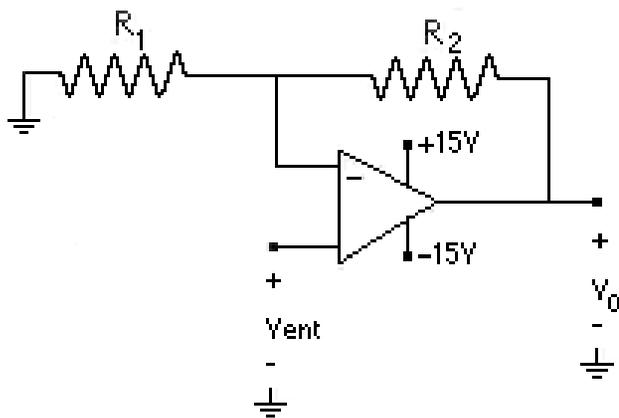


# EC1282 LABORATORIO DE CIRCUITOS

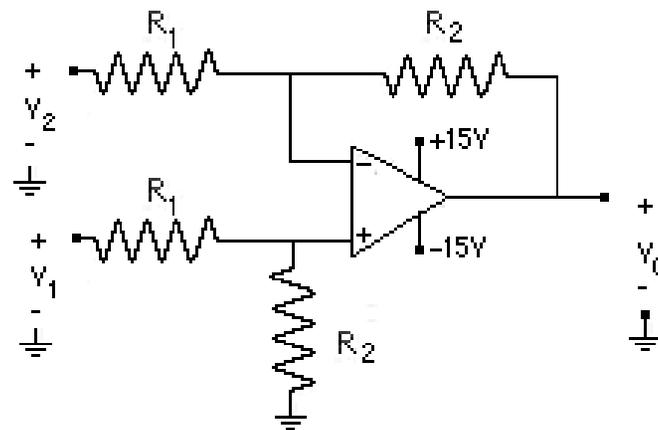
## PRELABORATORIO N° 7

### PRÁCTICA N° 9

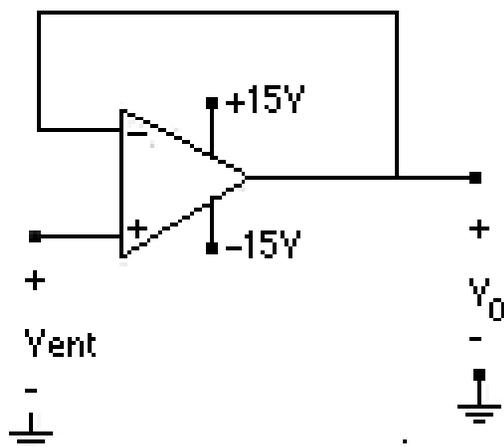
#### APLICACIONES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL



Amplificador no inversor



Amplificador diferencial básico



Seguidor de voltaje

## **CONCEPTOS TEÓRICOS PRÁCTICA N° 9**

- \* AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL OPAM IDEAL**
- \* MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR**
- \* MEDICIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**
- \* SEGUIDOR DE VOLTAJE. MEDICIONES.**
- \* AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**
- \* VOLTAJE DE "OFFSET"**
- \* RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)**
- \* MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**
- \* COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* PRÁCTICA N° 10: DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO**

## CONCEPTOS TEÓRICOS PRÁCTICA N° 9

- \* **AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL OPAM IDEAL**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR**
- \* **MEDICIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**
- \* **SEGUIDOR DE VOLTAJE. MEDICIONES.**
- \* **AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**
- \* **VOLTAJE DE "OFFSET"**
- \* **RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**
- \* **COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **PRÁCTICA N° 10: DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO**

## AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL

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

Realimentación negativa

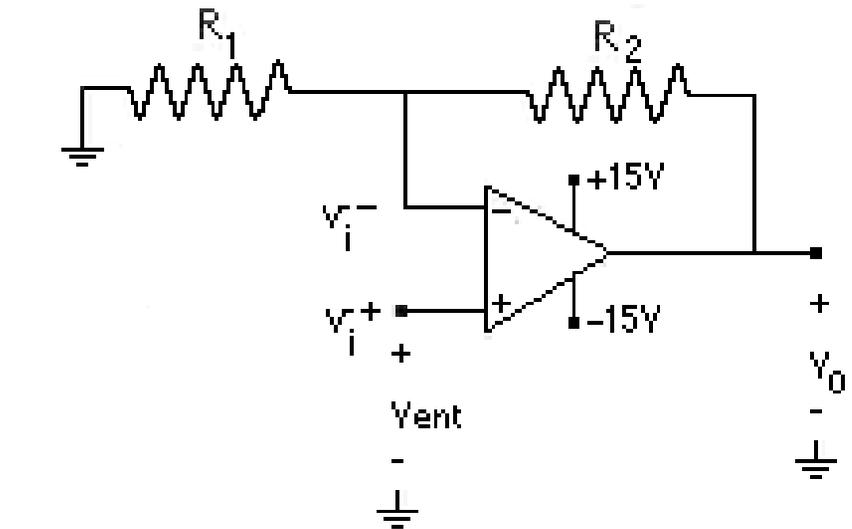
Con  $A = \infty$ , el voltaje de salida distinto de cero implica  $v_i^+ = v_i^-$

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

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

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

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



$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{ent}$$

## CONCEPTOS TEÓRICOS PRÁCTICA N° 9

- \* **AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL OPAM IDEAL**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR**
- \* **MEDICIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**
- \* **SEGUIDOR DE VOLTAJE. MEDICIONES.**
- \* **AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**
- \* **VOLTAJE DE "OFFSET"**
- \* **RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**
- \* **COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **PRÁCTICA N° 10: DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO**

## 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:

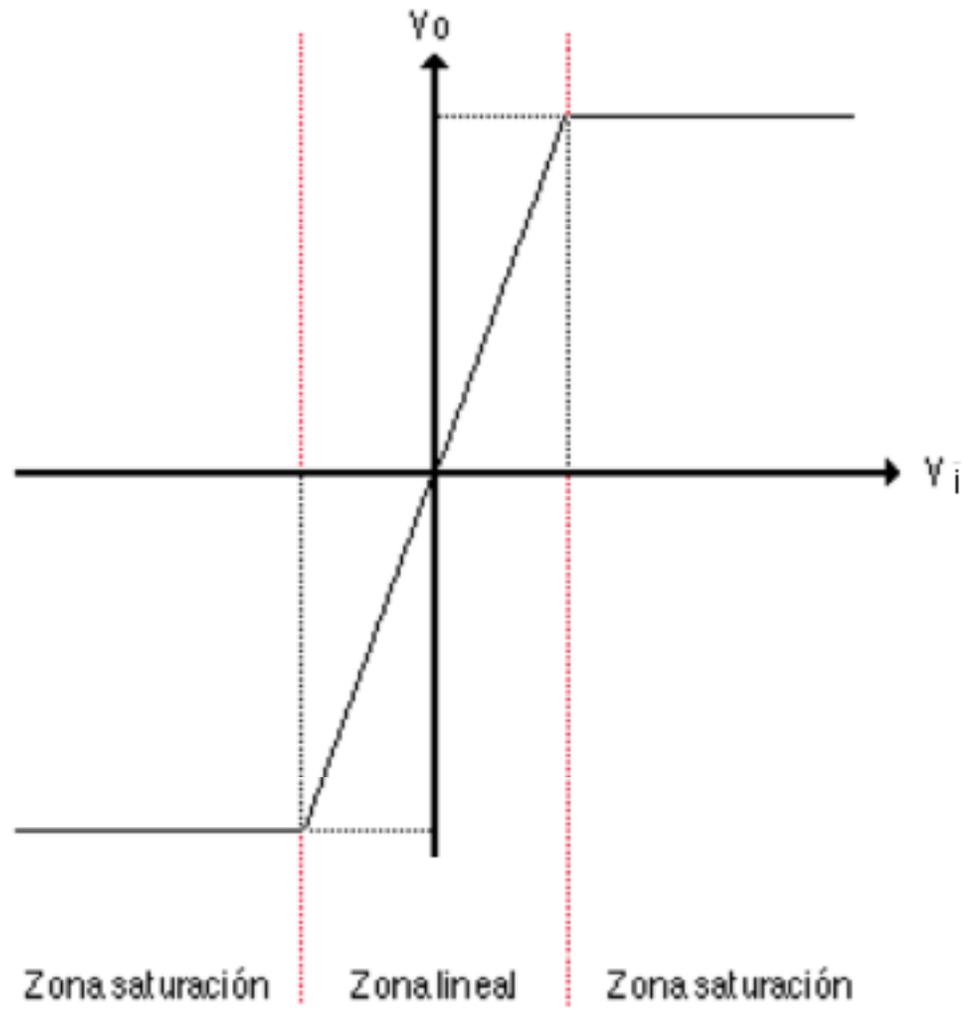
La zona de **respuesta lineal**

La zona de **saturación**

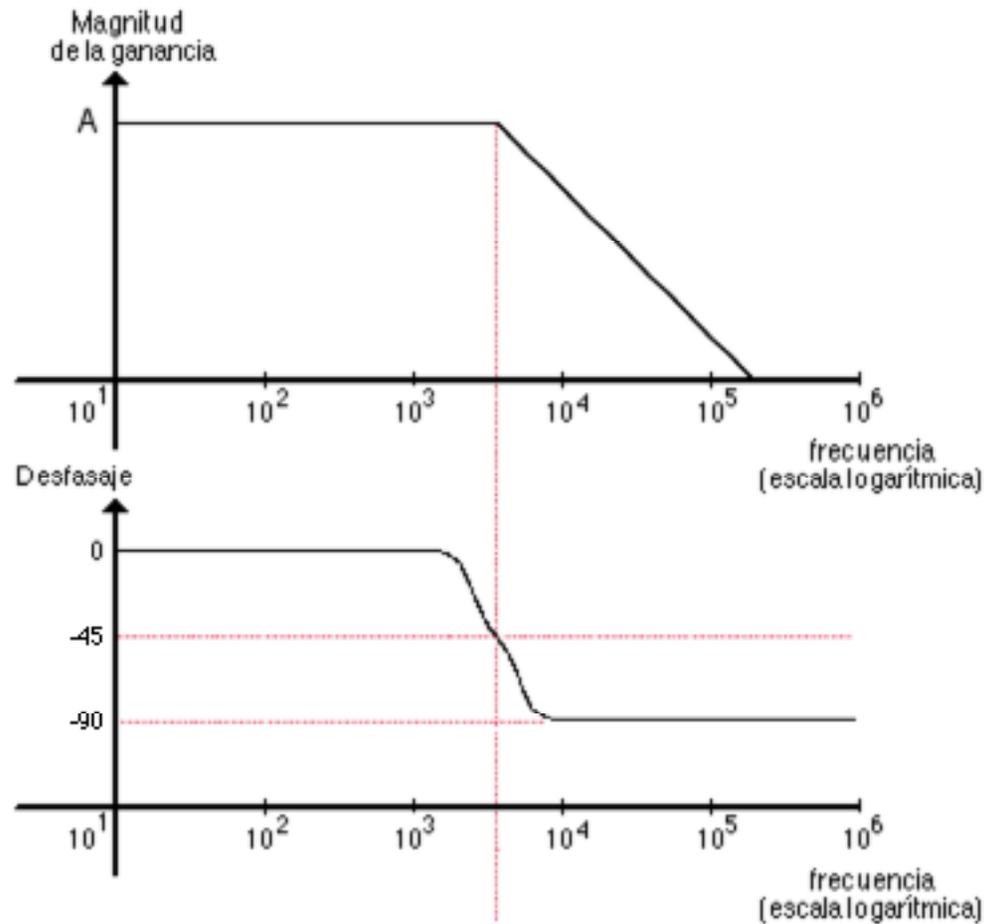
\* **Ganancia AC para obtener el ancho de banda:** Relación entre el voltaje de salida y el voltaje de entrada del amplificador inversor cuando se aplican voltajes sinusoidales de amplitud constante sobre un amplio rango de frecuencias para obtener el gráfico de la respuesta en frecuencia y calcular 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 NO INVERSOR: GANANCIA AC Y DESFAJAJE



## CONCEPTOS TEÓRICOS PRÁCTICA N° 9

- \* **AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL OPAM IDEAL**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR**
- \* **MEDICIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**
- \* **SEGUIDOR DE VOLTAJE. MEDICIONES.**
- \* **AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**
- \* **VOLTAJE DE "OFFSET"**
- \* **RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**
- \* **COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **PRÁCTICA N° 10: DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO**

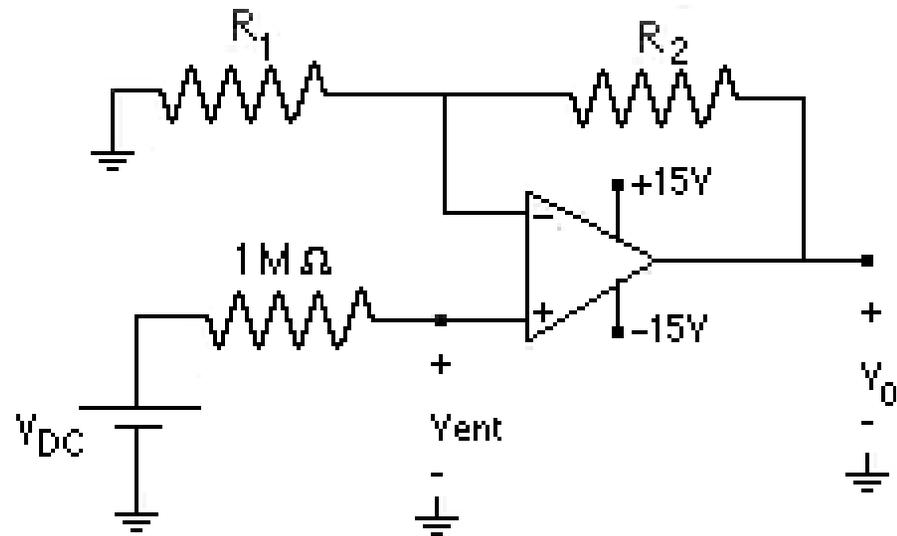
## MEDICIÓN DE LA IMPEDANCIA DE LA ENTRADA DEL AMPLIFICADOR NO INVERSOR A TIERRA

\* Se coloca una resistencia de valor elevado ( $1M\Omega$ ) en la entrada no inversora y una fuente de voltaje DC con la que se aplica un voltaje que produzca un voltaje de salida de 5V.

\*Se mide cuidadosamente el voltaje  $V_{DC}$  y el voltaje en la entrada no inversora,  $V_{ent}$ .

\*Por divisor de voltaje:

$$V_{ent} = \frac{R_i}{1M\Omega + R_i} V_{DC}$$



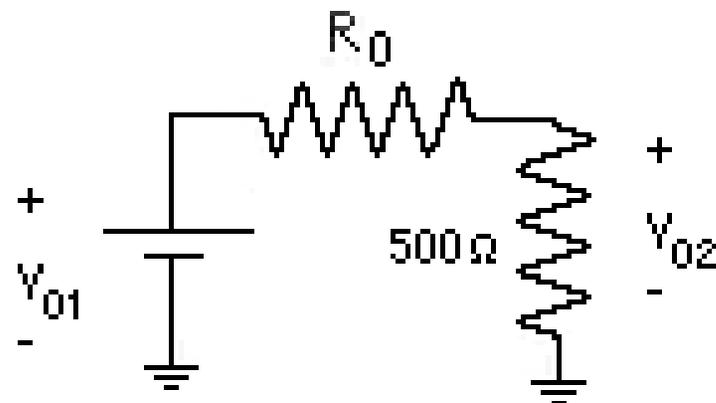
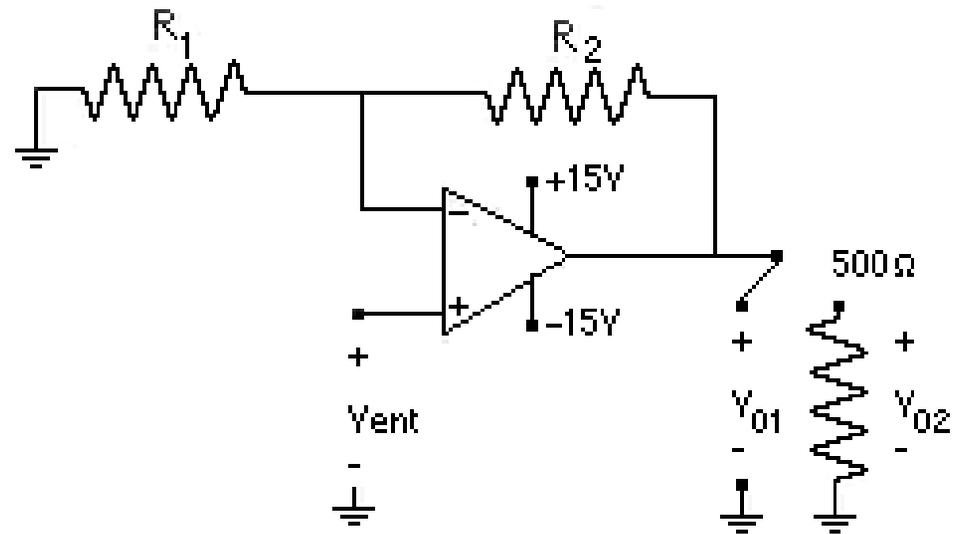
Se calcula  $R_i$

## 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 unos  $500\Omega$  y se mide cuidadosamente el voltaje de salida  $V_{02}$ .

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



## CONCEPTOS TEÓRICOS PRÁCTICA N° 9

- \* **AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL OPAM IDEAL**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR**
- \* **MEDICIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**
- \* **SEGUIDOR DE VOLTAJE. MEDICIONES.**
- \* **AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**
- \* **VOLTAJE DE "OFFSET"**
- \* **RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**
- \* **COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **PRÁCTICA N° 10: DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO**

## SEGUIDOR DE VOLTAJE CON EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL

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

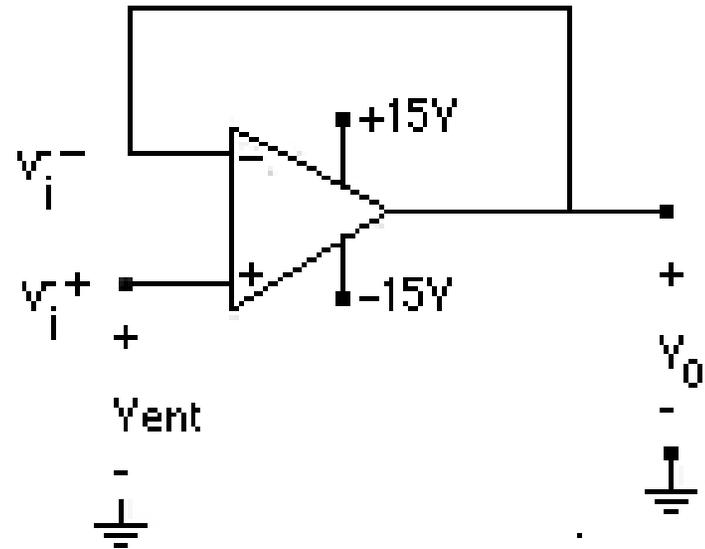
Realimentación negativa

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:

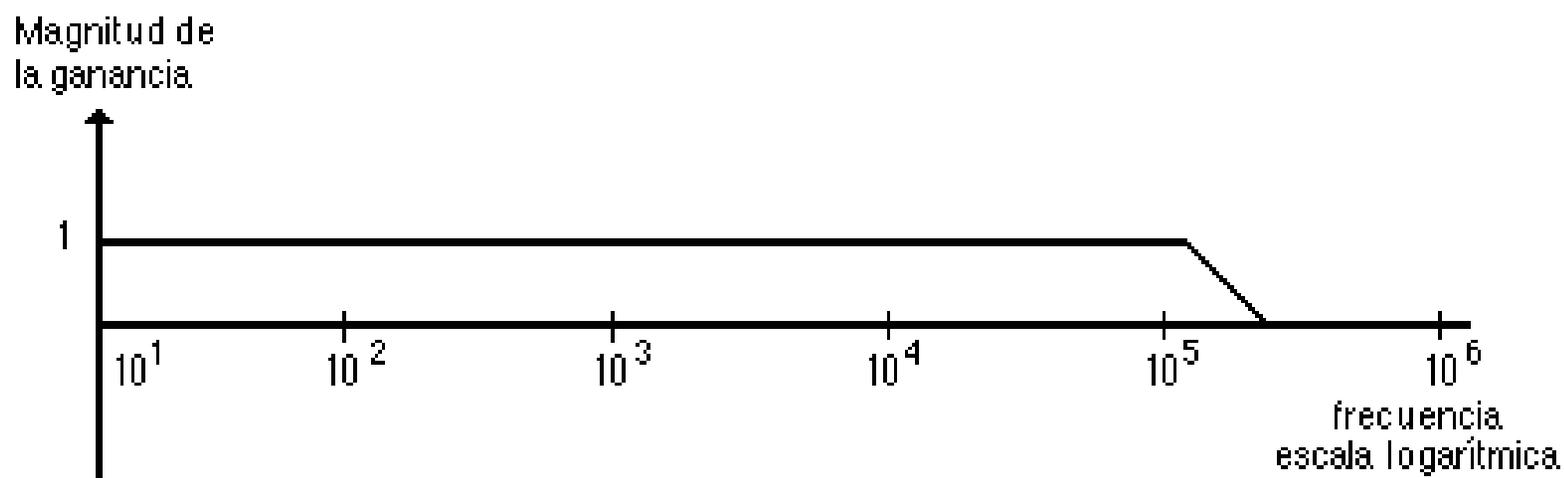
$$V_o = V_{ent}$$



Característica importante: Impedancia de muy alta (teóricamente infinita)

## MEDICIONES SOBRE EL SEGUIDOR DE VOLTAJE

\* **Ganancia 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.



## CONCEPTOS TEÓRICOS PRÁCTICA N° 9

- \* **AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL OPAM IDEAL**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR**
- \* **MEDICIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**
- \* **SEGUIDOR DE VOLTAJE. MEDICIONES.**
- \* **AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**
- \* **VOLTAJE DE "OFFSET"**
- \* **RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**
- \* **COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **PRÁCTICA N° 10: DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO**

## 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

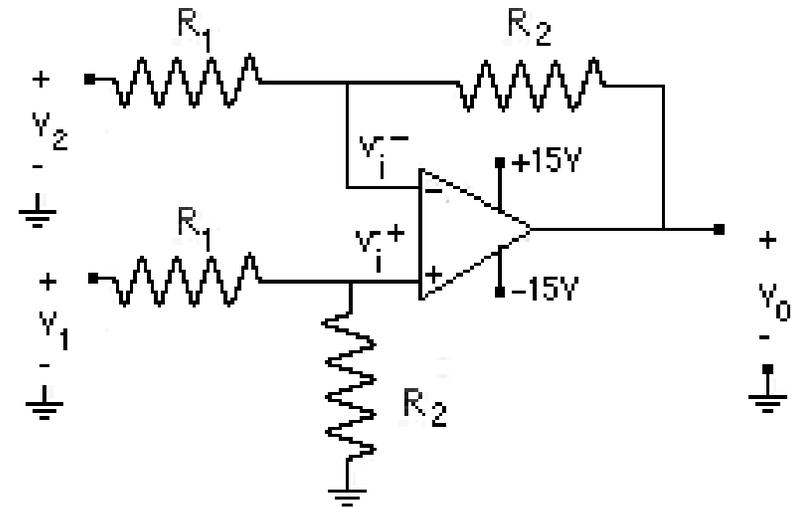
$$V_o - v_i = R_2 I_2$$

Si la impedancia de entrada es  $\infty$  se cumple

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

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

$$Ad = \frac{V_o}{V_1 - V_2} = \frac{R_2}{R_1}$$



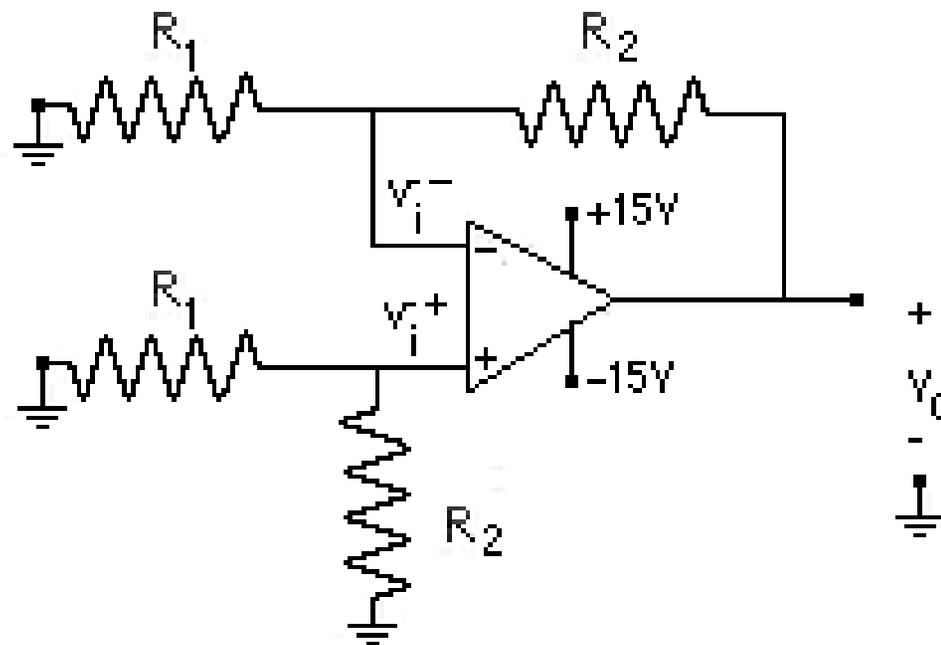
## CONCEPTOS TEÓRICOS PRÁCTICA N° 9

- \* **AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL OPAM IDEAL**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR**
- \* **MEDICIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**
- \* **SEGUIDOR DE VOLTAJE. MEDICIONES.**
- \* **AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**
- \* **VOLTAJE DE "OFFSET"**
- \* **RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**
- \* **COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **PRÁCTICA N° 10: DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO**

## 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.



## CONCEPTOS TEÓRICOS PRÁCTICA N° 9

- \* **AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL OPAM IDEAL**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR**
- \* **MEDICIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**
- \* **SEGUIDOR DE VOLTAJE. MEDICIONES.**
- \* **AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**
- \* **VOLTAJE DE "OFFSET"**
- \* **RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**
- \* **COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **PRÁCTICA N° 10: DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO**

## 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

$A_{mc}$  : ganancia en modo común, al aplicar  $V_1 = V_2$  (debería ser 0V)

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

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

## CONCEPTOS TEÓRICOS PRÁCTICA N° 9

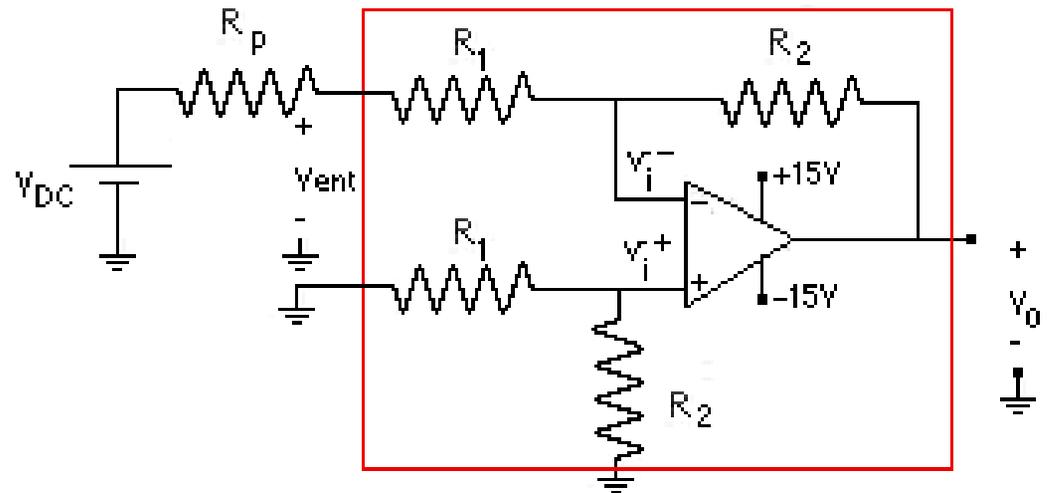
- \* **AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL OPAM IDEAL**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR**
- \* **MEDICIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**
- \* **SEGUIDOR DE VOLTAJE. MEDICIONES.**
- \* **AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**
- \* **VOLTAJE DE "OFFSET"**
- \* **RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**
- \* **COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **PRÁCTICA N° 10: DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO**

# **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**

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

**Impedancia de entrada de la entrada inversora del amplificador diferencial básico, con la entrada no inversora conectada a tierra.**

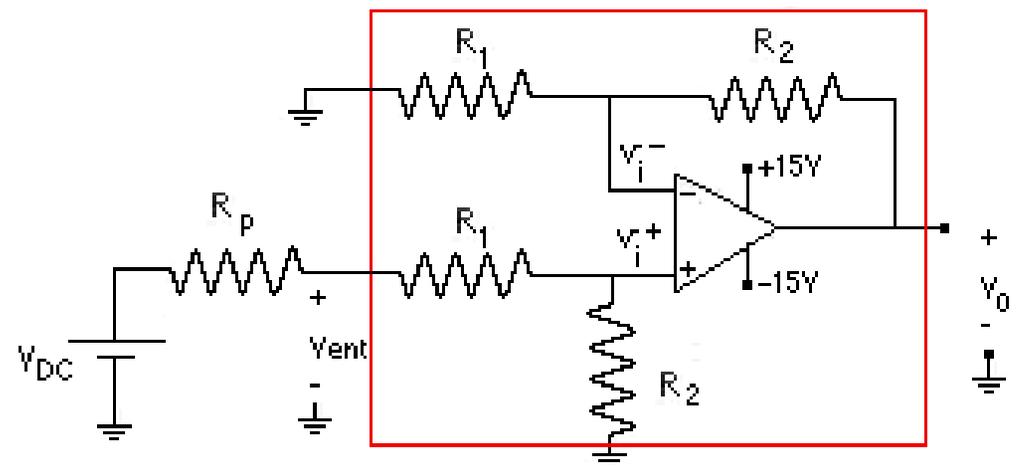
$$R_{in} = R_1$$



**Se ajusta  $V_{DC}$  para que la salida sean 5V y  $R_p$  del orden de los  $k\Omega$**

**Impedancia de entrada de la entrada no inversora del amplificador diferencial básico, con la entrada inversora conectada a tierra.**

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



## CONCEPTOS TEÓRICOS PRÁCTICA N° 9

- \* **AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL OPAM IDEAL**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR**
- \* **MEDICIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**
- \* **SEGUIDOR DE VOLTAJE. MEDICIONES.**
- \* **AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**
- \* **VOLTAJE DE "OFFSET"**
- \* **RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**
- \* **COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **PRÁCTICA N° 10: DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO**

## **COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**

**Para el amplificador no inversor:**

$$\mathbf{R_1 = 3\ k\Omega, \quad R_2 = 12\ k\Omega}$$

**Simulación:  $V_p = 2\ V, \quad f = 1\ kHz$**

**Para el amplificador diferencial básico:**

$$\mathbf{R_1 = 3\ k\Omega, \quad R_2 = 15\ k\Omega}$$

## CONCEPTOS TEÓRICOS PRÁCTICA N° 9

- \* **AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL OPAM IDEAL**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR**
- \* **MEDICIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**
- \* **SEGUIDOR DE VOLTAJE. MEDICIONES.**
- \* **AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**
- \* **VOLTAJE DE "OFFSET"**
- \* **RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**
- \* **COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **PRÁCTICA N° 10: DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO**

## **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**

Montaje y mediciones sobre el amplificador no inversor	60 minutos
Montaje y mediciones sobre seguidor de voltaje	75 minutos
Montaje y mediciones sobre amplificador diferencial	45 minutos

## CONCEPTOS TEÓRICOS PRÁCTICA N° 9

- \* **AMPLIFICADOR NO INVERSOR BÁSICO CON EL OPAM IDEAL**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR**
- \* **MEDICIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**
- \* **SEGUIDOR DE VOLTAJE. MEDICIONES.**
- \* **AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO**
- \* **VOLTAJE DE "OFFSET"**
- \* **RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN (CMRR)**
- \* **MEDICIONES SOBRE EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**
- \* **COMPONENTES Y VALORES PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**
- \* **PRÁCTICA N° 10: DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO**

# PRÁCTICA N° 10

## DISEÑO DE UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO

### OBJETIVOS

- El estudiante debe buscar en la bibliografía disponible circuitos similares a los que ha utilizado en las experiencias anteriores, analizarlos y seleccionar uno de ellos como tema de trabajo.
- El estudiante debe estudiar el funcionamiento del circuito, definir los experimentos necesarios para comprobar dicho funcionamiento y preparar las tablas adecuadas para registrar los datos que obtenga en el laboratorio.
- El estudiante debe montar el circuito, realizar las pruebas diseñadas y elaborar los cuadros o gráficos correspondientes con los resultados obtenidos.
- El estudiante debe exponer oralmente el trabajo realizado, utilizando el material de apoyo adecuado.

# **EJEMPLOS**

## **OTRAS APLICACIONES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL**

### **(Realimentación negativa)**

#### **Aplicaciones lineales**

Sumador inversor

Sumador no inversor

Integrador

Amplificador de instrumentación

Convertidor tensión - corriente

Convertidor corriente - tensión

Diferentes tipos de Filtros

#### **Aplicaciones con diodos**

Amplificador logarítmico

Rectificador de precisión

Conformador de onda

# **OTRAS APLICACIONES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL**

## **(Sin realimentación negativa)**

Comparador

Comparador con histéresis

Multivibrador monoestable

Multivibrador astable

## **CÓMO SE VA A REALIZAR LA EXPERIENCIA ESPECIAL**

- \* **Buscar** el circuito que quieran realizar (pueden traer varias opciones) y **presentarlo** al profesor en la sesión de laboratorio de la **Práctica 9**.
- \* El profesor debe **aprobar** el circuito que se va a realizar.
- \* Para la sesión de laboratorio de la **Práctica 10** deben traer:

**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, 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 última hora de laboratorio cada grupo va a hacer una **exposición oral** de su trabajo a toda la sección, utilizando el material indicado previamente. Éste es el informe de la práctica.

**La calificación de esta práctica estará lista al terminar todas las presentaciones.**

## **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 10**

Montaje y mediciones sobre el circuito especial	105 minutos
Preparación de la presentación	30 minutos
Presentaciones de los grupos	45 minutos