



**UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR**  
**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y CIRCUITOS**  
**EC-2014 LABORATORIO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS**  
**GRUPO 3**

**INFORME - PRÁCTICA #3**  
**APLICACIONES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL**

**Integrantes:**

Giancarlo Torlone 2010626

Hiroshi Yano 2010668

## **RESUMEN**

El objetivo de esta práctica es familiarizar al estudiante con distintas aplicaciones del amplificador operacional, específicamente el integrador, el sumador inversor, el comparador y el oscilador. Para lograrlo se emplearon técnicas de medición conocidas haciendo uso del osciloscopio digital para medir las magnitudes de las señales de entrada y de salida aplicadas a los circuitos, así como para comparar las diferencias entre estas señales. En general la práctica sirvió como una profundización de los conocimientos relacionados al amplificador operacional y una introducción a las aplicaciones más comunes de este tipo de dispositivos.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	II
ÍNDICE.....	III
MARCO TEÓRICO.....	1
METODOLOGÍA.....	3
RESULTADOS.....	5
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	7
CONCLUSIONES.....	8
BIBLIOGRAFÍA.....	9

## MARCO TEÓRICO

### El amplificador integrador

El amplificador integrador se encarga de entregar una señal de salida equivalente a la integral en el tiempo de la señal de entrada. Su construcción se basa en el amplificador inversor sin la resistencia de retroalimentación. La tensión de salida es proporcional a la integral de la señal de entrada, y así mismo es inversamente proporcional a la constante de tiempo, la cual toma el valor de uno.

$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_{in}(t) dt + v_o(0) \quad (1)$$

La corriente de entrada se compensa con una de corriente de retroalimentación negativa que fluye a través del condensador, la cual se genera por un voltaje alto de salida del amplificador; por consecuencia, la tensión de salida depende del valor de la corriente de entrada que tiene que compensar.

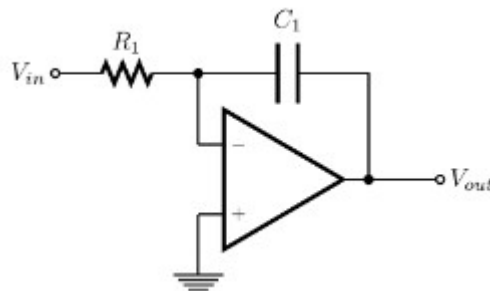


Figura 1: El amplificador integrador

### El comparador con amplificador operacional

El amplificador operacional puede utilizarse para comparar las magnitudes de dos señales aplicadas a sus entradas y determinar cuál de las dos señales es mayor. Basta con que una de estas señales aplicadas sea ligeramente mayor a la otra para que la salida del amplificador llegue a su tensión de saturación positiva o negativa dependiendo de qué entrada del OPAMP tenga la señal mayor. Este efecto se debe a que el amplificador se configura en lazo abierto, en este caso su ganancia es de 200.000 o más.

$$v_o = A_{OL}(v_1 - v_2) \quad (2)$$

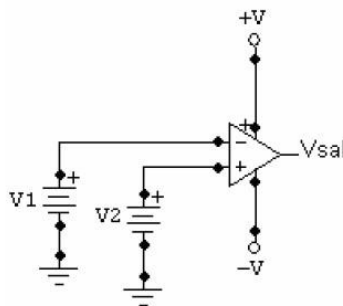


Figura 2: Comparador con OPAMP

## El sumador inversor

En esta configuración el OPAMP es empleado para sumar, amplificar e invertir las tensiones aplicadas en su entrada inversora. La ganancia del amplificador depende en gran medida de la resistencia de retroalimentación  $R_f$  utilizada.

$$v_o = -R_f \left( \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \dots + \frac{v_n}{R_n} \right) \quad (3)$$

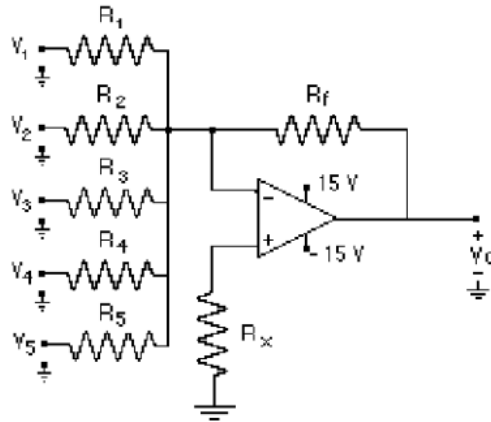


Figura 3: Sumador inversor

## El oscilador de onda cuadrada

También conocido como oscilador de relajación, esta configuración emplea el amplificador operacional para generar una onda cuadrada como salida cuando el OPAMP sólo está conectado a sus fuentes de alimentación. Este circuito tiene dos retroalimentaciones, el voltaje inversor ( $v_-$ ) se obtiene en el capacitor mientras que el voltaje no inversor ( $v_+$ ) se obtiene con el divisor de tensión entre  $R_1$  y  $R_2$ . Partiendo de un estado de saturación positiva, se puede decir que  $v_+$  está dado por el valor del divisor, el valor de  $v_-$  es dictado por la curva de carga del capacitor. Cuando  $v_-$  supere a  $v_+$  la salida se hará negativa al igual que  $v_+$ , produciendo la descarga del capacitor. Este proceso continuará hasta que  $v_+$  sea mayor que  $v_-$ , momento en que se reiniciará la carga del capacitor. Se crea así un ciclo que produce una onda cuadrada en la salida.

$$f = \frac{1}{2R_f C} \quad (4)$$

$$R_f = \frac{1}{2f C \ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 R_2} \quad (6)$$

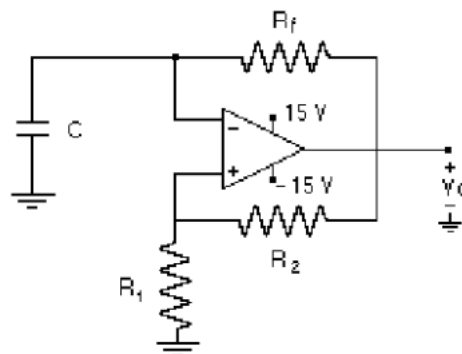


Figura 4: Oscilador de relajación

## METODOLOGÍA

### Mediciones sobre el amplificador integrador

Para realizar las mediciones relevantes sobre el amplificador integrador se montó el circuito de la figura 5 con las puntas del osciloscopio en las posiciones detalladas. Esto permitió observar simultáneamente las señales de entrada y de salida del circuito. Con el generador de funciones se aplicaron las formas de onda relevantes al circuito.

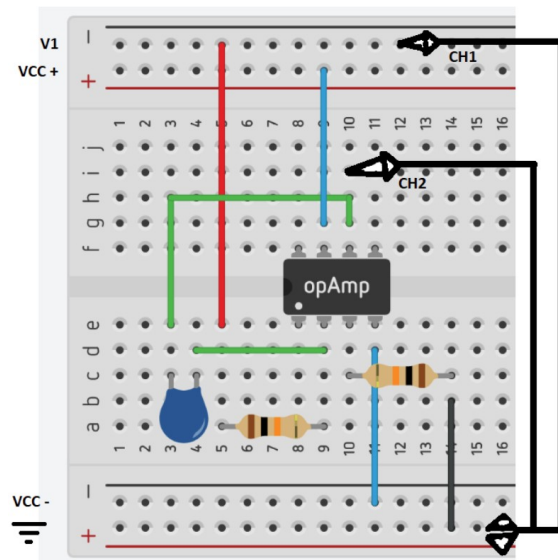


Figura 5: Cableado del amplificador integrador

$C=1,5 \text{ nF}$ ;  $R1=10 \text{ k}\Omega$ ;  $R2=10 \text{ k}\Omega$

### Mediciones sobre el sumador inversor

Para comprobar el funcionamiento correcto del sumador inversor se aplicó una señal DC de 1 V a las resistencias en paralelo conectadas a la entrada inversora del OPAMP. Se conectaron las puntas del osciloscopio en la entrada y en la salida del circuito. Luego se procedió a abrir los interruptores correspondientes a cada resistencia conectada a la entrada para comprobar que la señal de salida se reduce en la proporción correspondiente a cada resistencia.

$R1=10 \text{ k}\Omega$ ;  $R2=12 \text{ k}\Omega$ ;  $R3=15 \text{ k}\Omega$ ;  $R4=20 \text{ k}\Omega$ ;  $R5=30 \text{ k}\Omega$ ;  $Rf=30 \text{ k}\Omega$ ;  $Rx=3 \text{ k}\Omega$

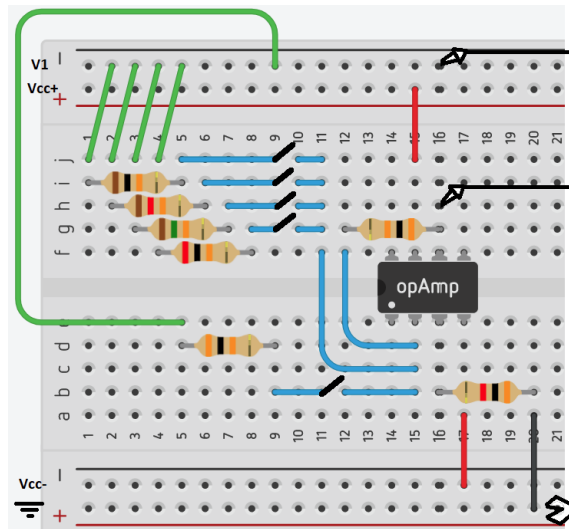


Figura 6: Cableado del sumador inversor

### Mediciones sobre la máquina de votación (sumador inversor y comparador)

Para comprobar el funcionamiento correcto de la máquina de votación (compuesta de un sumador inversor junto a un comparador), se montó el circuito de la figura 7. Las puntas del osciloscopio se conectaron para observar las salidas de ambos OPAMP y así determinar si ambos cumplen la función esperada, en particular si el comparador pasa de una de sus tensiones de saturación a la otra cuando hay más del 50% de votos a favor.

$R1=10\text{ k}\Omega$ ;  $R2=12\text{ k}\Omega$ ;  $R3=15\text{ k}\Omega$ ;  $R4=20\text{ k}\Omega$ ;  $R5=30\text{ k}\Omega$ ;  $R_f=30\text{ k}\Omega$ ;  $R_x=3\text{ k}\Omega$

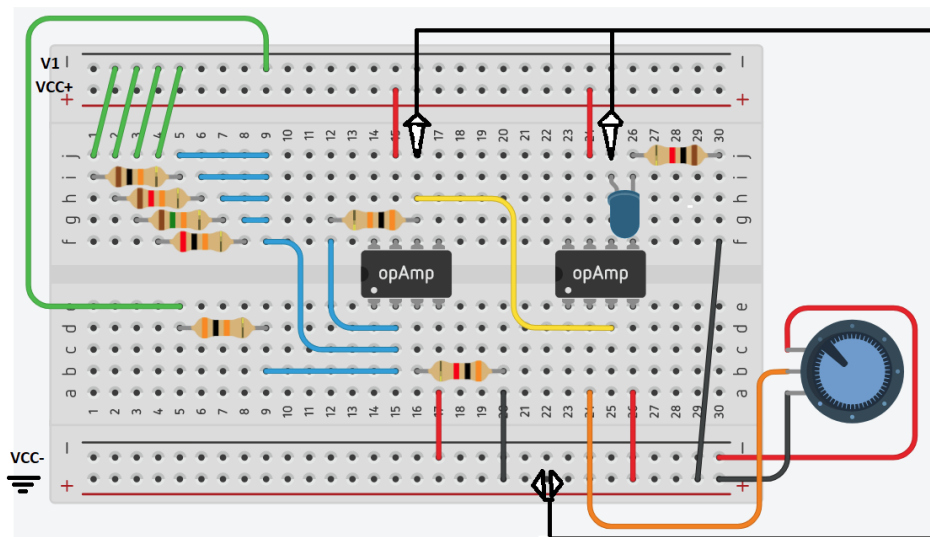


Figura 7: Cableado de la máquina de votación

# RESULTADOS

## Amplificador integrador

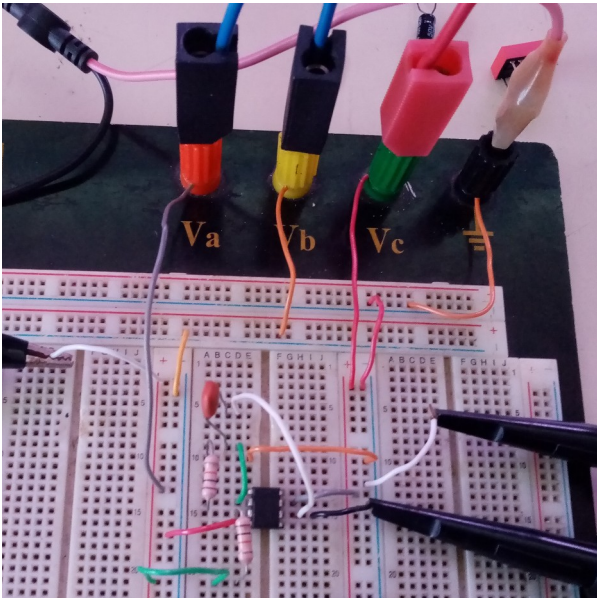


Figura 8: Circuito del amplificador integrador

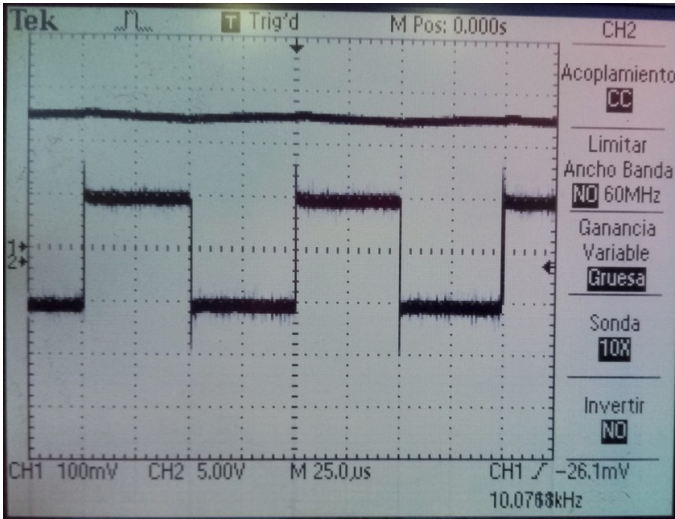


Figura 9: Integrador:  $V_{in}=100mV_p$ , cuadrada, 10kHz

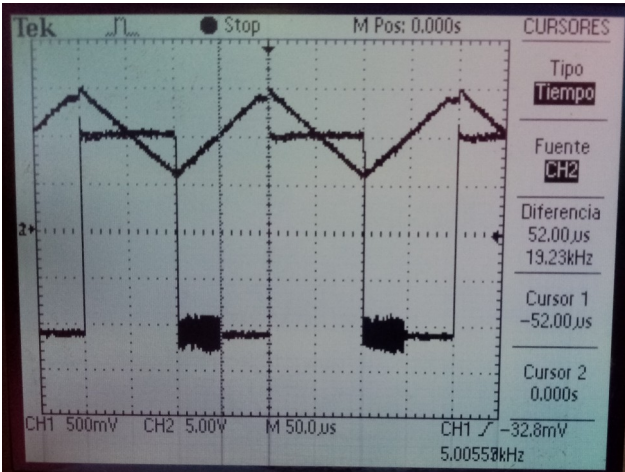


Figura 10: Integrador:  $V_{in}=1,02V$ ; cuadrada; 5kHz

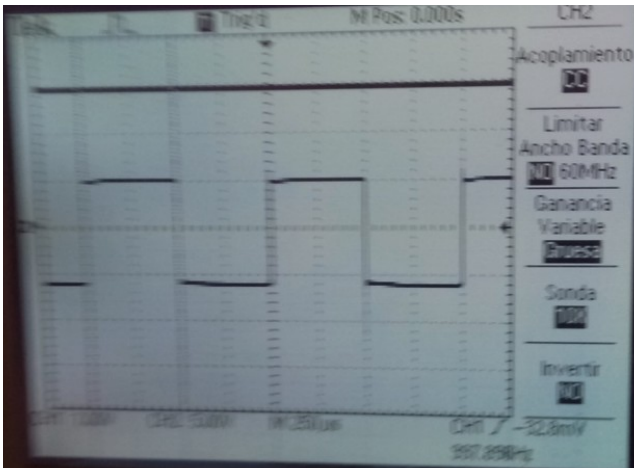


Figura 11: Integrador 1V; cuadrada; 1kHz

Forma de onda	Frecuencia	Componente DC	$V_{in}$	$V_o$	A	Desfasaje
⌌	10kHz	0V	13.8V	100uVp	70mVp	0.7
⌌	5kHz	0V	10.1V	1.02V	4.7Vp	4.6
⌌	1kHz	0V	10V	1.00V	14.6Vp	14.6

Figura 12: Resultados: señales de salida para diferentes señales de entrada, amplificador integrador



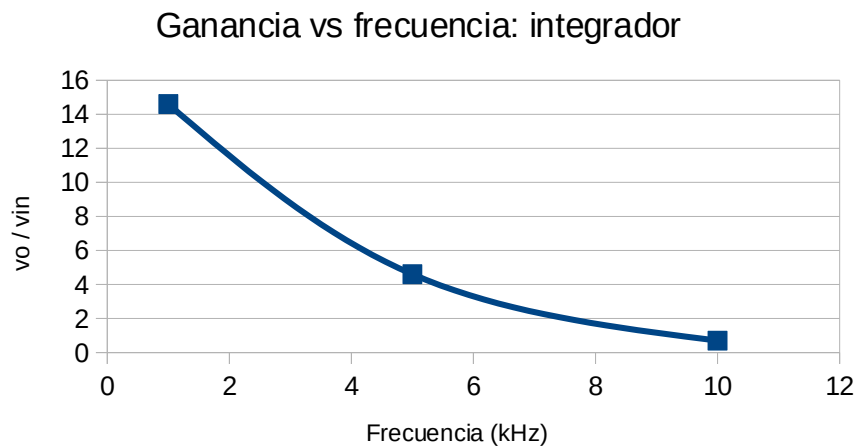


Figura 13: Ganancia vs frecuencia para el amplificador integrador

### Sumador inversor

<del>Frecuencia</del> Switch OFF	Componente DC	Vin	Vo
Ninguno		1V	+9,6V
1		1V	-6,4V
1, 2		1V	-4V
1, 2, 3		1V	-2V
1, 2, 3, 4		1V	-0,4V
1, 2, 3, 4, 5		1V	20mV

Figura 14: Resultados: salida del sumador inversor de acuerdo a los interruptores abiertos

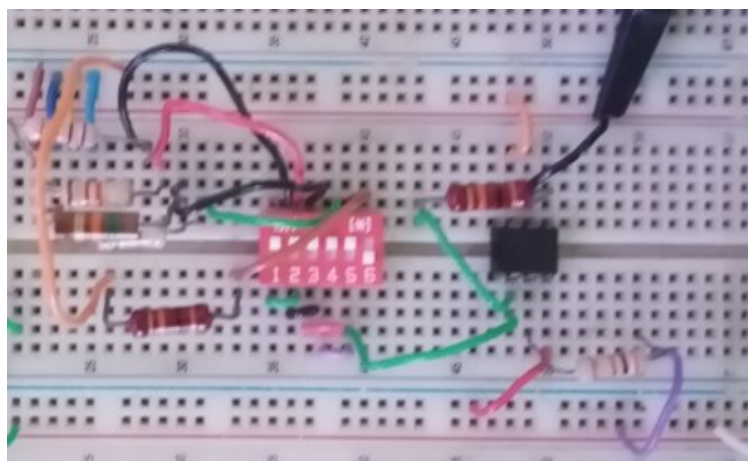


Figura 15: Circuito del sumador inversor

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### **Amplificador integrador**

Para las señales cuadradas aplicadas en la entrada inversora del amplificador integrador se observó una salida proporcional a la integral de la señal de entrada. En los semiciclos positivos se observó una salida de pendiente negativa constante y lo opuesto para los semiciclos negativos, lo cual coincide con el comportamiento esperado de este circuito.

Con el aumento de la frecuencia se observó una disminución en la ganancia, esto es de esperarse debido a las limitaciones en el slew rate del OPAMP. Esta limitación se pone en evidencia de manera marcada al aplicar como entrada una onda cuadrada cuyo nivel de tensión cambia abruptamente. En términos de desfase entre las señales de entrada y de salida, podría afirmarse que al aumentar la frecuencia disminuye el desfase.

### **Sumador inversor**

Para comprobar el funcionamiento correcto del sumador inversor se abrieron progresivamente los interruptores correspondientes a las cinco resistencias en paralelo conectadas a la entrada inversora del amplificador operacional. En cada paso se mantuvo la entrada DC con un valor de 1V constante. Primero se midió la salida con todas las resistencias conectadas y posteriormente se fueron abriendo los interruptores uno por uno. Los resultados comprobaron que el circuito cumplía su función de sumar los voltajes de entrada correctamente, de acuerdo a la proporción determinada por el valor de cada resistencia. Por ejemplo, al abrir los interruptores 1 y 2 (correspondientes al 30% y al 25% de la entrada respectivamente) se obtuvo una salida de -4V, alrededor de 58,3% menos que la salida total de -9,6V con todas las resistencias conectadas.

## CONCLUSIONES

La práctica sirvió como una extensión del conocimiento sobre la utilización de los amplificadores operacionales. Con los ejercicios realizados fue sencillo apreciar la importancia de estos dispositivos en el diseño de circuitos analógicos. Los procedimientos de medición empleados podrían considerarse como un refuerzo en la utilización correcta del osciloscopio digital, una herramienta de amplio uso en la actualidad.

Los circuitos estudiados en la práctica tienen una aplicabilidad considerable en la actualidad. Los amplificadores integradores pueden encontrarse en sistemas de control retroalimentados con variables de estado para la verificación para la verificación gracias al efecto acumulador del condensador. El sumador inversor puede encontrarse en dispositivos convertidores digitales, los cuales transforman señales digitales con datos binarios en señales analógicas de tensión o corriente. El amplificador comparador puede ser parte de temporizadores, interruptores e incluso sensores de temperatura, también se llega a usar en sistemas digitales. Los osciladores de relajación se emplean en circuitos de temporización, generadores de señales y sistemas de control.

### Comentarios finales

Durante la práctica se presentaron dificultades en el montaje del circuito de la máquina de votación, al conectar el comparador con el sumador inversor se produjo un cambio en la salida de este último. Esto se corrigió al conectar el terminal 4 del OPAMP comparador a la fuente de -15V en lugar de tierra (una posibilidad planteada en el material de apoyo). Sin embargo, en última instancia no fue posible hacer que el comparador cambiara su respuesta al aplicar el voltaje del 50% o más de votos positivos, es decir, la salida del circuito hacia el LED se mantuvo constante sin importar la combinación de interruptores abiertos o cerrados. Ante esta situación se decidió retomar las pruebas sobre el circuito del amplificador integrador, tomando una de las resistencias de 10 k $\Omega$  de la máquina de votación. Sin embargo, debido posiblemente a que ambos circuitos del integrador y la máquina de votación estaban conectados en una misma columna de nodos del protoboard, se produjo un cortocircuito que dejó inutilizables a los amplificadores de la máquina de votación. Para prevenir eventos como este es recomendable montar circuitos independientes en secciones distintas del protoboard, así como desconectar la alimentación de aquellos circuitos que no estén en uso en un momento dado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

A. Sedra, K. Smith. (2015). Microelectronic Circuits. New York: Oxford University Press.

Amplificador integrador. Recuperado el 10 de febrero de 2024 de:  
<https://amplificadores.info/amp-op/integrador>