



**Universidad Autónoma de Querétaro**

**Facultad de Ingeniería**

*Libro de Prácticas de Laboratorio de Electrónica Avanzada*

Que para obtener el título de:

*Ingeniero en Automatización  
(Sistemas Mecatrónicos)*

Presenta:

*Horacio Arreguin Arreguin*

Dirigido por:

*M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez*

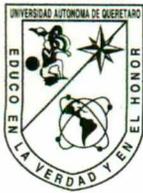
No. ADG. 651842

CLASIF. IS 621.38

A7741 2007



U.A.Q. ING.



**INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO** Ingeniería en Automatización

**IA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA**

**Horacio Arreguin Arreguin**

Profes. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero y M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Dirección

ACUERDO 356/07

C. U. 15 de octubre de 2007

**C. HORACIO ARREGUÍN ARREGUÍN**  
**Pasante de Ingeniería en Automatización**  
**(Sistemas Mecatrónicos)**

Presente.

Con relación a su oficio enviado al H. Consejo Académico de la Facultad en el que **solicita la aprobación del trabajo de Libro de Prácticas** de la materia de **"Electrónica Avanzada"**, bajo la dirección del M en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.

Me permito informarle que en la sesión ordinaria del 15 de octubre del año en curso, este cuerpo colegiado **acordó aprobar el Trabajo de Libro de Prácticas** con base a la revisión del área correspondiente, por lo anterior podrá continuar con sus trámites de titulación.

Sin más por el momento reciba un cordial saludo

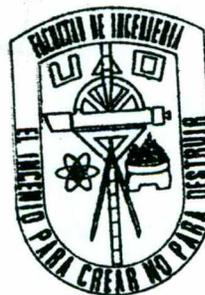
Atentamente

**"EL INGENIO PARA CREAR NO PARA DESTRUIR"**

**DR. GILBERTO HERRERA RUIZ**  
Director

c.c.p. Archivo

\*GHR/DHM.



DIRECCIÓN

## **Agradecimientos y dedicatorias.**

Deseo expresar un profundo agradecimiento a mi asesor M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez por su apoyo y confianza para la realización de este trabajo.

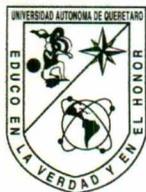
A mis padres Marcelino Arreguin Ruiz y Gloria Arreguin Gutiérrez, por su apoyo, esfuerzo, dedicación, y sacrificio, durante mi formación académica, que han hecho de un sueño una realidad, Eskerrik asko Gurasoak.

Este trabajo esta dedicado a mi, a las futuras generaciones de la FIUAQ, a mis amigos, a los que me soportan y a los que no, pues también.

A ti nena, por tantas cosas, por tantas cosas...

Y finalmente dedicado a todos aquellos que como yo viven con un sueño por salir a flote, y a cabezazos seguimos con más fuerza golpeando el mundo, no olvidéis que la perseverancia es un árbol de raíces amargas, pero de frutos muy dulces... y que a veces hay que hacer como las hormigas y los elefantes.

Eskerrik asko.



## LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Horacio Arreguin Arreguin

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero y M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez

### Índice

#### Práctica

	Pág.
<b>Amplificadores Operacionales</b>	
EA-P01a. Op-amp inversor	1
EA-P01b. Op-amp no inversor	5
EA-P01c. Op-amp sumador	9
EA-P01d. Op-amp integrador	12
EA-P02a. Op-amp diferencial	16
EA-P02b. Amplificador de instrumentación	20
EA-P02c. Op-amp distribuidor de voltaje	24
EA-P03a. Acondicionamiento de la señal	28
EA-P03b. Op-amp comparador 1	32
EA-P03c. Op-amp comparador 2	36
<b>Filtros Activos</b>	
EA-P04a. Filtro pasa bajas 1º Orden	40
EA-P04b. Filtro pasa bajas 2º Orden	45
EA-P05a. Filtro pasa Altas 1º Orden	50
EA-P05b. Filtro pasa Altas 2º Orden	54
EA-P06a. Filtro pasa banda	59
EA-P06b. Filtro supresor de banda	63
<b>Generadores de Señal</b>	
EA-P07. Generador de señal cuadrada y triangular	67
EA-P08. Generador de señal diente de sierra	72
EA-P09a. PWM	76
EA-P09b. Temporizador con el 555 (clock)	80
<b>Osciladores Senoidales</b>	
EA-P10a. Oscilador senoidal de desplazamiento de fase	85
EA-P10b. Oscilador senoidal de puente de Wien	89
EA-P11a. Oscilador senoidal Colpitts	93
EA-P11b. Oscilador senoidal Hartley	97
<b>Conversión AD y DA</b>	
EA-P12a. DAC con circuito integrado.	101
EA-P12b. ADC SAC.	107
<b>Bibliografía</b>	112



**Nombre de la Asignatura**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA**

**Nombre de la Práctica**

**OP - AMP INVERSOR**

**Número de Práctica**

1a

**Duración**

30 minutos

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de amplificador inversor.

## MARCO TEÓRICO

El amplificador inversor es el circuito amplificador operacional mas básico y es uno de los amplificadores operacionales mas utilizados, se llama así porque la señal de salida es inversa de la señal de entrada en polaridad aunque puede ser mayor, igual o menor dependiendo de la ganancia de tensión en lazo cerrado  $A_{cl}$ , que le demos al amplificador.

El amplificador inversor utiliza retroalimentación negativa para estabilizar la ganancia de tensión total porque la ganancia de tensión en lazo abierto  $A_{ol}$ , resulta ser demasiado grande e inestable para ser útil sin alguna forma de retroalimentación.

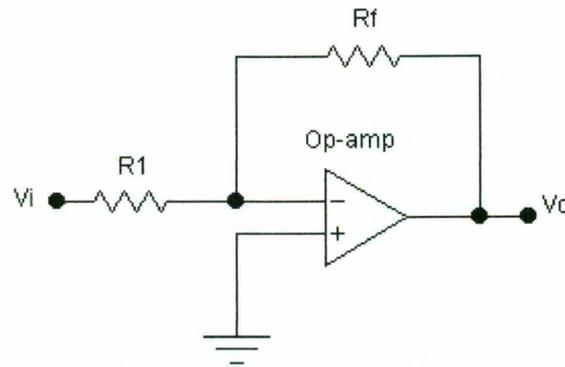
### *Funcionamiento*

Para entender el funcionamiento del Op - amp inversor se parte de dos premisas de simplificación:

1. El voltaje  $V_d$  entre las entradas (+) y (-) es esencialmente 0, cuando  $V_o$  no esta en saturación.
2. La corriente requerida por las terminales de entrada (+) o (-) es despreciable.

En la figura 1, se muestra el circuito de un amplificador operacional inversor, donde una tensión de entrada  $V_i$  excita la entrada inversora a través de la resistencia  $R_1$ , lo que produce una tensión de entrada inversora de  $V_d$ . La tensión de entrada se amplifica mediante la ganancia de tensión en lazo abierto para producir una tensión de salida invertida. La tensión de salida se retroalimenta hacia la entrada a través de la resistencia de retroalimentación  $R_f$ , lo que produce una retroalimentación negativa porque la salida esta desfasada  $180^\circ$  con respecto a la entrada. Es decir que a cualquier cambio en  $V_d$  producido por la tensión de entrada se le opone un cambio debido a la señal de salida. Así es como la retroalimentación negativa estabiliza la ganancia de tensión total:

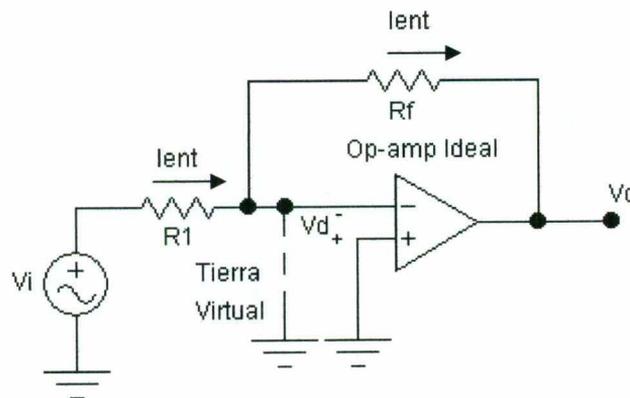
Si la ganancia de tensión en lazo abierto  $A_{ol}$ , crece por alguna razón, la tensión de salida crecerá y retroalimentará más tensión a la entrada inversora, esta retroalimentación opuesta de tensión reduce  $V_d$ .



**Figura 1.** Op - amp inversor.

Si nos imaginamos una tierra virtual en la entrada inversora de la figura 1; el extremo derecho de  $R1$  es una tierra virtual, de acuerdo con el circuito del Op - amp ideal de la figura 2, y se puede escribir así:

$$V_i = i_m R1$$



**Figura 2.** El concepto de tierra virtual: cortocircuito para la tensión y circuito abierto para la corriente.

De manera similar el extremo izquierdo de  $R_f$  es una tierra para tensión, así que la magnitud de la tensión de salida es:

$$V_o = -V_i \frac{R_f}{R1}$$

Con lo cual se muestra que la polaridad de salida de  $V_o$  está invertida con respecto a  $V_i$ . Si se divide  $V_o$  entre  $V_i$  se obtiene la ganancia de tensión:

$$A_{cl} = -\frac{R_f}{R1}$$

Donde  $A_{cl}$  es la ganancia de tensión en lazo cerrado.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P01a

Valores iniciales del Generador de Función:

Onda Senoidal  
Frecuencia 1 KHz  
Duty Cycle 50  
Amplitud 1V  
Offset 0

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>CH-A</b> 5 V/DIV mS/div	<b>CH-B</b> 5 V/DIV	<b>Time Base</b> 0.50
Y position 0.00	Y position 0.00	X position
0.00		
AC	AC	Y/T

Observar en el osciloscopio las formas de onda y registrar los resultados.

$V_i$  pp =

$V_o$  pp =

$A_v = - (V_o / V_i) =$

### Ecuaciones:

Ecuación teórica:  $A_{cl} = -\frac{R_f}{R_1}$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### Questionario

1. ¿Cuál es la ganancia de voltaje  $A_v = -\frac{V_o}{V_i}$ ?
2. ¿Coincide la ganancia de voltaje real con la ecuación teórica  $A_{cl} = -\frac{R_f}{R_1}$ ?
3. ¿Hay defasamiento de la señal de salida con respecto a la entrada y de cuantos grados?
4. ¿Qué significa el signo negativo en la ecuación de la ganancia de voltaje?
5. Si el  $V_i$  fuera de 10V, ¿el valor de  $V_o$  de cuanto sería en este caso hipotético?
6. ¿Por qué no alcanzamos los 100V en la realidad?
7. ¿Cuál sería el máximo voltaje de salida sin distorsión de este amplificador y por qué?
8. ¿Cuál sería el máximo voltaje de entrada que le correspondería para no producir una señal distorsionada a la salida?

### Conclusiones

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

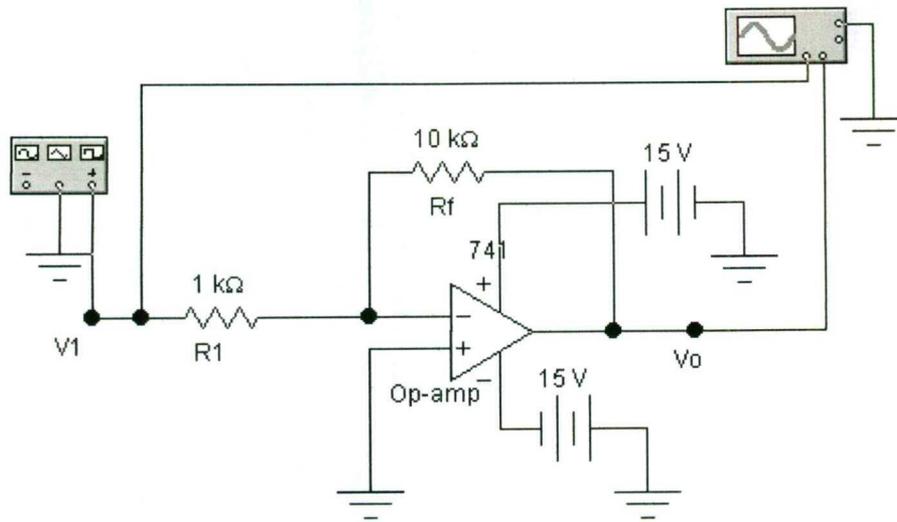


Figura EA-P01a.

Referencia:  
Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES",  
Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



**Nombre de la Asignatura** LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

**Nombre de la Práctica** OP - AMP NO INVERSOR

**Número de Práctica** 1b **Duración** 30 minutos

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de amplificador no inversor.

## MARCO TEÓRICO

El amplificador no inversor es otro circuito básico del amplificador operacional, consiste en un amplificador de ganancia constante que utiliza retroalimentación negativa para estabilizar la ganancia total de tensión. Con este tipo de amplificadores la retroalimentación negativa también provoca el incremento de la impedancia de entrada y la disminución de la impedancia de salida.

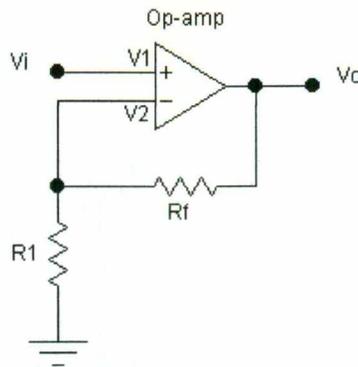
### *Funcionamiento*

Una tensión de entrada  $V_i$  excita la entrada no inversora y se amplifica para producir la tensión de salida. Parte de esta tensión de salida se retroalimenta hacia la entrada a través de un divisor de tensión.

La tensión a través de  $R_1$  es la tensión de retroalimentación que se aplica a la entrada inversora y es casi igual a la entrada no inversora. Debido al gran valor de ganancia de tensión en lazo abierto, la diferencia de tensión entre  $V_1$  y  $V_2$  es muy pequeña y como la tensión de retroalimentación se opone a la tensión de entrada, la retroalimentación es negativa, la cual estabiliza la ganancia total de tensión de la forma que ya se comentó en la práctica anterior.

Para analizar rápidamente a los amplificadores no inversores y circuitos relacionados se puede utilizar un "cortocircuito virtual", utilizando estas dos propiedades del amplificador operacional ideal:

1. Como  $R_{in}$  es infinita, ambas corrientes de entrada son cero.
2. Como  $A_{ol}$  es infinita  $V_1 - V_2$  es cero.



**Figura 1.** Op - amp no inversor.

Si en la figura 1, nos imaginamos un cortocircuito virtual entre las terminales de entrada del amplificador operacional, la tensión de entrada se representara a través de R1, con lo cual es posible decir que:

$$V_i = i_1 R_1$$

Como no puede circular corriente por un cortocircuito virtual la misma corriente  $i_1$ , debe circular a través de  $R_f$  lo que significa que la tensión de salida viene dada por:

$$V_o = i_1 (R_f + R_1)$$

Dividiendo  $V_o$  por  $V_{in}$  obtenemos la ganancia de tensión en lazo cerrado:

$$A_{cl} = \frac{R_f + R_1}{R_1} = \frac{R_f}{R_1} + 1$$

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P01b

Valores iniciales del Generador de Función:

Onda Senoidal  
Frecuencia 1 KHz  
Duty Cycle 50  
Amplitud 1V  
Offset 0

Valores iniciales del Osciloscopio:

**CH-A** 5 V/DIV  
Y position 0.00

**CH-B** 5 V/DIV  
Y position 0.00

**Time Base** 0.50 mS/div  
X position

Observar en el osciloscopio las formas de onda y registrar los resultados.

$V_i$  pp =

$V_o$  pp =

$A_v = (V_o / V_i) =$

### Ecuaciones:

Ecuación teórica:  $A_{cl} = \frac{R_f}{R_1} + 1$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### Questionario

1. ¿Cuál es la ganancia de voltaje  $A_v = (V_o / V_i)$ ?
2. ¿Coincide la ganancia de voltaje real con la ecuación teórica  $A_{cl} = \frac{R_f}{R_1} + 1$ ?
3. ¿Hay defasamiento de la señal de salida con respecto a la entrada y de cuantos grados?
4. Si el  $V_i$  fuera de 10V, ¿el valor de  $V_o$  de cuanto sería en este caso hipotético?
5. ¿Por qué no alcanzamos los 110V en la realidad?
6. ¿Cuál sería el máximo voltaje de salida sin distorsión de este amplificador?
7. ¿Cuál sería el máximo voltaje de entrada que le correspondería para no producir una señal distorsionada a la salida?

### Conclusiones

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

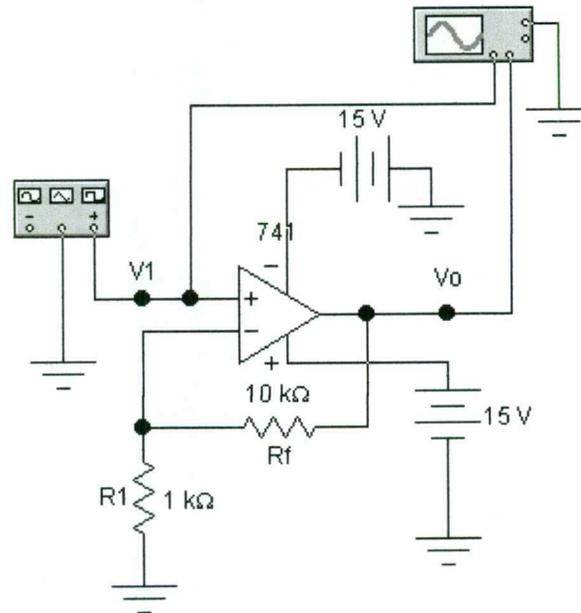


Figura EA-P01b.

Referencia:  
Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES",  
Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

OP - AMP SUMADOR

Número de Práctica

1c

Duración

30 minutos

### OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de amplificador sumador.

### MARCO TEÓRICO

El amplificador sumador es una variante de la configuración de un amplificador operacional inversor. El amplificador sumador tiene dos o más entradas y su voltaje de salida es proporcional al negativo de la suma algebraica de sus voltajes de entrada.

#### Funcionamiento

A las entradas se aplican tres voltajes  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$ , que producen las corrientes  $i_1$ ,  $i_2$ , e  $i_3$ . Aplicando los conceptos de impedancia de entrada infinita y tierra virtual es posible ver que la entrada inversora del amplificador operacional esta aproximadamente a 0V, y que hacia la entrada no hay corriente. Lo anterior significa que ambas corrientes de entrada  $i_1$ ,  $i_2$ , e  $i_3$ , concurren a ese punto de adición formando la corriente total que pasa por  $R_f$  y produce una caída de voltaje igual a:

$$V_o = -(i_1 + i_2 + i_3)R_f$$

Sustituyendo las corrientes por las expresiones de  $I = V/R$  y si las cuatro resistencias son iguales al mismo valor de  $R$  ( $R_1 = R_2 = R_3 = R_f = R$ ) entonces:

$$V_o = -(v_1 + v_2 + v_3)$$

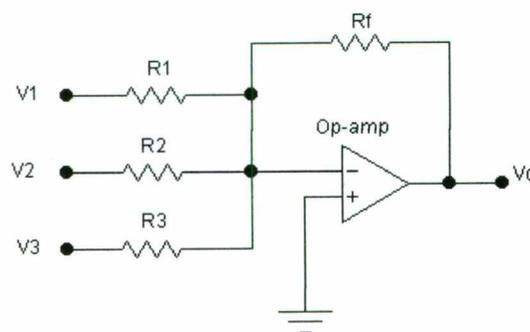


Figura 1. Op - amp sumador.

En la figura 1, tenemos un op-amp sumador de tres entradas, y este circuito proporciona una manera de sumar de forma algebraica tres voltajes o señales.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P01c

Registre el resultado del Voltímetro Vo.

Vo =

**Ecuaciones:**

$$V_o = -\left( V_1 \frac{R_f}{R_1} + V_2 \frac{R_f}{R_2} + V_3 \frac{R_f}{R_3} \right)$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### **Cuestionario**

1. ¿Cuál es el voltaje de salida de este sumador?
2. ¿El resultado del voltímetro Vo coincide con la ecuación teórica?
3. ¿Hay defasamiento de la señal de salida con respecto a la entrada y cuantos grados?
4. ¿Qué significa el signo negativo en la ecuación del voltaje de salida?
5. ¿Este circuito puede ser usado también como sumador algebraico y por qué?
6. ¿Este circuito puede ser usado con señales senoidales de entrada?
7. ¿Qué circuito necesitamos agregar para que en este caso la salida sea positiva?

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

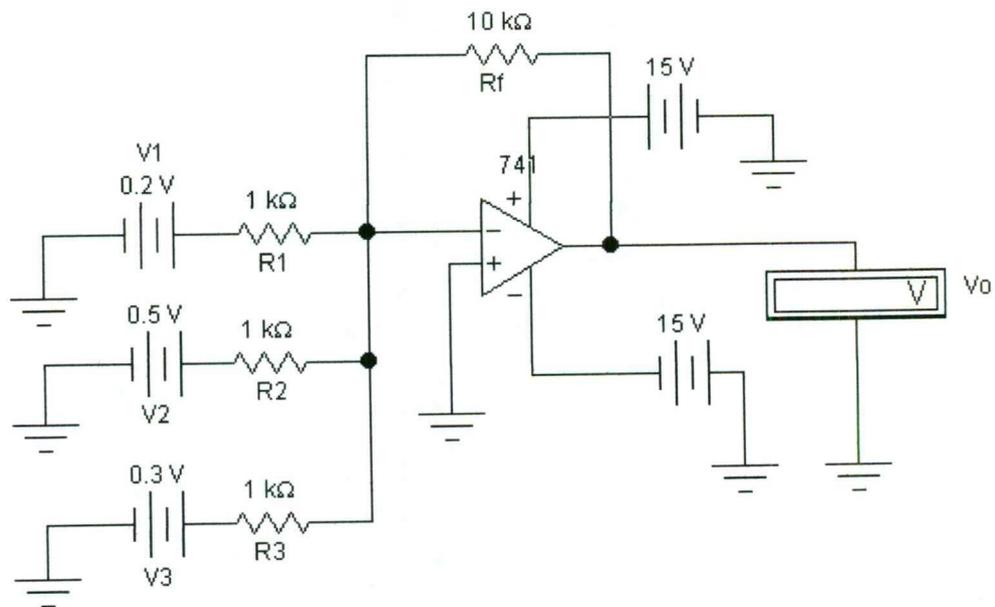


Figura EA-P01c.

Referencia:

Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES",  
Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



Nombre de la Asignatura **LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA**

Nombre de la Práctica **OP - AMP INTEGRADOR**

Número de Práctica **1d** Duración **30 minutos**

### OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de amplificador integrador.

### MARCO TEÓRICO

Un integrador con amplificador operacional simula la integración matemática, que es básicamente un proceso con el que se determina el área total bajo la curva descrita por la grafica de una función. El amplificador integrador tiene como característica que el elemento de retroalimentación es un capacitor, que forma un circuito RC con el resistor de la entrada como se muestra en la figura 1.

#### *Funcionamiento*

Para comprender le funcionamiento del op-amp integrador es importante repasar la manera en que se carga el capacitor. Recuerde que la carga Q en un capacitor es proporcional a la corriente y al tiempo de carga.

$$Q = I_c t$$

También de términos de voltaje, la carga de un capacitor es :

$$Q = \frac{C}{t}$$

A partir de las dos expresiones anteriores, el voltaje del capacitor puede expresarse como:

$$V_o = \frac{I_c t}{C}$$

Recuerde también que el voltaje del capacitor en un circuito RC simple no es lineal sino exponencial, lo cual se debe a que la corriente de carga decrece de manera continua a medida que el capacitor se carga y hace que la razón de cambio del voltaje decrezca de manera continua.

El empleo de un amplificador operacional con un circuito RC para formar un integrador es hacer que la corriente de carga del capacitor sea constante, produciendo así un voltaje lineal en vez de uno exponencial.

Cuando se aplica un voltaje de entrada constante en forma de escalón o pulso (un pulso tiene amplitud constante cuando es alto), la rampa de salida decrece negativamente hasta que el amplificador operacional se satura a su máximo nivel negativo; por lo cual  $V_o$  es el mismo que el voltaje en el lado negativo del capacitor.

La razón a la que se carga el capacitor y por tanto la pendiente de la rama de salida es fijada por la razón  $I_c/C$ . dado que

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

entonces la razón de cambio o pendiente del voltaje de salida del integrador es:

$$\frac{\Delta V_o}{\Delta t} = \frac{V_i}{R_1 C}$$

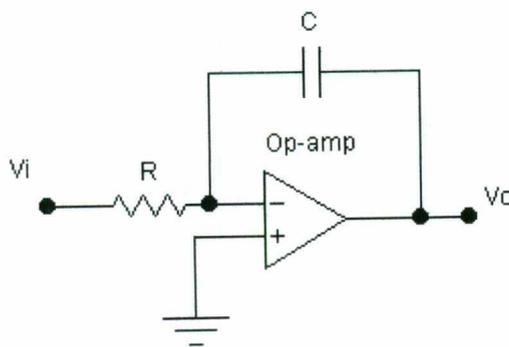


Figura 1. Op – amp Integrador.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P01d

Valores iniciales del Osciloscopio:

**CH-A** 5 V/DIV  
Y position 0.00  
0.00  
DC

**CH-B** 5 V/DIV  
Y position 0.00  
DC

**Time Base** 1.00 S/div  
X position  
Y/T

Iniciar con el SW1 abierto.

Corra el proceso.

Cierre el SW1 y observe en el osciloscopio las formas de onda y registre los resultados.

$V_i =$

+ $V_o$  max =

-  $V_o$  min =

**Ecuaciones:**

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### **Cuestionario**

1. ¿Qué nos indica la ecuación del  $V_o$ ?
2. Integre la ecuación del  $V_o$ .
3. ¿Qué tipo de función estamos inyectando a la entrada y por qué?
4. ¿Cuál es el voltaje después de 840 mS leído en el osciloscopio después de haber cerrado el SW1?
5. ¿Cuál es el voltaje después de 840 mS usando la ecuación teórica?
6. ¿Cuál es el voltaje después de 3.89 Seg. leído en el osciloscopio después de haber cerrado el SW1?
7. ¿Cuál es el voltaje después de 3.89 Seg. usando la ecuación teórica?
8. ¿Cuánto tiempo se tardó en pasar del nivel de +14.1V al de -14.1V leído en el osciloscopio después de haber cerrado el SW1?
9. ¿Cuánto tiempo se tardó en pasar del nivel de +14.1V al de -14.1V usando la ecuación teórica?

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

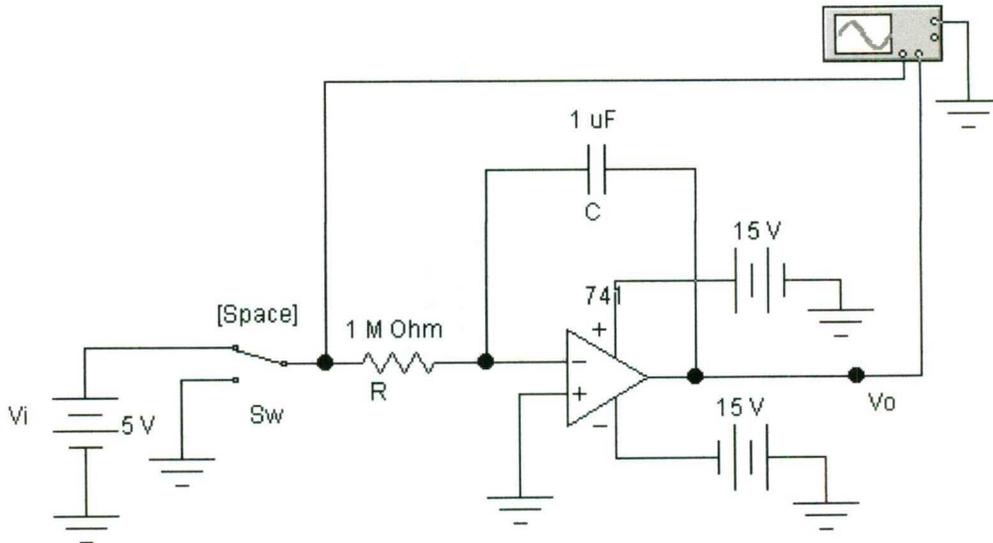
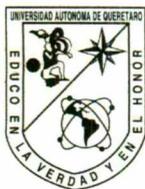


Fig.ura EA-P01d.

Referencia:  
Boylestad, Nashelsky, "ELECTRÓNICA, TEORÍA DE CIRCUITOS", Prentice Hall Hispanoamericana.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

OP - AMP DIFERENCIAL

Número de Práctica

2a

Duración

40 minutos

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de amplificador diferencial.

## MARCO TEÓRICO

Una de las características más importantes de un amplificador diferencial es su CMRR, porque la señal de entrada típica es una tensión diferencial y una gran tensión en modo común.

En el op - amp en la configuración de amplificador diferencial la salida es proporcional a la diferencia entre las dos señales de entrada  $V_1$  y  $V_2$ , además con este tipo de amplificador se puede medir y amplificar pequeñas señales que están dentro de señales de ruido mayores, ver figura 2a.

### *Funcionamiento*

La resistencia  $R_2$  tiene el mismo valor nominal que  $R_1$  pero difiere ligeramente en su valor real debido a las tolerancias. Similarmente  $R_f$  y  $R_3$  son nominalmente iguales pero pueden diferir ligeramente por las tolerancias.

La tensión de entrada deseada  $V_i$  se denomina tensión de entrada diferencial. Un circuito como el de la figura 1, amplifica la entrada diferencial  $V_i$  para obtener una tensión de salida  $V_o$ .

Por medio del teorema de superposición se puede demostrar que:

$$V_o = A_v V_i$$

Donde

$$A_v = -\frac{R_1}{R_f}$$

Esta ganancia de tensión se denomina ganancia de tensión diferencial.

El amplificador diferencial se utiliza a menudo en aplicaciones donde la señal de entrada diferencial  $V_i$  es una pequeña tensión continua (mV) y la señal de entrada es una gran tensión continua (V).

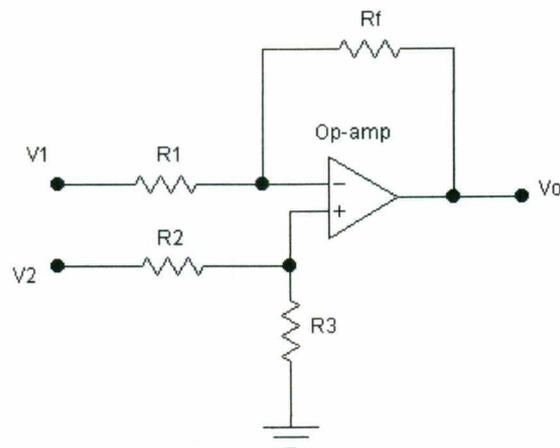


Figura 1. Op - amp diferencial.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P02a.

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>CH-A</b> 1 V/DIV	<b>CH-B</b> 5 V/DIV	<b>Time Base</b> 0.50 mS/div
Y position 0.00	Y position 0.00	X position
0.00		
AC	AC	Y/T

Observar en el osciloscopio las formas de onda y registrar los resultados.

$V_o$  pp =

**Ecuaciones:**

$$V_o = V_2 - V_1$$

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### **Questionario**

1. ¿Los voltajes  $V_1$  y  $V_2$  que aparecen en el circuito de la Fig. EA-P02a son rms o de pico?, compruébelo con el Osciloscopio.
2. ¿Cuál es el voltaje de pico  $V_p$  del generador  $V_1$  del diagrama utilizando la ecuación teórica?
3. ¿Cuál es el voltaje de pico  $V_p$  del generador  $V_2$  del diagrama utilizando la ecuación teórica?
4. ¿Los voltajes que nos grafica el osciloscopio son rms o de pico?
5. ¿Cuál es el voltaje  $V_p$  a la salida del circuito leído en el osciloscopio?
6. ¿Cuál es el voltaje  $V_{pp}$  a la salida del circuito leído en el osciloscopio?
7. ¿El resultado del  $V_{pp}$  en  $V_o$  leído en el osciloscopio es del orden esperado?, compruébelo con la ecuación.
8. ¿Por qué se le llama a este op-amp amplificador diferencial?

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

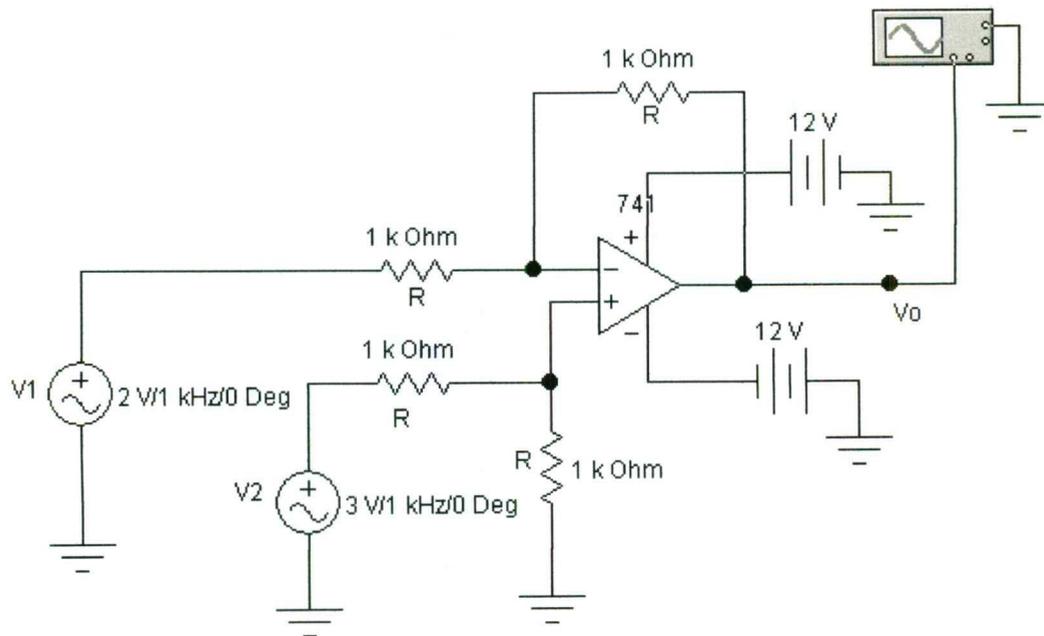


Figura EA-P02a.

Referencia:  
Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES",  
Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



**Nombre de la Asignatura**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA**

**Nombre de la Práctica**

**AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN**

**Número de Práctica**

2b

**Duración**

40 minutos

**OBJETIVO**

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de amplificador de Instrumentación.

**MARCO TEÓRICO**

El amplificador de instrumentación consta de tres amplificadores operacionales y varios resistores, está diseñado para tener una alta impedancia de entrada, típicamente de 300 MΩ, elevada ganancia de voltaje y excelente RRMC (típicamente mayor que 100 dB).

El amplificador de instrumentación es uno de los más útiles, precisos y versátiles de que se dispone en la actualidad y suele usarse en sistemas de adquisición de datos en los cuales se requiere de la detección a control remoto de variables de entrada, ver figura 2b.

**Funcionamiento**

Los amplificadores operacionales A1 y A2 son etapas amplificadoras no inversoras que proporciona alta impedancia de entrada y alta ganancia de voltaje. El amplificador operacional A3 es un amplificador con ganancia unitaria. Cuando Rg se conecta externamente como se ilustra en la figura 1, el amplificador operacional A1 recibe la señal de entrada diferencial V1 en su entrada no inversora y la amplifica con una ganancia de :  $1+Rf1/Rg$

El amplificador operacional A1 recibe también la señal de entrada V2 a través del amplificador operacional A2 Rf2 y Rg. V2 aparece sobre la entrada inversora del amplificador operacional A1 y es amplificado por una ganancia de Rf1/Rg. Además se amplifica el voltaje en modo común en la entrada no inversora por la ganancia en modo común de A1. el voltaje de salida total del amplificador operacional A1 es como sigue:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_{f1}}{R_g}\right)V_1 - \left(\frac{R_{f1}}{R_g}\right)V_2 + V_{cm}$$

Es posible efectuar un análisis semejante para el amplificador operacional A2. obteniéndose la siguiente expresión:

$$V_{sal2} = \left(1 + \frac{R_{f2}}{R_g}\right)V_2 - \left(\frac{R_{f2}}{R_g}\right)V_1 + V_{cm}$$

Así que el voltaje de entrada diferencial al amplificador operacional A3 es  $V_{sal2} - V_{sal1}$ .

$$V_{sal2} - V_{sal1} = \left(1 + \frac{R_{f2}}{R_g} + \frac{R_{f1}}{R_g}\right)V_2 - \left(\frac{R_{f2}}{R_g} + 1 + \frac{R_{f1}}{R_g}\right)V_1 + V_{cm} - V_{cm}$$

Para  $R_{f1} = R_{f2} = R_f$

$$V_{sal2} - V_{sal1} = \left(1 + \frac{2R_f}{R_g}\right)(V_2 - V_1)$$

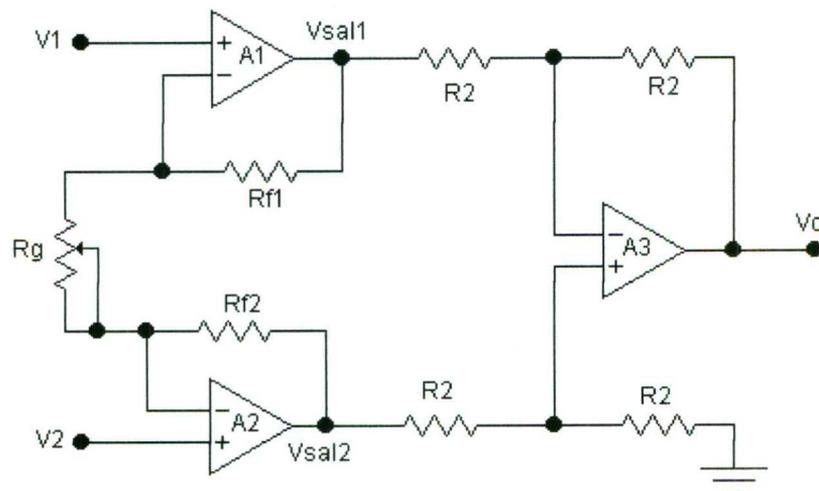
Como el amplificador operacional A3 tiene ganancia unitaria la salida final del amplificador de instrumentación es :

$$V_o = \left(1 + \frac{2R_f}{R_g}\right)(V_2 - V_1)$$

La ganancia en lazo cerrado es:

$$A_{cl} = 1 + \frac{2R_f}{R_g}$$

Los fabricantes de estos circuitos integrados proporcionan estos circuitos en un solo chip y los encapsulan como si fuesen un solo dispositivo, excepto la resistencia  $R_g$  para poder controlar la ganancia, también puede sustituirse la conexión a tierra por otra tensión dada en caso de necesitarse.



**Figura 1.** Amplificador de instrumentación.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P02b.

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>CH-A</b>	5 V/DIV	<b>CH-B</b>	5 V/DIV	<b>Time Base</b>	0.50 mS/div
	Y position 0.00		Y position 0.00		X position
0.00					
	AC		AC		Y/T

Observar en el osciloscopio las formas de onda y registrar los resultados.

$V_o$  pp =

**Ecuaciones:**

$$V_o = \left( 1 + \frac{2R_f}{R_g} \right) (V_2 - V_1)$$

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### Cuestionario

1. ¿Cuál es la resistencia del potenciómetro en el valor inicial en que se encuentra y por qué?
2. ¿Los voltajes  $V_1$  y  $V_2$  que aparecen en el circuito de la Fig. EA-P02b son rms o de pico?, compruébelo con el Osciloscopio.
3. ¿Cuál es el voltaje  $V_{pp}$  de  $V_1$ ?
4. ¿Cuál es el voltaje  $V_{pp}$  de  $V_2$ ?
5. ¿Los voltajes que nos grafica el osciloscopio son rms o de pico?
6. ¿Cuál es el voltaje  $V_p$  a la salida del circuito leído en el osciloscopio?
7. ¿Cuál es el voltaje  $V_{pp}$  a la salida del circuito leído en el osciloscopio?
8. ¿El resultado del  $V_{pp}$  en  $V_o$  leído en el osciloscopio es del orden esperado?, compruébelo con la ecuación.
9. ¿Cuáles son las características principales de este amplificador de Instrumentación?

### Conclusiones

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

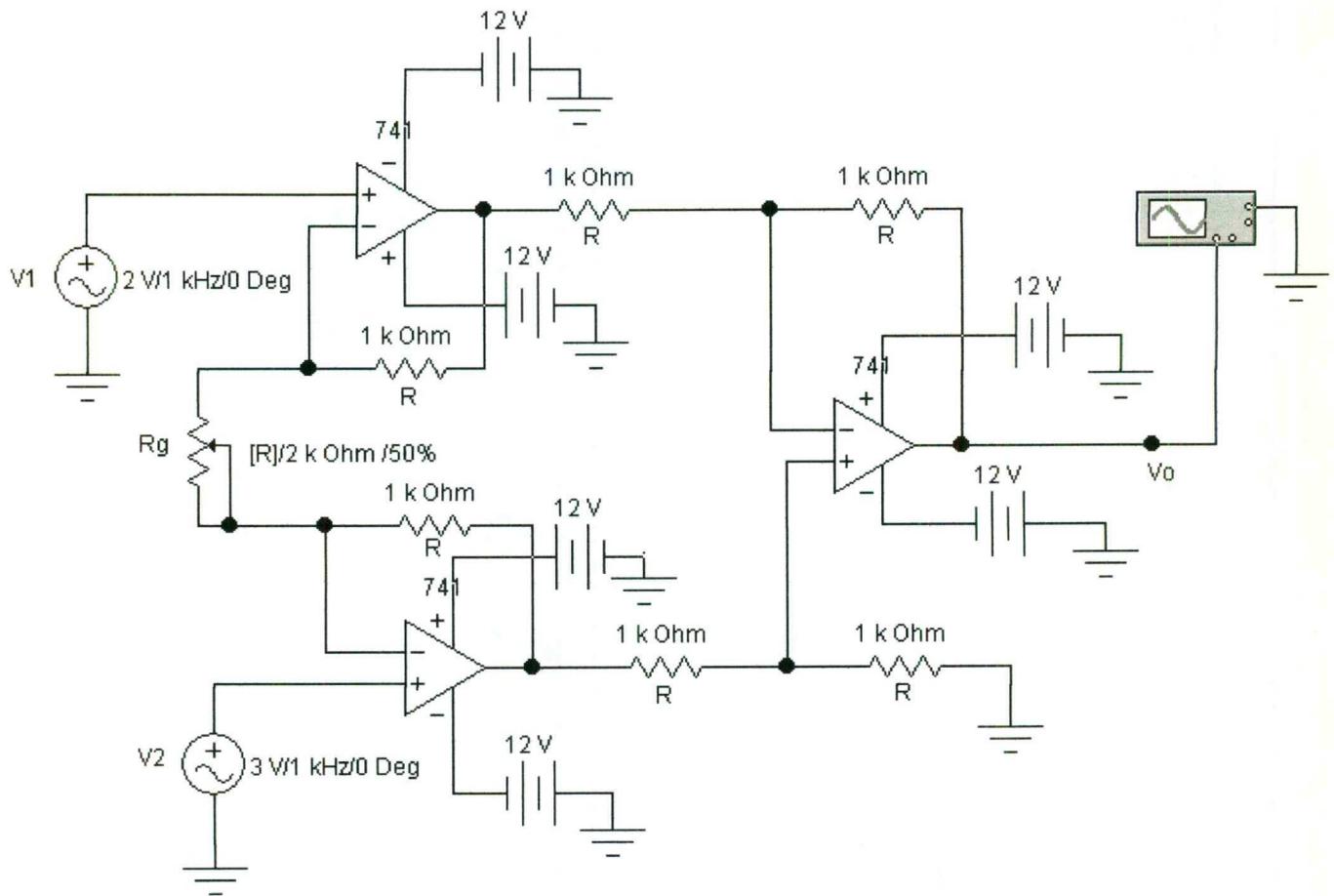


Figura EA-P02b.

Referencia:  
 Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES",  
 Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

OP - AMP DISTRIBUIDOR DE VOLTAJE

Número de Práctica

2c

Duración

40 minutos

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de distribuidor de voltaje.

## MARCO TEÓRICO

El circuito de la figura 1, se denomina distribuidor de voltaje pero también se conoce como seguidor de voltaje, seguidor de fuente, amplificador de ganancia unitaria o amplificador de aislamiento. Este circuito proporciona a la salida la misma tensión que a la entrada, independientemente de la carga que se la acopla, que es tanto como decir, independientemente de la intensidad o corriente que se demande. Aunque aparenta ser simple, el circuito es muy próximo a uno ideal, porque la retroalimentación negativa es máxima.

### *Funcionamiento*

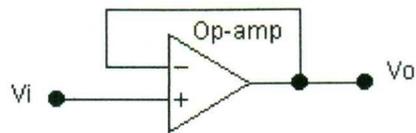
El voltaje de entrada  $V_i$ , se aplica directamente a la entrada (+), como se puede observar, la resistencia de retroalimentación es cero. Por tanto, toda la tensión de salida se retroalimenta hacia la entrada inversora. Debido a la existencia del cortocircuito virtual entre las entradas del amplificador operacional, la tensión de salida es igual a la tensión de entrada:

$$V_o = V_i$$

Tanto en magnitud como en signo. Lo que significa que la ganancia de tensión en lazo cerrado es

$$A_{cl} = 1$$

Por lo tanto el seguidor de tensión es un circuito seguidor perfecto porque produce una tensión de salida que es exactamente igual a la tensión de entrada.



**Figura 1.** Op – amp distribuidor de voltaje.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
 Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-2c.

Valores iniciales del Generador de Función:

Onda Senoidal  
 Frecuencia 1 KHz  
 Duty Cycle 50  
 Amplitud 1V  
 Offset 0

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>CH-A</b>	1 V/DIV	<b>CH-B</b>	1 V/DIV	<b>Time Base</b>	0.50 mS/div
	Y position 1.00		Y position -1.00		X position 0.00
	AC		AC		Y/T

Observar en el osciloscopio las formas de onda y registrar los resultados.

V1 pp =

V2 pp =

V3 pp =

V4 pp =

V5 pp =

**Ecuaciones:**

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### ***Cuestionario***

1. ¿Cuál es la ganancia  $A_v$  de cada op-amp?
2. ¿El resultado medido es del orden esperado y porque?
3. ¿Existe defasamiento de la señal de salida con respecto a la entrada y de cuantos grados?
4. ¿Por qué se le conoce también a este amplificador como seguidor de voltaje?

### ***Conclusiones***

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

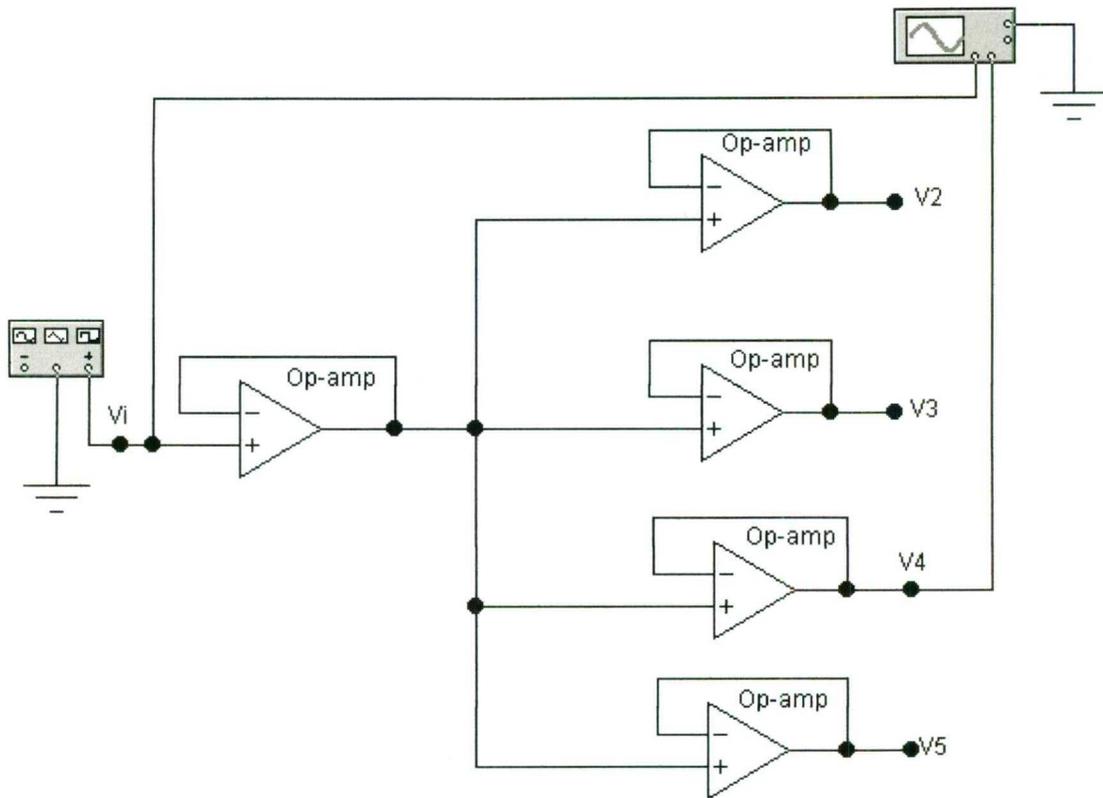


Figura EA-P2c

Referencia:  
Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES",  
Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

Número de Práctica

3a

Duración

40 minutos

## OBJETIVO

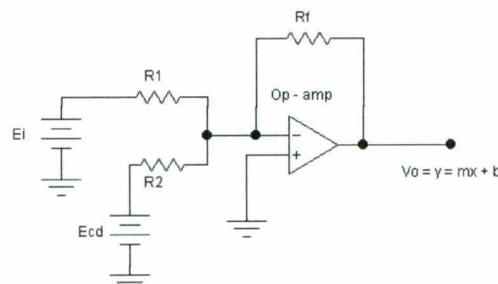
El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de los op - amps para la adaptación de diferentes niveles de voltaje.

## MARCO TEÓRICO

Los circuitos acondicionadores de señal tal como su nombre lo indica, acondicionan, adecuan o cambian el nivel de voltaje de la señal o señales a diferentes valores o niveles de voltaje según se necesite, y no tienen una configuración específica, son simplemente una combinación de diferentes configuraciones de op-amps para lograr el resultado o nivel deseado.

### Funcionamiento

Un circuito acondicionador de señal resulta útil en aplicaciones de microcontroladores que se comportan de acuerdo con la ecuación de una línea recta  $y = mx + b$ , el circuito de la figura 1 se puede considerar como un medio para diseñar un circuito acondicionador de señal. Esta ecuación se presenta con frecuencia en el diseño de los circuitos acondicionadores de señal, se puede comprobar que la ecuación  $y = mx + b$ , corresponde al voltaje de salida del circuito de la figura 1,  $V_o$ ,  $x$  es el voltaje de la señal de entrada  $E_i$ ,  $m$  corresponde a la ganancia del circuito,  $R_f/R_1$  y  $b$  es  $R_f/R_2$  veces  $E_{cd}$ . Por lo tanto si en la aplicación que nos interesa se utiliza un sensor que produce una señal de entrada, medida respecto a la tierra, y que hay que amplificar y desviar, entonces lo que se puede utilizar es un circuito acondicionador de señal similar al de la figura 1.



**Figura 1.** Sumador inversor que se diseña para satisfacer las exigencias de la ecuación:  $y = mx + b$ .

En algunos sensores se genera una salida diferencial, por lo que para estos dispositivos se necesita un circuito acondicionador de señal capaz de medir voltajes diferenciales, como lo es el caso de un amplificador diferencial, o un amplificador de instrumentación el cual tiene una entrada diferencial y una salida simple.

Para diseñar un circuito acondicionador de señal es necesario obtener la ecuación del circuito. Esta ecuación se obtiene tomando en cuenta las condiciones de salida del sensor y después transformando lo anterior en lo que se desea, es decir las condiciones de entrada del convertidor A/D del microcontrolador.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P3a.

Valores iniciales del Generador de Función:

Onda Senoidal  
Frecuencia 1 KHz  
Duty Cycle 50  
Amplitud 1V  
Offset 0

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>CH-A</b>	1 V/DIV	<b>CH-B</b>	1 V/DIV	<b>Time Base</b>	0.50 mS/div
	Y position 0.00		Y position 0.00		X position
	0.00				
	AC		DC		Y/T

Observar en el osciloscopio las formas de onda y registrar los resultados.

V1 pp =

V2 pp =

V4 pp =

**Ecuaciones:**

$$A_v = -\frac{R_f}{R_1}$$

$$V_o = -\left( V_2 \frac{R_f}{R_2} + V_3 \frac{R_f}{R_3} \right)$$

$$A_{v_T} = (A_{v_1})(A_{v_2}) = \frac{V_{4pp}}{V_{1pp}}$$



## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### **Cuestionario**

1. ¿Qué configuración tiene el primer Op-Amp?
2. ¿Qué configuración tiene el segundo Op-Amp?
3. ¿Cuál es la ganancia de voltaje de la primera etapa leído en el osciloscopio?
4. ¿Cuál es la ganancia de voltaje de la primera etapa utilizando la ecuación?
5. ¿Cuál es el voltaje  $V_{pp}$  de salida de la segunda etapa leído en el osciloscopio?
6. ¿Cuál es el voltaje  $V_{pp}$  de salida de la segunda etapa utilizando la ecuación?
7. ¿Cuál es la ganancia de voltaje total  $A_{v_T}$  de este sistema analógico?
8. ¿El voltaje de  $V_4$  es de AC? ¿Por qué?
9. ¿El resultado coincide con la teoría? ¿Por qué?
10. ¿Cual fue el propósito de éste circuito? (Observe la forma de onda de  $V_1$  y la de  $V_4$ )

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

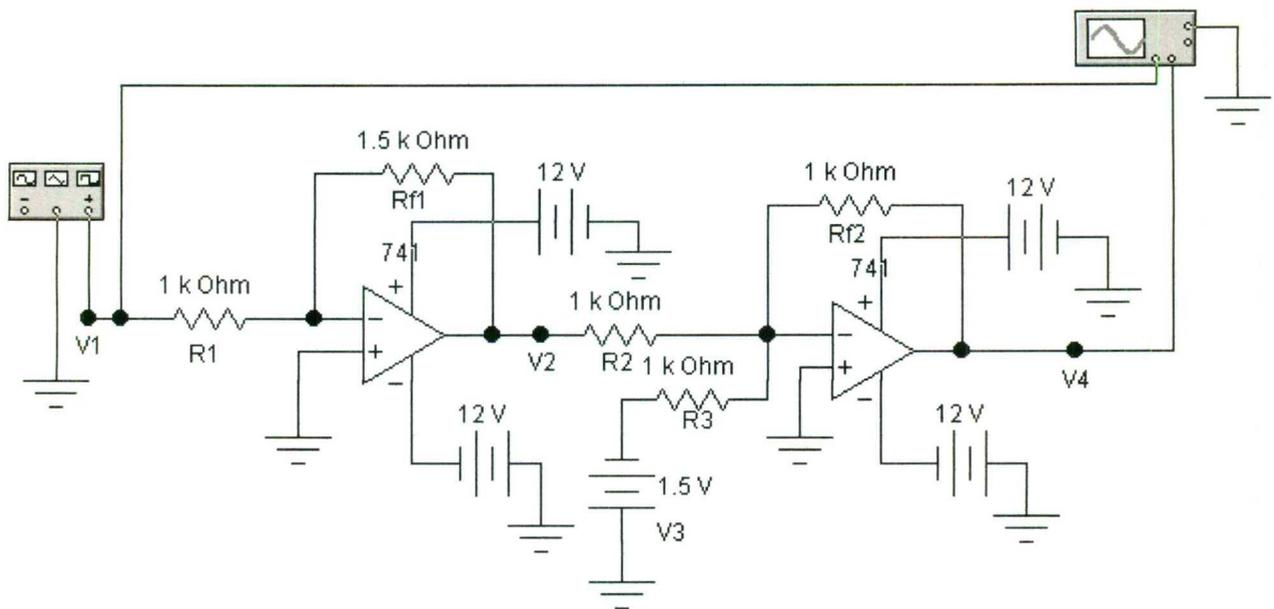
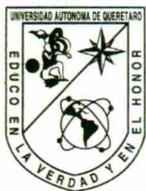


Figura EA-P3a.

Referencia:

Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES",  
Prentice Hall – Pearson.

Prof. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

OP-AMP COMPARADOR CONFIGURACIÓN 1

Número de Práctica

3b

Duración

40 minutos

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de comparador de voltaje.

## MARCO TEÓRICO

Los amplificadores operacionales suelen usarse como dispositivos no lineales para comparar la amplitud de un voltaje en relación con otro.

En esta aplicación el amplificador operacional se utiliza en configuración de lazo abierto, con el voltaje de entrada en una entrada y un voltaje de referencia en la otra.

### *Funcionamiento*

En la figura 1, se aplica un voltaje positivo de referencia  $V_{ref}$ , a una de las terminales del amplificador operacional. Esto quiere decir que el amplificador operacional esta conectado como un comparador para registrar el voltaje positivo. Si el voltaje  $V_i$  que se va a detectar se aplica a la terminal (+) del amplificador operacional, el resultado es un detector no inversor de nivel positivo.

Por lo que cuando  $V_i$  esta por encima de  $V_{ref}$ ,  $V_o$  es igual a  $+V_{cc}$  y cuando  $V_i$  esta por debajo de  $V_{ref}$ ,  $V_o$  es igual a  $-V_{cc}$ .

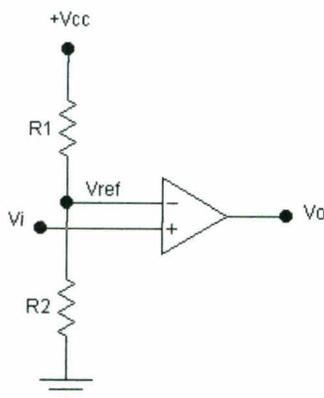


Figura 1. Op - amp comparador 1.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P3b.

Valores iniciales del Generador de Función:

Onda Senoidal  
Frecuencia 0.2 Hz  
Duty Cycle 50  
Amplitud 9V  
Offset 0

Valores iniciales del Osciloscopio:

**CH-A** 5 V/DIV  
Y position 0.00  
AC

**CH-B** 5 V/DIV  
Y position 0.00  
DC

**Time Base** 1.00 S/div  
X position 0.00  
Y/T

Observe las formas de onda en el osciloscopio.

### Ecuaciones:

$$V_{ref} = \frac{+V_{cc} R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Si } V_i > V_{ref} \rightarrow V_o = +V_{cc}$$

$$\text{Si } V_i < V_{ref} \rightarrow V_o = -V_{cc}$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### **Questionario**

1. ¿Cuál es el valor del voltaje de referencia  $V_{ref}$  teórico?
2. ¿Cuál es el valor del voltaje de umbral alto cuando  $V_i > V_{ref} \rightarrow V_o = +V_{cc}$ ? (utilice el osciloscopio)
3. ¿Cuál es el valor del voltaje de umbral bajo cuando  $V_i < V_{ref} \rightarrow V_o = -V_{cc}$ ? (utilice el osciloscopio)
4. ¿Cuál es el voltaje de Histeresis? (apóyese en las respuestas de las preguntas 2 y 3)
5. ¿De que valor es el voltaje de salida del comparador cuando el voltaje de entrada es mayor que el voltaje de referencia?
6. ¿De que valor es el voltaje de salida del comparador cuando el voltaje de entrada es menor que el voltaje de referencia?
7. ¿La señal de entrada es analógica o digital y porque?
8. ¿La señal de salida es analógica o digital y porque?
9. ¿Deduzca el funcionamiento de este comparador?

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

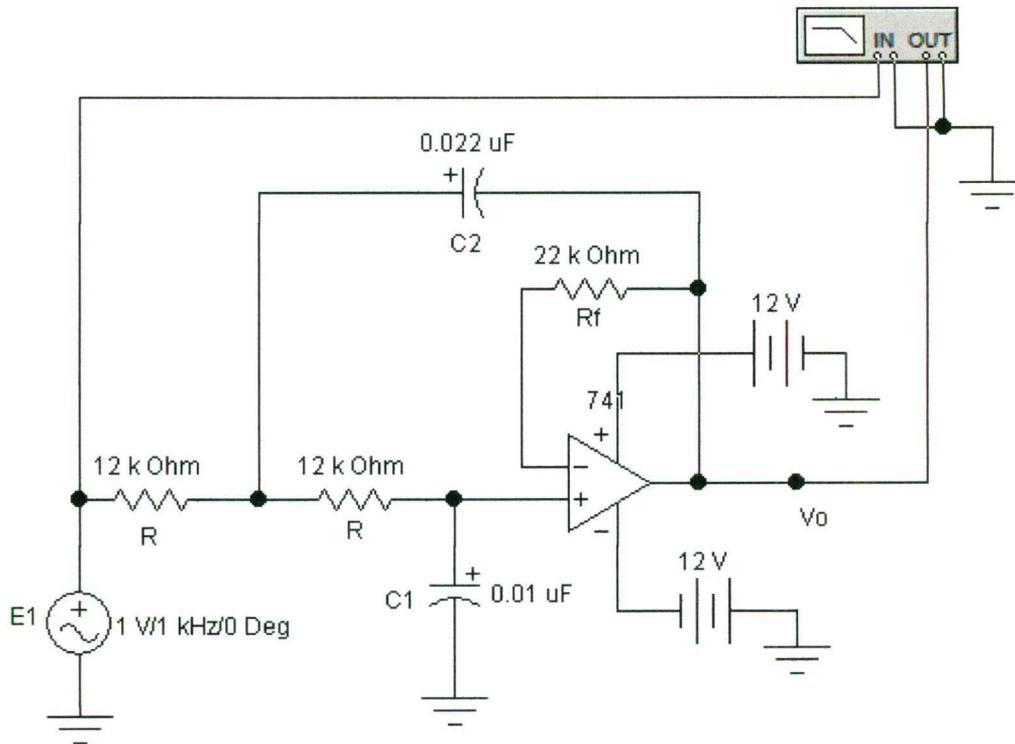
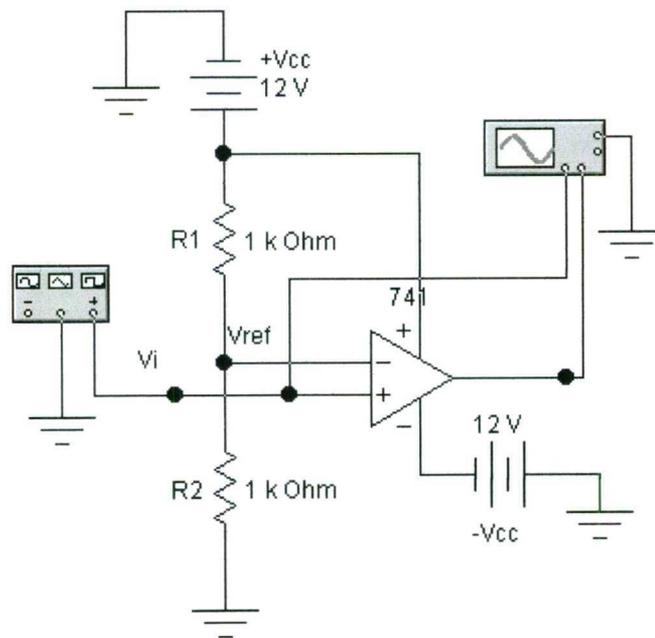


Figura EA-P4b.

Referencia:

Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES", Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



**Figura EA-P3b**

Referencia:  
Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES",  
Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.

Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

OP-AMP COMPARADOR CONFIGURACIÓN 2

Número de Práctica

3c

Duración

40 minutos

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de comparador de voltaje.

## MARCO TEÓRICO

Los amplificadores operacionales suelen usarse como dispositivos no lineales para comparar la amplitud de un voltaje en relación con otro.

En esta aplicación el amplificador operacional se utiliza en configuración de lazo abierto, con el voltaje de entrada en una entrada y un voltaje de referencia en la otra.

### *Funcionamiento*

En la figura 1, se aplica un voltaje positivo de referencia  $V_{ref}$ , a una de las terminales del amplificador operacional. Esto quiere decir que el amplificador operacional esta conectado como un comparador para registrar el voltaje positivo. Si el voltaje  $V_i$  que se va a detectar se aplica a la entrada inversora del amplificador operacional, el resultado es un detector inversor de nivel positivo.

Su operación puede resumirse en la siguiente afirmación:

Cuando  $V_i$  es mayor que  $V_{ref}$ ,  $V_o$  es igual a  $-V_{cc}$ .

Cuando  $V_i$  es menor que  $V_{ref}$ ,  $V_o$  es igual a  $+V_{cc}$ .

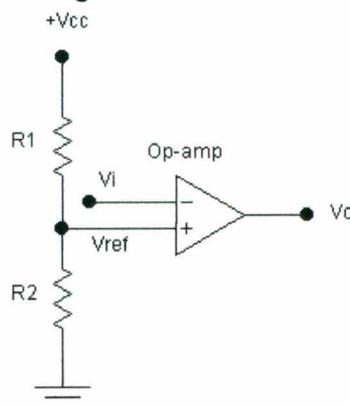


Figura 1. Op – amp comparador 2.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P3c.

Valores iniciales del Generador de Función:

Onda Senoidal  
Frecuencia 0.2 Hz  
Duty Cycle 50  
Amplitud 9V  
Offset 0

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>CH-A</b>	5 V/DIV	<b>CH-B</b>	5 V/DIV	<b>Time Base</b>	1.00 S/div
	Y position 0.00		Y position 0.00		X position
0.00					
	AC		DC		Y/T

Observe las formas de onda en el osciloscopio.

### Ecuaciones:

$$V_{ref} = \frac{+V_{cc} R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_i > V_{ref} \rightarrow V_o = -V_{cc}$$

$$V_i < V_{ref} \rightarrow V_o = +V_{cc}$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### **Cuestionario**

1. ¿Cuál es el valor del voltaje de referencia  $V_{ref}$  teórico?
2. ¿Cuál es el valor del voltaje de referencia  $V_{ref}$  real cuando  $V_i > V_{ref} \rightarrow V_o = -V_{cc}$  ?  
(utilice el osciloscopio)
3. ¿Cuál es el valor del voltaje de referencia  $V_{ref}$  real cuando  $V_i < V_{ref} \rightarrow V_o = +V_{cc}$  ?  
(utilice el osciloscopio)
4. ¿Cuál es el voltaje de Histeresis? (apóyese en las respuestas de las preguntas 2 y 3)
5. ¿De que valor es el voltaje de salida del comparador cuando el voltaje de entrada es mayor que el voltaje de referencia?
6. ¿De que valor es el voltaje de salida del comparador cuando el voltaje de entrada es menor que el voltaje de referencia?
7. ¿La señal de entrada es analógica o digital y porque?
8. ¿La señal de salida es analógica o digital y porque?
9. ¿Deduzca el funcionamiento de este comparador?

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

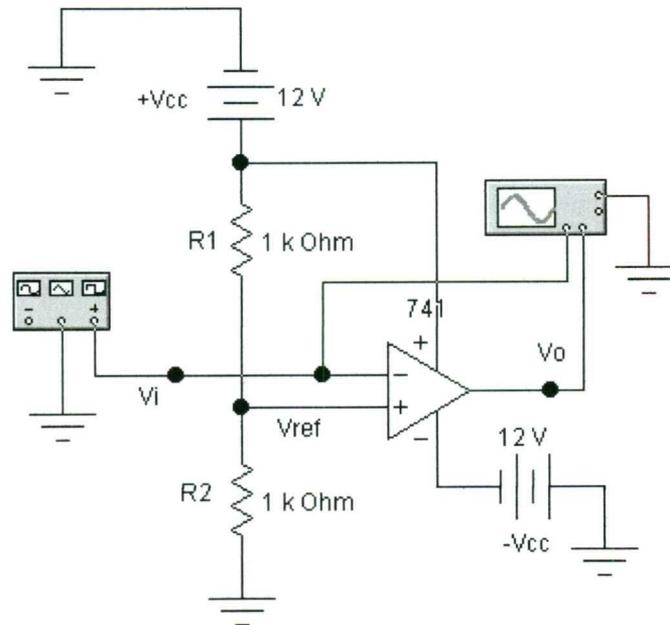


Figura EA-P3c.

Referencia:  
Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES",  
Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

FILTRO ACTIVO PASA BAJAS 1er ORDEN

Número de Práctica

4a

Duración

1 hora

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de filtro activo pasa bajas de 1er orden.

## MARCO TEÓRICO

Los filtros son circuitos que permiten el paso de una determinada banda de frecuencia mientras atenúan todas las señales que no estén comprendidas dentro de esta banda. A esta propiedad se le denomina selectividad.

En los filtros se usan dispositivos activos como transistores o amplificadores operacionales y redes RC pasivos.

Los dispositivos activos proporcionan ganancia de voltaje y las redes pasivas proporcionan selectividad de frecuencias.

En términos de su respuesta general hay cuatro categorías de filtros activos: pasa bajas, pasa altas, pasa banda y supresor de banda. En esta práctica la atención se centrará en los filtros pasa bajas de primer orden.

El filtro Pasa Bajas es un circuito cuyo voltaje de salida es constante desde de una frecuencia 0 hasta llegar a una cierta frecuencia llamada de corte ( $f_c$ ), conforme la frecuencia va aumentando por arriba de  $f_c$ , el voltaje de salida se atenúa.

### Funcionamiento

El circuito de la figura 1 es un filtro pasa bajas muy utilizado. El filtrado se realiza en el circuito RC y el amplificador operacional se utiliza como amplificador de ganancia unitaria. El valor de la resistencia  $R_f$  es igual a  $R$  y se incluye para el desvío de cd. El voltaje diferencial entre las terminales 2 y 3 es esencialmente 0, por lo tanto el voltaje que corre por el capacitor  $C$ , es igual al voltaje de salida  $V_o$ , debido a que este circuito es un seguidor de voltaje y se expresa de la siguiente manera:

$$V_o = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} (V_i)$$

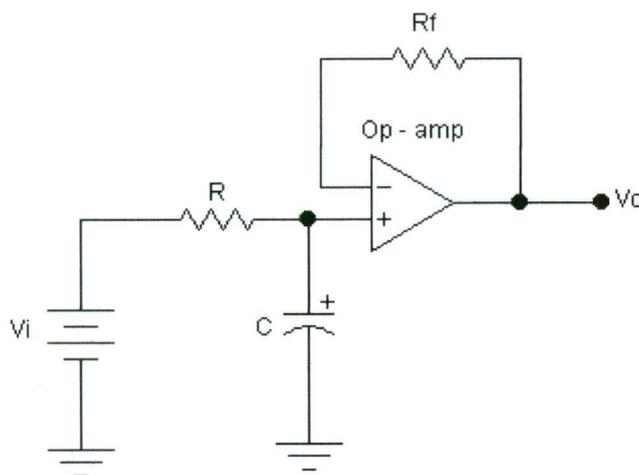
Donde  $\omega$  es la frecuencia de  $V_i$  en rad/seg ( $\omega = 2\pi f$ ). Por lo que la ganancia en lazo cerrado  $A_{cl}$  es:

$$A_{cl} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

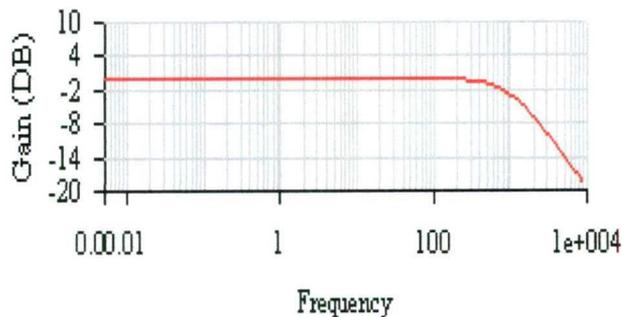
Así tenemos que la frecuencia de corte del filtro pasa bajas RC esta dada por:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Los filtros pasa bajas de 1er Orden tienen una pendiente de  $-20$  dB por década, es decir, que la ganancia de voltaje para frecuencias mayores a la frecuencia de corte  $\omega_c$  o  $f_c$  disminuye con una pendiente de  $20$  dB/década. Esto equivale a decir que la ganancia de voltaje se divide entre  $10$  cuando la frecuencia de  $\omega$  aumenta  $10$  veces.



**Figura 1.** Filtro pasa bajas de 1er orden, con atenuación de  $-20$  dB/década.



**Figura 2.** Grafica de la respuesta a la frecuencia del filtro pasa bajas de la figura 1.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P4a.

Valores iniciales del Analizador de Espectro (Bode plotter):

### Magnitude

#### Vertical

Log

F 10 dB

I -20 dB

#### Horizontal

Log

F 10 KHz

I 5 mHz

Observe la respuesta en frecuencia en el Analizador de Espectro (Bode plotter).

### Ecuaciones:

$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$  frecuencia de corte en el punto en que la señal cae a -3dB.

0 dB =  $A_{v \max}$  (en una gráfica normalizada como la que usa el Analizador de Espectro)

-3 dB =  $(0.7071)(A_{v \max})$  (en una gráfica normalizada como la que usa el Analizador de Espectro)

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### **Cuestionario**

1. ¿Qué significa dB y que interpretación tiene?
2. ¿Cuál es la función que desempeña el Analizador de Espectro?
3. ¿El eje Y en que unidades está?
4. ¿El eje X en qué unidades está?
5. ¿Cuál es la frecuencia de corte de este filtro utilizando la ecuación teórica?
6. ¿Cuál es la frecuencia de corte de este filtro leído en el Analizador de Espectro?
7. ¿La frecuencia de corte leído en el Analizador de Espectro es del orden esperado y por qué?
8. ¿De cuantos decibeles/década es la pendiente de este filtro y que interpretación tiene?
9. ¿Cuál es el ancho de banda de este filtro?
10. ¿0 dB a que ganancia de voltaje del  $V_o$  del filtro corresponde en este caso?
11. ¿-3dB a que ganancia de voltaje del  $V_o$  del filtro corresponde en este caso?
12. ¿Cuál es la función que desempeña este filtro?
13. ¿Qué función desempeña E1?
14. En el Bode Plotter colocar en Vertical Lin (Lineal)  $F = 1$  e  $I = 0$ , y en Horizontal Lin  $F = 10$  KHz e  $I = 5$  mHz ¿Qué diferencia hay con la escala logarítmica? ¿Cuál es más práctica para tomar medidas y por que?

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

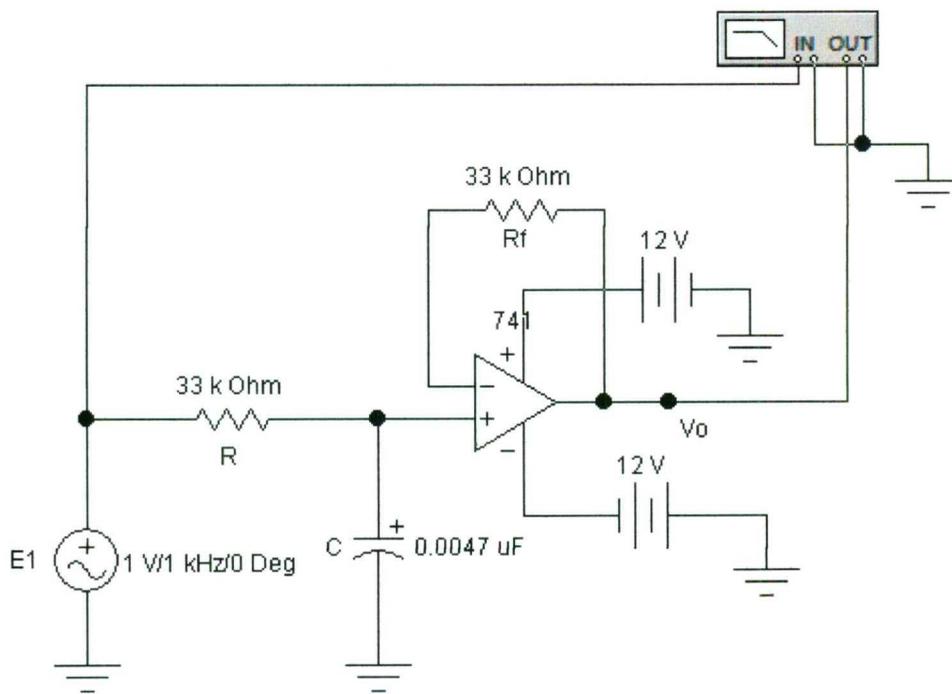
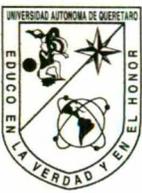


Figura EA-P4a.

Referencia:

Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES", Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

FILTRO ACTIVO PASA BAJAS 2° ORDEN

Número de Práctica

4b

Duración

1 hora

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de filtro activo pasa bajas de 2° orden.

## MARCO TEÓRICO

Los filtros son circuitos que permiten el paso de una determinada banda de frecuencia mientras atenúan todas las señales que no estén comprendidas dentro de esta banda. A esta propiedad se le denomina selectividad.

En los filtros se usan dispositivos activos como transistores o amplificadores operacionales y redes RC pasivos.

Los dispositivos activos proporcionan ganancia de voltaje y las redes pasivas proporcionan selectividad de frecuencias.

En términos de su respuesta general hay cuatro categorías de filtros activos: pasa bajas, pasa altas, pasa banda y supresor de banda. En esta practica la atención se centrara en los filtros pasa bajas de segundo orden o filtro Butterworth pasa bajas de -40 dB/década.

En diversas aplicaciones de los filtros pasa bajas se necesita que la ganancia en lazo cerrado se aproxime lo mas posible a 1, dentro de la banda de paso. Para este tipo de aplicaciones lo mejor es el filtro pasa bajas de segundo orden.

Al acoplar dos filtros activos similares al de la figura1, se puede obtener una atenuación de -40 dB/década, sin embargo este no es el diseño mas económico, puesto que se necesita de dos amplificadores operacionales.

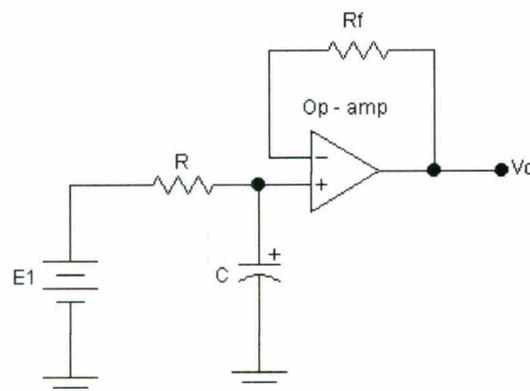


Figura 1. Filtro pasa bajas de 1er orden con atenuación de -20 dB/década.

## Funcionamiento

El circuito de la figura 2, es uno de los filtros más comúnmente utilizados, produce una atenuación de -40 dB/década, es decir después de la frecuencia de corte, la magnitud de  $A_{cl}$  disminuye en 40 dB cuando  $\omega$  aumenta a un valor de  $10 \omega_c$ .

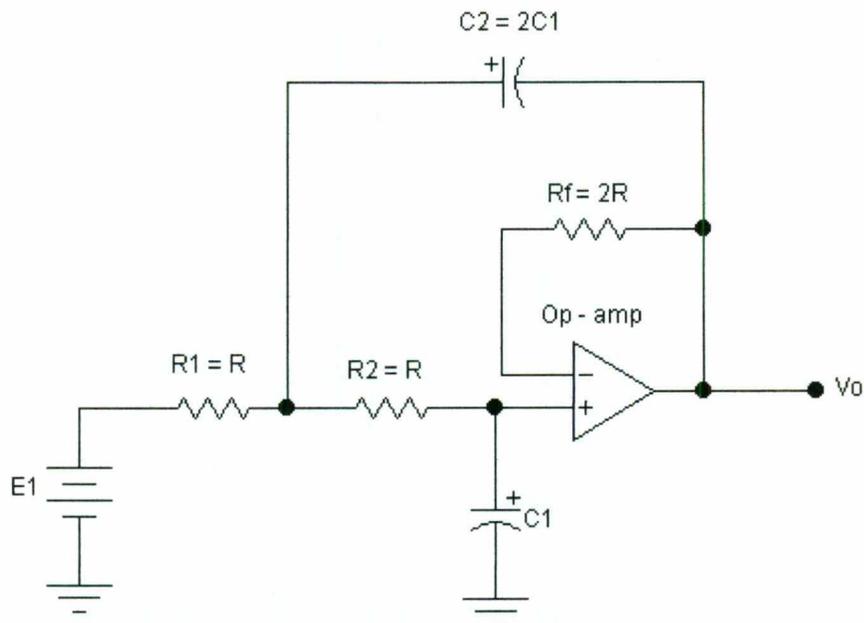
El amplificador operacional se conecta de tal manera que se tenga una ganancia unitaria de cd. Se incluye la resistencia  $R_f$  para el desvío de cd.

Dado que el circuito del amplificador operacional es básicamente un seguidor de voltaje, el voltaje existente a través de  $C_1$  es igual al voltaje de salida,  $V_o$ .

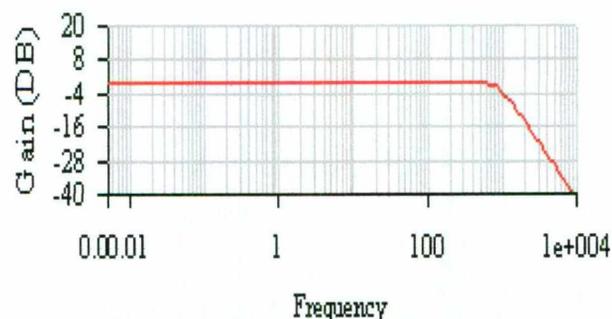
Para simplificar el diseño del filtro se recomienda que los valores de  $R_1 = R_2 = R$ .

Y el procedimiento de diseño del filtro es el siguiente:

1. Definir una frecuencia de corte  $f_c$ :  $f_c = \frac{0.707}{2\pi RC_1}$
2. Definir  $C_1$  (entre 100 pF y 0.1 mF).
3. Definir:  $C_2 = 2C_1$
4. Calcular:  $R = \frac{0.707}{\omega_c C_1}$
5. Definir:  $R_f = 2R$



**Figura 2.** Filtro pasa bajas de 2° orden con atenuación de -40 dB/década.



**Figura 3.** Grafica de la respuesta a la frecuencia del filtro pasa bajas de la figura 2.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P4b.

Valores iniciales del Analizador de Espectro (Bode plotter):

### Magnitude

#### Vertical

Log

F 20 dB

I -40 dB

#### Horizontal

Log

F 10 KHz

I 5 mHz

Observe la respuesta en frecuencia en el analizador de espectro (Bode plotter).

### Ecuaciones:

$f_c = \frac{0.707}{2\pi RC_1}$ , frecuencia de corte en el punto en que la señal cae a -3dB.

0 dB =  $A_{v_{max}}$ , (en una gráfica normalizada como la que usa el Analizador de Espectro)

-3 dB =  $(0.707)(A_{v_{max}})$ , (en una gráfica normalizada como la que usa el Analizador de Espectro)

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### **Cuestionario**

1. ¿Cuál es la frecuencia de corte de este filtro utilizando la ecuación teórica?
2. ¿Cuál es la frecuencia de corte de este filtro leído en el Analizador de Espectro?
3. ¿La frecuencia de corte leído en el Analizador de Espectro es del orden esperado y por qué?
4. ¿De cuantos decibels/década es la pendiente de este filtro y que interpretación tiene?
5. ¿Cuál es el ancho de banda de este filtro?
6. ¿Hasta que frecuencia se dice que deja pasar señales este filtro?
7. ¿Después de que frecuencia se dice que ya no deja pasar señales este filtro?
8. ¿Cuál es la función que desempeña este filtro?
9. ¿Por qué se dice que es de segundo orden este filtro?
10. ¿0 dB a que ganancia de voltaje del  $V_o$  del filtro corresponde en este caso?
11. ¿-3dB a que ganancia de voltaje del  $V_o$  del filtro corresponde en este caso?
12. ¿Qué función desempeña E1?
13. ¿Qué significa gráfica semi-logarítmica?

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)



**Nombre de la Asignatura**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA**

**Nombre de la Práctica**

**FILTRO ACTIVO PASA ALTAS 1er ORDEN**

**Número de Práctica**

5a

**Duración**

1 hora

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de filtro activo pasa altas de 1er orden.

## MARCO TEÓRICO

Los filtros son circuitos que permiten el paso de una determinada banda de frecuencia mientras atenúan todas las señales que no estén comprendidas dentro de esta banda. A esta propiedad se le denomina selectividad.

En los filtros se usan dispositivos activos como transistores o amplificadores operacionales y redes RC pasivos.

Los dispositivos activos proporcionan ganancia de voltaje y las redes pasivas proporcionan selectividad de frecuencias.

En términos de su respuesta general hay cuatro categorías de filtros activos: pasa bajas, pasa altas, pasa banda y supresor de banda.

En esta práctica la atención se centrará en los filtros pasa altas de primer orden.

Los filtros pasa altas son circuitos que atenúan todas las señales cuya frecuencia está por debajo de una frecuencia de corte especificada  $f_c$  y pasa todas aquellas señales cuya frecuencia es superior a la frecuencia de corte. Es decir, el filtro pasa altas funciona en forma contraria al filtro pasa bajas.

### **Funcionamiento**

El circuito de la figura 1 es un filtro pasa altas con una atenuación de 20 dB/década. Se incluye la resistencia de retroalimentación con el fin de reducir el desvío de cd, dado que el amplificador operacional se conecta como seguidor de ganancia unitaria, el voltaje de salida  $V_o$  es igual al voltaje que pasa por R y se expresa como:

$$V_o = \frac{1}{1 - j\left(\frac{1}{\omega RC}\right)} V_i$$

Cuando  $\omega$  se aproxima al valor de 0 rad/s,  $V_o$  se acerca a 0V. a frecuencias altas conforme  $\omega$  se aproxima a un valor infinito,  $V_o$  lo hace a  $V_i$ . Dado que el circuito no es un filtro ideal,

la respuesta a la frecuencia no es ideal como se puede observar en la figura 2  
 La magnitud de la ganancia en lazo cerrado  $A_{cl}$  es igual a 0.707 cuando  $\omega RC = 1$ . por lo tanto, la frecuencia de corte se expresa como:

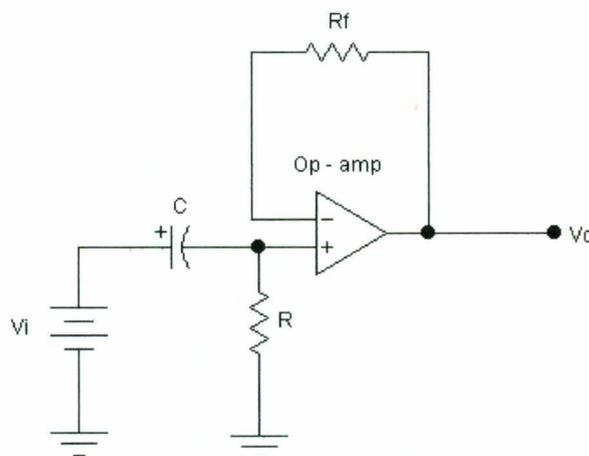
$$\omega_c = \frac{1}{RC} = 2\pi f_c$$

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

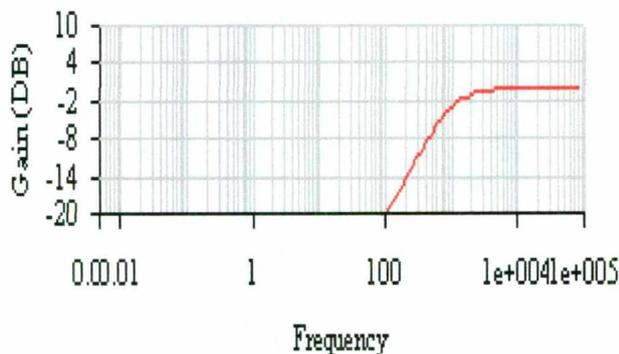
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

La razón de resolver para R es porque resulta mas fácil ajustar R que C.  
 Los pasos para diseñar un filtro pasa altas de primer orden son:

1. Definir una frecuencia de corte  $f_c$ .
2. Definir C (entre 0.001 y 0.1mF).
3. Calcular R mediante la ecuación:  $R = \frac{1}{2\pi f_c C}$
4. Hacer que  $R_f = R$ .



**Figura 1.** Filtro pasa altas de 1er orden, con atenuación de 20 dB/decada.



**Figura 2.** Grafica de la respuesta a la frecuencia del filtro pasa altas de la figura 1.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P5a.

Valores iniciales del Analizador de Espectro (Bode plotter):

### Magnitude

#### Vertical

Log

F 10 dB

I -20 dB

#### Horizontal

Log

F 100 KHz

I 5 mHz

Observe la respuesta en frecuencia en el analizador de espectro (Bode plotter).

### Ecuaciones:

$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ , frecuencia de corte en el punto en que la señal cae a -3dB.

0 dB =  $A_{v_{max}}$ , (en una gráfica normalizada como la que usa el Analizador de Espectro)

-3 dB =  $(0.707)(A_{v_{max}})$ , (en una gráfica normalizada como la que usa el Analizador de Espectro)

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### Cuestionario

1. ¿Cuál es la frecuencia de corte de este filtro utilizando la ecuación teórica?
2. ¿Cuál es la frecuencia de corte de este filtro leído en el Analizador de Espectro?
3. ¿La frecuencia de corte leído en el Analizador de Espectro es del orden esperado y por qué?
4. ¿De cuantos decibels/década es la pendiente de este filtro y que interpretación tiene?
5. ¿Hasta que frecuencia se dice que no deja pasar señales este filtro?
6. ¿Después de que frecuencia se dice que deja pasar señales este filtro?
7. ¿Cuál es la función que desempeña este filtro?
8. ¿Por qué se dice que es de primer orden este filtro?
9. ¿0 dB a que ganancia de voltaje del  $V_o$  del filtro corresponde en este caso?
10. ¿-3dB a que ganancia de voltaje del  $V_o$  del filtro corresponde en este caso?
11. ¿Qué significa gráfica normalizada?

### Conclusiones

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

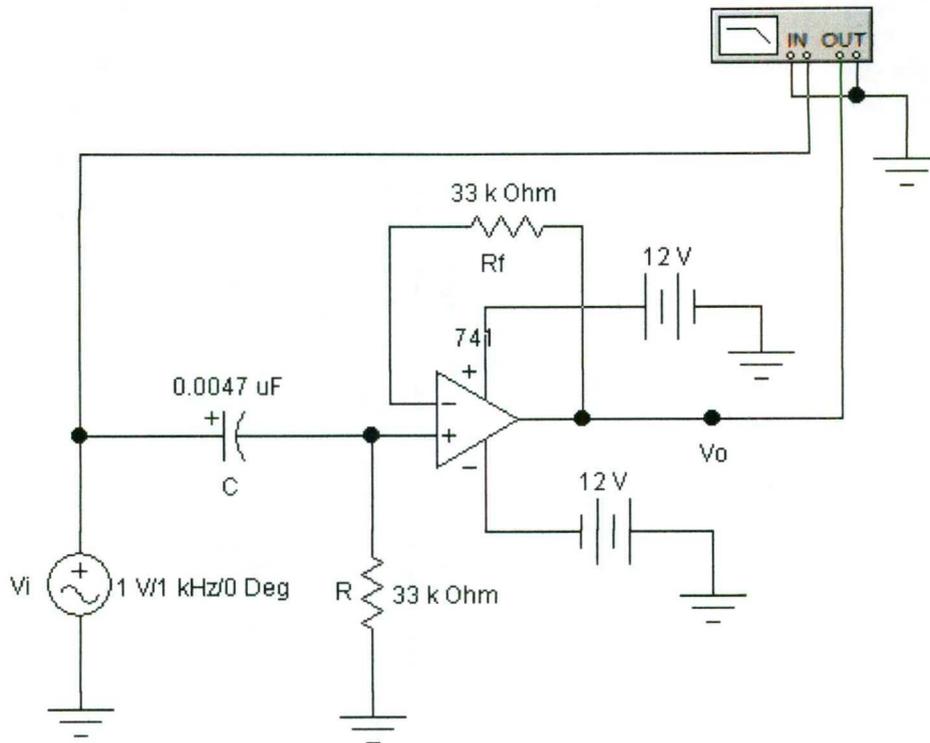


Figura EA-P5a.

Referencia:

Coughlin - Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES", Prentice Hall - Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

FILTRO ACTIVO PASA ALTAS 2° ORDEN

Número de Práctica

5b

Duración

1 hora

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de filtro activo pasa altas de 2° orden.

## MARCO TEÓRICO

Los filtros son circuitos que permiten el paso de una determinada banda de frecuencia mientras atenúan todas las señales que no estén comprendidas dentro de esta banda. A esta propiedad se le denomina selectividad.

En los filtros se usan dispositivos activos como transistores o amplificadores operacionales y redes RC pasivos.

Los dispositivos activos proporcionan ganancia de voltaje y las redes pasivas proporcionan selectividad de frecuencias.

En términos de su respuesta general hay cuatro categorías de filtros activos: pasa bajas, pasa altas, pasa banda y supresor de banda.

En esta práctica la atención se centrará en los filtros pasa altas de primer orden.

Los filtros pasa altas son circuitos que atenúan todas las señales cuya frecuencia está por debajo de una frecuencia de corte especificada  $f_c$  y pasa todas aquellas señales cuya frecuencia es superior a la frecuencia de corte. Es decir, el filtro pasa altas funciona en forma contraria al filtro pasa bajas.

Al acoplar dos filtros activos similares al de la figura 1 se puede obtener una atenuación de 40 dB/década.

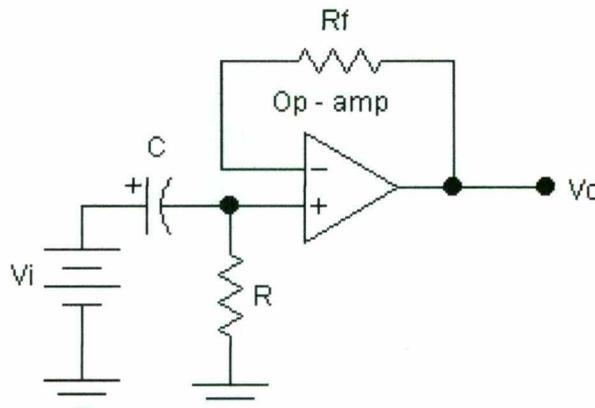


Figura 1. Filtro pasa altas de 1er orden, con atenuación de 20 dB/década.

Aunque esto se puede llevar a cabo utilizando solamente un amplificador operacional.

### Funcionamiento

Con el circuito de la figura 2 se diseñara un filtro Butterworth pasa altas de segundo orden con una atenuación de 40 dB/década, cuando esta por debajo de la frecuencia de corte  $\omega_c$ . Para satisfacer el criterio de los filtros Butterworth, la respuesta a la frecuencia debe ser de 0.707 en la frecuencia  $\omega_c$  y de 0 dB en la banda de paso.

Esto es decir que la frecuencia de corte es la frecuencia en la cual el voltaje de salida es el 70.7% del voltaje de la banda de paso. Estas condiciones se logran con el siguiente proceso de diseño:

1. Definir una frecuencia de corte  $\omega_c$  o  $f_c$ .
2. Definir  $C_1 = C_2 = C$  y elegir un valor adecuado.
3. Calcular  $R_1$  mediante:  $R_1 = \frac{1.414}{\omega_c C}$
4. Hacer  $R_2 = \frac{R_1}{2}$
5. Para reducir al mínimo el desvió de cd haga  $R_f = R_1$ .

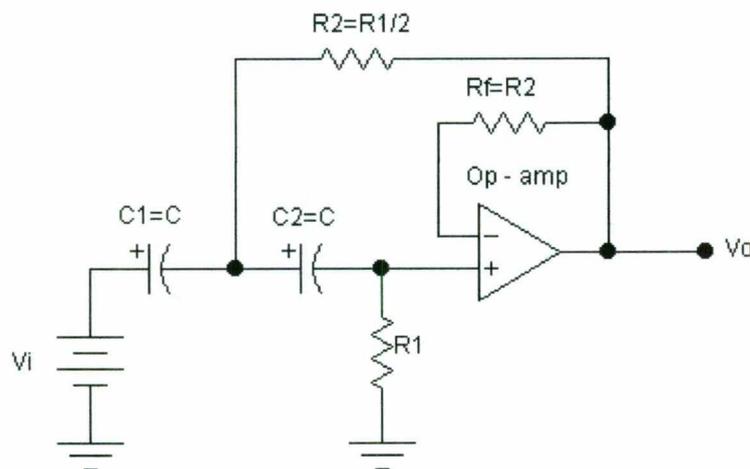


Figura 2. Filtro pasa altas de 2° orden.

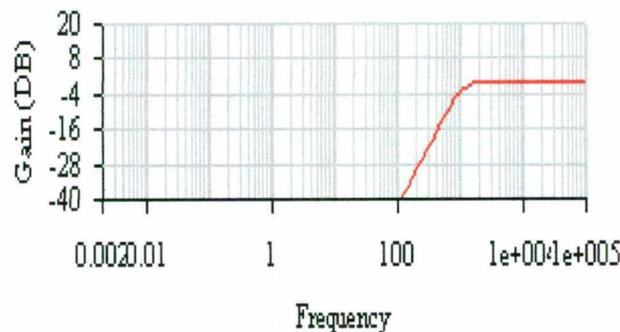


Figura 3. Grafica de la respuesta a la frecuencia del filtro pasa altas de la figura 1.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

2. ¿Cuáles son los valores de corte de este filtro cuando se elige el Analizador de Espectro?

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P5b.

Valores iniciales del Analizador de Espectro (Bode plotter):

### Magnitude

#### Vertical

Log  
F 20 dB  
I -40 dB

#### Horizontal

Log  
F 100 KHz  
I 2 mHz

Observe la respuesta en frecuencia en el analizador de espectro (Bode plotter).

### Ecuaciones:

$f_c = \frac{1.4142}{2\pi R_1 C}$ , frecuencia de corte en el punto en que la señal cae a -3dB.

0 dB =  $A_{v_{max}}$ , (en una gráfica normalizada como la que usa el Analizador de Espectro)

-3 dB =  $(0.707)(A_{v_{max}})$ , (en una gráfica normalizada como la que usa el Analizador de Espectro)

**Nombre de la Asignatura**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA**

**Nombre de la Práctica**

**FILTRO ACTIVO PASA BANDA**

**Número de Práctica**

6a

**Duración**

1 hora

### OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de filtro activo pasa banda.

### MARCO TEÓRICO

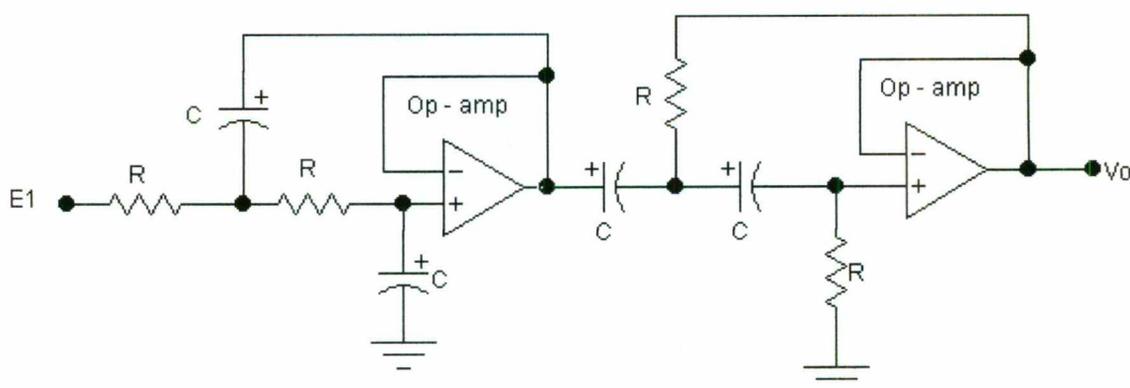
Los filtros pasa banda permiten el paso de todas las señales, localizadas dentro de una banda comprendida entre un límite de frecuencia inferior y un límite de banda superior, y esencialmente rechaza todas las demás frecuencias que queden fuera de esta banda especificada.

Este tipo de filtros tienen una ganancia máxima en la frecuencia resonante o central fr.

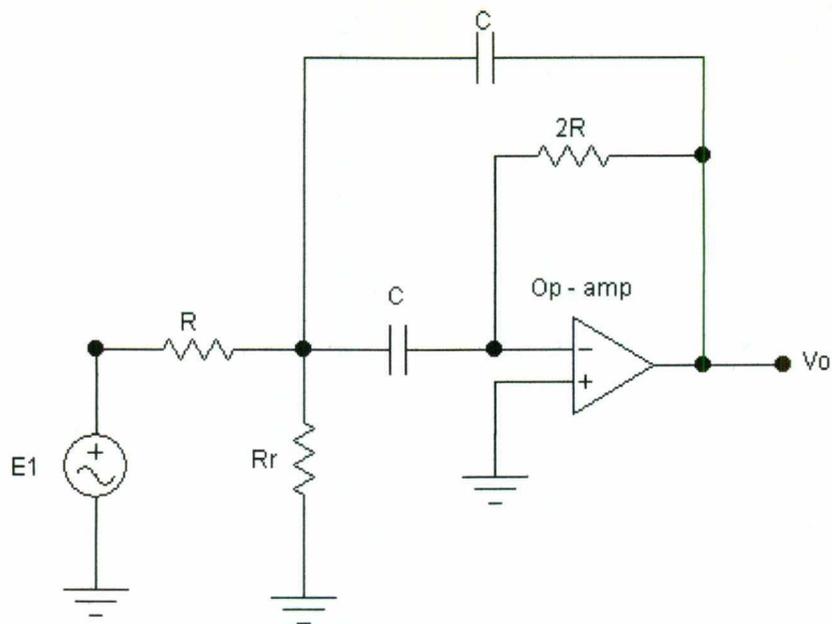
En general para implementar un filtro pasa banda se conectan en cascada un filtro pasa bajas y un filtro pasa altas, ver figura 1.

Este filtro atenuará todas las frecuencias de las señales menores a la frecuencia de corte del filtro Pasa Altas, y atenuará todas las frecuencias que sean mayores a la frecuencia de corte del filtro Pasa Altas, obteniéndose a la salida la banda de frecuencia comprendida en el intervalo entre estas dos frecuencias de corte.

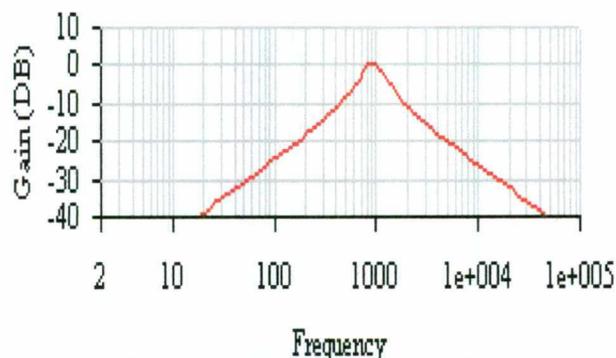
Aunque también es posible implementar los filtros pasa banda con un solo amplificador operacional, como se ve en la figura 2, conservando las mismas características de un filtro Pasa Banda clásico, ver figura 3.



**Figura 1.** Conexión en cascada un filtro pasa bajas y un filtro pasa altas, para formar un filtro pasa bandas.



**Figura 2.** Circuito de un filtro pasa banda con un solo amplificador operacional.



**Figura 3.** Curva de respuesta a la frecuencia del circuito de la figura 2.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P6a.

Valores iniciales del Analizador de Espectro (Bode plotter):

### Magnitudes

Vertical  
Log

Horizontal  
Log

F 10 dB  
I -40 dB

F 100 KHz  
I 2 Hz

Observe la respuesta en frecuencia en el analizador de espectro (Bode plotter).

### Ecuaciones:

$$f_r = \frac{0.1125}{RC} \left( \sqrt{1 + \frac{R}{Rr}} \right), \text{ frecuencia de resonancia o central.}$$

$$B = \frac{0.1591}{RC}, \text{ ancho de banda.}$$

$$Q = \frac{f_r}{B}$$

Nota, las lecturas de las frecuencias de corte se toman cuando la señal cae a -3dB.

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### Cuestionario

1. ¿Cuál es la frecuencia de resonancia o central de este filtro?
2. ¿Cuáles son las frecuencias de corte ( $f_L$  y  $f_H$ ) de este filtro utilizando las ecuaciones teóricas?
3. ¿Cuáles son las frecuencias de corte ( $f_L$  y  $f_H$ ) de este filtro leído en el Analizador de Espectro?
4. ¿Los resultados de las frecuencias de corte leído en el Analizador de Espectro son del orden esperado y por qué?
5. ¿De cuantos decibeles/década es la pendiente?
6. ¿Cuál es el ancho de banda de este filtro utilizando las ecuaciones teóricas?
7. ¿Cuál es el ancho de banda de este filtro leído en el Analizador de Espectro?
8. ¿El resultado del ancho de banda de este filtro leído en el Analizador de Espectro es del orden esperado y por qué?
9. ¿Cuáles son las frecuencias de las señales que se dice que deja pasar este filtro?
10. ¿Cuáles son las frecuencias de las señales que se dice que no deja pasar este filtro?
11. ¿Qué significa la Q del filtro?
12. ¿Cuál es el valor de Q para este circuito?
13. ¿Qué función desempeña E1?

### Conclusiones

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

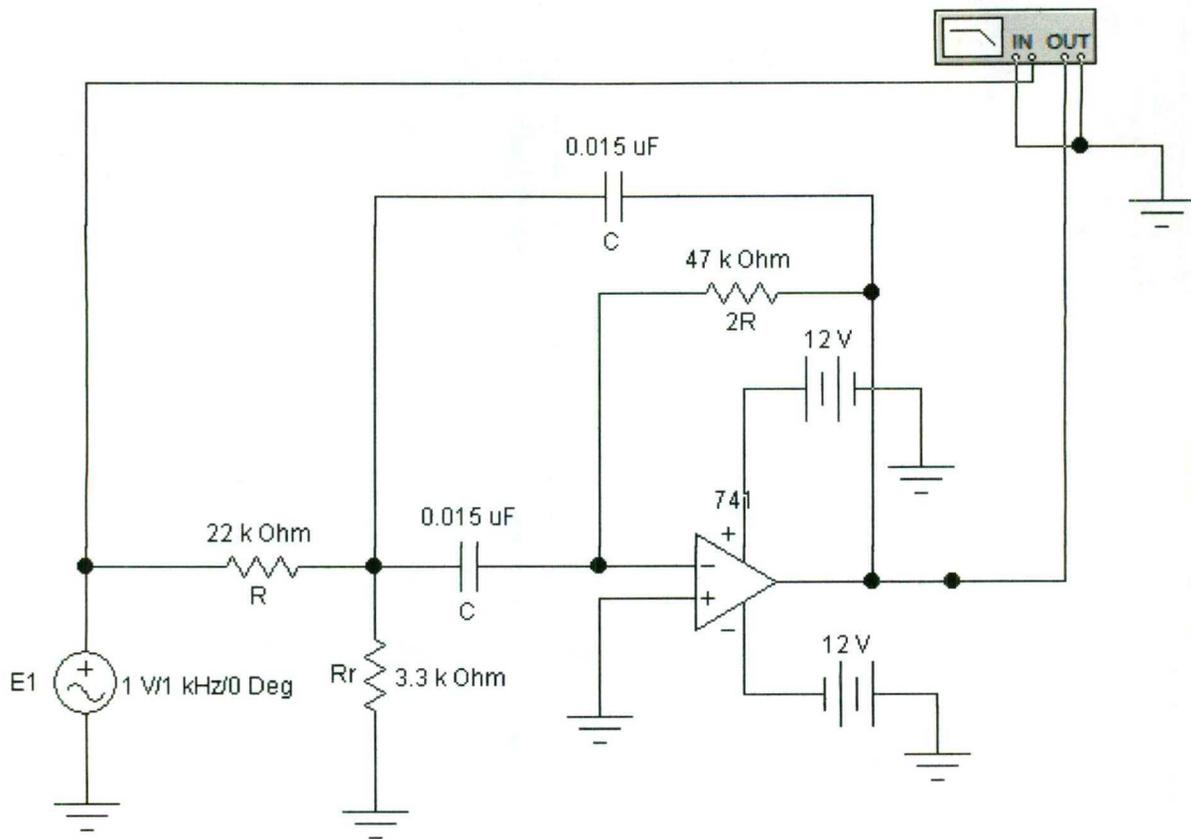


Figura EA-P6a.

Referencia:  
Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES", Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.

Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

FILTRO ACTIVO SUPRESOR DE BANDA

Número de Práctica

6b

Duración

1 hora

### OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de filtro activo supresor de banda.

### MARCO TEÓRICO

Otra categoría de filtro activo es el supresor de banda, conocido también como filtro de muesca, de rechazo de banda o de eliminación de banda. Su operación puede concebirse como la opuesta al filtro pasa banda, ya que las frecuencias dentro de cierto ancho de banda se rechazan y se permite el paso de frecuencias, fuera del ancho de banda.

Los filtros supresores de banda se construyen restando la salida de un filtro pasa banda a la señal original.

Para implementar un filtro supresor de banda, se puede utilizar un filtro pasa banda y un op-amp sumador, ver figura 1, la acción del op - amp sumador (sumador algebraico) que en este caso realizará una resta de la señal  $V_1$  proveniente del filtro pasa banda (porque se invierte la fase) y la señal  $V_2$ , originando que se suprima la banda de frecuencias proveniente del filtro pasa banda a la salida  $V_o$  del op-amp sumador, dando como resultado el filtro supresor de banda, ver figura 2.

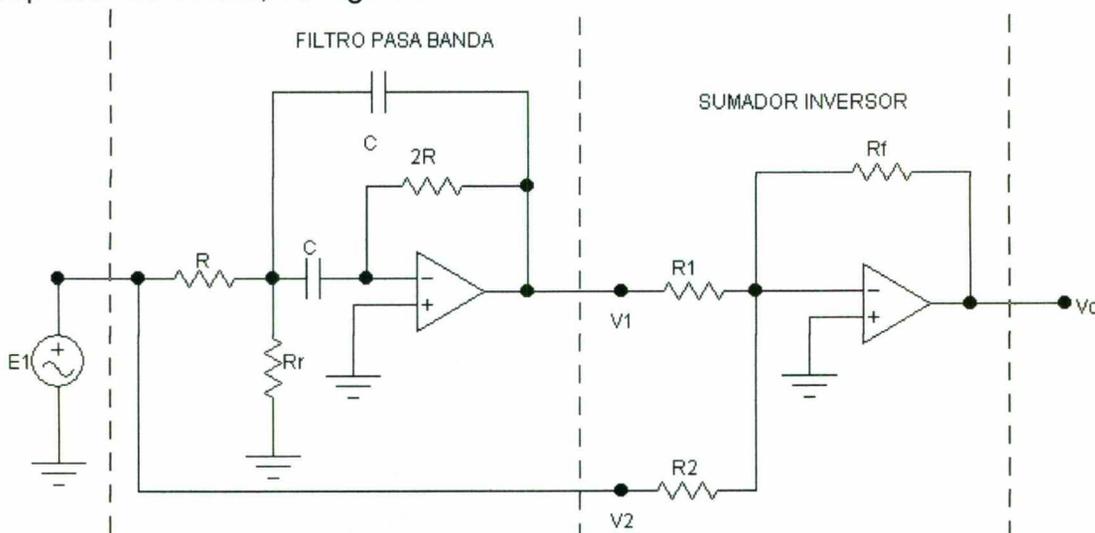
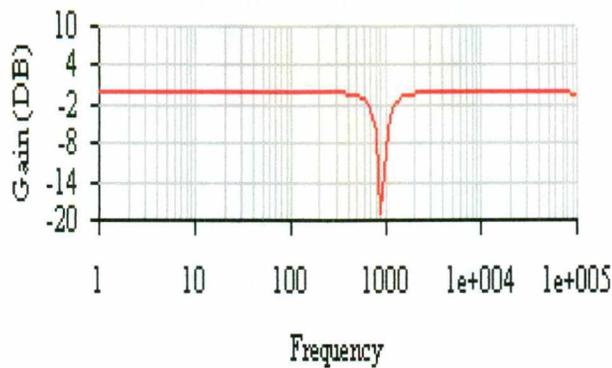


Figura 1. Filtro supresor de banda, para el que se usan dos amplificadores operacionales.



**Figura 2.** Curva de respuesta a la frecuencia característica del circuito de la figura 1.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P6b.

Valores iniciales del Analizador de Espectro (Bode plotter):

### Magnitudo

#### Vertical

Log  
F 10 dB  
I -20 dB

#### Horizontal

Log  
F 100 KHz  
I 1 Hz

Observe la respuesta en frecuencia en el analizador de espectro (Bode plotter).

### Ecuaciones:

$$f_r = \frac{0.1125}{RC} \left( \sqrt{1 + \frac{R}{R_r}} \right), \text{ frecuencia de resonancia o central.}$$

$$B = \frac{0.1591}{RC}, \text{ ancho de banda.}$$

$$Q = \frac{f_r}{B}$$

$$V_o = - \left[ V_1 \frac{R_f}{R_1} + V_2 \frac{R_f}{R_2} \right]$$

Nota, las lecturas de las frecuencias de corte se toman cuando la señal cae a -3dB.

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### **Cuestionario**

1. Este sistema está compuesto por dos circuitos en cascada, ¿cuáles son?
2. ¿Cuál es la frecuencia de resonancia o central de este filtro utilizando la ecuación teórica?
3. ¿Cuál es la frecuencia de resonancia o central de este filtro leído en el Analizador de Espectro?
4. ¿Cuáles son las frecuencias de corte ( $f_L$  y  $f_H$ ) de este filtro leído en el Analizador de Espectro?
5. ¿Cuáles son las frecuencias de corte ( $f_L$  y  $f_H$ ) de este filtro utilizando las ecuaciones teóricas?
6. ¿Los resultados de las frecuencias de corte leído en el Analizador de Espectro son del orden esperado y por qué?
7. ¿De cuántos decibeles/década es la pendiente?
8. ¿Cuál es el ancho de banda de este filtro utilizando las ecuaciones teóricas?
9. ¿Cuál es el ancho de banda de este filtro leído en el Analizador de Espectro?
10. ¿El resultado del ancho de banda de este filtro leído en el Analizador de Espectro es del orden esperado y por qué?
11. ¿Cuáles son las frecuencias que no deja pasar este filtro?
12. ¿Cuáles son las frecuencias que deja pasar este filtro?
13. Explique el funcionamiento de este circuito
14. ¿Qué significa la Q del filtro?
15. ¿Cuál es el valor de Q para este circuito?

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

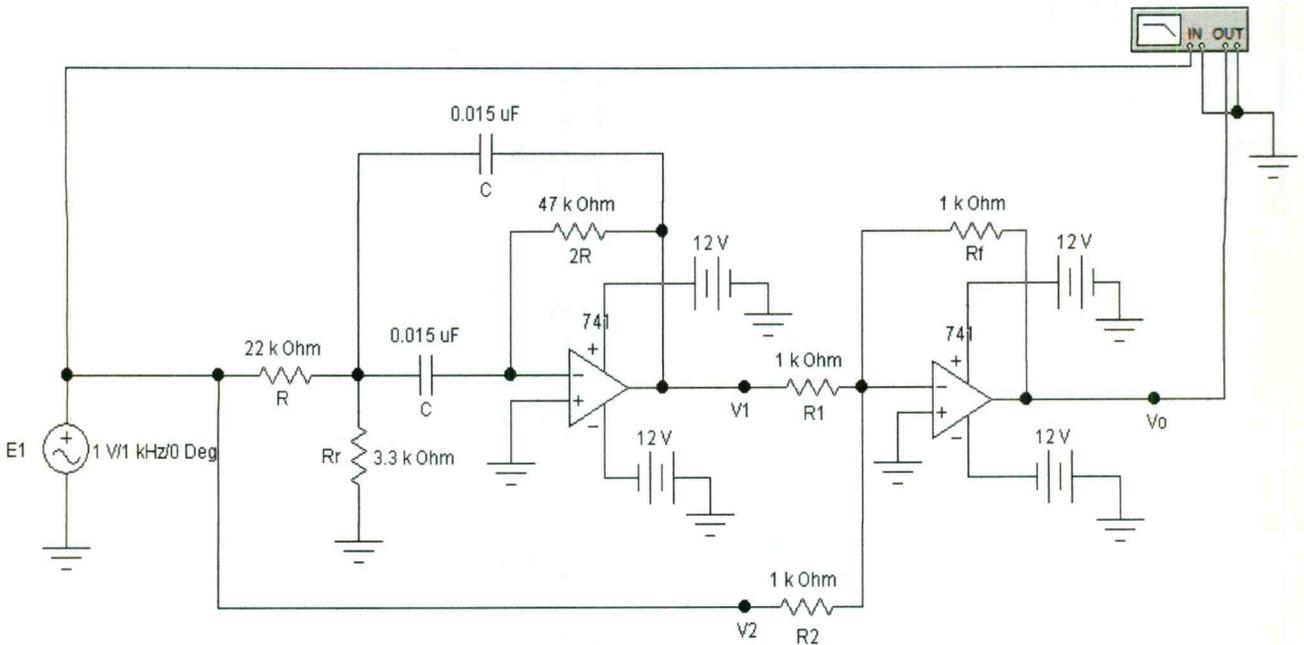


Figura EA-P6b.

Referencia:  
 Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES", Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



**Nombre de la Asignatura**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA**

**Nombre de la Práctica**

**GENERADOR DE SEÑAL CUADRADA Y TRIANGULAR**

**Número de Práctica**

7

**Duración**

2 horas

## OBJETIVO

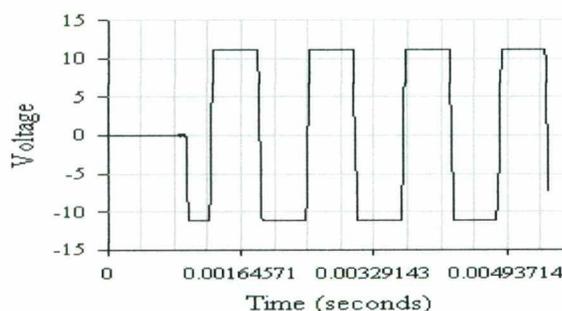
El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de op - amps en la configuración de generadores de señal cuadrada y triangular.

## MARCO TEÓRICO

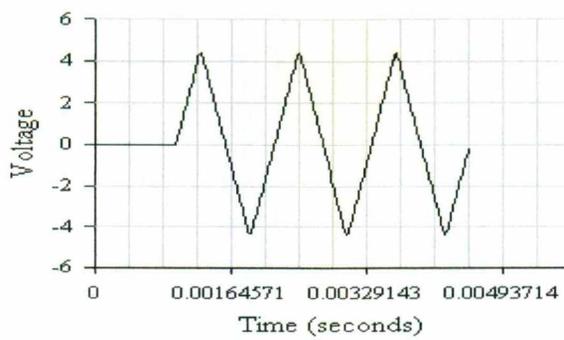
Generalmente los op-amps se utilizan para el procesamiento de señales, sin embargo utilizando ciertas configuraciones podemos utilizarlos como generadores de señal.

Las señales cuadradas son básicamente ondas que pasan de un estado a otro de tensión a intervalos regulares en un tiempo determinado, son utilizadas entre otras cosas para probar amplificadores (esto es debido a que este tipo de señales contiene en si mismas todas las frecuencias) y también para circuitos digitales, los amplificadores y las computadoras utilizan mucho este tipo de señales, ver figura 1.

Las señales triangulares se producen en circuitos diseñados para controlar voltajes linealmente, como el barrido horizontal en un osciloscopio analógico o en el barrido horizontal y vertical en una televisión, las transiciones entre el nivel mínimo y máximo de la señal cambian a un ritmo constante, estas transiciones se denominan rampas, ver figura 2.



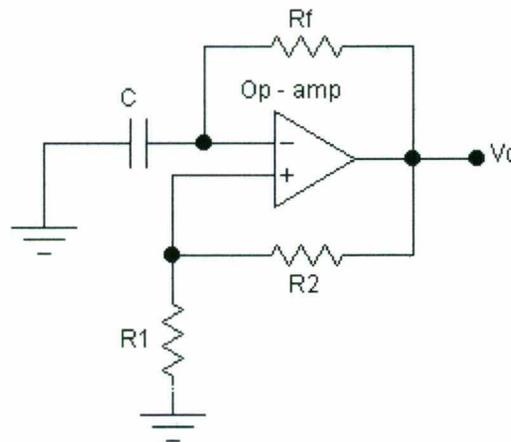
**Figura 1.** Señal cuadrada.



**Figura 2.** Señal triangular.

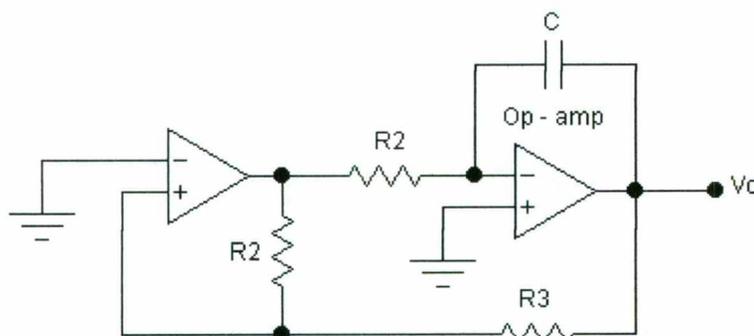
### ***Funcionamiento***

Para el desarrollo de un generador de señal cuadrada se utiliza un amplificador operacional con retroalimentación positiva, en el circuito de la figura 2, se muestra un circuito generador de onda cuadrada donde la tensión a la entrada no inversora del op-amp es la tensión de salida acoplada por un divisor de tensión formado por  $R_1$  y  $R_2$ , mientras que la tensión en la entrada inversora esta dada por una red RC, si la entrada diferencial es positiva, la salida del op - amp se satura cerca del valor positivo de la fuente de alimentación, en caso contrario la salida del op - amp se satura cerca del valor negativo de la fuente de alimentación.



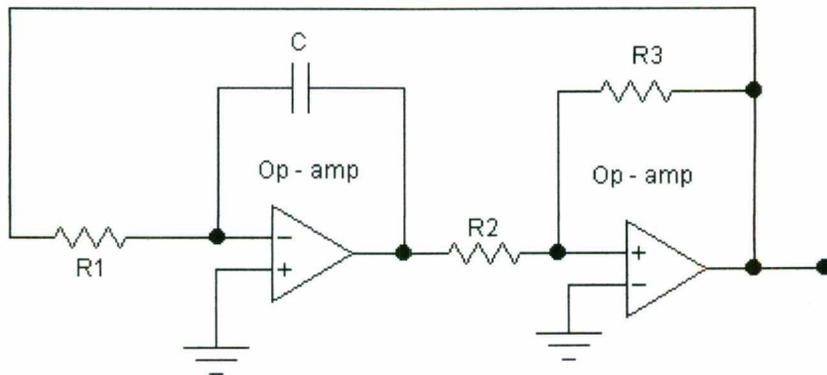
**Figura 3.** Circuito generador de señal cuadrada.

Para el desarrollo de un generador de señal triangular se puede utilizar un circuito como el de la figura 4 formado por dos etapas de op - amps teniendo el primera amplificador operacional con retroalimentación positiva (disparador de schmidt) y la segunda etapa formada por un op - amp en la configuración de integrador.



**Figura 4.** Circuito generador de señal triangular.

Sin embargo podemos tener un generador de señal cuadrada y triangular, en un solo circuito formado por dos etapas de op – amps, como el circuito de la figura 5, ya que los comparadores de voltaje utilizando un op – amp en retroalimentación con integrador, pueden formar un generador de señal cuadrada a la salida del comparador (dos valores de saturación) y de señal triangular a la salida del integrador.



**Figura 5.** Generador de señal cuadrada y triangular.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P7.

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>CH-A</b> 10 V/DIV	<b>CH-B</b> 10 V/DIV	<b>Time Base</b> 0.50 mS/div
Y position 0.00	Y position 0.00	X position 0.00
AC	AC	Y/T

Observe las señales en el osciloscopio y registre las siguientes mediciones.

Onda Cuadrada, F =            Hz,            Vp max =            Volts,            Vp min =  
Volts.  
Onda Triangular, F =            Hz,            Vp max =            Volts,            Vp min =  
Volts.

### Ecuaciones:

Vp max, onda triangular = - ( -Vsat onda cuadrada / p )

Vp min, onda triangular = - ( +Vsat onda cuadrada / p )

$$p = \frac{R_3}{R_2}$$

$$f = \frac{P}{4R_1C_1}$$

$f = \frac{1}{T}$ , donde T = periodo de la onda.

## **EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA**

### ***Cuestionario***

1. El sistema esta compuesto por dos circuitos en cascada, ¿cuáles son?
2. ¿Cuál es el Vpp de la onda cuadrada, leído en el osciloscopio?
3. ¿Cuál es el Vpp de la onda triangular, leído en el osciloscopio?
4. ¿Cuál es el Vpp de la onda triangular, utilizando las ecuaciones?
5. ¿El Vpp de la onda triangular y cuadrada son del orden esperado y porqué?
6. ¿Cuál es la frecuencia de la onda triangular? (leído indirectamente en el osciloscopio)
7. ¿Cuál es la frecuencia de la onda cuadrada? (leído indirectamente en el osciloscopio)
8. ¿Cuál es la frecuencia de la onda triangular y cuadrada, utilizando las ecuaciones teóricas?
9. ¿La frecuencia fue del orden esperado y porqué?
10. Explique el funcionamiento de este circuito

### ***Conclusiones***

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

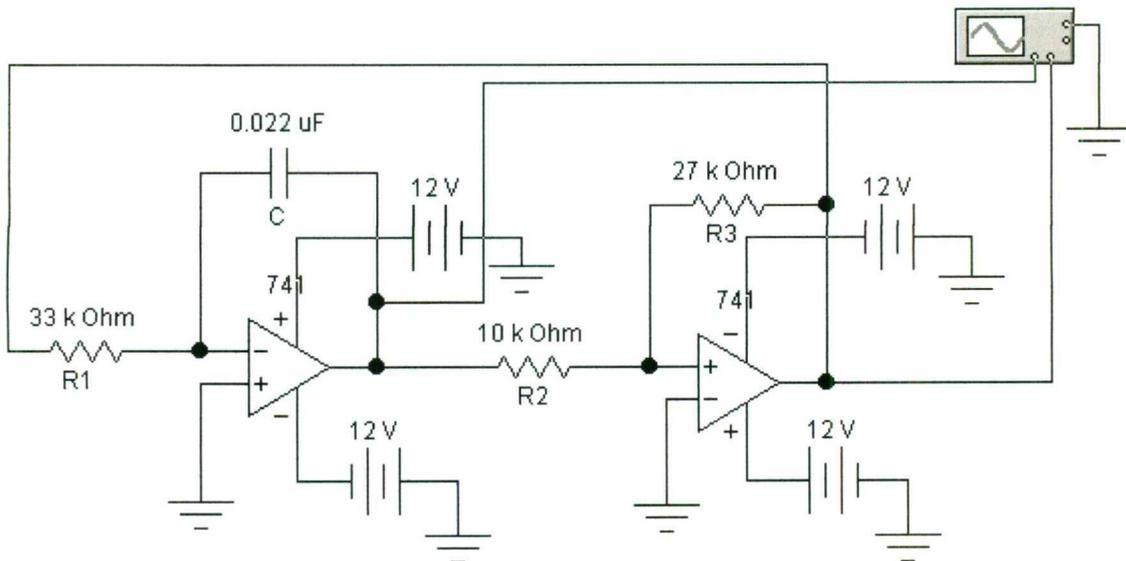


Figura EA-P7.

Referencia:  
Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES", Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

GENERADOR DE SEÑAL DE DIENTE SIERRA

Número de Práctica

8

Duración

2 horas

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de op - amps en la configuración de generadores de señal de diente de sierra.

## MARCO TEÓRICO

La onda de diente de sierra es un caso especial de señal triangular con una rampa descendente con mucha más pendiente que la rampa ascendente.

El principio básico del funcionamiento del generador de diente de sierra, esta basado en la forma de cómo se carga un condensador. Cuando el capacitor se carga con una señal de voltaje constante, el voltaje del capacitor crece de forma exponencial y no lineal, por lo cual si utilizamos un amplificador operacional con una red RC, la corriente de carga del capacitor será constante y el voltaje del capacitor será lineal y no de forma exponencial, lo que nos proporcionara una rampa de pendiente constante ideal para la implementación de un generador de señal diente de sierra.

### **Funcionamiento**

En el circuito de la figura 1, se aplica una señal de voltaje negativo  $E_i$  a la entrada inversora de un op - amp con lo cual la señal de salida de este voltaje  $V_{oramp}$  tendera a aumentar. La tasa de aumento de  $V_{oramp}$  es constante siempre y cuando:

$$\frac{V_{oramp}}{t} = \frac{E_i}{R_i C}$$

El voltaje  $V_{oramp}$  es monitoreado por la entrada no inversora de un comparador. Si el valor de  $V_{oramp} < V_{ref}$ , la señal de salida del comparador es negativa. Cuando  $V_{oramp} > V_{ref}$ , la señal de salida del comparador entra en saturación positiva. Estas polarizaciones directas provocan la polarización del transistor Q1, este se comporta como un cortocircuito a través del capacitor del integrador C. Este se descarga rápidamente a través de Q1 hasta un valor de 0V. Cuando  $V_{ocomp}$  se vuelve positivo activa Q2 y cortocircuita el potenciómetro R1, esto provoca que  $V_{ref}$  descienda a un valor de casi 0V.

Conforme el capacitor C se va descargando hasta llegar a 0V; activa rápidamente a  $V_{oramp}$  hasta que llega a 0V. Entonces  $V_{oramp}$  desciende por debajo del valor  $V_{ref}$ , lo que provoca

que  $V_{oramp}$ , se vuelve negativo y desactive a Q1, C empieza a cargarse en forma lineal y se inicia así la generación de una nueva onda diente de sierra.

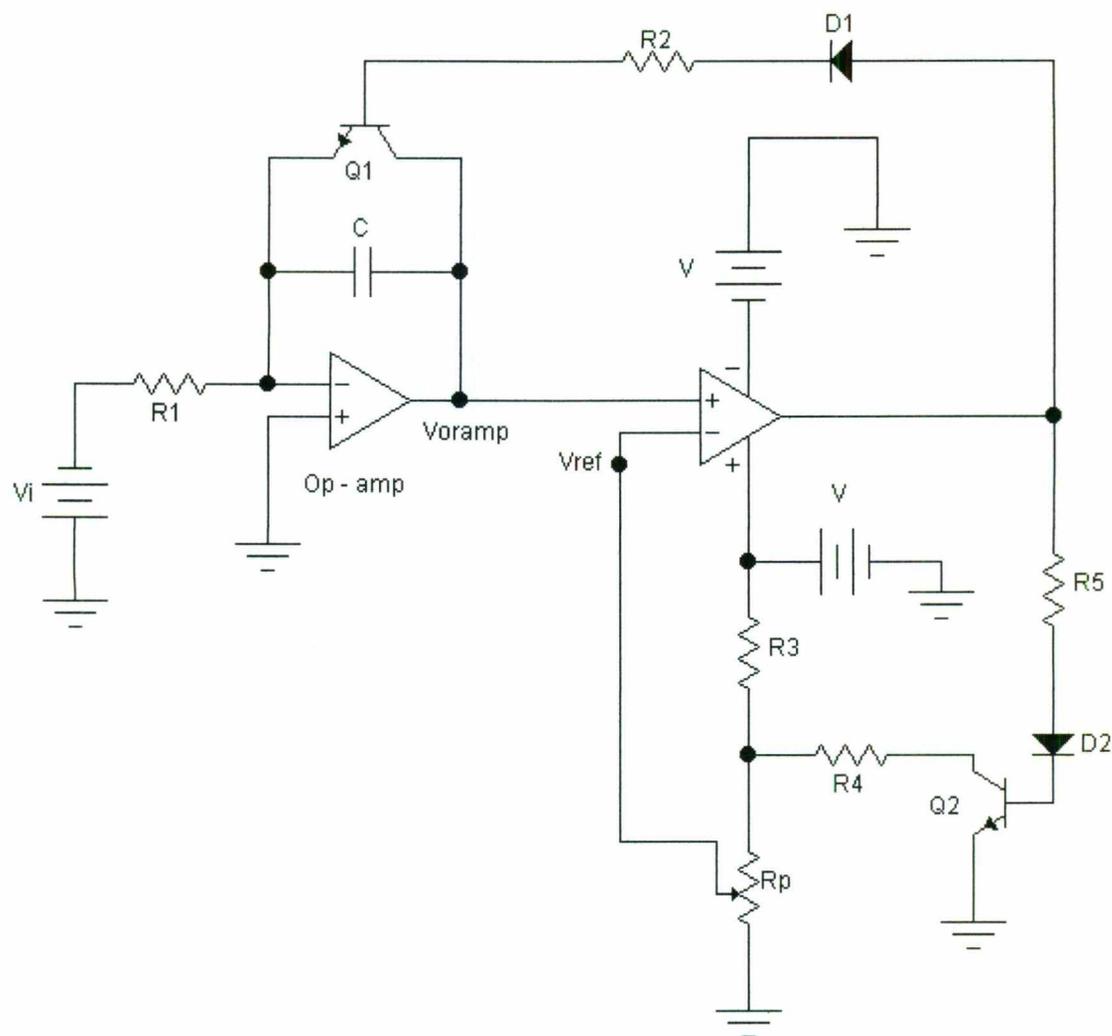


Figura 1. Circuito generador de onda diente de sierra.

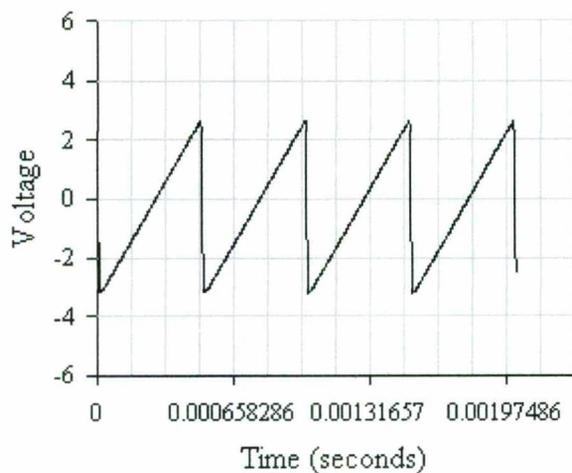


Figura 2. Salida de onda diente de sierra.





Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

GENERADOR DE SEÑAL DE DIENTE SIERRA

Número de Práctica

9a

Duración

1 hora

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de modulador de ancho de pulso.

## MARCO TEÓRICO

El PWM o modulación por ancho de pulsos es una técnica de modulación en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (por ejemplo senoidal o cuadrada) para portar información. La implementación típica de un circuito PWM se lleva a cabo con un comparador de dos entradas y una salida.

### Funcionamiento

A una de las entradas se conecta un oscilador de onda triangular (diente de sierra) denotada como  $V_i$  con frecuencia constante la cual lleva el nombre de onda portadora, mientras que a la otra entrada se aplica una señal de voltaje  $V_1$  como señal moduladora cuya frecuencia debe ser menor que  $V_i$ . Como el op - amp funciona como un comparador de señal  $V_i$  contra la señal  $V_1$ , normalmente la salida  $V_o$  del comparador es una señal cuadrada cuya frecuencia o ancho de pulso varía en proporción directa a la variación de  $V_1$ . Por lo cual se dice que la señal  $V_1$  modula a la señal  $V_o$ .

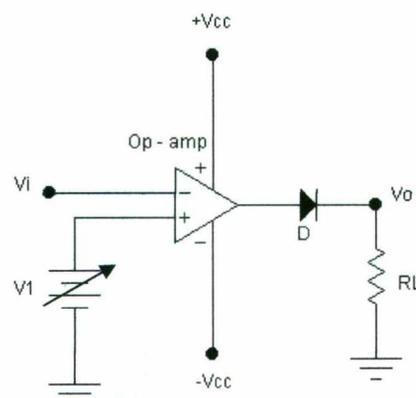
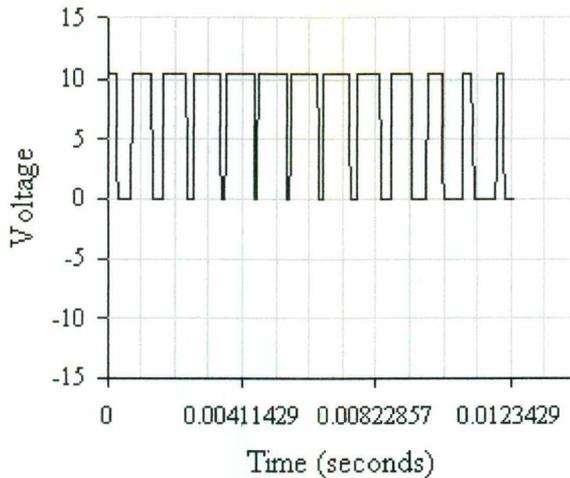


Figura 1. Op - amp en la configuración de modulador de ancho de pulso.



**Figura 2.** Grafica de la respuesta al circuito de la figura 1.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
 Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P9a.

Valores iniciales del Generador de Función:

Onda Triangular  
 Frecuencia 1 KHz  
 Duty Cycle 50  
 Amplitud 1.6V  
 Offset 1.6

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>CH-A</b> 5 V/DIV	<b>CH-B</b> 5 V/DIV	<b>Time Base</b> 0.50 mS/div
Y position 0.00	Y position 0.00	X position
0.00		
DC	DC	Y/T

Observe las señales en el osciloscopio, conteste la pregunta 9.

Ahora coloque los siguientes valores en el osciloscopio y cambie la conexión de  $V_o$  a  $V_{mod}$ , conteste la pregunta 9.

<b>CH-A</b> 2 V/DIV	<b>CH-B</b> 2 V/DIV	<b>Time Base</b> 2.00 mS/div
Y position 0.00	Y position 0.00	X position
0.00		
DC	DC	Y/T

Ahora coloque los siguientes valores en el osciloscopio y cambie la conexión de  $V_i$  a  $V_o$ , conteste la pregunta 4 y 9.

CH-A 5 V/DIV  
Y position 0.00  
0.00  
DC

CH-B 2 V/DIV  
Y position 0.00  
DC

Time Base 2.00 mS/div  
X position  
Y/T

### Ecuaciones:

$$V_{ref} = V_{mod}$$

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### Cuestionario

1. ¿Qué significa PWM?
2. ¿Cuál es la configuración de este op-amp?
3. ¿Por qué cambia el ancho del pulso de la señal de salida?
4. ¿Qué relación hay entre la señal  $V_{mod}$  y el ancho del pulso de  $V_o$ ?
5. ¿Cuál es la señal moduladora?
6. ¿Por qué recibe este nombre de señal moduladora?
7. ¿Por qué están en serie  $V_1$  y  $V_{ref}$ ?
8. ¿Qué función desempeña el diodo  $D1$ ?
9. Explique el funcionamiento del circuito

### Conclusiones

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

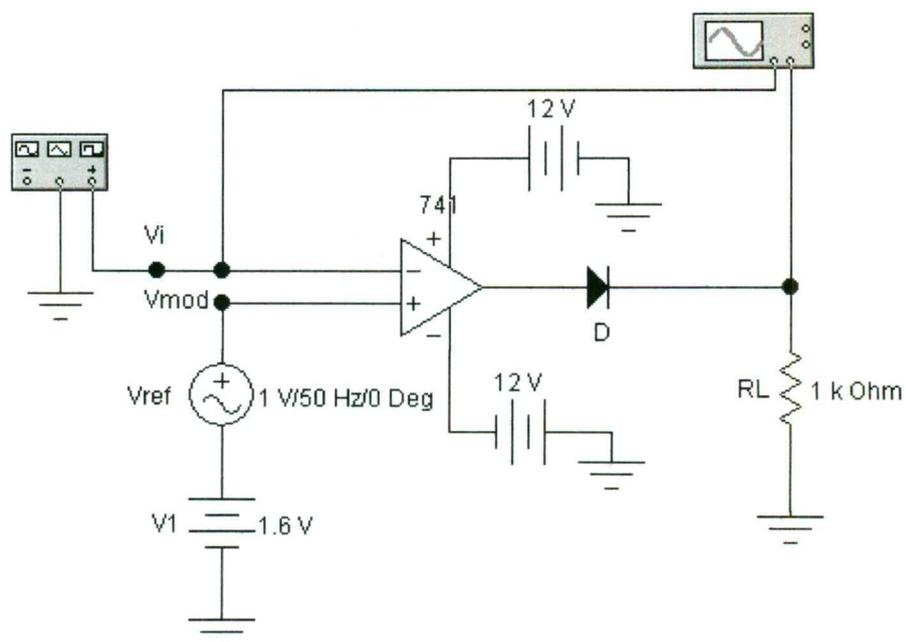
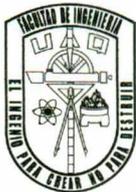


Figura EA-P9a.

Referencia:

Coughlin – Driscoll, "AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES", Prentice Hall – Pearson.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



**Nombre de la Asignatura**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA**

**Nombre de la Práctica**

**TEMPORIZADOR CON EL 555 (CLOCK)**

**Número de Práctica**

9b

**Duración**

1 hora

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento del popular 555 en la configuración de generador de pulsos, multivibrador astable o de carrera libre.

## MARCO TEÓRICO

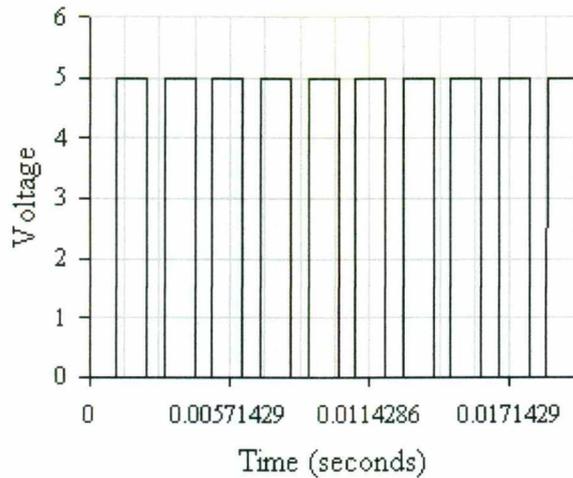
En aplicaciones como los osciladores, los generadores de pulsos, los generadores de rampas o señales cuadradas, los multivibradores monoestables, las alarmas contra robo y los monitores de voltaje, se requiere un circuito que produzca intervalos de temporización. El circuito más popular para esta aplicación es el 555.

### *Funcionamiento*

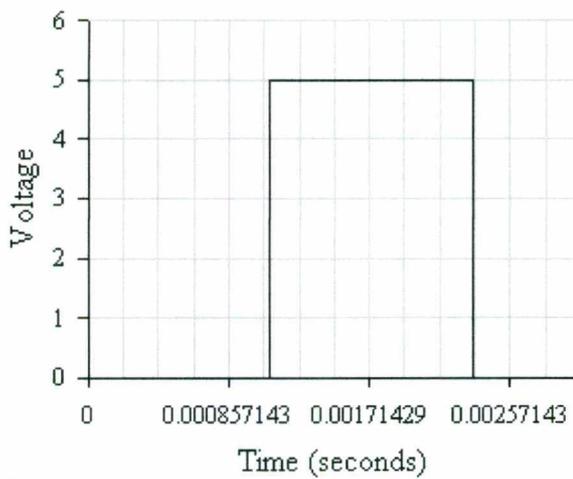
El circuito integrado temporizador 555 puede funcionar lo mismo como multivibrador astable (de oscilación libre), que como multivibrador monoestable (de un disparo).

Cuando funciona como multivibrador astable (oscilación libre) el voltaje de salida pasa de un estado alto a uno bajo y repite este ciclo, el tiempo durante el cual la salida es alta o baja se determina por medio de una red RC que se conecta externamente al 555. el valor del voltaje de salida alto es ligeramente menor que  $V_{cc}$ . El voltaje de salida del estado bajo es aproximadamente 0.1V.

Cuando el temporizador funciona como multivibrador monoestable el voltaje de salida es bajo hasta que un pulso de disparo negativo se aplica al temporizador en este momento el voltaje de salida pasa a nivel alto. El tiempo durante el que la salida permanece en este nivel alto esta determinado por una red RC conectada al temporizador. Al termino del intervalo de temporización el nivel del voltaje de salida vuelve al nivel bajo.



**Figura 1.** Formación de la onda de salida en funcionamiento astable.



**Figura 2.** Forma de la onda de salida en modo monoestable.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
 Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P9b.

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>CH-A</b>	2 V/DIV	<b>CH-B</b>	2 V/DIV	<b>Time Base</b>	1.00 mS/div
	Y position 0.00		Y position 0.00		X position
	0.00				
	DC		DC		Y/T

Observe la forma de onda en el osciloscopio y conteste el cuestionario.

## Ecuaciones:

### Canal A

$$T_{ALTO} = 0.7(R_A + R_B)C_1$$

$$T_{BAJO} = 0.7R_B C_1$$

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C_1}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

### Canal B

$$V_{\max} = \frac{2V_{cc}}{3}$$

$$V_{\min} = \frac{V_{cc}}{3}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### **Cuestionario**

1. ¿A que valor está ajustado el potenciómetro  $R_B$ ?
2. ¿Cuanto tiempo permanece la señal del canal A en estado alto? (utilizando la ecuación teórica)
3. ¿Cuanto tiempo permanece la señal del canal A en estado alto? (medido con el osciloscopio)
4. ¿El resultado de la pregunta 3 es del orden esperado y por que?
5. ¿Cuanto tiempo permanece la señal del canal A en estado bajo? (utilizando la ecuación teórica)
6. ¿Cuanto tiempo permanece la señal del canal A en estado bajo? (medido con el osciloscopio)
7. ¿El resultado de la pregunta 6 es del orden esperado y por que?
8. ¿Cuál es el voltaje máximo de la señal en el canal B? (utilizando la ecuación teórica)
9. ¿Cuál es el voltaje máximo de la señal en el canal B? (medido con el osciloscopio)
10. ¿El resultado de la pregunta 9 es del orden esperado y por que?
11. ¿Cuál es la frecuencia de la señal en el canal A? (utilizando la ecuación teórica)
12. ¿Cuál es la frecuencia de la señal en el canal A? (medido con el osciloscopio)
13. ¿El resultado de la pregunta 12 es del orden esperado y por que?
14. ¿Qué frecuencia tiene la señal del canal B?
15. ¿Cuál es el voltaje máximo de la señal del canal A?
16. ¿Cuál es el voltaje mínimo de la señal del canal A?
17. ¿Qué forma de onda tiene la señal del canal A?
18. ¿Es simétrica?
19. ¿Tiene niveles TTL y por que?
20. ¿Cómo podemos variar la frecuencia de la señal y por que?

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

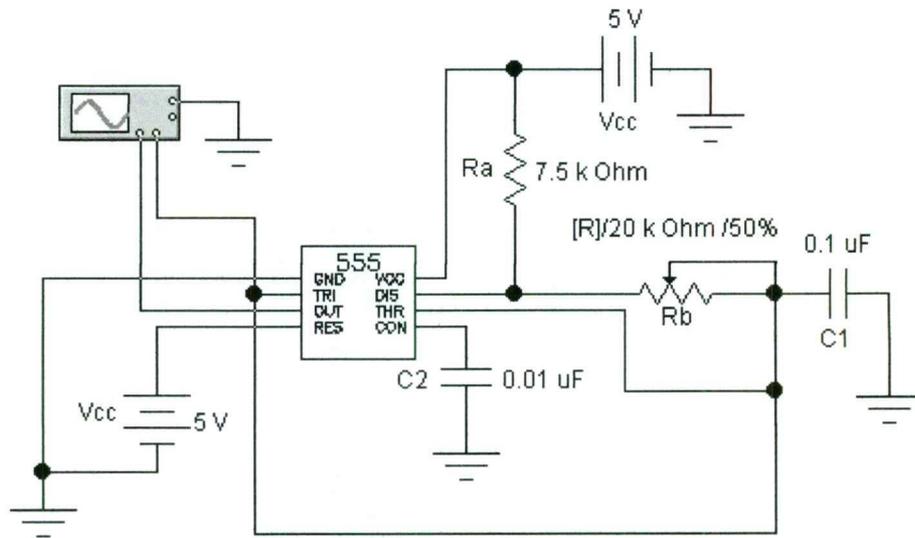


Figura EA-P9b.

Referencia:

Boylestad, Nashelsky, "ELECTRÓNICA, TEORÍA DE CIRCUITOS", Prentice Hall Hispanoamericana.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



**Nombre de la Asignatura**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA**

**Nombre de la Práctica**

**OSCILADOR SENOIDAL DE DESPLAZAMIENTO DE FASE**

**Número de Práctica**

10a

**Duración**

1 hora

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de oscilador senoidal de desplazamiento de fase.

## MARCO TEÓRICO

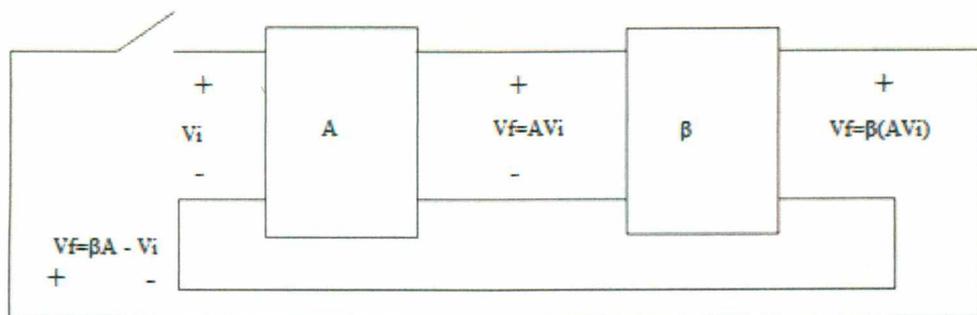
### *Operación del oscilador*

La utilización de retroalimentación positiva que da como resultado un amplificador con retroalimentación que cuenta con ganancia de lazo cerrado  $|Acl| > 1$ , y que satisface las condiciones de fase, provocara una operación de circuito oscilador. Un oscilador como tal ofrece una señal variante de salida. Si la señal varia en forma senoidal, el circuito se denomina oscilador senoidal.

Para comprender la forma en la que un circuito con retroalimentación actúa como oscilador, se analiza el circuito de la figura 1.

Cuando el interruptor en la entrada del circuito se encuentra abierto no se presenta oscilación. Considere que se cuenta con un voltaje imaginario  $V_i$  en la entrada del amplificador, esto dará un voltaje de salida  $V_o = AV_i$ , posterior a la etapa de amplificación y un voltaje  $V_f = \beta(AV_i)$ .

De esta forma tenemos un voltaje de retroalimentación  $V_f = \beta A - V_i$ , donde  $\beta A$  se denomina la ganancia de lazo. Si los circuitos del amplificador y de la red de retroalimentación proporcionan  $\beta A$  con una magnitud y fase correctas  $V_f$  puede hacerse igual a  $V_i$ . Entonces al cerrar el interruptor se elimina el voltaje ficticio  $V_i$ , y el circuito continuara operando debido a que el voltaje de retroalimentación es suficiente para excitar los circuitos de amplificación y de retroalimentación lo que ocasiona un voltaje de entrada apropiado para mantener la operación del lazo. La forma de onda de salida todavía existirá una vez que el interruptor se cierre si la condición  $\beta A = 1$  se cumple, esto se conoce como el criterio de Barkhausen para la oscilación.



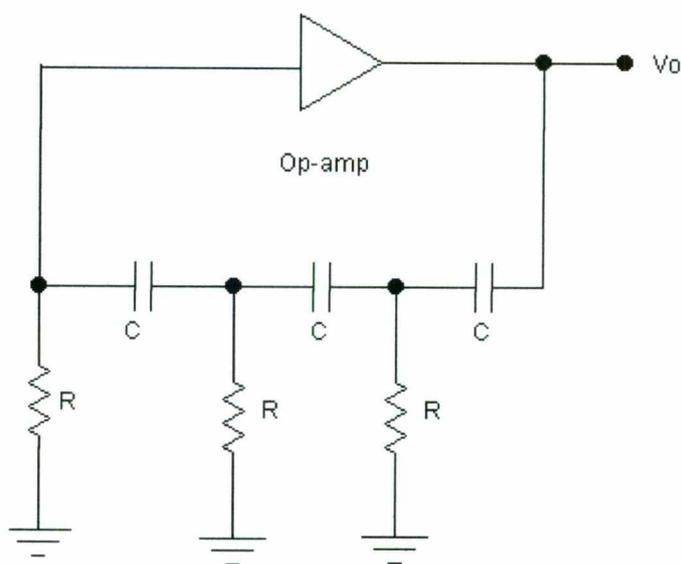
**Figura 1.** Circuito de retroalimentación utilizado como oscilador.

### **Funcionamiento**

En general para construir un oscilador senoidal necesitamos emplear un amplificador con retroalimentación positiva. La idea es utilizar la señal de retroalimentación en lugar de la señal habitual de entrada del amplificador. Si la señal de retroalimentación es lo suficientemente grande y tiene la fase correcta habrá una señal de salida, incluso cuando no exista una señal de entrada externa.

En otras palabras un oscilador es un amplificador modificado por la retroalimentación positiva para proporcionar su propia señal de entrada.

Un ejemplo de un circuito oscilador que sigue el desarrollo básico de un circuito retroalimentado es el oscilador de desplazamiento de fase, el cual consiste en la utilización de un amplificador inversor como elemento activo inversor de fase y una retroalimentación positiva en cascada de varias secciones RC que producen desplazamientos de fase en la señal retroalimentada, un desplazamiento de  $60^\circ$  por cada una de las tres secciones RC lo que nos da el desplazamiento de  $180^\circ$ , si se seleccionan los valores adecuados de R y de C. sin embargo este no es el caso debido a que cada sección RC carga a la anterior y puede ser que el desplazamiento de fase por cada sección RC no sea el mismo en las tres secciones aunque lo importante es que el desplazamiento de fase total sea de  $180^\circ$ .



**Figura 1.** Oscilador de desplazamiento de fase.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P10a.

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>CH-A</b>	5 V/DIV	<b>CH-B</b>	5 V/DIV	<b>Time Base</b>	0.50 mS/div
	Y position 0.00		Y position 0.00		X position
0.00					
	AC		AC		Y/T

Observe la señal en el osciloscopio y registre mediciones.

F =            Hz  
Vpp =            Volts

### Ecuaciones:

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}$$

$A_v > 29$ , requisito para que el circuito oscile.

$$A_v = \frac{R_f}{R_1}, \text{ ecuación teórica.}$$

$V_{o\ pp\ max} \approx 2V_{cc}$

$$f = \frac{1}{T}, \text{ donde } T = \text{periodo de la onda}$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### Questionario

1. ¿Cuál es la frecuencia del oscilador, usando la ecuación?
2. ¿Cuál es la frecuencia del oscilador, leído indirectamente en el osciloscopio?
3. ¿La respuesta de la pregunta 2 es del orden esperado y por qué?
4. ¿Cuál es el valor de la amplitud en Vpp de la señal de salida?
5. ¿La amplitud es del orden esperado y por qué?
6. ¿La forma de onda es 100% senoidal?
7. ¿De cuanto debe ser la Av del amplificador para que el circuito oscile?
8. ¿Qué ganancia teórica de voltaje Av tiene este op-amp?
9. ¿Cumple con el requisito de Av para que el circuito oscile?
10. Explique el funcionamiento de este circuito

### Conclusiones

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

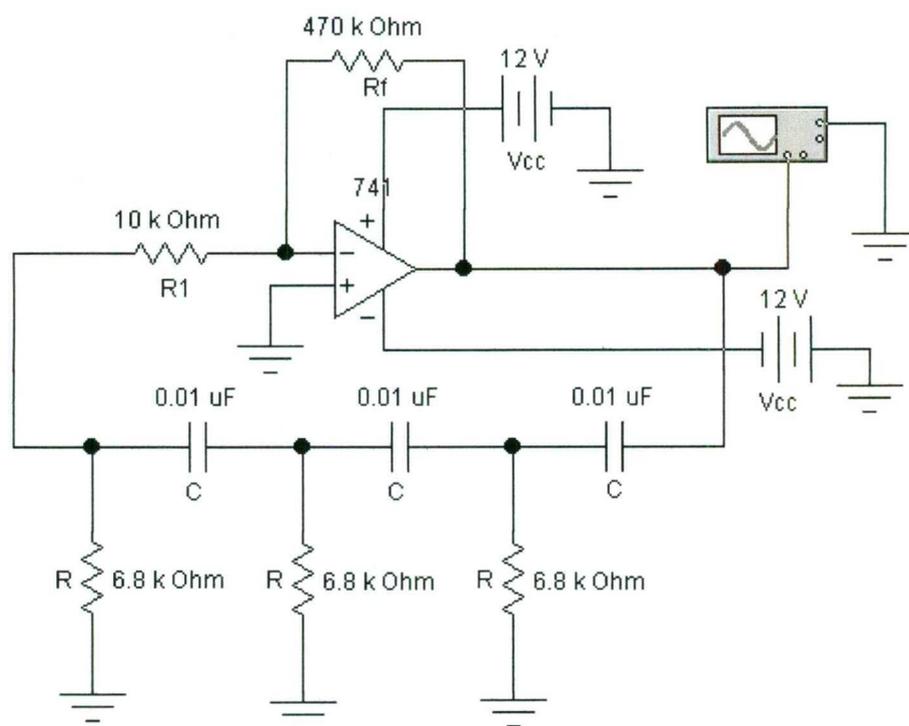


Figura EA-P10a.

Referencia:  
Boylestad, Nashelsky, "ELECTRÓNICA, TEORÍA DE CIRCUITOS", Prentice Hall Hispanoamericana.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.

Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

OSCILADOR SENOIDAL DE PUENTE DE WIEN

Número de Práctica

10b

Duración

1 hora

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de oscilador senoidal de puente de Wien.

## MARCO TEÓRICO

El oscilador de puente de Wien es un circuito oscilador típico para pequeñas frecuencias, como para frecuencias moderadas en el rango de 5 HZ a 1 MHZ. Se usa casi siempre en los generadores de audio comerciales y en otras aplicaciones de pequeñas frecuencias.

Este circuito oscilador emplea un amplificador operacional y un circuito de puente RC con la frecuencia de oscilación establecida por los componentes R y C.

### Funcionamiento

En la figura 1 los resistores R1 y R2 y los capacitores C1 y C2, conforman los elementos de ajuste de frecuencia, mientras que los resistores R3 y R4 forman parte de la trayectoria de retroalimentación, la salida del op - amp se conecta como la entrada del puente en los puntos a y c. la salida del circuito puente en los puntos b y d es la entrada al op - amp.

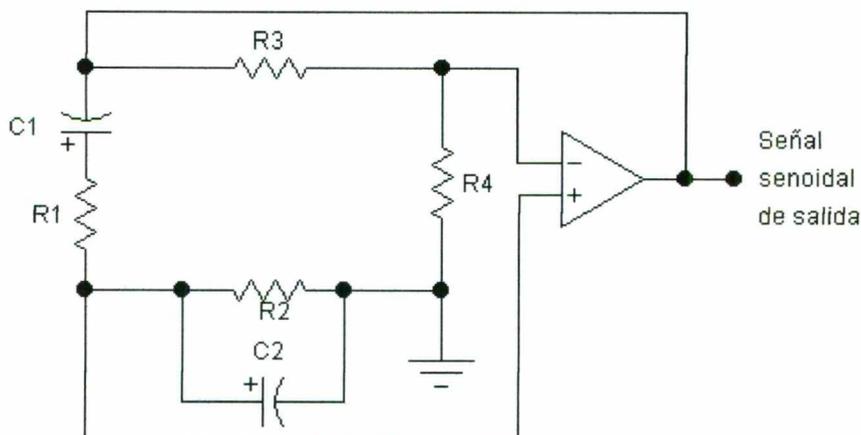


Figura 1. Oscilador de puente de Wien.

Al despreciar los efectos e carga de las impedancias de entrada y salida del op -amp el análisis del circuito puente :

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}$$

Y

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1C_1R_2C_2}}$$

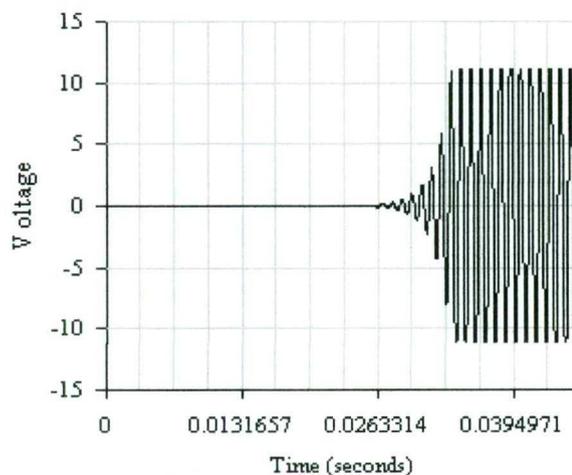
Si  $R_1 = R_2 = R$  y  $C_1 = C_2 = C$

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

Y

$$\frac{R_3}{R_4} = 2$$

De esta forma una relación de  $R_3$  a  $R_4 > 2$  proporcionara una ganancia de lazo suficiente para que el circuito oscile a la frecuencia calculada  $f_o$ .



**Figura 2.** Grafica de la señal senoidal de salida.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P10b.

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>CH-A</b>	5 V/DIV	<b>CH-B</b>	5 V/DIV	<b>Time Base</b>	0.50 mS/div
	Y position 0.00		Y position 0.00		X position
0.00					
	AC		AC		Y/T

Observe la forma de onda en el osciloscopio y registre mediciones.

F =                  Hz  
Vpp =                Volts

### Ecuaciones:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

$A_v > 2$ , requisito para que el circuito oscile.

$$A_v = \frac{R_f}{R_1}, \text{ ecuación teórica}$$

$V_{o\ pp\ max} \approx 2V_{cc}$

$$f = \frac{1}{T}, \text{ donde } T = \text{periodo de la onda}$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### Cuestionario

1. ¿Cuál es la frecuencia del oscilador, usando la ecuación?
2. ¿Cuál es la frecuencia del oscilador, leído indirectamente en el osciloscopio?
3. ¿La respuesta de la pregunta 2 es del orden esperado y por qué?
4. ¿Cuál es el valor de la amplitud en Vpp de la señal de salida?
5. ¿La amplitud es del orden esperado y por qué?
6. ¿La forma de onda es 100% senoidal?
7. ¿De cuanto debe ser la Av del amplificador para que el circuito oscile?
8. ¿Qué ganancia teórica de voltaje Av tiene este op-amp?
9. ¿Cumple con el requisito de Av para que el circuito oscile?

### Conclusiones

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

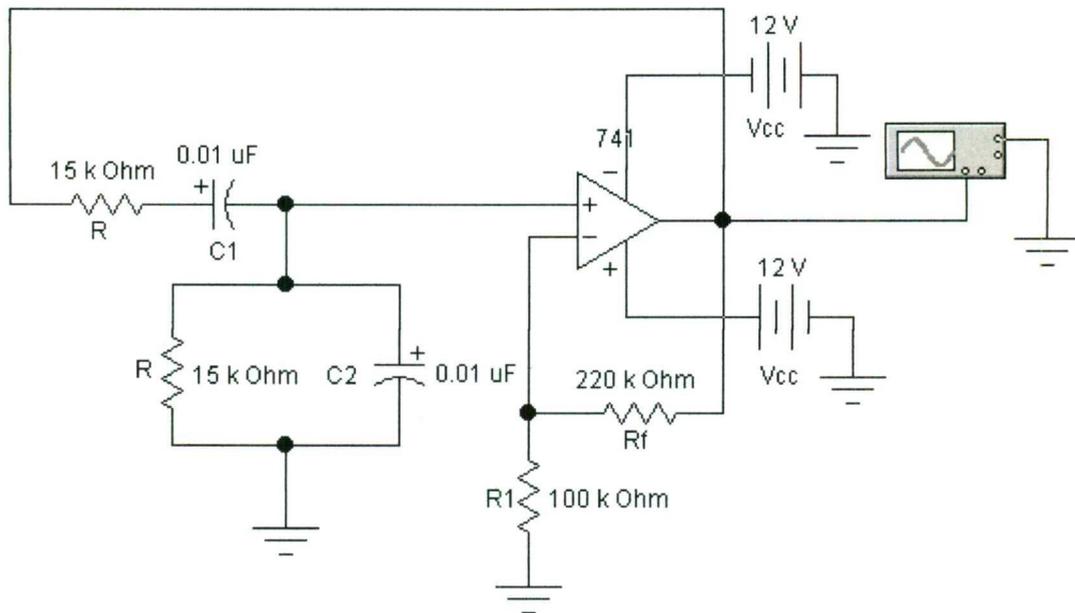


Figura EA-P10b.

Referencia:  
Boylestad, Nashelsky, "ELECTRÓNICA, TEORÍA DE CIRCUITOS", Prentice Hall Hispanoamericana.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.

**Nombre de la Asignatura**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA**

**Nombre de la Práctica**

**OSCILADOR SENOIDAL COLPITTS**

**Número de Práctica**

11a

**Duración**

1 hora

## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de oscilador senoidal Colpitts.

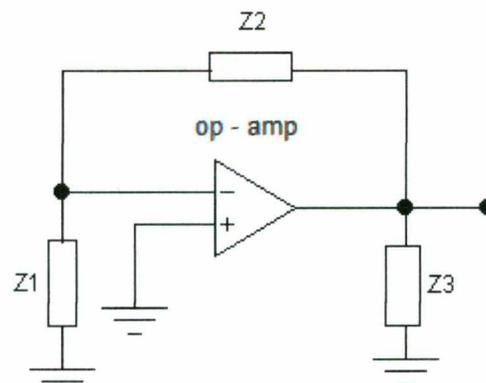
## MARCO TEÓRICO

Aunque es excelente a frecuencias bajas el oscilador de puente de Wien no es adecuado cuando funciona a frecuencias altas (por encima de 1 MHz). El principal problema es el desplazamiento de fase a través del amplificador. Este desplazamiento se suma al ocasionado por el circuito de retardo-adelanto y hace que la resonancia se produzca muy lejos de la frecuencia de resonancia teórica.

Una alternativa es un oscilador LC, un circuito que se puede utilizar para frecuencias entre 1 y 500 MHz.

Muchos osciladores LC responden a un diagrama como el de la figura 1 formado por dos impedancias en paralelo con la entrada y salida de un dispositivo amplificador y una tercera impedancia en la cadena de retroalimentación.

Debido a que hay tres reactancias siempre hay dos capacitivas y una inductiva o viceversa. Por lo que los osciladores con dos capacitores y un inductor se denominan osciladores de Colpitts y los que tienen dos inductores y un capacitor osciladores de Hartley.



**Figura 1.** Diagrama de un oscilador LC

## Funcionamiento

El oscilador Colpitts, es un oscilador de alta frecuencia del que se obtiene a su salida una señal de frecuencia determinada sin que exista una entrada, en el circuito de la figura 2, la impedancia en el circuito de retroalimentación es una red LC, donde X1 y X2 son capacitancias y X3 es una inductancia, la frecuencia de oscilación es la frecuencia de resonancia de la red que es la frecuencia a la cual el cambio de fase a través de la red es de  $180^\circ$ , para esta frecuencia la impedancia es un numero real.

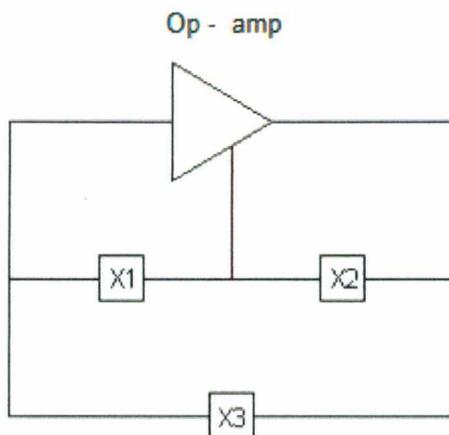


Figura 1. Oscilador LC.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P11a.

Valores iniciales del Osciloscopio:

**CH-A** 5 V/DIV  
Y position 0.00  
0.00  
AC

**CH-B** 5 V/DIV  
Y position 0.00  
AC

**Time Base** 0.05 mS/div  
X position  
Y/T

Observe la forma de onda en el osciloscopio y registre mediciones.

F =            Hz  
Vpp =        Volts

## Ecuaciones:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{eq}}}$$

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$A_v > 2$ , requisito para que el circuito oscile.

$$A_v = \frac{R_f}{R_1}, \text{ ecuación teórica.}$$

$V_o \text{ pp max} \approx 2V_{cc}$ .

$$f = \frac{1}{T}, \text{ donde } T = \text{periodo de la onda.}$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### Questionario

1. ¿Cuál es la frecuencia del oscilador, usando la ecuación?
2. ¿Cuál es la frecuencia del oscilador, leído indirectamente en el osciloscopio?
3. ¿La respuesta de la pregunta 2 es del orden esperado y por qué?
4. ¿Cuál es el valor de la amplitud en  $V_{pp}$  de la señal de salida?
5. ¿La amplitud es del orden esperado y por qué?
6. ¿La forma de onda es 100% senoidal?
7. ¿De cuanto debe ser la  $A_v$  del amplificador para que el circuito oscile?
8. ¿Qué ganancia teórica de voltaje  $A_v$  tiene este op-amp?
9. ¿Cumple con el requisito de  $A_v$  para que el circuito oscile?

### Conclusiones

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

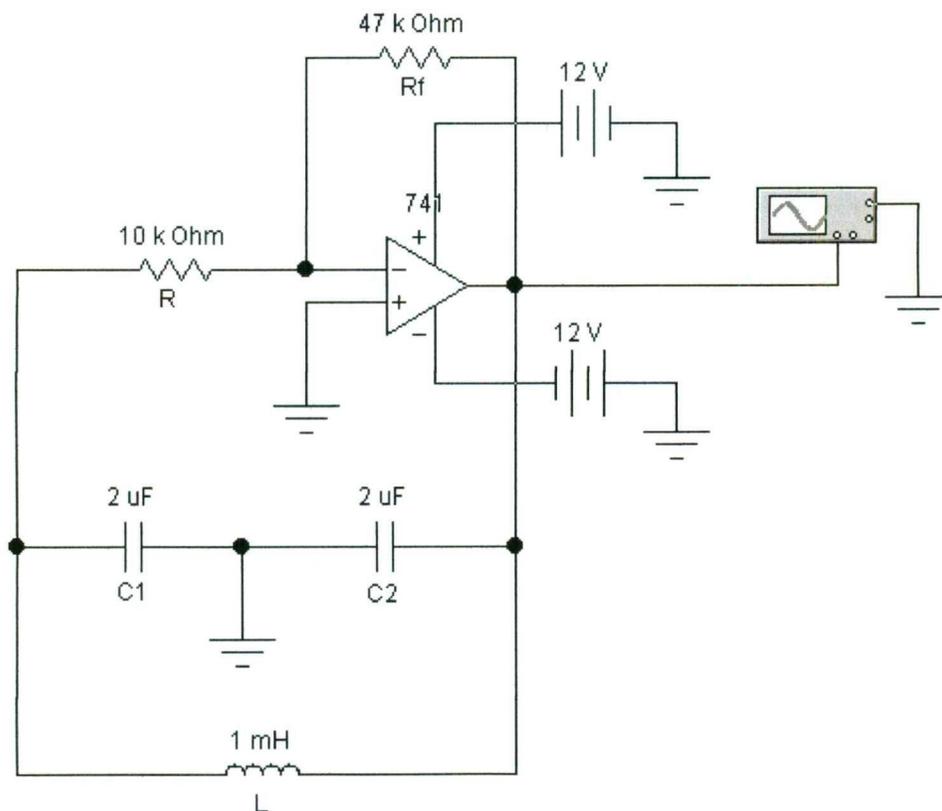


Figura EA-P11a.

Referencia:  
Boylestad, Nashelsky, "ELECTRÓNICA, TEORÍA DE CIRCUITOS", Prentice Hall Hispanoamericana.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.

**Nombre de la Asignatura**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA**

**Nombre de la Práctica**

**OSCILADOR SENOIDAL HARTLEY**

**Número de Práctica**

11b

**Duración**

1 hora

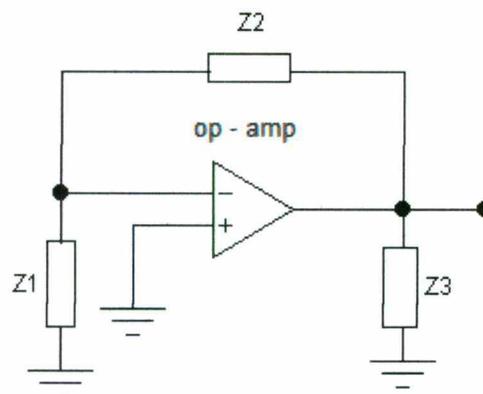
## OBJETIVO

El alumno implementará, observará y analizará el funcionamiento de un op - amp en la configuración de oscilador senoidal Hartley.

## MARCO TEÓRICO

Un oscilador LC, es un circuito que se puede utilizar para frecuencias entre 1 y 500 MHz. Muchos osciladores LC responden a un diagrama como el de la figura 1 formado por dos impedancias en paralelo con la entrada y salida de un dispositivo amplificador y una tercera impedancia en la cadena de retroalimentación.

Debido a que hay tres reactancias siempre hay dos capacitivas y una inductiva o viceversa. Por lo que los osciladores con dos capacitores y un inductor se denominan osciladores de Colpitts y los que tienen dos inductores y un capacitor osciladores de Hartley.

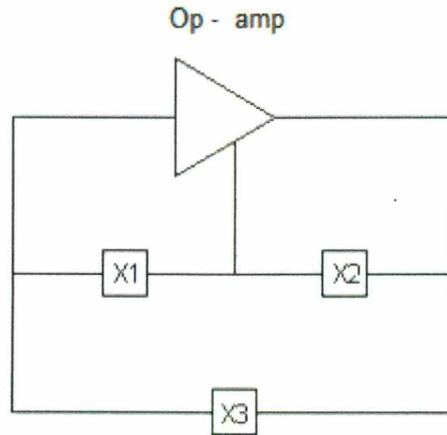


**Figura 1.** Diagrama de un oscilador LC.

## Funcionamiento

El oscilador Hartley, es un oscilador de alta frecuencia del que se obtiene a su salida una señal de frecuencia determinada sin que exista una entrada, en el circuito de la figura 2, la impedancia en el circuito de retroalimentación es una red resonante LC, en donde X1 y X2

son Inductancias, y X3 es una capacitancia, La frecuencia de oscilación es la frecuencia de resonancia de la red, que es la frecuencia, a la cual el cambio de fase a través de la red es de 180°, para esta frecuencia la impedancia es un numero real.



**Figura 2.** Oscilador LC.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P11b.

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>CH-A</b>	5 V/DIV	<b>CH-B</b>	5 V/DIV	<b>Time Base</b>	0.10 mS/div
	Y position 0.00		Y position 0.00		X position
0.00					
	AC		AC		Y/T

Observe la forma de onda en el osciloscopio y registre mediciones.

F =            Hz  
Vpp =         Volts

### Ecuaciones:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{eq}}}$$

$LC_{eq} = (L_1 + L_2 + 2M)$ , M = Inductancia mutua.

$A_v > 2$ , requisito para que el circuito oscile.

$$A_v = \frac{R_f}{R_1}, \text{ ecuación teórica}$$

$$V_{o \text{ pp max}} \approx 2V_{cc}$$

$$f = \frac{1}{T}, \text{ donde } T = \text{periodo de la onda}$$

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### **Cuestionario**

1. ¿Cuál es la frecuencia del oscilador, usando la ecuación?
2. ¿Cuál es la frecuencia del oscilador, leído indirectamente en el osciloscopio?
3. ¿La respuesta de la pregunta 2 es del orden esperado y por qué?
4. ¿Cuál es el valor de la amplitud en  $V_{pp}$  de la señal de salida?
5. ¿La amplitud es del orden esperado y por qué?
6. ¿La forma de onda es 100% senoidal?
7. ¿De cuanto debe ser la  $A_v$  del amplificador para que el circuito oscile?
8. ¿Qué ganancia teórica de voltaje  $A_v$  tiene este op-amp?
9. ¿Cumple con el requisito de  $A_v$  para que el circuito oscile?

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

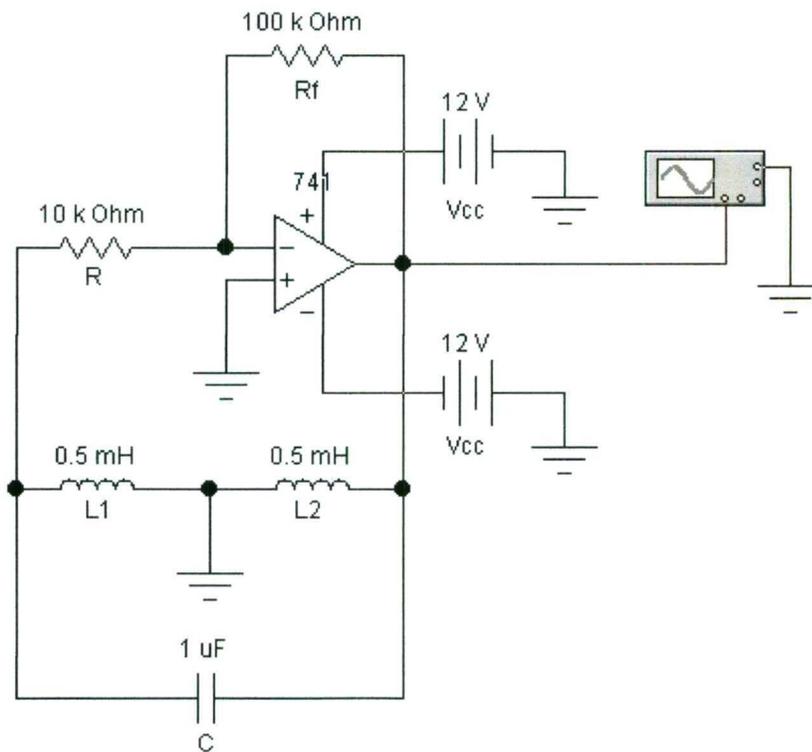


Figura EA-P11b.

Referencia:

Boylestad, Nashelsky, "ELECTRÓNICA, TEORÍA DE CIRCUITOS", Prentice Hall Hispanoamericana.

Profs. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.

**Nombre de la Asignatura**

**LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA**

**Nombre de la Práctica**

**DAC CIRCUITO INTEGRADO**

**Número de Práctica**

12a

**Duración**

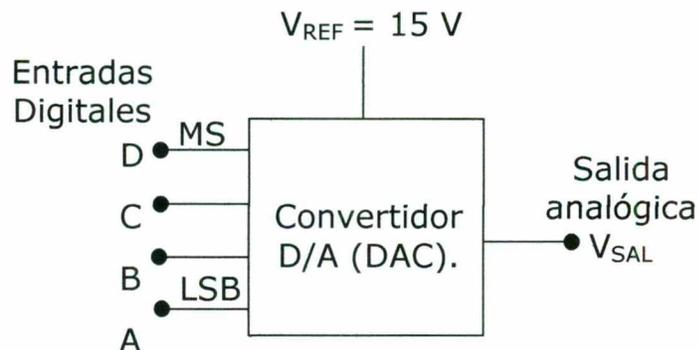
1 hora

## OBJETIVO

El alumno implementara, analizara y observara el funcionamiento de un DAC como circuito integrado.

## MARCO TEÓRICO

Un DAC convierte una señal digital (como binario directo o en BCD) a un voltaje o corriente analógica proporcional. Por ejemplo, la computador podría producir una salida digital que varíe de 00000000 a 11111111 y el DAC lo convierte a en un voltaje de entre 0 y 10 Volts. En la siguiente figura se muestra el símbolo para un convertidor D/A común de cuatro bits.



**Figura 1.** Convertidor analógico-digital de cuatro bits con salida de voltaje.

El AD7524, es un circuito integrado (CI) CMOS que tienen en existencia varios fabricantes de circuitos integrados, es un convertidor D/A (Digital a analógico) de ocho bits en el que se usa una red de escalera R/2R. Su símbolo de bloque está establecido en la figura (a). Este DAC (Digital analogic converter) tiene una entrada de ocho bits que se puede (cerrar) de manera interna bajo el control de las entradas de selección del chip ( $\overline{CS}$ ) y WRITE ( $\overline{WR}$ ). Cuando estas dos entradas de control están en BAJO, las entradas digitales de datos  $D_7$ - $D_0$  producen la corriente analógica de salida OUT 1 (la Terminal OUT 2, por lo regular esta a tierra). Cuando cualquier entrada de control pasa a ALTO, los datos digitales de entrada se

enclavan y la salida analógica permanece en el nivel correspondiente a esos datos digitales fijos. En este estado, los cambios subsecuentes en las entradas no tendrán efecto en OUT 1.

El tiempo máximo de establecimiento para el AD7524, por lo general, es de 100 ns y su precisión de límite de rango esta clasificada en  $\pm 0.2\%$  F.S. El valor de  $V_{REF}$  puede variar sobre voltajes negativos y positivos de 0 a 25 volts, de modo que se pueden producir corrientes de salida en ambas polaridades. La corriente de salida se puede convertir a un voltaje usando un amplificador operacional conectado, como se muestra en la figura (b). Note que la resistencia de retroalimentación del amplificado operacional ya es parte del chip DAC.

Los DAC se usan cuando la salida de un circuito digital debe proporcionar un voltaje o corriente analógica para excitar un dispositivo analógico. Algunas de las aplicaciones más comunes son las siguientes: Control, Pruebas automáticas, Reconstrucción de la señal, Conversión A/D (Analógico a digital) y DAC's seriales.

### **Control.**

La salida digital de una computadora se puede convertir a una señal analógica de control para ajustar la velocidad de un motor o la temperatura de un horno, o para controlar casi cualquier variable física.

### **Pruebas automáticas.**

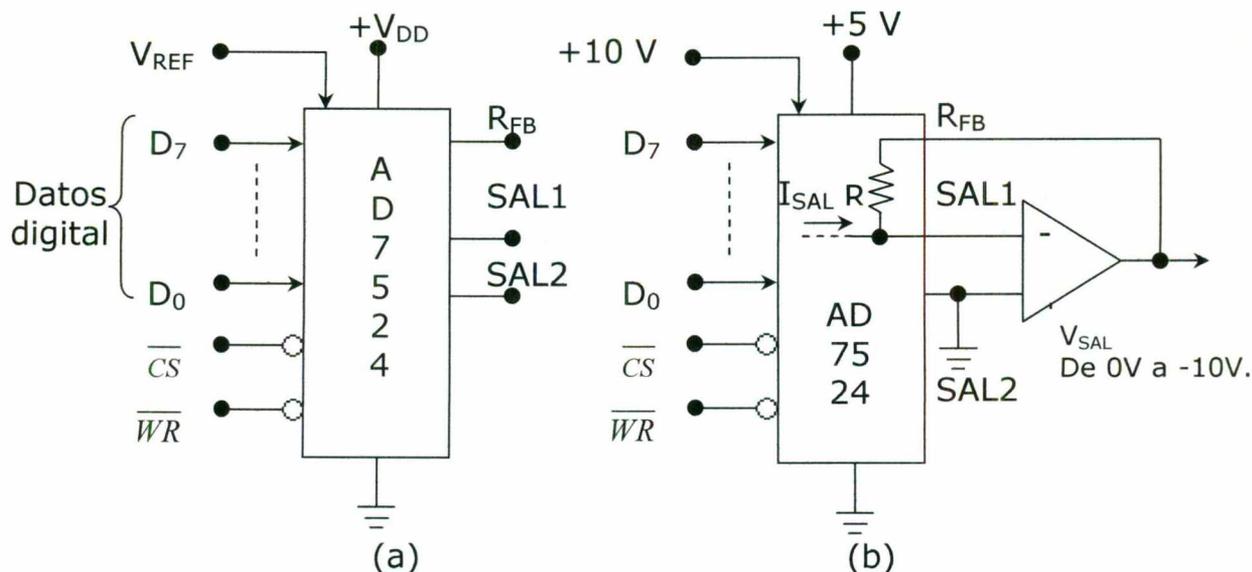
Las computadoras se pueden programar con el fin de generar las señales analógicas (mediante un DAC) necesarias para probar circuitería analógica.

### **Reconstrucción de la señal.**

En muchas aplicaciones se digitaliza una señal analógica; es decir, en varios puntos en la señal se convierten a sus equivalentes digitales y se almacenan en memoria. Esta conversión se lleva a cabo mediante un convertidor analógico-digital (ADC). Luego se puede usar un DAC para convertir los datos digitalizados almacenados de regreso a analógicos –un punto a la vez- y así se reconstruye la señal original. Esta combinación de digitalización y reconstrucción se usa en osciloscopios de almacenamiento digital, sistemas de audio de discos compactos y grabación digital de audio y video.

### **DAC'S seriales.**

Muchas de las aplicaciones de un DAC implican un microprocesador. El problema principal con el uso de DAC de datos en paralelo que se ha descrito es que estos ocupan demasiados bits de puertos de la microcomputadora. En casos en los que la velocidad de transferencia de datos es de poca importancia, un microprocesador puede dar salida a un valor digital para un DAC sobre una interfaz serial. Los DAC'S seriales actualmente se encuentran disponibles con un registro de desplazamiento de entrada serial-salida en paralelo incorporado. Muchos de estos dispositivos tienen más de un DAC en el mismo chip. Los datos digitales, junto con un código que especifica que DAC se desea, se envían al chip, un bit a la vez. A medida que cada bit representa una entrada del DAC se aplica un pulso a la entrada serial de reloj para desplazar el bit hacia dentro. Después del número adecuado de pulsos de reloj, el valor de los datos se enclava y se convierte a su voltaje analógico.



**Figura 2.** (a) DAC AD7524 de ocho bits con entradas enclavadas; (b) AD7524 conectado para producir un voltaje de salida analógica variando de 0 V a aproximadamente -10 V.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura EA-P12a.

Ajuste el Word Generator (Generador de palabra binaria) según los siguientes valores:

Address	Pattern	Trigger	Frequency
Edit 0000	Up Counter	Internal	100 Hz
Current 0000			
Initial 0000			
Final 00FF			

Valores iniciales del Osciloscopio:

Time Base	CH-A	CH-B
0.50	5 V/DIV	-- V/DIV
S/div		
X position 0.00	Y position 0.00	Y position -3.00
Y/T	DC	DC

Corra el programa.

Observe la forma de onda en el osciloscopio y registre las mediciones

Señal en el CH-A, V max = Volts, F = Hz,

questionario)

V del primer escalón =

(conteste la pregunta 2 del

Complete la tabla de verdad (preguntas 4 y 5 del cuestionario)

### **Ecuaciones:**

$V_o = (K)$  (entrada digital); donde K es un factor de proporcionalidad y es igual al voltaje del primer escalón.

## **EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA**

### **Cuestionario**

1. ¿Cuál es la salida analógica del circuito?
2. ¿Cuál es la resolución de este convertidor?
3. ¿Por qué tenemos que agregar un op - amp. a la salida de éste DAC?
4. ¿Cuál es el voltaje de cada escalón utilizando la ecuación de  $V_o$ ? (los resultados regístrelos en la tabla de verdad)
5. ¿Cuál es el voltaje de cada escalón leído en el osciloscopio? (las lecturas regístrelas en la tabla de verdad)
6. ¿Los resultados medidos con el osciloscopio son del orden esperado y por qué?
7. ¿Cómo podemos aumentar la resolución de un DAC?

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)



Decimal	B7 (MSB)	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0 (LSB)	Vo (Volts) (Ecuación)	Vo (Volts) (Osciloscopio)
0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	0	0	0	0	0	0	0	1		
2	0	0	0	0	0	0	1	0		
3	0	0	0	0	0	0	1	1		
4	0	0	0	0	0	1	0	0		
5	0	0	0	0	0	1	0	1		
6	0	0	0	0	0	1	1	0		
7	0	0	0	0	0	1	1	1		
--	--	--	--	--	--	--	--	--		
15	0	0	0	0	1	1	1	1		
--	--	--	--	--	--	--	--	--		
31	0	0	0	1	1	1	1	1		
--	--	--	--	--	--	--	--	--		
63	0	0	1	1	1	1	1	1		
--	--	--	--	--	--	--	--	--		
127	0	1	1	1	1	1	1	1		
--	--	--	--	--	--	--	--	--		
--	--	--	--	--	--	--	--	--		
255	1	1	1	1	1	1	1	1		

TABLA DE VERDAD  
DAC, Fig. EA-P12a.

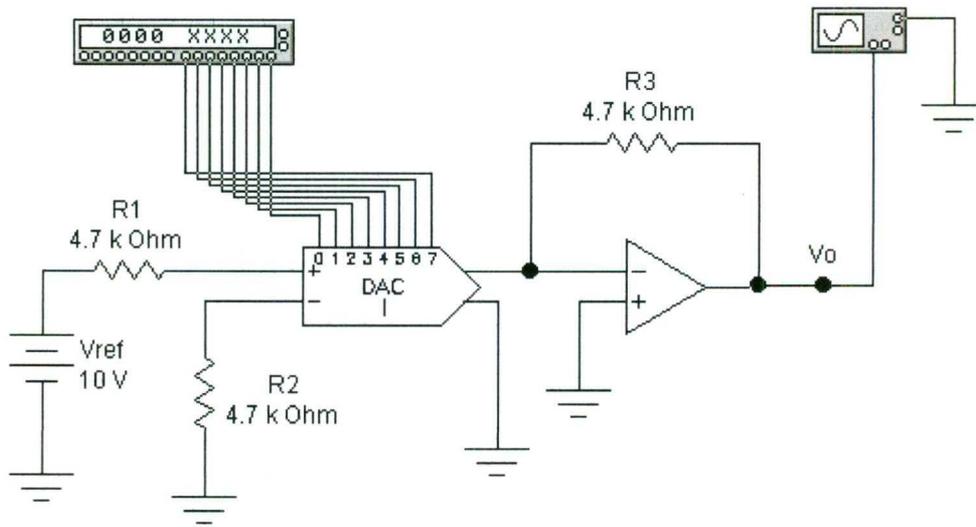


Fig. EA-P12a.

Referencia:

Ronald J. Tocci, "SISTEMAS DIGITALES, PRINCIPIOS Y APLICACIONES", Prentice Hall Hispanoamericana.

Prof. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA AVANZADA

Nombre de la Práctica

ADC SAC.

Número de Práctica

12b

Duración

1 hora

## OBJETIVO

El alumno implementara, analizara y observara el funcionamiento de un ADC SAC.

## MARCO TEORICO

Un convertidor analógico-digital (ADC) toma un voltaje analógico de entrada y después de cierto tiempo produce un código digital de salida que representa la entrada analógica. El convertidor de aproximaciones sucesivas es uno de los tipos de convertidor más utilizados. Tiene una circuitería más compleja que el ADC de rampa digital, pero un tiempo de conversión más pequeño. Además, los convertidores de aproximaciones sucesivas (CAS, por sus siglas en español; ó SAC, por sus siglas en inglés) tienen un valor fijo de tiempo de conversión que no depende del valor de la señal de entrada analógica. La configuración básica, que se muestra en la figura (a), es similar a la de un ADC de rampa digital. Sin embargo, en el CAS no se usa un contador para proporcionar la entrada al bloque del DAC, sino que emplea un registro. La lógica de control modifica el contenido del registro bit por bit, hasta que los datos del registro son el equivalente digital de la entrada analógica  $V_A$  dentro de la resolución del convertidor. La secuencia básica de operaciones se puede ver en el diagrama de flujo de la figura (b).

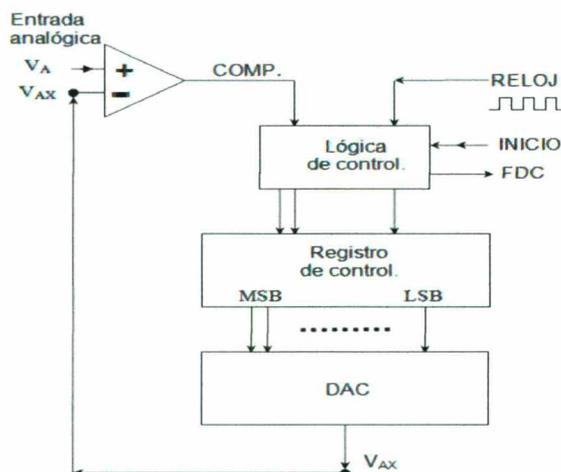
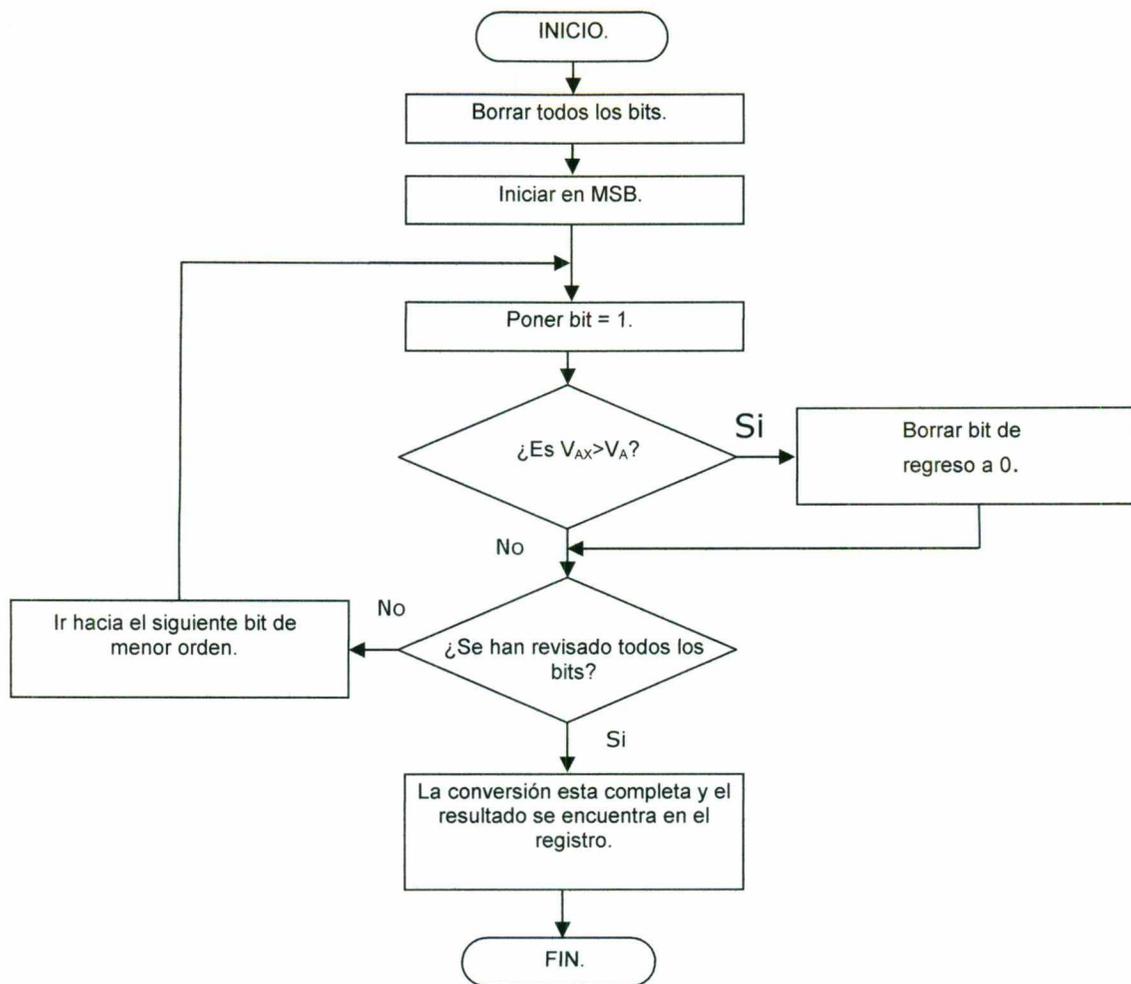


Figura 1. ADC de aproximaciones sucesivas, diagrama de bloques simplificado.



**Figura 2.** ADC de aproximaciones sucesivas, diagrama de flujo de la operación.

### El ADC de aproximaciones sucesivas ADC0804.

Los ADC'S los comercializan varios fabricantes de CI y cuentan con un amplio rango de características y rasgos de operario. Para tener una idea de lo que en realidad se usa en aplicaciones de sistemas analizaremos este dispositivo.

Algunas características mas importantes son:

- Tiene dos entradas analógicas,  $V_{ENT (+)}$  y  $V_{ENT (-)}$  que permiten tener entradas diferenciales. En otras palabras, la entrada analógica real  $V_{ENT}$ , es la diferencia en los voltajes aplicados a estos pines ( $V_{ENT \text{ analógico}} = V_{ENT [+]} - V_{ENT [-]}$ ).
- Convierte el voltaje analógico de entrada a una salida digital de ocho bits. Las salidas digitales tienen búferes de triestado, de modo que se pueden conectar con facilidad en una configuración de bus de datos. Con ocho bits, la resolución es  $5 \text{ V} / 255 = 19.6 \text{ mV}$ .
- Tiene un circuito interno generador de reloj que produce una frecuencia de  $f=1/(1.1RC)$ , donde R y C son valores de componentes conectados externamente. Una frecuencia de reloj común es 606 kHz usando  $R = 10 \text{ k}\Omega$  y  $C = 150 \text{ pF}$ . Si se desea se puede usar una señal de reloj externa conectándola al pin CLK IN.
- Si se usa una frecuencia de reloj de 606 kHz el tiempo de conversión es de aproximadamente  $100\mu\text{s}$ .
- Tiene conexiones a tierra separadas para voltajes digitales y analógicos. El pin 8 es la tierra analógica que esta conectado al punto de referencia común del circuito analógico el cual esta generando el voltaje analógico.

Este CI está diseñado para que se pueda interconectar fácilmente a un bus de datos de un microprocesador. Por esta razón, los nombres de algunas entradas y salidas del ADC0804 se basan en funciones que son comunes a sistemas con base en microprocesadores.

Los convertidores de aproximaciones sucesivas tienen tiempos de conversión relativamente rápidos, su uso en aplicaciones de adquisición de datos permitirá que se adquieran más valores de datos en un intervalo de tiempo dado. Esto puede ser muy importante cuando los datos analógicos cambian a una frecuencia relativamente rápida.

## EQUIPO Y MATERIALES

Software Electronics Workbench  
Computadora Personal, Pentium IV

## METODOLOGÍA

Implemente el circuito de la figura SD1-P10b.

Valores iniciales del Generador de Función:

Onda Triangular  
Frecuencia 500  
Hz  
Duty Cycle 50  
Amplitud 5 V  
Offset 5

Valores iniciales del Osciloscopio:

<b>Time Base</b>	<b>CH-A</b>	<b>CH-B</b>
0.20 mS/div	5 V/DIV	5 V/DIV
X position 0.00	Y position 0.00	Y position -3.00
Y/T	DC	DC

Corra el programa y observe la forma de onda en el osciloscopio.

Señal en el CH-B, V del primer escalón = (conteste la pregunta 2 del cuestionario)

Ahora cambie la Frecuencia del Generador de Función a 15 Hz para poder apreciar mejor los cambios en la salida digital.

Corra el programa y observe la salida digital, el número binario mayor corresponderá al máximo voltaje alcanzado por la señal analógica (conteste la pregunta 5 del cuestionario)

## EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

### **Cuestionario**

1. ¿Qué significan las siglas SAC y cual es la función que desempeña este circuito?
2. ¿Cuál es la resolución de este convertidor aproximadamente?
3. ¿Cuál es la frecuencia del reloj?
4. ¿Cuál es el voltaje analógico máximo que puede digitalizar de forma directa?
5. ¿Cuál es el número digital en Hexadecimal de la conversión de 10V de la señal analógica?
6. ¿Cuántos pulsos se necesitaron para lograr la conversión digital de 10V de la señal analógica?
7. ¿Cuánto tiempo se tardó el SAC en la conversión de 10V de la señal analógica?
8. ¿Qué significa EOC y que función desempeña?
9. ¿Qué significa OE y que función desempeña?
10. ¿Qué significa SOC?
11. ¿Qué significa  $+V_{REF}$  ?
12. ¿Qué significa  $-V_{REF}$ ?
13. ¿Qué significa  $V_{IN}$ ?
14. ¿Qué significa  $D_0 - D_7$ ?

### **Conclusiones**

(Interpretación de resultados, ¿se alcanzó el objetivo?, aplicaciones, etc.)

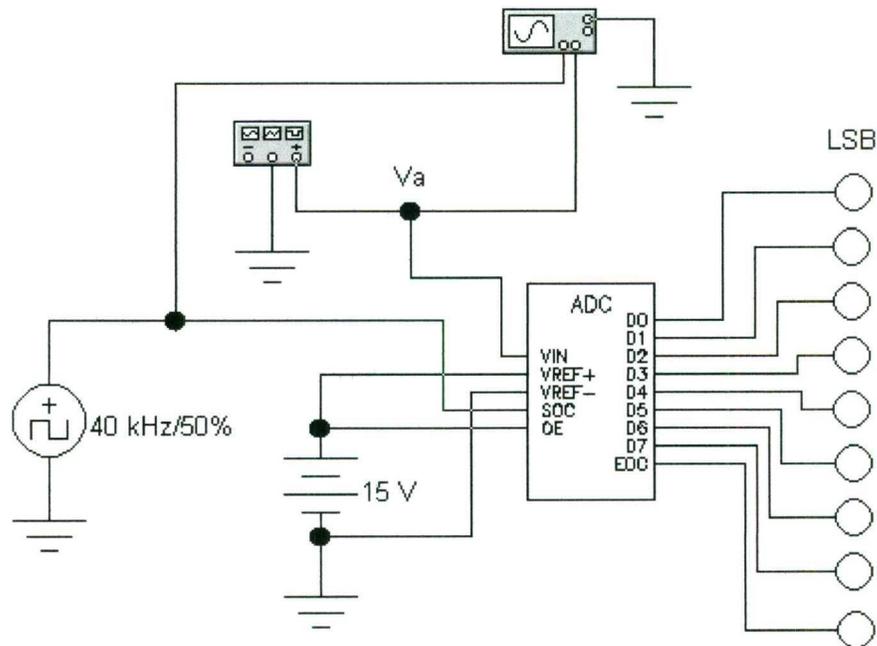


Figura EA-P12b

Referencia:

Ronald J. Tocci, "SISTEMAS DIGITALES, PRINCIPIOS Y APLICACIONES", Prentice Hall Hispanoamericana.

Prof. Ing. Sergio Zavaleta Guerrero, M. en I. Sergio Eduardo Cervantes Pérez.

## Bibliografía

1. Coughlin – Driscoll, *“AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES”*, Prentice Hall – Pearson.
2. Boylestad, Nashelsky, *“ELECTRÓNICA TEORÍA DE CIRCUITOS”*, Prentice Hall Hispanoamericana.
3. Malvino, Albert Paul, *“PRINCIPIOS DE ELECTRÓNICA”*, Mc Graw-Hill.
4. Shilling – Belove, *“CIRCUITOS ELECTRONICOS, DISCRETOS E INTEGRADOS”*, Marcombo.
5. Ronald J. Tocci, *“SISTEMAS DIGITALES, PRINCIPIOS Y APLICACIONES”*, Prentice Hall Hispanoamericana.