



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA
AMPLIFICADORES OPERACIONALES

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DIRIGIDA
T.I.D

YEIMER JAVIER BUSTOS CÁRDENAS
RICARDO ARTURO HERRERA CALDERÓN
DENNIS SAAMS BENT

DIRECTOR
LUIS FRANCISCO NIÑO SIERRA
INGENIERO

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA UNITEC
TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C.
IPL 2006

INTRODUCCIÓN

El desarrollo y los grandes avances de la tecnología electrónica se han debido en gran medida al conocimiento de los dispositivos semiconductores y a las aplicaciones que se pueden llevar a cabo con estos. A este grupo de dispositivos pertenece el Amplificador Operacional.

El Amplificador Operacional es uno de los primeros circuitos integrados que se fabricaron y el que más aplicaciones ha desarrollado en el campo de la electrónica. Este circuito integrado se caracteriza por su fácil utilización y bajo costo, también por tener aplicaciones como son: amplificación de señales de muy baja amplitud, configuración como generador de señales e implementación de operaciones analógicas.

Dada la importancia de este dispositivo dentro del desarrollo de la electrónica es fundamental buscar herramientas y metodologías que faciliten su enseñanza y aprendizaje.

En este documento podremos observar el proceso desde que surge la necesidad de enseñar y aprender el funcionamiento de este dispositivo, hasta el desarrollo e implementación de un sistema que permita realizar prácticas que faciliten el análisis de su funcionamiento.



CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	9
JUSTIFICACIÓN	10
MARCO REFERENCIAL	11
1. SEGUIDOR DE VOLTAJE	14
2. AMPLIFICADOR INVERSOR	17
3. AMPLIFICADOR NO INVERSOR	25
3.1 SATURACIONES DEL AMPLIFICADOR NO INVERSOR	26
4. AMPLIFICADOR SUMADOR INVERSOR	30
5. RESTADOR	33
6. INTEGRADOR	35
7. DERIVADOR	37
8. RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA	40
9. RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA	42
10. FILTROS	44
10.1 FILTRO PASA- BAJAS	44
10.2 FILTRO PASA- ALTAS	47

10.3 FILTRO PASA- BANDA

50

11. CONCLUSIONES

54

BIBLIOGRAFÍA

55

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e Implementar un sistema que permita la realización de prácticas tendientes al estudio y comprobación del funcionamiento y aplicaciones del Amplificador Operacional.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Simular las diferentes aplicaciones de los Amplificadores Operacionales.
- Hacer el montaje de las diferentes aplicaciones de los Amplificadores Operacionales.
- Diseñar circuitos donde se puedan combinar los varios usos del Amplificador Operacional.
- Simular los circuitos diseñados en el punto anterior.
- Diseñar y elaborar módulos para el sistema y luego ensamblarlos.
- Elaborar un manual de instrucciones y aplicaciones del sistema.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Nuestro proyecto está orientado hacia la enseñanza y el aprendizaje del Amplificador Operacional y sus aplicaciones, mediante un sistema modular que contiene las aplicaciones que se pueden realizar con este circuito integrado. Este sistema está constituido por cuatro (4) módulos; decidimos diseñar e implementar cuatro porque cada uno de ellos contiene un tema de acuerdo a las aplicaciones más comunes con el Amplificador Operacional, como son: aplicaciones básicas, aplicaciones especiales, rectificadores y filtros; además es una forma práctica y didáctica de enseñar y aprender cada aplicación debido a que cada módulo tiene un tamaño ideal para la manipulación por parte de un grupo de estudiantes, esto es una ventaja de nuestro sistema frente a otros equipos utilizados comúnmente en electrónica, como por ejemplo, el protoboard ya que este es usado básicamente por un estudiante.

- En el primer (1) módulo implementamos las aplicaciones básicas, como son: seguidor, inversor y no inversor. Para la aplicación del inversor utilizamos dos amplificadores operacionales el LM741 y el TL082. El TL082 soporta frecuencias superiores a las del LM741.
- En el segundo (2) módulo implementamos aplicaciones especiales, como son: sumador, restador, derivador e integrador. El sumador y el restador tienen conectores para dos entradas.
- En el tercer (3) módulo implementamos el tema de rectificadores con el Amplificador Operacional, y son: rectificador de media onda y onda completa.
- En el cuarto (4) módulo implementamos los filtros con el Amplificador Operacional, y son: pasa-bajas, pasa-altas y pasa-bandas.

Los cuatro (4) módulos están contruidos con cajas de pasta color azul, en el interior de cada una de ellas se encuentran las tarjetas impresas con el diseño de las aplicaciones implementadas en cada módulo, también tienen conectores (tipo banana) externos para el generador de ondas, los dos canales del osciloscopio, la fuente de doble polarización y la tierra. Además, los dos primeros módulos (1 y 2) tienen interruptores de selección múltiple para realizar los diferentes casos de las aplicaciones implementadas en estos.

Estos módulos le facilitarán y ayudarán a los profesores en la explicación y a los alumnos en el entendimiento de la materia o asignatura que abarque estos temas (aplicaciones básicas, aplicaciones especiales, rectificadores y filtros).

JUSTIFICACIÓN

Es indiscutible que el estudio del Amplificador Operacional en cualquier programa de formación técnica, tecnológica o de ingeniería en electrónica se hace obligatorio. Por esta razón cobra importancia el desarrollo de un sistema que permita realizar prácticas que faciliten su análisis de funcionamiento y el diseño de sistemas con este circuito integrado.

El sistema desarrollado le facilitará a profesores, alumnos y aficionados el manejo de los Amplificadores Operacionales tanto en sus aplicaciones, como en las prácticas con ellos.

Con este sistema los profesores tendrán una herramienta más para poder explicar y mostrar a sus alumnos de forma práctica y rápida lo que se puede hacer con este circuito integrado, con esto los alumnos podrán entender mejor y rápido como funciona el Amplificador Operacional y sus aplicaciones.

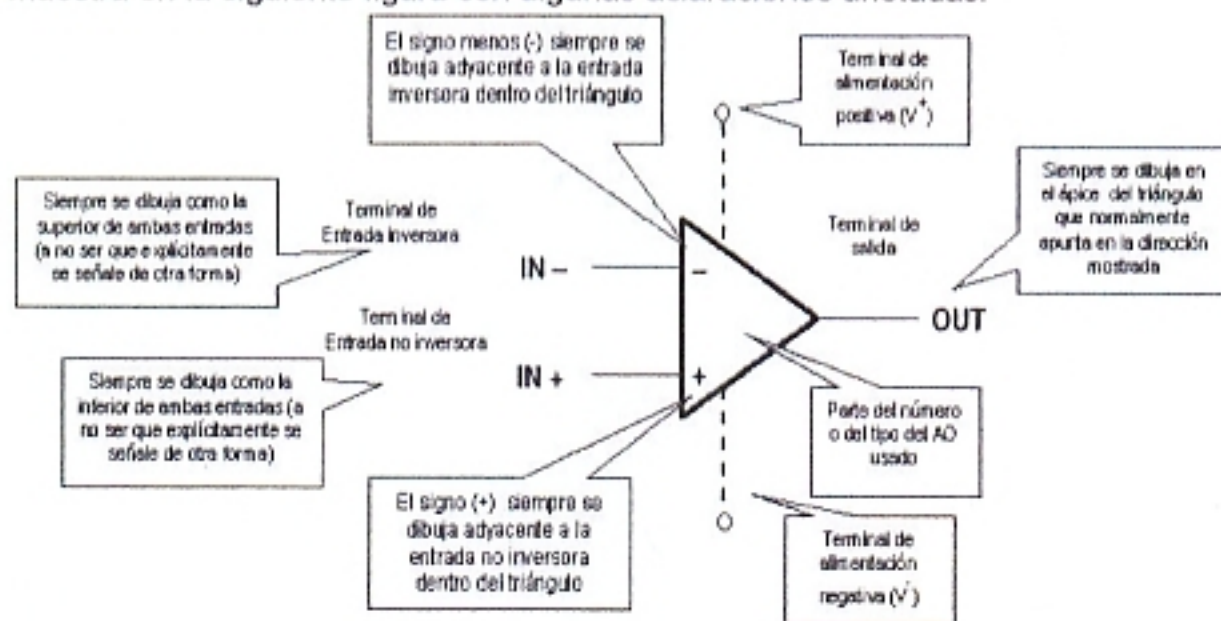
MARCO REFERENCIAL

El Amplificador Operacional fue desarrollado para ser utilizado en computadoras analógicas en los inicios de los años 1940. Los primeros Amplificadores Operacionales utilizaban los tubos al vacío. En 1967 la empresa "Fairchild Semiconductor" introdujo al mercado el primer Amplificador Operacional en la forma de un circuito integrado, logrando disminuir su tamaño, consumo de energía y su precio.

El Amplificador Operacional es un dispositivo lineal de propósito general el cual tiene capacidad de manejo de señal desde $f=0$ Hz hasta una frecuencia definida por el fabricante; tiene además límites de señal que van desde el orden de los nV , hasta unas docenas de voltio (especificación también definida por el fabricante). Los Amplificadores Operacionales se caracterizan por su entrada diferencial y una ganancia. El nombre de Amplificador Operacional proviene de una de las utilidades básicas de este, como lo es realizar operaciones matemáticas en computadores analógicos (características operativas). De acuerdo a sus características operativas, el Amplificador Operacional puede configurarse de acuerdo a una tarea específica.

SIMBOLO ESQUEMATICO DEL AMPLIFICADOR ESTANDAR Y SU USO

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



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

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

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

Finalmente, el tipo o número del dispositivo utilizado se sitúa centrado en el interior del triángulo. Si el circuito es uno general, indicativo de un amplificador operacional cualquiera, se usa el símbolo A (A1, A2, etc.)

EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL

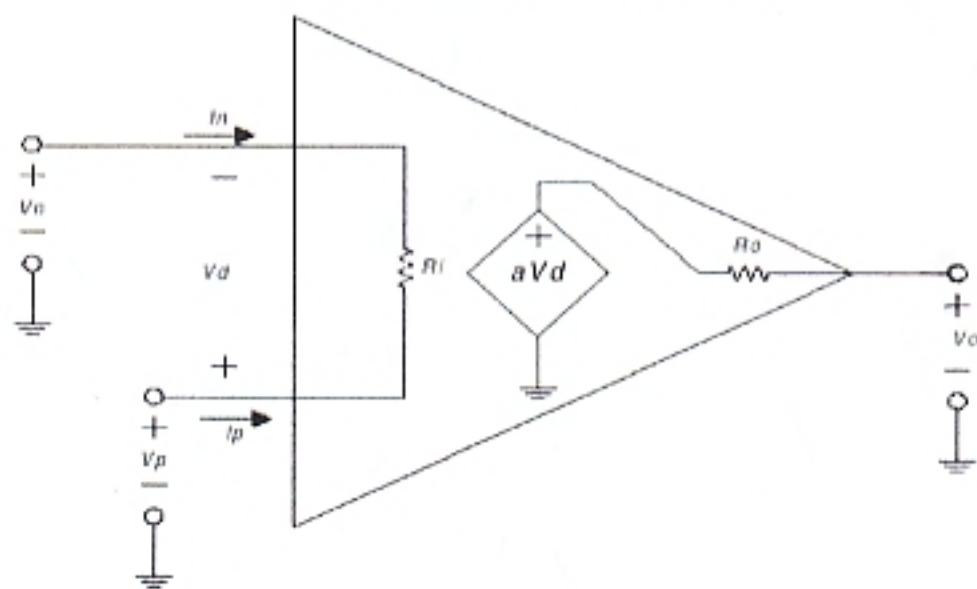


Figura 1

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

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

1. La ganancia de tensión es infinita: $A = \infty$
2. La resistencia de entrada es infinita: $R_i = \infty$
3. La resistencia de salida es cero: $R_o = 0$
4. El ancho de banda es infinito: $BW = \infty$
5. La tensión offset de entrada es cero: $V_o = 0$ si $V_d = 0$

A partir de estas características del Amplificador Operacional, podemos deducir otras dos importantes propiedades adicionales. Puesto que, la ganancia (A) en tensión es infinita, cualquier señal de salida que se desarrolle será el resultado de una señal de entrada infinitesimalmente pequeña. Luego, en resumen:

- La tensión de entrada diferencial es nula.
- También, si la resistencia de entrada es infinita. No existe flujo de corriente en ninguno de los terminales de entrada

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

1. SEGUIDOR DE VOLTAJE

En este circuito el voltaje de salida sigue al voltaje de entrada. Tiene las características inherentes de una alta impedancia de entrada (o resistencia, por lo general cercana a ∞) y una baja impedancia de salida (o resistencia, por lo general de 50 m Ω). Es común que se utilice un seguidor de voltaje como etapa intermedia o de aislamiento entre una carga de baja impedancia y una fuente que requiera una carga de alta impedancia.



Para esta aplicación (seguidor de voltaje) se realizaron los siguientes ejercicios:

Ejercicio 1: Para el circuito **figura 1a**, aplicamos los siguientes valores: una señal de entrada de 5 voltios a una frecuencia de 150 Hz y voltaje de alimentación de +18 y -18 voltios, se comprobó que siempre la señal de salida (morado) será igual a la señal de entrada (verde) **figura 1b**.

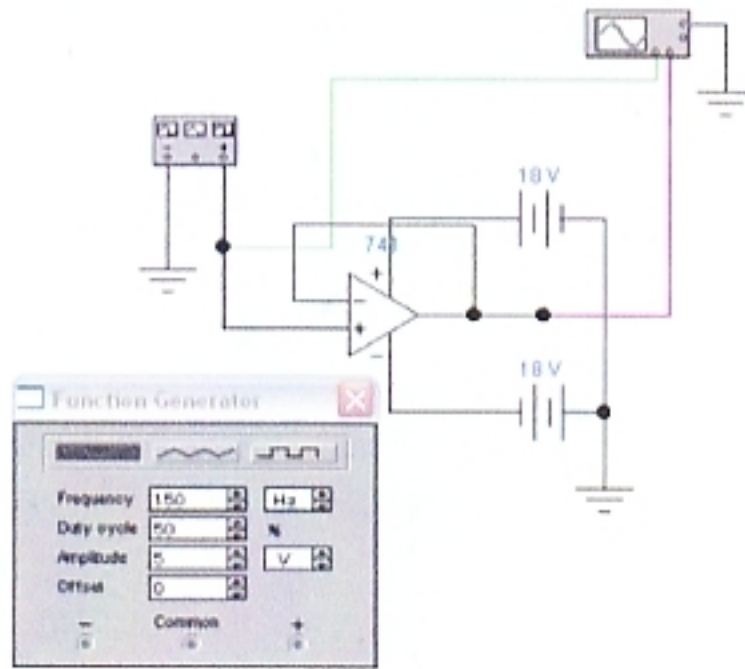


Figura 1a.

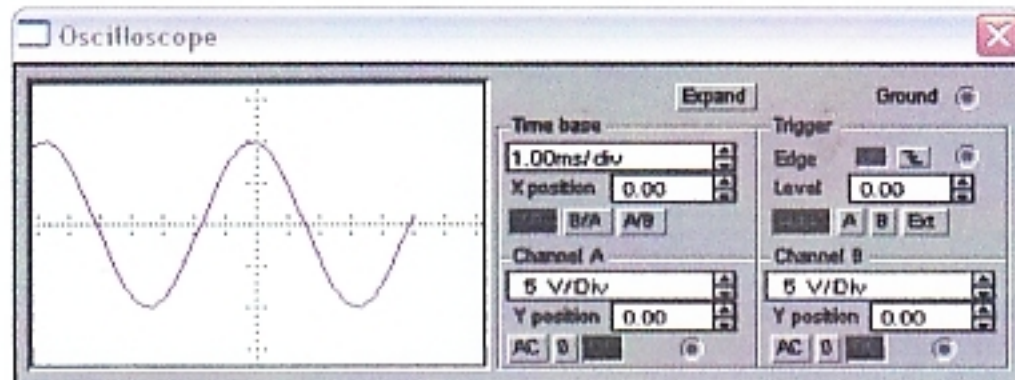


Figura 1b.

Ejercicio 2: Seguidor de voltaje con señal de entrada cuadrada. Utilizamos el mismo circuito de la **figura 1a.** pero cambiamos la forma de la señal del generador de ondas por una señal cuadrada y obtuvimos una señal cuadrada a la salida **figura 1c.**



Figura 1c.

Ejercicio 3: Seguidor de voltaje con señal de entrada triangular. Utilizamos el mismo circuito de la **figura 1a.** pero cambiamos la forma de la señal del generador de ondas por una señal triangular y obtuvimos una señal triangular a la salida **figura 1d.**

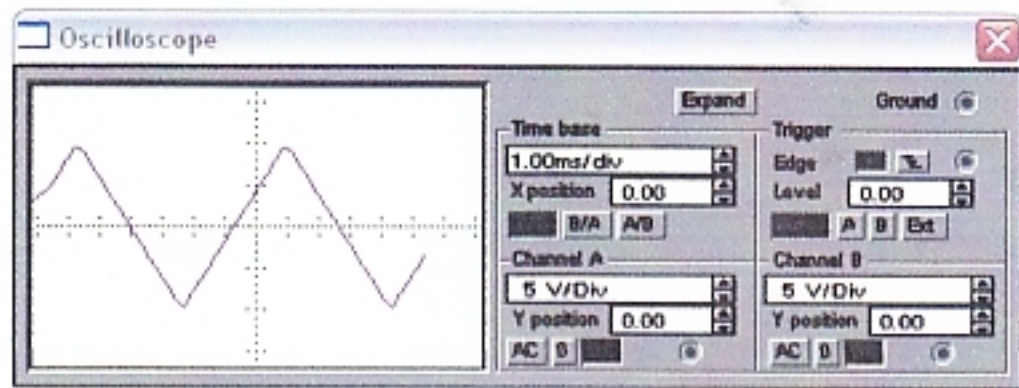
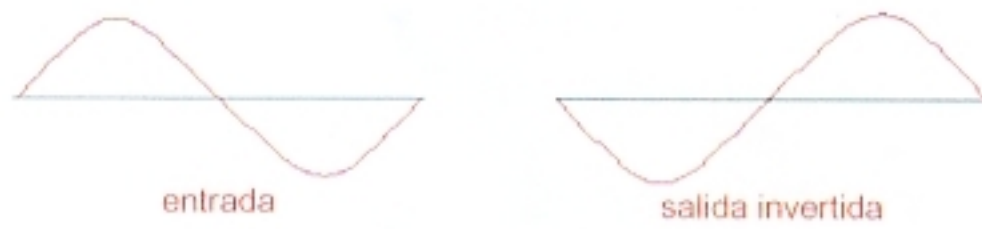


Figura 1d

2. AMPLIFICADOR INVERSOR

¿Por qué el nombre de inversor? La razón es muy simple: la señal de salida es igual en forma (no necesariamente en magnitud) a la señal de entrada, pero invertida, ver los dos gráficos siguientes. (Cuando la señal de entrada se mueve en un sentido, la de salida se mueve en sentido opuesto).



El amplificador se conecta como se muestra en la **figura 2a.**, donde tenemos una resistencia R_1 , conectada en la entrada inversora del amplificador y una resistencia de realimentación R_2 conectada entre la salida del amplificador y la entrada no inversora. La entrada no inversora se conecta a tierra cuando el circuito amplificador está alimentado con una fuente de doble polaridad. La ganancia del amplificador o lo que es lo mismo la relación de magnitudes entre la señal de salida y la de entrada, depende de los valores de las resistencias R_1 y la resistencia de realimentación R_2 y está dada por la ecuación:

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \text{ (Ecuación 1)}$$

El signo negativo indica que la señal de salida es la invertida de la señal de entrada.

Para esta aplicación (inversor) se realizaron los siguientes casos:

Caso 1: En este ejemplo se utilizaron los siguientes valores: voltaje de la señal de entrada 5 voltios, frecuencia 150 Hz, $R_1=R_2=1K\Omega$, voltaje de polarización +18 y -18 voltios. Aplicando la **ecuación 1**, el valor de A_v es igual a -1 como se muestra en la **figura 2b.**, la señal de salida (rojo) es igual en amplitud que la señal de entrada (verde) pero invertida, por lo tanto no hay ganancia debido al valor de las resistencias.

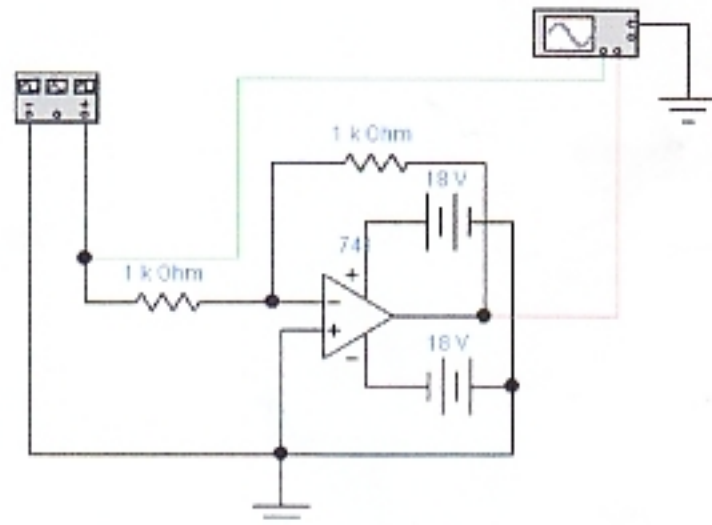


Figura 2a.

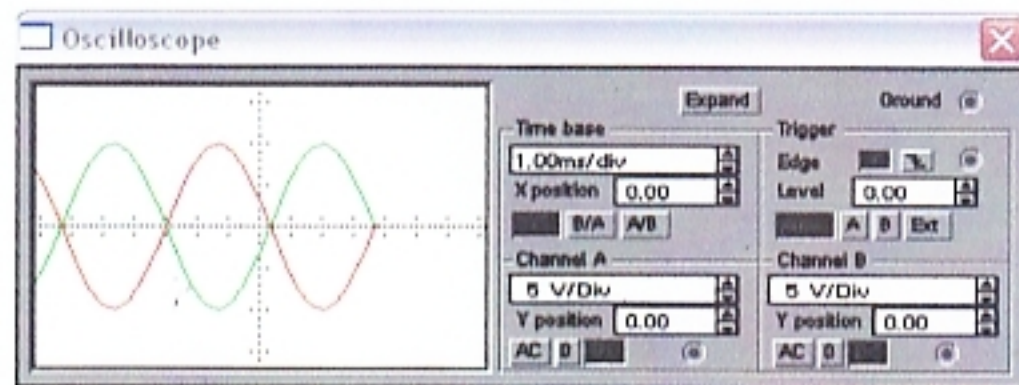


Figura 2b.

Caso 2: SATURACIÓN POR VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN. En este circuito **figura 2c.**, el voltaje de alimentación es de +8 y -8 voltios; se obtuvo a la salida una señal invertida recortada o saturada **figura 2d.** Esto también se cumple para otros amplificadores diferentes al LM741 puesto que estos amplificadores funcionan bien con un voltaje de alimentación desde 18 voltios.

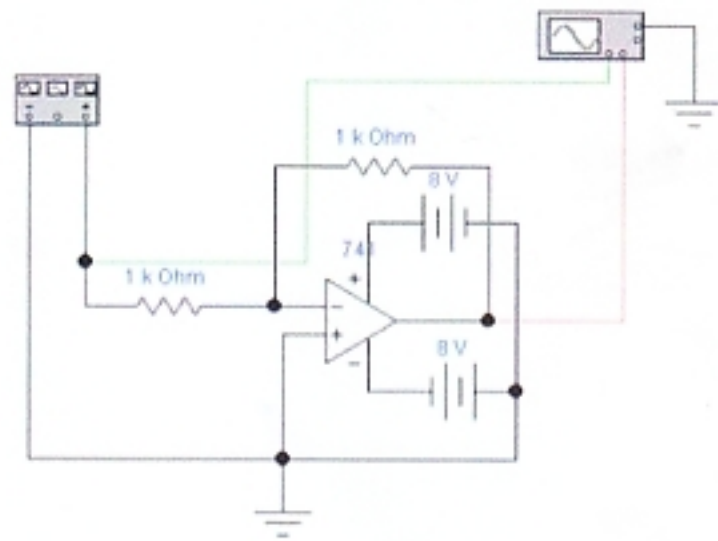


Figura 2c.

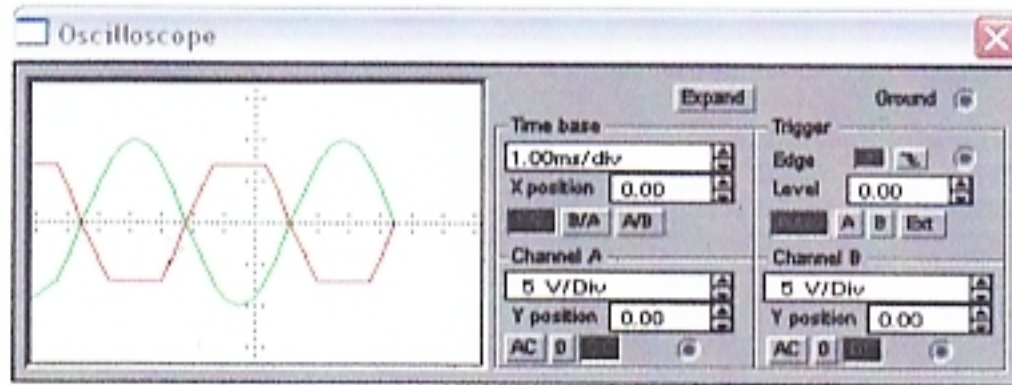


Figura 2d.

Caso 3: RESPUESTA A CAMBIO DE FRECUENCIA. En este circuito **figura 2c.**, la frecuencia es de 100 KHz.; notando así en la salida (**figura 2f.**) una caída de la señal, esto debido a que se utilizó un amplificador operacional LM741 y este no funciona bien con frecuencias superiores a 10 KHz.

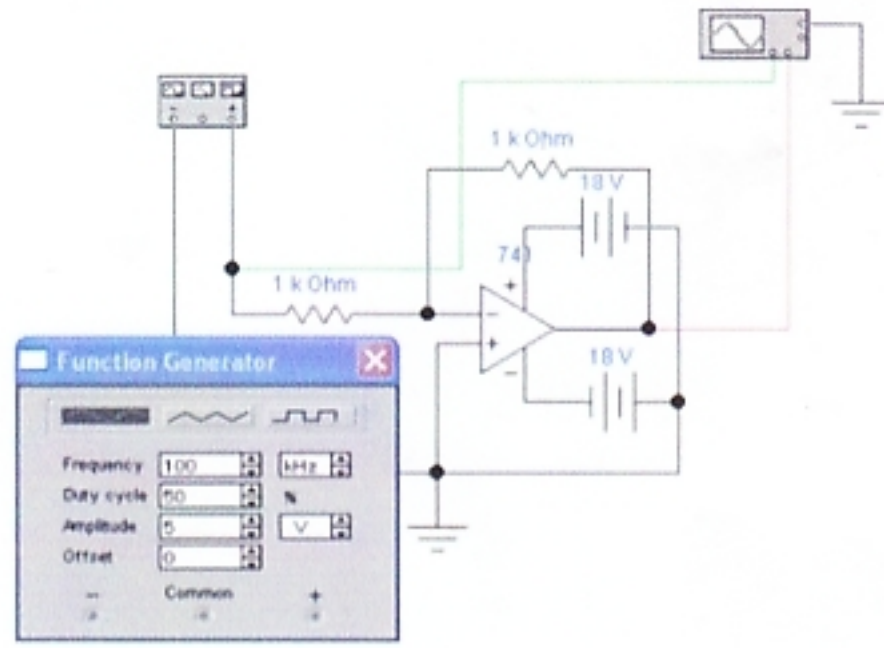


Figura 2e.

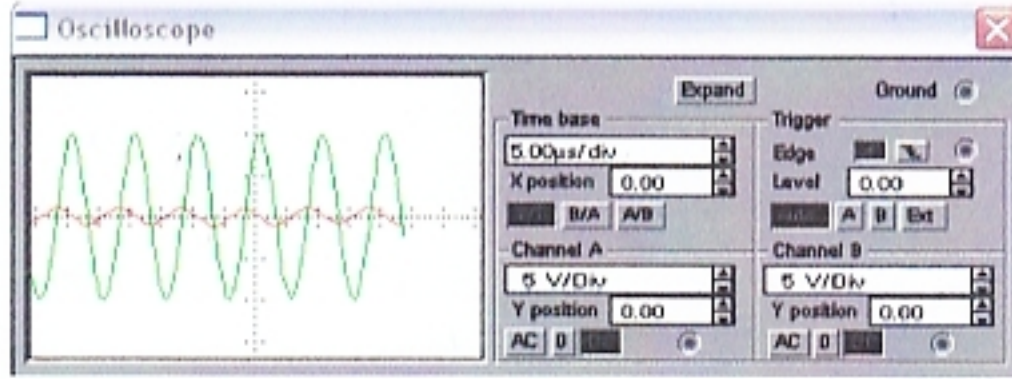


Figura 2f.

Caso 4: SATURACIÓN POR GANANCIA. En este circuito figura 2g., el valor de la resistencia R2 es 2 K Ω ; demostrando así que la salida (figura 2h.) se recorta o satura, debido a la ganancia $A_v = -2$.

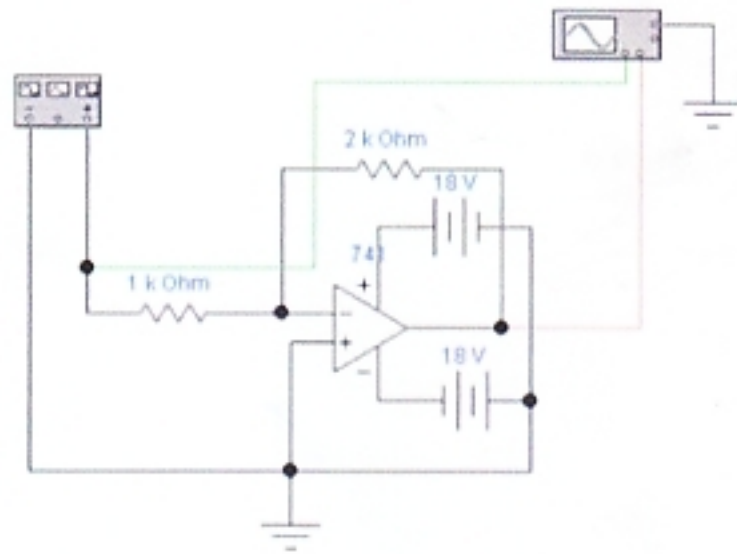


Figura 2g.

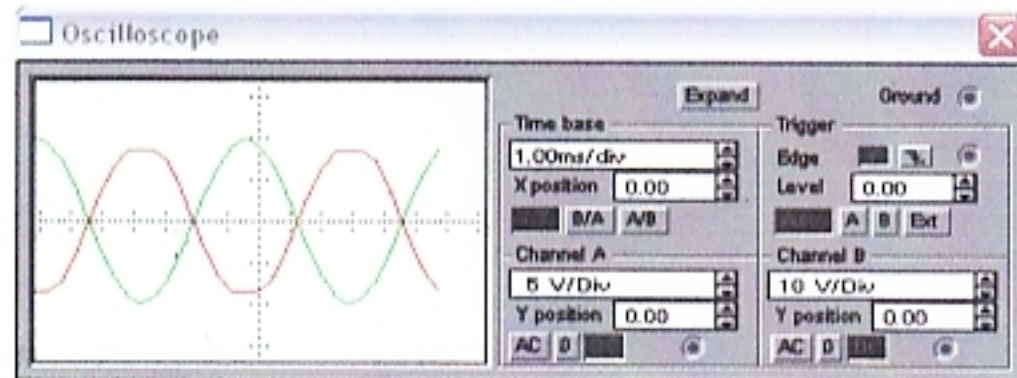


Figura 2h.

Caso 5: CONFIGURACIÓN INVERSOR COMO AMPLIFICADOR. En este ejemplo **figura 2i.**, se utilizaron los siguientes valores: $R_1=1.2\text{ K}\Omega$, $R_2=2\text{ K}\Omega$. Comprobando que la señal de salida se amplifica con una ganancia, de acuerdo con la **ecuación 1**, el valor de A_v es igual a $-1,66$ como se muestra en la **figura 2j**.

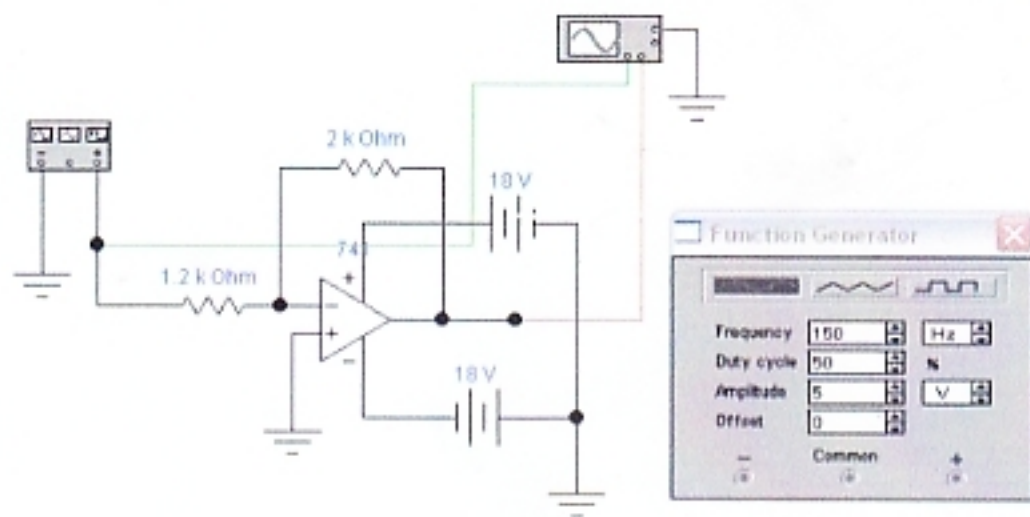


Figura 2i.

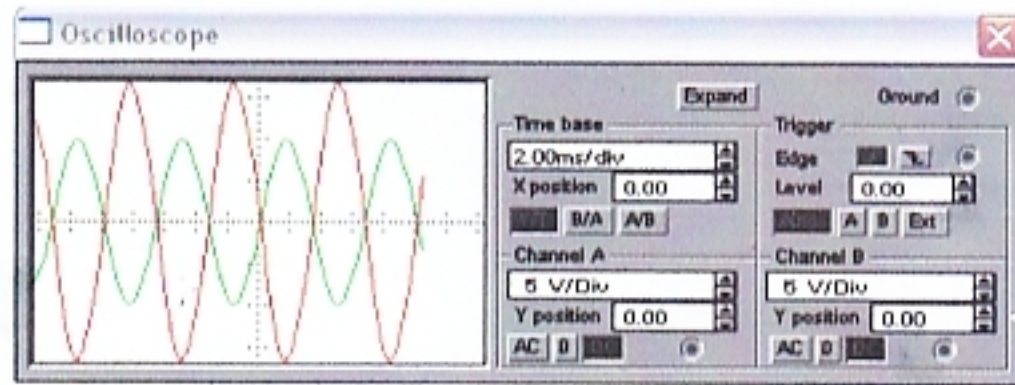


Figura 2j.

Caso 6: CONFIGURACION INVERSOR COMO ATENUADOR. En el circuito **figura 2k.**, los valores de las resistencias son: $R_1=1\text{ k}\Omega$ y $R_2=500\ \Omega$. Viendo a la salida **figura 2l** una señal atenuada sin ganancia, de acuerdo a la **ecuación 1**, $A_v=-0.5$

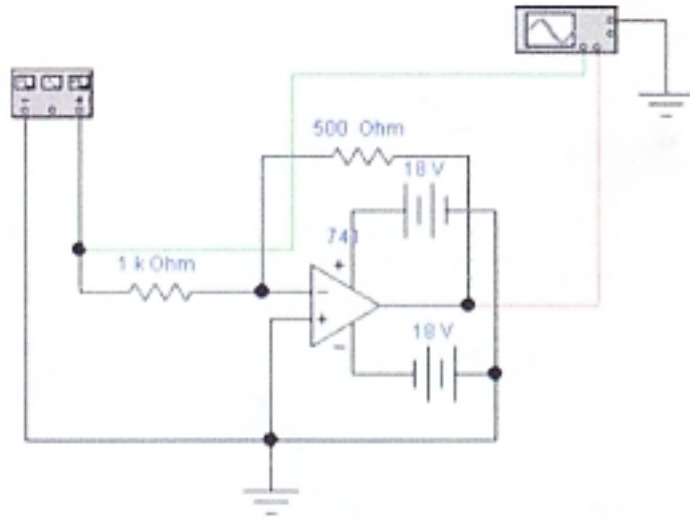


Figura 2k.

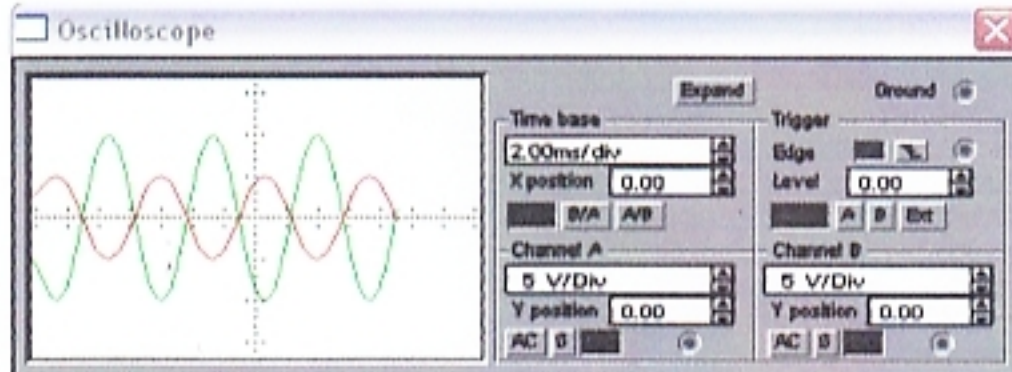


Figura 2l.

Caso 7: El amplificador inversor con señal de entrada cuadrada. Utilizamos el mismo circuito de la figura 2a, pero cambiamos la forma de la señal del generador de ondas por una señal cuadrada y obtuvimos una señal cuadrada a la salida figura 2m.

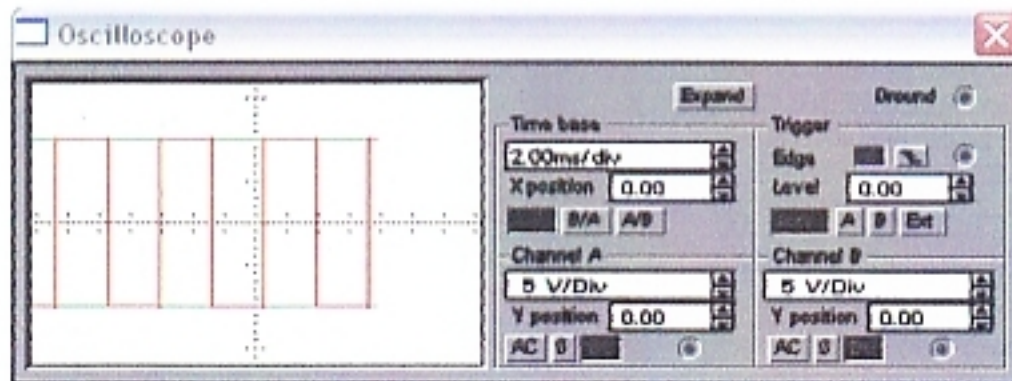


Figura 2m.

Caso 8: El amplificador inversor con señal de entrada triangular. Utilizamos el mismo circuito de la **figura 2a.** pero cambiamos la forma de la señal del generador de ondas por una señal triangular y obtuvimos una señal triangular a la salida **figura 2n.**

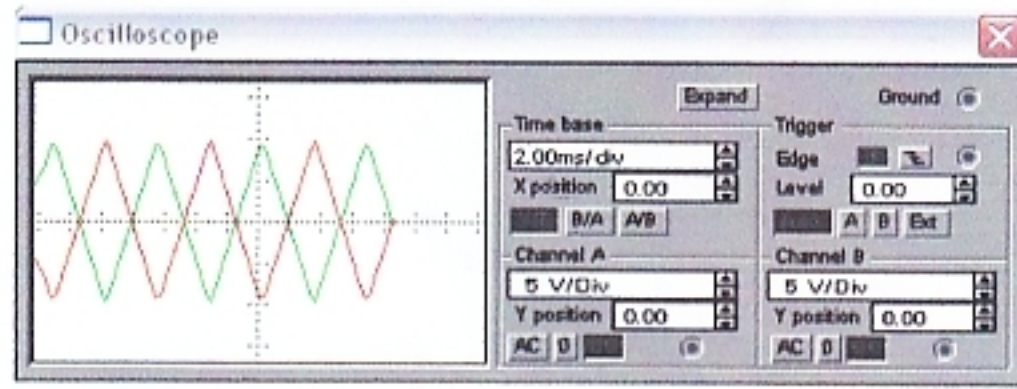


Figura 2n.

NOTA: Así como se aplicaron las señales cuadrada y triangular en los ejemplos y casos del seguidor de voltaje y el amplificador inversor respectivamente, esto también se cumple para las siguientes aplicaciones: Amplificador no inversor, sumador, restador, rectificador de media onda y onda completa

3. AMPLIFICADOR NO INVERSOR

A este tipo de amplificador la señal de entrada se le aplica directamente a la terminal no inversora y la resistencia de entrada R1 se conecta a tierra. En este caso la impedancia de entrada es mucho mayor que en el caso del amplificador inversor. Si la señal de entrada se mueve en un sentido, la señal de salida se mueve en el mismo sentido, es decir, la señal de salida sigue a la de entrada (están en fase). Ver los gráficos siguientes.



En esta configuración la ganancia de voltaje es siempre mayor que 1 y esta dada por la ecuación:

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} \text{ (Ecuación 2)}$$

Para esta aplicación (no inversor) se realizaron los siguientes casos:

Caso 1: AMPLIFICADOR NO INVERSOR CON GANANCIA MINIMA. Para este primer caso **figura 3a.** se utilizaron los siguientes valores: frecuencia 150 Hz, voltaje de alimentación +18 y -18 voltios, amplitud 5 voltios, R1= 1KΩ y R2= 1 Ω. De acuerdo con la **ecuación 2** $A_v = 1.001$ notando así que la señal de salida es igual a la de entrada (**figura 3b.**) a consecuencia del valor de R2.

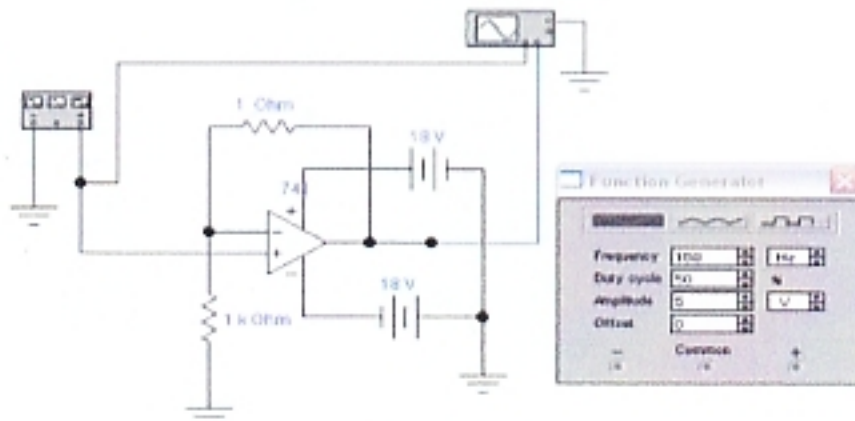


Figura 3a

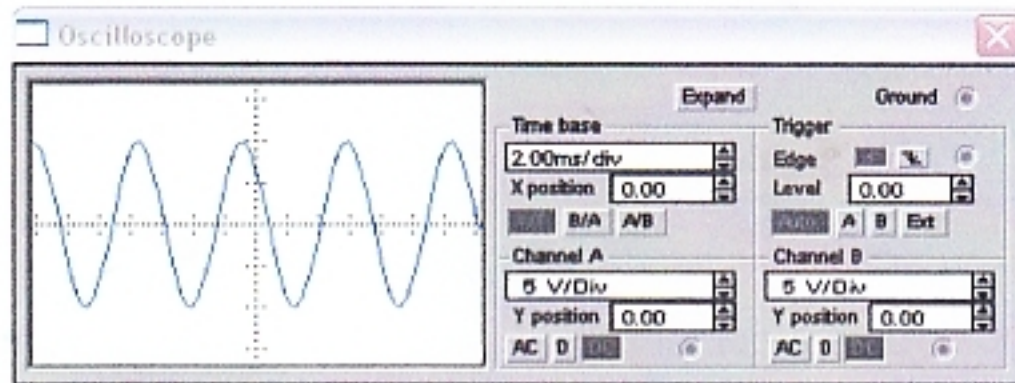


Figura 3b.

3.1 SATURACIONES DEL AMPLIFICADOR NO INVERSOR

Esta aplicación al igual que el Amplificador Inversor se satura bajo las mismas condiciones: por voltaje de alimentación **figuras 3c.- 3d.**, ganancia **figuras 3e.- 3f** y también tiene una respuesta a cambio de frecuencia **figuras 3g.- 3h.**

SATURACIÓN POR VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN

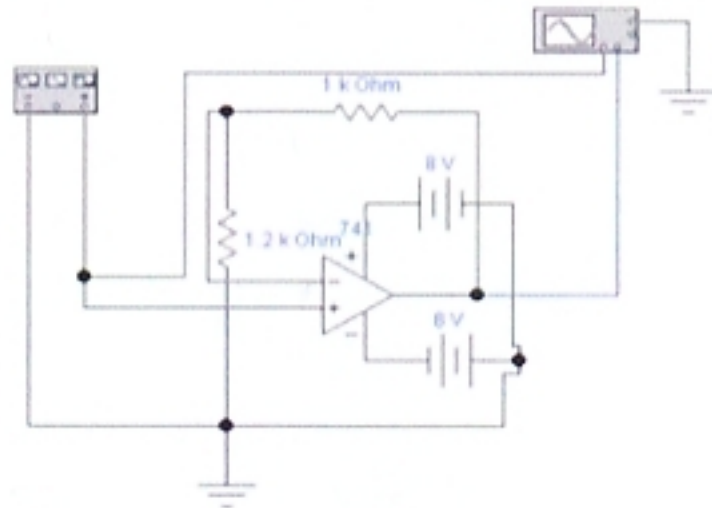


Figura 3c.

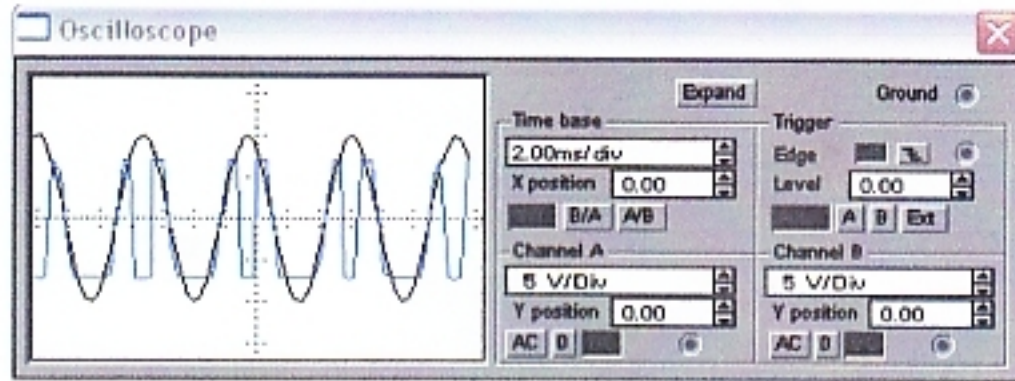


Figura 3d.

SATURACIÓN POR GANANCIA

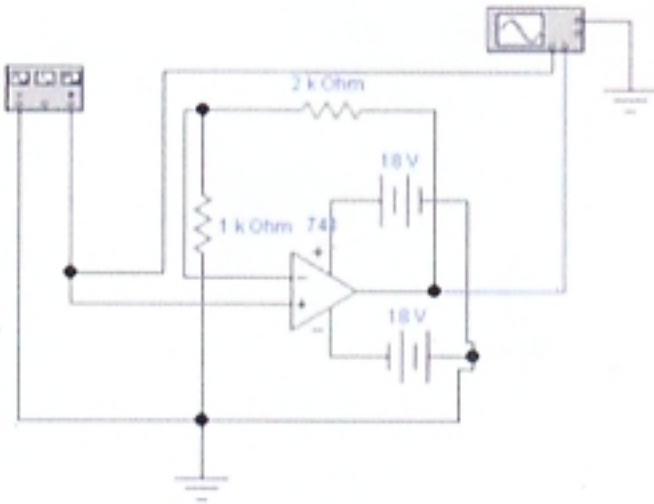


Figura 3e.

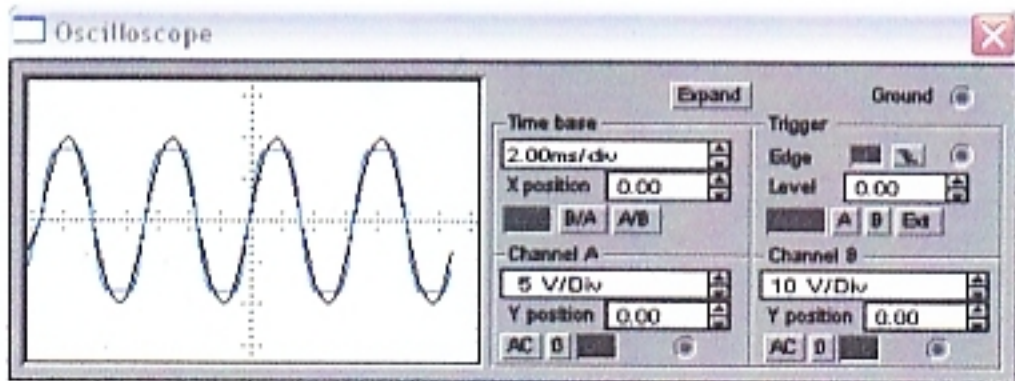


Figura 3f.

RESPUESTA A CAMBIO DE FRECUENCIA

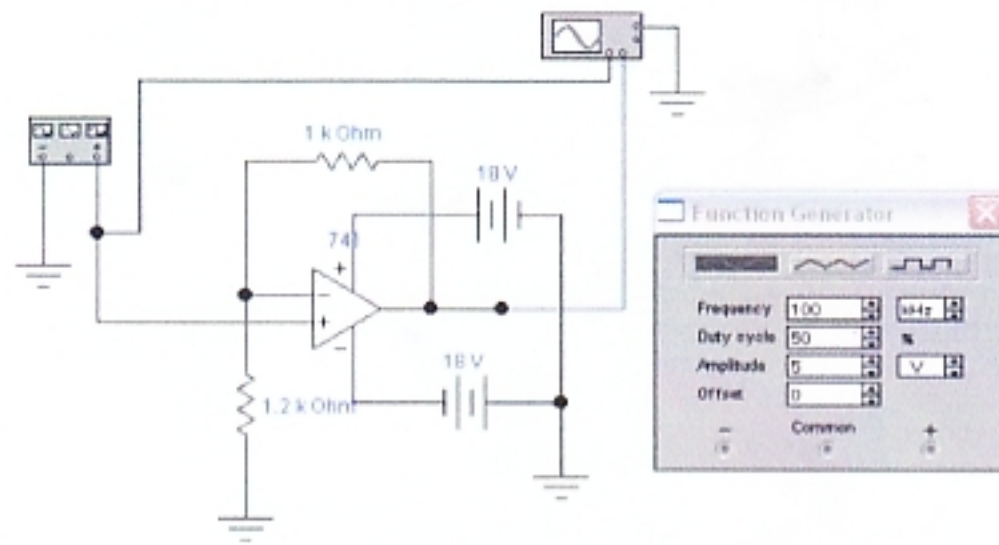


Figura 3g.

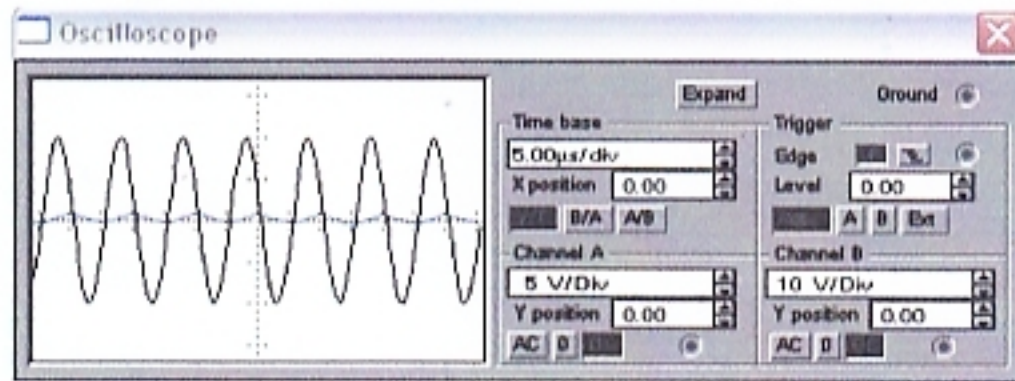


Figura 3h.

Caso 2: CONFIGURACIÓN NO INVERSOR COMO AMPLIFICADOR. En este ejemplo **figura 3i.** se utilizaron los siguientes valores: voltaje de la señal de entrada 5 voltios, frecuencia 150 Hz, $R_1 = 2 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ K}\Omega$, voltaje de polarización +18 y -18 voltios. De acuerdo con la **ecuación 2**, el valor de A_v es igual a 1.5 como se muestra en la **figura 3j.**

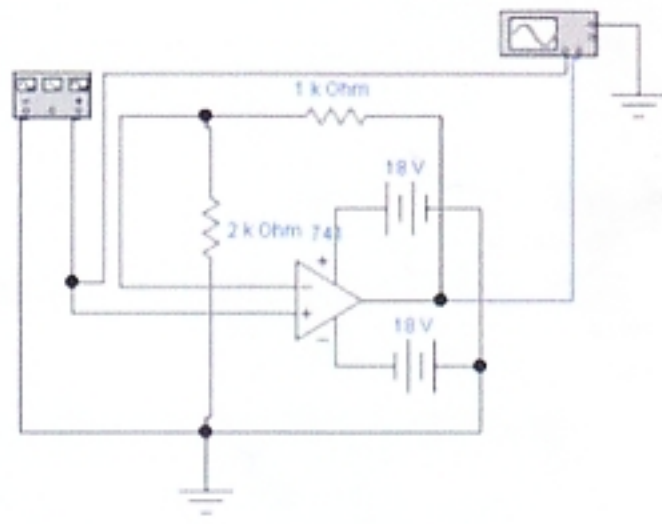


Figura 3i.

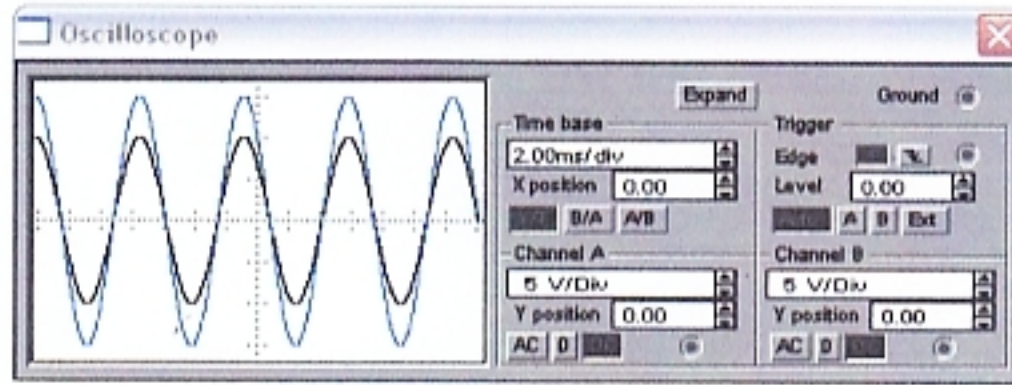


Figura 3j.

4. AMPLIFICADOR SUMADOR INVERSOR

Como su propio nombre lo indica, permite sumar algebraicamente varias señales analógicas. La tensión de salida se expresa en términos de la tensión de entrada como:

$$V_o = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right) \text{ Ecuación 3}$$

V1, V2 y V3 representan las señales de entrada.

Para este tipo de sumadores el valor de las resistencias sobre todo la de Rf hace que varíe la ganancia del sumador por eso para mayor facilidad y mejor entendimiento se decidió utilizar todas las resistencias de 1 KΩ.

Para esta aplicación (sumador inversor) se realizaron los siguientes casos:

Caso 1: Para este circuito **figura 4a.** se utilizó dos señales de entrada; una entrada de 5 voltios a una frecuencia 150Hz y otra de 0 voltios a la misma frecuencia, voltaje de alimentación de +18 y -18 voltios y resistencias con valor de 1 KΩ. Se comprobó que efectivamente la señal de salida es la suma de las dos amplitudes y sale invertida debido al signo **figura 4b.** Aplicando la **ecuación 3** $V_o = -5$.

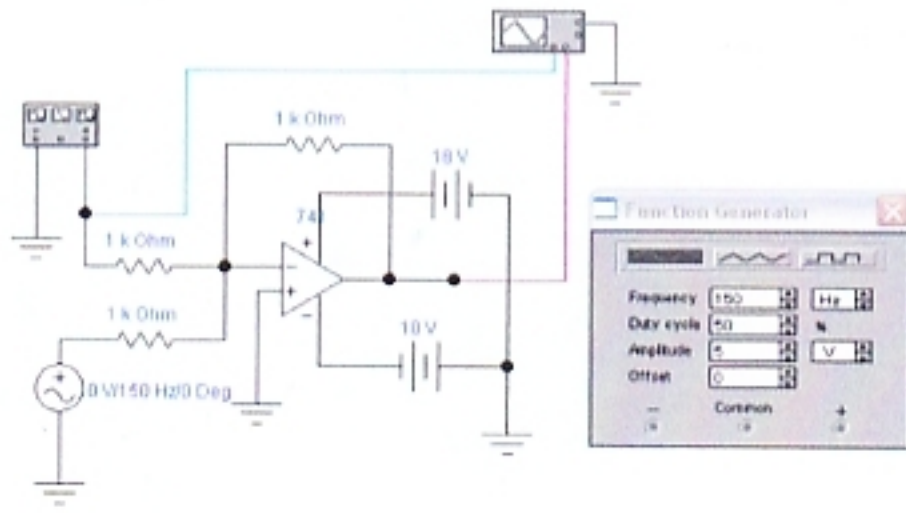


Figura 4a.

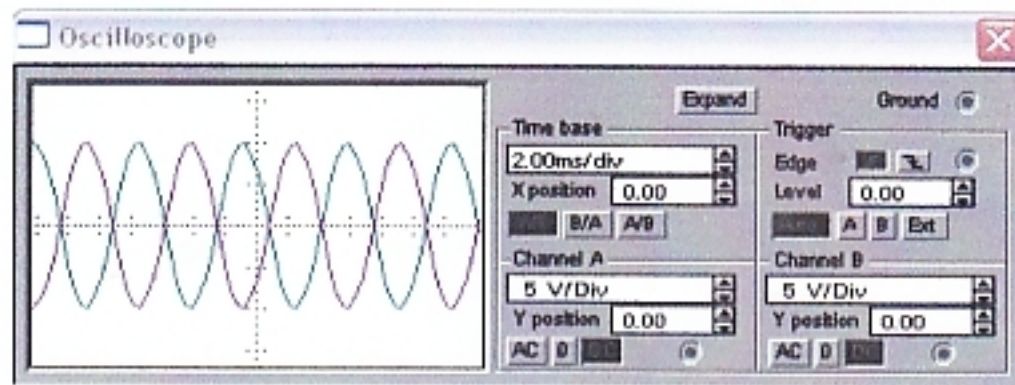


Figura 4b.

Caso 2: Para este caso figura 4c. se utilizo dos señales de entrada, una de 2 voltios a una frecuencia de 150Hz y otra también a 2 voltios a la misma frecuencia, voltaje de alimentación de +18 y -18 voltios y resistencias con valor de 1 KΩ. Se comprobó que efectivamente la señal de salida es la suma de las dos amplitudes figura 4d. Aplicando la ecuación 3 $V_o = -4$.

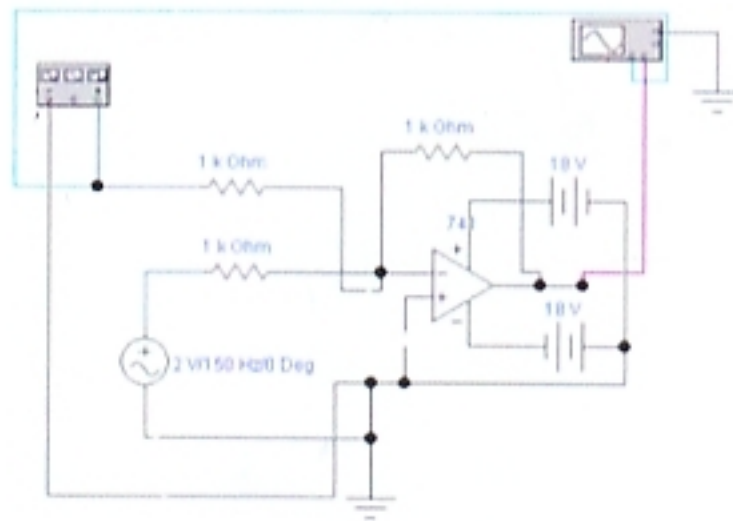


Figura 4c.

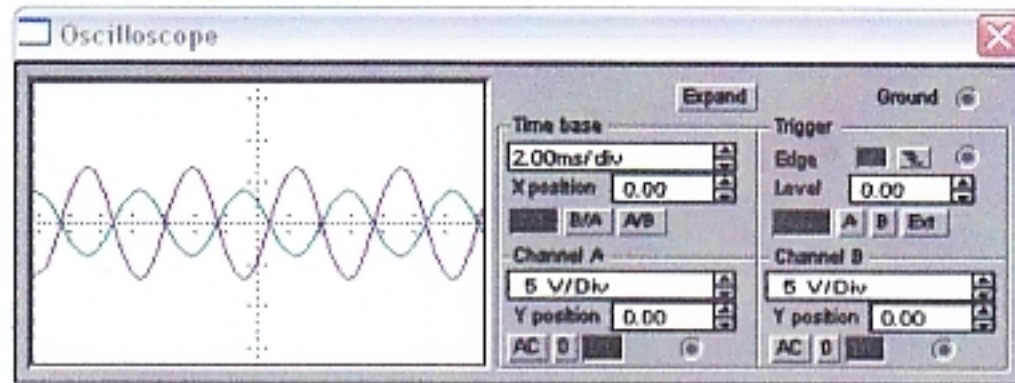


Figura 4d.

Caso 3: SUMADOR INVERSOR APLICANDO VOLTAJE DC. Para este caso **figura 4e.** aplicamos dos voltajes DC, uno de 2 voltios y el otro también, voltaje de alimentación de +18 y -18 voltios y resistencias con valor de 1 kΩ. Se comprobó que efectivamente la señal de salida es la suma de los dos voltajes **figura 4f.** Aplicando la **ecuación 3** $V_o = -4$.

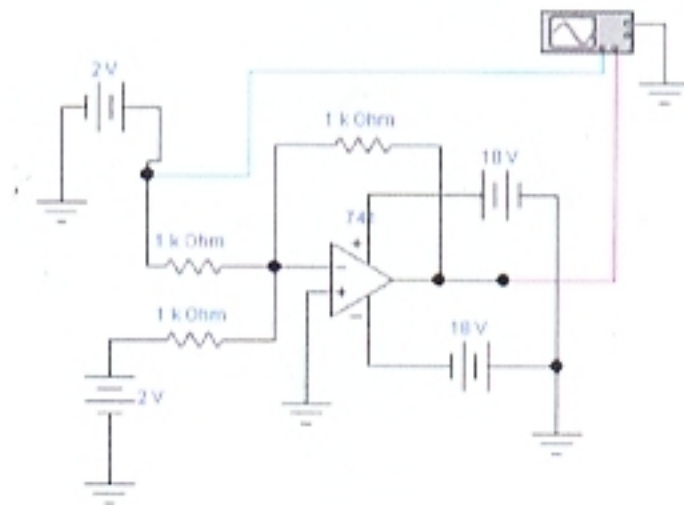


Figura 4e.

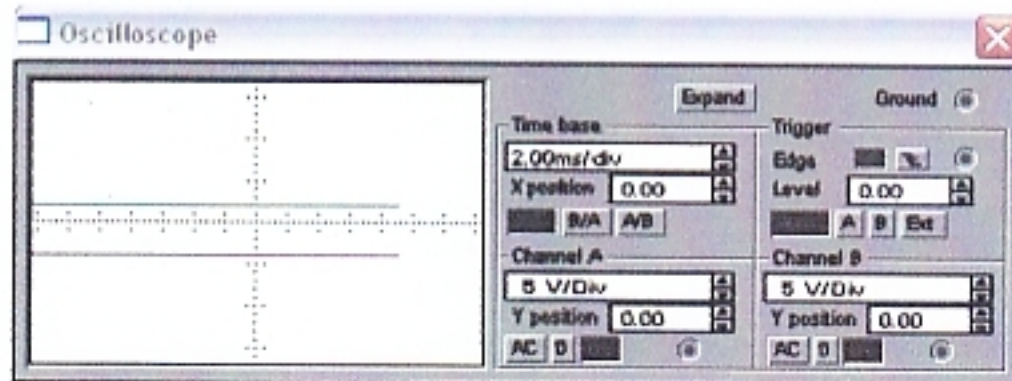


Figura 4f

5. RESTADOR

Los amplificadores operacionales configurados como restador, restan algebraicamente señales de entrada y luego las amplifica. Una señal se aplica en la terminal no inversora y otra en la terminal inversora. Las resistencias R_a y R_b conectadas a la terminal no inversora se utilizan para reducir el voltaje aplicado en esta terminal. Se utiliza el teorema de superposición para calcular el voltaje de salida V_o .

$$\text{Donde: } V_o = (V_a - V_b) \frac{R_f}{R_1} \text{ Ecuación 4}$$

Para esta aplicación (restador) se realizaron los siguientes casos:

Caso 1: En este diseño **figura 5a**, se utilizó dos señales de entrada, 5 voltios a una frecuencia 150Hz y 2 voltios a la misma frecuencia, voltaje de alimentación de +18 y -18 voltios y resistencias con valor de 1 K Ω . Se comprobó que efectivamente la señal de salida es la resta y amplificación de las dos amplitudes. Aplicando la **ecuación 4** $V_o = -3$, comprobando que la señal de salida es invertida debido a que V_b es mayor que V_a . En la **figura 5b**, se muestra la señal de entrada de 5 voltios (azul) y la señal de salida (morado).

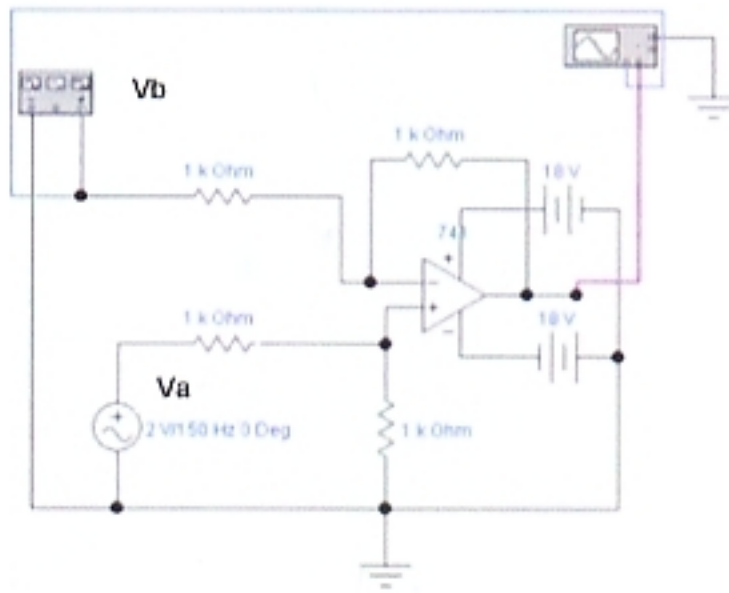


Figura 5a

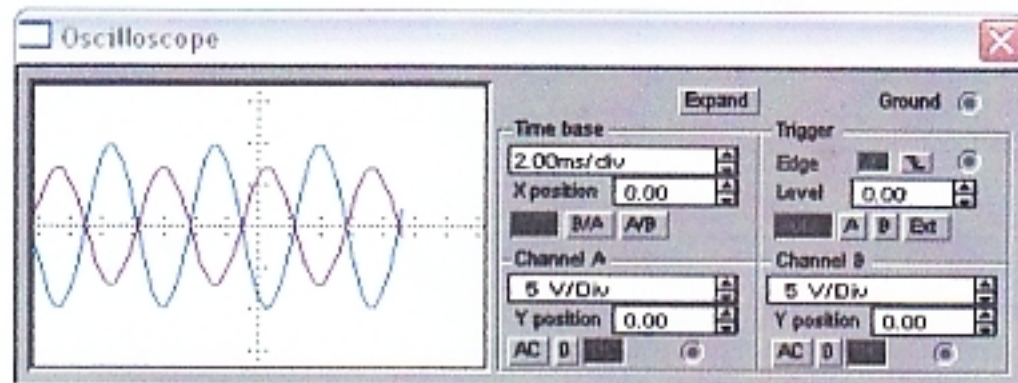


Figura 5b.

Caso 2: RESTADOR CON ENTRADA NO INVERSORA MAYOR. Para este caso se procedió a dejar el diseño de la figura 5a., pero se cambiaron los voltajes de entrada dejando $V_b = 2$ voltios y $V_a = 5$ voltios, esto dio como resultado una señal de salida no invertida porque $V_a > V_b$. Y se muestra a continuación en la figura 5c. la señal de entrada de 5 voltios (azul) y la señal de salida (morado).

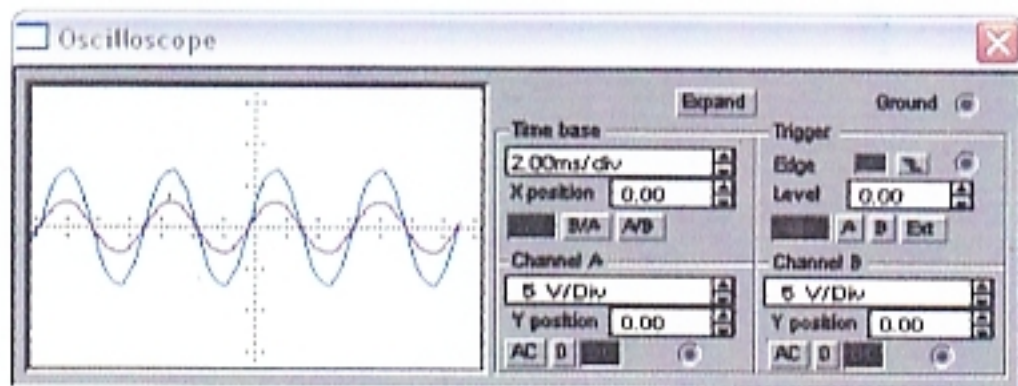


Figura 5c.

6. INTEGRADOR

Un integrador se obtiene sustituyendo en la configuración inversora la resistencia de realimentación por un condensador. La tensión de salida es igual a la integral de una señal analógica a la entrada.

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i(t) dt + Cte \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde Cte depende de la carga inicial del condensador.

Desarrollando la **ecuación 5** llegamos a que:

$$V_o(t) = -\frac{1}{RC} \int A \sin 377t = -\frac{A}{RC} \int \sin 377t dt$$

Este valor depende del valor del condensador, resistencia y A que es el valor de amplitud de entrada.

Para esta aplicación (integrador) se realizaron los siguientes casos:

Caso 1: En este ejercicio **figura 6a**, con el integrador se comprobó que la integral de una señal cuadrada es una triangular como se muestra en la **figura 6b**. Utilizando un condensador de 1 μF , una resistencia de 1 $\text{k}\Omega$, voltaje de alimentación +18 y -18 voltios, amplitud 5 voltios y frecuencia 150 Hz. Este circuito funciona bien entre frecuencias de 40- 400 Hz. También se realizo este ejercicio con una señal senoidal **figura 6c**.

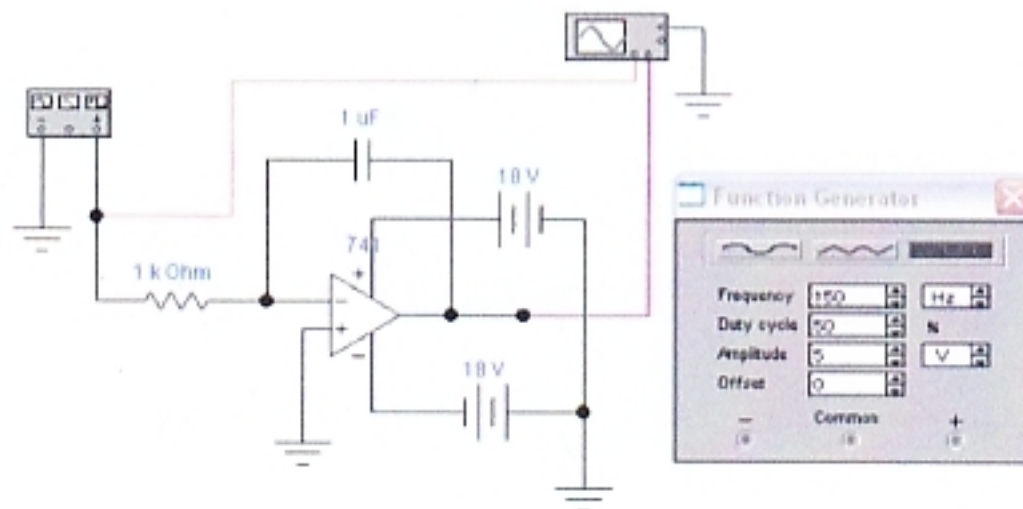


Figura 6a.



Figura 6b.

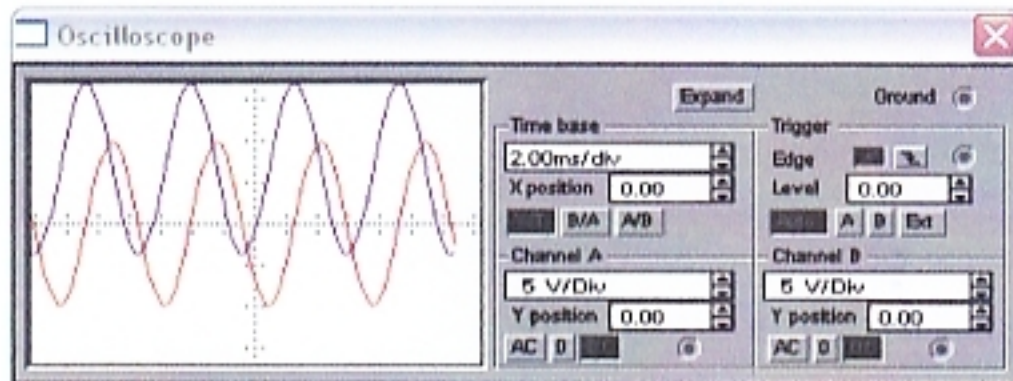


Figura 6c.

Caso 2: En este ejercicio utilizamos el circuito de la figura 6a., se comprobó que la integral de una señal triangular es una parábola similar a la función seno como se muestra en la figura 6d.

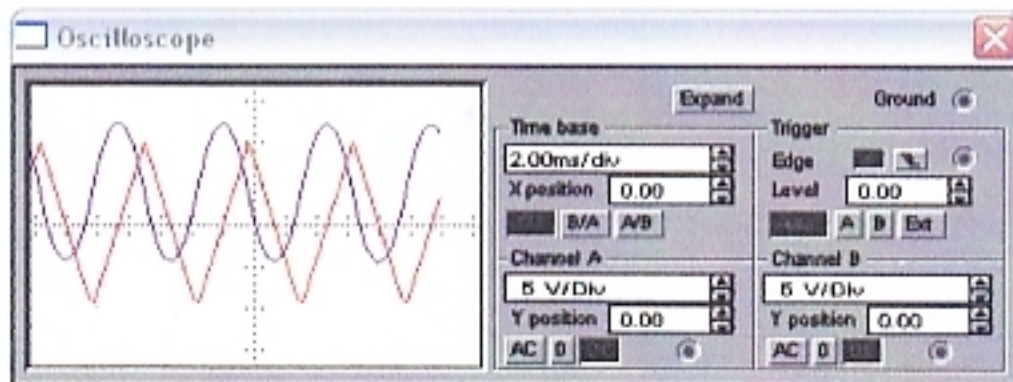


Figura 6d.

7. DERIVADOR

Si la resistencia R1 del amplificador inversor se reemplaza por un capacitor C1, como se muestra en la **figura 7a.**, el circuito funciona como derivador.

Cuando aumenta la frecuencia, la impedancia Z1 de C1 disminuye, y el voltaje de salida aumenta. Por lo tanto, el circuito derivador se comporta como una red pasa altas.

Si el voltaje de entrada experimenta un cambio abrupto debido al ruido o la interferencia captada, aparecen espigas a la salida, y el circuito se comporta como un amplificador de ruido.

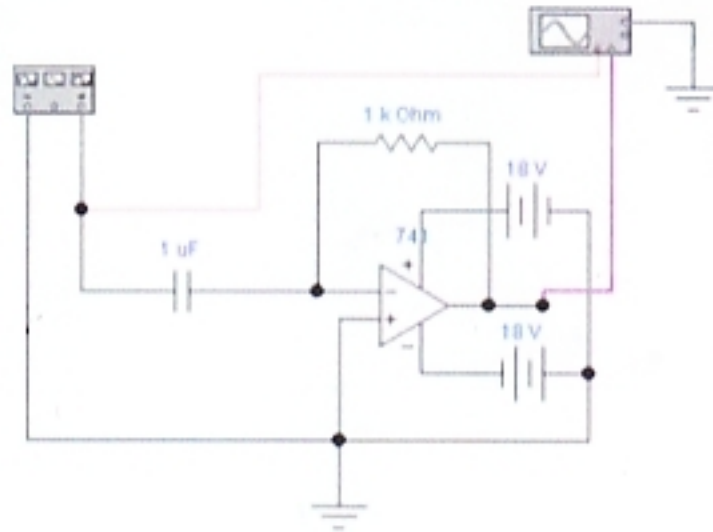


Figura 7a.

Para esta aplicación (derivador) se efectuaron los siguientes casos:

Caso 1: Para este primer caso con el derivador **figura 7a.** con entrada senoidal se utilizó los siguientes valores: amplitud 5 voltios, frecuencia 150 Hz, condensador 1 μF y resistencia 1 K Ω , se comprobó que la salida es una señal coseno **figura 7b**

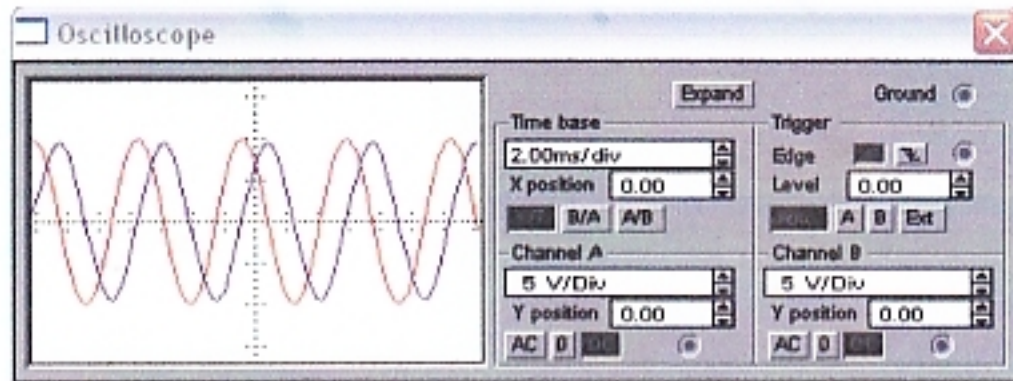


Figura 7b.

Caso 2: GENERADOR PULSOS DE CORTA DURACIÓN. Para el segundo ejercicio con el derivador **figura 7c.** con entrada cuadrada se utilizo los siguientes valores: amplitud 5 voltios, frecuencia 150 Hz, condensador 0.1 μ F y resistencia 10 Ω , se comprobó que la salida es similar a una señal de impulsos, puesto que para la señal cuadrada en la mayoría de sus partes la pendiente vale 0, es decir, que a la salida nos arroja 0 voltios en esas partes y para las partes de las esquinas nos va a arrojar un valor diferente, esto debido a que estas señales no son exactamente cuadradas sino que en las esquinas tienden a declinar **figura 7d.**

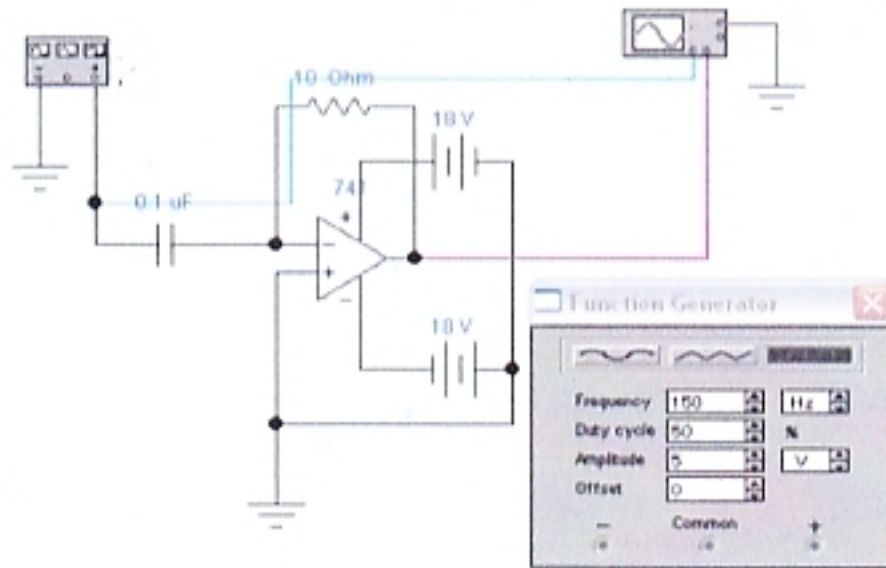


Figura 7c.

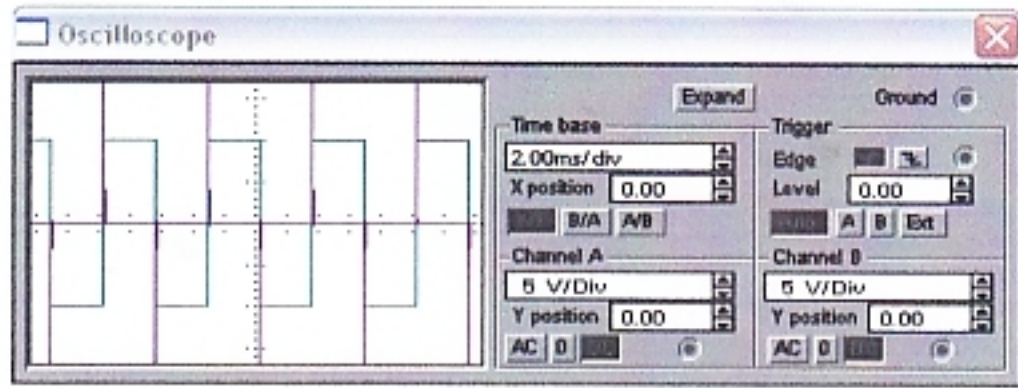


Figura 7d.

8. RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

Esta aplicación hace una rectificación de las señales positivas, es decir, que cuando la señal de entrada está en el semiciclo positivo el diodo conduce y durante el semiciclo negativo no conduce y la señal en ese momento vale cero, y durante el positivo es igual al valor de la entrada. Este circuito presenta una gran ventaja respecto al rectificador de media onda con diodo que comúnmente se trabaja en electrónica. Ya que con el amplificador desaparece la caída de tensión del diodo y este no rectifica señales menores a los 0.7 voltios.

Para esta aplicación (rectificador de media onda) se efectuaron los siguientes casos:

Caso 1: Para el primer circuito con el rectificador de media onda **figura 8a**, se aplicaron los siguientes valores: amplitud 0.5 voltios, frecuencia 150 Hz, voltaje de alimentación +18 y -18 voltios, diodo y resistencia 1 K Ω , efectivamente la señal de salida es la rectificación de la señal de entrada sin caída de voltaje por el diodo **figura 8b**.

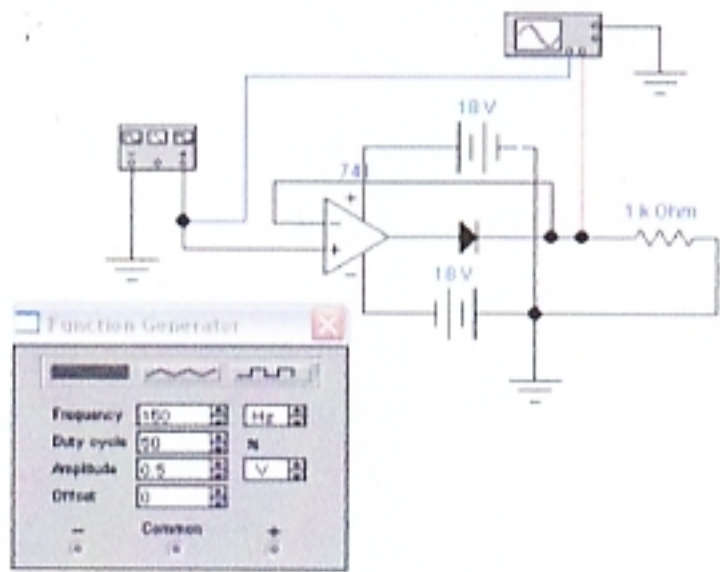


Figura 8a

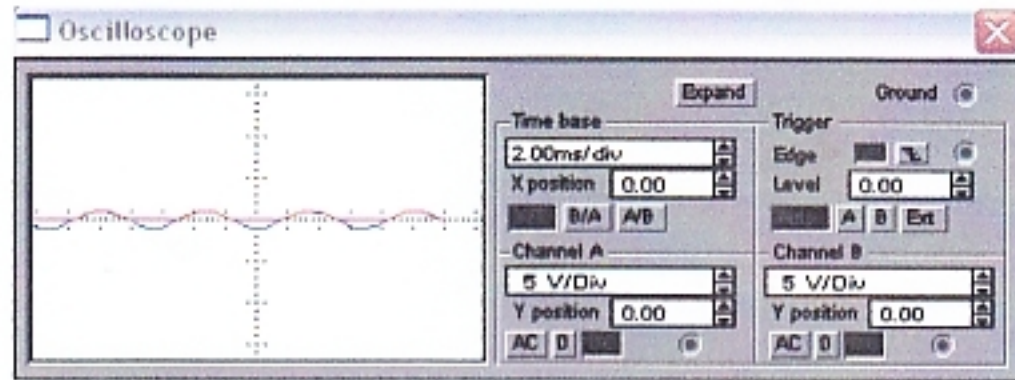


Figura 18b.

Caso 2: Basados en el diseño de la figura 8a., aplicamos una amplitud de 5 voltios, se comprobó que la salida es media rectificación de la entrada sin caída de voltaje por el diodo figura 8c.

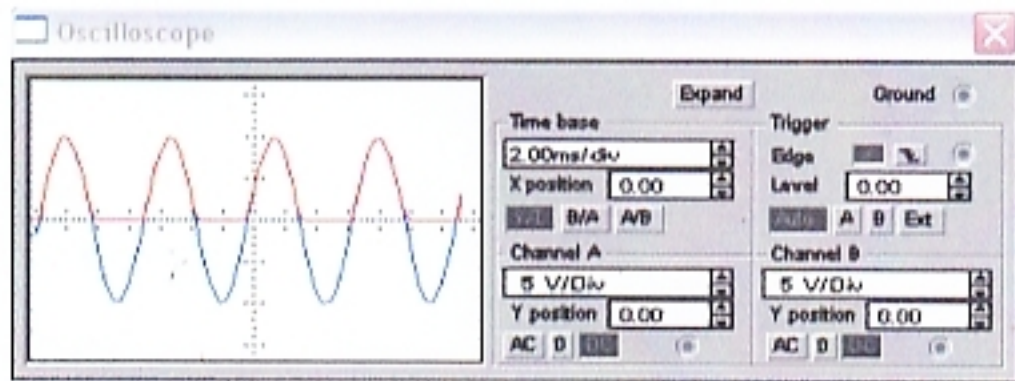


Figura 8c.

9. RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA

Esta aplicación realiza una rectificación de las señales positivas y negativas, es decir, que cuando la señal de entrada esta en el semiciclo positivo un diodo conduce y durante el semiciclo negativo conduce el otro; el semiciclo positivo de la salida es igual al valor del semiciclo positivo de la entrada y el semiciclo negativo de la salida es igual al valor del semiciclo negativo de la entrada pero positivo. Este circuito presenta una gran ventaja respecto al rectificador de onda completa con diodos que comúnmente se trabaja en electrónica. Ya que con el amplificador desaparece la caída de tensión de los diodos y este no rectifica señales menores a los 1.4 voltios.

Para esta aplicación (rectificador de onda completa) se realizaron los siguientes casos:

Caso 1: Para el diseño del rectificador de onda completa **figura 9a**, se aplicaron los siguientes valores: amplitud 3 voltios, frecuencia 150 Hz, voltaje de alimentación +18 y -18 voltios, diodos, 4 resistencias 1 K Ω y 1 resistencia 500 Ω , efectivamente la salida es la rectificación completa de la entrada sin caída de voltaje por los diodos **figura 9b**.

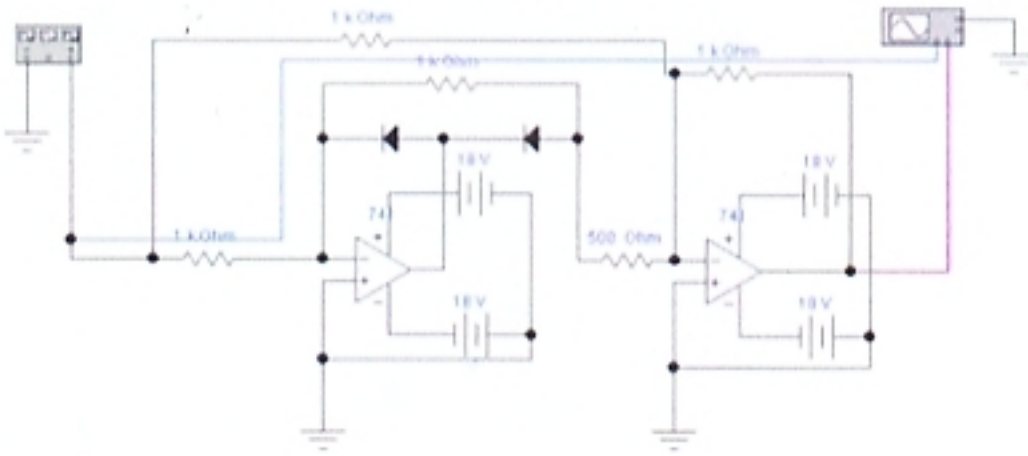


Figura 9a

10. FILTROS

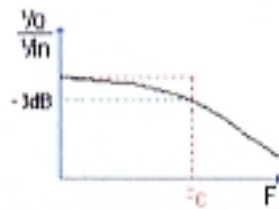
Un filtro es un circuito selectivo de frecuencias que permite el paso de una banda específica de frecuencias, y que bloquea o atenúa señales con frecuencias fuera de esta banda. En general, estas señales son voltajes. Los filtros que emplean solo elementos pasivos tales como capacitores, inductores y resistores, se llaman filtros pasivos. Los filtros que utilizan las propiedades de los amplificadores operacionales, además de resistores y capacitores, se llaman filtros activos o, más a menudo, filtros analógicos.

En esta parte del documento se presentan algunos filtros activos y analizaremos algunos de los casos más comunes.

10.1 FILTRO PASA- BAJAS

Un filtro pasa- bajas es un filtro que deja pasar todas las frecuencias por debajo de la llamada frecuencia de corte o frecuencia límite. Las frecuencias más altas las atenúa o rebaja y por tanto no pueden pasar. (Ver **figura 10.**)

Nota: F_c (frecuencia de corte) es el punto en la curva de transferencia en que salida ha caído 3 dB (decibeles) desde su valor máximo.



Curva de respuesta de un filtro Pasa bajo.
Las líneas discontinuas rojas representan el filtro pasac. bajo ideal

Figura 10.

Para esta aplicación (filtro pasa- bajas) se realizó el siguiente ejercicio:

Ejercicio: En la **figura 10a.** se observa la configuración de un filtro pasa- bajas de segundo orden y analizamos algunos de los casos más comunes que se presentan con esta aplicación. Para este circuito se aplicaron frecuencias menores y mayores a la frecuencia de corte. Utilizamos el Amplificador TL082, 3 resistencias de 1 M Ω , 2 condensadores de 1 nF, señal de entrada con amplitud de 5 voltios, voltaje de polarización +18 y -18 voltios. Obtuvimos el valor de la frecuencia F_c (frecuencia de corte) con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$F_c = \frac{0.0481}{RC} \text{ (Ecuación 6) } F_c = 177 \text{ Hz.}, \text{ y la señal de Bode Plotter}$$

Y la ganancia del filtro será: $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1}$ (Ecuación 7) $A_v = 1$.

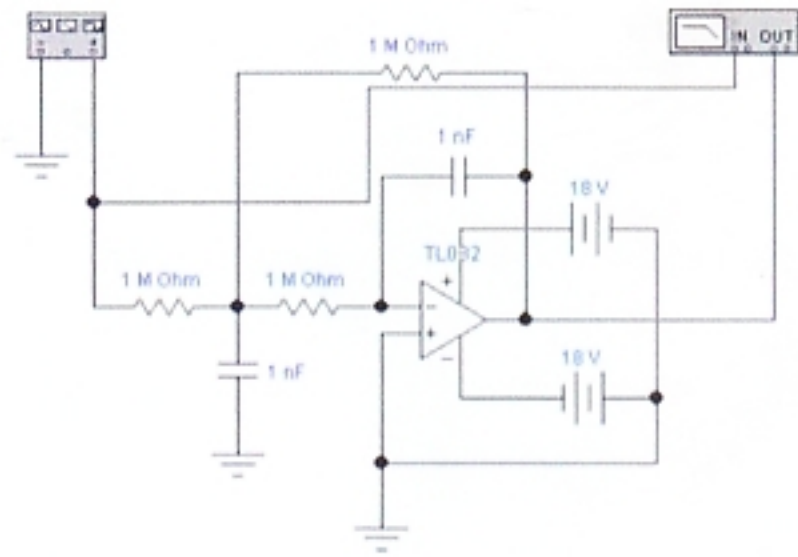
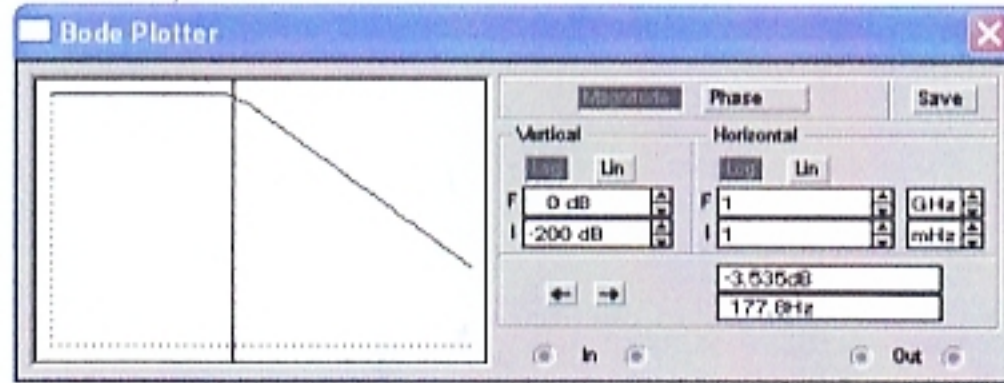


Figura 10a.

Señal de Bode Plotter

Frecuencia de Corte 177 Hz.



Si se traza la frecuencia con una escala logarítmica, la grafica se conoce como grafica de Bode y la rapidez de atenuación gradual, o pendiente asintónica se mide en múltiplos de ± 6 dB por octava o ± 20 dB por década, es decir que por cada 20 dB aumenta 1 década como se muestra en las figuras 10b., efectivamente comprobamos que colocando el cursor del Bode Plotter en 1 KHz. obtenemos -16 dB y para la siguiente década 10 KHz. obtenemos -36 dB.

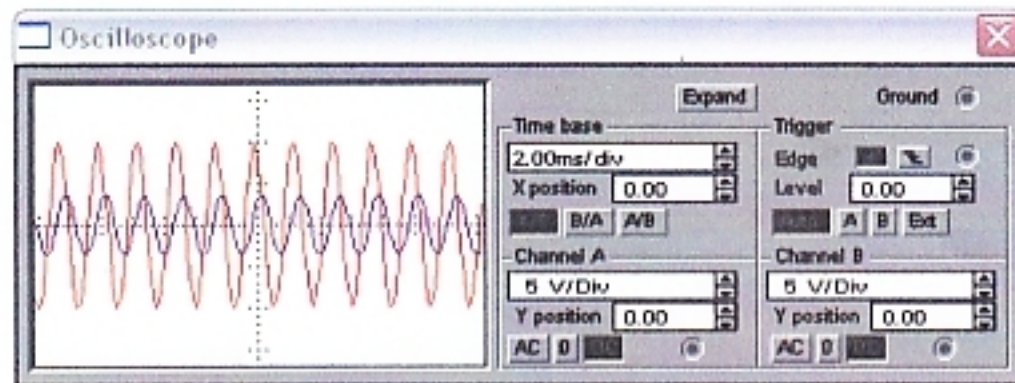


Figura 10d.

10.2 FILTRO PASA-ALTAS

Igualmente tiene una frecuencia de corte, a partir de la cual deja pasar todas las frecuencias mayores, atenuando o anulando todas las señales que tengan una frecuencia menor. (Ver figura 11.)

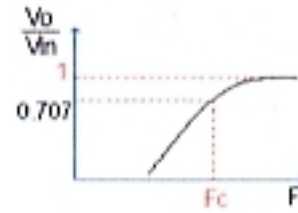


Figura 11.

Para esta aplicación (filtro pasa- altas) se realizó el siguiente ejemplo:

Ejemplo: En la figura 11a. se muestra la configuración del filtro pasa- altas. Para este ejemplo, utilizamos el Amplificador LM741, 2 resistencias de 48.2 K Ω , 1 resistencia de 23 K Ω , 1 condensador de 1 nF, señal de entrada con amplitud de 5 voltios, voltaje de polarización +18 y -18 voltios. De acuerdo a la señal de Bode Plotter figura 11b. podemos observar que la frecuencia de corte es igual a 3KHz.

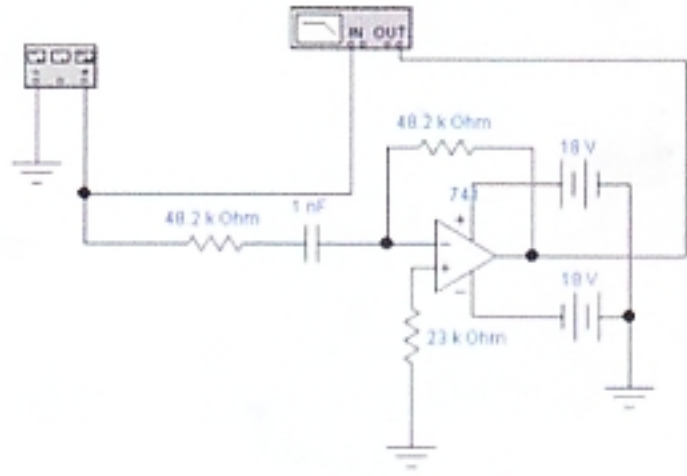


Figura 11a.

Señal de Bode Plotter

Frecuencia de Corte: 3 KHz.

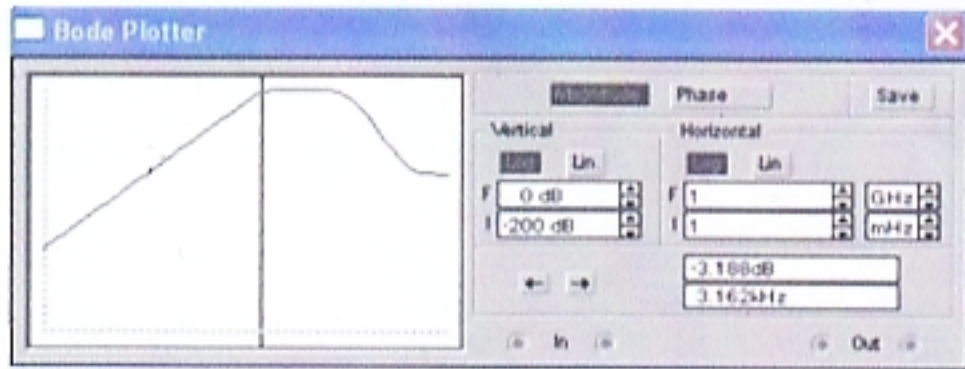
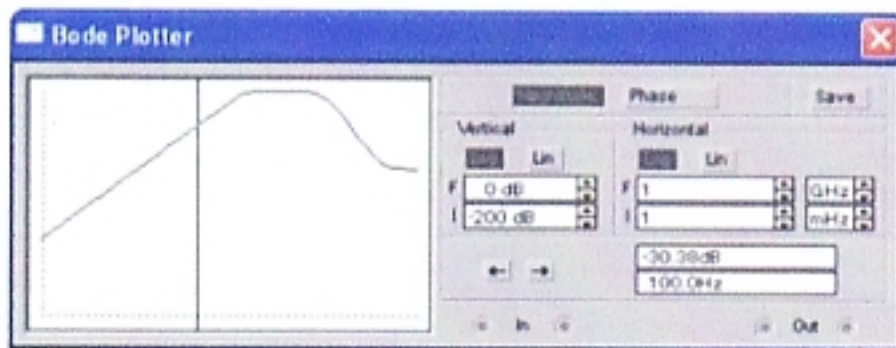
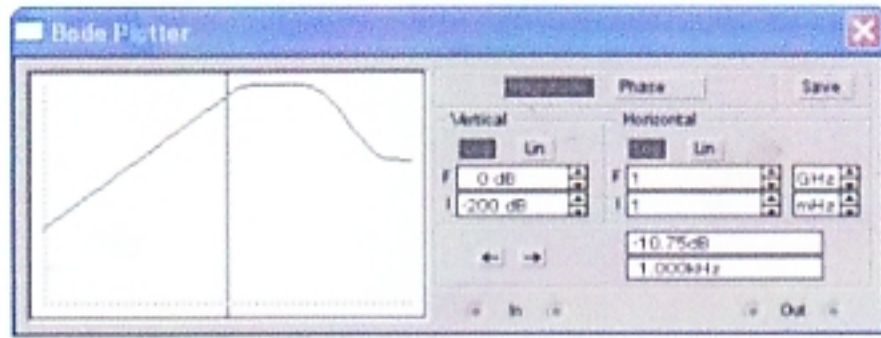


Figura 11b.

Si se traza la grafica de Bode que se mide en múltiplos de ± 6 dB por octava o ± 20 dB por década, como se muestra en las figuras 11c., efectivamente comprobamos que colocando el cursor de Bode Plotter en 100 Hz obtenemos -30 dB y para la siguiente década 1 KHz. obtenemos -10 dB.





Figuras 11c.

- Señal del Osciloscopio cuando la frecuencia es menor (900 Hz) a la frecuencia de corte. Señal de entrada verde y señal de salida azul **figura 11d.**

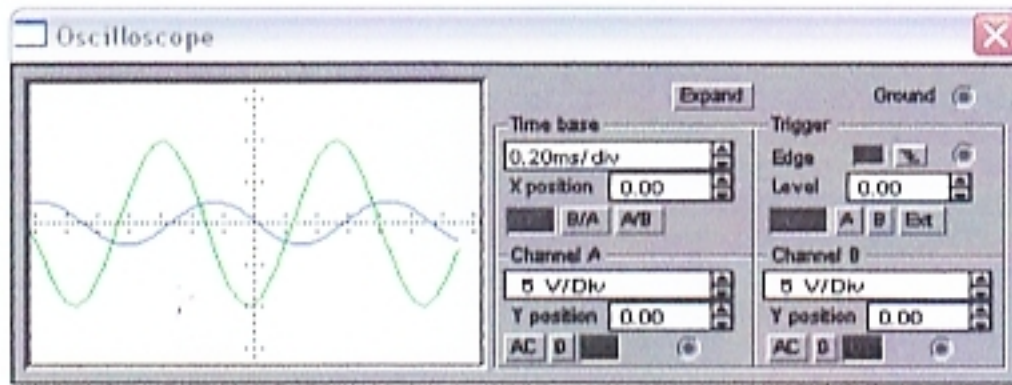


Figura 11d.

- Señal del Osciloscopio cuando la frecuencia es mayor (10 KHz) a la frecuencia de corte. Señal de entrada verde y señal de salida azul **figura 11e.**

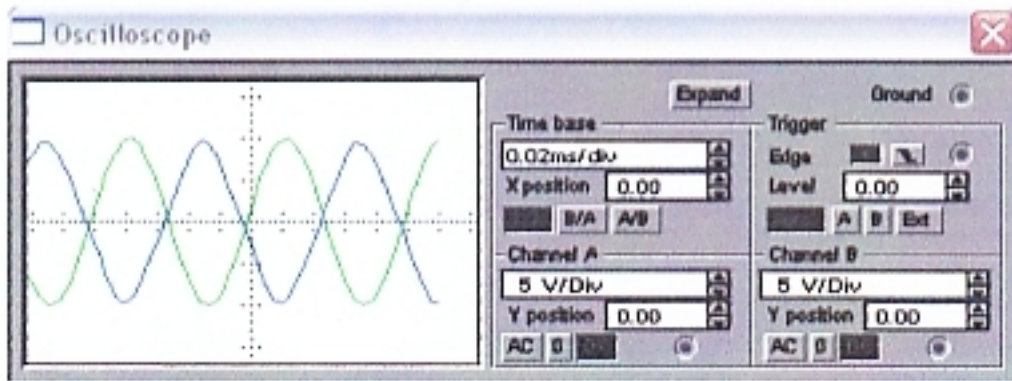


Figura 11e.

10.3 FILTRO PASA- BANDA

Un filtro pasa bandas posee una banda de paso entre dos frecuencias de corte f_1 y f_2 de modo que f_2 mayor que f_1 . Cualquier frecuencia que este fuera de este rango es atenuada. También se dice que selecciona un ancho de banda determinado y rechaza las demás. (Ver **figura 12.**)

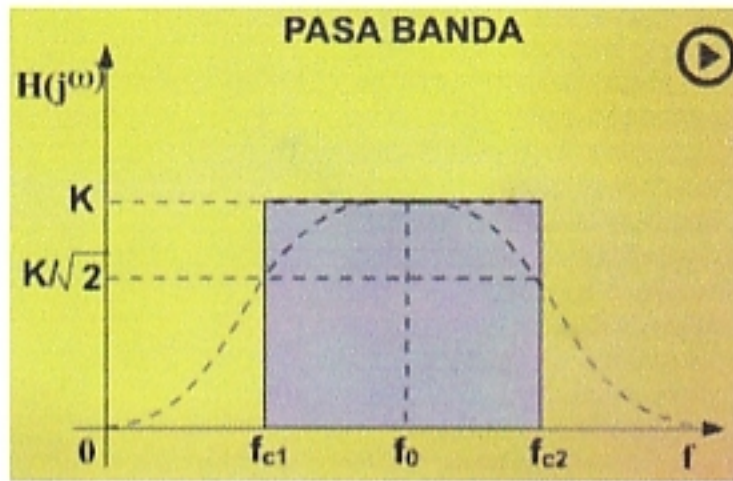


Figura 12.

Para esta aplicación (filtro pasa- bandas) se realizo el siguiente caso:

Caso: En la **figura 12a.** vemos la configuración del filtro pasa- bandas y verificamos que se cumple la teoría mencionada para este diseño. En este diseño se aplicaron frecuencias menores, entre y mayores a la banda de paso.

Para este caso, utilizamos el Amplificador LM741, 3 resistencias de 16.9 K Ω , 270 K Ω y 5.6 K Ω , 2 condensadores de 4.7 nF, señal de entrada con amplitud de 1 voltio, voltaje de polarizacion de +18 y -18 voltios. De acuerdo a la señal de Bode Plotter **figura 12b.** podemos observar que la banda de paso esta entre 100 Hz.- 10 KHz. **Fc= 1 KHz.**

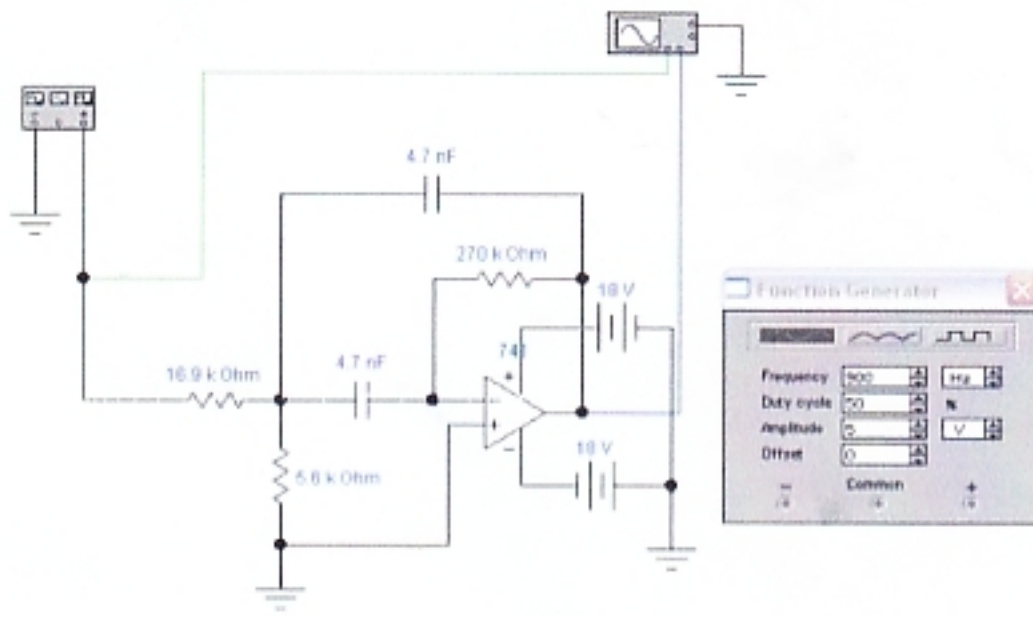


Figura 12a.

SEÑAL DE BODE PLOTTER

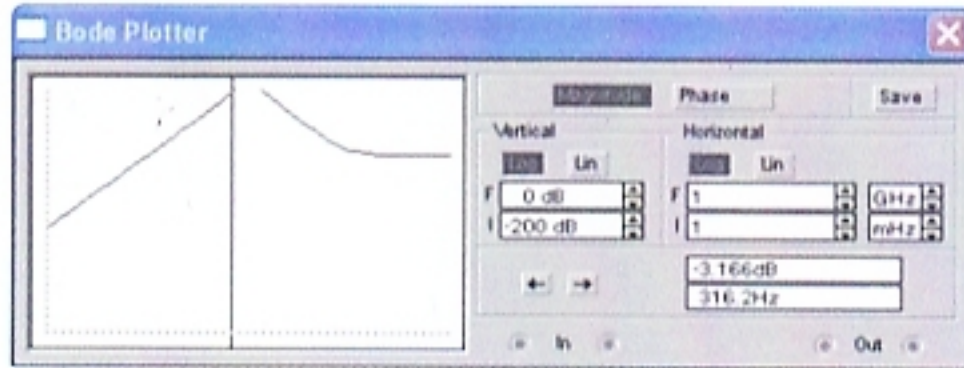
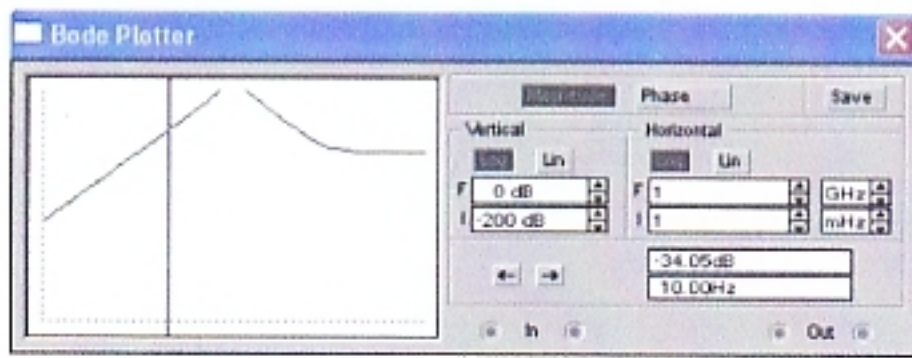
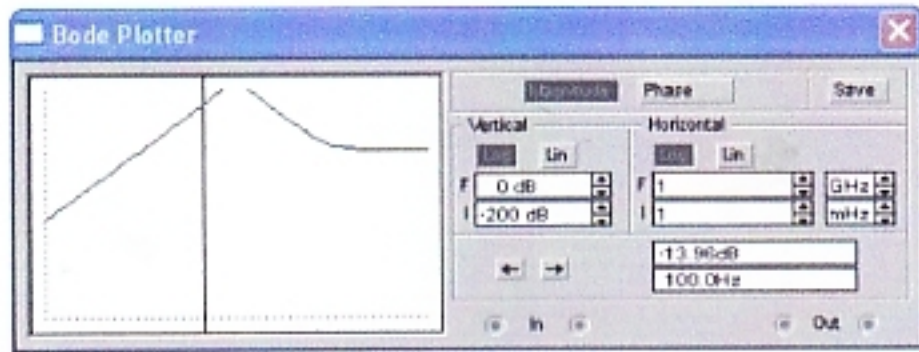


Figura 12b.

Trazando la grafica de Bode como se muestra en las figuras 12c., efectivamente comprobamos que colocando el cursor de Bode Plotter en 10 Hz obtenemos -34 dB y para la siguiente década 100 Hz obtenemos -14 dB.





Figuras 12c.

- Señal del Osciloscopio cuando la frecuencia es menor (50 Hz) a la banda de paso. Señal de entrada verde y señal de salida azul figura 12d.

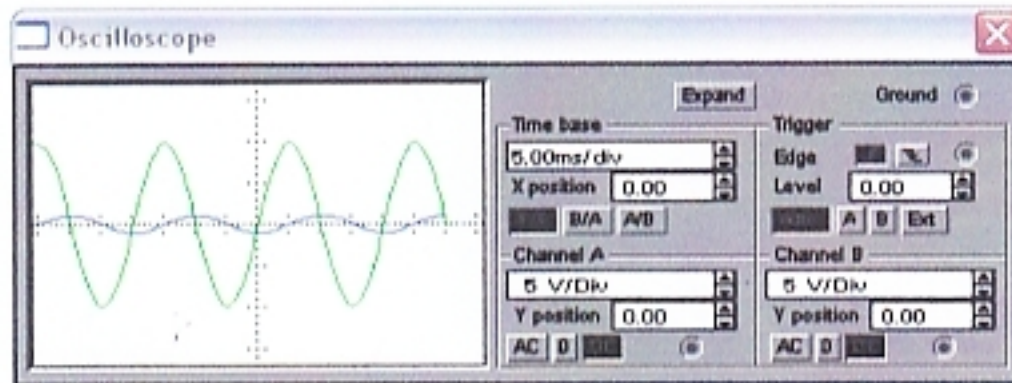


Figura 12d.

- Señal del Osciloscopio cuando la frecuencia esta entre la banda de paso. (2 KHz). Señal de entrada verde y señal de salida azul figura 12e.

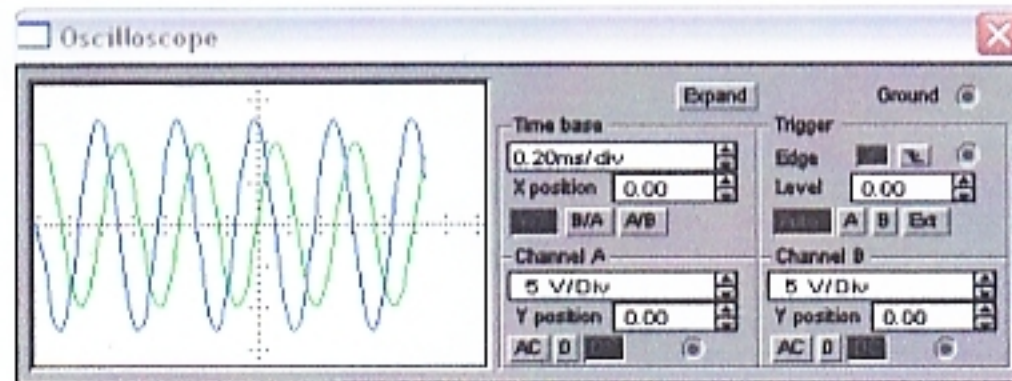


Figura 12e.



11. CONCLUSIONES

- La simulación para este tipo de proyectos es una herramienta muy útil que nos ayudó mucho para todos los casos y ejercicios que realizamos.
- Una de las características limitantes de los Amplificadores Operacionales es que presentan corte a altas frecuencias, esto los diferencia entre sí, por ejemplo, el TL082 tiene una caída de frecuencia a 100 KHz, mientras que el LM741 tiene una caída de frecuencia a 10 KHz; por lo tanto el mejor es el TL082, pero por costo y facilidad de manejo el LM741 es el más utilizado.
- Una de las fortalezas de los Amplificadores Operacionales es la de realizar operaciones matemáticas analógicas con lo cual se puede llegar a procesar señales sin necesidad de digitalizarlas.
- Luego de realizar este proyecto avanzamos y afianzamos nuestros conocimientos sobre los Amplificadores Operacionales y sus múltiples aplicaciones.
- El presentar una solución modular conlleva a facilitar el trabajo de alumnos y docentes de laboratorio, su facilidad en la implementación de prácticas lo convierte en una ayuda didáctica de gran importancia.
- Una de las funciones del tecnólogo es implementar o desarrollar equipos que sean solución a problemas reales de la sociedad, en este caso de la comunidad educativa. Este proyecto nos permitió conocer y explorar esta parte del perfil profesional del tecnólogo UNITEISTA, esperamos continuar en este desarrollo y retribuir en algo lo que UNITEC nos ha brindado.

BIBLIOGRAFÍA

HORENSTEIN, Mark N., SANCHEZ GARCÍA Gabriel y SUAREZ FERNADEZ Agustín. Circuitos y dispositivos microelectrónicos. 2 ed. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1997. P.37-84.

DORF, Richard. Circuitos eléctricos introducción al análisis y diseños. 2 ed. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A., 1995. P.237-263.

MALVINO, Albert Paul. Principios de electrónica. 5 ed. Colombia: McGraw-Hill Interamericana de España, S.A., 1994. P.639-858.

RASHID, Muhammad H. Circuitos microelectrónicos, análisis y diseño. México: International Thomson Editores, S.A., 2000. P.273-319, 364-367.

WOLF, Stanley y SMITH, Richard. Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio.

PÁGINAS EN INTERNET

www.electron.es.vg

www.geocites.com

www.unicrom.com

www.elprisma.com

www.conocimientosweb.net/portal/directorio-file-1835-18K

www.wannadoo.es/chyryes/tutoriales/opampo.htm