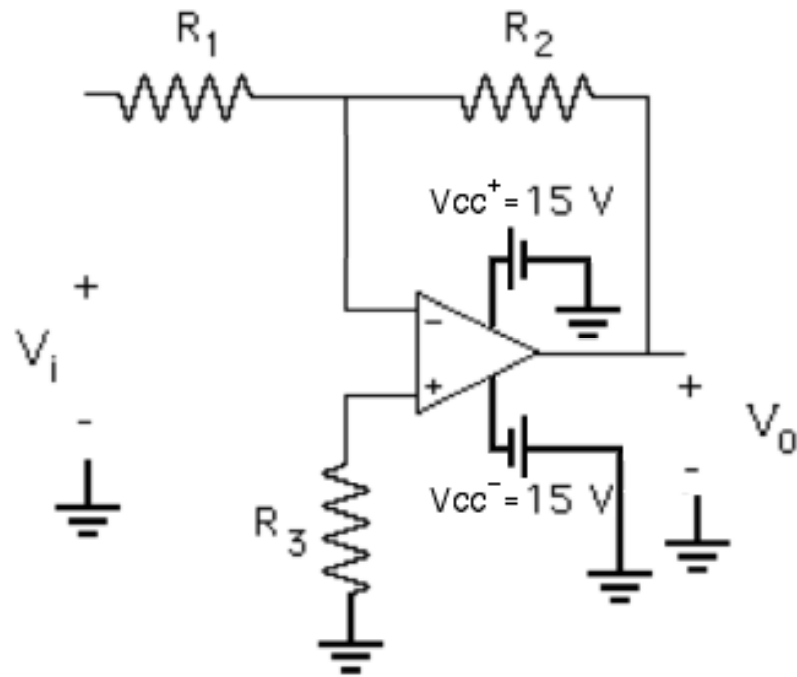
CARACTERISTICAS DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL 741

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

	μA741C	μA741I	μA741M	UNIT
Supply voltage, V_{CC+} (see Note 1)	18	22	22	V
Supply voltage, V_{CC-} (see Note 1)	-18	-22	-22	V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2)	±15	±30	±30	V
Input voltage, V_I any input (see Notes 1 and 3)	±15	±15	±15	V
Voltage between offset null (either OFFSET N1 or OFFSET N2) and V_{CC-}	±15	±0.5	±0.5	V
Duration of output short circuit (see Note 4)	unlimited	unlimited	unlimited	



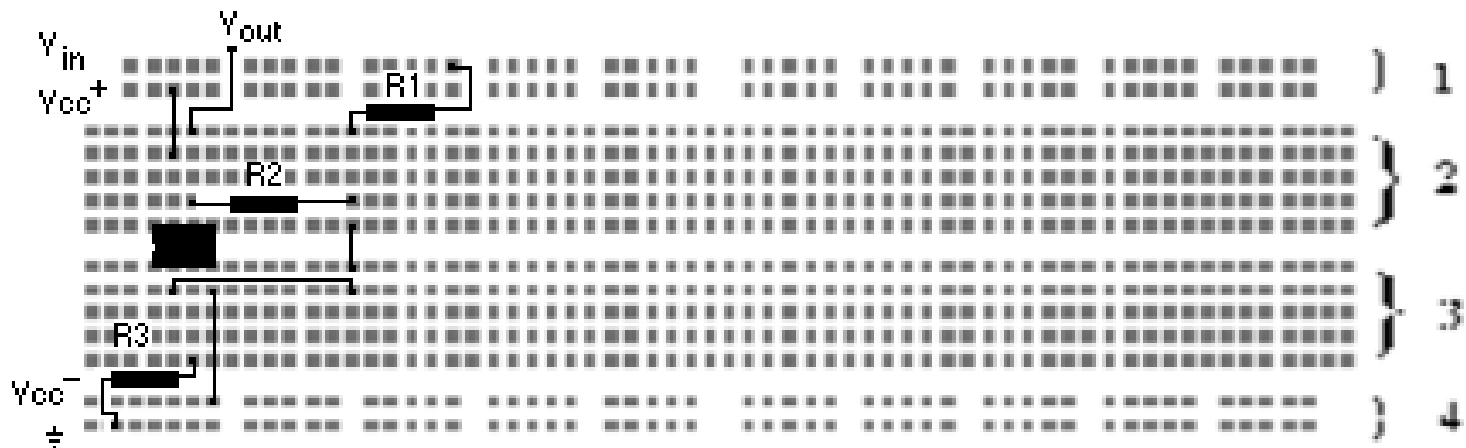
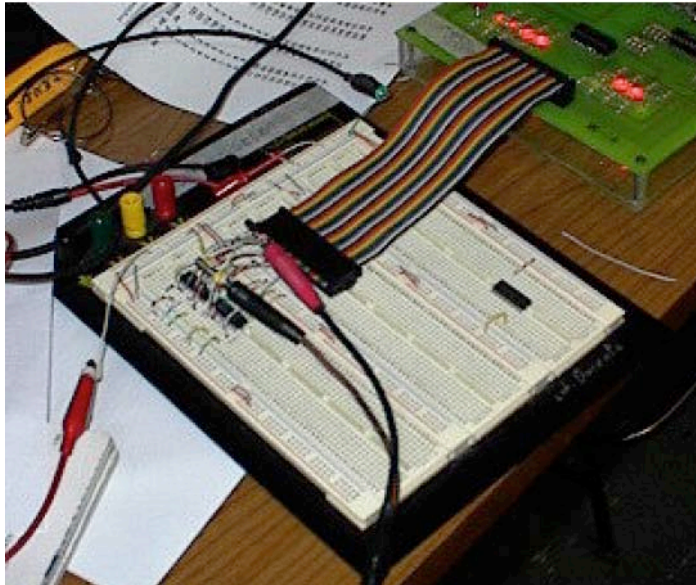
LAS FUENTES DE VOLTAJE PARA UN OPAM



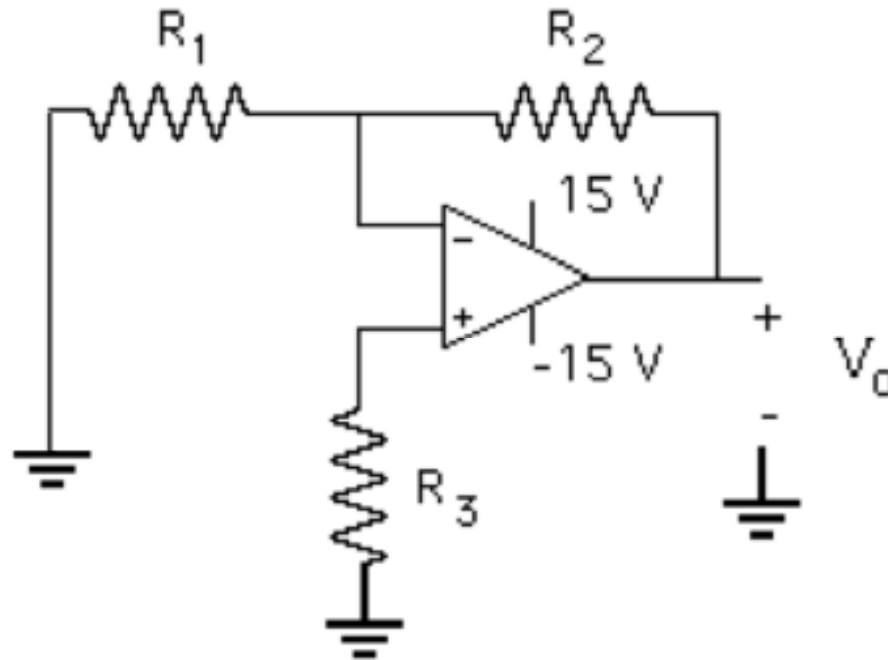
V_{cc}^-

V_{cc}^+

MONTAJE DEL OPAM EN EL PROTOBOARD



COMPROBACIÓN INICIAL DEL OPAM



Si el OPAM opera correctamente, el voltaje de salida será de pocos mV (es lo que se llama **voltaje de offset**).

Si el OPAM está dañado, el voltaje de salida será el voltaje de saturación positivo o negativo.

MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR INVERSOR

* **Ganancia DC:** Relación entre el voltaje de salida y el voltaje de entrada del amplificador inversor cuando se aplican voltajes DC a la entrada. Al hacer la gráfica se van a diferenciar dos zonas:

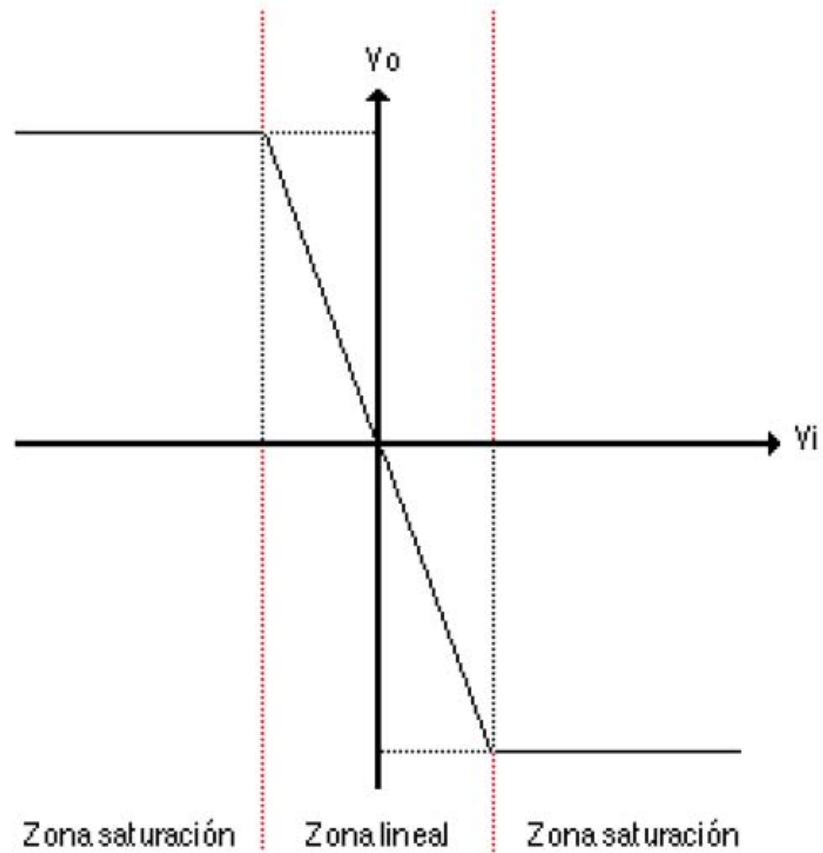
La zona de **respuesta lineal**

La zona de **saturación**

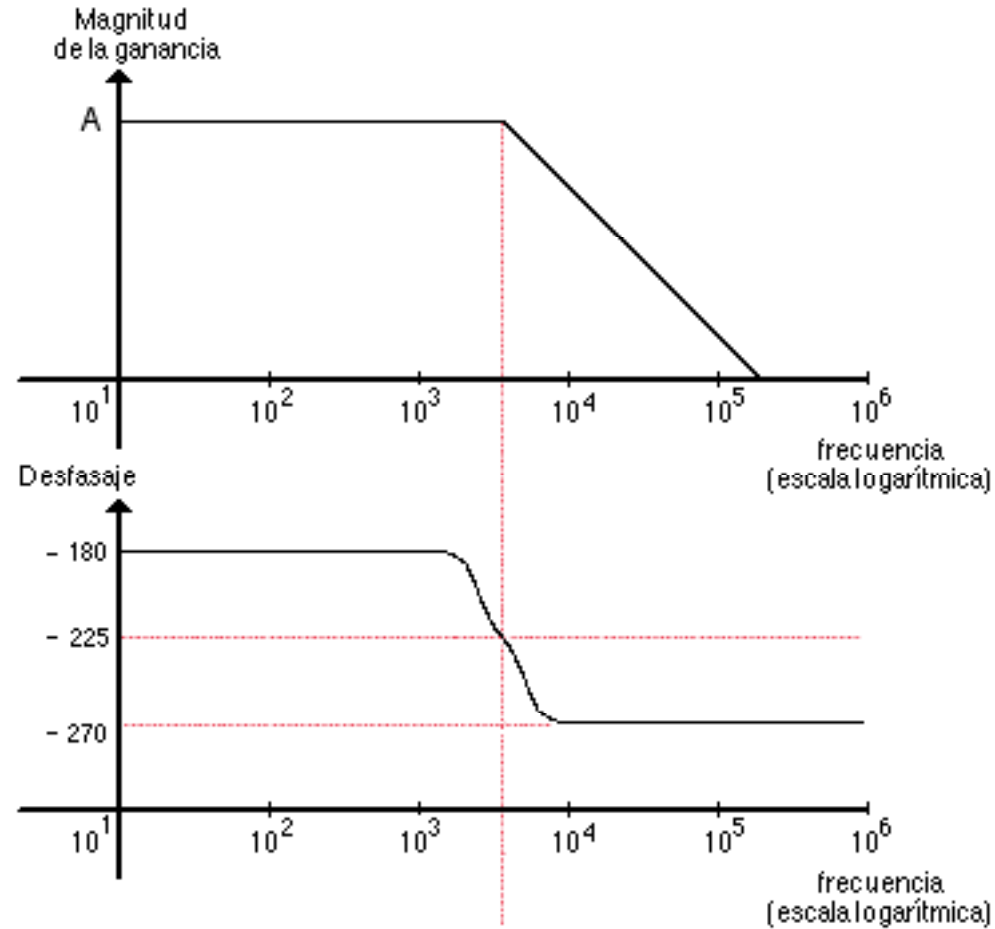
* **Ganancia AC para obtener el ancho de banda:** Relación entre el voltaje de salida y el voltaje de entrada del amplificador inversor cuando se aplican voltajes sinusoidales de amplitud constante sobre un amplio rango de frecuencias para obtener el gráfico de la respuesta en frecuencia y calcular el ancho de banda.

* **Desfasaje entre V_i y V_o en función de la frecuencia:** Ángulo de desfasaje entre la señal de entrada y la de salida medido utilizando la calibración del eje horizontal, sobre un amplio rango de frecuencias.

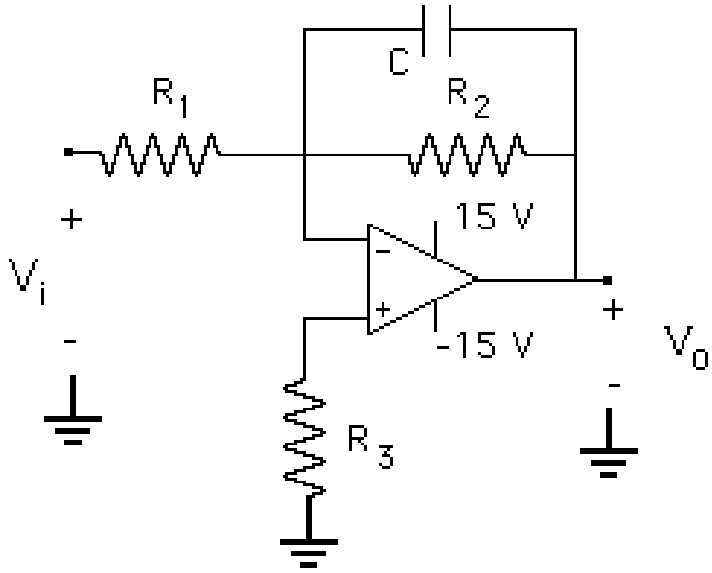
CARACTERÍSTICA ENTRADA SALIDA EN DC



RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL AMPLIFICADOR INVERSOR: GANANCIA AC Y DESFASAJE



ANALISIS DEL FILTRO PASA BAJO ACTIVO



$$Z_r = \frac{\frac{R_2}{j\omega C}}{R_2 + \left(\frac{1}{j\omega C}\right)} \Rightarrow |Z_r| = \frac{\frac{R_2}{\omega C}}{\sqrt{R_2^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{1}{R_1} \frac{\frac{R_2}{\omega C}}{\sqrt{R_2^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

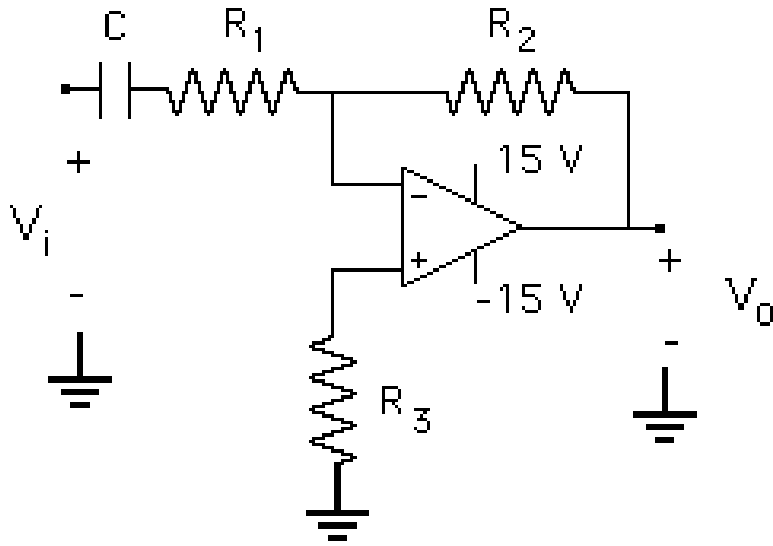
Frecuencia de corte:

$$R_2 = \frac{1}{\omega_c C} \Rightarrow \omega_c = \frac{1}{R_2 C} \Rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

Mediciones en el laboratorio:

Ganancia AC en un amplio rango de frecuencias para elaborar la gráfica de la respuesta en frecuencia y determinar la frecuencia de corte.

ANÁLISIS DEL FILTRO PASA ALTO ACTIVO



$$Z_i = R_1 + \frac{1}{j\omega C} \Rightarrow |Z_i| = \sqrt{R_1^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Frecuencia de corte:

$$R_1 = \frac{1}{\omega_c C} \Rightarrow \omega_c = \frac{1}{R_1 C} \Rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C}$$

Mediciones en el laboratorio:

Ganancia AC en un amplio rango de frecuencias para elaborar la gráfica de la respuesta en frecuencia y determinar la frecuencia de corte

SEGUIDOR DE VOLTAJE CON EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL

$$V_o = A(v_i^+ - v_i^-)$$

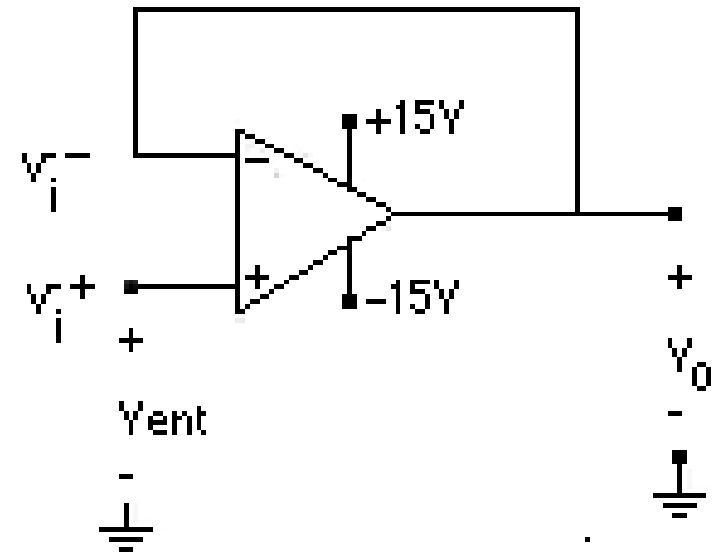
Realimentación negativa

Con $A = \infty$, el voltaje de salida distinto de cero implica $v_i^+ = v_i^-$

En este caso $v_i^+ = v_i^- = V_{ent}$

Entonces:

$$V_o = V_{ent}$$

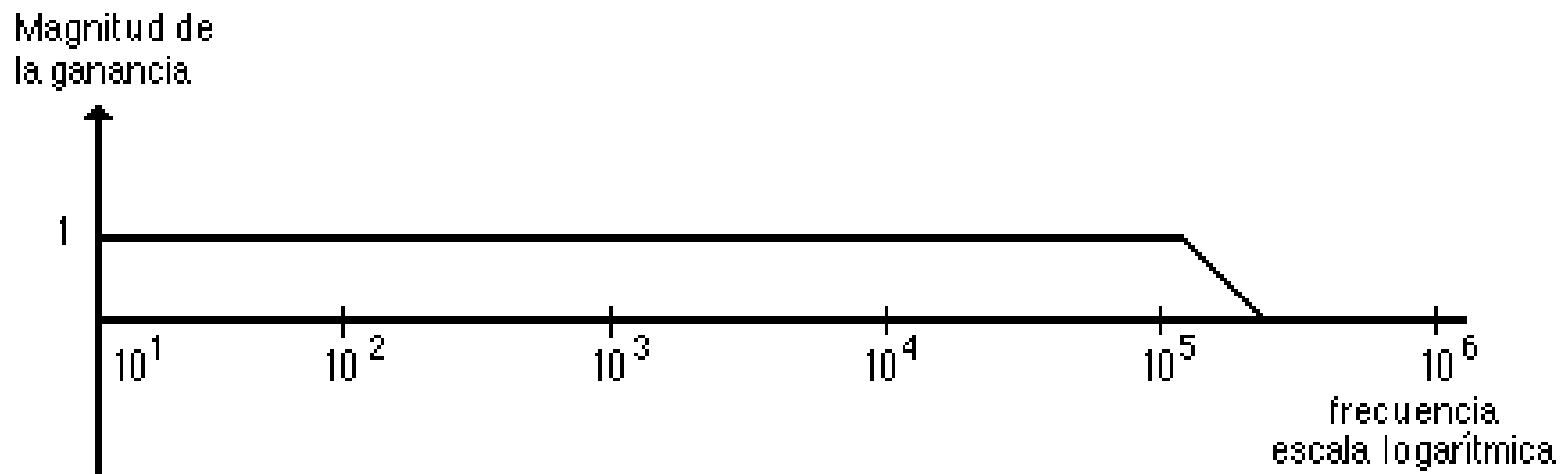


Característica importante: Impedancia de muy alta (teóricamente infinita)

MEDICIONES SOBRE EL SEGUIDOR DE VOLTAJE

* **Ganancia DC:** Relación entre el voltaje de salida y el voltaje de entrada del amplificador inversor cuando se aplican voltajes DC a la entrada. Al hacer la gráfica se van a diferenciar dos zonas: La zona de **respuesta lineal** y la zona de **saturación**.

* **Ganancia AC para obtener el ancho de banda:** Relación entre el voltaje de salida y el voltaje de entrada del amplificador inversor cuando se aplican voltajes sinusoidales de amplitud constante sobre un amplio rango de frecuencias para obtener el gráfico de la respuesta en frecuencia y calcular el ancho de banda.



VALORES DE LOS COMPONENTES

$$\mathbf{R_1 = 1\ K\Omega}$$

$$\mathbf{R_2 = 10\ K\Omega}$$

$$\mathbf{R_3 = 910\ \Omega}$$

$$\mathbf{C = 10\ nF\ (filtro\ pasa\ bajo)}$$

$$\mathbf{C = 100\ nF\ (filtro\ pasa\ alto)}$$

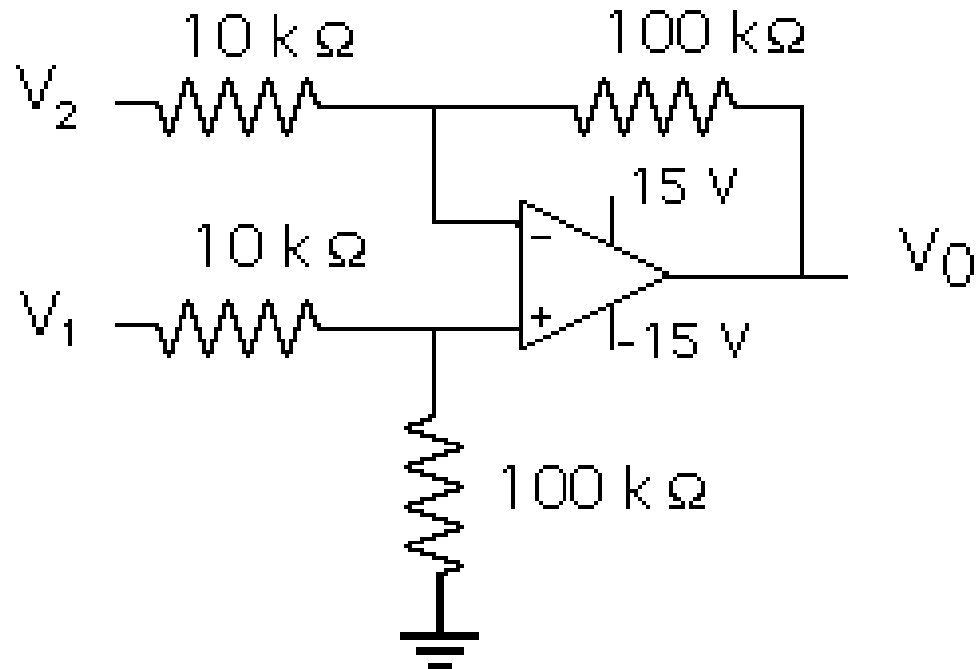
PARA LA SIMULACIÓN EN SPICE

$$\mathbf{V = 1\ V} \quad \mathbf{F = 1\ kHz}$$

CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9

Registro de componentes, montaje y prueba inicial del amplificador operacional en la configuración inversor	30 minutos
Mediciones para determinar la característica V_o vs. V_i en DC y las formas de onda AC para los valores dados	30 minutos
Obtención de datos para la respuesta en frecuencia del amplificador inversor (magnitud y fase)	40 minutos
Obtención de datos para la respuesta en frecuencia de la magnitud del filtro pasa bajo activo y pasa alto activo	30 minutos
Montaje y mediciones para determinar la característica V_o vs. V_i en DC y la respuesta en frecuencia de la magnitud del voltaje de salida del seguidor de voltaje	50 minutos

EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL



Amplificador diferencial básico
con indicación de los componentes que se van a usar

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO CON EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL

$$V_o = A(v_i^+ - v_i^-)$$

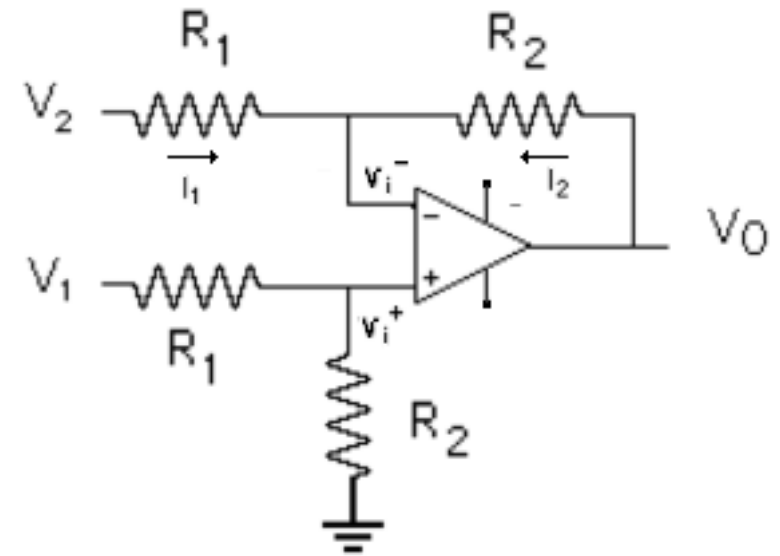
Realimentación negativa

Con $A = \infty$, el voltaje de salida distinto de cero implica $v_i^+ = v_i^- = v_i$

Entonces: $V_2 - v_i = R_1 I_1$ y $V_o - v_i = R_2 I_2$

Si la impedancia de entrada es ∞ se

cumple $I_1 = -I_2 \Rightarrow \frac{V_2 - v_i}{R_1} = -\frac{V_o - v_i}{R_2}$



$$v_i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1$$

Por lo tanto se cumple que $V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_1 - V_2)$ $A_d = \frac{R_2}{R_1}$

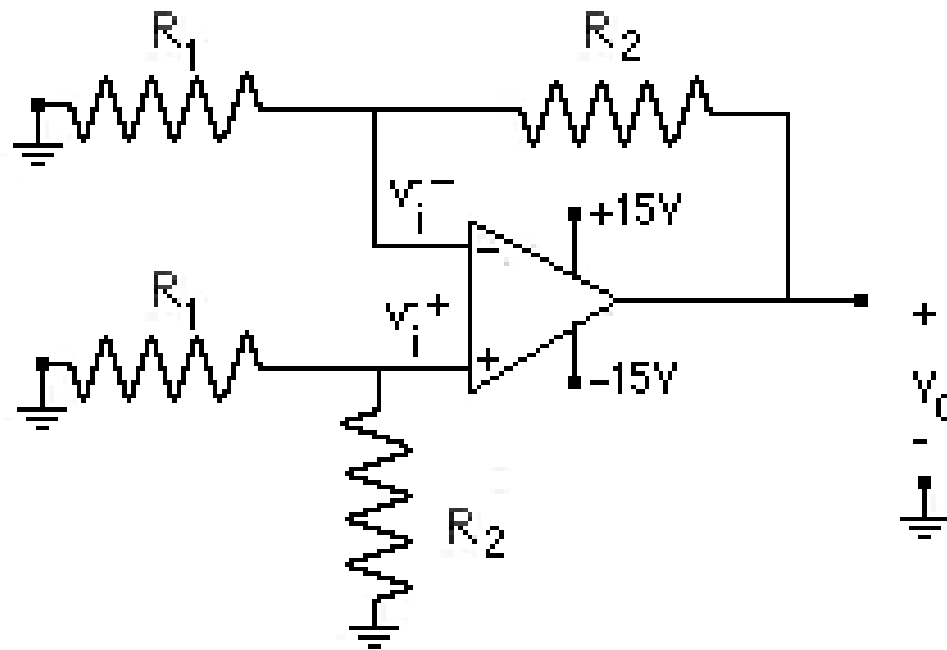
MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO

- * El voltaje de "offset".
- * La Relación de Rechazo en Modo Común (CMRR).
- * La impedancia de entrada de la entrada inversora con la entrada no inversora conectada a tierra.
- * La impedancia de entrada de la entrada no inversora con la entrada inversora conectada a tierra.
- * La impedancia de salida.
- * El voltaje de una de las entradas y el voltaje de la salida para diferentes combinaciones de voltajes DC y AC en las entradas.

VOLTAJE DE "OFFSET"

Es la diferencia de voltaje que debe aplicarse entre las dos entradas del amplificador para que la salida sea nula.

Para determinar experimentalmente el voltaje de "offset", se conectan las dos entradas a tierra, se mide el voltaje de salida y se divide entre la ganancia.



RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)

Es un parámetro que mide la calidad de un amplificador diferencial.

Se define como la relación $CMRR = 20 \log \frac{A_d}{A_{mc}}$

A_d : ganancia en modo diferencial obtenida experimentalmente

A_{cm} : ganancia cuando $V_1 = V_2$ (idealmente debe ser 0 V)

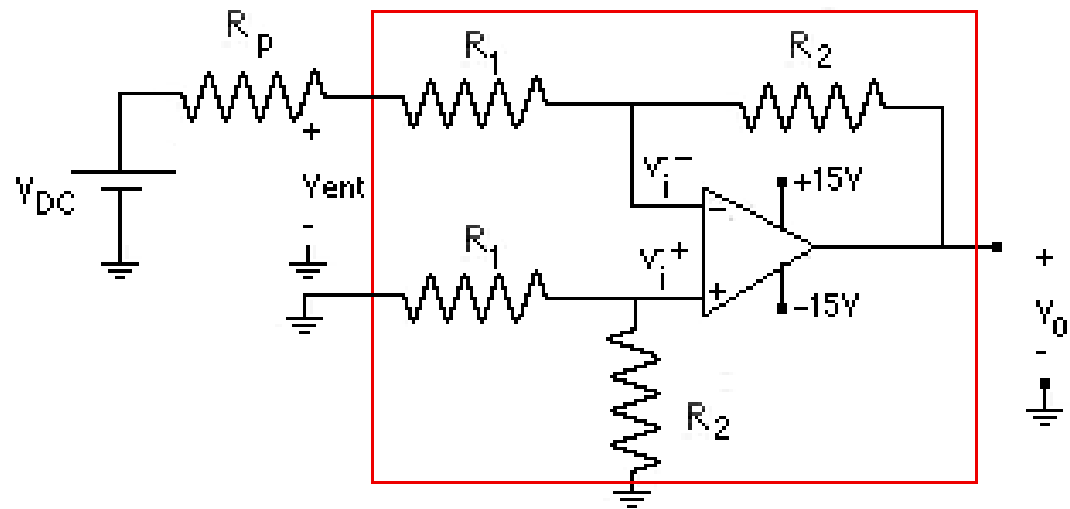
Por lo tanto $CMRR_{ideal} = \infty$

$CMRR_{real}$: 60 dB, 80 dB, 100 dB, Cuanto más alta mejor.

MEDICIÓN DE LA IMPEDANCIA EN LA ENTRADA INVERSORA CON LA ENTRADA NO INVERSORA CONECTADA A TIERRA

Análisis teórico:

$$R_{in} = R_1$$



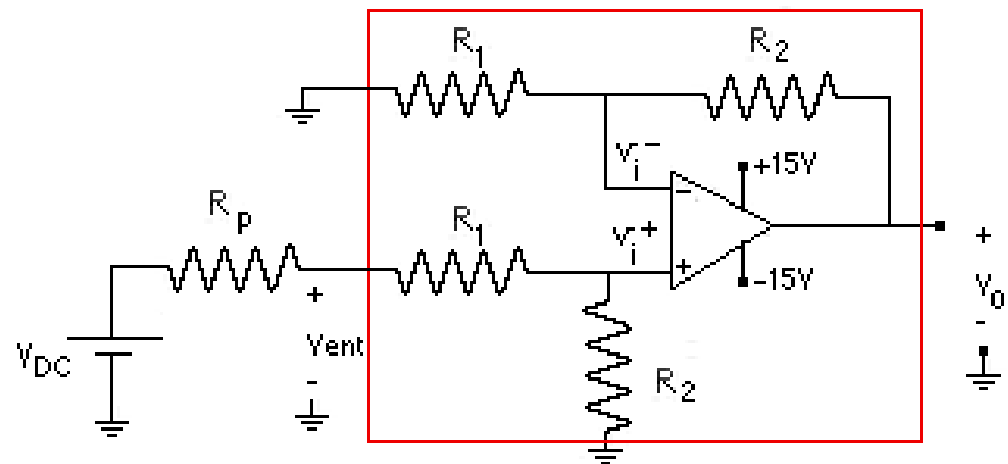
Se conecta R_p del orden de los $k\Omega$, habiendo determinado previamente su valor real con el ohmetro, y se ajusta V_{DC} para que la salida sea 5V.

Se mide el voltaje de entrada, la corriente de entrada en forma indirecta como el voltaje sobre R_p entre el valor real de la resistencia, y se calcula R_{in} .

MEDICIÓN DE LA IMPEDANCIA EN LA ENTRADA NO INVERSORA CON LA ENTRADA INVERSORA CONECTADA A TIERRA

Análisis teórico:

$$R_{in} = R_1 + R_2$$



Se conecta R_p del orden de los $k\Omega$, habiendo determinado previamente su valor real con el ohmetro, y se ajusta V_{DC} para que la salida sea 5V.

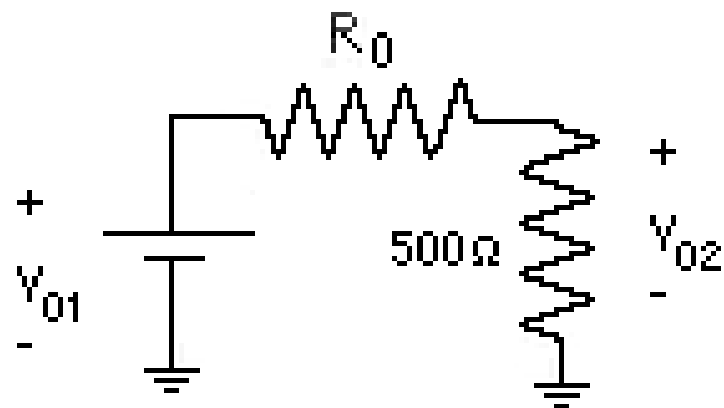
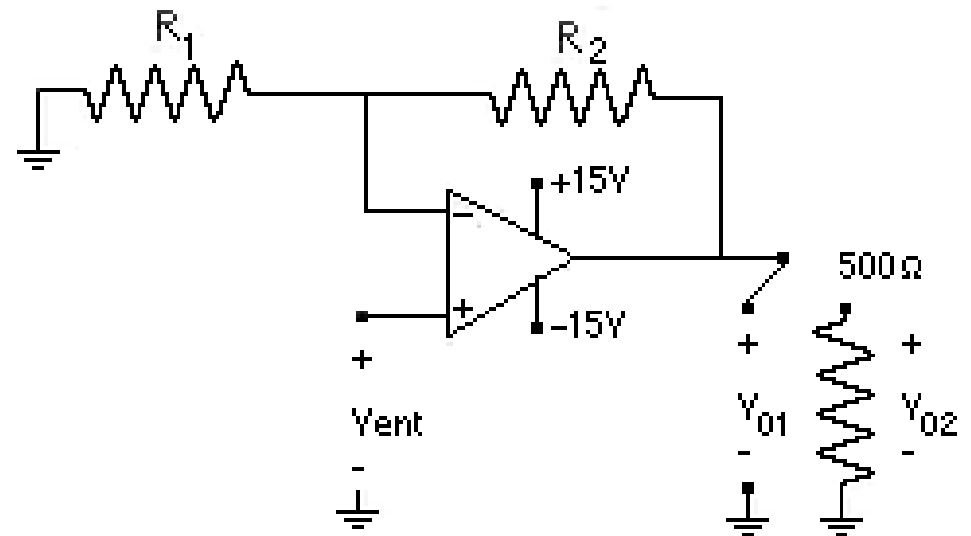
Se mide el voltaje de entrada, la corriente de entrada en forma indirecta como el voltaje sobre R_p entre el valor real de la resistencia, y se calcula R_{in} .

MEDICIÓN DE LA IMPEDANCIA DE SALIDA

* Se aplica un voltaje de entrada que produzca una salida de 1 o 2 V y se mide cuidadosamente el voltaje de salida V_{01} .

* Se coloca una resistencia de carga de entre 50 y 500Ω y se mide cuidadosamente el voltaje de salida V_{02} .

* Con esos datos se puede plantear el circuito mostrado y determinar el valor de R_o .



OTRAS APLICACIONES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

(Realimentación negativa)

Aplicaciones lineales

Amplificador no inversor

Seguidor de tensión

Sumador inversor

Sumador no inversor

Derivador

Integrador

Convertidor digital - analógico

Convertidor analógico - digital

Convertidor tensión - corriente

Convertidor corriente - tensión

Aplicaciones con diodos

Amplificador logarítmico

Rectificador de precisión

Conformador de onda

Detectores de pico

OTRAS APLICACIONES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

(Sin realimentación negativa)

Comparador

Comparador con histéresis

Multivibrador monoestable

Multivibrador astable

CÓMO SE VA A REALIZAR LA EXPERIENCIA ESPECIAL

*Al inicio de la sesión de laboratorio cada grupo debe tener:

La preparación para el circuito especial, que incluye el diagrama circuital, las simulaciones en SPICE, el diagrama de cableado y las indicaciones de las mediciones que se van a realizar.

Las tablas necesarias en Excel, para ir las llenando a medida que realizan las mediciones.

Una presentación en PowerPoint o cualquier otro programa, en la que ya tengan las explicaciones básicas de funcionamiento del circuito, las simulaciones previas en SPICE, los correspondientes diagramas de cableado, las indicaciones sobre las mediciones que van a realizar, la forma como van a conectar los instrumentos, y una serie de pantallas listas para incluir las tablas y formas de onda obtenidas, el análisis de resultados y las conclusiones.

* En la primera hora cada grupo va a realizar los experimentos sobre el amplificador diferencial, va a analizar los resultados obtenidos, va a redactar las conclusiones y se las va a mostrar a la profesora para obtener su evaluación sobre este punto.

* En la segunda hora cada grupo va a montar su circuito especial y va a realizar las pruebas correspondientes.

* En la última hora de laboratorio cada grupo va a terminar de preparar la presentación de su circuito y va a hacer una exposición oral de su trabajo ante toda la sección, utilizando el material indicado previamente.

CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 10

Montaje y mediciones sobre el amplificador diferencial	60 minutos
Montaje y mediciones sobre el circuito especial	60 minutos
Preparación de la presentación	20 minutos
Presentaciones de los grupos	40 minutos