Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial

## Electrónico Industrial



# Amplificadores Operacionales

*Código: 89000575*

**Técnico de Nivel Operativo**

# INDICE

1. Presentación ---------- 3
2. TAREA 1
Medición de Parámetros
Del Opamp ---------- 4 - 38
3. TATEA 2
Montaje de Circuitos
con Opamp ---------- 39 - 48
4. TAREA 3
Montaje de circuitos de aplicación
matemática ---------- 49 - 62
5. TAREA 4
Montaje de Aplicaciones no lineales
Con Opamp ---------- 63 - 79
6. TAREA 5
Montaje de circuitos de
Aplicaciones industriales ---------- 80 - 90
7. TAREA 6
Construcción de Amplificadores
de Instrumentación ---------- 91 - 109
8. TAREA 7
Detección y Reparación de Fallas
De Circuitos con Opamp ---------- 110 - 114

9. Hoja de Trabajo ---------- 115

10. Medio Ambiente ---------- 116

11. Anexos ---------- 117

12. Bibliografía ---------- 132

# PRESENTACION

El presente Manual de Aprendizaje corresponde al **Módulo de AMPLIFICADORES OPERACIONALES;** este módulo es de aplicación en la **Especialidad de Electrónico Industrial .**

El presente Manual está estructurado por las siguientes tareas

TAREA 1 Medición de Parámetros del Opamp

TATEA 2 Montaje de Circuitos con Opamp

TAREA 3 Montaje de circuitos de aplicación matemática

TAREA 4 Montaje de Aplicaciones no lineales con Opamp

TAREA 5 Montaje de Circuitos de Aplicaciones Industriales

TAREA 6 Construcción de Amplificadores de Instrumentación

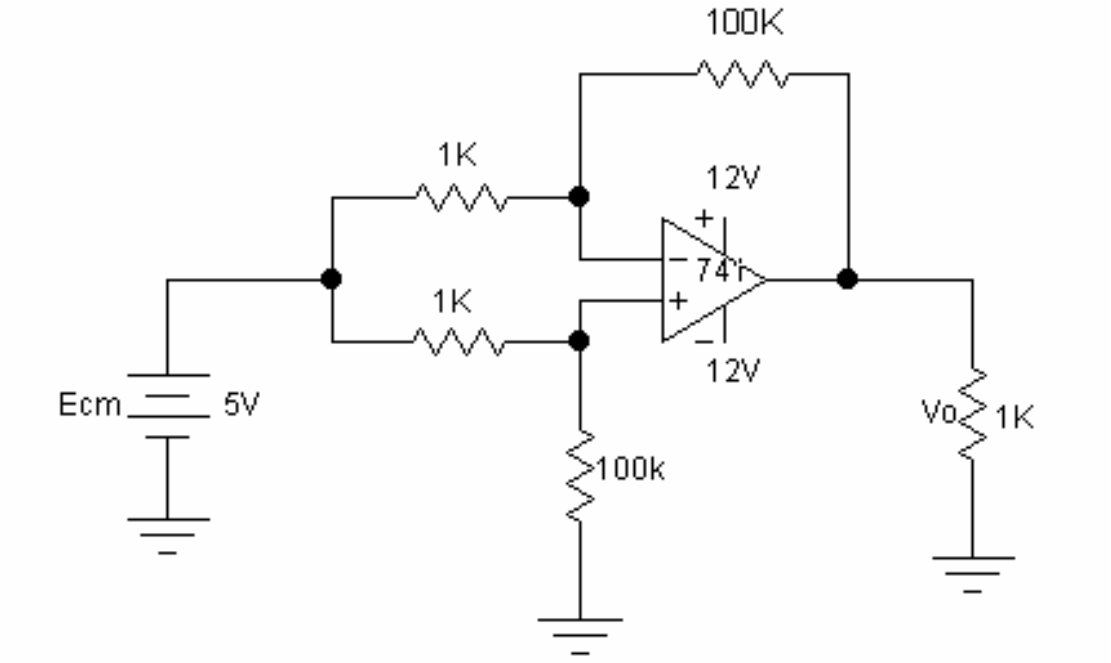
TAREA 7 Detección y Reparación de Fallas de Circuitos con Opamp

También comprende la tecnología relacionada a aspectos de seguridad Medio ambiente y la bibliografía empleada.


| | | |
|---|---|---|
| **Elaborado en la Zonal** | **:** | Lambayeque Cajamarca Norte |
| **Año** | **:** | 2005 |
| **Instructor** | **:** | Romelio Torres Mayanga |

# TAREA 1

# MEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL OPAMP




| N° | | MATERIALES / INSTRUMENTOS |
|---|---|---|
| 01<br>02<br>03<br>04<br>05<br>06<br>07 | -Reconocer OPAMP<br>-Medir voltaje de desplazamiento<br>-Medir corriente de polarización<br>-Medir impedancia de entrada salida<br>-Medir relación de retardo<br>-Medir relación de rechazo en modo común<br>-Medir producto ganancia ancho de banda | - uA 741<br>- resistores<br>- Multímetro digital<br>- generador de funciones<br>- osciloscopio de doble canal<br>- protoboard<br>- Fuente de alimentación Simétrica |

| 01 | 01 | | |
|---|---|---|---|
| PZA. | CANT. | **DENOMINACIÓN - NORMA /DIMENSIONES** | OBSERVACIONES |
| SENATI PERÚ | | MEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL OPAMP | HT 01 / REF. |
| | | **ELECTRÓNICO INDUSTRIAL** | TIEMPO: / HOJA: 1/1 |
| | | | ESCALA: / 2005 |



5

## OPERACIÓN

## RECONOCER OPAMP

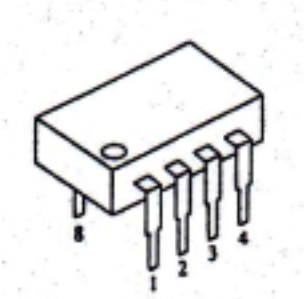
## PROCESO OPERACIONAL

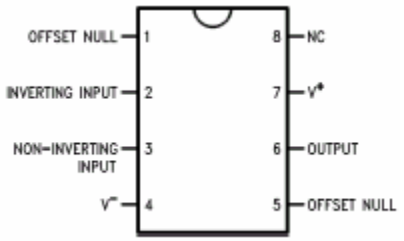
**Paso 1.** Identificar amplificador operacional ( OPAMP)

| Prefijo | Número | *Sufijo* |
|---|---|---|
| ↓ | ↓ | ↓ |
| uA | 741C | N (8 terminales) |
| ↓ | ↓ | ↓ |
| Fairchild | Amplificador operacional de propósito general, con intervalo de temperatura comercial ( 0 A 70ºC ) | Encapsulado plástico |

**OBSERVACIÓN** : Consultar tecnología relacionada

**Paso 2.** Reconocer amplificador operacional



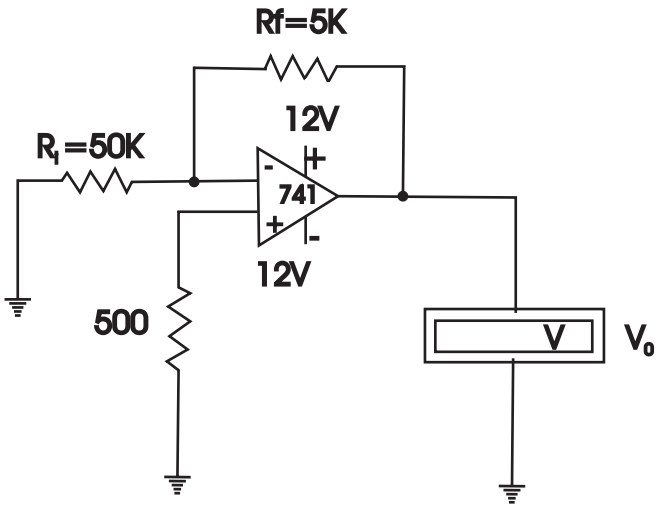



## OPERACIÓN

## MEDIR VOLTAJE DE DESPLAZAMIENTO DE ENTRADA

### PROCESO OPERACIONAL

**Paso 1.** Armar el circuito de la figura.




**Paso 2.** Medir Vo con el voltímetro digital

| $V_0$ = |
|---|

**Paso 3.** Calcular el voltaje de desvío de entrada Vio

$$Vio = \frac{Vo}{(Rf + Ri)/Ri} = \frac{Vo}{101}$$

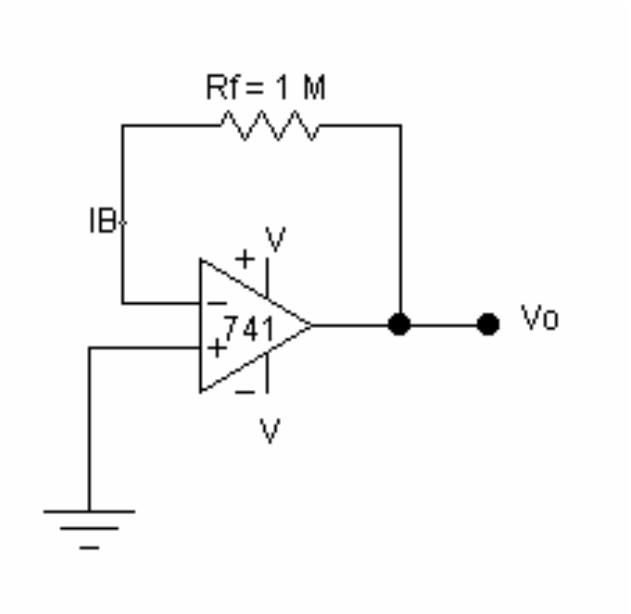
| Vio = |
|---|

**OPERACION**
**MEDIR CORRIENTE DE POLARIZACION**

Los fabricantes especifican una corriente de polarización de entrada promedio IB , que se calcula mediante la suma de las magnitudes de IB+ e IB- y dividiendo esta suma entre 2.

**PROCESO OPERACIONAL**

**Paso 1.** Armar el circuito de la figura para determinar IB- y alimentarlo con una fuente simétrica de 12 V.




**Paso 2.** Medir el voltaje de salida Vo con un voltímetro digital

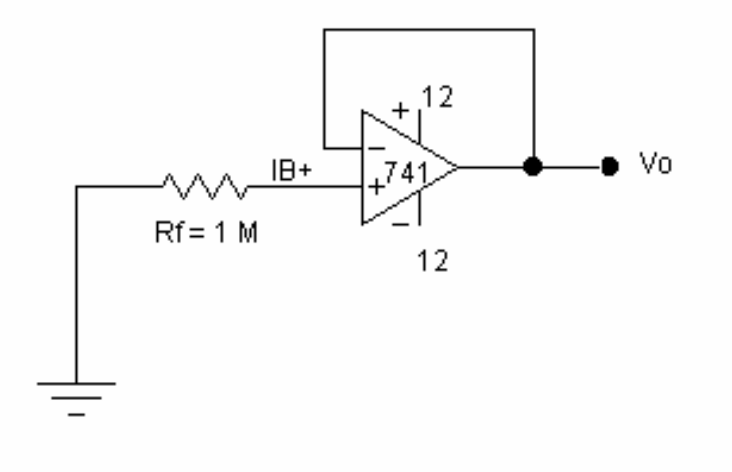
| Vo = |
|---|

**Paso 3.** Empleando el valor de Vio ( voltaje de desplazamiento de entrada) hallado en la operación anterior , calcular el valor de IB-

$$IB- = \frac{Vo - Vio}{Rf}$$

| IB- = |
|---|

**Paso 4.** Armar el circuito de la figura para determinar IB+




**Paso 5.** Medir el voltaje de salida Vo con un voltímetro digital

| Vo = |
|---|

**Paso 6.** Empleando el valor de Vio ( voltaje de desplazamiento de entrada) hallado en la operación anterior , calcular el valor de IB-

$$IB+ = - \frac{Vo\ Vio}{Rf}$$

| IB+ = |
|---|

**Paso 7.** Calcular la corriente de polarización de entrada ( promedio de IB)

$$IB = - \frac{(IB+) + (IB-)}{2}$$

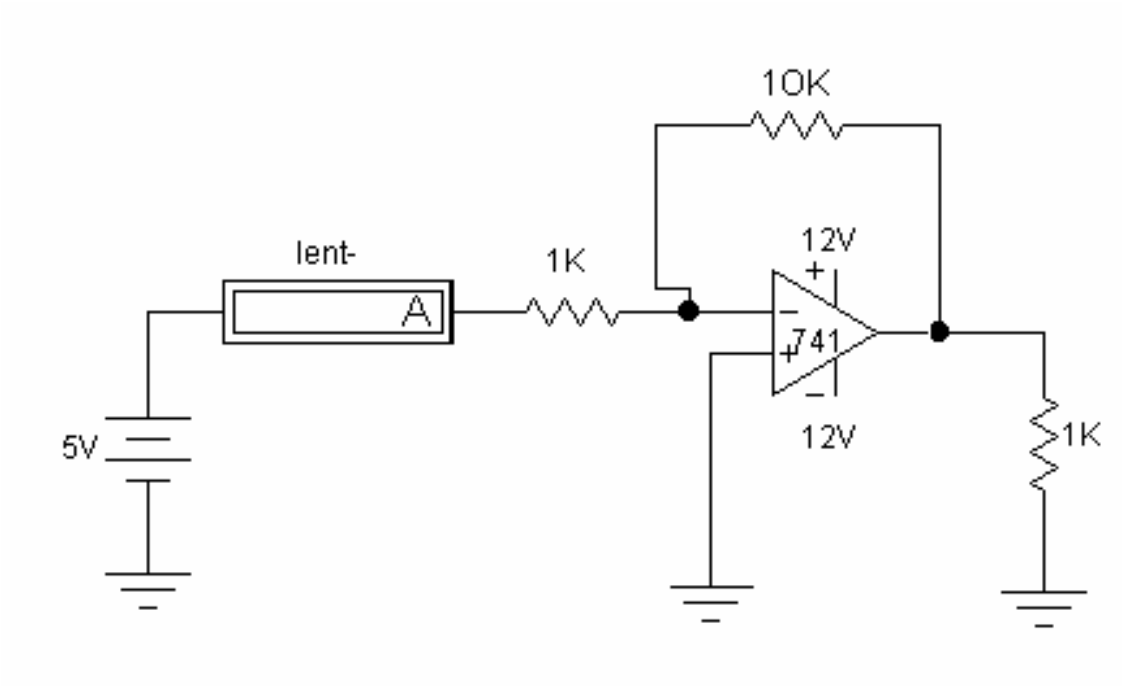
| IB = |
|---|

**OPERACIÓN**

**MEDIR IMPEDANCIA DE ENTRADA**

**PROCESO OPERACIONAL**

**Paso 1.** Armar el circuito de la figura.




**Paso 2 .** Medir la corriente por la entrada inversora

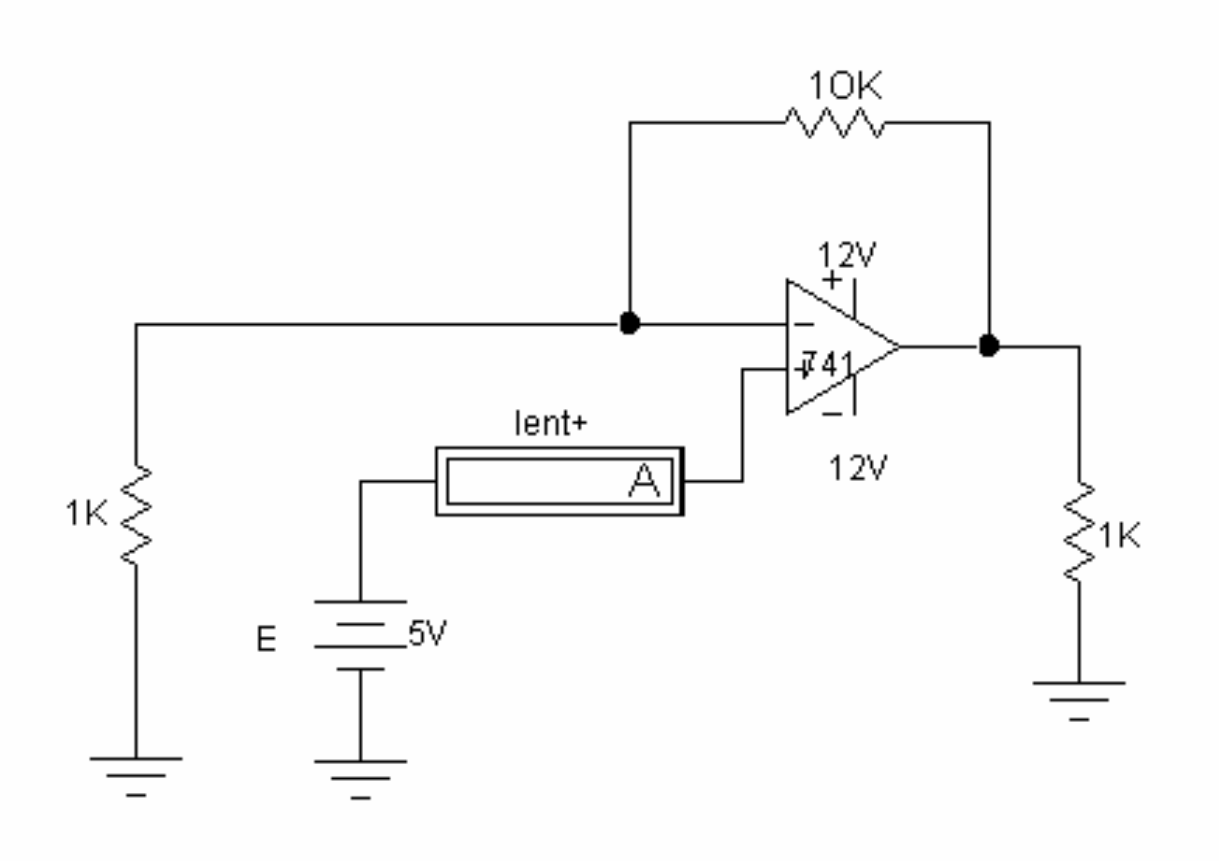
| Ient- = |
|---|

**Paso 3.** Calcular la inpedancia de la entrada inversora

Zent- = E / Ient-

| Zent- = |
|---|

**Paso 4.** Armar el circuito de la figura.




**Paso 5 .** Medir la corriente por la entrada no inversora

| Ient+ = |
|---|

**Paso 6.** Calcular la impedancia de la entrada no inversora

Zent- = E / Ient+

| Zent+ = |
|---|

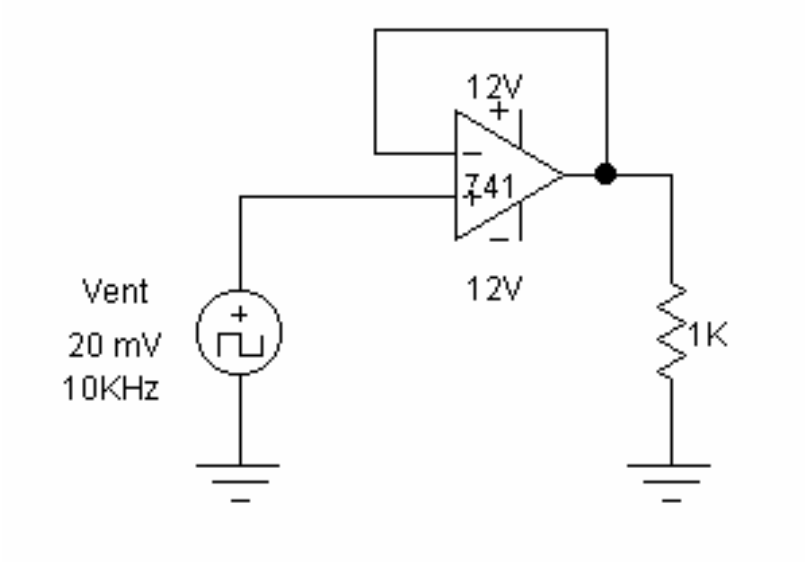
## OPERACIÓN
## MEDICION DE RELACION DE RETARDO

Si se aplica un voltaje Ei a un amplificador de ganancia unitaria por efecto de una onda cuadrada o una señal de pulso que cambia de manera muy rápida , idealmente Ei debería cambiar de 0V a 20 mV en un tiempo 0 ; en la practica, se requieren unos cuantos nanosegundos para efectuar este cambio. Para el caso de la ganancia unitaria , la salida debe cambiar de 0V a 20 mV en los mismos nanosegundos, sin embargo, toma tiempo que la señal se propague por todos los transistores del amplificador operacional. También toma tiempo que el voltaje de la salida se eleve a su valor final . El tiempo de subida se define como el lapso requerido para que el voltaje de la salida se eleve desde el 10% al 90% de su valor final

De acuerdo al fabricante el tiempo de respuesta de un 741 es de 0,35 us en consecuencia , transcurrirán 0,35 us para que el voltaje de salida cambie de 2 a 18 mV.

## PROCESO OPERACIONAL

**Paso 1 .** Armar el circuito de la figura



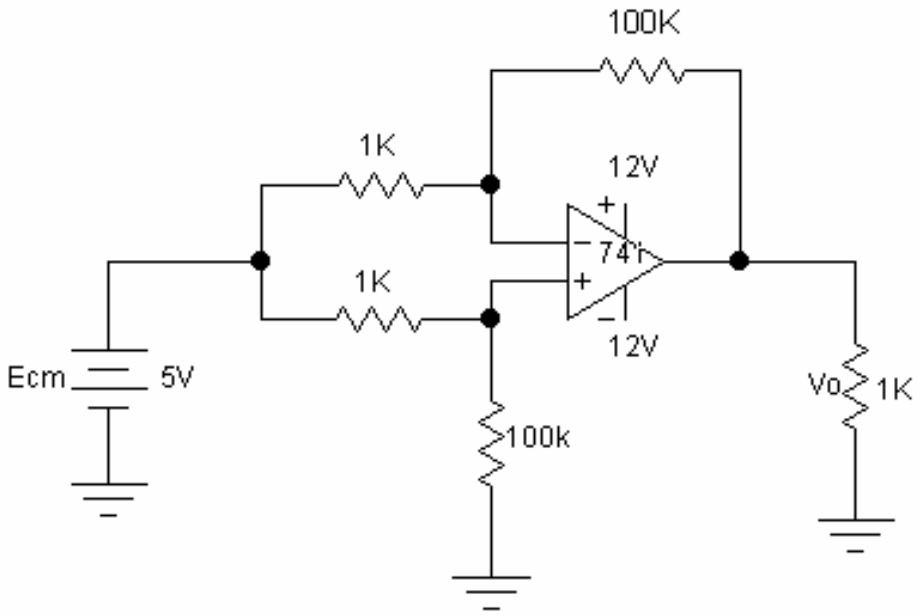

**Paso 2.** Aplicar un voltaje de entrada de 20 mV. 10 KHz , onda cuadrada.

**Paso 3.** Conectar el osciloscopio en la salida y medir el tiempo de retardo.

**OPERACIÓN**
**MEDIR RRMC (RELACIÓN DE RECHAZO EN MODO COMÚN)**

**PROCESO OPERACIONAL**

**Paso 1.** Armar el circuito de la figura.




**Paso 2.** Medir el voltaje Vo con un voltímetro digital

| Vo = |
|---|

**Paso 3.** Calcular la ganancia de voltaje en modo común

Avcm = Vo / Ecm

| Avcm = |
|---|

**Paso 4.** Calcular la ganancia en dB

RRMC = 20log Avcm

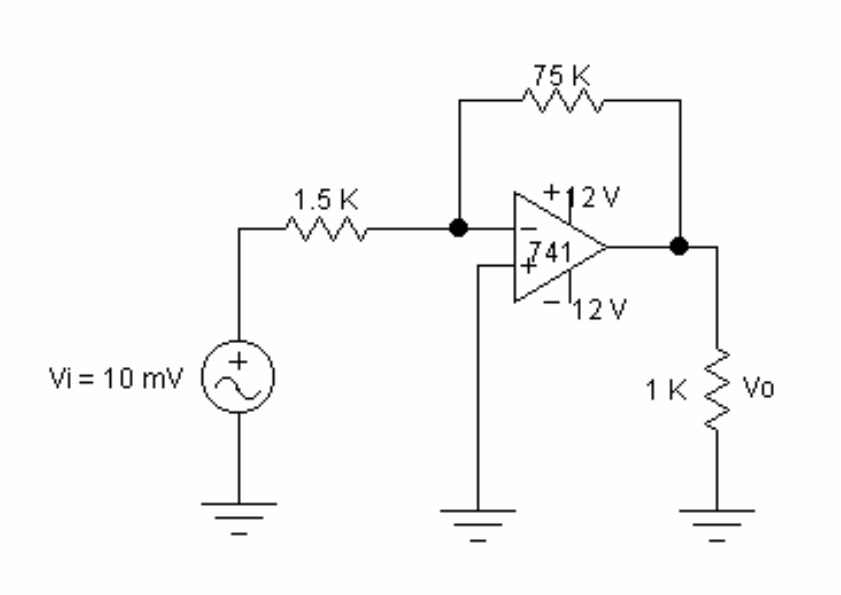
| RRMC = dB |
|---|

**OPERACIÓN**

**MEDIR PRODUCTO GANANCIA ANCHO DE BANDA**

**PROCESO OPERACIONAL**

**Paso 1.** Armar el circuito mostrado:




**Paso 2.** Medir la ganancia de voltaje

Av (cl) = Vo/Vi

| Av (cl) = |
|---|

**Paso 3.** Calcular el ancho de banda del amplificador

Para el 741

F2cl ( ancho de banda) = 1 Mhz / Av(cl)

| F2cl = |
|---|

**Paso 4.** Calcular el producto GANANCIA ANCHO DE BANDA

## EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

### Introducción

El concepto original del AO (*amplificador operacional*) procede del campo de los computadores analógicos, en los que comenzaron a usarse técnicas operacionales en una época tan temprana como en los años 40.

El nombre de *amplificador operacional* deriva del concepto de un amplificador dc (amplificador acoplado en continua) con una entrada diferencial y ganancia extremadamente alta, cuyas características de operación estaban determinadas por los elementos de realimentación utilizados. Cambiando los tipos y disposición de los elementos de realimentación, podían implementarse diferentes operaciones analógicas; en gran medida, las características globales del circuito estaban determinadas sólo por estos elementos de realimentación. De esta forma, el mismo amplificador era capaz de realizar diversas operaciones, y el desarrollo gradual de los amplificadores operacionales dio lugar al nacimiento de una nueva era en los conceptos de diseño de circuitos.

Los primeros amplificadores operacionales usaban el componente básico de su tiempo: la válvula de vacío. El uso generalizado de los AOs no comenzó realmente hasta los años 60, cuando empezaron a aplicarse las técnicas de estado sólido al diseño de circuitos amplificadores operacionales, fabricándose módulos que realizaban la circuitería interna del amplificador operacional mediante diseño discreto de estado sólido. Entonces, a mediados de los 60, se introdujeron los primeros amplificadores operacionales de circuito integrado. En unos pocos años los amplificadores operacionales integrados se convirtieron en una herramienta estándar de diseño, abarcando aplicaciones mucho más allá del ámbito original de los computadores analógicos.

Con la posibilidad de producción en masa que las técnicas de fabricación de circuitos integrados proporcionan, los amplificadores operacionales integrados estuvieron disponibles en grandes cantidades, lo que, a su vez contribuyó a rebajar su coste.

Hoy en día el precio de un amplificador operacional integrado de propósito general, con una ganancia de 100 dB, una tensión offset de entrada de 1 mV, una corriente de entrada de 100 nA. Y un ancho de banda de 1 MHz. es inferior a 1 euro.

El amplificador, que era un sistema formado antiguamente por muchos componentes discretos, ha evolucionado para convertirse en un componente discreto él mismo, una realidad que ha cambiado por completo el panorama del diseño de circuitos lineales.

Con componentes de ganancia altamente sofisticados disponibles al precio de los componentes pasivos, el diseño mediante componentes activos discretos se ha convertido en una pérdida de tiempo y de dinero para la mayoría de las aplicaciones dc y de baja frecuencia. Claramente, el amplificador operacional integrado ha redefinido las "reglas básicas" de los circuitos electrónicos acercando el diseño de circuitos al de sistemas. Lo que ahora debemos de hacer es a conocer bien los AOs, cómo funciona, cuáles son sus principios básicos y estudiar sus aplicaciones.

## PRINCIPIOS BASICOS DE LOS AMPLIFICADORES OPERACIONALES

### El amplificador operacional ideal

Los fundamentos básicos del amplificador operacional ideal son relativamente fáciles. Quizás, lo mejor para entender el amplificador operacional ideal es olvidar todos los pensamientos convencionales sobre los componentes de los amplificadores, transistores, tubos u otros cualesquiera. En lugar de pensar en ellos, piensa en términos generales y considere el amplificador como una caja con sus terminales de entrada y salida. Trataremos, entonces, el amplificador en ese sentido ideal, e ignoraremos qué hay dentro de la caja.

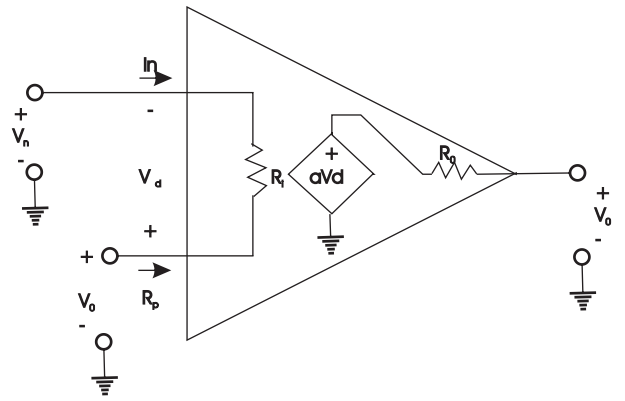



Fig. 01

Vo = A*Vin
A = infinito
Ri = infinito
Ro = 0
BW (ancho de banda) = infinito
V0 = 0 sí Vin = 0

En la **figura 1** se muestra un amplificador idealizado. Es un dispositivo de acoplo directo con entrada diferencial, y un único terminal de salida. El amplificador sólo responde a la diferencia de tensión entre los dos terminales de entrada, no a su potencial común. Una señal positiva en la entrada inversora (-), produce una señal negativa a la salida, mientras que la misma señal en la entrada no inversora (+) produce una señal positiva en la salida. Con una tensión de entrada diferencial, Vd, la tensión de salida, Vo, será a Vd, donde a es la ganancia del amplificador. Ambos terminales de entrada del amplificador se utilizarán siempre independientemente de la aplicación. La señal de salida es de un sólo terminal y está referida a masa, por consiguiente, se utilizan tensiones de alimentación bipolares ( ± )

Teniendo en mente estas funciones de la entrada y salida, podemos definir ahora las propiedades del amplificador ideal. Son las siguientes:

1. La ganancia de tensión es infinita:

$$a = \text{infinito}$$

2. La resistencia de entrada es infinita:

$$Ri = \text{infinito}$$

3. La resistencia de salida es cero:

$$Ro = 0$$

4. El ancho de banda es infinito:

$$BW = \text{infinito}$$

5. La tensión offset de entrada es cero:

$$V0 = 0 \text{ sí } Vd = 0$$

A partir de estas características del AO, podemos deducir otras dos importantes propiedades adicionales**.** Puesto que, la ganancia en tensión es infinita, cualquier señal de salida que se desarrolle será el resultado de una señal de entrada infinitesimalmente pequeña**.**

Luego, en resumen:

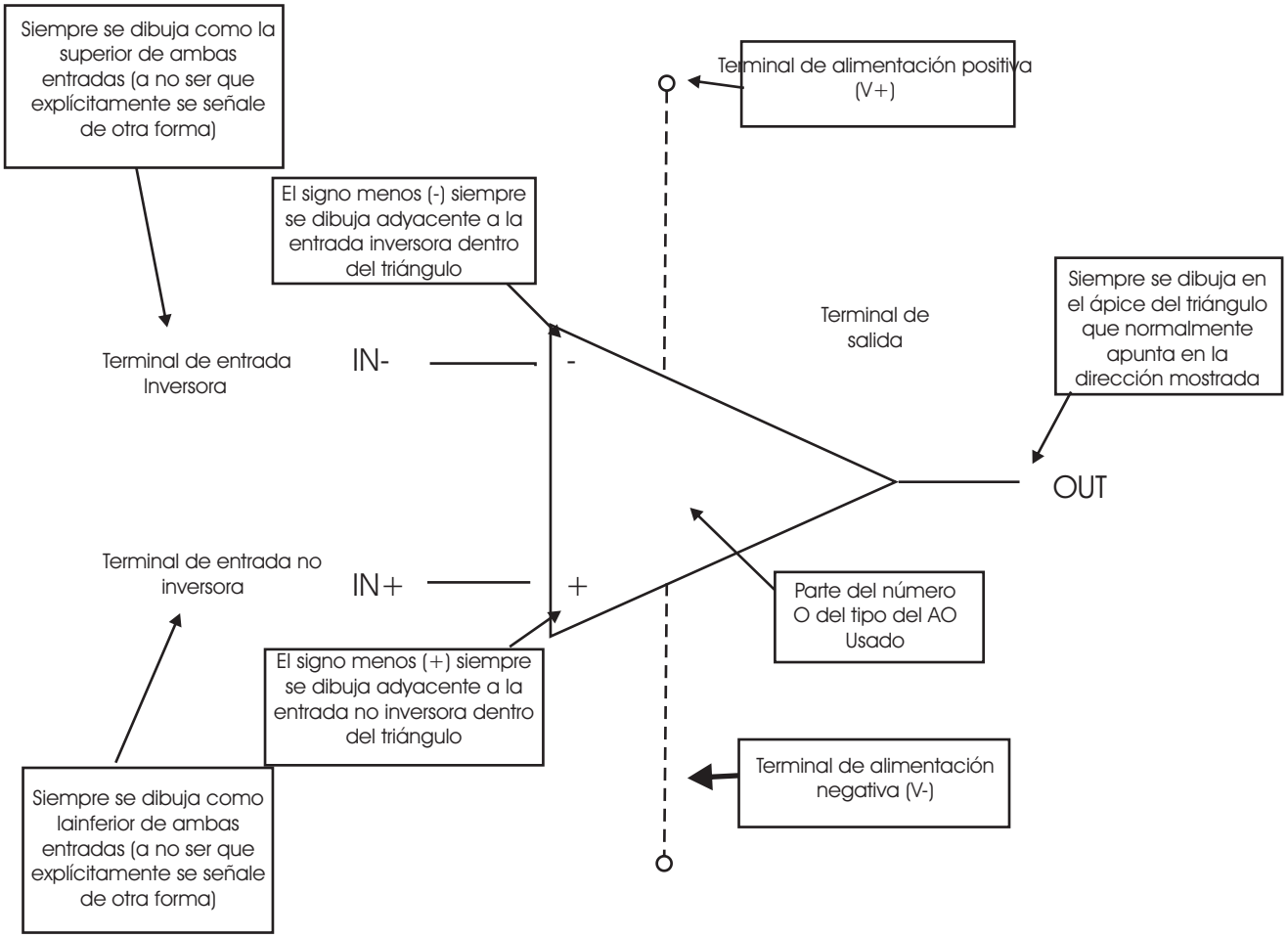
**La tensión de entrada diferencial es nula.**

También, si la resistencia de entrada es infinita**. No existe flujo de corriente en ninguno de los terminales de entrada**

Estas dos propiedades pueden considerarse como axiomas, y se emplearán repetidamente en el análisis y diseño del circuito del AO. Una vez entendidas estas propiedades, se pude, lógicamente, deducir el funcionamiento de casi todos los circuitos amplificadores operacionales.

## SÍMBOLO ESQUEMÁTICO DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL ESTÁNDAR Y SU USO.

Una herramienta adicional básica del AO es su símbolo esquemático. Este es fundamental, dado que un esquema correctamente dibujado nos dice mucho sobre las funciones de un circuito. El símbolo más usado se muestra en la figura  con algunas aclaraciones anotadas.




El símbolo básico es un triángulo, el cual generalmente presupone amplificación. Las entradas están en la base del triángulo, y la salida en el ápice. De acuerdo con el convenio normal del flujo de señal, el símbolo se dibuja con el ápice (salida) a la derecha, pero puede alterarse si es necesario para clarificar otros detalles del circuito.

Usualmente, las dos entradas se dibujan como se indica en la figura; la entrada no inversora (+) es la inferior de las dos. Excepciones a esta regla se producen en circunstancias especiales, en las que podría ser difícil mantener el convenio estándar. Además, las dos entradas están claramente identificadas por los símbolos (+) y (-), los cuales se sitúan adyacentes a sus respectivos terminales dentro del cuerpo del triángulo.

Como se ve, los terminales de las tensiones de alimentación se dibujan, preferiblemente, por encima y debajo del triángulo. Estos pueden no ser mostrados en todos los casos (en favor de la simplicidad) pero siempre están implícitos. Generalmente, en croquis, basta con usar el símbolo de tres terminales para dar a entender el significado, sobreentendiendo las conexiones de alimentación.

Finalmente, el tipo o número del dispositivo utilizado se sitúa centrado en el interior del triángulo. Si el circuito es uno general, indicativo de un amplificador operacional cualquiera, se usa el símbolo A ( o $A_1$, $A_2$, étc.)

El amplificador operacional tiene un amplio uso en los circuitos amplificadores para procesar señales de cd, ca, o combinaciones de éstas. En el caso de las aplicaciones de amplificadores de cd, ciertas características eléctricas del amplificador operacional pueden provocar errores grandes en el voltaje de salida. En voltaje ideal de salida debe ser igual al producto de la señal de entrada de cd por la ganancia de voltaje en lazo cerrado del amplificador.

Sin embargo existe la posibilidad en que el voltaje de salida contenga un componente de error agregado. Este error se debe a diferencias entre el amplificador operacional ideal y el amplificador operacional real . Si el valor ideal del voltaje de salida es grande con respecto al componente de error, entonces las características del amplificador operacional causante de dicho error se puede ignorar. Pero si el componente de error es comparable, o incluso mayor que el valor ideal, hay que tratar de reducirlo al mínimo. Las características que añaden componentes de error al voltaje de cd de salida son:

1. Corrientes de polarización de entrada.
2. Desvíos de la corriente de entrada.
3. Desvíos de voltaje de entrada.
4. Deriva

Cuando se utiliza el amplificador operacional como un amplificador de ca, los capacitares de acoplamiento eliminan el voltaje de error de cd en la salida. Por lo tanto, las características que se mencionan antes no tienen importancia en las aplicaciones de ca. No obstante, hay potros problemas relacionados con los amplificadores de ca que son:

5. Respuesta en frecuencia
6. Velocidad de respuesta

La respuesta en frecuencia se refiere a la variación de la ganancia de voltaje con los cambios de frecuencia. La forma más adecuada de presentar dicha información es por medio de gráfica de la ganancia de voltaje comparada con la frecuencia. Los fabricantes de amplificadores operacionales proporcionan la gráfica de ganancia en lazo abierto en función de la frecuencia. Al echar un vistazo a la gráfica uno puede darse cuenta de la ganancia posible a una frecuencia determinada.

Si el amplificador operacional tiene suficiente ganancia a una frecuencia en particular todavía existe la posibilidad de que se introduzca un error en $V_0$, Lo anterior se debe a que el amplificador operacional tiene un límite básico (por determinados efectos capacitivos) sobre la rapidez con la que es posible cambiar el voltaje en su salida. Si la señal de entrada "indica" que la salida del amplificador operacional tiene que cambiar con más velocidad de la que es capaz, se introduce distorsión en el voltaje de salida. La característica del amplificador operacional causante de este tipo de error es su capacitancia interna. A este tipo de error lo conoce como limitación por velocidad de respuesta.

## CORRIENTES DE POLARIZACIÓN DE ENTRADA

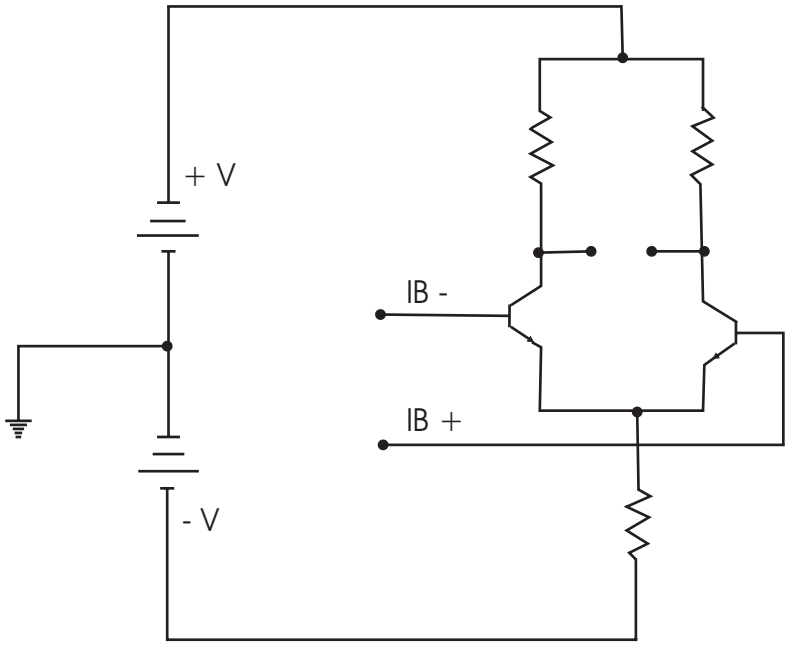
Los transistores internos del amplificador operacional deben tener una *polarización correcta* antes de que se les aplique una señal de voltaje. Polarización correcta significa que el transistor tiene el valor adecuado de la corriente de base y del colector, lo mismo que el voltaje del colector al emisor. Hasta ahora se ha considerado que las terminales de entrada del amplificador operacional no conducen corriente de la señal o de polarización. Ésta es la condición ideal. Sin embargo, en la práctica las terminales de entrada conducen una cd muy pequeña para polarizar los transistores del amplificador operacional. En la figura se aprecia un diagrama simplificado del circuito de entrada del amplificador operacional. Para estudiar el efecto de las corrientes de polarización de la entrada conviene considerarlas como fuentes de corriente en serie con cada terminal de entrada.

La corriente de polarización en la entrada (-), $I_B$-, por lo general no es igual a la comente de entrada (+),$I_{B+}$. Los fabricantes especifican una comente de polarización de entrada *promedio,* 1.9, que se calcula mediante la suma de las *magnitudes* de $I_{B+}$ e $I_B$- y dividiendo esta suma entre 2. Expresado en forma de ecuación:

$$I_B = \frac{|I_{B+}| + |I_{B-}|}{2}$$

en donde $|I_{B+}|$ es la magnitud de $I_{B+}$ y $I_{B-}|$ es la magnitud de intervalo de $I_B$ comprende desde 1 uA o más en el caso de los amplificadores operacionales de propósito general hasta 1 pA o menos, para los amplificadores operacionales que tienen en su circuito de entrada transistores de efecto de campo. Existen amplificadores operacionales denominados amplificadores operacionales electrómetros, los cuales poseen corrientes de polarización de entrada ultrabajas, de menos de 60 fA (femto amperes: $10^{-15}$ A).

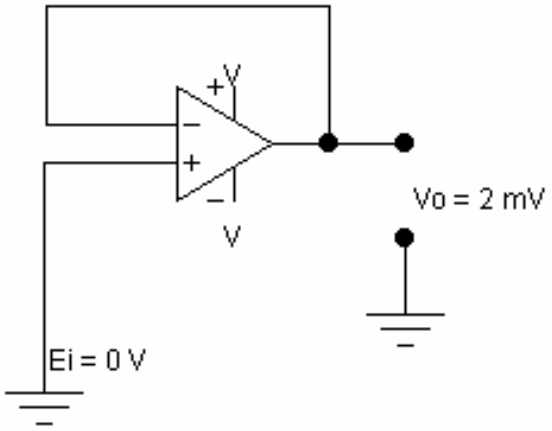
Estos dispositivos se utilizan en circuitos acondicionadores especiales, como los que se necesitan en las mediciones de pH. En el diseño de la tarjeta de circuito impreso y las conexiones de la señal de entrada de este tipo de circuitos hay que tener mucho cuidado.



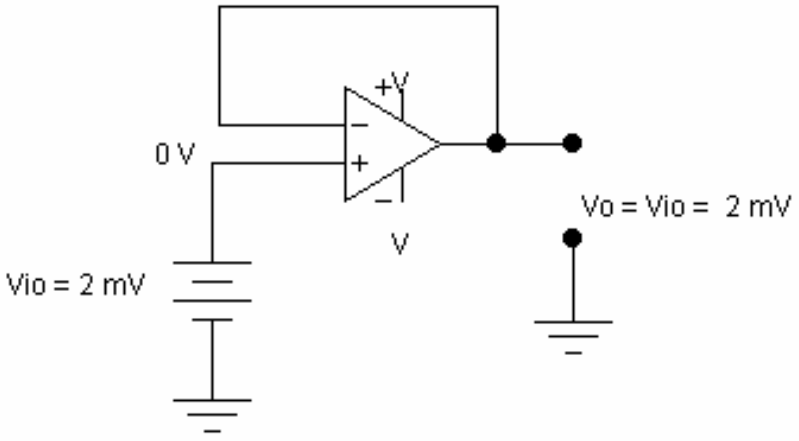

características de $I_B$ = 1.2 nA e $I_{OS}$ = 0.3 nA. Las versiones más recientes del amplificador operacional 741 tienen valores característicos que son inferiores.

## VOLTAJE DE DESVÍO DE ENTRADA
### Definición y modelo

En la Figura (a) el voltaje de salida $V_0$ debe ser igual a 0 V. No obstante, estará presente un pequeño componente de voltaje de error, diferente de cero, en $V_0$, Este valor puede variar de unos cuantos microvolts a milivolts, se origina en desbalances muy pequeños. Pero inevitables, que se producen en el interior del amplificador operacional. La manera más sencilla de estudiar el *efecto neto* de todos estos desbalances internos es visualizar un voltaje pequeño de cd en serie con una de las terminales de entrada. Este voltaje de cd se modela con una batería en la figura (b) y se le conoce como *voltaje de desvío de entrada, V,*
en el apéndice 1 los valores característicos de este voltaje). Observe que $V_{io}$, aparece en serie con el terminal de entrada (+) del amplificador operacional. Indistintamente, se puede modelar en serie con la entrada (-) o con la entrada (+). Sin embargo resulta más fácil determinar la polaridad de $Vi_o$, si se coloca en serie con la entrada (+). Por ejemplo, en la figura 4^ si la terminal de salida es positiva (con respecto a tierra), $V_{io}$ se dibuja con la terminal de la batería conectada a la entrada del amplificador operacional ideal.




(a) Vo dede ser 0 V , dado que Ei = 0 V




(b) El error en Vo se modela mediante el voltaje de cd Vio en serie con la entrada (+)

(b) El error en $V_0$. se modela mediante el voltaje de cd $V_{iO}$, en series con entrada (+)

FIGURA Efecto del voltaje de desvío de entrada en el amplificador operacional real de (a) se modela mediante un amplificador operacional ideal y se le añade una batería $V_{io}$, en (b).

Efecto del voltaje de desvío de entrada en el voltaje de salida.
En la figura (a) se muestra que $V_{io}$ y el aran valor de la ganancia en lazo abierto del amplificador operacional actúan para llevar a $V_0$ a la saturación negativa. Compare la polaridad de $V_{io}$, en las figura (b) y (a). Cuando se compran varios amplificadores operacionales y se conectan éstos en el circuito de prueba de la figura (a) algunos de ellos llevan a $V_0$ a + $V_{sat}$, y el resto a -$V_{sat}$, Por lo tanto, la magnitud y la polaridad de $V_{io}$, varía de un amplificador operacional a otro. Para aprender de qué manera afecta $V_{oi}$ a los amplificadores con retroalimentación negativa, primeramente de estudiará cómo medir $V_{io}$.

**Medición del voltaje de desvío de entrada.**

Para simplificar esta explicación, no tomaremos en cuenta los efectos de la corriente de polarización. La figura (b) muestra cómo medir $V_{io}$, También indica cómo predecir la magnitud del error que $V_{io}$ provocará en el voltaje de salida. Puesto que $E_i = 0$ V, $V_0$ ha de ser igual a 0 V. Pero $V_{io}$ se comporta exactamente como lo haría una señal en serie con la entrada no inversora. Por lo tanto, $V_{io}$ se amplificará como cualquier señal aplicada a la entrada (+) de un amplificador no inversor. El error en $V_0$ causado por $V_{io}$, se calculará de la siguiente manera:

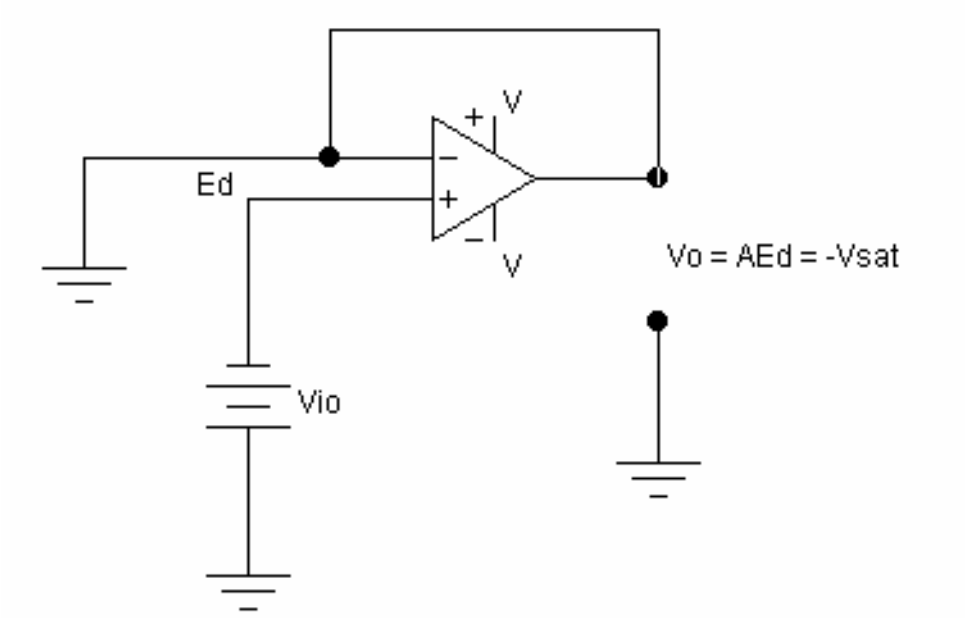
$$V_0 = error - de - voltaje - debido - a - V_{io} = V_{io}(1 + \frac{R_f}{R_i})$$

El error en el voltaje de salida de la figura (b) está expresado en la ecuación anterior, independientemente de que el circuito se utilice como amplificador inversor o no inversor; es decir, $E_i$ puede conectarse en serie con $R_i$ (amplificador inversor) para una ganancia de $-(R_f / R_i)$, o en serie con la entrada (amplificador no inversor) para una ganancia de $1 + (R_f / R_i)$. Una resistencia compensadora de corriente de polarización [una resistencia en serie con la entrada (+)] no tiene efecto en este tipo de error en el voltaje de salida debido a $V_{io}$.

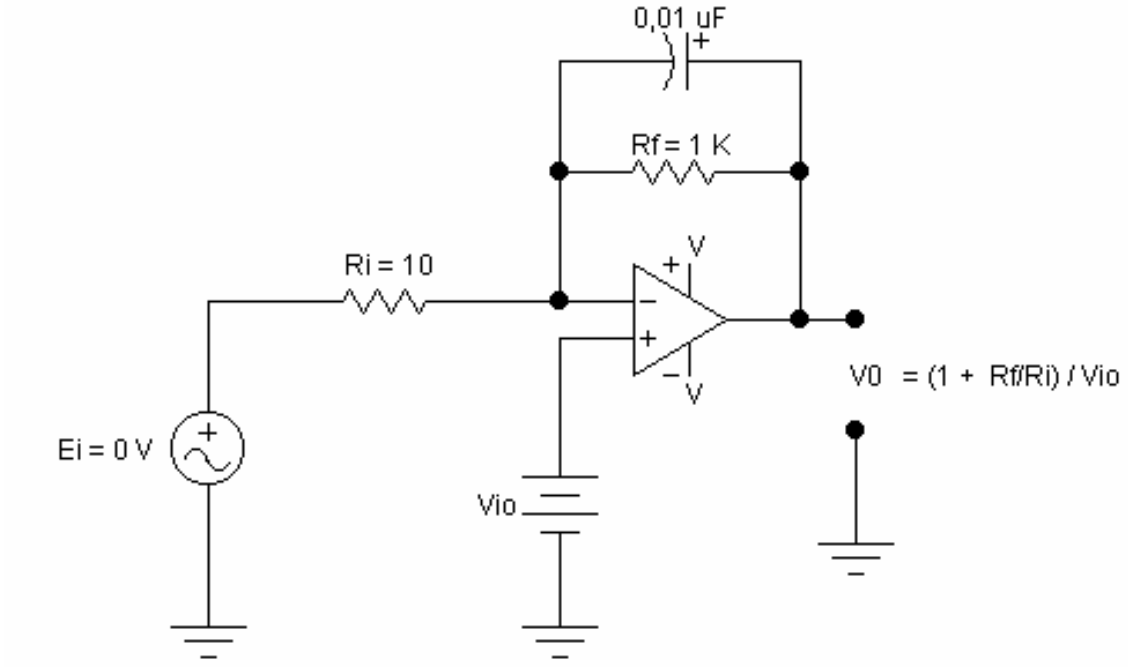
**Conclusión.** Para medir $V_{io}$ arme el circuito de la Figura (b) El capacitor se conecta en paralelo con $R_f$ para minimizar el ruido en $V_0$, Mida $V_0$, $R_f$ y $R_i$. Calcule $V_{io}$ mediante la ecuación:

$$V_{io} = \frac{V_0}{1 + R_f / T_i}$$

Observe que $R_f$ se vuelve pequeño para minimizar el efecto de la corriente de polarización de entrada.
Nota: Actualmente es posible adquirir amplificadores operacionales de propósito general, como el OP-77, cuyo voltaje de desvío de entrada característico es de 10 uV.



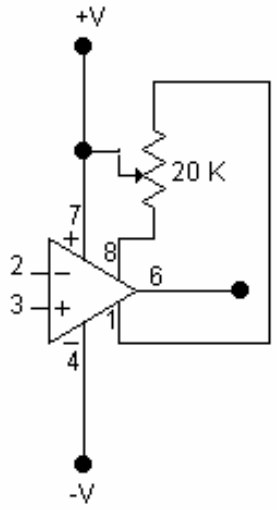

(a) Vio lleva a Vo al valor -Vsat



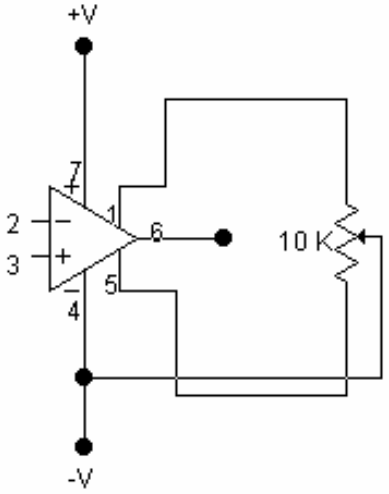

(b) Vio se amplifica lo que produce un error grande en Vo

FIGURA, $V_0$ debería tener un valor de 0 V en (a) y (b), sin embargo, contiene un voltaje de error de cd debido a $V_{io}$. (La componente de error se debe a que la Corriente de polarización se desprecia.)

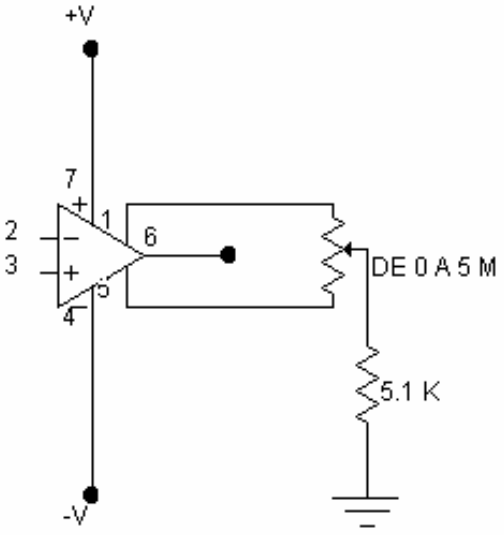
En las hojas de datos de los fabricantes por lo general. se presenta un circuito de anulación de desviaciones. En gran parte de las aplicaciones, el circuito anterior es innecesario ya que usted puede adquirir un amplificador operacional con un voltaje de desvío de entrada lo suficientemente pequeño como para que sus efectos no sean considerables. De cualquier manera se estudiará cómo funcionan, estos circuitos de anulación.



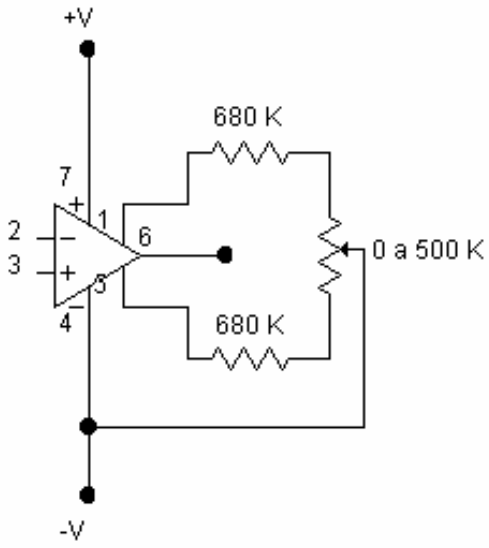

(a) OP-77 Circuito para anular el voltaje de desvio




(b) Ajuste del voltaje de desvioi para el 741 (minidip)




(c) Ajuste del voltaje de desvio del 301 o 748 (encapsulado TO- 99)




(d) Ajuste del voltaje de desvio del 537

FIGURA Circuitos característicos usados para reducir al mínimo los errores del voltaje de salida causados por la voltaje de desvío de entrada y la desviación de la corriente.

**Circuitos para la anulación del voltaje de desvío de entrada**

Podría considerarse la posibilidad de contar con un circuito divisor con resistencias bastante complejo, mediante el cual se pudiera aplicar un pequeño voltaje variable en la terminal de (+) o (-). De esta manera se podrían compensar los efectos del voltaje de desvío de entrada y la desviación de corriente. Sin embargo, los componentes adicionales resultarían más costosos y voluminosos de lo que sería necesario.

Para este efecto sería más práctico solicitar la orientación del fabricante del amplificador operacional. La hoja de datos del amplificador operacional en cuestión contiene un circuito de anulación del voltaje de desvío de entrada recomendado por el mismo constructor. Los amplificadores operacionales tienen terminales especiales para la conexión de circuitos de anulación. Los expertos han diseñado el circuito de anulación de manera que se reduzcan al mínimo los errores de desvío y al costo más bajo para el usuario .

En la figura anterior se aprecian algunos circuitos de anulación del voltaje de salida. En la figura (a) se conecta una resistencia variable entre la alimentación de + V y una terminal de ajuste fino. En el caso de amplificadores operacionales costosos, el fabricante puede proporcionar una resistencia de película de metal seleccionada especialmente para ese amplificador operacional. En la figura (b) se conecta un potenciómetro de 10 k? entre las terminales denominadas de anulación de desvío. En las figuras (c) y (d) se muestran circuitos de anulación más complicados. Observe que el fabricante sólo o presenta las resistencias para compensar el voltaje de desvío. Se supone que se conecta en serie con la entrada (+) una resistencia compensadora de corriente.

**Procedimiento para la anulación del voltaje de salida (en caso de ser necesario)**

1. Construya el circuito de la figura (b).
2. Reduzca todas las señales del generador a 0. Si no es posible pone, estas señales, reemplácelas por resistencias iguales a su resistencia interna. Este paso no es necesario si la resistencia es mínima con respecto a cualquier resistencia en serie R, conectada al generador (más de 1%, aproximadamente).
3. Conecte la carga a la terminal de salida.
4. Encienda y espere unos minutos para dar tiempo a que todo se estabilice.
5. Conecte un voltímetro de cd, o un osciloscopio (acoplado en cd), a través de la carga para medir $V_0$, (La sensibilidad del voltaje deberá permitir una lectura de unos cuantos milivolts.)
6. Varíe la resistencia de ajuste del voltaje hasta que V. sea igual a 0 V. Observe que los errores del voltaje de salida debidos tanto al voltaje de desvío como al desvío de la corriente se reducen al mínimo.
7. Instale las fuentes de señal y no toque de nuevo la resistencia de ajuste de desvío de voltaje.

## DERIVA

Se ha demostrado en este capítulo que los componentes de error de cd presentes en $V_0$ pueden reducirse a un mínimo mediante la instalación de una resistencia compensadora de corriente en serie con la entrada (+) y por el ajuste fino de la resistencia variable del circuito de anulación del voltaje de desvío de entrada. Hay que destacar que el procedimiento de calibración se realiza a una misma temperatura y en una sola vez.

La desviación de la corriente y el voltaje de desvío cambian con el tiempo debido al envejecimiento de los componentes. Las desviaciones también cambian por modificaciones de temperatura en el amplificador o operacional. racional. Además4 si el voltaje de la fuente de alimentación cambia, las corrientes de polarización lo hacen también, y en consecuencia se altera la desviación de la corriente. Mediante el empleo de una fuente de alimentación bien regulada los cambios de salida que dependen del voltaje de la fuente se eliminan. Por otra parte, los cambios de los desvíos por la temperatura se reducen al mínimo únicamente: (1) si se mantiene constante la temperatura que rodea al circuito; o (2) si se seleccionan amplificadores operacionales con valores de corriente y voltaje de desvío que cambien muy poco con las variaciones de temperatura.

Los cambios en los desvíos de la corriente y del voltaje debidos a la temperatura se caracterizan con el término deriva. La deriva se especifica en el caso de las desviaciones en corriente en nA/ºC (nanoamperes por grado Celcius). Para el voltaje de desvío, la deriva se especifica en uV/ºC (microvolts por grado Celsius). Los valores de deriva pueden variar dependiendo de la temperatura e incluso pueden llegar a invertirse; lo que significa que, a bajas temperaturas, Vio puede variar en +20 uV/ºC (aumento) y a al altas temperaturas $V_{io}$ puede llegar a tener como valor -10 uV/ºC (disminución). Por este motivo los fabricantes especifican ya sea una variación promedio o la máxima variación que se produce dentro de los límites  temperatura. Lo que resulta aún mejor es poder contar con gráfica de la deriva en función de la temperatura. El siguiente ejemplo servirá para mostrar cómo calcular los efectos de la deriva.

## RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

### Compensación interna de frecuencia

Tanto los amplificadores operacionales de propósito general como los especializados están compensados internamente; es decir, el fabricante ha instalado dentro de dichos dispositivos un pequeño capacitor, generalmente de 30 picofarads, pF. Este capacitor de compensación interna de frecuencia impide que el amplificador operacional oscile a altas frecuencias. Las oscilaciones se evitan disminuyendo la ganancia del amplificador operacional conforme aumenta la frecuencia. De otra manera habría ganancia y corrimiento de fase suficientes como para que en alguna frecuencia alta la señal de salida pudiera retroalimentarse a la entrada y causar oscilaciones.

De acuerdo con la teoría básica de circuitos, la reactancia de un capacitor disminuye conforme aumenta la frecuencia: $X_c=1/(2\pi fC)$. Por ejemplo, si la frecuencia se incrementa en 10. la reactancia del capacitor disminuye en 10. Por lo tanto. no es accidental que la ganancia de voltaje de un amplificador operacional disminuya a la décima parte conforme la frecuencia de la señal de entrada aumenta en 10. A un cambio de frecuencia por un factor de 10 se le conoce como década. Los fabricantes muestran la manera en que se relaciona la ganancia en lazo abierto del amplificador operacional con la frecuencia de la señal diferencial de entrada mediante una curva llamada ganancia de voltaje en lazo abierto, en función de la frecuencia. La curva también se denomina respuesta a pequeña señal.

**Curva de respuesta en frecuencia**

En la figura que se muestra la curva característica correspondiente a amplificadores Operacionales compensados internamente, como es el caso del 741. A bajas frecuencias (abajo de 0.1 Hz), la ganancia en lazo abierto es muy alta.

Un valor común es de 200,000 (106 dB) y este valor es el que se especifica en las hojas de datos en las que no está presente una curva. Observe que el valor de la "ganancia de voltaje para gran señal", es de 200,000. En cambio, la ganancia en lazo abierto del OP-77 es de 140 dB o 10,000,000.

El punto A de la figura siguiente señala dónde se encuentra la frecuencia de corte y dónde la ganancia de voltaje de 0.707 veces su valor a frecuencias muy bajas. Por lo tanto, la ganancia de voltaje en el punto A (en el que la frecuencia de $E_d$ es de 5 Hz) es alrededor de 140,000 o 0.707 x 200,000.

Los puntos C y D muestran cómo la ganancia decae en un factor de 10 conforme la frecuencia se eleva por un factor también de 10. El cambio de frecuencia o ganancia por un factor de 10 se expresa más correctamente con el término por década. El eje vertical a la derecha de la figura 15 es una gráfica de la ganancia de voltaje en decibeles (dB). La ganancia de voltaje disminuye 20 dB para un incremento en la frecuencia de una década.

Esto explica por qué la curva de respuesta a la frecuencia de A a B se describe como una pendiente de 20 dB/década. Otra manera de describir lo anterior es por medio de una pendiente de 6 dB/octava ("octava" significa duplicar la frecuencia). Por lo tanto, cada vez que la frecuencia se duplica, la ganancia de voltaje disminuye en 6 dB.

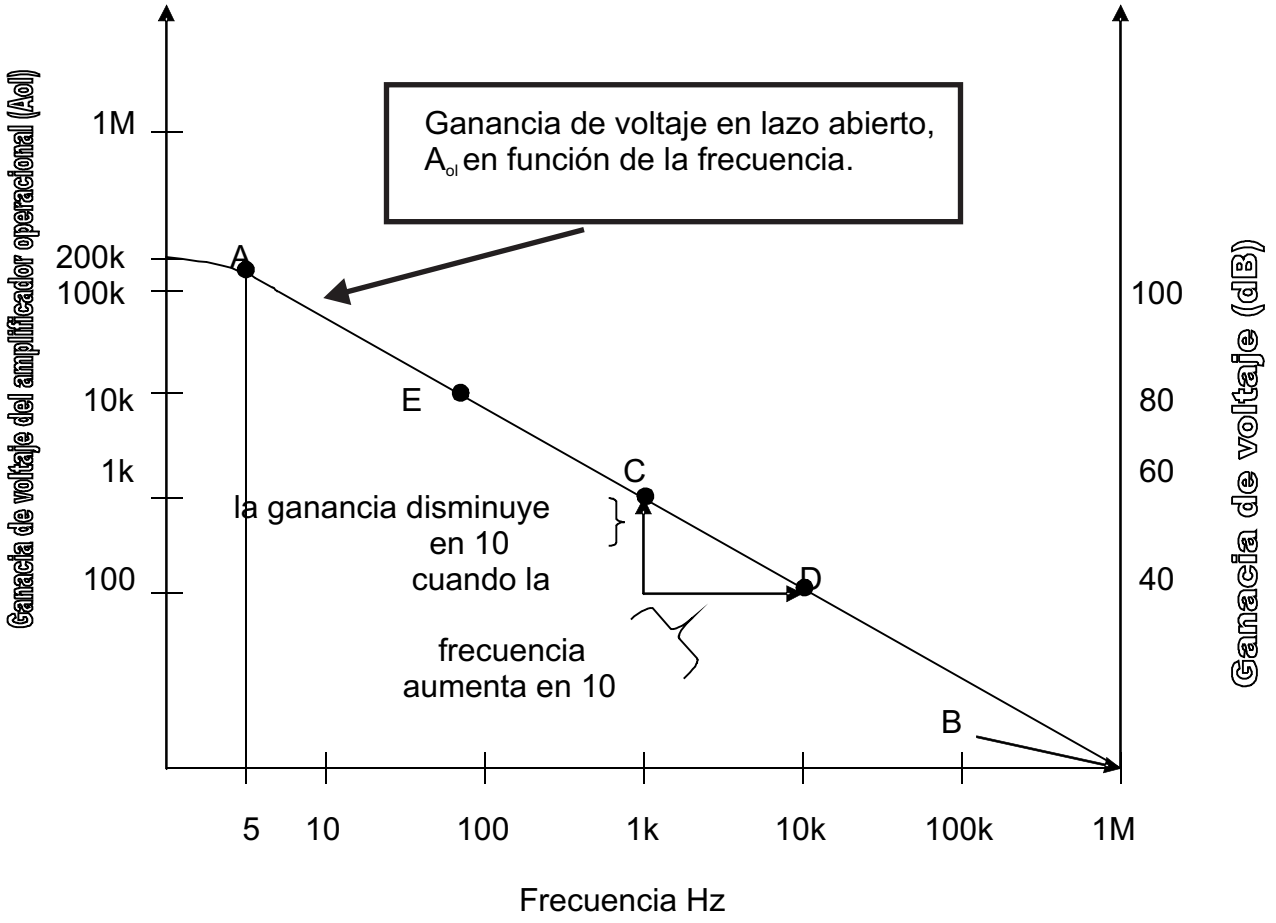



FIGURA Ganancia de voltaje en lazo de un amplificador operacional 741 en función de la frecuencia.

**Ancho de banda de ganancia unitaria**

Cuando para construir un amplificador se utiliza un amplificador operacional y unas cuantas resistencias, la respuesta en frecuencia del amplificador dependerá del amplificador operacional. La característica clave del amplificador operacional se define como la frecuencia para la que la ganancia de dicho amplificador es igual a la unidad, Para representar esta característica se utiliza el símbolo B. Se le da el nombre de ancho de banda de ganancia unitaria para pequeña señal. Más adelante en este capítulo necesitaremos emplear del valor B para predecir la respuesta para alta frecuencia del amplificador construido con dicho amplificador operacional.

En la presente sección se explicarán tres formas de obtener B a partir de la hoja de datos del fabricante. Primero, si cuenta con la gráfica del fabricante de $A_{OL}$ el función de la frecuencia, localice un punto en donde $A_{OL}$ = 1segundo (véase el punto B de la figura anterior B = 1 MHz), algunas hojas de datos no contienen la especificación llamada ancho de banda de ganancia unitaria, o bien una curva como la de la figura 10-1; en cambio, ofrecen una especificación denominada tiempo de subida de respuesta transitoria (ganancia unitaria). En el caso del amplificador 741, normalmente este tiempo es de 0.25 us y, como máximo, 0.8 us. El ancho de banda B se calcula con base en la especificación del tiempo de subida mediante la expresión:

*B = 0.35 / tiempo de subida*

En donde B se expresa en Hertz y el tiempo de subida en segundos.

Los datos que aparecen en la figura anterior son útiles para aprender. aunque probablemente no se apliquen a un amplificador operacional específico. Por ejemplo, si bien 200,000 es una ganancia en lazo abierto característica determinada de un 741, el fabricante sólo garantiza. Aun 20,000 es suficiente para la mayor parte de las aplicaciones.

**Tiempo de subida**

Suponga que el voltaje de entrada $E_1$ de un amplificador de ganancia unitaria por efecto de una onda cuadrada o una señal de pulso cambia de manera muy rápida. Idealmente $E_1$ debería cambiar de 0 V a + 20 mV en un tiempo 0; en la práctica, se requieren unos cuantos nanosegundos para efectuar este cambio. Para el caso de la ganancia unitaria, la salida debe cambiar de 0 a + 20 mV en los mismos nanosegundos. Sin embargo, torna tiempo, que la señal se propague por todos los transistores del amplificador operacional. También toma tiempo que el voltaje de la salida se eleve a su valor final. El tiempo de subida se define como el lapso requerido para que el voltaje de la salida se eleve desde el lo al 90% de su valor final, el tiempo de respuesta de un 741 es de 0.35 us. En consecuencia, transcurrirán 0.35 us para que el voltaje de salida cambie de 2 a 18 mV.

**Ancho de banda para pequeña señal y límites de alta y baja frecuencia**

El intervalo de frecuencia útil de cualquier amplificador (en lazo cerrado o abierto) se define como límite de alta frecuencia $f_H$ y el límite de baja frecuencia, $f_L$ . En $f_L$ y $f_H$ , la ganancia de voltaje baja a 0.707 veces su valor máximo en la mitad del intervalo de frecuencia útil. En términos de decibeles, la ganancia de voltaje está 3dB abajo, entre $f_L$ y $f_H$. Estas Aseveraciones se resumen en la curva de respuesta general a la frecuencia de la siguiente figura.

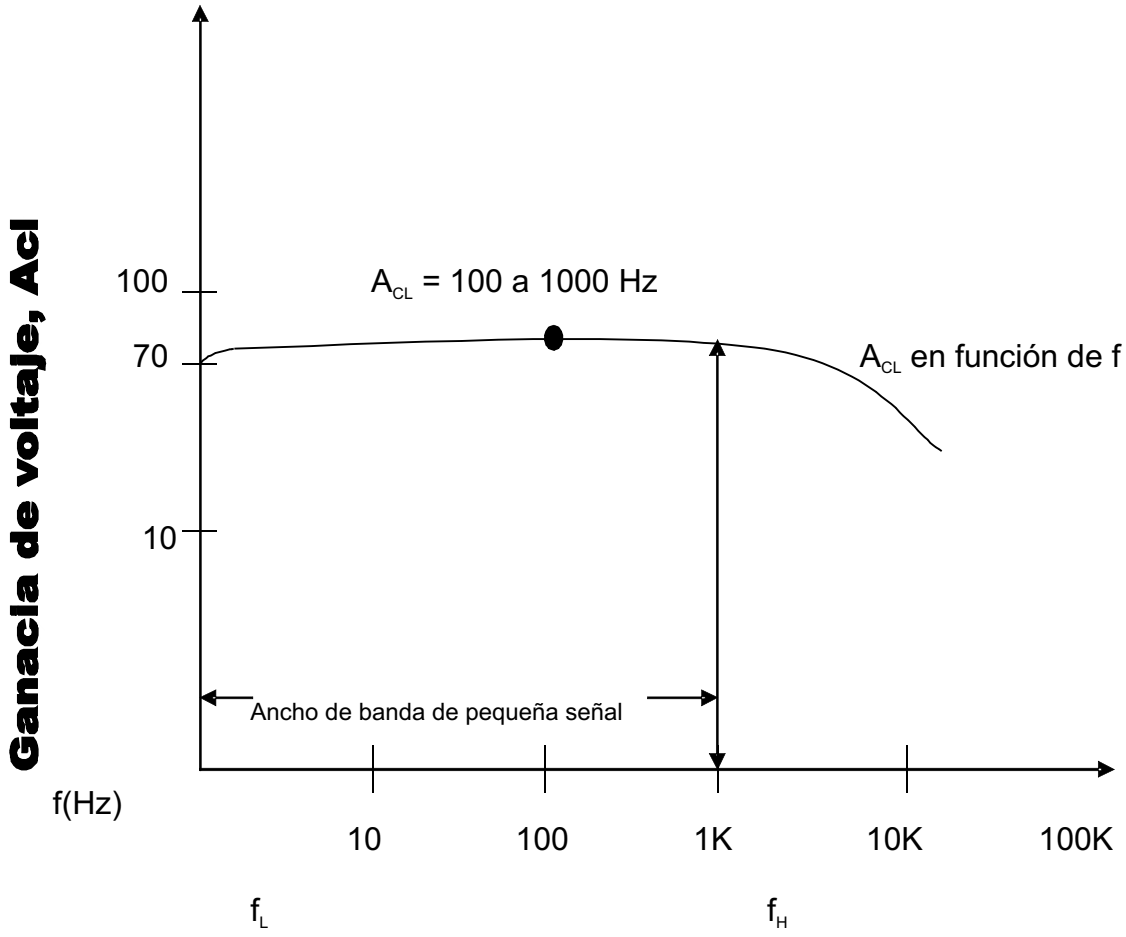



FIGURA Ancho de banda de pequeña señal.

**Medición de la respuesta en frecuencia**

**Procedimiento de laboratorio.**
La curva de respuesta en frecuencia de la figura anterior se podría obtener de la siguiente manera:

1. Se ajusta el voltaje de entrada $E_i$ de un amplificador operacional a un valor adecuado, digamos 30 mV rms.

2. La diferencia senoidal de $E_i$ se fija a un valor correspondiente a la mitad de la banda, por ejemplo 1000 Hz.

3. Se mide el voltaje de salida de media banda; supóngase que es igual a 3.0 V.

4. Se calcula la ganancia de voltaje de media banda, $A_{CL}$ = 3 v/0.030 v = 100.

5. Se calcula el valor esperado de $V_0$ a $f_L$ y $f_H$; $V_0$ = 0.707 (media banda $V_0$). De este modo, $V_0$ = (.707 ) 3V = 2.1 V rms , donde $A_{CL}$ = 70.7.

6. Se mantiene constante la magnitud de $E_i$ en 30 mV. Se reduce la frecuencia del oscilador hasta que $V_0$ = 2.1 V. Se lee la frecuencia en el control del oscilador para obtener la frecuencia de corte inferior $f_L$ .

7. Se mantiene constante la amplitud de $E_i$ a un valor de 30 mV. Se aumenta la frecuencia del oscilador (a más de 1 KHz) hasta que $V_0$ disminuye y vuelve a su valor de 2.1 V. Se lee $f_H$ de la misma manera.

8. Se calcula el ancho de la banda B a partir de B = $f_H$ $f_L$.

Nota: Para los amplificadores de cd, f = 0 ; por lo tanto, B = $f_H$.

Las frecuencias de corte inferior y superior reciben también el nombre de frecuencias de esquina, frecuencias de 3 dB, frecuencias de 0.707 o , sencillamente, frecuencias de corte.

## *ENCAPSULADO Y TERMINALES*

### *Encapsulado*

El amplificador operacional se fabrica en un microcircuito de silicio y se encapsula en un recipiente adecuado. Mediante finos alambres se conecta al microcircuito con terminales externas que salen de un encapsulado de metal, plástico o cerámica. La figura (a), (b), (c) y (d) muestra los encapsulados comunes de los amplificadores operacionales.

El encapsulado metálico de la figura (a) está disponible con 3. 5, 8, 10 y 12 terminales. El microcircuito de silicio está unido a la placa metálica del fondo para disipar el calor.

Mediante una lengüeta se identifica la terminal 8, y las terminales están numeradas en sentido contrario al de las manecillas del reloj si se considera el encapsulado metálico visto desde arriba.

Los conocidos encapsulados doble en línea (DIP) de 14 y 8 terminales se muestran en la Figura (b) y (c). Existen encapsulados de plástico o de cerámica. Vistas desde arriba, un punto o muesca identifica la terminal 1, con las terminales numeradas en sentido contrario al de las manecillas del reloj.

Los circuitos integrados complejos que condenen muchos amplificadores operacionales y otros circuitos integrados se fabrican actualmente en un solo microcircuito de mayor tamaño, o bien se interconectan varios microcircuitos de mayores dimensiones y se montan en un solo encapsulado.

Para facilitar la fabricación y el armado, se usan unas pequeñas “Lengüetas” que reemplazan a las terminales. A la estructura así obtenida se la conoce como tecnología de montaje de superficie (SMT), y se muestra en la figura (a). Estos encapsulados permiten contar con mayor densidad de circuito para un encapsulado de determinado tamaño. Además, estos dispositivos producen menos ruido y tienen mejores características de respuesta a la frecuencia. Para montaje de superficie existen los siguientes componentes: ( 1) *microcircuito con encapsulado de plástico (plastic lead chip carriers, PLCC); (2) circuitos integrados de tamaño pequeño (small outline integrated circuits, SOIC), y (3) encapsulado cerámico (leadless ceramic chip carriers, LCCC).*

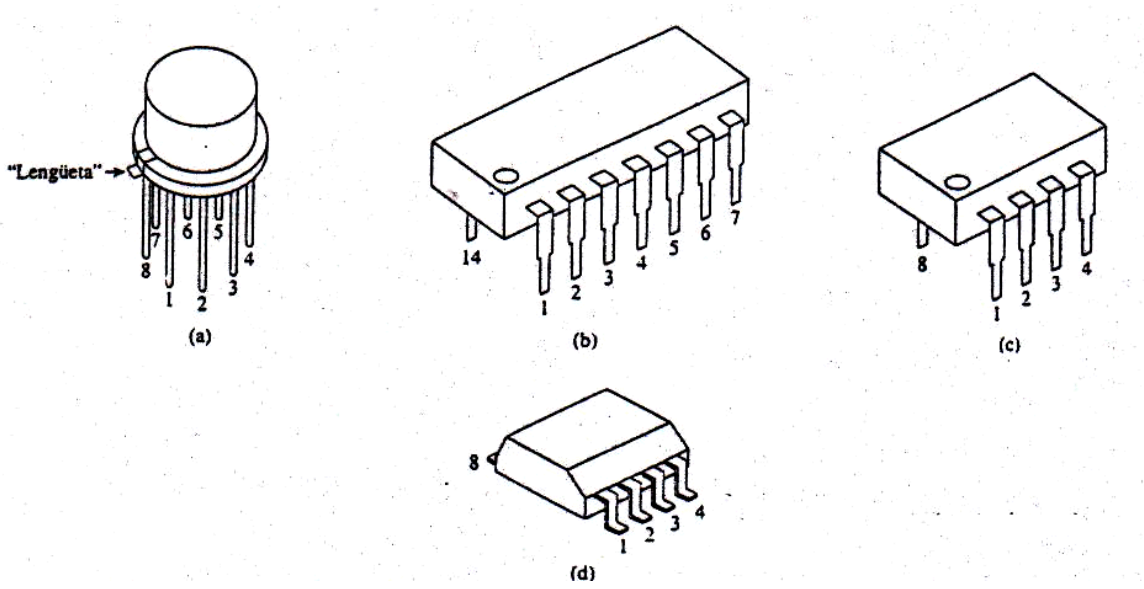



FIGURA Los tres encapsulados más comunes en los amplificadores operacionales son el metálico en (a) y los encapsulados dobles en línea de 8 y 14 terminales en (b) y (c). Por lo que se refiere a los circuitos integrados de alta densidad, en (d) se muestra un encapsulado con tecnología de montaje de superficie.

### *Combinación de símbolo y termínales*

Actualmente los fabricantes integran en un solo dibujo el símbolo del circuito de un amplificador operacional con el encapsulado. Por ejemplo, los cuatro tipos más comunes de encapsulado para el amplificador operacional 741 se muestran en la figura siguiente. Si se comparan las figuras (a) y (d) se puede observar que los esquemas de numeración son idénticos para el encapsulado y para el DIP de 8 terminales. Mediante una muesca o un punto se identifica la terminal 1 de estos dispositivos; con una lengüeta se identifica la terminal 8 en el encapsulado TO-5 (o su similar, TO-99). Cuando la Figura se ve desde arriba, la numeración de las terminales sigue el sentido contrario al de las manecillas del reloj.

*Lo* que resta por aprender en este capítulo es cómo comprar un determinado tipo de amplificador operacional y dar unas recomendaciones sobre las técnicas básicas para el alambrado de circuitos con amplificadores operacionales en una tablilla de experimentación *(proío board o breadboard).*

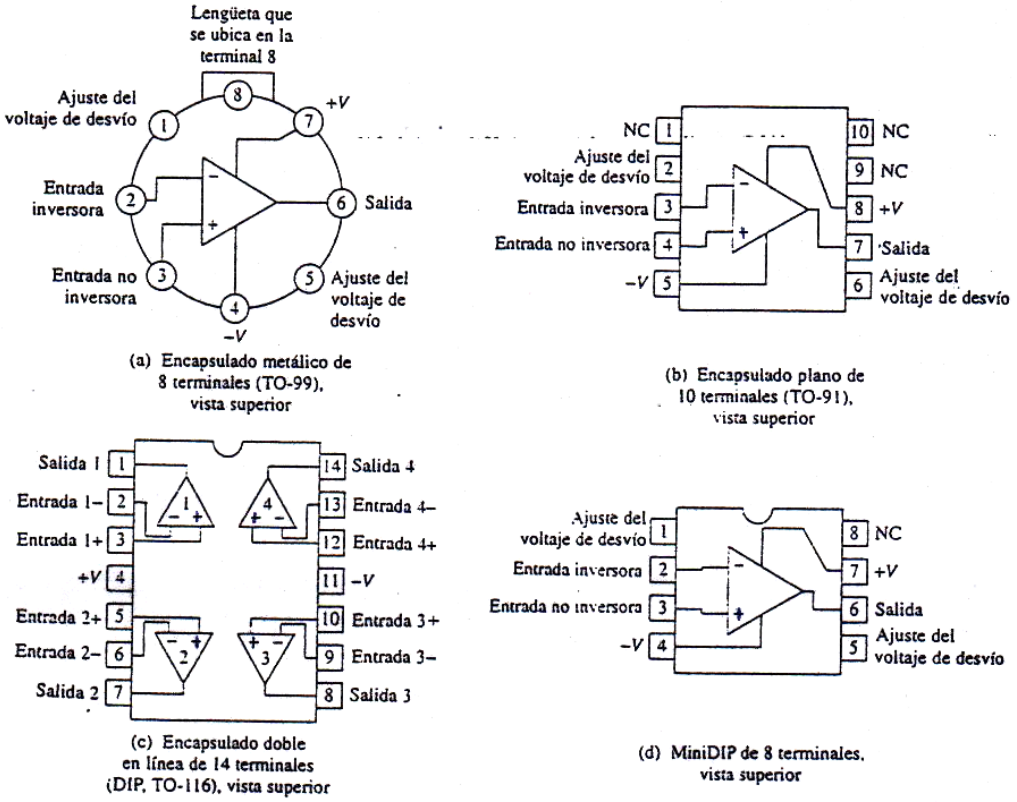



FIGURA Diagrama de conexión para encapsulados típicos de amplificadores operacionales. La abreviatura NC significa “no hay conexión". Es decir, estos terminales no tienen conexión interna y las terminales del amplificador operacional se pueden utilizar para conexiones de reserva. En el diagrama (c) se muestra la configuración de los cuatro amplificadores operacionales en un solo encapsulado. En (c) no se muestran las conexiones internas de -Vy -V.

## *CÓMO IDENTIFICAR 0 ESPECIFICAR UN AMPLIFICADOR OPERACIONAL*

*El código de identificación*

Cada tipo de amplificador operacional tiene un código de identificación de letra y número. Este código responde a las cuatro preguntas siguientes:

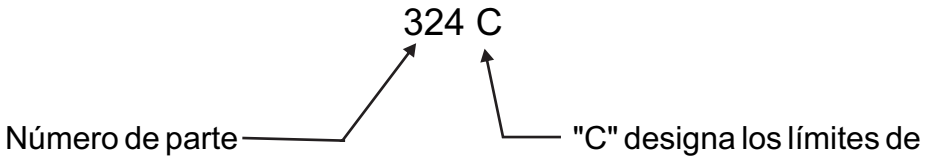
1. ¿De qué tipo de amplificador se trata?
2. ¿Quién lo fabrica? (Ejemplo: Analog Devices).
3. ¿Qué calidad tiene? (Ejemplo: el intervalo garantizado de temperatura de operación.)
4. ¿Qué clase de encapsulado contiene al microcircuito del amplificador operacional? (Ejemplo: DIP de plástico)

No todos los fabricantes utilizan el mismo código, pues la mayoría utiliza un código de identificación que contiene cuatro partes escritas en el siguiente orden: (1) prefijo de letras, (2) número de circuito, (3) sufijo de letras y (4) código de especificación militar.

**Prefijo de letras.** El código de prefijo de letras consta de dos o tres letras mediante las que se identifica al fabricante. En los siguientes ejemplos se ofrecen algunos de los códigos:

| Prefijo literal | Fabricantes |
|---|---|
| AD/OP | Analog Devices |
| CA/HA | Harris |
| LM | Nacional Semiconductor |
| LT | Linear Tecnology |
| MAX | Maxin |
| MC | Mootorola |
| OPA | Burr-Brown |
| TL | Texas Instrumments |
| UA(uA) | Fairchild |

**Número de circuito.** El número de circuito consta de tres a siete números y letras que identifican el tipo de amplificador operacional y su intervalo de temperatura. Por ejemplo:




temperatura comercial

Los tres códigos *del intervalo de temperatura* son:

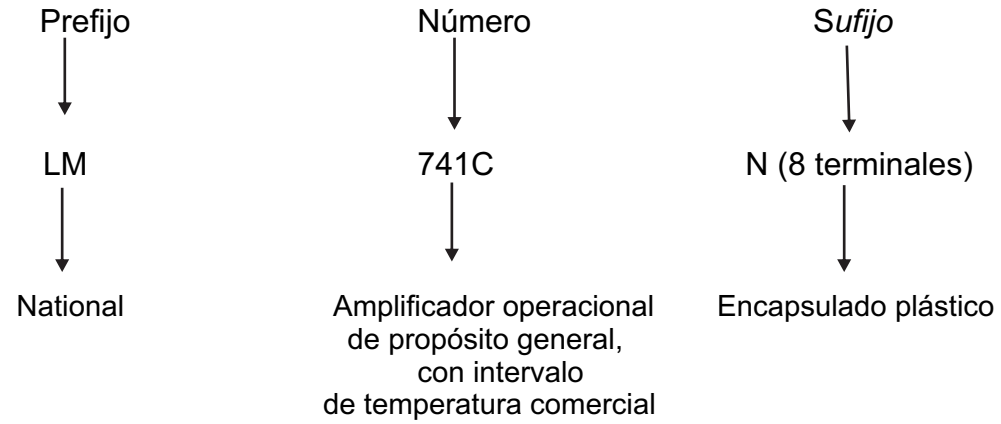
1. C: comercial, de 0 a 70 ºC
2. 1: industrial, de -25 a 85 ºC
3. M: militar, de -55 a 125 ºC

**Sufijo de letras.** El sufijo de una y dos letras identifica el tipo de encapsulado que contiene al microcircuito del amplificador operacional. Es necesario conocer el tipo de encapsulado para conocer las conexiones correspondientes de las terminales de la hoja de especificaciones (véase el apéndice I). A continuación se muestran los tres códigos de sufijos más comunes de los encapsulados:

| Código de encapsulado | Descripción |
|---|---|
| D | De plástico, doble en línea para montaje en la superficie de una tarjeta de circuito impreso |
| J | De cerámica. doble en línea |
| N,P | De plástico, doble en línea para montarse en una base. (Los terminales salen de la superficie superior [cara de componentes) de una tarjeta de circuito impreso y se sueldan en la superficie inferior (cara de soldadura].) |

**Código de especificación militar.** Sólo se emplea cuando la parte se utiliza en aplicaciones de alta confiabilidad.

*Ejemplo de especificación de números para un pedido*
Un amplificador operacional 741 de propósito general se identifica de la siguiente manera:




## *FUENTES SECUNDARIAS*

Algunos amplificadores operacionales son tan empleados que son varios los fabricantes que los producen. A lo anterior se le conoce como *abastecimiento secundario.* La compañía *(Fairchild)* que diseñó y produjo el primer 741 firmó un contrato de cesión de derechos con otros fabricantes autorizándolos a producirlo y obtuvo a cambio autorización para fabricar amplificadores operacionales y otros dispositivos de dichos fabricantes.

Con el tiempo, los fabricantes modificaron y mejoraron el diseño original de¡ 741. El actual 741 corresponde a la quinta o sexta generación. Es decir, si un proveedor proporciona un DIP 741 de 8 terminales, es muy probable que lo haya fabricado *Texas Instruments* (TL741), *Analog Devices* (AD741), *National Semiconductor* (LM74 1) u otra empresa.

Por lo tanto, siempre hay que cerciorarse de que las hojas de información correspondan al dispositivo adquirido. De esta manera se dispondrá de la información relativa a su exacto funcionamiento, así como del código de identificación de dicho dispositivo.

## *CONEXIÓN DE CIRCUITOS DE AMPLIFICADORES OPERACIONALES*

*La fuente de alimentación*

Las fuentes de alimentación de los amplificadores operacionales de propósito general son bipolares. Como se puede observar en la figura (a), las que se obtienen en el mercado generalmente entregan ± 15 V. El término común de las fuentes se refiere al *punto común de ambas fuentes* de + 15 V y -15 V, el cual se representa con el símbolo de tierra: son dos las razones de lo anterior: primero, *todas* las mediciones de voltaje se realizan en relación con ese punto; segundo, el común de la fuente de alimentación suele conectarse al tercer conductor del cable de corriente, el cual conecta con tierra (la que por lo general se toma en la tubería de agua de un sótano), al chasis en donde se aloja la fuente.

En la figura (b) se muestra el diagrama correspondiente a una fuente portátil. En este diagrama se trata de destacar la idea de que una fuente de alimentación bipolar contiene dos fuentes conectadas en serie en el, mismo sentido.

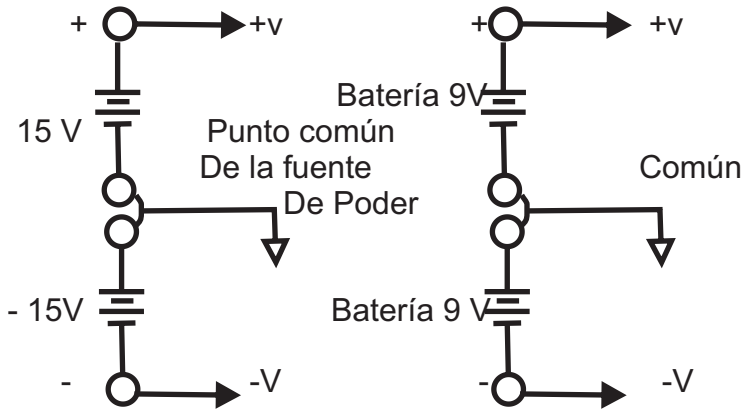



FIGURA Las fuentes de alimentación de los amplificadores operacionales de propósito general son bipolares.

### *Sugerencias para la conexión de amplificadores operacionales*

La intención es que el lector arme todos los circuitos incluidos en este libro utilizando tablillas de prueba a fin de que verifique su funcionamiento. Sólo para algunos de estos circuitos es necesario construir tarjetas de circuito impreso. Antes de proceder a utilizar los amplificadores operacionales, es conveniente citar las siguientes recomendaciones, basadas en la experiencia, sobre cómo hacer las conexiones de un circuito:

1 . Todo el cableado deberá realizarse manteniendo la fuente apagada.

2. Procure que el alambrado y los conductores de los componentes sean lo más cortos posible.

3. Conecte primero las alimentaciones de + V y -V del amplificador operacional. Es sorprendente con cuánta frecuencia se omite este paso fundamental.

4. Trate de alambrar todos los conductores de tierra a un punto de unión, el común de la fuente de poder. Este tipo de conexión se conoce Con el nombre de *tierra en estrella.* No use "canal" de tierra ya que podría crearse un lazo de tierra y generar un indeseable voltaje de ruido.

5. Verifique por segunda vez el alambrado antes de aplicarle corriente al amplificador operacional.

6. Conecte voltajes de señal al circuito sólo después de que el amplificador operacional tenga corriente.

7. Tome todas las mediciones respecto a tierra-, por ejemplo, si una resistencia está conectada entre dos terminales de un circuito integrado, no se conecta un medidor ni un ORC (osciloscopio de rayos catódicos) a las terminales de la resistencia; por el contrario, mida el voltaje en un lado de la resistencia y después en el otro, y luego calcule la caída de voltaje a través de la resistencia.

8. Evite en lo posible el uso de amperímetros Mida el voltaje como en el paso 7 y calcule la corriente.

9. Desconecte la señal de entrada antes de quitar la corriente directa; de lo contrario, podría destruir el circuito integrado.

10. Si bien estos circuitos integrados resisten mucho el mal uso, nunca haga lo siguiente:

a. Invertir la polaridad de las fuentes de alimentación;

b. Conectar las terminales de entrada del amplificador operacional por arriba o por abajo de los potenciales de la terminal + V o de la terminal -V;

c. Dejar conectada una señal de entrada sin haber corriente en el circuito integrado.

11. Si aparecieran oscilaciones indeseables a la salida y si al parecer las conexiones del circuito están bien:

a. Conecte un capacitor de 0. 1 uF entre la terminal + V del amplificador operacional y tierra y otro capacitor de 0. 1 uF entre la terminal -V del amplificador operacional y tierra.

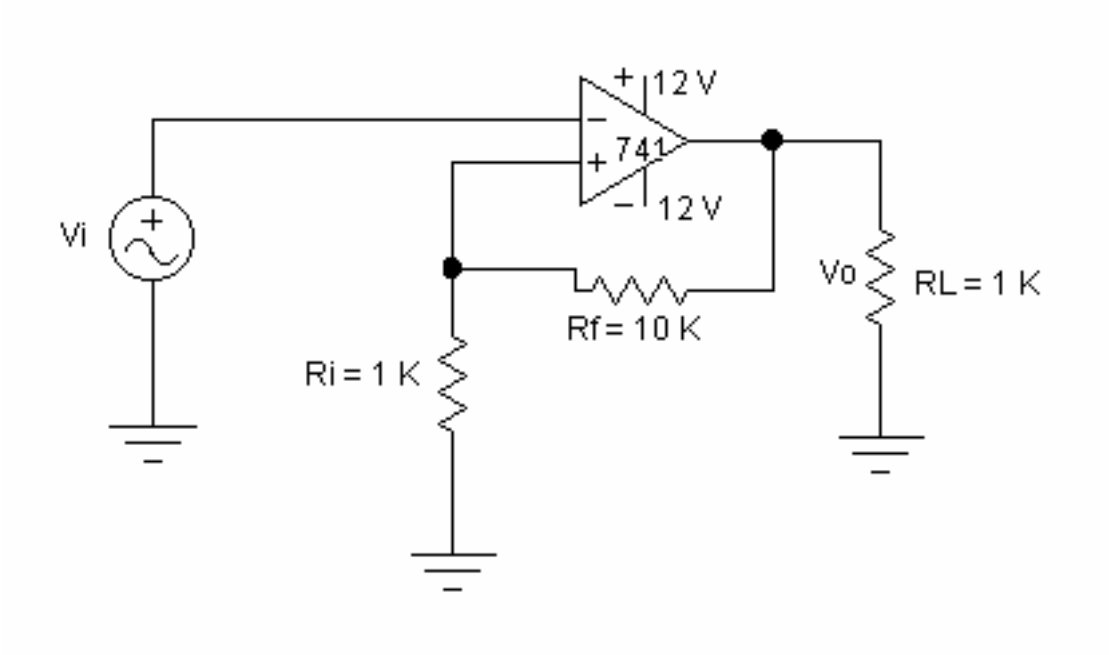
b. Acorte los alambres o conductores.

c. Revise los alambres de tierra del instrumento de prueba, del generador de señal, de la carga y de la fuente de poder. Todos deberán reunirse en un punto.

12. Los mismos principios anteriores se aplican en todos los demás tipos de circuitos integrados lineales.

# TAREA 2

# MONTAJE DE CIRCUITOS CON OPAMP




| N° | OPERACIONES | MATERIALES / INSTRUMENTOS |
|---|---|---|
| 01<br>02<br>03 | -Armar amplificador seguidor de tensión de ganancia unitaria<br>-Armar y medir amplificador no inversor<br>-Armar y medir amplificador inversor | - uA 741<br>- resistores<br>- multímetro digital<br>- generador de funciones<br>- osciloscopio de doble canal<br>- protoboard<br>- fuente de alimentación simétrica |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 01 | 01 | | | |
| PZA. | CANT. | **DENOMINACIÓN - NORMA /DIMENSIONES** | | OBSERVACIONES |
| SENATI PERÚ | | MONTAJE DE CIRCUITOS CON OPAMP | HT 02 | REF. |
| | | **ELECTRÓNICO INDUSTRIAL** | TIEMPO: | HOJA: 1/1 |
| | | | ESCALA: | 2005 |



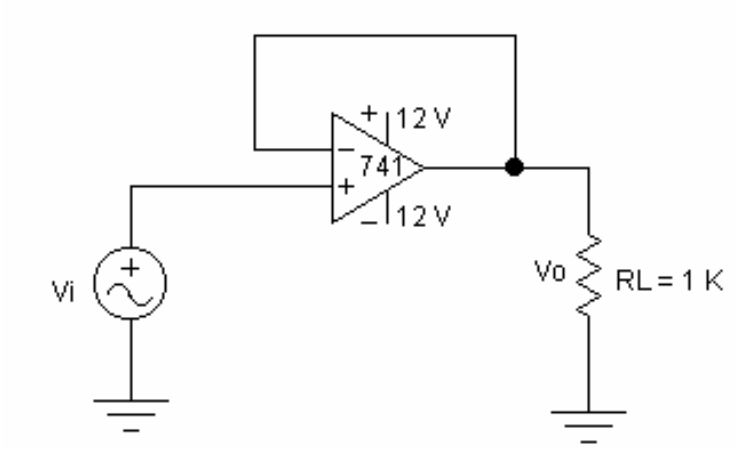
40

**OPERACIÓN**

**ARMAR AMPLIFICADOR SEGUIDOR DE TENSIÓN DE GANANCIA UNITARIA**

**PROCESO OPERACIONAL**

**Paso 1.** armar el circuito de la figura




**Paso 2.** Aplicar un voltaje Vi de 100 mV con el generador de funciones

**Paso 3.** Medir con el osciloscopio la entrada y salida y verificar que se cumple la amplificación según formula teórica

$$Vo = Vi$$

**Paso 4.** Variar Vi y medir el voltaje de salida

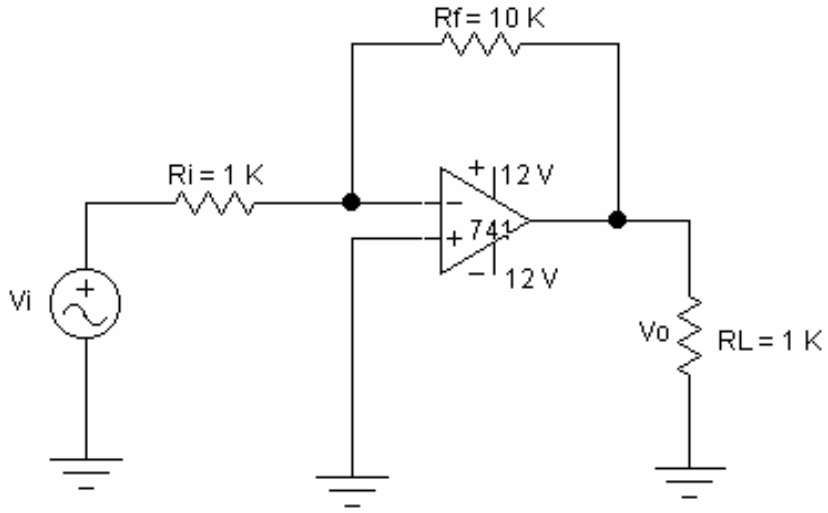
| **Vi** | **Vo** |
|---|---|
| 100 mV | |
| 500 mV | |
| 1 V | |
| 2 V | |

## OPERACIÓN

## ARMAR Y MEDIR AMPLIFICADOR INVERSOR

## PROCESO OPERACIONAL

**Paso 1.** Armar el circuito mostrado




**Paso 2.** Aplicar un voltaje Vi de 100 mV con el generador de funciones

**Paso 3.** Medir con el osciloscopio la entrada y salida y verificar que se cumple la amplificación según formula teórica

$$Vo = (-Rf/Ri) \times Vi$$

**Paso 4**. Cambiar Rf con valores según la tabla y medir el voltaje de salida

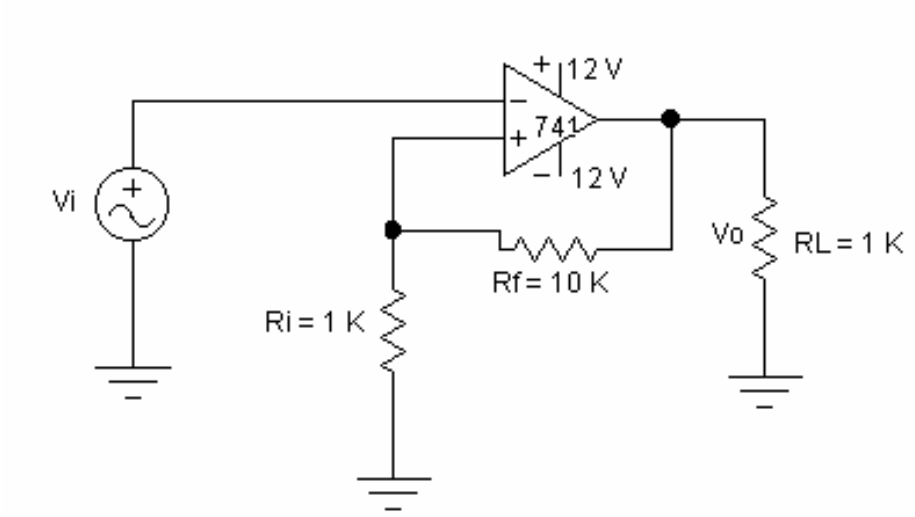
| Rf | Vi | Vo |
|---|---|---|
| 1 K | 100 mV | |
| 4,7 K | 100 mV | |
| 10 K | 100 mV | |
| 15 K | 100 mV | |

**OPERACIÓN**

**ARMAR Y MEDIR AMPLIFICADOR NO INVERSOR**

**PROCESO OPERACIONAL**

**Paso 1**. Armar el circuito mostrado.




**Paso 2.** Aplicar un voltaje Vi de 100 mV con el generador de funciones

**Paso 3.** Medir con el osciloscopio la entrada y salida y verificar que se cumple la amplificación según formula teórica

$$Vo = (-Rf/Ri + 1) \times Vi$$

**Paso 4.** Cambiar Rf con valores según la tabla y medir el voltaje de salida

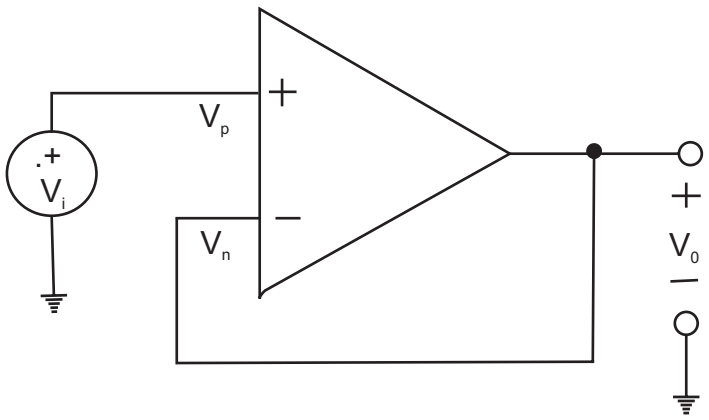
| Rf | Vi | Vo |
|---|---|---|
| 1 K | 100 mV | |
| 4,7 K | 100 mV | |
| 10 K | 100 mV | |
| 15 K | 100 mV | |

## Configuraciones básicas del amplificador operacional

Los amplificadores operacionales se pueden conectar según dos circuitos amplificadores básicos: las configuraciones (1) **inversora** y (2) **no inversora**. Casi todos los demás circuitos con amplificadores operacionales están basados, de alguna forma, en estas dos configuraciones básicas. Además, existen variaciones estrechamente relacionadas de estos dos circuitos, más otro circuito básico que es una combinación de los dos primeros: el **amplificador diferencial**.

## El seguidor de tensión

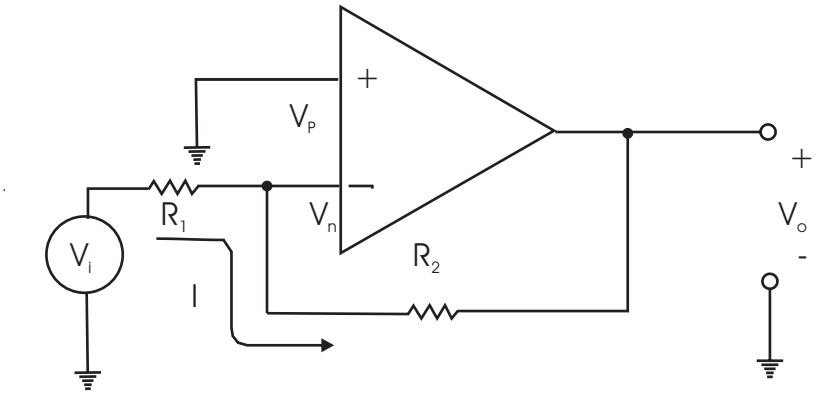
Una modificación especial del amplificador no inversor es la etapa de ganancia unidad mostrada en la figura




En este circuito, la resistencia de entrada se ha incrementado hasta infinito, y $R_F$ es cero, y la realimentación es del 100%. $V_0$ es entonces exactamente igual a Vi, dado que Es = 0. El circuito se conoce como "seguidor de emisor" puesto que la salida es una réplica en fase con ganancia unidad de la tensión de entrada. La impedancia de entrada de esta etapa es también infinita.

## El amplificador inversor

La figura  ilustra la primera configuración básica del AO. El amplificador inversor. En este circuito, la entrada (+) está a masa, y la señal se aplica a la entrada (-) a través de $R_1$, con realimentación desde la salida a través de $R_2$.




Aplicando las propiedades anteriormente establecidas del AO ideal, las características distintivas de este circuito se pueden analizar como sigue.

Puesto que el amplificador tiene ganancia infinita, desarrollará su tensión de salida, $V_0$, con tensión de entrada nula. Ya que, la entrada diferencial de A es:

$$V_d = V_p - V_n, \Longrightarrow V_o = 0 \qquad \text{si } V_d = 0$$

entonces toda la tensión de entrada $V_i$, deberá aparecer en $R_1$, obteniendo una corriente en $R_1$

$$I = \frac{V_i}{R_1}$$

Toda la corriente I que circula por $R_1$ pasará por $R_2$, puesto que no se derivará ninguna corriente hacia la entrada del operacional (Impedancia infinita), así pues el producto de I por $R_2$ será igual a - $V_0$

$$I = -\frac{V_0}{R_2}$$

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_0}{R_2}$$

por lo que:

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i$$

**Luego la ganancia del amplificador inversor:**

$$\frac{V_0}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

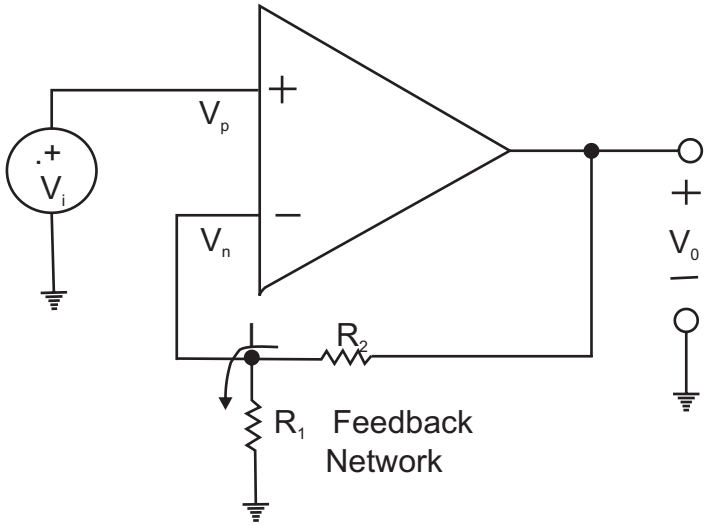
Deben observarse otras propiedades adicionales del amplificador inversor ideal. La ganancia se puede variar ajustando bien $R_1$, o bien $R_2$. Si $R_2$ varía desde cero hasta infinito, la ganancia variará también desde cero hasta infinito, puesto que es directamente proporcional a $R_2$. La impedancia de entrada es igual a $R_1$, y $V_i$ y $R_1$ únicamente determinan la corriente I, por lo que la corriente que circula por $R_2$ es siempre I, para cualquier valor de dicha $R_2$.

La entrada del amplificador, o el punto de conexión de la entrada y las señales de realimentación, es un nudo de tensión nula, independientemente de la corriente I. Luego, esta conexión es un punto de tierra virtual, un punto en el que siempre habrá el mismo potencial que en la entrada (+). Por tanto, este punto en el que se suman las señales de salida y entrada, se conoce también como nudo suma. Esta última característica conduce al tercer axioma básico de los amplificadores operacionales, el cual se aplica a la operación en bucle cerrado: **En bucle cerrado, la entrada (-) será regulada al potencial de entrada (+) o de referencia.**

Esta propiedad puede aún ser o no ser obvia, a partir de la teoría de tensión de entrada de diferencial nula. Es, sin embargo, muy útil para entender el circuito del AO, ver la entrada (+) como un terminal de referencia, el cual controlará el nivel que ambas entradas asumen. Luego esta tensión puede ser masa (como en la figura 2), o cualquier potencial que se desee.

## El amplificador no inversor

La segunda configuración básica del AO ideal es el amplificador no inversor, mostrado en la figura 3.




En este circuito, la tensión $V_i$ se aplica a la entrada (+), y una fracción de la señal de salida, Vo, se aplica a la entrada (-) a través del divisor de tensión $R_1$ - $R_2$. Puesto que, no fluye corriente de entrada en ningún terminal de entrada, y ya que $V_d = 0$, la tensión en R1 será igual a $V_i$.

Así pues

$$V_i = I \cdot R_1$$

y como

$$V_0 = I \cdot (R_1 + R_2)$$

Tendremos pues que:

$$V_0 = \frac{V_i}{R_1} \cdot (R_1 + R_2)$$

que si lo expresamos en términos de ganancia:

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

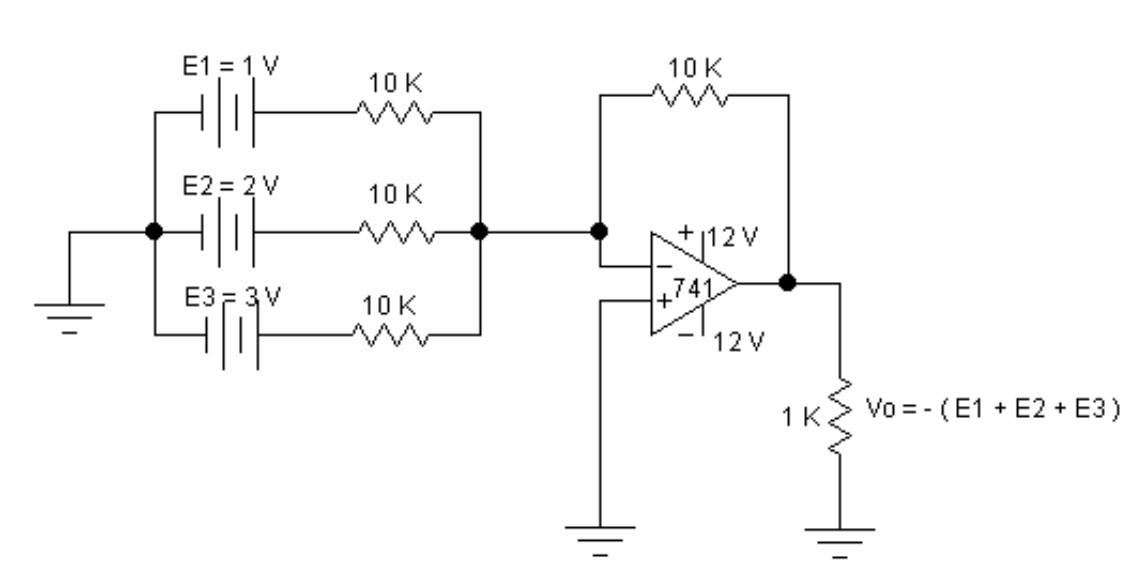
que es la ecuación característica de ganancia para el amplificador no inversor ideal.

También se pueden deducir propiedades adicionales para esta configuración. El límite inferior de ganancia se produce cuando $R_2 = 0$, lo que da lugar a una ganancia unidad.

En el amplificador inversor, la corriente a través de $R_1$ siempre determina la corriente a través de $R_2$, independientemente del valor de $R_2$, esto también es cierto en el amplificador no inversor. Luego $R_2$ puede utilizarse como un control de ganancia lineal, capaz de incrementar la ganancia desde el mínimo unidad hasta un máximo de infinito. La impedancia de entrada es infinita, puesto que se trata de un amplificador ideal.

# TAREA 3

# MONTAJE DE CIRCUITOS DE APLICACIÓN MATEMÁTICA




| N° | OPERACIONES | MATERIALES / INSTRUMENTOS |
|---|---|---|
| 01<br>02<br>03<br>04 | -Armar y medir amplificador sumador<br>-Armar y medir amplificador restador<br>-Armar y medir amplificador derivador<br>-Armar y medir amplificador integrador | - uA 741<br>- resistores<br>- condensadores<br>- multimetro digital<br>- generador de funciones<br>- osciloscopio de doble canal<br>- protoboard<br>- fuente de alimentación simétrica<br>- fuente de alimentación simple |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 01 | 01 | | | |
| PZA. | CANT. | **DENOMINACIÓN - NORMA /DIMENSIONES** | | OBSERVACIONES |
| SENATI PERÚ | | MONTAJE DE CIRCUITOS DE APLICACIÓN MATEMATICAS | HT 03 | REF. |
| | | **ELECTRÓNICO INDUSTRIAL** | TIEMPO: | HOJA: 1/1 |
| | | | ESCALA: | 2005 |

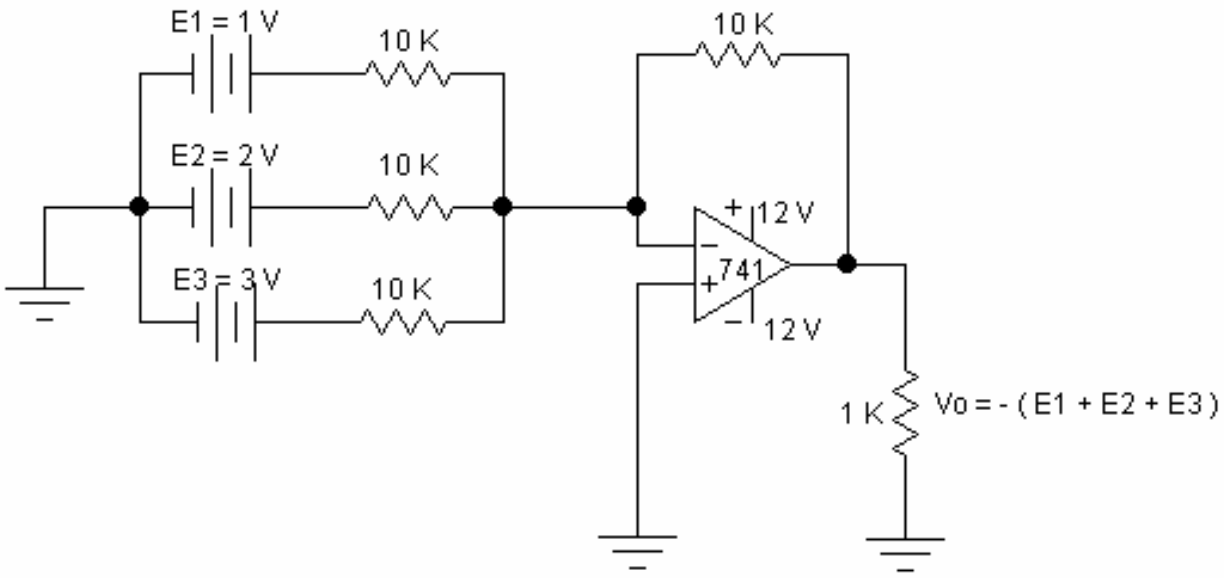

50

**OPERACIÓN**

**ARMAR Y MEDIR AMPLIFICADOR SUMADOR**

**PROCESO OPERACIONAL**

**Paso 1 .** Armar el circuito de la figura.




**Paso 2.** Verificar que en la salida se cumple que:

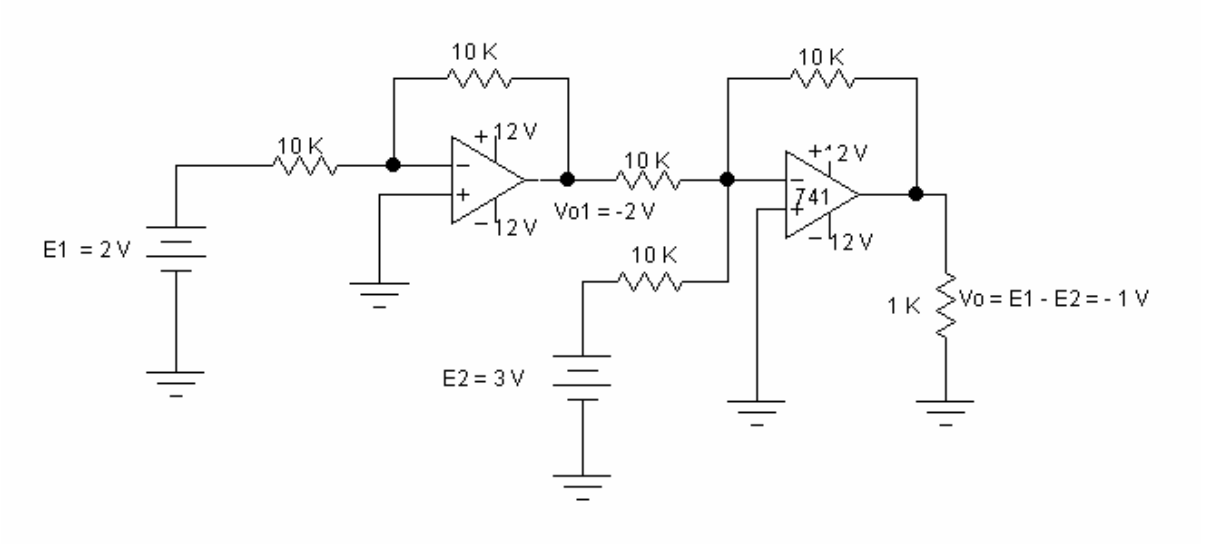
$$Vo = - ( E1 + E2 + E3 )$$

## OPERACIÓN

## ARMAR Y MEDIR AMPLIFICADOR RESTADOR

## PROCESO OPERACIONAL

**Paso 1.** Armar el circuito mostrado.




**Paso 2 .** Aplicar E1 = 2 V y E2 = 3 V

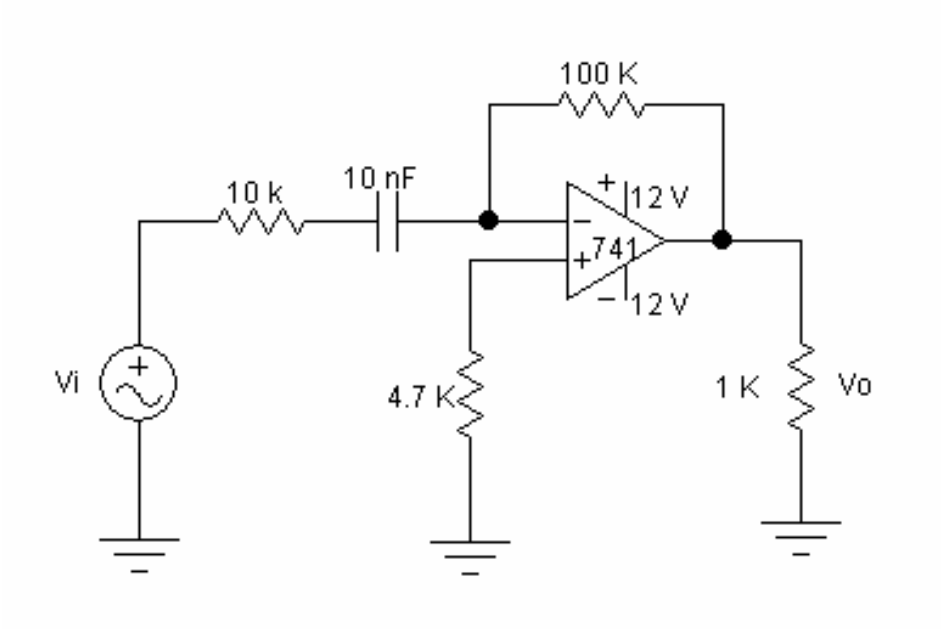
**Paso 3.** Verificar que la salida se tiene Vo = -1 V

**OPERACIÓN**

**ARMAR Y MEDIR AMPLIFICADOR DERIVADOR**

**PROCESO OPERACIONAL**

**Paso 1.** Armar el circuito mostrado.




**Paso 2.** Ajuste el generador de funciones ( Vi ) para proporcionar una onda triangular con amplitud de 200 mV (pico) y 100 Hz de frecuencia.
**Paso 3 .** Conectar el canal 1 del osciloscopio a la entrada del circuito y el canal 2 a la salida del mismo

**Paso 4.** Observar lo que sucede y dibuje las formas de onda entrada y de salida del circuito.

**Paso 5.** Ajustar el generador de funciones a 1 Khz, manteniendo la amplitud de la señal en 200 mV pico. Observe y dibuje las formas de onda de las dos señales de entrada y se salida.

**Paso 6.** Aumentar la frecuencia del generador de funciones a 10 kHz (mantenga la amplitud en 200 mV pico). Observe y dibuje las formas de onda de las dos señales de entrada y de salida.

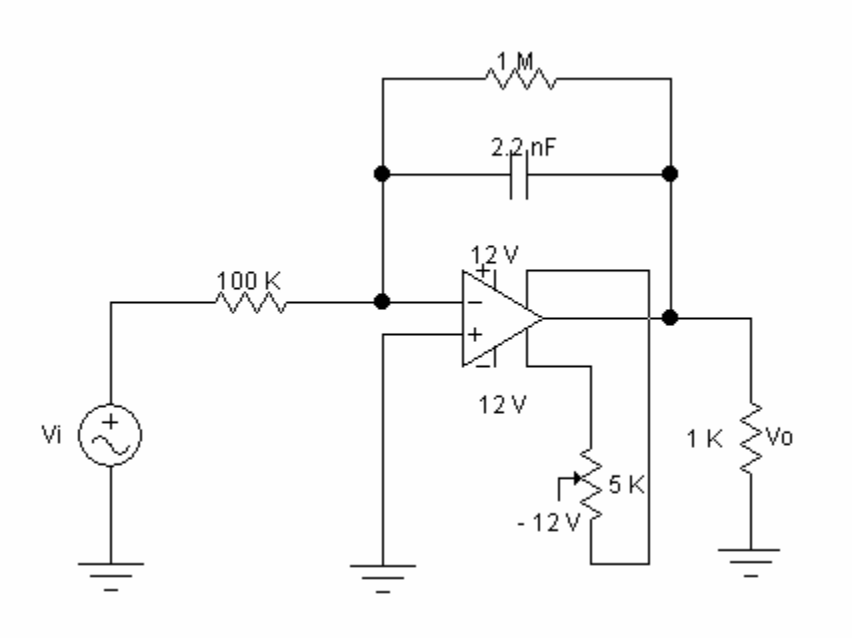
**Paso 7.** Ajustar el generador de funciones en 200 mV pico y 1 kHz de frecuencia. Aplique en la entrada del circuito las siguientes formas de onda: senoidal y cuadrada. Observe y dibuje las formas de onda de las dos señales de entrada y se salida.

## OPERACIÓN

## ARMAR Y MEDIR AMPLIFICADOR INTEGRADOR

## PROCESO OPERACIONAL

**Paso 1.** Armar el circuito mostrado.




**Paso 2.** Ajustar el generador de funciones para proporcionar una onda cuadrada con amplitud de 500 mV pico y frecuencia de 100 Hz

**Paso 3.** Conectar el canal 1 del osciloscopio en la entrada del circuito y el canal 2 a la salida del mismo.

**Paso 4.** Observar lo que sucede y dibuje las formas de onda entrada y de salida del circuito.

**Paso 5.** Ajustar el generador de funciones a 1 Khz, manteniendo la amplitud de la señal en 200 mV pico. Observe y dibuje las formas de onda de las dos señales de entrada y se salida.

**Paso 6.** Aumentar la frecuencia del generador de funciones a 10 kHz (mantenga la amplitud en 200 mV pico). Observe y dibuje las formas de onda de las dos señales de entrada y de salida.

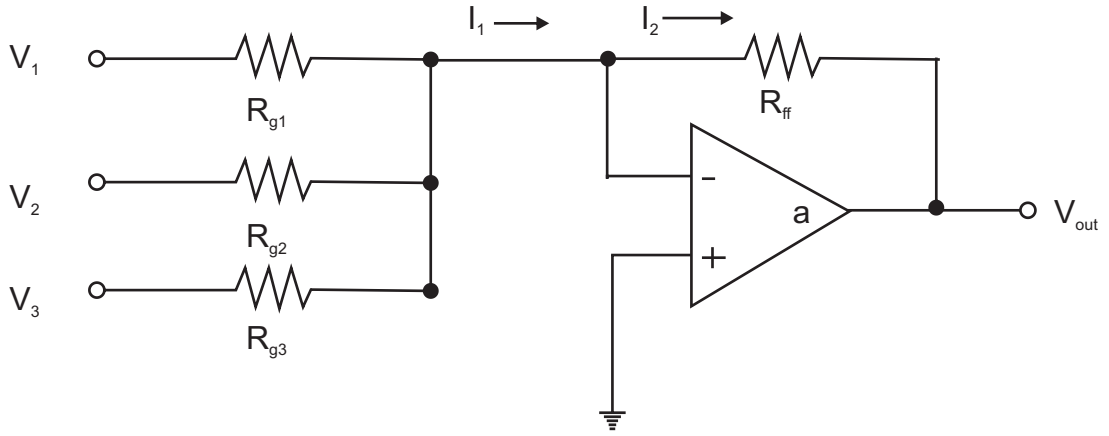
**Paso 7.** Ajustar el generador de funciones en 200 mV pico y 1 kHz de frecuencia. Aplique en la entrada del circuito las siguientes formas de onda: senoidal y cuadrada. Observe y dibuje las formas de onda de las dos señales de entrada y se salida.

## OBSERVACIÓN

Hacer el ajuste de OFFSET del circuito en cada medición, pues el cambio de la forma de onda desfasa la referencial de señal de salida

**El sumador inversor**

Utilizando la característica de tierra virtual en el nudo suma (-) del amplificador inversor, se obtiene una útil modificación, el sumador inversor,




En este circuito, como en el amplificador inversor, la tensión V(+) está conectada a masa, por lo que la tensión V(-) estará a una masa virtual, y como la impedancia de entrada es infinita toda la corriente $I_1$ circulará a través de $R_F$ y la llamaremos $I_2$.

Lo que ocurre en este caso es que la corriente $I_1$ es la suma algebraica de las corrientes proporcionadas por $V_1$, $V_2$ y $V_3$, es decir:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_{g1}} + \frac{V_2}{R_{G2}} + \frac{V_3}{R_{g3}}$$

y también

$$I_2 = -\frac{V_{OUT}}{R_F}$$

Como $I_1 = I_2$ concluiremos que:

$$V_{OUT} = -\left[ V_1 \cdot \frac{R_F}{R_{G1}} + V_2 \cdot \frac{R_F}{R_{G2}} + V_3 \cdot \frac{R_F}{R_{G3}} \right]$$

que establece que la tensión de salida es la suma algebraica invertida de las tensiones de entrada multiplicadas por un factor corrector, que el alumno puede observar que en el caso en que $R_F = R_{G1} = R_{G2} = R_{G3} ==> V_{OUT} = - (V_1 + V_2 + V_3)$

La ganancia global del circuito la establece $R_F$, la cual, en este sentido, se comporta como en el amplificador inversor básico. A las ganancias de los canales individuales se les aplica independientemente los factores de escala $R_{G1}$, $R_{G2}$, $R_{G3}$,... étc. Del mismo modo, $R_{G1}$, $R_{G2}$ y $R_{G3}$ son las impedancias de entrada de los respectivos canales.

Otra característica interesante de esta configuración es el hecho de que la mezcla de señales lineales, en el nodo suma, no produce interacción entre las entradas, puesto que todas las fuentes de señal alimentan el punto de tierra virtual. El circuito puede acomodar cualquier número de entradas añadiendo resistencias de entrada adicionales en el nodo suma.

Aunque los circuitos precedentes se han descrito en términos de entrada y de resistencias de realimentación, las resistencias se pueden reemplazar por elementos complejos, y los axiomas de los amplificadores operacionales se mantendrán como verdaderos. Dos circuitos que demuestran esto, son dos nuevas modificaciones del amplificador inversor.

**El amplificador diferencial.-**

La configuración del AO conocida como el amplificador diferencial, es una combinación de las dos configuraciones anteriores. Aunque está basado en los otros dos circuitos, el amplificador diferencial tiene características únicas. Este circuito, mostrado en la figura, tiene aplicadas señales en ambos terminales de entrada, y utiliza la amplificación

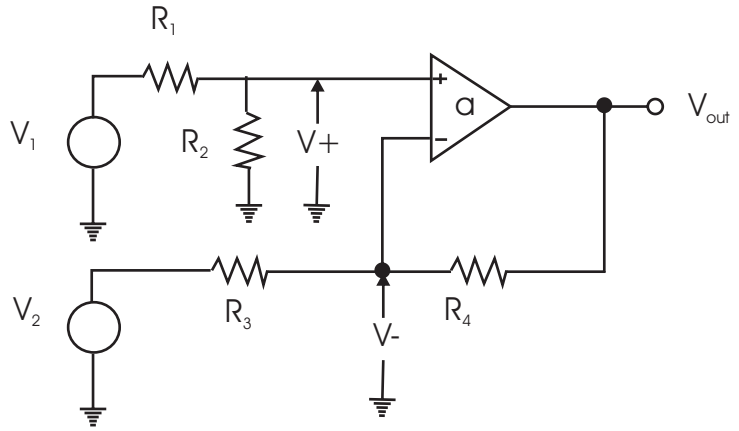



**Fig.**

Para comprender el circuito, primero se estudiarán las dos señales de entrada por separado, y después combinadas. Como siempre $V_d = 0$ y la corriente de entrada en los terminales es cero.

Recordar que $V_d = V(+) - V(-) \Rightarrow V(-) = V(+)$

La tensión a la salida debida a $V_1$ la llamaremos $V_{01}$

$$V(+) = \frac{V_1}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

y como $V(-) = V(+)$

La tensión de salida debida a $V_1$ (suponiendo $V_2 = 0$) valdrá:

$$V_{02} = \frac{V_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_3}$$

Y la salida debida a $V_2$ (suponiendo $V_1 = 0$) será, usando la ecuación de la ganancia para el circuito inversor, $V_{02}$

$$V_{02} = -V_2 \frac{R_4}{R_3}$$

Y dado que, aplicando el teorema de la superposición la tensión de salida $V_0 = V_{01} + V_{02}$ y haciendo que $R_3$ sea igual a $R_1$ y $R_4$ igual a $R_2$ tendremos que:

$$V_{01} = \frac{V_1 \cdot R_2}{R_1} V_{02} = -V_2 \frac{R_2}{R_1}$$

por lo que concluiremos

$$V_0 = (V_1 - V_2) \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

que expresando en términos de ganancia:

$$\frac{V_0}{V_1 - V_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

que es la ganancia de la etapa para señales en modo diferencial.

Esta configuración es única porque puede rechazar una señal común a ambas entradas. Esto se debe a la propiedad de tensión de entrada diferencial nula, que se explica a continuación.

En el caso de que las señales $V_1$ y $V_2$ sean idénticas, el análisis es sencillo. $V_1$ se dividirá entre $R_1$ y $R_2$, apareciendo una menor tensión V(+) en $R_2$. Debido a la ganancia infinita del amplificador, y a la tensión de entrada diferencial cero, una tensión igual V(-) debe aparecer en el nudo suma (-). Puesto que la red de resistencias $R_3$ y $R_4$ es igual a la red $R_1$ y $R_2$, y se aplica la misma tensión a ambos terminales de entrada, se concluye que Vo debe estar a potencial nulo para que V(-) se mantenga igual a V(+); Vo estará al mismo potencial que $R_2$, el cual, de hecho está a masa. Esta muy útil propiedad del amplificador diferencial, puede utilizarse para discriminar componentes de ruido en modo común no deseables, mientras que se amplifican las señales que aparecen de forma diferencial. Si se cumple la relación:

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$$

La ganancia para señales en modo común es cero, puesto que, por definición, el amplificador no tiene ganancia cuando se aplican señales iguales a ambas entradas.

Las dos impedancias de entrada de la etapa son distintas. Para la entrada (+), la impedancia de entrada es $R_1 + R_2$. La impedancia para la entrada (-) es $R_3$. La impedancia de entrada diferencial (para una fuente flotante) es la impedancia entre las entradas, es decir, $R_1+R_3$.

**El integrador**

Se ha visto que ambas configuraciones básicas del AO actúan para mantener constantemente la corriente de realimentación, $I_F$ igual a $I_{IN}$.

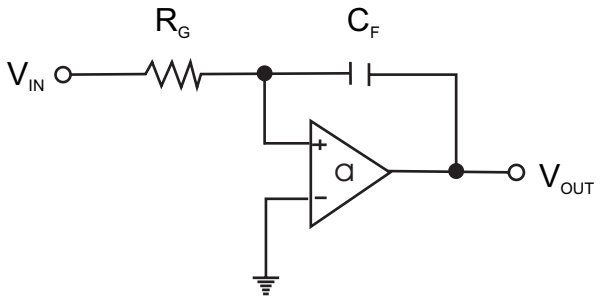



**Fig.**

Una modificación del amplificador inversor, el integrador, mostrado en la figura 6, se aprovecha de esta característica. Se aplica una tensión de entrada $V_{IN}$, a $R_G$, lo que da lugar a una corriente $I_{IN}$.

Como ocurría en el amplificador inversor, V(-) = 0, puesto que V(+) = 0, y por tener impedancia infinita toda la corriente de entrada Iin pasa hacia el condensador $C_F$, llamaremos a esta corriente $I_F$.

El elemento realimentador en el integrador es el condensador $C_F$. Por consiguiente, la corriente constante $I_F$, en $C_F$ da lugar a una rampa lineal de tensión. La tensión de salida es, por tanto, la integral de la corriente de entrada, que es forzada a cargar $C_F$ por el lazo de realimentación.

La variación de tensión en $C_F$ es

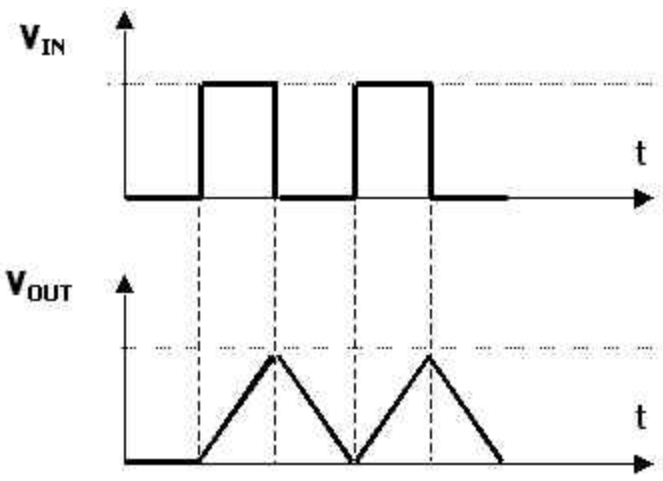
$$-\Delta V_{OUT} = \frac{I_{IN} \cdot \Delta t}{C_F}$$

lo que hace que la salida varíe por unidad de tiempo según:

$$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta t} = \frac{-V_{IN}}{R_G \cdot C_F}$$

Como en otras configuraciones del amplificador inversor, la impedancia de entrada es simplemente $R_G$

Obsérvese el siguiente diagrama de señales para este circuito.



Por supuesto la rampa dependerá de los valores de la señal de entrada, de la resistencia y del condensador.

***El diferenciador***

Una segunda modificación del amplificador inversor, que también aprovecha la corriente en un condensador es el diferenciador mostrado en la figura .

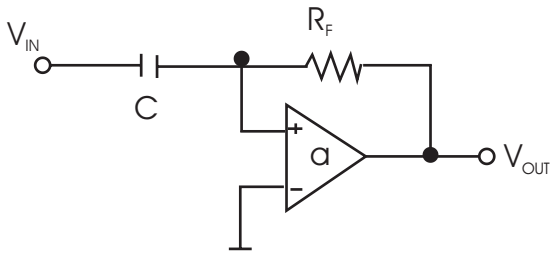



**Fig.**

En este circuito, la posición de R y C están al revés que en el integrador, estando el elemento capacitativo en la red de entrada. Luego la corriente de entrada obtenida es proporcional a la tasa de variación de la tensión de entrada:

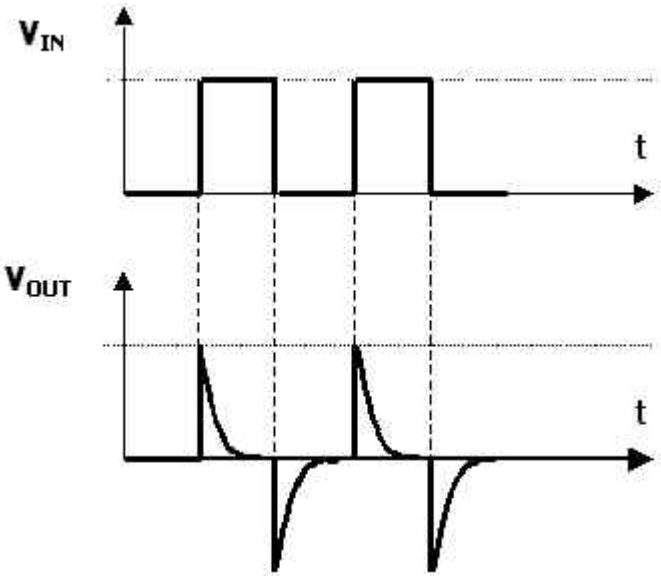
$$\Delta I_{IN} = \frac{V_{IN} \cdot C_{IN}}{\Delta t}$$

De nuevo diremos que la corriente de entrada $I_{IN}$, circulará por $R_F$, por lo que $I_F = I_{IN}$

Y puesto que $V_{OUT} = - I_F R_F$ Sustituyendo obtenemos

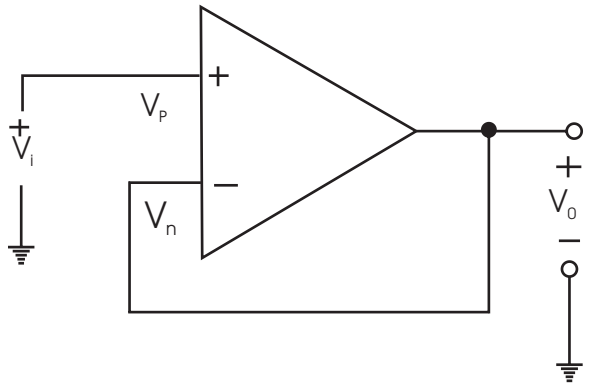
$$V_{OUT} = \frac{-\Delta V_{IN} \cdot R_F \cdot C_{IN}}{\Delta t}$$

Obsérvese el siguiente diagrama de señales para este circuito.




**El seguidor de tensión**

Una modificación especial del amplificador no inversor es la etapa de ganancia unidad mostrada en la figura siguiente




En este circuito, la resistencia de entrada se ha incrementado hasta infinito, y $R_F$ es cero, y la realimentación es del 100%. $V_0$ es entonces exactamente igual a Vi, dado que Es = 0. El circuito se conoce como "seguidor de emisor" puesto que la salida es una réplica en fase con ganancia unidad de la tensión de entrada. La impedancia de entrada de esta etapa es también infinita.

**Resumen de las configuraciones básicas del amplificador y sus características.**

Todas las características de los circuitos que se han descrito son importantes, puesto que, son las bases para la completa fundamentación de la tecnología de los circuitos amplificadores operacionales.

Los cinco criterios básicos que describen al amplificador ideal son fundamentales, y a partir de estos se desarrollan los tres principales axiomas de la teoría de los amplificadores operacionales, los cuales repetimos aquí:

**1.- La tensión de entrada diferencial es nula**

**2.- No existe flujo de corriente en ninguno de los terminales de entrada**

**3.- En bucle cerrado, la entrada (-) será regulada al potencial de entrada (+) o de referencia.**

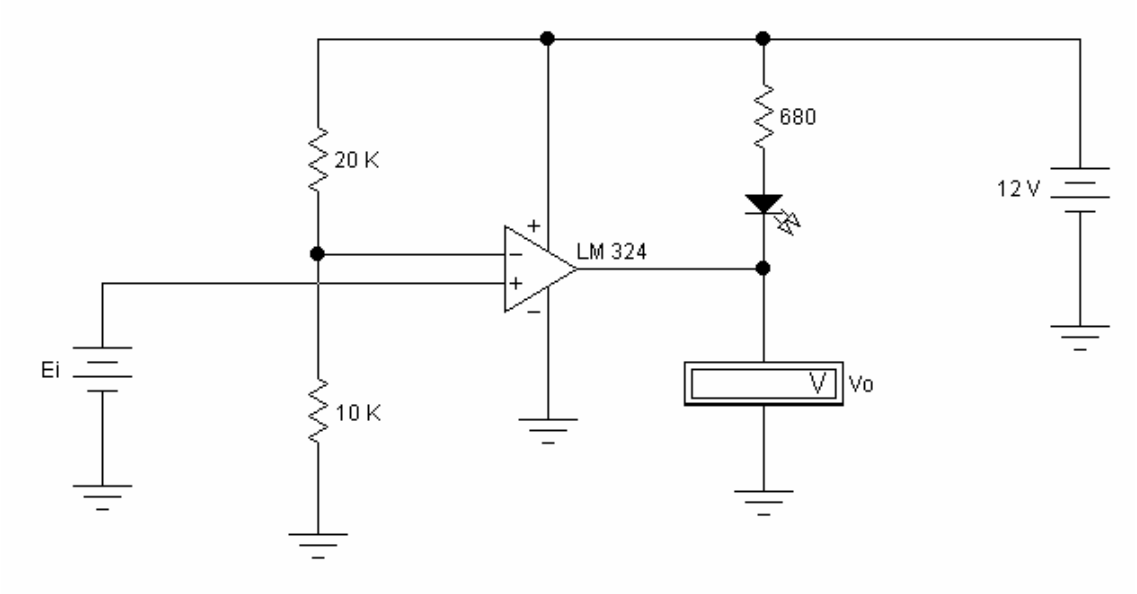
Estos tres axiomas se han ilustrado en todos los circuitos básicos y sus variaciones. En la configuración inversora, los conceptos de corriente de entrada nula, y tensión de entrada diferencial cero, dan origen a los conceptos de nudo suma y tierra virtual, donde la entrada inversora se mantiene por realimentación al mismo potencial que la entrada no inversora a masa. Usando el concepto de la entrada no inversora como terminal de referencia, el amplificador no inversor y el seguidor de emisor ilustran como una tensión de entrada es indirectamente multiplicada a través de una realimentación negativa en la entrada inversora, la cual es forzada a seguir con un potencial idéntico.

La configuración diferencial combina estos conceptos, ilustrando el ideal de la simultaneidad de la amplificación diferencial y del rechazo de la señal en modo común. Las variaciones del inversor ponen de nuevo de manifiesto los principios básicos. En todos estos circuitos, hemos visto también cómo el funcionamiento está solamente determinado por los componentes conectados externamente al amplificador.

Hasta este momento, hemos definido el AO en sentido ideal y hemos examinado sus configuraciones básicas. Con una definición adicional, la simbología del dispositivo, llegaremos al mundo real de los dispositivos prácticos, examinaremos sus desviaciones respecto al ideal, y veremos cómo superarlas.

# TAREA 4

# MONTAJE DE APLICACIONES NO LINEALES CON OPAMP




| N° | OPERACIONES | MATERIALES / INSTRUMENTOS |
|---|---|---|
| 01<br>02<br>03<br>04<br>05 | -Armar y medir comparador no inversor<br>-Armar y medir comparador de ventana<br>-Armar y medir convertidor de onda senoidal a cuadrada<br>-Armar y medir rectificador de presicion de media onda<br>-Armar y medir rectificador de precisión de onda completa | - LM 324<br>- resistores<br>- Multímetro digital<br>- generador de funciones<br>- osciloscopio de doble canal<br>- protoboard<br>- fuente de alimentación simétrica |

| 01 | 01 | | |
|---|---|---|---|
| PZA. | CANT. | **DENOMINACIÓN - NORMA /DIMENSIONES** | OBSERVACIONES |
| SENATI PERÚ | | MONTAJE DE APLICACIONES NO LINEALES CON OPAMP | HT 04 / REF. |
| | | **ELECTRÓNICO INDUSTRIAL** | TIEMPO: / HOJA: 1/1 |
| | | | ESCALA: / 2005 |

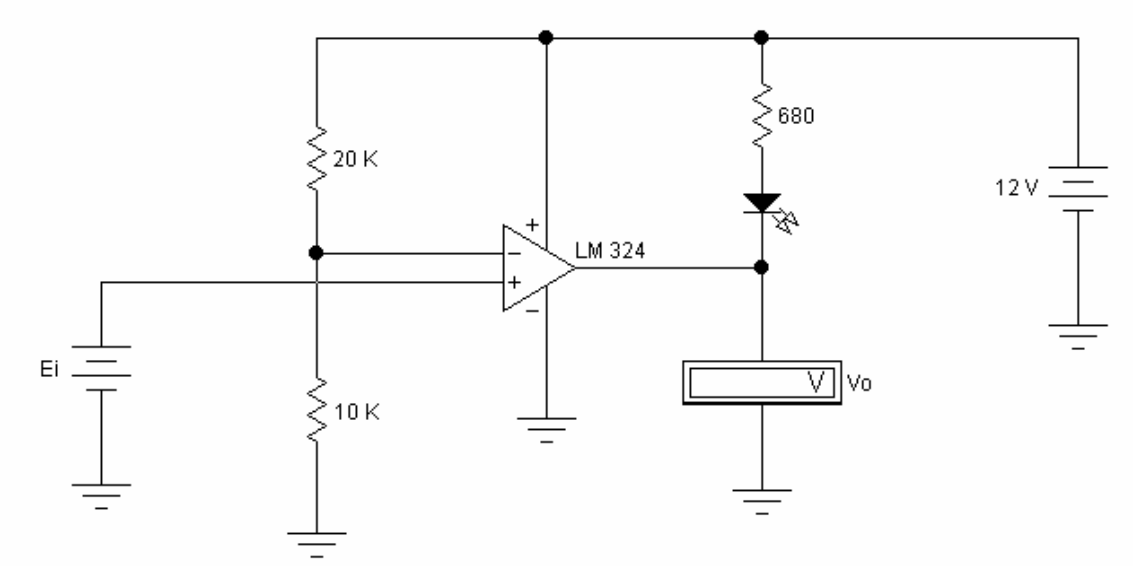

64

## OPERACIÓN

## ARMAR Y MEDIR COMPARADOR NO INVERSOR

## PROCESO OPERACIONAL

**Paso 1.** Armar el circuito mostrado.




**Paso 2.** Variar el voltaje de entrada ( Ei ) de 1 V a 11 V, medir el voltaje de salida ( Vo ) y graficar el resultado ( Ei vs. Vo )

| Ei | 1 V | 2 V | 3 V | 4 V | 5 V | 6 V | 7 V | 8 V | 9 V | 10 V | 11 V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vo | | | | | | | | | | | |



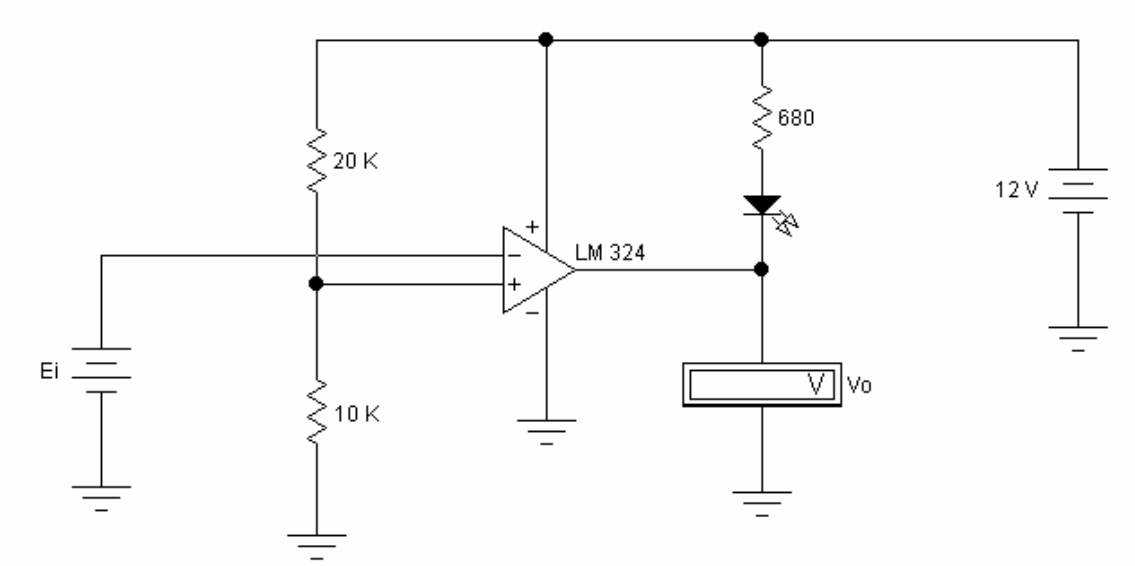

**Paso 3.** Observar que ocurre con el diodo led conectado a la salida del comparador.

## OPERACIÓN

## ARMAR Y MEDIR COMPARADOR DE VENTANA

## PROCESO OPERACIONAL

**Paso 1.** Armar el circuito comparador inversor mostrado



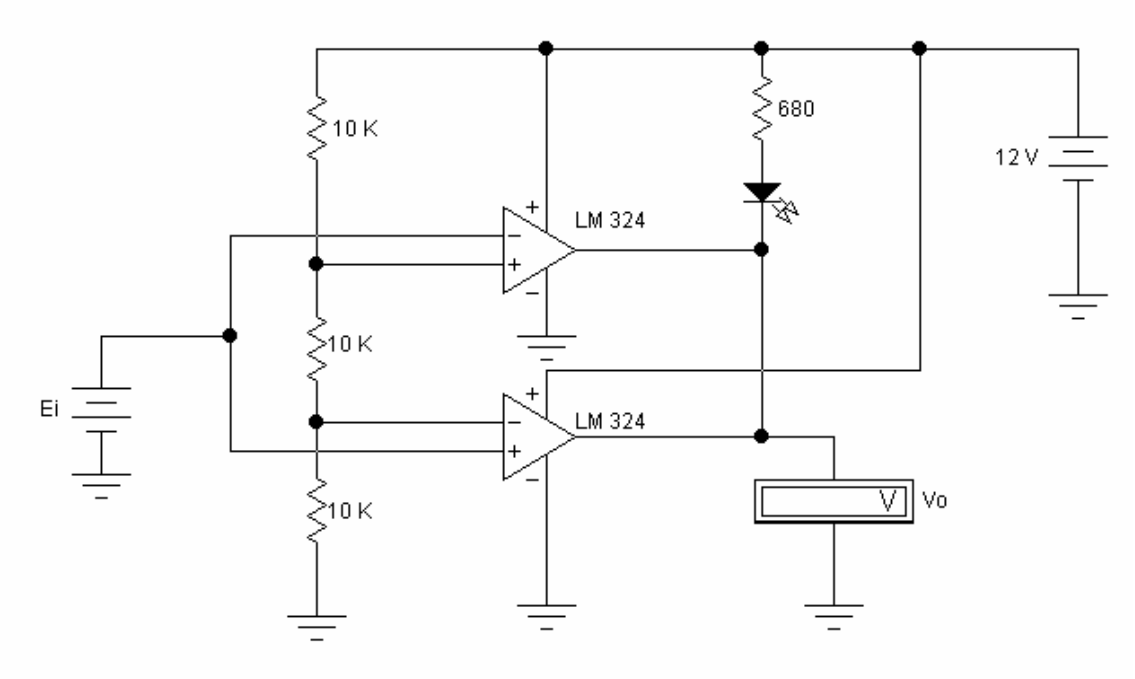

**Paso 2.** Variar el voltaje de entrada ( Ei ) de 1 V a 11 V, medir el voltaje de salida ( Vo ) y graficar el resultado ( Ei vs. Vo )

| Ei | 1 V | 2 V | 3 V | 4 V | 5 V | 6 V | 7 V | 8 V | 9 V | 10 V | 11 V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vo | | | | | | | | | | | |




**Paso 3.** Observar que ocurre con el diodo led conectado a la salida del comparador.

**Paso 4.** Armar el circuito comparador de ventana mostrado




**Paso 2.** Variar el voltaje de entrada ( Ei ) de 1 V a 11 V, medir el voltaje de salida ( Vo ) y graficar el resultado ( Ei vs. Vo )

| Ei | 1 V | 2 V | 3 V | 4 V | 5 V | 6 V | 7 V | 8 V | 9 V | 10 V | 11 V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vo | | | | | | | | | | | |



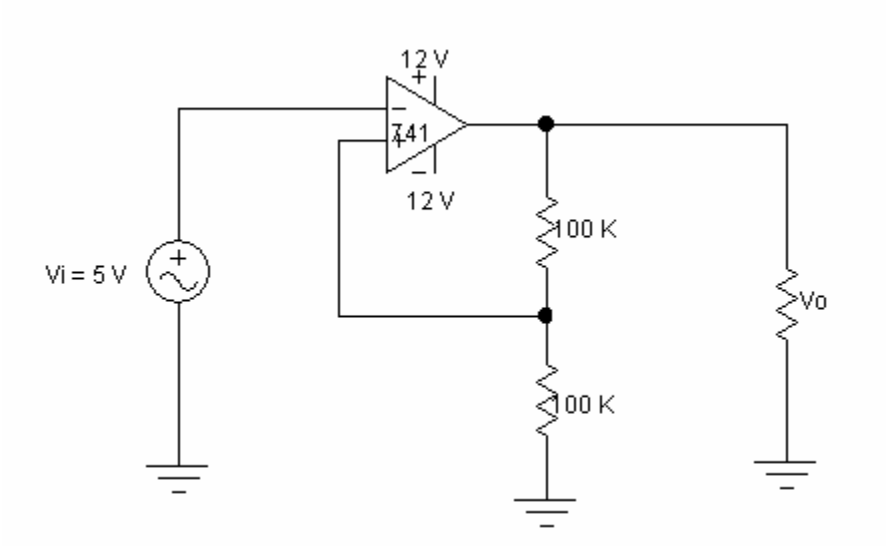

**Paso 3.** Observar que ocurre con el diodo led conectado a la salida del comparador.

**OPERACIÓN**

**ARMAR Y MEDIR CONVERTIDOR DE ONDA SENOIDAL A CUADRADA**

**PROCESO OPERACIONAL**

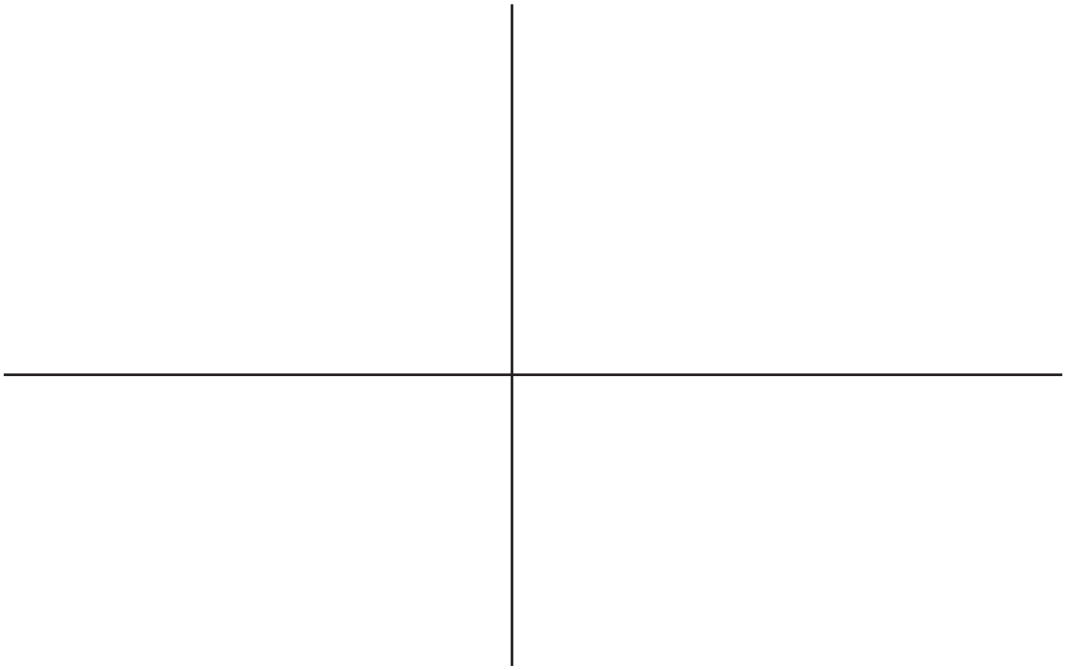
**Paso 1.** Armar el circuito mostrado.




**Paso 2 .** Ajustar el generador de funciones ( Vi ) a 5 V. 1 Khz de una onda senoidal.

**Paso 3 .** Conectar el canal 1 de un osciloscopio en el generador y el canal 2 en la salida ( Vo ) y observar las señales.

**Paso 4.** Graficar las señales obtenidas.

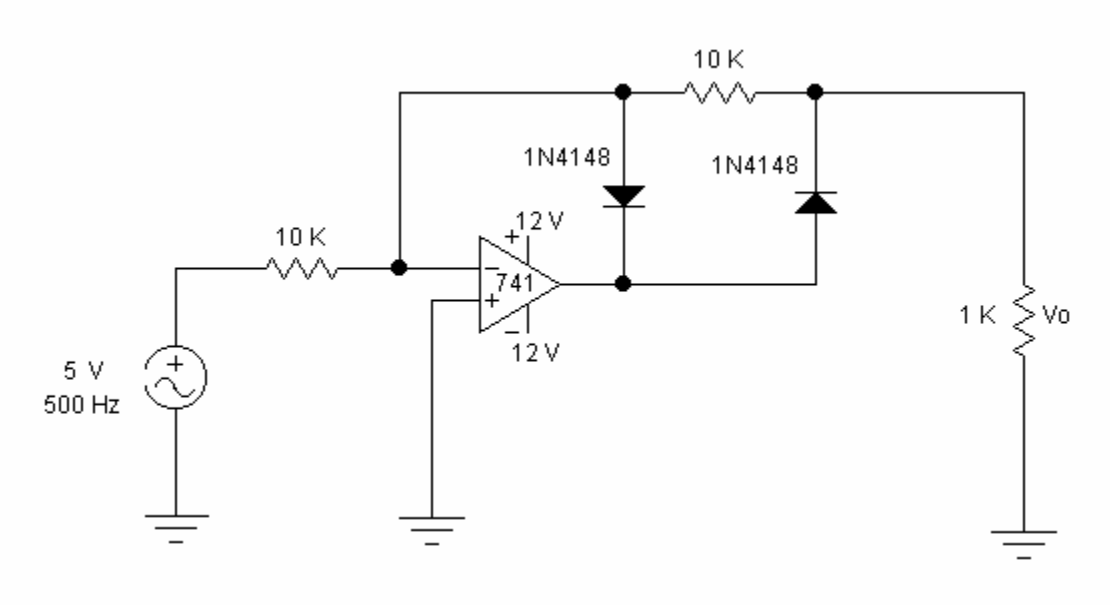


**OPERACIÓN**

**ARMAR Y MEDIR RECTIFICADOR DE PRESICIÓN DE MEDIA ONDA**

**PROCESO OPERACIONAL**

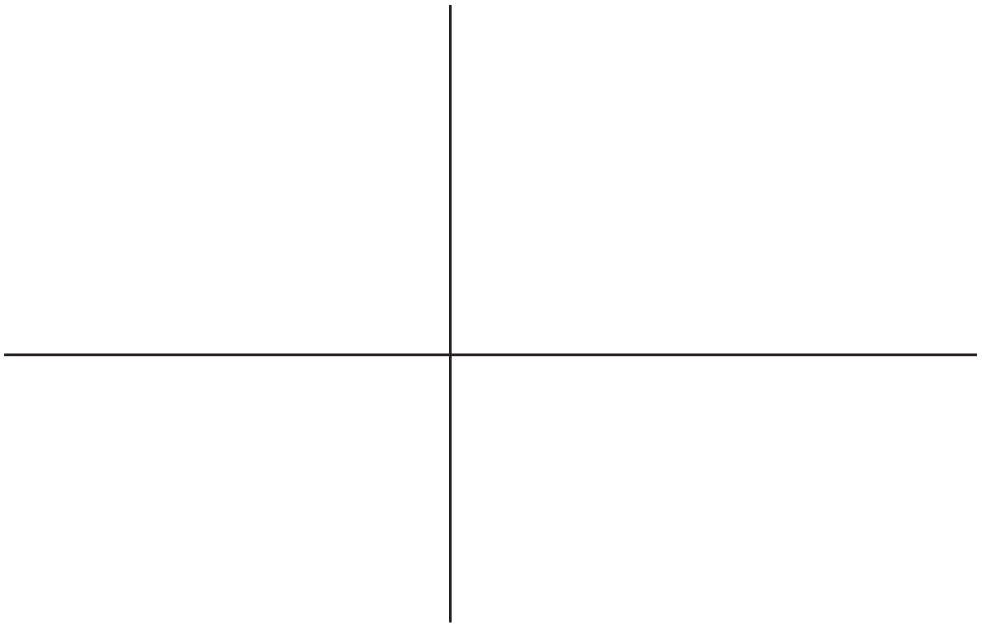
**Paso 1.** Armar el circuito de la figura




**Paso 2.** Ajustar el generador de funciones a 5 V 500 Hz.

**Paso 3.** Con el osciloscopio medir el voltaje de entrada ( generador ) y voltaje de salida ( Vo ).

**Paso 4.** Graficar las mediciones realizadas.

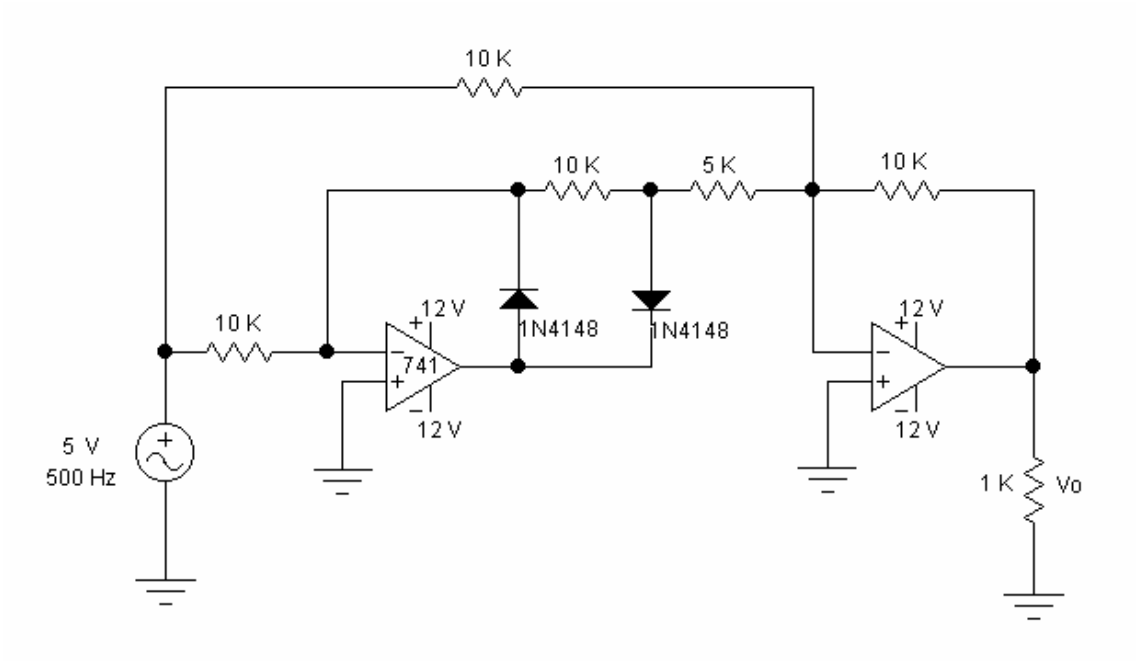


**OPERACIÓN**

**ARMAR Y MEDIR RECTIFICADOR DE PRESICIÓN DE ONDA COMPLETA**

**PROCESO OPERACIONAL**

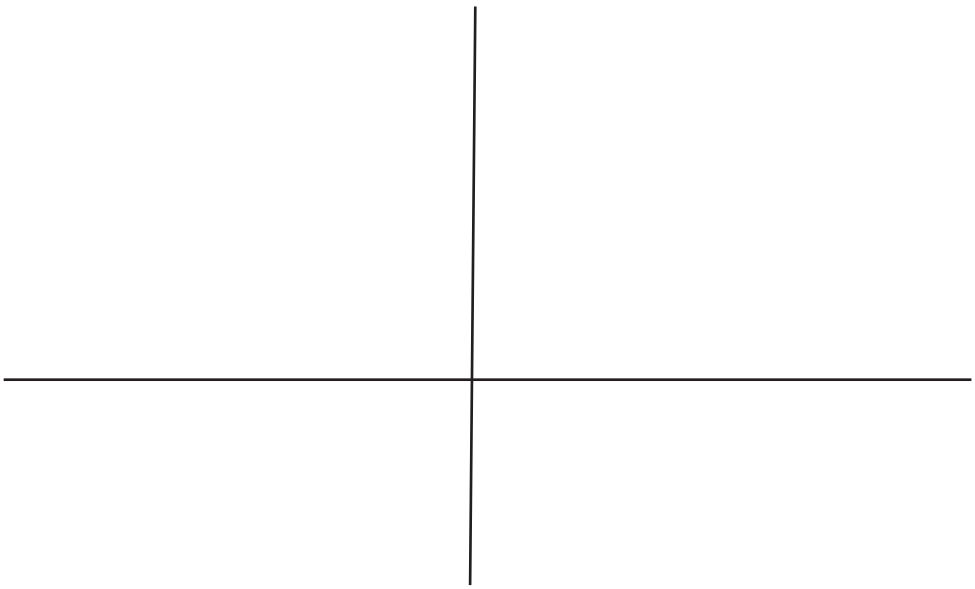
**Paso 1.** Armar el circuito de la figura.




**Paso 2.** Ajustar el generador de funciones a 5 V 500 Hz.

**Paso 3.** Con el osciloscopio medir el voltaje de entrada ( generador ) y voltaje de salida ( Vo ).

**Paso 4.** Graficar las mediciones realizadas.



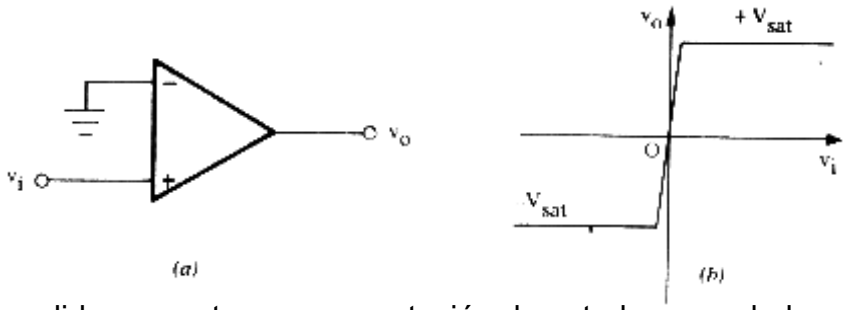
## EL COMPARADOR COMO DETECTOR DE CRUCE POR CERO

En muchas situaciones prácticas surge la necesidad de comparar dos señales entre sí y de tal forma que una de estas señales sea una referencia pre establecida por el proyectista. Los circuitos electrónicos destinados a esta función son denominados comparadores.

Un ejemplo de aplicación práctica de los comparadores es la siguiente: A través de sensores de nivel, podemos detectar la situación de un reservorio de combustible líquido. Si el nivel normal fuera tomado como referencia, entonces debemos ajustar una señal de tensión correspondiente al mismo. Cuando el nivel estuviera encima (o abajo) del normal (referencia), el comparador deberá emitir una señal de salida para el sistema controlador de tal modo que la situación normal sea restablecida automáticamente. Evidentemente la señal de referencia es llevada a una de las entradas del comparador, quedando la otra entrada para recibir la señal de al variable controlada (en el caso, el nivel del reservorio)

Los comparadores producen salidas a manera de pulsos discretos en función del nivel de señal aplicada. La salida de un comparador está siempre en un valor alto denominado saturación positiva (+ V sat ), o un valor bajo, denominada saturación negativa (- V sat). Existen formas de limitar los niveles de salida de modo que los mismos no alcancen la saturación.

Básicamente tenemos dos tipos de comparadores: comparador no inversor y comparador inversor. En el primer caso tenemos la señal de referencia aplicada en la entrada inversora del AOP y la señal de la variable a ser comparada en la entrada no inversora. En la figura tenemos la respuesta del circuito.

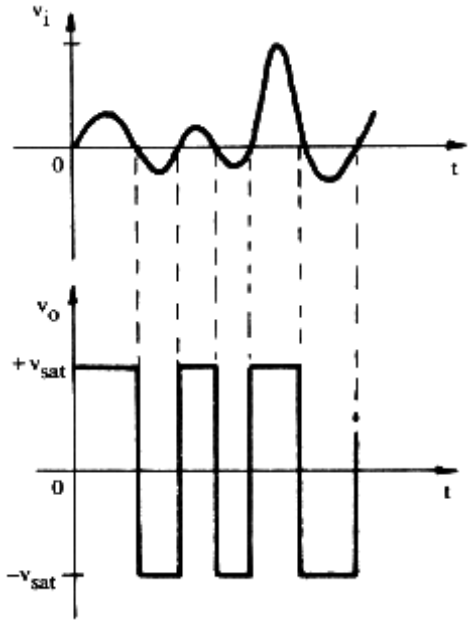



Notemos que la salida presenta una conmutación de estados cuando la señal de entrada pasa por cero. Por eso este circuito es a veces denominado detector de cruce por cero. La operación de un comparador es bastante simple: la alta ganancia de AOP en malla abierta

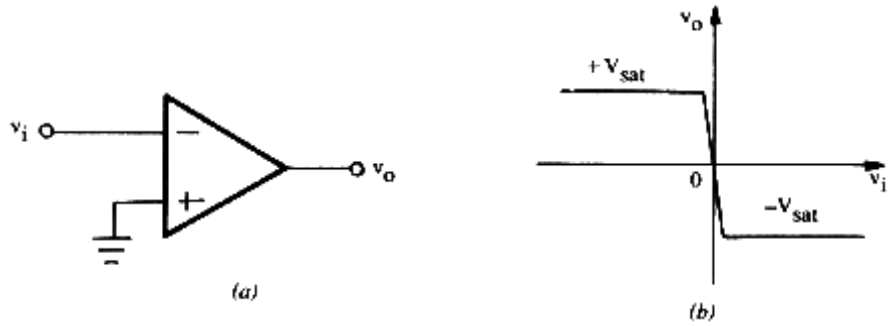
amplifica la diferencia de tensión existente entre la entrada no inversora y la entrada inversora del AOP y lleva la salida hacia + Vsat ó Vsat, conforme esta diferencia sea positiva o negativa respectivamente. Matemáticamente tenemos:

$$v_0 = \begin{Bmatrix} +v_{sat}, cuando v_i > 0 \\ -v_{sat}, cuando v_i > 0 \end{Bmatrix}$$

En la primera condición decimos que el comparador estaba trabajando en el primer cuadrante y en la segunda condición el esta trabajando en el tercer cuadrante. Para mejor comprensión presentamos un ejemplo en la figura, las formas de onda cuadrada y salida de un comparador no inversor.




El segundo tipo de comparador básico es el comparador inversor. En este caso la referencia está en la entrada no inversora y la señal de la variable a ser comparada está aplicada en la entrada inversora. En la figura 61.3a, tenemos el circuito del comparador en cuestión. Note que la señal de referencia está nuevamente a tierra. En la figura tenemos la respuesta del circuito, el cual puede también ser denominado detector de cruce por cero.



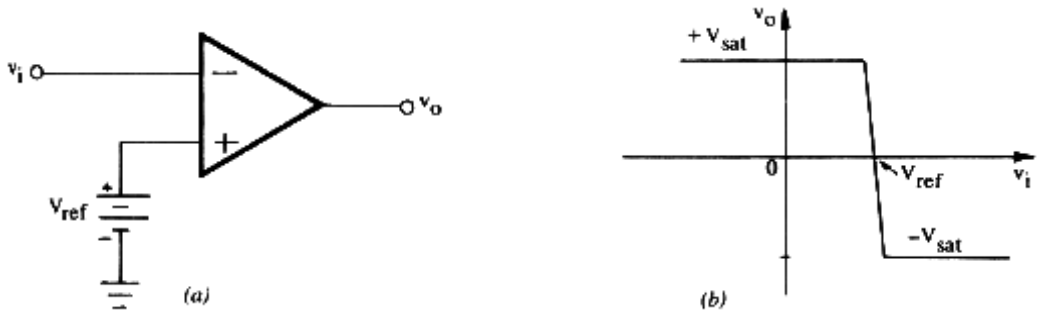

La operación de este circuito es análoga al del circuito anterior. Cuando la diferencia de tensión entre la entrada inversora y la entrada no inversora fuese negativa, la salida va hacia + Vsat. (operación en el segundo cuadrante), y cuando esta diferencia fuese positiva, la salida va hacia Vsat operación en el cuarto cuadrante. Matemáticamente tenemos:

$$v_o = \begin{cases} +V_{sat}, cuando\ v_i \langle\ 0 \\ -V_{sat},\ cuando\ v_i\ \rangle\ 0 \end{cases}$$

Normalmente, una pequeña diferencia de tensión del orden de 1 mV es suficiente para accionar el comparador llevándolo a conmutar su condición de salida. Evidentemente AOP's de alta ganancia ((AOP de instrumentación del tipo A 725), cuando son utilizados los comparadores, pueden amplificar señales de niveles mucho menores que 1 mV.

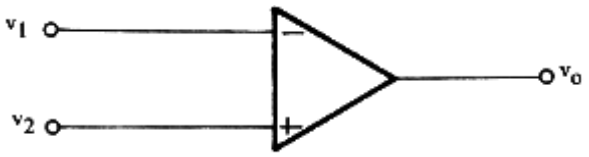
Los dos tipos de compradores estudiados hasta aquí la señal de referencia era nula, pues estaba conectada a tierra. Entre tanto podemos utilizar como referencia una señal . $V_{\mathrm{Re}f} \neq 0$ Existen diversas formas de ejecutar comparadores con referencias no nulas. En la siguiente figura tenemos el circuito de un comparador inversor con una señal de referencia $V_{ref}$ aplicado en la entrada no inversora. Observando la respuesta del circuito mostrada en la figura , podemos constatar que la conmutación de estados de la salida ocurre cuando el nivel de la señal a ser comparada (vi ) alcanza el valor $V_{ref}$. A este circuito se le denomina detector de paso por nivel prefijado. Matemáticamente tenemos:

$$v_o = \begin{cases} +V_{sat}, cuando\ v_i > V_{ref} \\ -V_{sat},\ cuando\ v_i < V_{ref} \end{cases}$$




Todos los tipos de comparadores son casos particulares de una situación genérica, representada en la siguiente figur , en la cual tenemos un AOP trabajando como comparador (malla abierta), en cuyas entradas tenemos las señales $v_1$, (entrada inversora) y $v_2$ (entrada no inversora), por otro lado presentamos la ecuación fundamental del AOP para señales instantáneas:

$$v_o = A_{vo}\ (v_2 - v_1)$$



Aplicando la ecuación anterior en cada uno de los tres comparadores estudiados hasta el momento, tenemos:

- Comparador no inversor

$$\begin{cases} v_1 = 0 \\ \\ v_2 = v_i \end{cases} \Rightarrow v_o = A_{vo}\ v_i$$

- Comparador inversor

$$\begin{cases} v_1 = v_i \\ \\ v_2 = 0 \end{cases} \Rightarrow v_o = -A_{vo}\ v_i$$

- Comparador inversor con referencia no nula

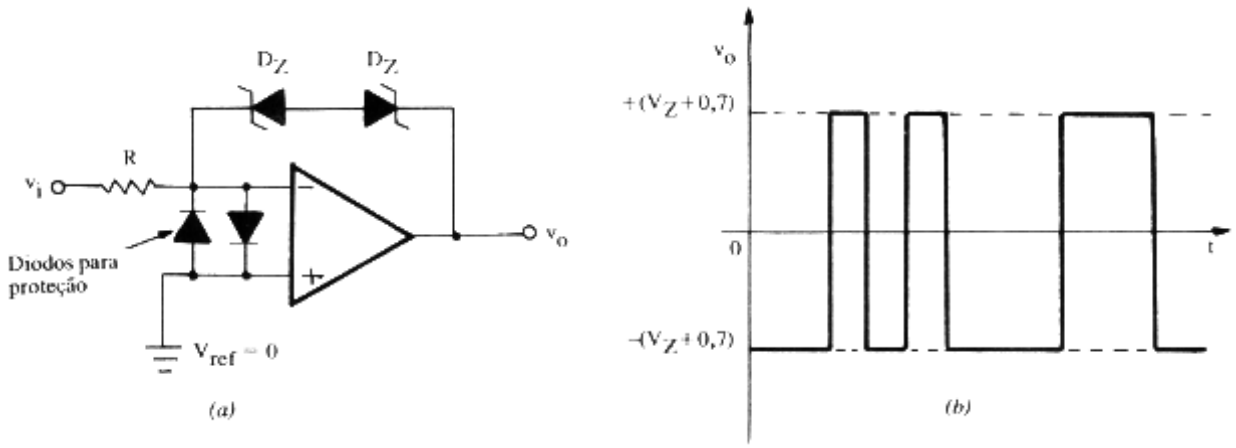
$$\begin{cases} v_1 = v_i \\ \\ v_2 = V_{ref} \end{cases} \Rightarrow v_o = A_{vo}\,(V_{ref} - v_i)$$

En la práctica cuando se proyectan los circuitos comparadores es muy común el uso de dos diodos en antiparalelo, colocados entre los terminales de entrada para proteger la etapa diferencial contra posibles sobre corrientes que puedan dañar el integrado.

**Limitando la tensión de salida**

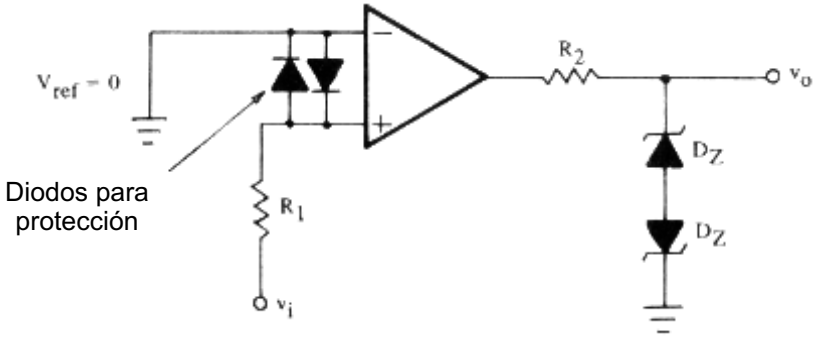
Presentamos dos métodos de limitación de tensión de salida en comparadores.

Uno de los métodos consiste en la utilización de dos diodos Zener conectados ánodo contra ánodo (o cátodo contra cátodo), colocados entre la salida y el terminal inversor del AOP, la siguiente figura ilustra lo que decimos.

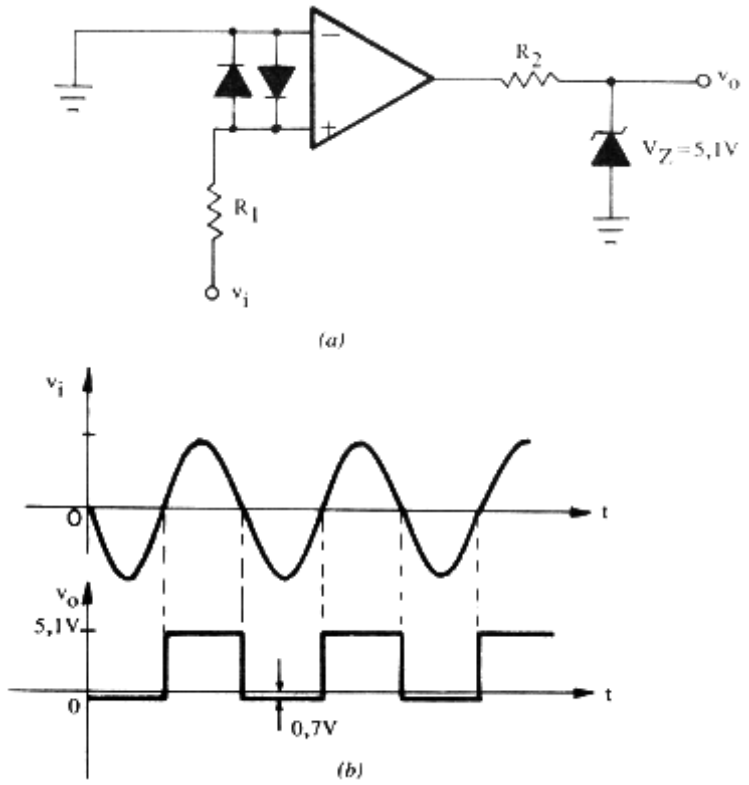



En la figura anterior tenemos una probable forma de onda de salida (la verdad de ella depende de la forma de onda de entrada). Notemos que los niveles de salida quedan limitados por las tensiones de regulación de los diodos Zener, aumentados en 0.7V. De hecho en cada semiciclo de señal de entrada, los diodos Zener pueden ser modelados por dos baterías en serie con valores de tensión Vz y 0,7V (aproximadamente). Evidentemente el proyectista podrá escoger diodo Zener iguales o diferentes. En el primer caso, las amplitudes positivas y negativas serán iguales y en el segundo caso serán diferentes.

Otro método de limitación de tensión de salida de un comparador está indicado en la figura siguiente , es importante que sea tomado el cuidado de colocar un resistor de aproximadamente 330 para limitar la corriente sobre los diodos. Este método es mas aconsejable pues presenta menor distorsión en la señal de salida. Las demás consideraciones son idénticas a las relacionadas con el circuito anterior.




Si en el circuito anterior sustituimos el diodo Zener inferior por un corto circuito y escogemos para el diodo Zener superior un valor Vz = 5.1V (por ejemplo: 1N 751, 1N 4733, Vzx 79/C5V1, etc.) tendremos una tensión de salida compatible con circuitos digitales de la familia TTL. En la siguiente figura presentamos el circuito y la forma de onda de salida del mismo. Note que durante el semiciclo negativo de señal de entrada existe una pequeña tensión negativa del orden de 0,7V en la salida del circuito, debido a la polarización directa del diodo Zener.

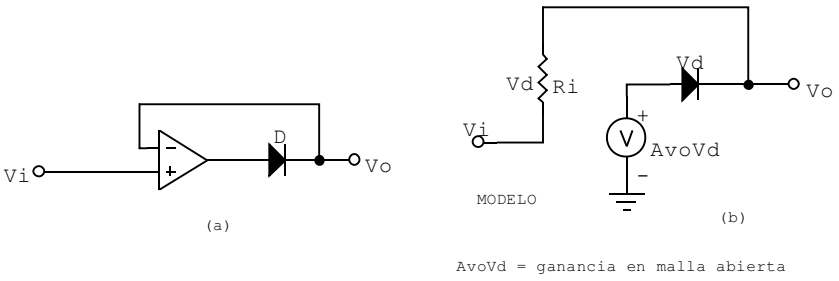



## RECTIFICADOR DE PRECISIÓN CON AOP

Un diodo rectificador común no consigue rectificar señales de niveles muy bajos, pues el mismo no conduce cuando es polarizado directamente por tensiones de valores que estén por debajo de 0,7 V (diodo es de silicio). Por otro lado, en algunos casos es necesario rectificar señales de algunas decenas de milivoltios o menos. Un ejemplo de esta situación ocurre cuando se desea rectificar señales provenientes de sensores o transductores utilizados en la instrumentación industrial o en la instrumentación bioelectrónica.

En este laboratorio estudiaremos el rectificador de precisión con AOP, el cual es también conocido como superdiodo.

En al figura siguiente parta (a), tenemos un circuito rectificador de precisión de media onda. Es un circuito bastante simple, el cual utilizaremos para introducirnos en el tema.




En la parte (b) tenemos un modelo simplificado del circuito en cuestión. Cuando Vi es negativo, el diodo es un circuito abierto (¿por qué?) y el alto valor de Ri "aísla" la entrada de la salida y no tenemos ningún señal en la misma. Mientras que, cuando Vi es positivo, con una carga conectada en la salida, el diodo conduce con una caída directa $V_D$. Analizando matemáticamente el modelo presentado en la figura anterior tenemos:

- Cuando $V_i \langle 0 \Rightarrow V_o = 0$

  Cuando $V_i \rangle 0 \Rightarrow V_o = V_i - V_d \; e \; también$

  $$V_o = A_{vo}\, V_d - V_{D,} \log o :$$

$$V_o = A_{vo}\, V_d - V_D = A_{vo}\, \underbrace{V_i - V_o}_{V_d} - V_D$$

$$o \; sea :$$

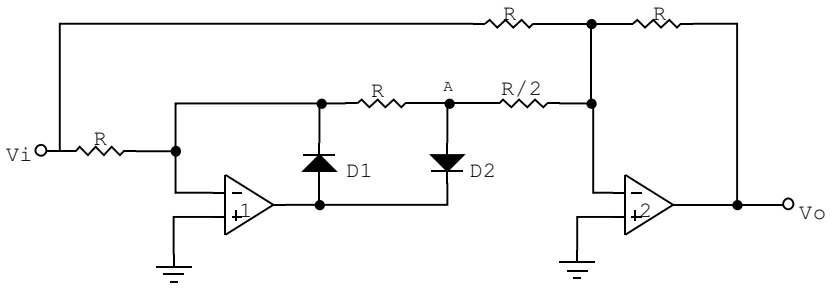
$$V_o = \frac{A_{vo}}{1 + A_{vo}}\, V_i - \frac{V_D}{1 + A_{vo}}$$

$$Haciendo\; A_{vo} \to \infty, \;\; tenemos :$$

$$V_o = V_i \qquad (Suponiendo\; V_i \rangle 0 \;\; A_{vo} \to \infty)$$

El resultado anterior nos muestra que, siendo $V_i$ positivo y la ganancia en la malla abierta e infinita, el circuito presentará una salida la misma que es igual a la entrada, independientemente que su nivel o su amplitud (claro está que es una situación ideal, pues en la práctica el valor de Vi es de la orden de algunos minivoltios o microvioltios, dependiendo de la calidad del AOP utilizado). Notemos que la caída directa en el diodo ($V_D$) fue reducida gracias a la división de la misma por un factor idealmente infinito ($1 + A_{vo}$). Esto justifica la denominación dada al circuito pues, tenemos un rectificador de precisión, ya que prácticamente no existe caída de tensión en el diodo durante el proceso de rectificación.

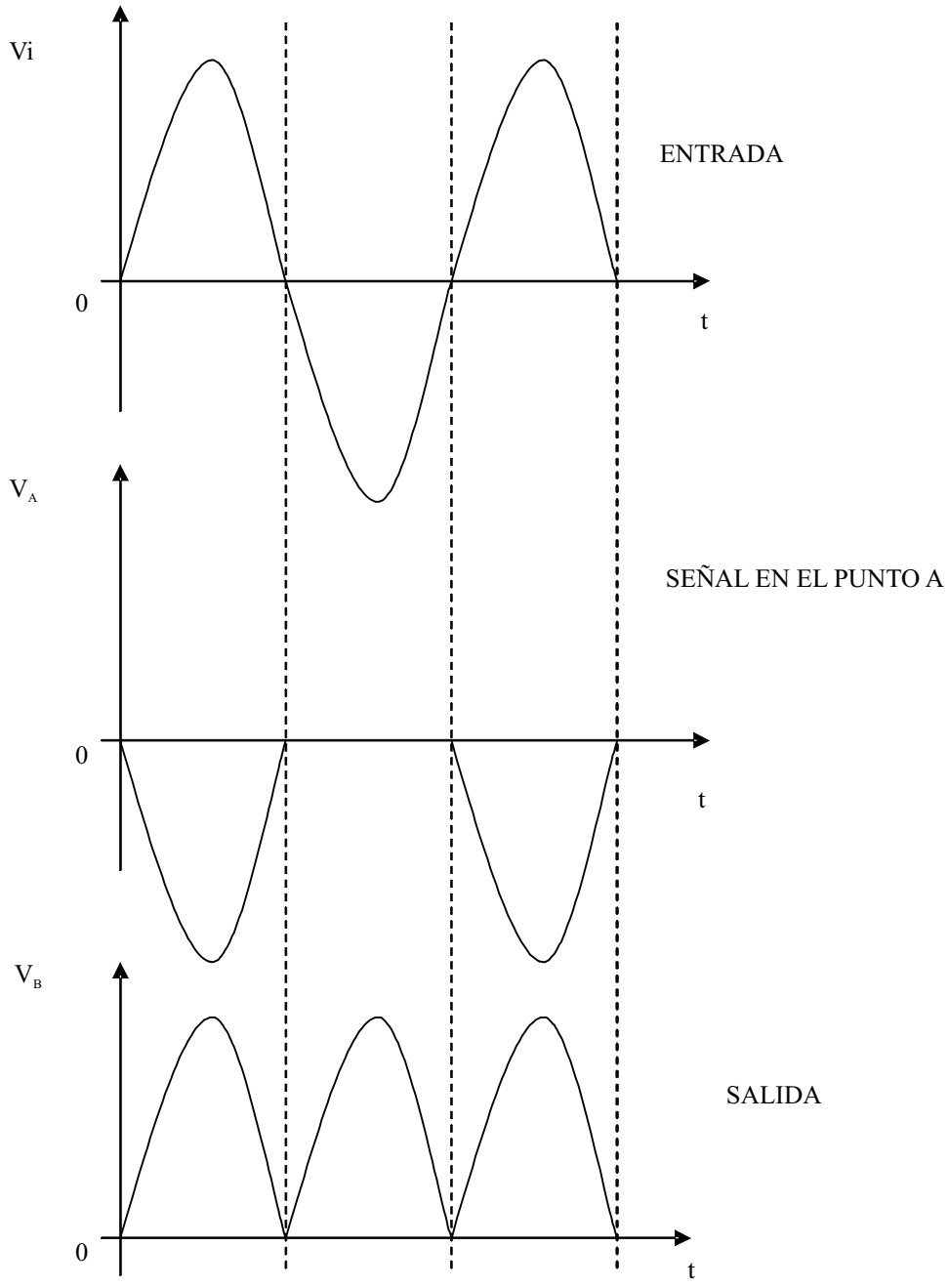
En la siguiente figura, presentamos un circuito rectificador de onda completa. Evidentemente, este es un circuito mas complejo y el análisis del mismo, a través de modelos, sería un poco grande. En el laboratorio analizaremos este circuito en la cual verificaremos la alta precisión del mismo, pues es posible rectificar señales de la orden de 30 mV ( pico a pico). Si se utilizan AOP de calidades superiores al 741 (por ejemplo LF 351, LF 356, etc.), los niveles de las señales de entrada pueden ser mucho menores




En el circuito anterior tenemos una realidad, un rectificador de media onda formada por el AOP1, asociado a un sumador, formado por AOP2. Si tomáramos la señal en el punto A del circuito, verificaremos que se trata de una señal de media onda. Esta señal es aplicada al sumador en conjunto con la señal de entrada, de tal manera que en la salida obtendremos una señal de onda completa. Los diodos $D_1$ y $D_2$ deben ser de conmutación rápida tipo 1N914 ó 1N4148. Los resistores deben de ser de película metálica, pues poseen tolerancias no superiores al 5%. Para aplicaciones de media y alta precisión abarcando señales de la orden de 100 mV pico a pico o menos es conveniente hacer el ajuste de OFFSET de los AOP.

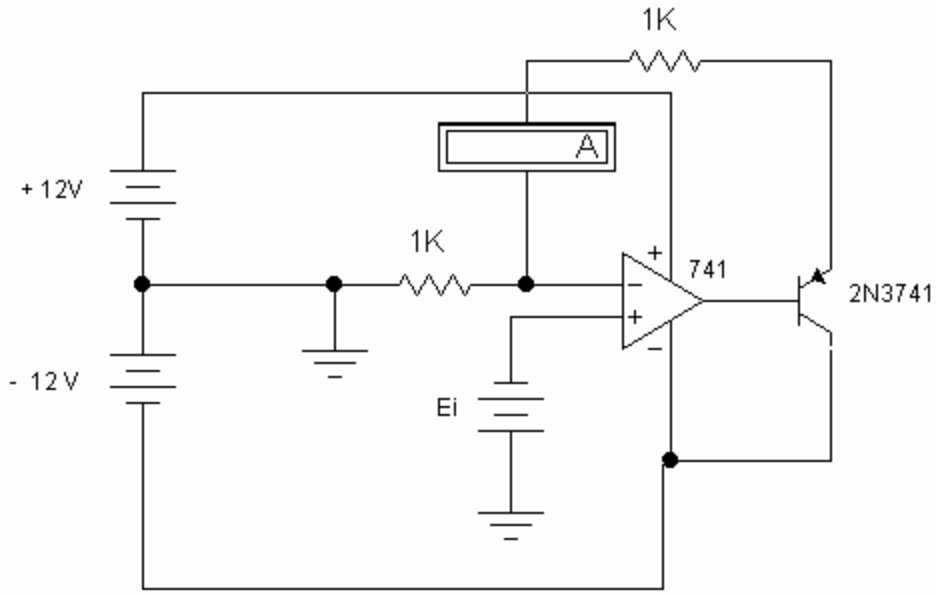
En el laboratorio verificaremos que la señal obtenida en el punto A es de media onda, la cual corresponde a la rectificación de los ciclos positivos del nivel de entrada. Cuando la señal de entrada esté en el semiciclo negativo la señal en el punto A será nulo. En este intervalo, las dos señales son sumadas y la resultante reproducida en la salida del AOP2, será una señal rectificada de onda completa. Observe la existencia de un resistor R/2 entre el punto A y la entrada inversora del AOP2.

En el caso de necesitar rectificar señales de la orden de pocos milivoltios ó microvoltios tenemos una aplicación de alta precisión, y por lo tanto debemos utilizar un AOP de instrumentación, pues es necesario un alto valor de CMRR, así como de una alta resistencia de entrada, alta ganancia en malla abierta y tensión reducida en OFFSET de entrada.


Vi
ENTRADA
0
t
$V_A$
SEÑAL EN EL PUNTO A
0
t
$V_B$
SALIDA
0
t

# TAREA 5

# MONTAJE DE CIRCUITOS DE APLICACIONES INDUSTRIALES




| N° | OPERACIONES | MATERIALES / INSTRUMENTOS |
|---|---|---|
| 01<br>02<br>03 | -Armar y medir circuito convertidor de voltaje a corriente<br>-Armar y medir conversor de alimentación de salida simple a simétrica<br>-Diagramar y procesar placa de circuito impreso de amplificador diferencial | - OPAMP TL081<br>- resistencias<br>- miliamperímetro<br>- fuente de alimentación<br>- placa para circuito impreso<br>- plumón de tinta indeleble<br>- cloruro férrico para impresos<br>- taladro, brocas<br>- protoboard |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 01 | 01 | | | |
| PZA. | CANT. | **DENOMINACIÓN - NORMA /DIMENSIONES** | | OBSERVACIONES |
| SENATI PERÚ | | MONTAJE DE CIRCUITOS DE APLICACIONES INDUSTRIALES | HT 05 | REF. |
| | | **ELECTRÓNICO INDUSTRIAL** | TIEMPO: | HOJA: 1/1 |
| | | | ESCALA: | 2005 |

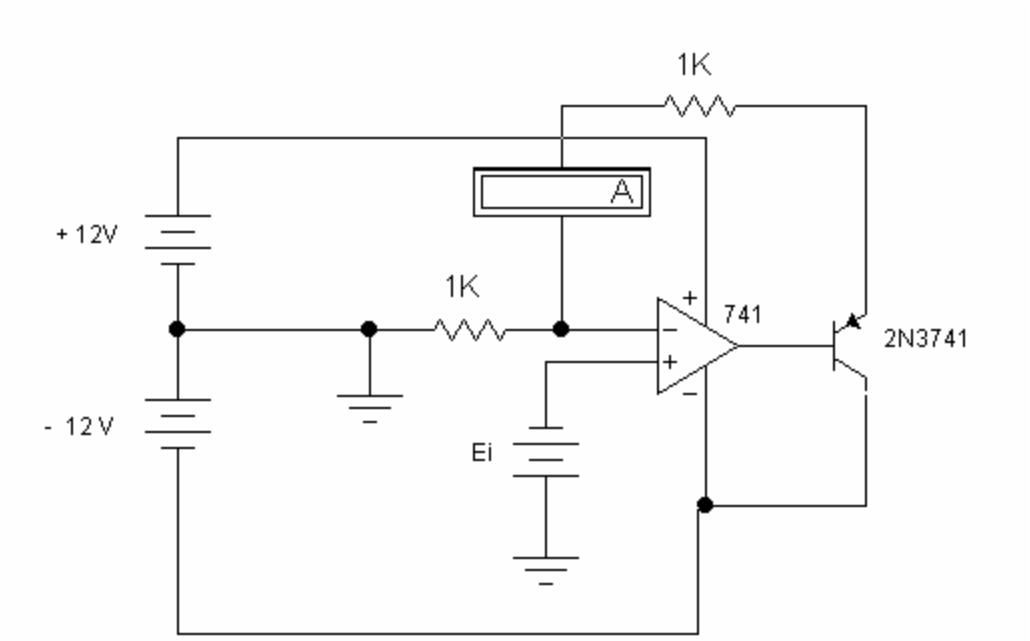

81

**OPERACIÓN**

**ARMAR Y MEDIR CIRCUITO CONVERTIDOR DE VOLTAJE A CORRIENTE**

**PROCESO OPERACIONAL**

**Paso 1.** Armar el circuito de la figura.




**Paso 2 .** Variar el voltaje de Ei y medir la corriente en el miliamperímetro , anotar los valores en la tabla siguiente.

| Ei | mA |
|---|---|
| 0 V | |
| 1 V | |
| 2 V | |
| 3 V | |
| 4 V | |
| 5 V | |
| 6 V | |

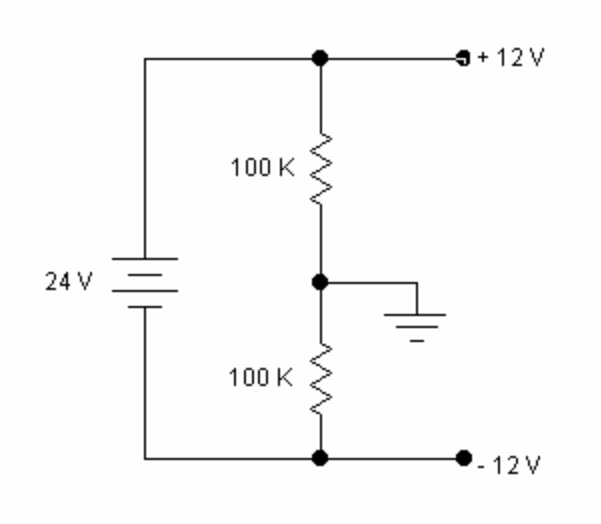
**Paso 3.** Hallar la relación de voltaje corriente

## OPERACIÓN

## ARMAR Y MEDIR CONVERSOR DE ALIMENTACIÓN DE SALIDA SIMPLE A SIMÉTRICA

## PROCESO OPERACIONAL

**Paso 1.** Armar el circuito mostrado




**Paso 2.** Medir con respecto a tierra las salidas de + 12 V y  12 V

**Paso 3.** Verificar la conversión de una fuente simple en una fuente simétrica.

## OPERACIÓN

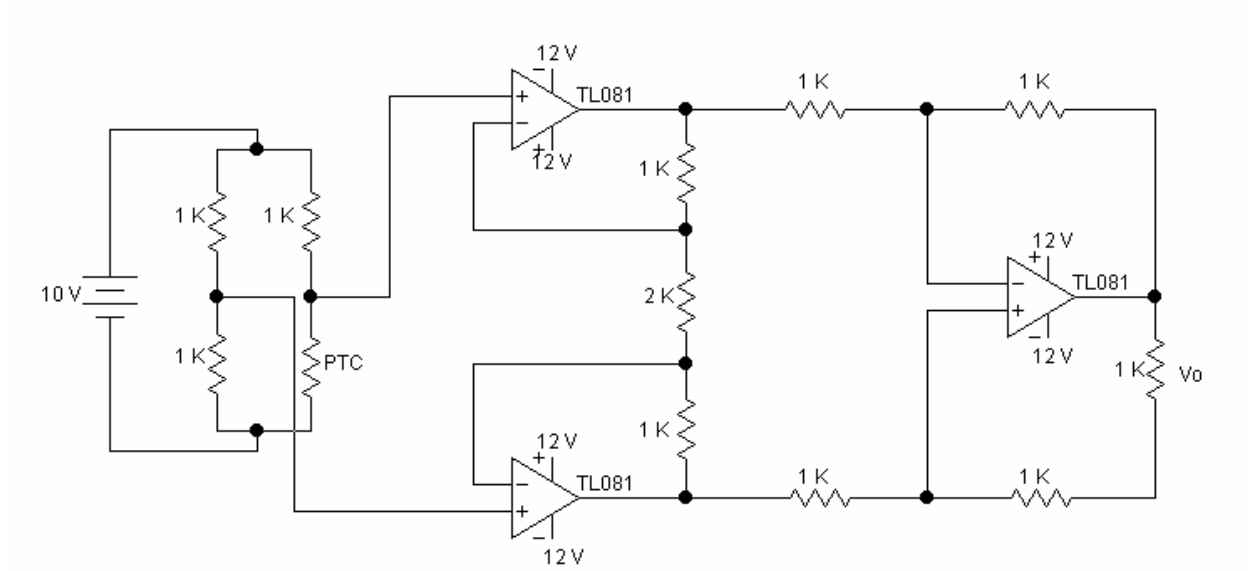
## DIAGRAMAR Y PROCESAR PLACA DE CIRCUITO IMPRESO DE AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

## PROCESO OPERACIONAL

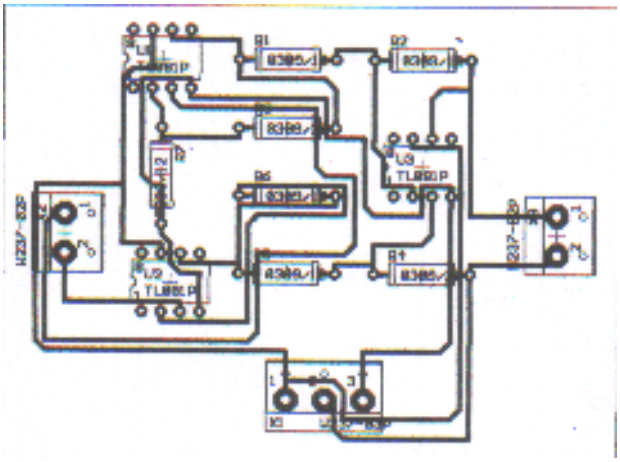
**Paso 1.** Seleccionar esquema electrónico a utilizar

## DESCRIPCIÓN

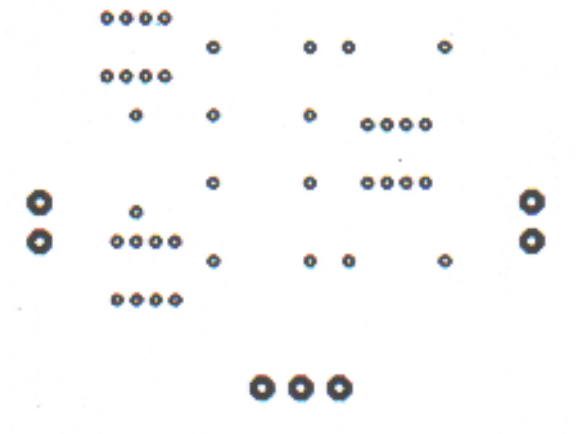
En el circuito mostrado se tiene un amplificador de instrumentación, cuya entrada es un puente, en una rama se ha puesto un termistor PTC , variando la temperatura en el PTC se obtendrá una variación de voltaje en la salida (Vo).



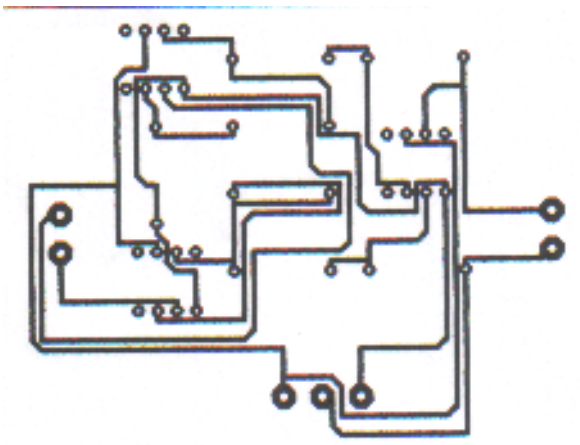

**Paso 2.** Diseñar el circuito impreso



**Paso 3.** Taladrar la placa para hacer los agujeros don se soldaran los componentes



**Paso 4 .** hacer el trazado de las pistas en la placa.



**Paso 5.** Sumergir la placa en la solución de cloruro férrico para realizar el procesado de la placa.

**PASO 6.** después de que el cobre que no estaba pintado se salga, lavar la placa con abundante agua.

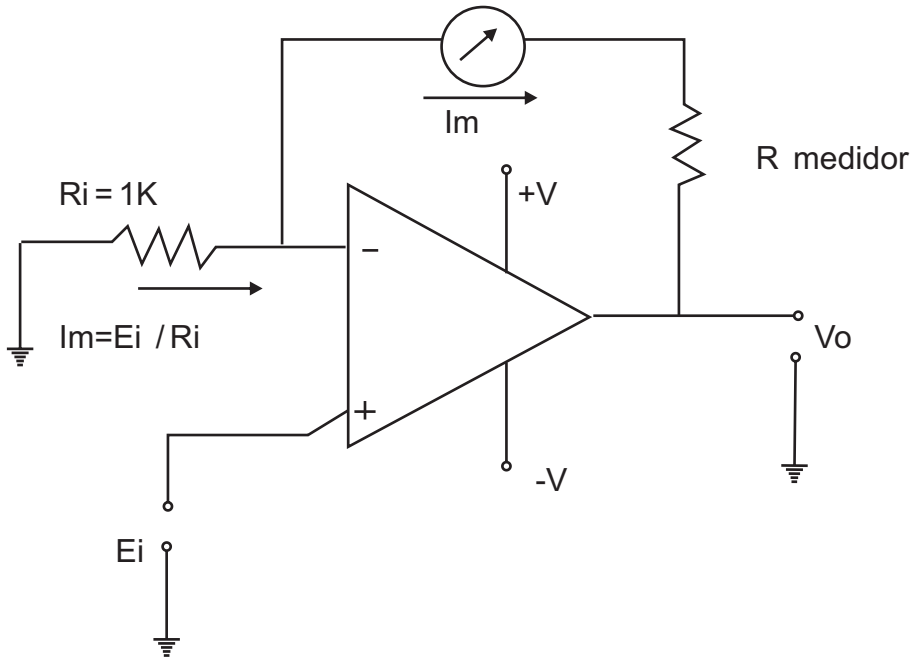
**OBSERVACIÓN**
Los residuos de los materiales no deben ser votados en cualquier lugar, deben recogerse en recipientes adecuados , para su futura evacuación.

## FUENTE DE CORRIENTE

Hay aplicaciones en la que es necesario pasar una corriente constante a través de una carga y mantenerla así a pesar de que se produzca cambios en la resistencia de carga o en el voltaje de ésta.

En la figura siguiente se muestra un voltímetros de CD de alta resistencia de entrada, sencillo pero muy efectivo. El voltaje que se va a medir, $E_i$, se aplica a la terminal de entrada (+). Pn virtud de que el voltaje diferencial de entrada es 0V, se genera Ei a través de Ri. La corriente en el medidor Im se establece $E_i$ y $R_i$.

$$I_m = E_i / R_i$$



## ALIMENTACIÓN DE CORRIENTE CONSTANTE A UNA CARGA CONECTADA A TIERRA

### Convertidor de voltaje diferencial a corriente.

Al circuito de la figura siguiente se le puede considerar como un convertidor de voltaje diferencial a corriente, debido a que la corriente de carga $I_L$ depende de la diferencia entre los voltajes de entrada $E_1$ y $E_2$ y la resistencia R. $I_L$ no depende de la resistencia de carga $R_L$; por lo tanto, si $E_1$ y $E_2$ son constantes, la carga conectada a tierra será alimentada por una corriente constante. La corriente de carga que fluye a cualquier dirección, de modo que este circuito podría suministrar o disipar corriente.

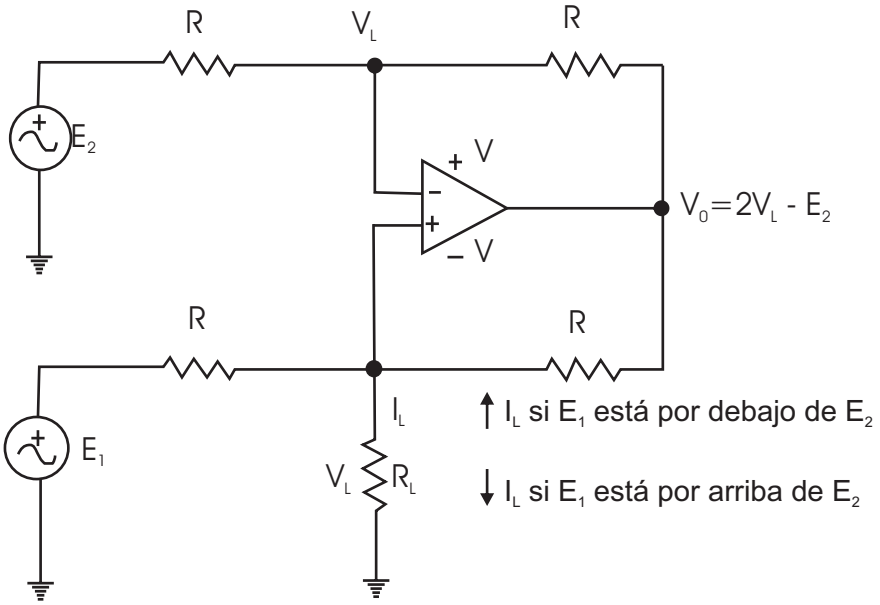



Figura: Convertidor de voltaje diferencial a corriente o fuente de corriente constante con carga a tierra.

La corriente de carga $I_L$ se determina mediante:

$$I_L = E_1 - E_2 / R$$

Si $I_L$ es positiva significa que fluye hacia abajo, como se aprecia en la figura anterior, y $V_L$ es positivo con respecto a tierra. Si $I_L$ es negativa quiere decir que $V_L$ es negativo con respecto a tierra y la corriente fluye hacia arriba.

El voltaje de carga $V_L$ depende de la resistencia de carga $R_L$, de acuerdo con

$$V_L = I_L R_L$$

Para estar seguro de que el amplificador operacional no se sature, hay que conocer el valor de Vo, que se calcula de la siguiente manera:

$$Vo = 2 V_L - E_2$$

## FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE ALTA CON CARGA CONECTADA A TIERRA

En ciertas aplicaciones, como la del recubrimiento electrolítico, es deseable alimentar una corriente alta, de valor constante, a una carga conectada a tierra. El circuito de la figura proporciona corrientes constantes superiores a 550 mA siempre que el transistor disponga de un disipador de calor apropiado (por encima de 5W) y un beta alta (B >100). El circuito funciona de la siguiente manera: el voltaje del diodo zener se aplica a un extremo de la resistencia sensura Rs y a la entrada positiva del amplificador operacional.

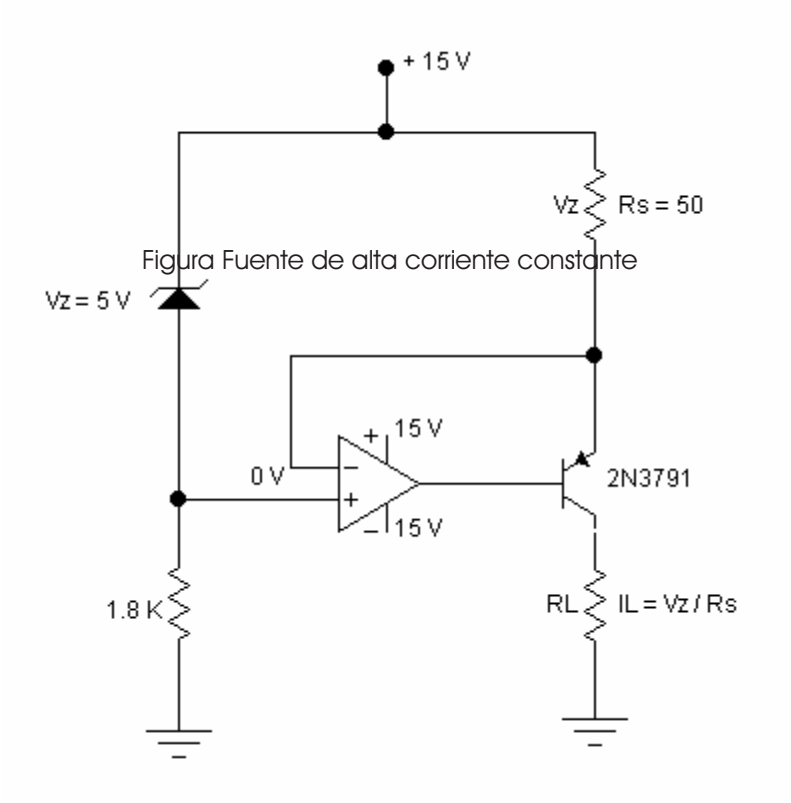



Figura Fuente de alta corriente constante

Dado que el voltaje diferencial de entrada es 0V, el voltaje Zener se genera a través de $R_s$. Tanto la resistencia $R_S$ como la $V_z$ crean la corriente en el emisor, $I_E$, constante en $V_Z$I $R_S$. La corriente del emisor y la del colector de un transistor bipolar de unión son casi iguales. Ya que la corriente del colector constituye la corriente de carga, $I_L$, e $I_L = I_E$, la corriente de carga $I_L$ está determinada por $V_Z$ y por $R_S$.

Si el amplificador operacional puede alimentar una corriente de base de más de 5 mA y si la beta del transistor es mayor a 100, entonces $I_L$, puede rebasar 5 mA X 100 = 500 mA. El voltaje de la carga no debe exceder la diferencia entre el voltaje de alimentación y el Zener: de no ser así, el transistor y el amplificador operacional alcanzarán la saturación.

### *Conexión de la salida de un microcontrolador con un transmisor de 4 a 20 mA*

Un circuito digital TTL, un microprocesador. un microcontrolador o una microcomputadora se comunican con el mundo exterior mediante un lenguaje binario en el que sólo hay dos símbolos 0 y 1. Sus correspondientes voltajes eléctricos son: bajo (<0.8 V) y alto (>24V). En válvulas, actuadores y otros dispositivos de uso común en el control de procesos se necesita un tren de pulsos formado por series de pulsos de corriente de 20 o 4 mA. Con un pulso de corriente de 20 mA se energiza un imán selector y mediante un pulso de 4 mA se libera Un imán para que abra y cierre un solenoide. Aunque es posible adquirir dispositivos transmisor de 4 a 20 mA contenidos en un sólo CI, como el AD694. puede darse el caso de aplica en las que es necesario probar rápidamente un sistema. o para las que sólo es necesario un circuito de iterfaz. En la Figura siguiente se muestran los principios del funcionamiento de un circuito de amplificador operacional que sirve como interfaz entre un microcontrolador y un lazo de corriente de 4 a 20 mA.

### *Fuente de corriente de 4 a 20 mA con control digital*

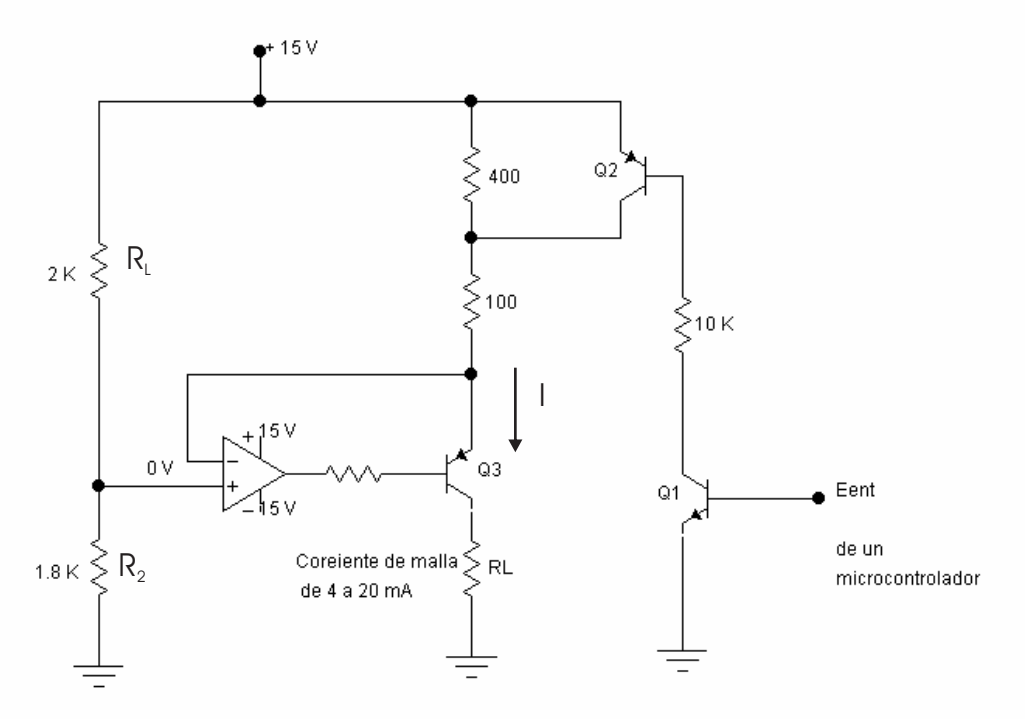
En el circuito de la figura las resistencias $R_1$ y $R_2$ forman un divisor de voltaje sin carga. Puesto que $E_d$ del amplificador operacional es de cero volts, aparece siempre entre el voltaje de alimentación positivo y el emisor del transistor de refuerzo de corriente $Q_3$ una caída de 2 V.

Si no se forma un cortocircuito en la resistencia de 400 ohm, la corriente que fluye por el resistor emisor $R_E$ (y la corriente de colector o de malla I) será igual a 2 V/500 ohm = 4 mA.

Si $Q_2$ "cortocircuita" la resistencia de 400 ohm, la corriente del circuito será igual a:

I = 2 V/100 ohm = 20 mA.

La elección de 4 o de 20 mA dependerá de $E_{ent}$ , Éste puede ser: (1) un nivel de voltaje TTL o bien (tratándose de otra familia lógica) la salida de un circuito de compuerta, de colector abierto; (2) un puerto de salida de un microcontrolador; (3) un transistor bipolar de unión discreto, ($Q_1$). (En el caso de un circuito autónomo se agrega una resistencia de 2.2 Kohm en serie con la base.)




| $E_{ent}$ | $Q_1$ | $Q_2$ | $I_{sal}$ |
|---|---|---|---|
| Alta = 1<br>Baja=0 | Encendido<br>Apagado | Encendido<br>Apagado | 2V / 100 ohm = 20mA<br>2V / 500 ohm = 4 mA |

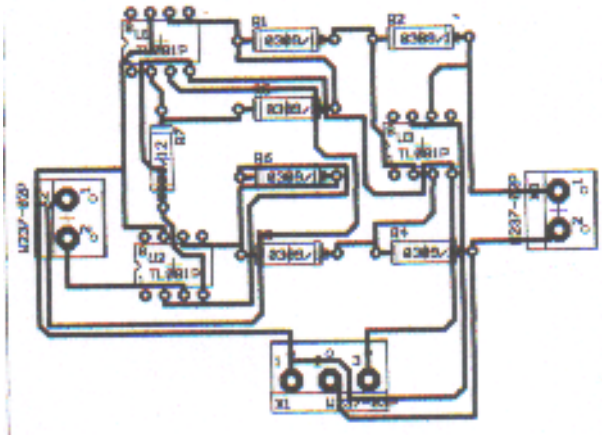
Figura: Fuente de corriente de 4 a 20 mA controlada digitalmente.

Cuando $E_{ent}$ es alto, $Q_1$ se satura e $I_{CE1}$ es igual a 1.4 mA aproximadamente. La corriente del colector de $Q_1$ es la corriente de base de $Q_2$ y éste se satura. Cuando $Q_2$ se satura, la resistencia de 400 ohm logra anular el “cortocircuito" y fija la corriente del emisor de $Q_B$, con lo cual la corriente de la malla llega a 20 mA.

Cuando $E_{ent}$ es bajo, $Q_1$ está en corte, lo cual a su vez interrumpe $Q_2$. Entonces $Q_2$, aparece como un circuito abierto con resistencia de 400 ohm y la comente del circuito, I, queda fija en 2 V/500 ohm = 4 mA. El voltaje máximo para este circuito es 12 V. Si $V_{R1}$ es de 12V, se necesita 1 V más para evitar que $Q_B$ llegue a saturarse [ 15 -(2 + 1) = 12 V].

# TAREA 6

# CONSTRUCCIÓN DE AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN



| N° | OPERACIONES | MATERIALES / INSTRUMENTOS |
|---|---|---|
| 01<br><br><br>02<br><br>03 | -Montar y soldar componentes de amplificador de instrumentación en placa<br>-Montar placa y accesorios de amplificador de instrumentación en chasis<br>-Probar funcionamiento de amplificador de instrumentación | -Soldador de 30 watts.<br>-extractor de soldadura<br>-soldadura<br>-pasta para soldar<br>-alicate de corte<br>-termistor PTC<br>-milivoltímetro<br>-Multímetro<br>-pinza de puntas planas |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 01 | 01 | | | |
| PZA. | CANT. | **DENOMINACIÓN - NORMA /DIMENSIONES** | | OBSERVACIONES |
| SENATI PERÚ | | CONSTRUCCIÓN DE AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN | HT 06 | REF. |
| | | **ELECTRÓNICO INDUSTRIAL** | TIEMPO: | HOJA: 1/1 |
| | | | ESCALA: | 2005 |



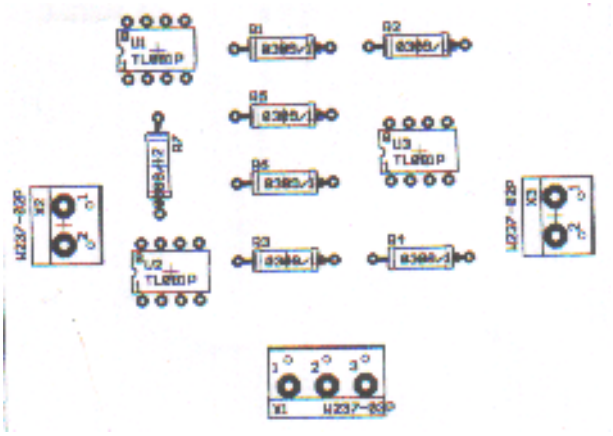
92

## OPERACIÓN

## MONTAR Y SOLDAR COMPONENTES DE AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

## PROCESO OPERACIONAL

**Paso 1.** Montar componentes en la placa.



**Paso 2.** Soldar componentes en la placa

**Paso 3.** Cortar con una pinza de corte diagonal los terminales sobrantes de los componentes

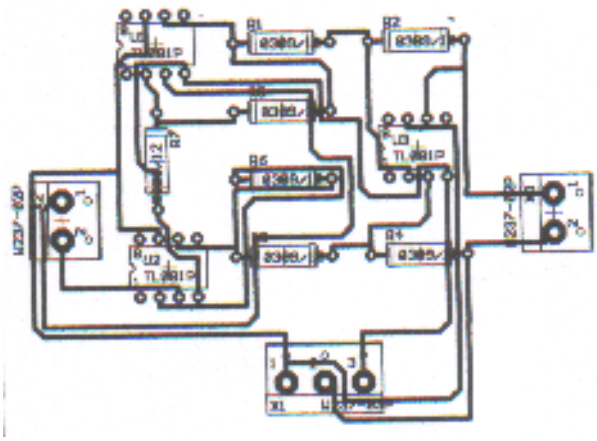
## OPERACIÓN

## MONTAR PLACA Y ACCESORIOS DE AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

## PROCESO OPERACIONAL

**Paso 1.** Conectar la fuente de alimentación, el sensor en la placa terminada

ENTRADA DEL SENSOR DE TEMPERATURA PTC



FUENTE DE ALIMENTACIÓN

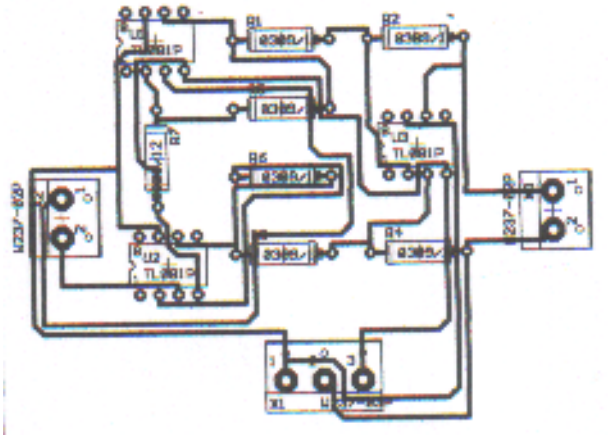
+12 GND -12

**OPERACIÓN**

**PROVAR FUNCIONAMIENTO DE AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN**

**PROCESO OPERACIONAL**

**Paso 1.** Conectar un voltímetro en la salida de la tarjeta.



VOLTAJE DE SALIDA

## *AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO*

Con cuatro resistencias de precisión (1%) y un amplificador operacional se construye un amplificador diferencial, como se muestra en la figura. Este amplificador cuenta con dos terminales de entrada, identificadas como entrada (-) y entrada (+), las cuales corresponden a la terminal más cercana del amplificador operacional. Si se reemplaza $E_1$, por un cortocircuito, lo que $E_2$ ve es un amplificador inversor con ganancia de -m. Por lo tanto, el voltaje de salida que se obtiene por *E2* es $-mE_2$. Ahora se cortocircuita $E_2$; $E_1$, se divide entre *R y mR y se* aplica así un voltaje de magnitud $E_1 m / (1+m)$ en la entrada (+) del amplificador operacional. Este voltaje dividido ve un amplificador no inversor que tiene una ganancia (m + 1). El voltaje de salida generado por $E_1$ es el voltaje dividido $E_1 m / (1+m)$ multiplicado por la ganancia del amplificador no inversor (1 + m), lo que produce $mE_1$. Por lo tanto, $E_1$ se amplifica en virtud de la salida del multiplicador m a un valor $mE_1$. Cuando $E_1$, y $E_2$, *están* en las entradas (+) y (-) respectivamente, $V_o$ vale $mE_1$, $-mE_2$, *o:*

$$V_0 = m\,E_1 - m\,E_2 = m\,(E_1 - E_2)$$

La ecuación muestran que el voltaje de salida del amplificador diferencial, $V_{0;}$ es proporcional a la *diferencia del* voltaje aplicado a las entradas (+) y (-) .Al multiplicador m se le denomina *ganancia* diferencial *y* está definido por la relación que existe entre las resistencias.

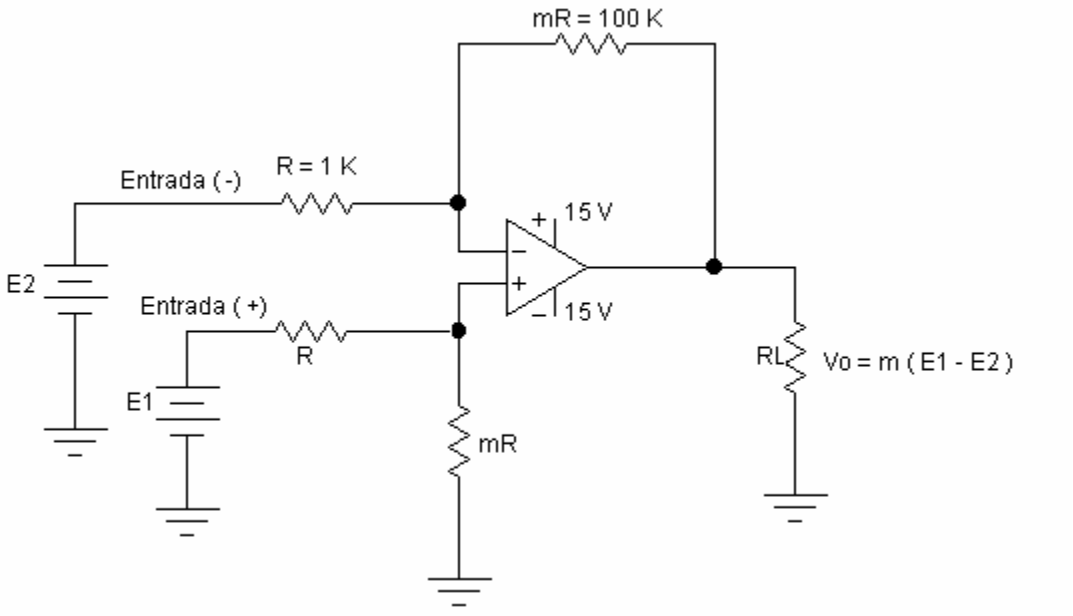
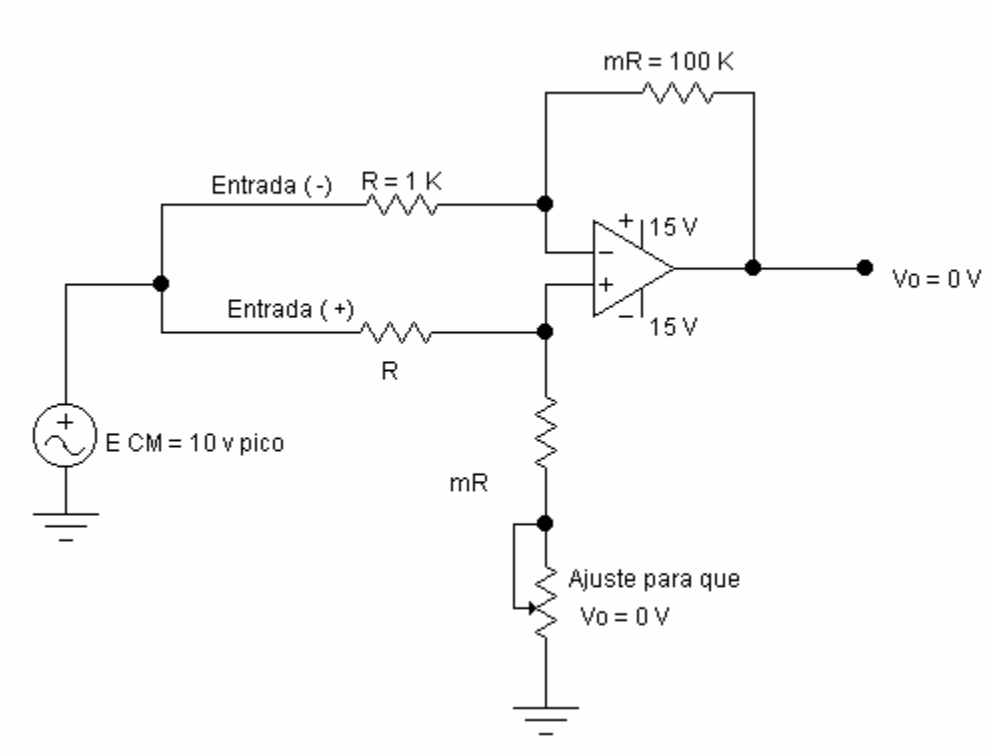



Figura: Amplificador Diferencial Básico

### *Voltaje en modo común*

La salida del amplificador operacional debe ser 0 cuando $E_1 = E_2$. La forma más sencilla de aplicar voltajes iguales es alambrando ambas entradas y conectándolas a la vez a la fuente de voltaje . En este tipo de conexión, al voltaje de entrada se le denomina *voltaje de entrada en modo común,* $E_{CM}$ Ahora $V_o$ será 0 si las relaciones entre las resistencias son iguales *(mR* respecto a *R* de la ganancia del amplificador inversor es idéntica a mR respecto a *R* del circuito divisor de voltaje). Prácticamente, las relaciones entre las resistencias se igualan mediante la instalación de un potenciómetro en serie con una resistencia, como se muestra en la figura. El potenciómetro se va ajustando hasta que $V_o$ se reduce a un valor insignificante. De esta manera se logra que la *ganancia de voltaje en modo común* $V_o / E_{CM}$ se aproxime a 0. Ésta es la característica de un amplificador diferencial que permite captar y amplificar. una señal pequeña que se presenta junto con una señal de ruido mucho más grande. Es posible diseñar el circuito de modo que la señal de ruido, no deseada, sea el voltaje de entrada en modo común y la señal pequeña sea el voltaje de entrada diferencial. De esta manera, el voltaje de salida del amplificador diferencial contendrá sólo una versión amplificada del voltaje diferencial de entrada.

FIGURA La ganancia de voltaje en modo común debe ser de cero.



## *COMPARACIÓN ENTRE AMPLIFICADORES DIFERENCIALES Y AMPLIFICADORES DE UNA SOLA ENTRADA*

*Medición con amplificador de entrada única*

En la figura se presenta el diagrama de la conexión de un amplificador inversor. La terminal común de la fuente aparece conectada a tierra. La tierra proviene de la conexión con un tubo de agua en el extremo de la calle de un medidor de agua. La tierra se extiende por el tubo o por un alambre Romex pelado, hasta llegar al tercer alambre (verde) del cable de línea del instrumento y por último al chasís del amplificador. Esta tierra de equipo o chasís es una previsión para proteger a los operadores humanos; también permite eliminar cargas estáticas o cualquier corriente de ruido acoplada capacitivamente a la tierra.

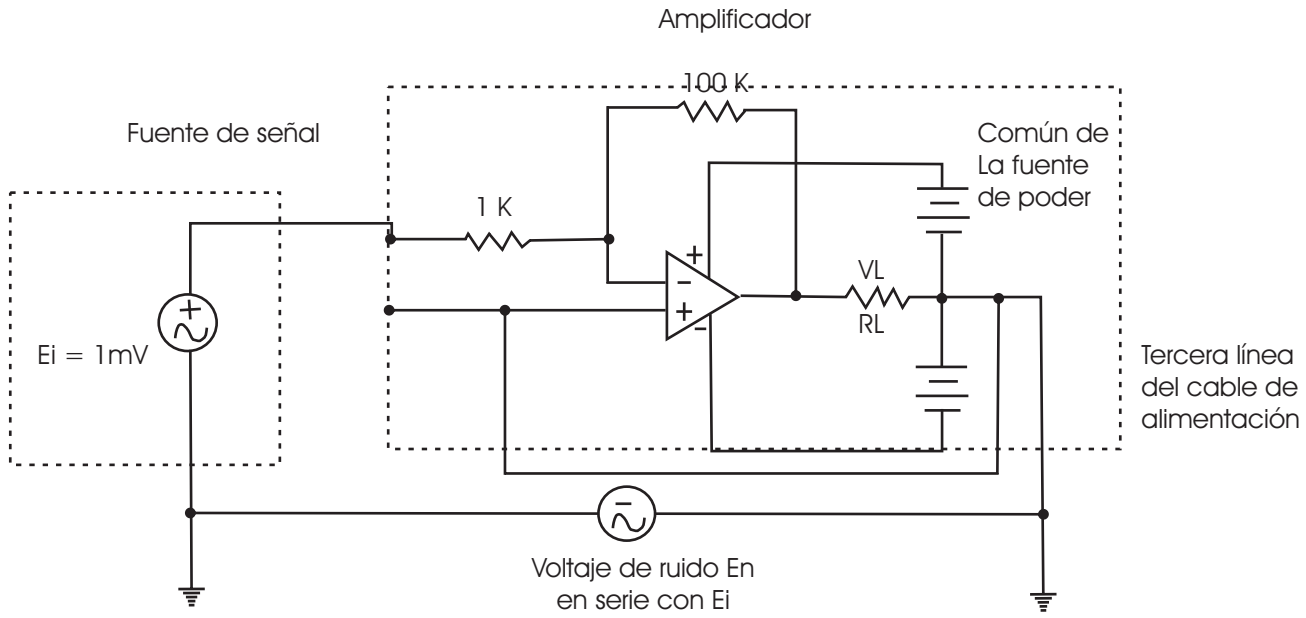



Figura: Los voltajes de ruido se comportan como si estuvieran en serie con la señal de entrada $E_i$. En consecuencia, ambas señales se amplifican por iguales. Este arreglo es importante si $E_n$ es mayor o igual que $E_i$.

En la figura se aprecia la fuente de señal conectada a tierra . Aunque no estuviera conectada a tierra, existiría *un acoplamiento* resistivo o capacitivo a tierra para completar un lazo de tierra.

Es inevitable la abundante existencia de corrientes de ruido y voltajes de ruido. Prevenientes de diversas fuentes y que muchas veces no es fácil detectar. El efecto neto de todo este ruido está modelado mediante la fuente de voltaje de ruido. $E_n$ de la figura. Es evidente que con el voltaje $E_n$ está en serie con el voltaje de la señal $E_i$, de manera juego ambos se amplifican por un factor de -100 debido al amplificador Inversor. $E_n$, puede ser mucho mayor que $E_i$, Por ejemplo, la señal de voltaje que producen los latidos del corazón en la piel es menor a 1 mV, en tanto que el voltaje de ruido del cuerpo puede ser de varios décimos de volts o más. Es decir, sería imposible hacer mediciones de ECG con un amplificador de una sola entrada. Lo que se necesita en estos casos es un amplificador capaz de distinguir entre $E_i$, y $E_n$, y que amplifique sólo a $E_i$. Y, para ello, lo indicado es el amplificador diferencial.

### *Medición con un amplificador diferencial*

El amplificador diferencial se utiliza sólo para medir el voltaje de la señal que se desea (véase en la figura) Si el voltaje de la señal deseada $E_i$, se conecta a través de las entradas (+) y (-) del amplificador diferencial, $E_i$ *se* amplifica con una ganancia de -100. Mientras que el voltaje de ruido $E_n$, se convierte en el voltaje de modo común en la entrada del amplificador. Por lo tanto el voltaje de ruido no se amplifica y se ha eliminado de manera para que no tenga un efecto significativo en la señal de salida $V_0$.

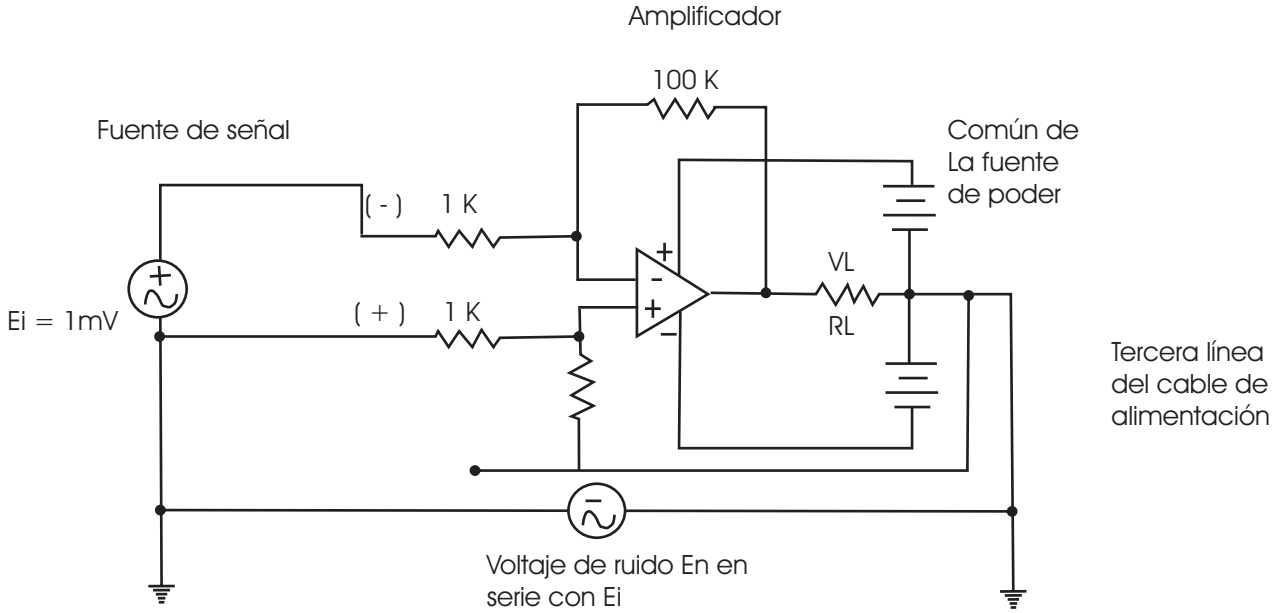



Figura: El amplificador diferencial está conectado de manera que el voltaje de ruido es el voltaje en modo común y no se amplifica. Solamente se amplifica el voltaje de señal, $E_i$, ya que está conectado como un voltaje diferencial de entrada.

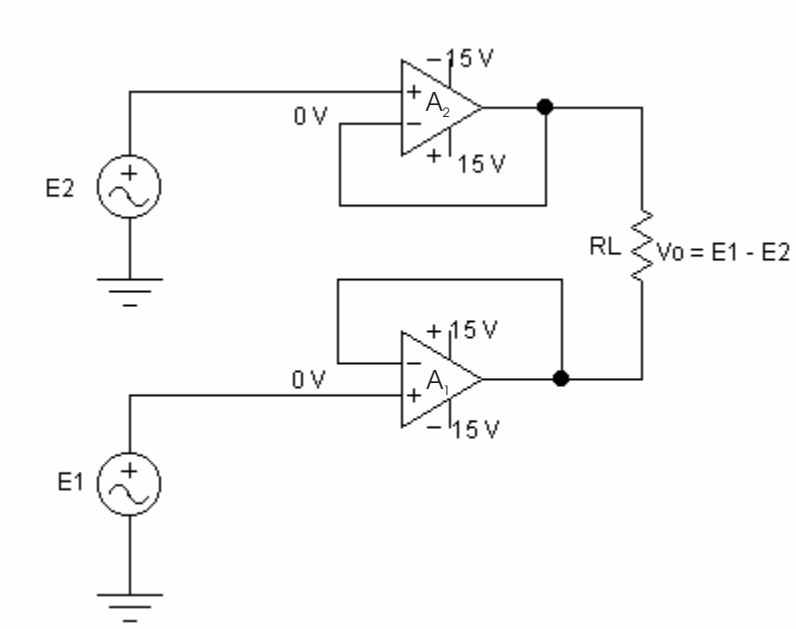
## *CÓMO MEJORAR EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL BÁSICO*

### *Aumento de la resistencia de entrada*

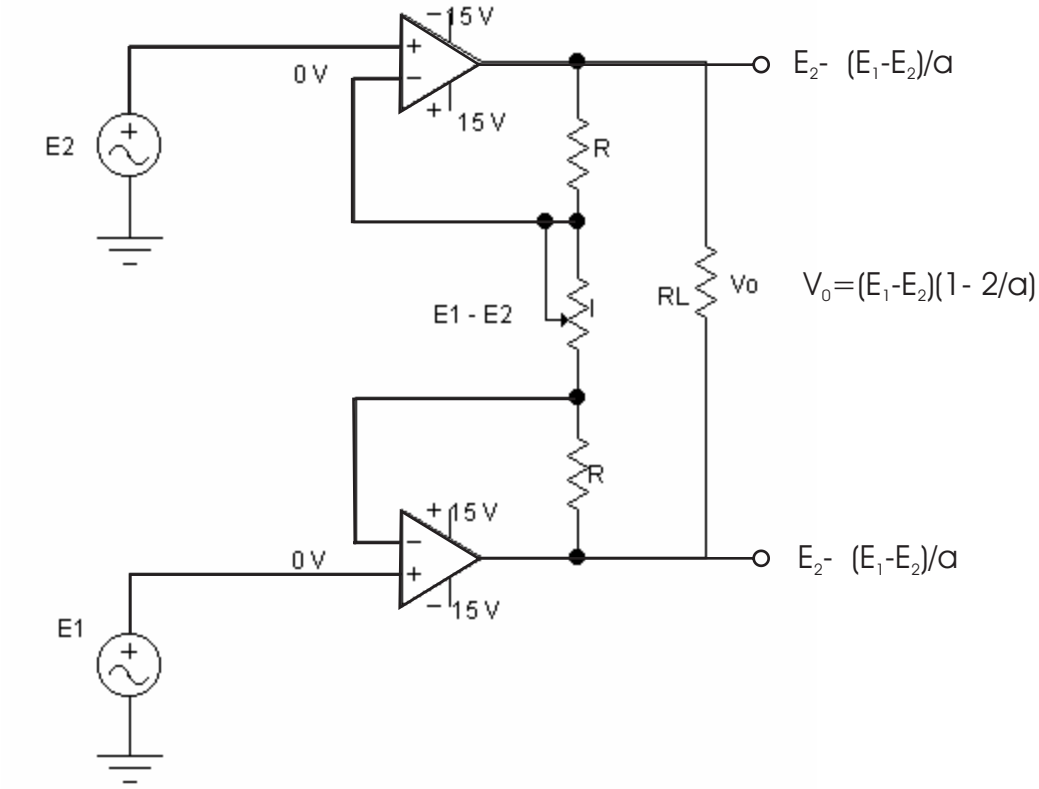
El amplificador diferencial básico estudiado hasta ahora tiene dos desventajas: su resistencia de entrada es baja y es difícil modificar su ganancia debido a que la relación entre las resistencias debe lograrse de manera precisa. La primera de las desventajas se elimina acoplando las entradas con seguidores de voltaje. Para ello se utilizan dos amplificadores operacionales conectados como seguidores de voltaje en la figura A. La salida del amplificador operacional $A_1$ en relación con la tierra es $E_1$ y la salida del amplificador operacional $A_2$, en relación con la tierra es $E_2$. Se genera un voltaje de salida diferencial $V_0$ a través de la resistencia de carga $R_L$. V0 es igual a la diferencia entre $E_1$, y $E_2$ ($V_0 = E_1 \ E_2$). Observe que la salida del amplificador diferencial básico de una sola terminal; es decir, un lado de $R_L$ se conecta a tierra y $V_0$ se mide desde la terminal de salida del amplificador operacional que va a tierra. El amplificador diferencial acoplado de la figura A es de una salida diferencial, lo que significa que ningún extremo de $R_L$ está conectado a tierra y $V_0$ se mide sólo a, través de $R_L$.

### *Ganancia ajustable*

La segunda desventaja del amplificador diferencial básico es que no tiene ganancia ajustable. Para eliminar este problema se añaden tres resistencias más al amplificador acopla acoplado. En la figura (b) se muestra el amplificador de entrada diferencial a salida diferencial con ganancia ajustable y acoplado así




(A) Entrada diferencial acoplada al amplificador de salida diferencial.




(B) Entrada diferencial acoplada al amplificador de salida diferencial con ganancia ajustable.

Figura Cómo mejorar el amplificador diferencial básico.

Puesto que el voltaje diferencial de entrada de cada uno de los amplificadores operacionales es 0 V, los voltajes que están en los puntos 1 y 2 (con respecto a tierra) son iguales a $E_1$ y $E_2$, respectivamente. Por lo tanto, el voltaje presente a través de la resistencia a R es $E_1$ $E_2$, La resistencia a *R* puede ser fija o un potenciómetro por medio del cual se ajusta la ganancia. La corriente que atraviesa a *R es:*

$$I = \frac{E_1 - E_2}{a\,R}$$

Cuando $E_i$, es mayor (o más positivo que) $E_2$, la dirección de la corriente I es la que se aprecia en la figura (b) . Esta corriente fluye por las dos resistencias identificadas como *R* y el voltaje presente entre las tres resistencias define el valor de $V_0$, Expresando lo anterior con una ecuación:

$$V_0 = (E_1 - E_2)\left(1 + \frac{2}{a}\right)$$

en donde

$$a = \frac{a\,R}{R}$$

Ejemplo:
En la figura anterior (b). $E_1$ = 10mV y $E_2$ = 5mV. Si aR = 2 Kohm y R = 9 Kohm, Calcule $V_0$.

Solución
Dado que aR = 2 Kohm y R = 9 Kohm:

$$\frac{aR}{R} = \frac{2k\Omega}{9k\Omega} = \frac{2}{9} = a$$

$$1 + \frac{2}{a} = 1 + \frac{2}{2/9} = 10$$

Finalmente: $V_0$ = (10 mV - 5mV) (10) = 50mV.

## *AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN*

### *Funcionamiento del circuito*

El amplificador de instrumentación es uno de los amplificadores más útiles, precisos y versátiles de que se dispone en la actualidad. Todas las unidades de adquisición de datos cuentan por lo menos con uno. Está formado por tres amplificadores operacionales y siete resistencias, como se aprecia en la figura. Para simplificar el análisis del circuito, observe que el amplificador de instrumentación de hecho se arma conectando un amplificador acoplado con un amplificador diferencial básico. El amplificador operacional $A_3$ y sus cuatro resistencias iguales *R* constituyen un amplificador diferencial con una ganancia de 1. Únicamente el valor de las resistencias de $A_3$ es lo que debe ser igual. La resistencia marcada con prima, *R´* es variable con objeto de balancear voltajes de modo común que estuvieran presentes.

La ganancia se define como:

$$\frac{V_0}{E_1 - E_2} = 1 + \frac{2}{a}$$

En donde: $a = aR / R$

$E_1$, se aplica a la entrada ( + )y $E_2$, a la entrada (-). $V_0$ es proporcional a la diferencia entre los voltajes de entrada. El siguiente es un *resumen de las características del amplificador de instrumentación:*

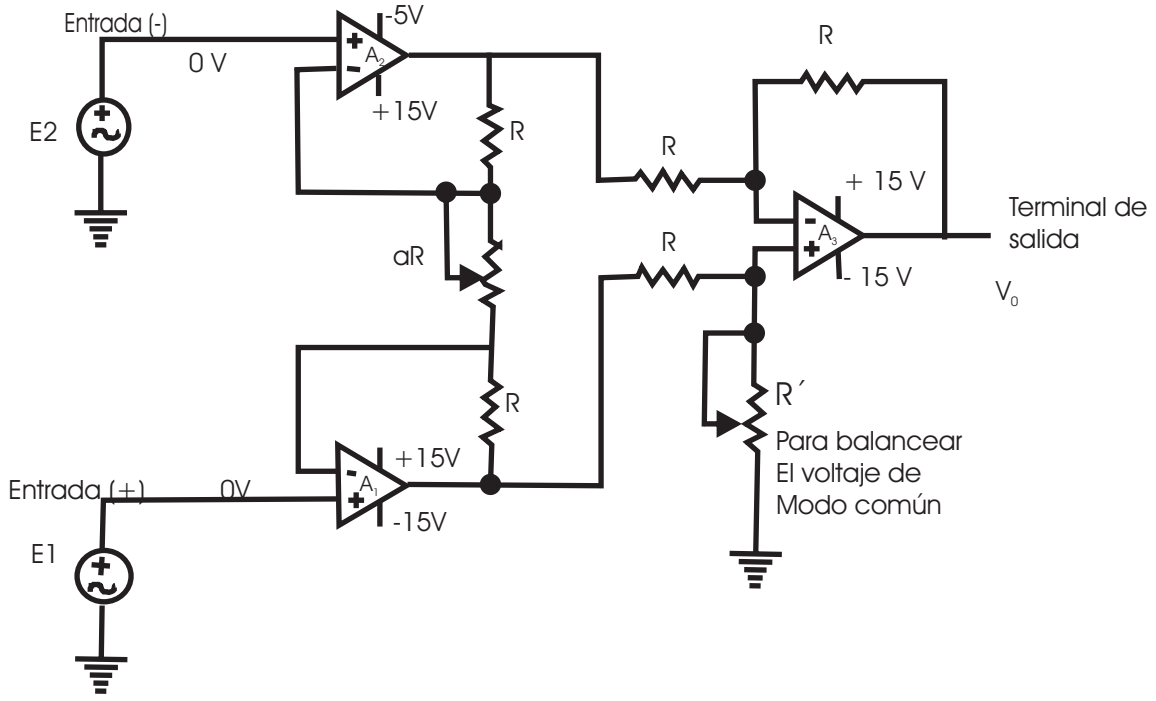



Figura: Amplificador de instrumentación.

1. La ganancia de voltaje, desde la entrada diferencial *( $E_1$ - $E_2$ )* a la salida simple, se define por medio de *una* sola resistencia.
2. La resistencia de entrada de las dos entradas es muy alta y no cambia aunque se varíe la ganancia.
3. $V_0$ , no depende del voltaje común de *$E_1$ y $E_2$* (voltaje de modo común), sólo de su diferencia.

Ejemplo
En la figura anterior R = 25 Kohm y aR = *50* ohm. Calcule la ganancia de voltaje.

Solución

$$\frac{aR}{R} = \frac{50}{25000} = \frac{1}{500} = a$$

$$\frac{V_0}{E_1 - E_2} = 1 + \frac{2}{a} = 1 + \frac{2}{1/500} = 1 + (2X500) = 1001$$

*Ejemplo*
*Si en la figura anterior se elimina aR, de manera que aR es igual a infinito, ¿cuál es la ganancia en voltaje?*

*Solución : Si a R es igual a infinito , por lo tanto,*

$$\frac{V_0}{E_1 - E_2} = 1 + \frac{2}{\infty} = 1$$

Ejemplo

En la figura anterior se aplican alas entradas los siguientes voltajes. Las polaridades de éstos se dan respecto a tierra. Suponiendo una ganancia de 1001 del primer ejemplo, calcule $V_0$, para:
(a) *$E_1$ = 5.001 V y $E_2$ = 5*.002 V; (b) $E_1$ = 5.0001 *V y $E_2$ = 5.000 V; (c) $E_1$ = -1.001 V,* *$E_2$* = -1.002 V.

Solución

(A) $V_0$ = 1001 ( $E_1$ $E_2$ ) = 1001 ( 5.001 5.002) V

= 1001( -0.001)V = -1.001V

(b) $V_0$ = 1001 ( 5.001 5.000) V = 1001( 0.001)V = 1.001V

(c) $V_0$ = 1001 ( -1001 - 1.002) V = 1001( 0.001)V = 1.001V

## *EL AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN COMO CIRCUITO ACONDICIONADOR DE SEÑAL.*

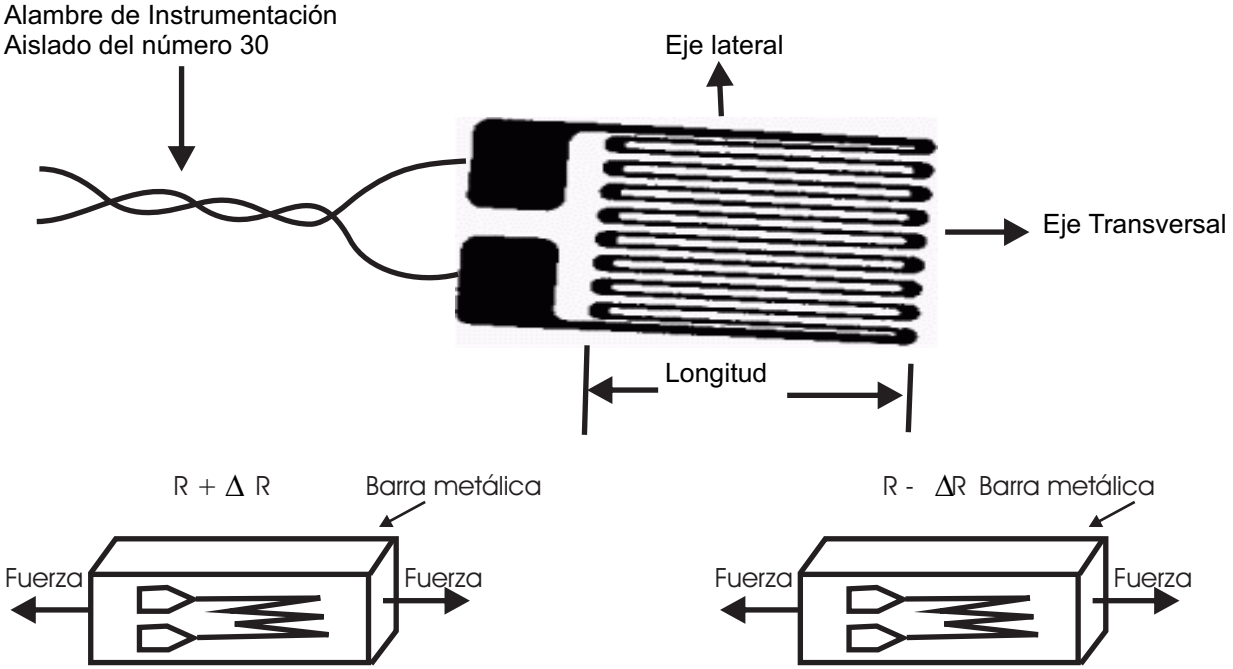
### *Introducción al sensor de deformaciones*

El sensor de deformaciones es un alambre conductor cuya resistencia cambia ligeramente al acortarlo o alargarlo. El cambio de su longitud es-pequeño, unas cuantas millonésimas de pulgada. El sensor está integrado a una estructura, de modo que los porcentajes de cambio de longitud del sensor de deformación y de la estructura son idénticos.

En la figura se aprecia un sensor de deformación de tipo cinta metálica. La longitud activa del sensor está situada a lo largo del eje transversal. Hay que montar el sensor de manera que el eje transversal coincida con el movimiento de la estructura que se va a medir. Cuando por causa de una tensión se alarga la barra y el conductor del sensor, también aumenta la resistencia de ésta. Una compresión disminuye la resistencia del sensor, al disminuir la longitud normal del sensor de esfuerzo.

### Material utilizado en el sensor de deformación

Los sensores de deformación se construyen utilizando aleaciones metálicas como el Constantan, el Nicromo V, Dynaloy, Stabiloy o aleaciones de platino. Para el trabajo a altas temperaturas se utiliza el alambre. Para temperaturas moderadas, los sensores de deformación se construyen con aleaciones de metales en cintas muy delgadas mediante un procedimiento de fotograbado. Se consigue así un producto denominado sensor de deformación tipo cinta.




B) La tensión alarga la barra y el sensor.
Con lo que aumenta la resistencia de éste en
Δ R

C) La comprensión acorta la barra y el sensor.
Con lo que reduce la resistencia de sensor en
Δ R

***Cómo se usa la información obtenida mediante el sensor de deformación***

En la siguiente sección mostraremos que este instrumento mide sólo el *cambio* de la resistencia del sensor, ΔR El fabricante especifica la resistencia del sensor sin deformación. Una vez medida ΔR se calcula la relación ΔR / R. El fabricante proporciona también un factor, *sensibilidad* (GF), característico de cada instrumento. Este factor es la relación que existe entre el cambio porcentual en la resistencia de un sensor y su correspondiente cambio porcentual en longitud. Estos cambios porcentuales también se pueden expresar en forma decimal. Si se divide la relación Δ R/*R* cm el factor de sensibilidad, G, se obtiene la razón de *cambio* de la longitud del sensor Δ L respecto de su longitud original L. Desde luego que la estructura en la que está montado el sensor tiene el mismo Δ L/L Mediante un ejemplo se ilustrará cómo se utiliza el factor de sensibilidad.

Ejemplo:
Se fija a una barra metálica, un sector de deformación de 120 ohm con un factor de sensibilidad de 2.
La barra se estira y provoca un Δ R de 0.001 ohm, Calcular Δ L/L

Solución:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R / R}{GF} = \frac{0.001\Omega / 120\Omega}{2}$$

$$\frac{\Delta L}{L} \approx 4.1 micropu\lg ada / pu\lg adas$$

A la relación ΔL/L se le denomina ***deformación unitaria,*** La información relativa a ésta (deducida mediante la medición de ΔR) es lo que interesa a los ingenieros mecánicos. Estos datos y características conocidas del material estructural (módulo de elasticidad) sirve para determinar el esfuerzo en una viga. El esfuerzo es la *cantidad de fuerza ejercida sobre un área unitaria.* La unidad del esfuerzo es la libra por pulgada cuadrada (psi), Si el material de la barra del ejemplo fuese de hierro dulce, su esfuerzo sería de 125 psi. *La fatiga, o esfuerzo de deformación, es la deformación de un material causada por un esfuerzo,* Δ L/L

***Montaje de los sensores de deformación***

Antes de montar un sensor de deformación, hay que limpiar, lijar y enjuagar con alcohol, freón o metíl etil cetona la superficie de la viga de montaje. Se pega permanentemente el sensor a la superficie limpia mediante un adhesivo como Eastman 910, adhesivo epóxico o de polimida o cemento para cerámica. Hay que observar cuidadosamente las instrucciones del fabricante.

***Cambios en la resistencia del sensor de deformación***

Lo que debe medirse en un sensor es el *cambio* experimentado en la resistencia, Δ R, siendo éste *pequeño.* El valor de Δ R es de unos cuantos miliohms. Las técnicas empleadas para medir pequeños cambios de resistencia se explican a continuación.

## *MEDICIÓN DE PEQUEÑOS CAMBIOS EN LA RESISTENCIA*

***Es necesario utilizar un puente resistivo .***

Para poder medir la resistencia, primero es menester encontrar una técnica que permita convertir el *cambio de la resistencia* en una corriente o voltaje que se muestre en un amperímetro o voltímetro. Si lo que hay que medir es un *cambio* ligero en la resistencia, lo que se obtendrá será un cambio muy pequeño en el voltaje. Por ejemplo, una corriente de 5 mA si pasa por un sensor de deformación de 120 ohm el voltaje a través del mismo sería de 0.600 V. Si la resistencia *cambia* a 1 mohm *el cambio* en el voltaje sería de 5 uV. Para mostrar este cambio sería necesario amplificarlo por un factor de, por ejemplo, 1,000 a 5 mV. Sin embargo, también es posible amplificar los 0.6 V por 1,000 para así obtener 600 V más 5 mV. Es difícil detectar una diferencia de 5 mV presente en una señal de 600 V. Por lo tanto, es necesario un circuito que permita amplificar sólo la diferencia en voltaje a través del sensor de deformación causado por un cambio en su resistencia. La solución a lo anterior está en el circuito conocido como puente de Wheatstone.

### Puente básico de resistencias

El sensor de deformación se coloca en un brazo del puente de resistencias, como se aprecia en la figura. Suponga que el sensor no está deformado, de modo que su resistencia es igual a *R.* También suponga que $R_1$, $R_2$ y $R_3$ son todas iguales a *R.* En estas condiciones, $E_1 = E_2 = E/2$ y $E_1 - E_2 = 0$. Se dice entonces que el puente está ***balanceado.*** Cuando el sensor de esfuerzo se encuentra comprimido, *R* decrecerá en $\Delta R$ y el voltaje diferencial $E_1 - E_2$, se calcula mediante:

$$E_1 - E_2 = E\frac{\Delta R}{4R}$$

Esta aproximación se considera válida dado que $2\Delta R << 4R$ en el caso de los sensores de esfuerzo.

La ecuación muestra que *E* debe ser lo suficientemente grande como para obtener el voltaje máximo de salida diferencial, $E_1 - E_2$.

Ejemplo

Si $\Delta R = 0.001$ ohm, $R = 120$ ohm, y $E = 1.0$ V en la figura siguiente, calcularía salida del puente, $E_1 - E_2$.

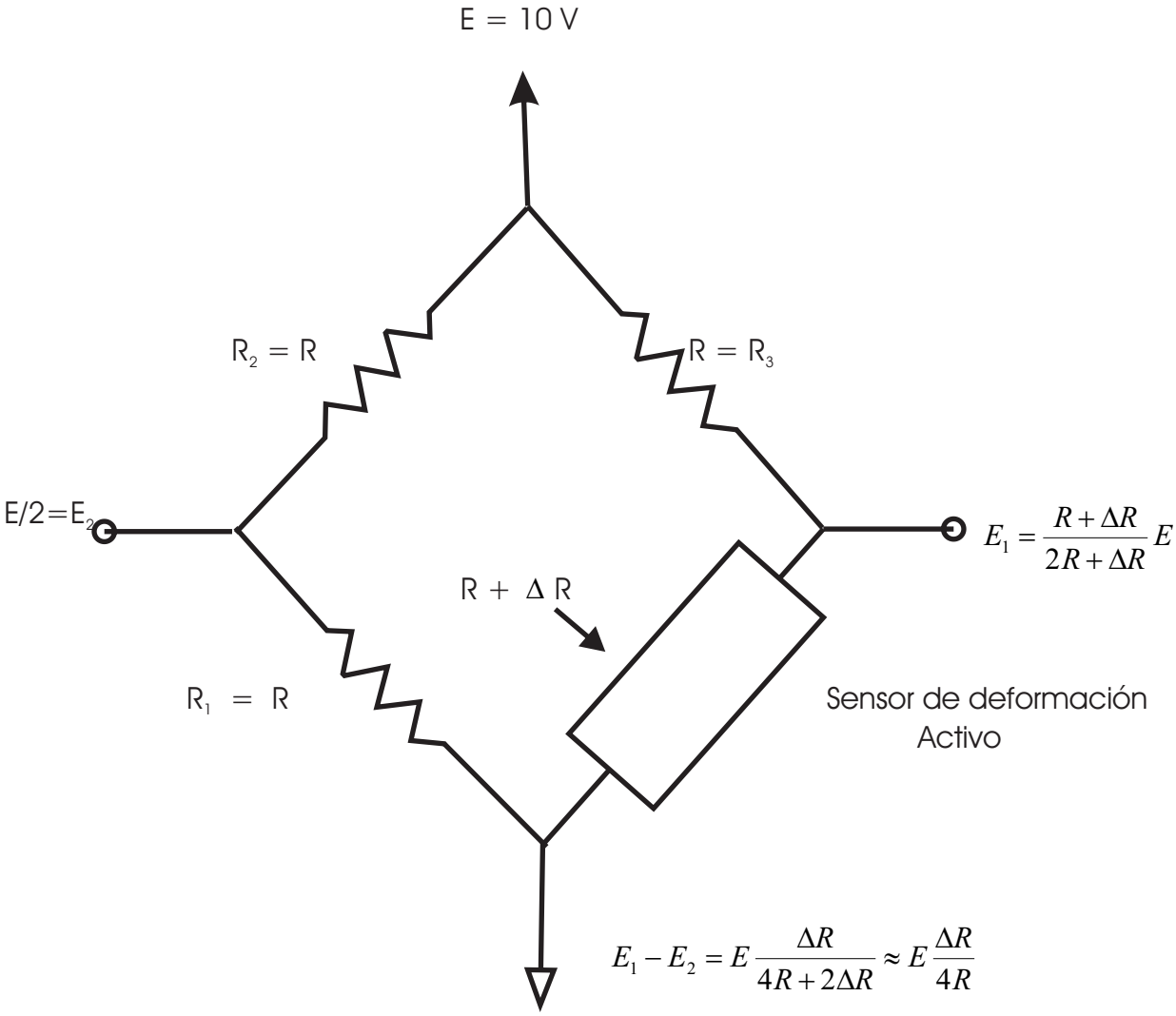
*Solución*

$$E_1 - E_2 = 1.0V \times \frac{0.001\Omega}{(4)(120)\Omega} = 2.2\mu V$$

*Si* se aumenta E hasta 10 V, entonces $E_1$ $E_2$, aumenta hasta 22 uV.

Por lo tanto, un amplificador de instrumentación sirve para amplificar el voltaje diferencial. $E_1 - E_2$, 1,000 veces y, producir una salida de aproximadamente *22* mV por miliohm de $\Delta R$.

Podemos concluir que mediante el voltaje *E,* el circuito puente y un amplificador de instrumentación se convierte el cambio de 1 mohm en un cambio de 22 mV en el voltaje de salida.



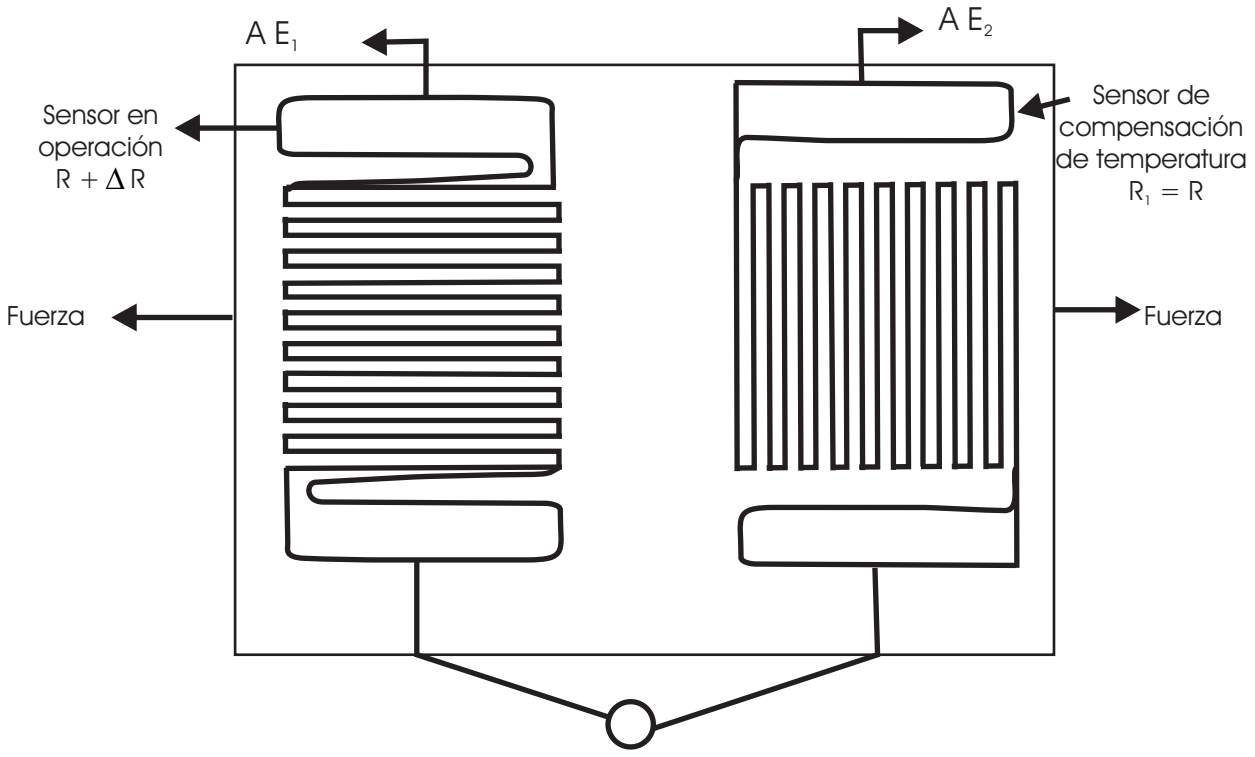

El arreglo de puente de resistencia y el voltaje de alimentación E convierten en un cambio en la resistencia en el censo de deformación, R en un voltaje de salida diferencial , $E_1 - E_2$. Si R = 120 ohm, E = 10 V y R = 1m ohm, $E_1 - E_2$ = 22 uV.

### *Efectos* térmicos en *el balance del puente*

Aun cuando se lograse balancear el circuito puente éste no permanecería así, debido a que los *ligeros cambios* en la temperatura en el sensor de esfuerzo provocan cambios en resistencia iguales o mayores que los generados por el esfuerzo. Para resolver este problema se monta otro sensor de esfuerzo idéntico y junto al sensor que está en funcionamiento; de esta manera. ambos estarán dentro del mismo entorno térmico. Por lo tanto, conforme varíe la temperatura la resistencia del sensor adicional cambiará exactamente como lo hace la resistencia del sensor en funcionamiento. Este sensor adicional permite obtener una compensación de temperatura automática, por lo que acertadamente se le ha llamado *sensor de compensación de temperatura o sensor ficticio.*

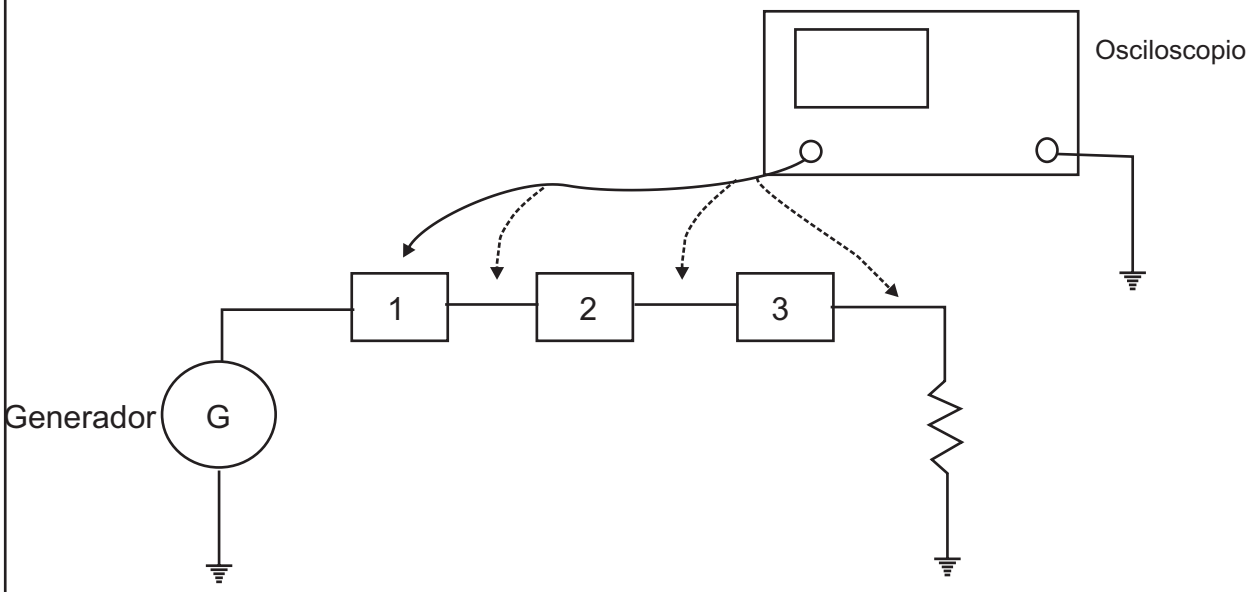
Este *sensor de compensación de temperatura* se coloca con su eje transversal perpendicular al eje transversal del sensor que está activo, como se muestra en la figura Puede obtenerse con los fabricantes este tipo estándar de arreglo de sensores. El nuevo sensor se conecta en lugar de la resistencia *R,* en el circuito puente Una vez balanceado el puente, las resistencias *R* del sensor de compensación de temperatura y del sensor en funcionamiento se siguen una a otra para así mantener en equilibrio el puente. Cualquier desequilibrio que se produzca es exclusivamente por causa de $\Delta R$ del sensor activo debido al esfuerzo.

En la Figura siguiente, el sensor de temperatura tiene los mismos cambios de resistencia que el sensor en operación al incrementarse la temperatura. Sólo el sensor activo cambia su resistencia con la deformación. Al conectar el puente como se muestra en la figura, los cambios en la resistencia debidos a cambios en la temperatura se balancean automáticamente.



# TAREA 7

# DETECCIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS DE CIRCUITOS CON OPAMP




| N° | OPERACIONES | MATERIALES / INSTRUMENTOS |
|---|---|---|
| 01 | -Detectar y reparar fallas en circuitos con amplificadores operacionales | -Multímetro<br>-osciloscopio<br>-fuente de alimentación simétrica<br>-soldador<br>-extractor de soldadura<br>pasta para soldar |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 01 | 01 | | |
| PZA. | CANT. | **DENOMINACIÓN - NORMA /DIMENSIONES** | OBSERVACIONES |
| SENATI PERÚ | | DETECCIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS EN CIRCUITOS CON OPAMP | HT 07 / REF. |
| | | **ELECTRÓNICO INDUSTRIAL** | TIEMPO: / HOJA: 1/1 |
| | | | ESCALA: / 2005 |

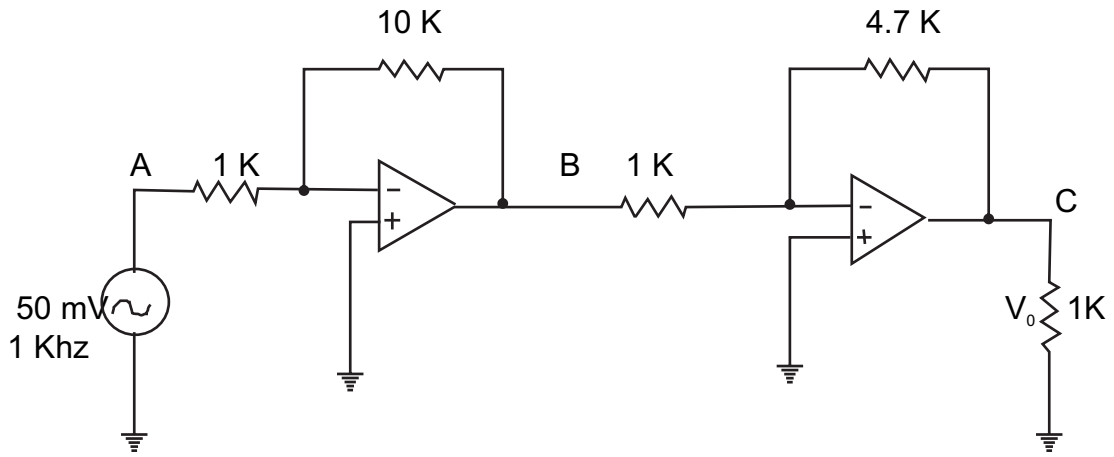

111

**OPERACIÓN**

**DETECTAR Y REPARAR FALLAS EN CIRCUITOS CON AMPLIFICADORES OPERACIONAL**

**PROCESO OPERACIONAL**

**Paso 1.** Armar el circuito de la figura




**Paso 2.** Alimentar al circuito adecuadamente ( en el esquema anterior no se muestra la fuente de alimentación)

**Paso 3 .** Ajustar el generador a 50 mV y 1 KHz.

**Paso 4.** Con un osciloscopio medir el voltaje y verificar la s señales en los puntos A, B y C.

**Paso 5.** Cambiar la primera resistencia de 1K por 100 K y volver ha realizar las mediciones con el osciloscopio

**Paso 6.** Discutir y explicar los resultados

**Paso 7.** Cambiar la segunda resistencia de 1K por 100 K y volver a realizar las mediciones con el osciloscopio

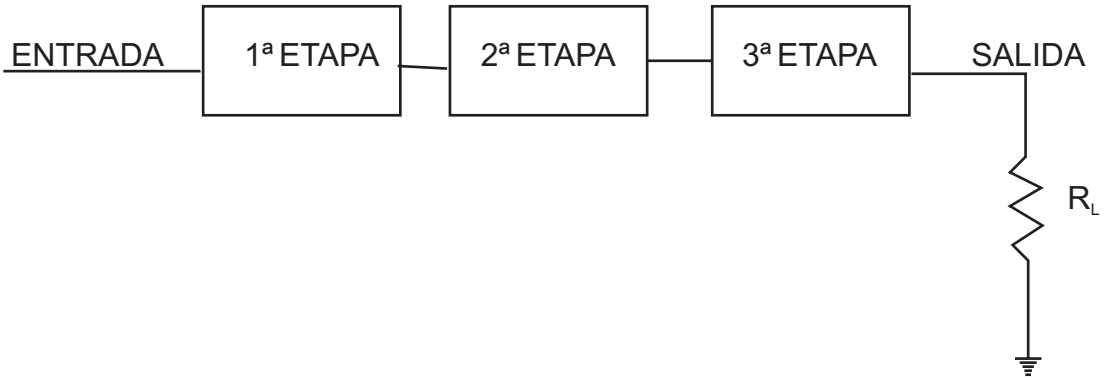
**Paso 8.** Discutir y explicar los resultados

**Paso 9 .** Cual seria la mejor técnica para detectar las fallas en este circuito?

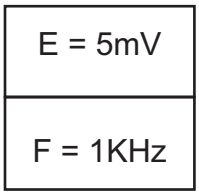
**TÉCNICAS DE DETECCIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS EN CIRCUITOS CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES.**

Dado un circuito con operador operacionales:

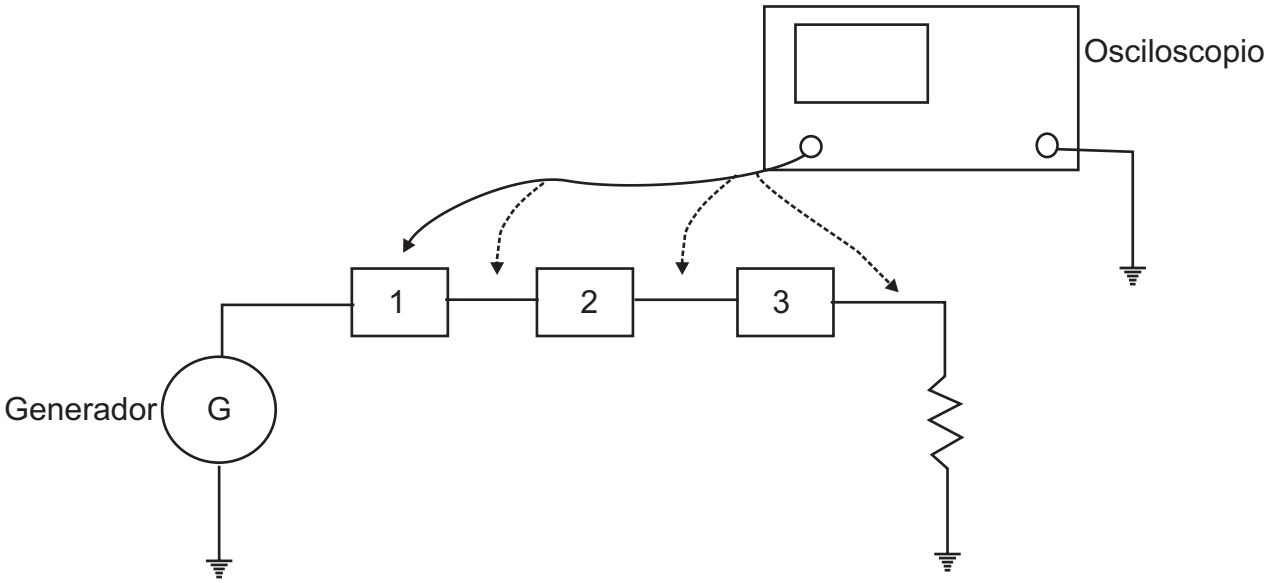
1. Identificar las etapas.




2. Conectar un generador de funciones a la entrada y aplicar una pequeña señal por ejemplo.




3. Conectar un osciloscopio y realizar el seguimiento de la señal aplicada.



4. Si en una atapa existe la señal a la entrada y no hay señal a la salida, entonces esa atapa será defectuosa y se procederá a identificar el componente defectuoso y reemplazarlo.

## CAUSAS DEL DETERIORO DEL INTEGRADO

- Sobrevoltaje.
- Trabajo excesivo sin las condiciones ambientales recomendadas: ventilación, temperatura.
- Sobrecalentamoiento por acumulación de tierra y falta de mantenimiento.

## PRECAUCIONES Y SEGURIDAD EN LA REVISIÓN DE CIRCUITOS CON Y SIN TENSIÓN.

- No doblar los pines de los circuitos, por que se pueden romper.
- Verificar el voltaje de alimentación.
- Tener una buena conexión a tierra.

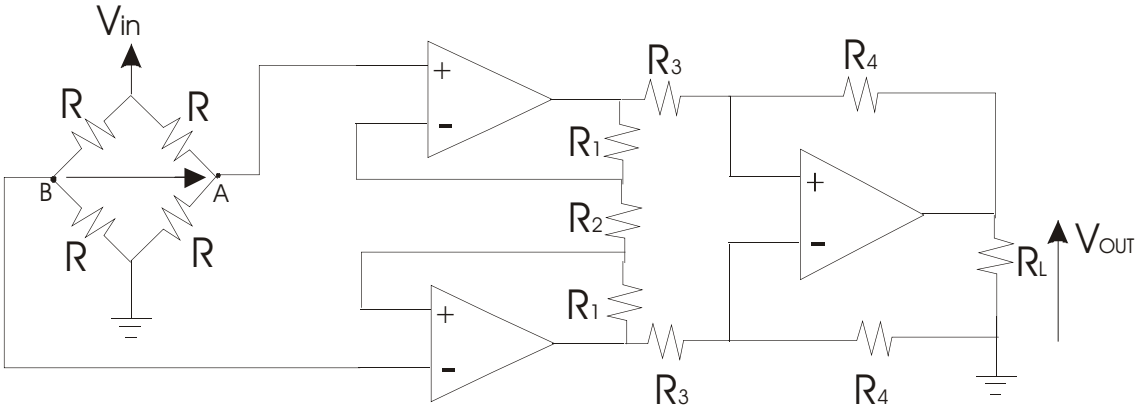
## HOJA DE TRABAJO

El siguiente esquema representa un sensor de presión de cuatro galgas activas y de características:

s=40 V/V/mmHg

$V_{IN}$ = 10 V

R = 1000




El tratamiento de la señal de salida se realiza mediante un amplificador de instrumentación cuyos datos son los siguientes:

$R_1$=1 K

$R_2$=2 K

$R_3$=1 K

1. Calcular la tensión de salida del puente ($V_{AB}$) cuando no está conectado al amplificador de instrumentación y se le aplican 760 mm Hg

2. Calcular la tensión de salida en las mismas condiciones pero con el amplificador de instrumentación conectado

3. Calcular el valor de $R_4$ para que cuando se apliquen los 760 mm Hg al sensor la salida en tensión del conjunto $V_{OUT}$ sea mayor de 5 V (en valor absoluto). Se recomienda resolver este apartado en función de las tensiones absolutas $V_A$ y $V_B$, sin utilizar valores numéricos hasta el final.

## VOCABULARIO ECOLÓGICO

**1. Ambiente:** entorno en el cual una organizaci6n opera, incluyendo el aire, el agua, la tierra, los recursos, la flora, la fauna, los seres humanos y sus interrelaciones.

**2. Aspecto ambiental:** elemento de las actividades, productos o servicios de una organizaci6n que pueden interactuar con el ambiente

**3. Impacto ambiental:** cualquier cambio en el ambiente, sea adverso o beneficioso, resultante de manera total o parcial de las actividades, producto o servicio de una organización.

**4. Sistema de gestión ambiental:** parte del sistema general de gestión que incluye la estructura organizacional, planificación de las actividades, responsabilidades, practicas, procedimientos, procesos y recursos para desarrollar, implementar llevar efecto, revisar y mantener la política ambiental.

**5. Política ambiental:** declaración por parte de la organización de sus propósitos y principios en relación de su desempeño ambiental general, la cual contribuye el marco de referencia para la acción y definición de sus objetivos y metas ambientales.

**6. Objetivo ambiental;** fin ambiental de carácter general, el cual tiene su origen en la política que una organización ha establecido para si, y es cuantificable en la medida de lo posible.

**7. Meta ambiental:** requisito detallado del desempeño, cuantificado cuando sea posible, aplicable a la organización o parte de la misma que tiene su origen en los objetos ambientales y debe ser establecido y cumplirse a fin de alcanzar dichos objetivos.

**8. Desempeño ambiental:** resultados mensurables del sistema de gestión o productos que evitan, reducen o controlan la contaminación, pudiendo incluir el reciclaje, tratamiento, cambios de procesos, mecanismos de control, uso eficiente de los recursos y sustitución de materiales.

# ANEXOS

# BIBLIOGRAFÍA


| | |
|---|---|
| AMPLIFICADORES OPERACIONALES<br>QUINTA EDICIÓN | Robert F. Coughlin<br>Frederick F. Driscoll |
| PRINCIPIOS DE ELECTRÓNICA | Malvino P. |



**PROPIEDAD INTELECTUAL DEL SENATI PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y VENTA SIN LA AUTORIZACIÓN CORRESPONDIENTE**

**CÓDIGO DEL MATERIAL**
**0575**

**EDICIÓN**
**ABRIL 2006**