

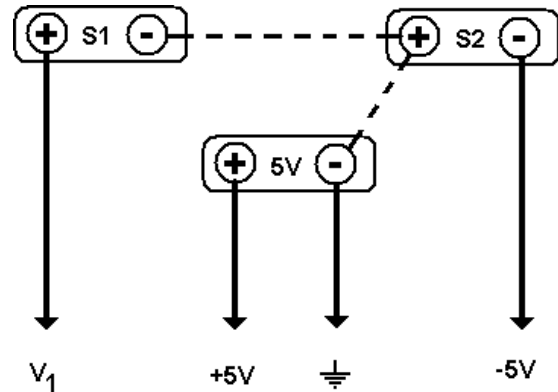
---

# SESION 6 : SUMADOR DE SEÑALES Y CONVERTOR DIGITAL ANALÓGICO

---

13 DE NOVIEMBRE DE 2019  
PABLO SOETARD Y DOMINGO MENÉNDEZ

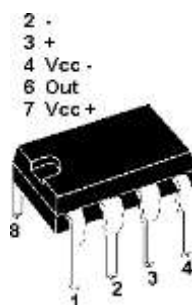
Los Amplificadores Operacionales necesitan ser alimentados para que funcionen como tales. Para ello usaremos las tres salidas independientes de la fuente DC PROMAX (S1, S2 y 5V), conectando el terminal negativo de S1 con el terminal positivo de S2 y éste con el terminal negativo de la salida con tensión fija de 5 V como muestra la figura. Al hacerlo los tres terminales se encuentran al mismo voltaje.



Use S1 para generar una señal de 2V y S2 para generar una señal de 5V. De este modo la salida + de S1 proporciona 2V, la salida – de S2 proporciona -5V, la salida + de la fuente fija proporciona +5V y la salida – de la fuente fija proporciona la tierra del circuito

Es importante comprobar que las fuentes S1 y S2 trabajan en modo independiente (la FUNCION **INDEP** en el panel frontal debe estar seleccionada) El esquema se puede ver en la figura.

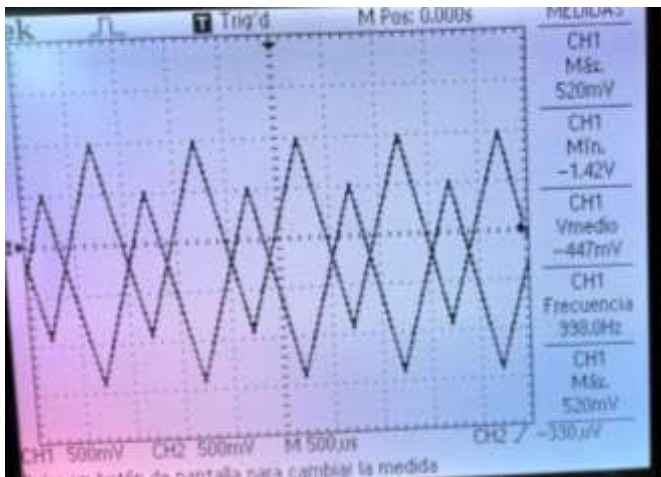
La figura muestra el esquema de pines de un amplificador operacional 741. Los pines 1, 5 y 8 se dejarán en circuito abierto (sin conectar) porque no se usarán.



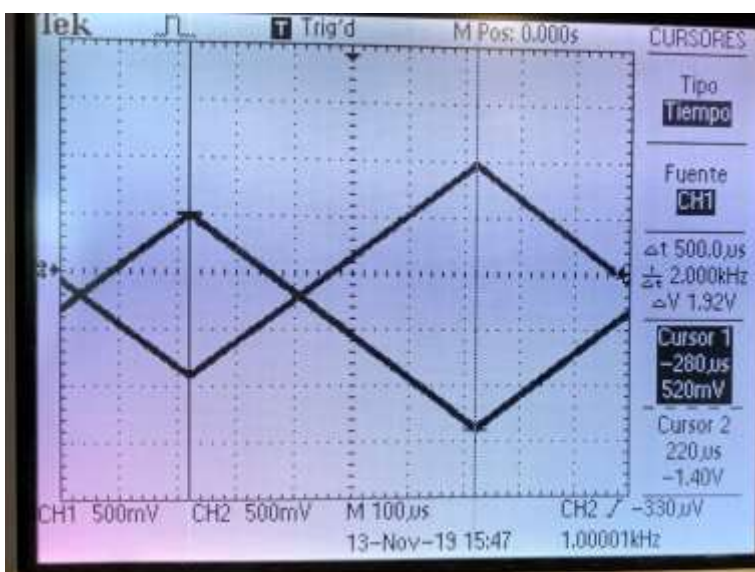
Construya en el panel el circuito 1 ( $RR_1 = 4.7 \text{ k}\Omega$ ,  $RR_2 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $RR_3 = 1 \text{ k}\Omega$ ). La onda triangular será generada usando el generador de funciones. Fije una frecuencia de 1 kHz, una amplitud de 1 V, un ciclo de trabajo del 50% y un “DC offset” nulo. Confirme estos valores con ayuda del osciloscopio antes de la conexión a la entrenadora.

Mida la señal de salida y la señal V2 usando los canales CH1 y CH2 del osciloscopio. Mida los valores de **tensión mínimo, máximo y promedio de la señal de salida y la diferencia de fase con la señal V2.**

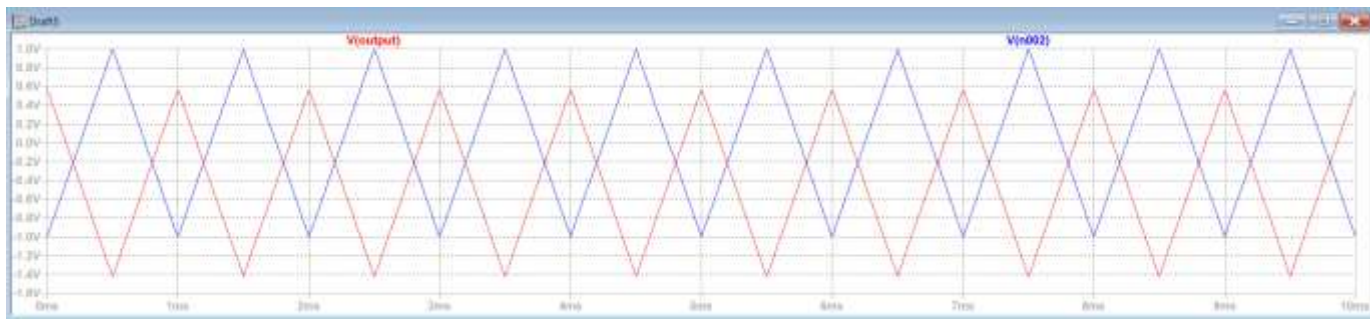
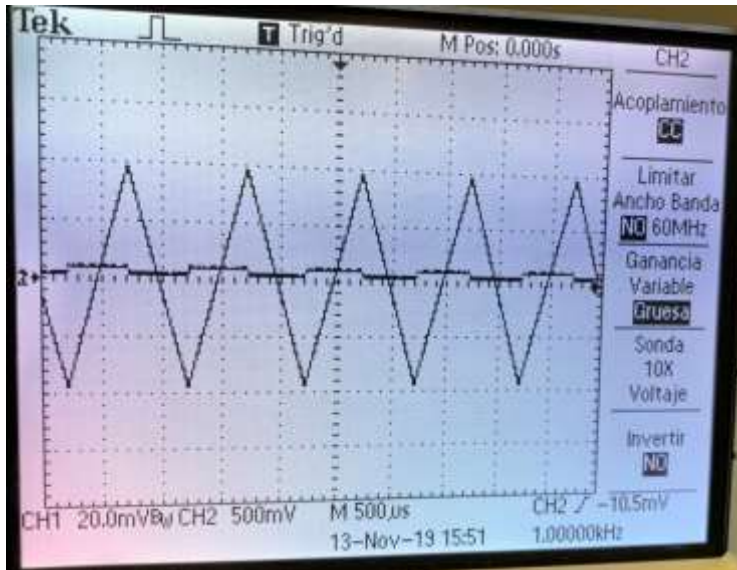
Compare los valores experimentales con los valores proporcionados por la simulación y el cálculo teórico. Mida la señal de voltaje en la entrada inversora del amplificador operacional con el osciloscopio y discuta la validez del Principio de Cortocircuito Virtual ( $V_+ = V_-$ )



Vmin	Vmax	Vav
-1,4253839	0,57432121	-0,425531345



f1(ms)	f2 (ms)	desfase temporal (º)
0,5	1	180



$$\frac{V1}{4.7K} + \frac{V2}{1K} = -\frac{V0}{1K}$$

$$V0 = -1K \left( \frac{V1}{4.7K} + \frac{V2}{1K} \right)$$

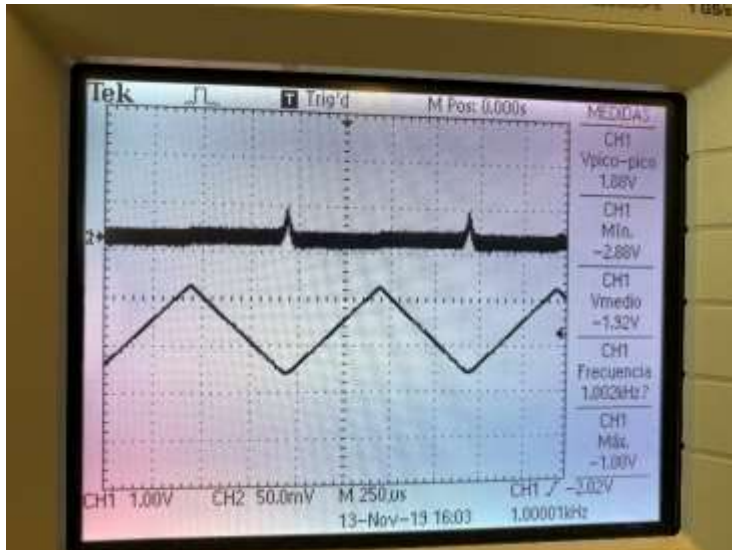
$$V0 = -\frac{2}{4.7} - V2 \quad V0_{min} = -\frac{2}{4.7} - 1 = -1.425V \quad V0_{max} = -\frac{2}{4.7} + 1 = 0.57V$$

$$V_{medio} = \frac{V_{max} + V_{min}}{2} = -0.425$$

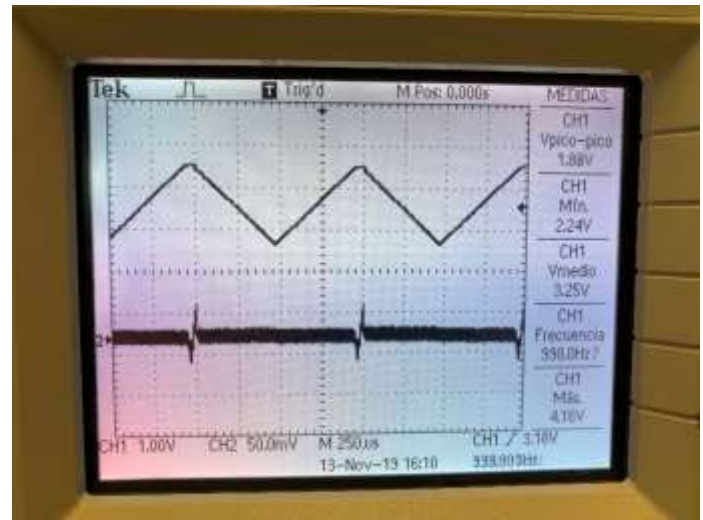
Tras haber realizado las conexiones requeridas y configurado los aparatos correctamente, obtuvimos un valor de  $V_{max} = 520 \text{ mV}$ ,  $V_{min} = -1.42 \text{ V}$  y  $V_{promedio} = -447 \text{ mV}$ , además de un desfase de  $0.5 \text{ ms}$  ( $180^\circ$ ). Esto concuerda perfectamente con los datos teóricos calculados anteriormente.

Como podemos observar en el osciloscopio, la señal medida en la entrada inversora no corresponde del todo con lo esperado teóricamente. Según el Principio de Cortocircuito Virtual,  $V_+$  tiene que ser igual a  $V_-$ , y siendo  $V_+ = 0 \text{ V}$ , esperaríamos que  $V_-$  también se mantuviese estable a  $0 \text{ V}$ , pero no es así. Podemos observar que la onda en la entrada inversora tiene una frecuencia de  $1 \text{ kHz}$ , como la de nuestra señal triangular, la irregularidad de la onda se debe al intento de ajustar la señal de entrada  $V_-$  a  $V_+$  por parte del amplificador, por ejemplo, si en  $V_-$  tenemos  $2 \text{ V}$ , el amplificador operacional, mediante la realimentación negativa, suministrará  $-2 \text{ V}$ , para así mantener  $V_+ = V_-$ . Pero esto sucedería sólo en un modelo ideal, en la realidad el amplificador operacional no es tan preciso, y al intentar ajustar el voltaje en sus entradas, este no siempre aplicará  $-V_+ \text{ V}$  mediante la realimentación negativa, sino que proporcionará un valor aproximado, y así es como surge la onda que vemos en el osciloscopio, cercana a  $0 \text{ V}$  pero no estable en  $0 \text{ V}$ .

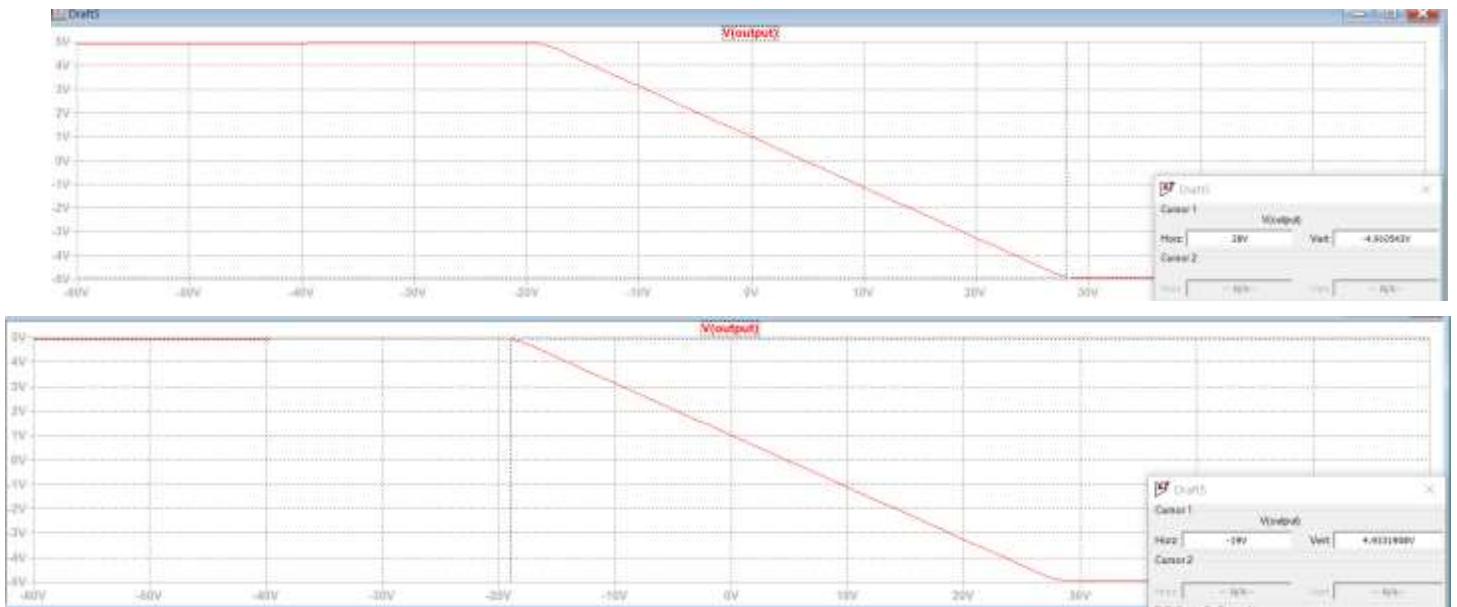
Determine experimentalmente los valores máximo y mínimo de V1 que podemos añadir a la señal V2 sin que sature el AO. Tenga en cuenta que, para determinar el valor mínimo, será necesario cambiar las conexiones hechas en la fuente PROMAX para poder obtener valores V1 negativos. Mida las tensiones de saturación del AO en cada caso y comente los resultados comparándolos con los valores simulados.



Saturación positiva 9V



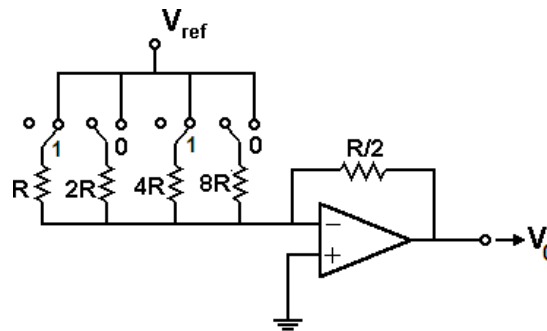
Saturación negativa 14,8V



Tras realizar los cambios necesarios en el circuito, obtuvimos que al poner a V1 a 9 V el amplificador empezaba a saturarse, así como en -14.8 V. Estos valores corresponden al inicio de la saturación del amplificador, que ocurre cuando los picos de la onda triangular superan los 5 V o los valles los -5 V, sin embargo, en la simulación tomamos los valores de saturación absoluta del amplificador operacional, es decir, cuando todos los puntos de la onda superaban los 5 V o los -5 V, por ello se puede observar una diferencia tan grande entre los datos experimentales y los de la simulación.



A continuación, construya en el panel de la entrenadora el circuito 2. Este circuito es una versión del sumador que acabamos de estudiar al que hemos añadido dos entradas. El circuito puede funcionar como un Convertidor Digital-Analógico de 4 bits.



La figura muestra las conexiones necesarias para producir el código binario ABCD=1010. La cifra más significativa está representada por el conmutador conectado a la resistencia R, mientras que la menos significativa está representada por el conmutador conectado a la resistencia 8R. Si el bit es '0', dejaremos el circuito abierto sin conectar a tierra. Por el contrario, si el bit es '1', conectaremos la resistencia a la tensión  $V_{ref}$  para añadir una corriente adicional a lazo de realimentación negativa.

Use la resistencia de 1 K $\Omega$  como R y aproxime el valor de 2R, 4R, 8R y R/2 por las resistencias de 2.2 k $\Omega$ , 4.7 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$  y 470  $\Omega$ , respectivamente. Fije un valor de -1 V para la tensión  $V_{ref}$  usando la salida de la fuente de tensión S1. Se escoge un valor negativo para obtener valores positivos a la salida del circuito ( $V_0$ )

Reproduzca los códigos binarios entre 0000 y 1111 con un paso de 1 bit usando los conmutadores y anote los valores de tensión medidos en la salida del circuito. Compare con los valores que proporciona un análisis teórico del circuito.

$$V_{ref} * \left( \frac{B1}{R} + \frac{B2}{2R} + \frac{B3}{4R} + \frac{B4}{8R} \right) = \frac{V_0}{R/2}$$

$$V_0 = 470 * \left( \frac{B1}{1K} + \frac{B2}{2,2K} + \frac{B3}{4,7K} + \frac{B4}{10K} \right)$$

posiciones	R = 1K	2R= 2,2K	4R= 4,7K	8R=10K	Tensión mV	Tensión mV Teórica
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	50,8	47
2	0	0	1	0	111	100
3	0	0	1	1	155	147
4	0	1	0	0	225	214
5	0	1	0	1	278	261
6	0	1	1	0	333	314
7	0	1	1	1	373	361
8	1	0	0	0	480	470
9	1	0	0	1	535	517
10	1	0	1	0	592	570
11	1	0	1	1	640	617
12	1	1	0	0	715	684
13	1	1	0	1	760	731
14	1	1	1	0	820	784
15	1	1	1	1	860	831

Podemos observar que los valores teóricos y los experimentales siguen el mismo patrón, es decir, una subida lineal del voltaje a medida que el número binario va creciendo.

# DISCUSIÓN

En el primer apartado, la diferencia entre valores teóricos y experimentales se pueden deber a falta de precisión en los instrumentos usados para hacer las medidas, así como por la tolerancia de las resistencias usadas para el montaje del circuito.

En el apartado de la saturación, podemos observar en la onda de la entrada no inversora que se producen picos, esto se debe al intento fallido del amplificador operacional para mantener  $V_+ = V_-$ , pero como no dispone de más de 5V o -5 V, no es capaz de anular el pico de voltaje mayor a 5 V o -5 V, mediante la realimentación negativa, que se produce en la onda de la entrada inversora.

Además hemos podido observar que la saturación no se produce de manera simétrica, como sí sucedía en la simulación, esto ocurre debido a que los cálculos de la simulación están basados en un modelo ideal, pero los experimentales no.

Por último, en el apartado del convertidor digital-analógico, hemos observado que la conversión empieza siendo lineal, con una diferencia de unos 50 mV por bit, hasta que llegamos al 1000 donde vemos un salto de 100 mV, esto se produce debido a que en este bit es la primera vez que la resistencia de 1k  $\Omega$  entra en juego, y al eliminar las resistencias aproximadas al valor requerido y estando solo la que verdaderamente tiene el valor que tiene que tener, se produce una variación de voltaje mucho mayor. Con respecto a la diferencia entre valores teóricos y experimentales se pueden deber a falta de precisión en los instrumentos usados para hacer las medidas, así como por la tolerancia de las resistencias usadas para el montaje del circuito.

