

## Capítulo III

### Diseño

#### 3.1. Selección del generador

Debido a que el generador de funciones busca tener un circuito sencillo que facilite su construcción y su mantenimiento, se seleccionó un circuito integrado que nos entrega las formas de onda triangular, cuadrada y sinusoidal.

Se seleccionó el generador de funciones XR2206 de Exar, debido a que éste entrega las tres formas de onda requeridas, así mismo tiene un intervalo de frecuencias similar al requerido y tiene un bajo costo. Éste, de acuerdo a su hoja de especificaciones, presenta una distorsión típica en la onda sinusoidal de 0.5% y una frecuencia máxima de 1 MHz (típica de 500 kHz).

Se compone de cuatro bloques funcionales:

1. Un oscilador controlado por voltaje (VCO)
2. Un multiplicador analógico y formador de onda
3. Una etapa de amplificación
4. Un conjunto de interruptores de corriente

En la *figura 3.1* se muestra el diagrama de bloques del circuito XR2206 propuesto en su hoja de especificaciones.

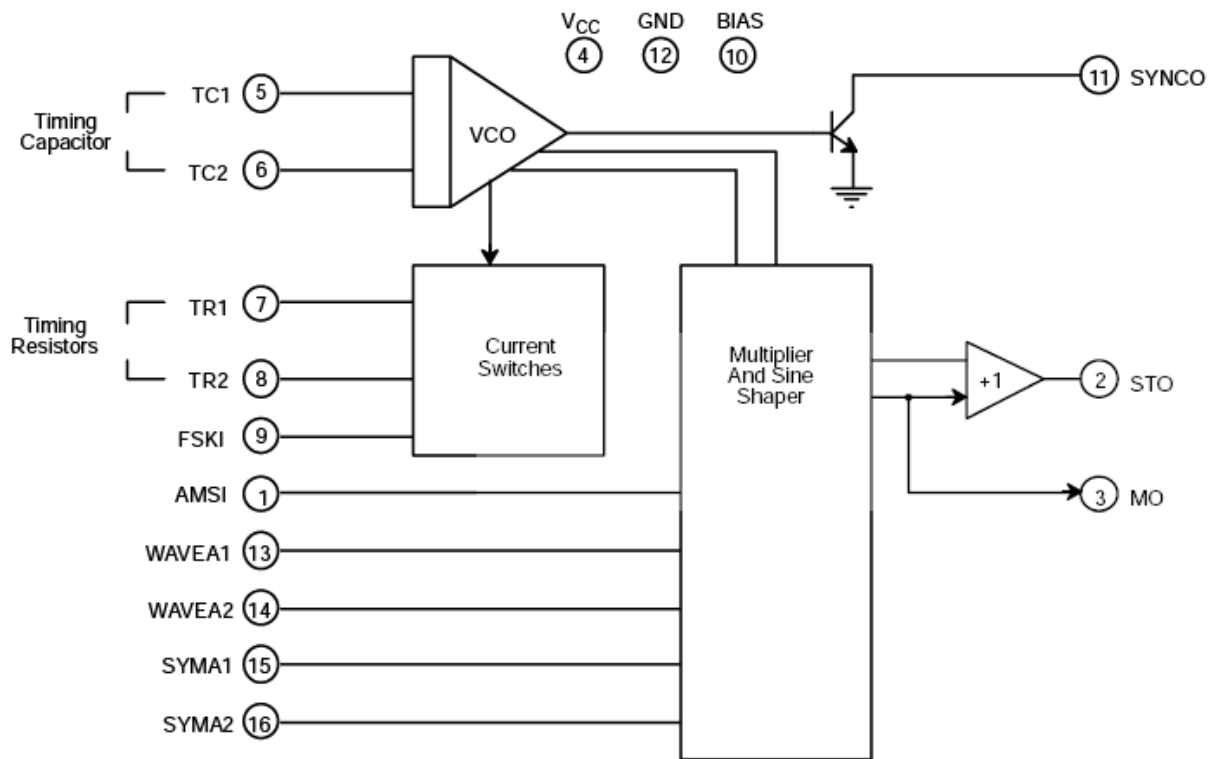


Figura 3.1 Diagrama esquemático del XR2206.

El VCO de este generador funciona por medio de un sistema no lineal, formado por un integrador y un comparador con histéresis. Un capacitor toma la función del integrador, alimentado por una fuente de corriente, la cual cambia de sentido de acuerdo a la salida del comparador, que a su vez compara el valor de tensión entre las terminales del capacitor. Por lo tanto, la frecuencia de este oscilador depende de la magnitud de la corriente y del capacitor utilizado.

En las *figuras 3.2 y 3.3* se ilustra lo explicado en el párrafo anterior, primero con un diagrama general y después en su interpretación eléctrica.

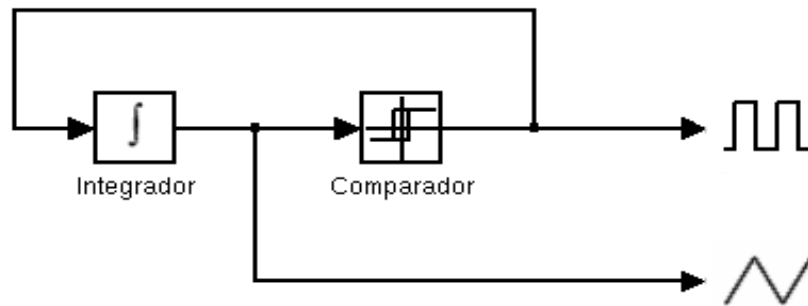


Figura 3.2. Diagrama general del generador de onda cuadrada y triangular.

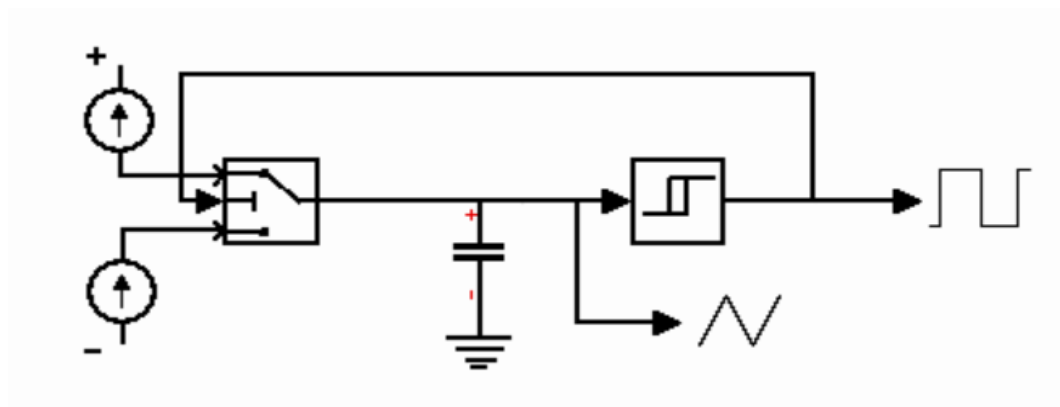


Figura 3.3. Diagrama eléctrico del generador de onda cuadrada y triangular.

De este modo se obtienen las formas de onda triangular y cuadrada. Para poder generar la señal sinusoidal se utiliza el módulo de conformador de onda, explicado más adelante.

Como el VCO entrega una frecuencia proporcional a la corriente, ésta es regulada desde el módulo de interruptores de corriente con resistencias externas; lo cual nos permite colocar un potenciómetro en la terminal siete del XR2206 para variar la frecuencia.

La frecuencia generada por el VCO también varía en función del capacitor conectado entre las terminales cinco y seis. De tal forma que la frecuencia de salida del dispositivo queda en función de R y C, donde R es el valor tomado por el potenciómetro y C el valor del capacitor, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$f = 1 / RC \text{ Hz} \quad (3.1)$$

Se recomienda que se usen capacitores dentro del intervalo de 1000 pF a 100uF, y la resistencia dentro del intervalo de 1 kOhm a 2 MOhm.

El bloque del multiplicador y conformador de onda está encargado de convertir la señal triangular en sinusoidal, así como realizar multiplicaciones con otras ondas, que para propósitos de esta tesis no resultan relevantes.

El conformador de ondas funciona a partir de un circuito no lineal basado en diodos o transistores apareados, a cuya entrada se aplica la señal triangular. Los diodos van variando la pendiente en forma sucesiva, disminuyéndola conforme la entrada es mayor, hasta aproximarse a la onda sinusoidal.

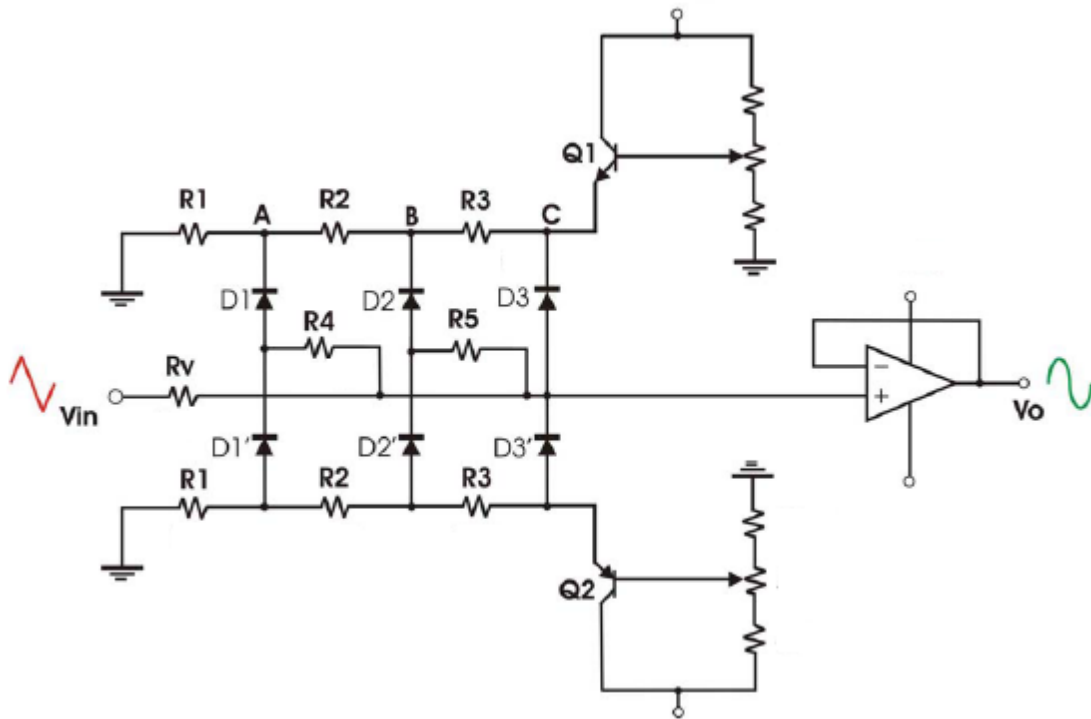


Figura 3.4. Circuito ejemplo de un conformador de ondas.

El circuito de ejemplo de la *figura 3.4* explica el funcionamiento de un conformador de ondas, en el cual a la entrada se encuentra la señal triangular. Los transistores Q1 y Q2 generan una corriente, que gracias a las resistencias R1, R2 y R3 genera diferentes voltajes en los nodos A, B y C. Los diodos estarán polarizados en sentido inverso hasta que el voltaje de la señal aumente por encima del voltaje en A, lo que polariza el diodo D1 en sentido directo. Por lo que el voltaje de salida aumenta más lentamente debido al divisor de tensión Rv-R4.

Este proceso se repite para cada uno de los diodos, pero en el último diodo al no tener una resistencia causa la pendiente nula de la cresta de la onda sinusoidal. Los diodos D1', D2' y D3' corresponden a las tensiones negativas de la señal de entrada. Considerando que los diodos tienen una característica exponencial, mostrada en la fórmula 3.1, se pueden obtener bajos factores de distorsión con un pequeño número de diodos.

$$I = I_S \left( e^{V_D / (nV_T)} - 1 \right) \quad (3.1)$$

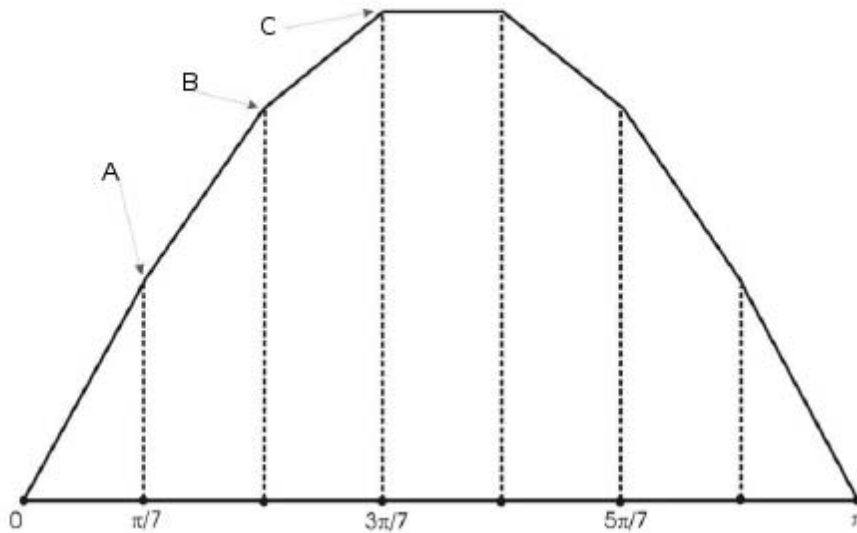


Figura 3.5 Señal de salida del conformador de onda.

En la *figura 3.5* se representa la salida del ciclo positivo que tiene el circuito de la *figura 3.4*, donde se puede observar que se aproxima por medio de rectas a la señal sinusoidal, y cada uno de los voltajes de los diodos forman el punto donde se cambia la pendiente de señal.

La configuración seleccionada para el funcionamiento del XR2206 es la siguiente:

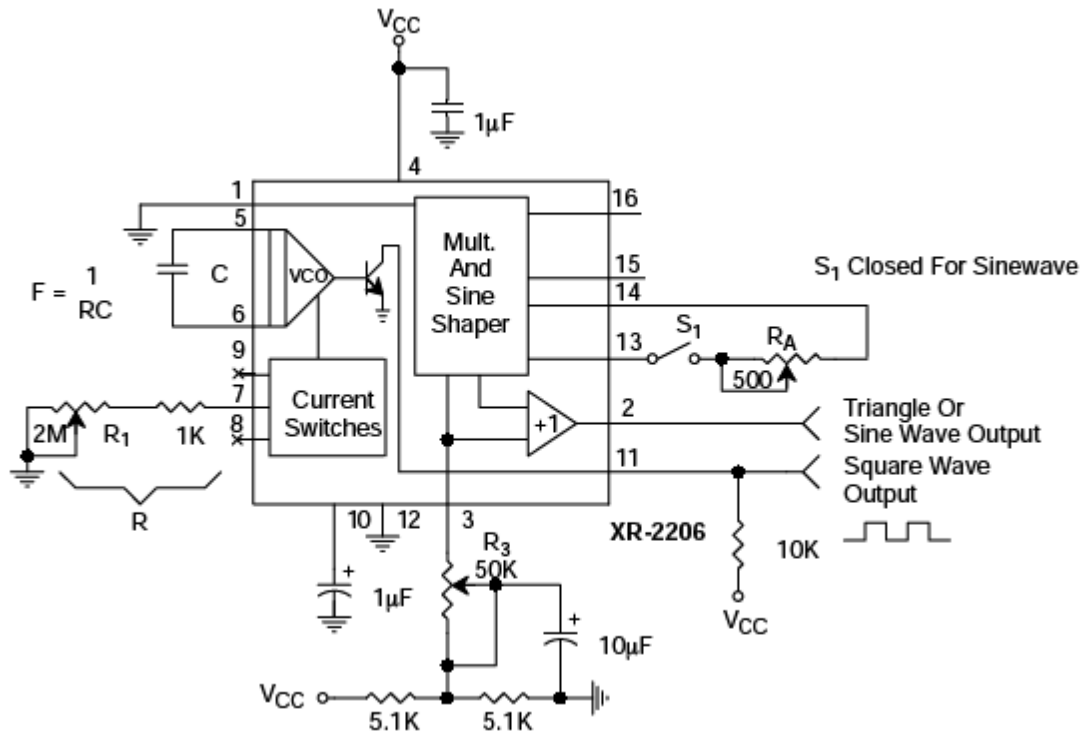


Figura 3.6. Configuración utilizada del XR2206.

En el caso particular de la configuración de la *figura 3.6*, el circuito se encuentra alimentado de  $V_{cc}$  a tierra, haciendo que todas las señales de salida tengan una componente de directa de la mitad de  $V_{cc}$ . Como deseamos una señal sin componente de directa se utiliza una adaptación de esta configuración, alimentando con  $-V_{cc}$  en todos los lugares donde está conectada la tierra en el diagrama y conectando en la terminal tres del circuito, por medio de un potenciómetro, a la tierra del circuito. Esto elimina esta componente de directa. La configuración resultante puede ser observada en la *figura 3.7*.

En la *tabla 3.1* se puede observar una pequeña descripción de las terminales.

Pin#	Uso	Tipo
1	-Vcc	Entrada
2	Salida de la señal triangular y sinusoidal	Salida
3	Ajuste de amplitud	Salida
4	Vcc	
5	Capacitor de frecuencia	Entrada
6	Capacitor de frecuencia	Entrada
7	Resistencia de frecuencia	Salida
8	NC	
9	NC	
10	Referencia de voltaje interno	Salida
11	Salida de la señal cuadrada	Salida
12	-Vcc	
13	Ajuste de forma de onda	Entrada
14	Ajuste de forma de onda	Entrada
15	NC	
16	NC	

Tabla 3.1. Conexiones en las terminales del XR2206.

En la *figura 3.7* se puede ver el diagrama esquemático utilizado para el XR2206. Se utilizan los valores de resistencias sugeridas por el fabricante, cambiando el potenciómetro de 500 Ohms por uno de 1 k, para tener un mayor rango de ajuste en el conformador de onda.



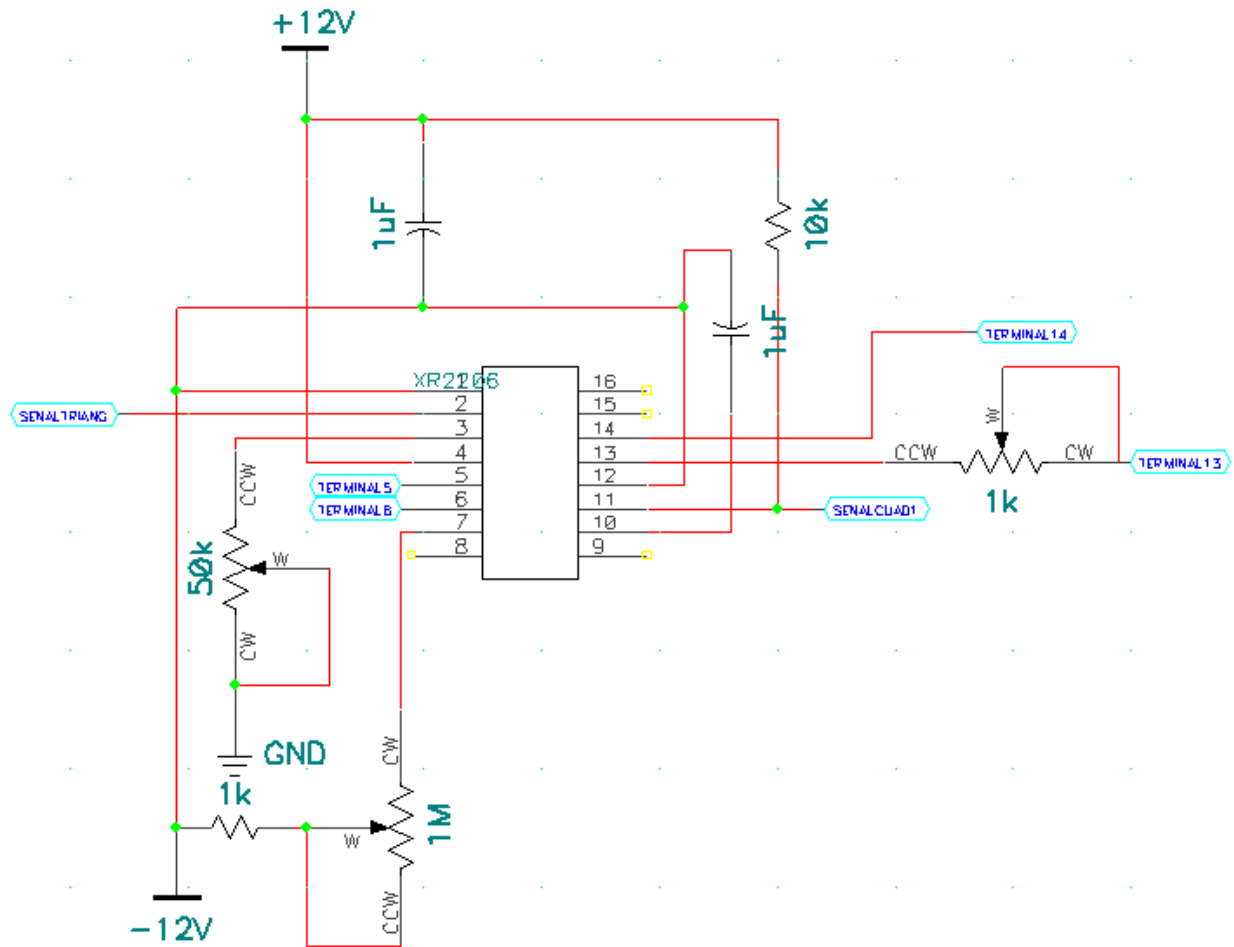


Figura 3.7. Diagrama esquemático del generador de funciones implementado con el XR2206.

### 3.2. Selección de frecuencias

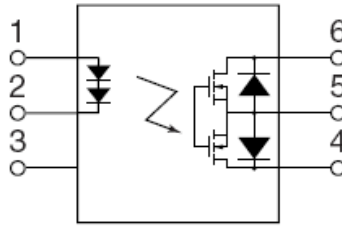
El capacitor entre las terminales cinco y seis del XR2206 funciona como un integrador, y en el sistema su capacitancia junto con la resistencia, encargada de regular la corriente que le llega al capacitor, determinan la frecuencia del VCO. Debido a esto, para modificar la frecuencia del generador de funciones se tienen que cambiar alguno de estos dos elementos o ambos.

Para poder modificar la capacitancia se utiliza un banco de capacitores, éste permite tener distintos intervalos de frecuencia, el capacitor deseado es seleccionado por la etapa lógica. Esta etapa activa el interruptor correspondiente al capacitor deseado, manteniéndolo cerrado hasta que se pida otro intervalo de frecuencias. Por estos interruptores pasa una corriente en ambas direcciones, haciendo que en la resistencia de este interruptor se presente una caída de voltaje al cambiar la corriente de sentido; este escalón de voltaje afecta nuestra señal, haciendo necesario que la resistencia en los interruptores sea mínima.

Los TBJs fueron descartados como posibles interruptores debido a que éstos son unidireccionales y presentan una caída de potencial, la cual afecta la señal requerida. Por lo que se probó trabajar con JFETs, los cuales funcionan como resistencias controladas por voltaje; pero éstos no lograban ofrecer una resistencia suficientemente baja para no provocar escalones significativos en la señal, por tal motivo fueron descartados también.

Los FETs que proporcionan una resistencia lo suficientemente baja son los MOSFETs, con resistencias menores a 1 Ohm; pero éstos tienen una capacitancia de drain a source muy alta, cuando se encuentran en su región de corte, esto causa que la capacitancia se sume con la del capacitor que tienen en serie, lo que provoca finalmente que todo el banco de capacitores funcione al mismo tiempo, sumándose todas las capacitancias en paralelo.

Finalmente el interruptor seleccionado fue el AQV251, un relevador PhotoMOS, donde por medio de un LED se activa el gate de dos MOSFETs conectados entre sí como se muestra en la *figura 3.8*.



*Figura 3.8.* Diseño esquemático del PhotoMOS AQV251.

Este tipo de configuración presenta tres posibles conexiones, clasificadas en: A) se utilizan ambos MOSFETs en la configuración bidireccional, B) solamente se utiliza alguno de los dos MOSFETs por lo que resulta en una configuración unidireccional y C) se utilizan ambos MOSFETs en paralelo para reducir la resistencia de encendido, pero siendo también unidireccional. Debido a esto se seleccionó la configuración A. Estas configuraciones se muestran en la *figura 3.9*.

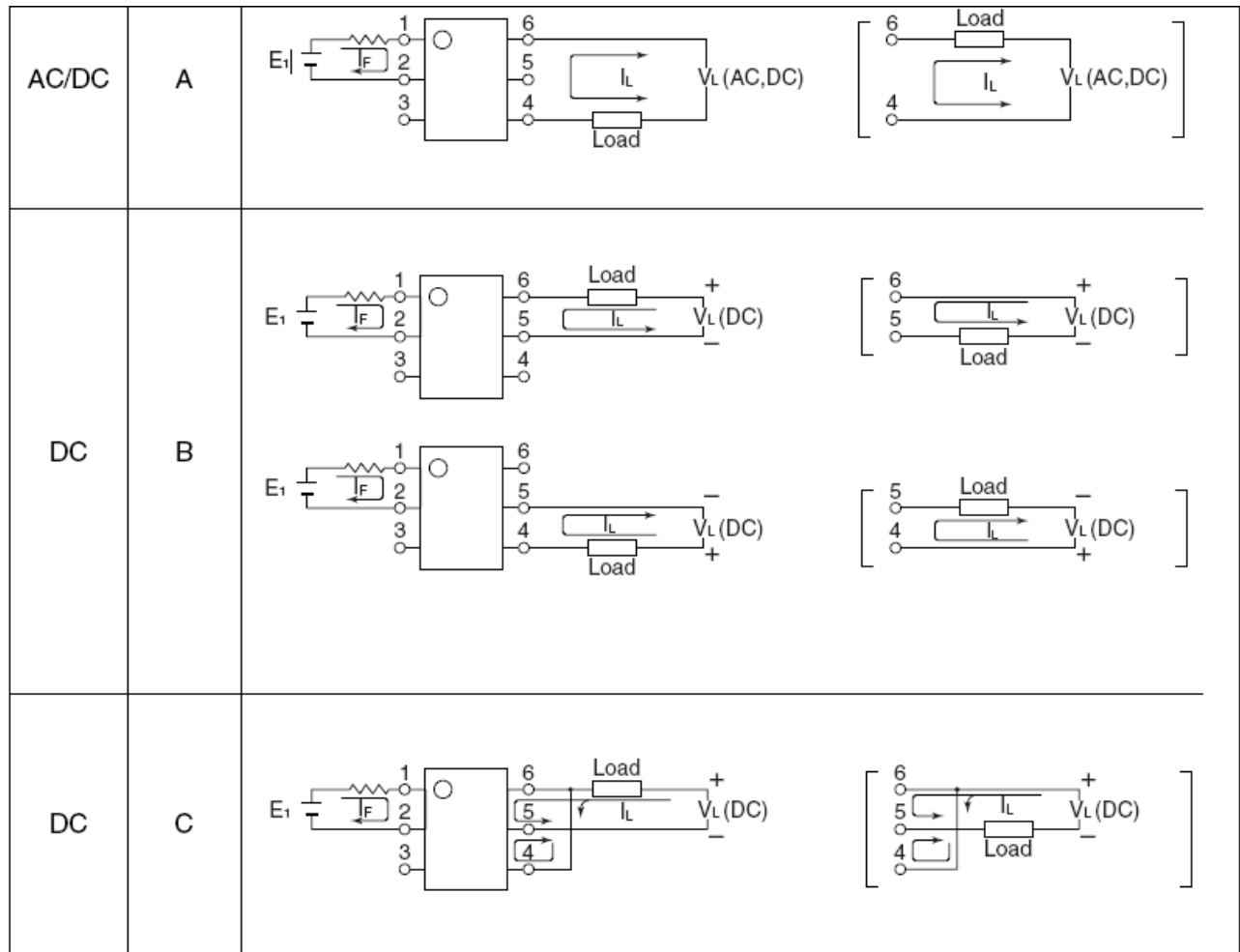


Figura 3.9. Configuraciones del AQV251.

El interruptor deseado se cierra por medio de la etapa lógica, explicada en el siguiente apartado, seleccionando uno de los seis capacitores disponibles en el banco.

Para modificar la resistencia que regula la corriente llegando al capacitor se hace uso de un potenciómetro, el cual permite una variación gradual de resistencia al girar la perilla que puede ser manipulada desde el exterior del generador de funciones. Este potenciómetro funciona como el ajuste fino de frecuencia dentro de los distintos intervalos.

### 3.3. Etapa lógica

La etapa lógica del generador de funciones tiene la tarea de activar y mantener las selecciones hechas por medio de los botones, logrando así que permanezcan cerrados los interruptores adecuados. Debido a que los botones son del tipo push and release resulta indispensable un circuito lógico que sostenga la señal para los interruptores. Los botones están divididos en dos grupos, los que seleccionan el rango de frecuencias y los que seleccionan forma de onda.

La forma para poder mantener la entrada de los botones es por medio de flip-flops tipo D, éstos sostienen la señal hasta que se envía otro pulso de reloj. Ya que los botones se encuentran agrupados en dos tipos, los cuales no dependen uno del otro, los flip-flops están agrupados de la misma manera, en dos circuitos integrados distintos, y así la señal de reloj de cada uno de éstos funciona de manera independiente.

La principal restricción del circuito lógico es que por cada uno de los grupos sólo una señal puede estar en alto, teniendo así sólo un intervalo de frecuencia y una forma de onda activos a la vez. Como la señal de reloj es la que cambia el estado del flip-flop, ésta tiene que ocurrir cuando hay un cambio de estado en alguno de los botones dentro de un grupo, pero si hay más de un estado en alto por grupo, el reloj no debe hacer este cambio.

Para satisfacer estas condiciones la señal de reloj, para los flip-flops, es obtenida de un circuito combinacional; un reloj para cada grupo de flip-flops que cumplen con las siguientes tablas de verdad.

# Diseño de un generador de funciones

## Capítulo III – Diseño

E1[5]	E1[4]	E1[3]	E1[2]	E1[1]	E1[0]	S1
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	1	0	1
0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	0	0	1
0	0	0	1	0	1	0
0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	1	1	1	0
0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	1	1	0
0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	1	0	1	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	0
0	1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	1	1	0	0
0	1	0	1	1	1	0
0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0	0
0	1	1	0	1	1	0
0	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	1	0
0	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	1	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	1	1	0	0
1	0	0	1	1	1	0
1	0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0
1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	1	0	0
1	0	1	1	1	1	0
1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0

1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	0	0
1	1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	1	0
1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	1	0
1	1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	1	0
1	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	0

Tabla 3.2. Tabla de verdad de la selección de frecuencias.

E2[2]	E2[1]	E2[0]	S2
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

Tabla 3.3. Tabla de verdad de la selección de intervalos.

Debido a que realizar el circuito combinacional por medio de compuertas ocupa una gran superficie en el circuito impreso, en su lugar se utiliza una GAL, en la cual se programan ambos circuitos combinacionales con VHDL (mostrado en el *código 3.1*), donde las entradas de los botones son muestreadas conforme a los flancos de subida presentados en un reloj externo, éste último formado por un LM555 en configuración astable que oscila con una frecuencia de 24 Hz. De este modo al haber un flanco de subida en la señal de reloj proveniente del LM555 y encontrar sólo una señal en alto por cada grupo de botones, la GAL entrega una señal alta al grupo de flip-flops correspondiente, la cual es usada como reloj de este grupo.

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
entity genfun is
port(abotones:in integer range 0 to 32;
      bbotones:in integer range 0 to 7;
      clk1,clk2:out std_logic;
      clk:in std_logic);
end entity;
architecture algor of genfun is
begin
process(clk,abotones)
begin
    if clk'event and clk='1' then
        case abotones is
            when 1 => clk1<='1';
            when 2 => clk1<='1';
            when 4 => clk1<='1';
            when 8 => clk1<='1';
            when 16 => clk1<='1';
            when 32 => clk1<='1';
            when others => clk1<='0';
        end case;
    end if;
end process;
process(clk,bbotones)
begin
    if clk'event and clk='1' then
        case bbotones is
            when 1 => clk2<='1';
            when 2 => clk2<='1';
            when 4 => clk2<='1';
            when others => clk2<='0';
        end case;
    end if;
end process;
end algor;
```

*Código 3.1* Programa para la GAL22V10.



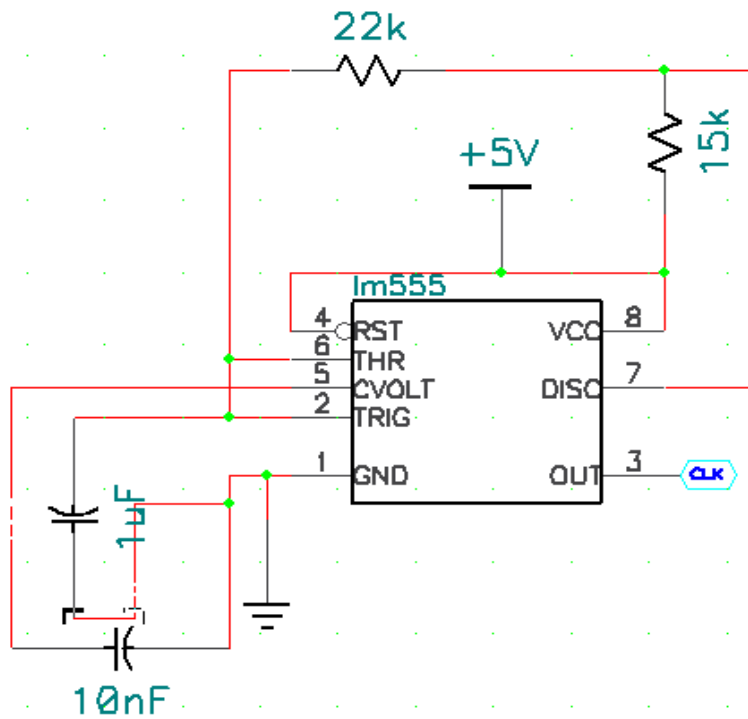


Figura 3.10. Diagrama esquemático del LM555.

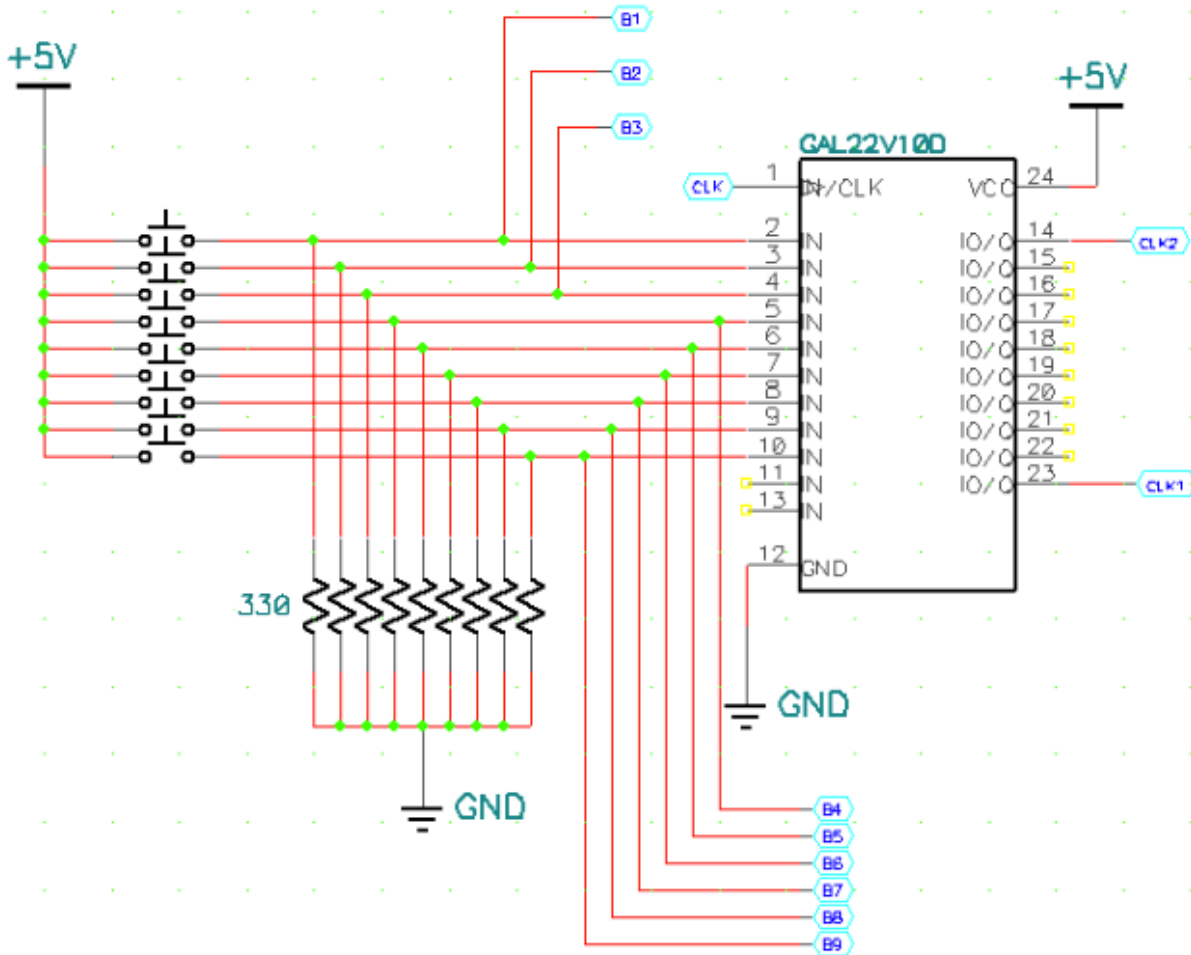


Figura 3.11. Diagrama esquemático de la GAL22V10.

Se hace uso de dos circuitos de flip-flops: el 74HC175 y el 74HC374. El primero tiene cuatro flip-flops en el mismo empaque. Debido a que el interruptor analógico DG211, utilizado para seleccionar la forma de onda del generador de funciones, cierra el interruptor con la entrada en bajo se utiliza la salida negada del flip-flop, por lo que a su salida tendremos señales en alto para las opciones no seleccionadas y señal en bajo para la salida seleccionada, por esta razón los tres LEDs, que indican cual forma de onda está seleccionada, se conectan entre +5V y las salidas del circuito integrado.

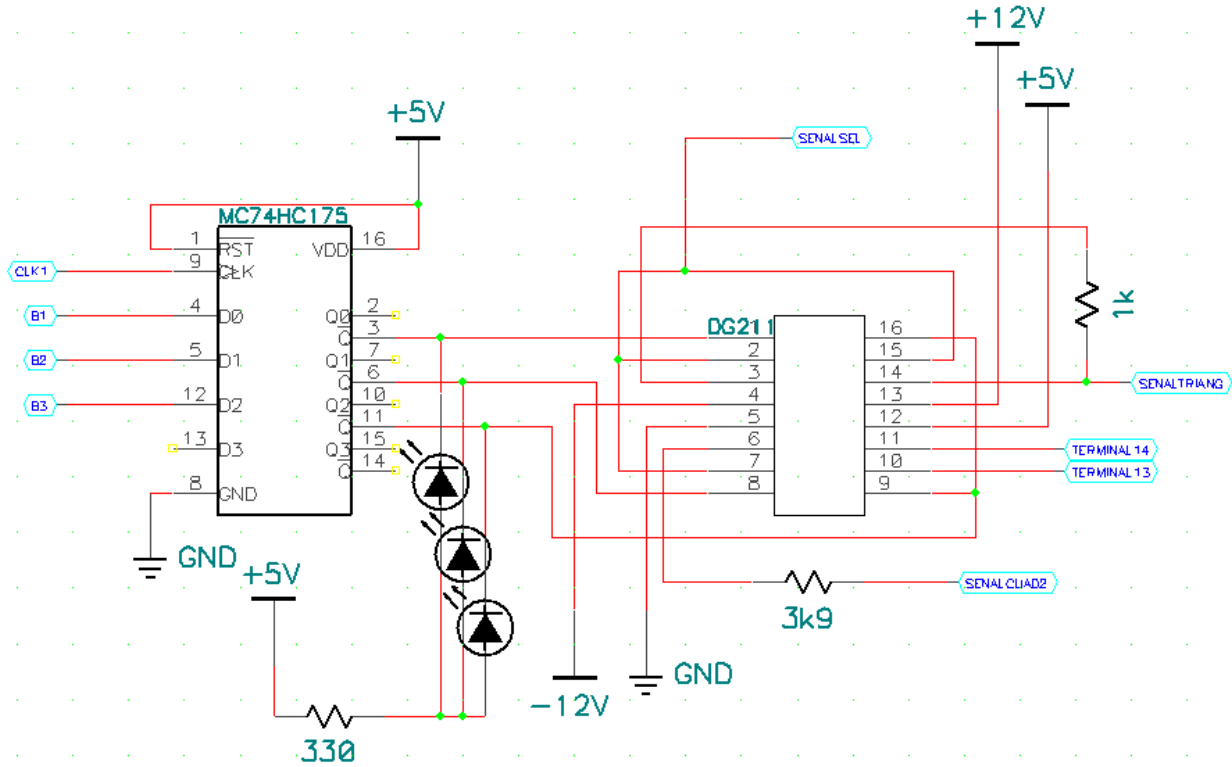


Figura 3.12. Diagrama esquemático del 74HC175.

El segundo encapsulado (74HC374) contiene ocho flip-flops que mantienen en alto la señal de la frecuencia seleccionada, la cual se muestra en uno de los seis LEDs conectados a sus salidas, éstos a diferencia de los de selección de forma de onda se conectan a tierra.

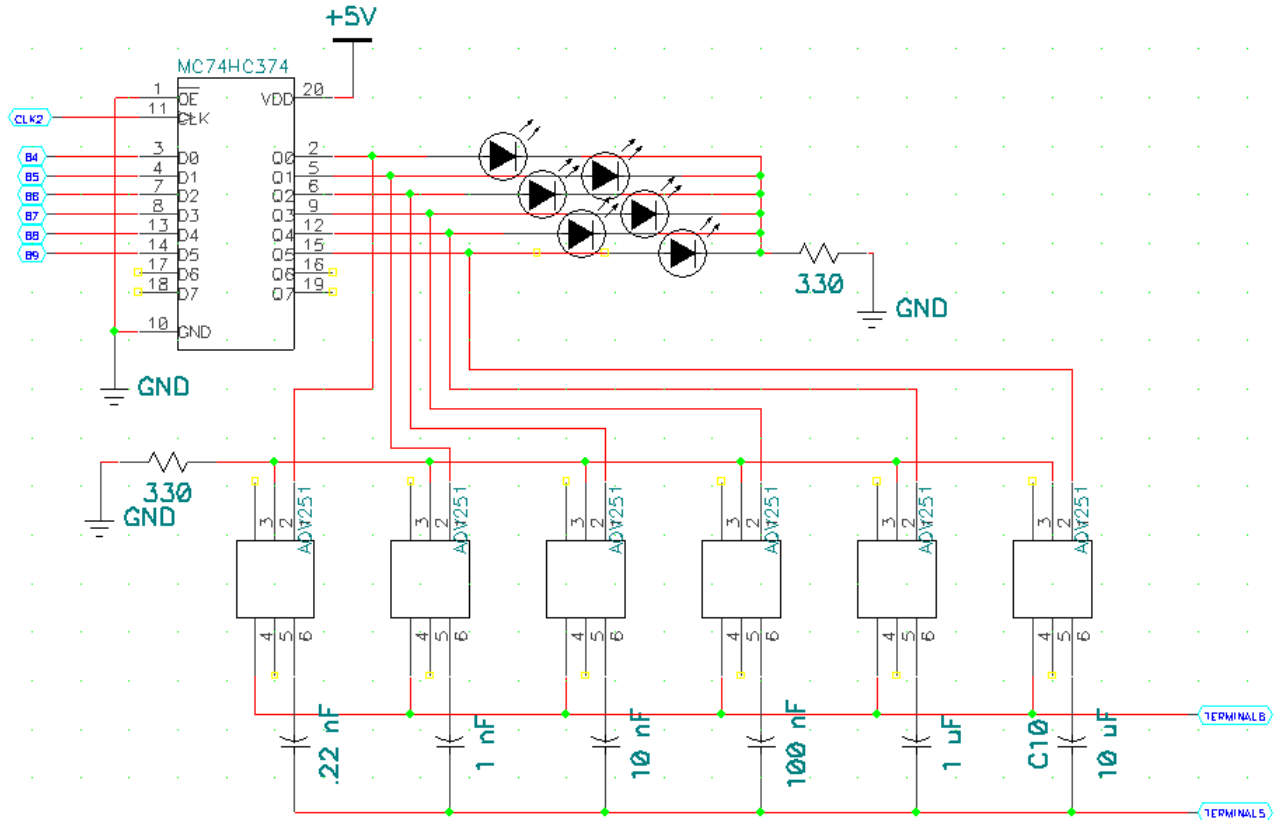


Figura 3.13. Diagrama esquemático del 74HC374.

### 3.4. Etapa de amplificación

En esta etapa es donde se toman las señales que salen del circuito XR2206 y se acondicionan para la salida del generador, lo que involucra darle una ganancia en amplitud y poder adicionar una componente de directa.

Teniendo dos salidas del XR2206, una para la señal cuadrada y otra salida para las señales triangular y sinusoidal, es necesario tener una forma de seleccionar cuál de estas señales se conecta a la salida. Para hacer esto se utiliza un interruptor analógico DG211, al cual se conectan las dos líneas que contienen las señales. La línea que transmite las señales triangular y sinusoidal se conectan al DG211 en dos de sus entradas, una para cada señal; pero la que comunica la señal triangular se le pone una

resistencia de 1 k para poder asemejar su amplitud a la de la sinusoidal, que es menor por especificaciones del fabricante. El DG211 está controlado por la parte de selección de forma de onda de la etapa lógica, esta configuración se observa en la figura 3.12.

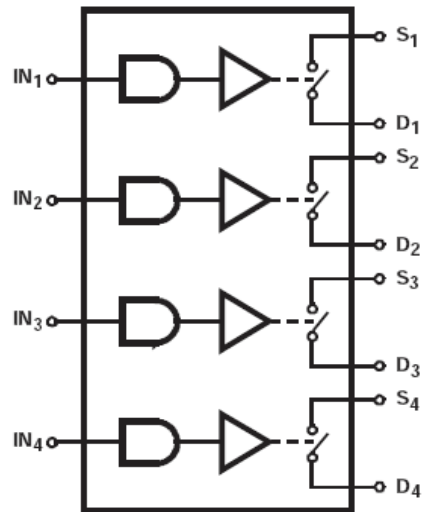


Figura 3.14. Diagrama funcional del DG211.

Entrada	Interruptor
0	Cerrado
1	Abierto

Tabla 3.4. Tabla de verdad del DG211.

La señal cuadrada, antes de llegar al DG211, pasa por un disparador Schmitt donde se ajusta su amplitud para que esté entre +5 V y -5 V y sea más cuadrada la señal. Ya que a la salida del XR2206 la señal tiene una amplitud de -12 V a +12 V. Esto se realiza con ayuda del comparador LM319 utilizando la configuración mostrada en la figura 3.15. La selección de este comparador se debe a su alto slew rate, bajo tiempo de respuesta y bajo costo. Las resistencias de este circuito son calculadas para que tenga el flanco de subida cuando el voltaje es de 5.6 V y el flanco de bajada cuando el voltaje es menor a -

2.4 V, al tener como entrada una señal cuadrada de -12 V a 12 V, estos voltajes nos aseguran que la señal ha cambiado de estado.

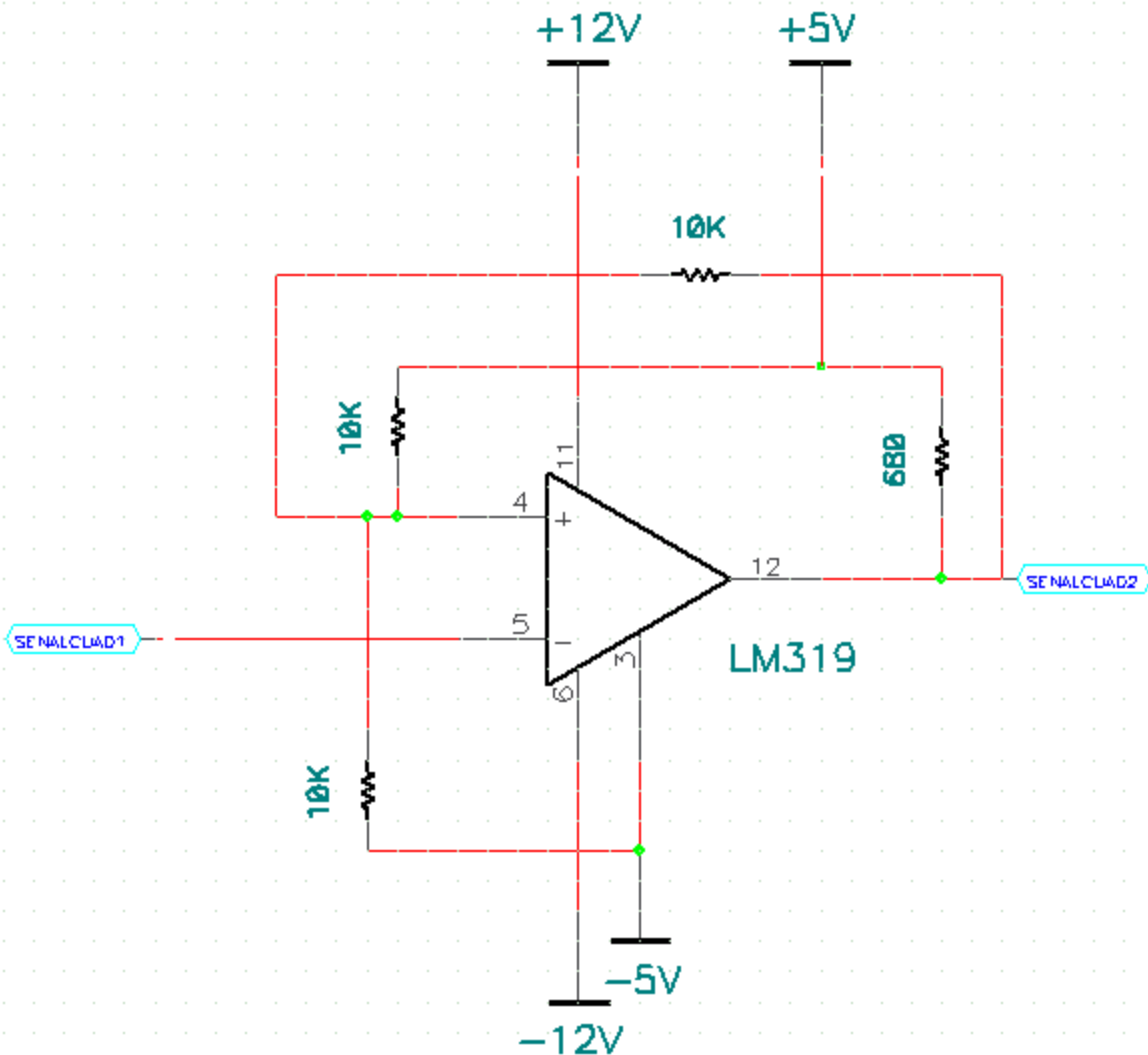


Figura 3.15. Diagrama esquemático del LM319.

Las tres salidas de las señales en el DG211 están interconectadas entre sí, y van por medio de un potenciómetro a tierra, cuyo cursor esta conectado a el amplificador de ganancia de 10. Esto nos permite modificar la amplitud de la señal, por lo que el potenciómetro está colocado en la carátula del dispositivo.

El cursor del potenciómetro está conectado al amplificador LT1363, el cual tiene una ganancia de diez y dependiendo de la posición del potenciómetro varía la amplitud de la señal de entrada. Se seleccionó este amplificador operacional debido a su amplio ancho de banda, que ofrece hasta 70 MHz y gran slew rate. Se utiliza una configuración no inversora en el amplificador operacional con un capacitor en paralelo, como lo recomienda el fabricante para cancelar el polo de entrada que podría causar oscilaciones, debido a la combinación de la capacitancia de entrada con las resistencias en ésta.

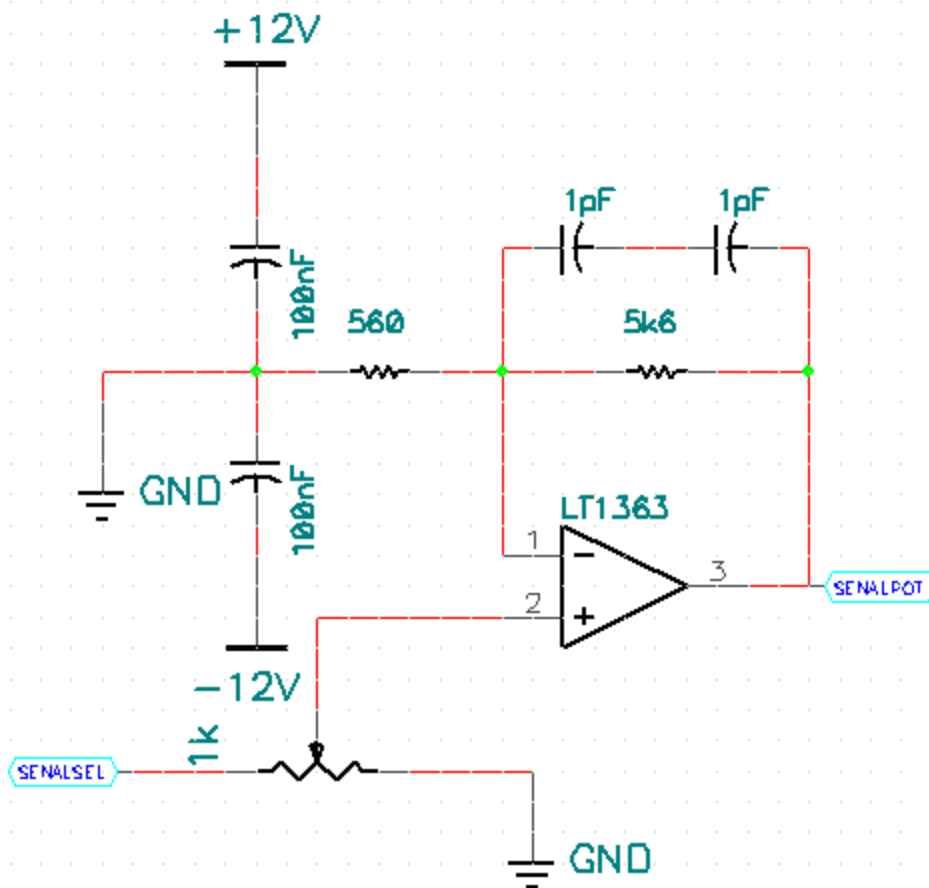


Figura 3.16. Diagrama esquemático del amplificador de amplitud.

Para poder agregar la componente de directa a la señal se hace uso de un potenciómetro de cinco terminales. En este dos de las terminales funcionan como un

interruptor, el cual esta abierto para una posición extrema y cerrado en todo el recorrido del potenciómetro. Esto nos es útil para poder sumar la señal cuando el interruptor esta cerrado y mantenerla separada cuando no se requiera, abriendo el interruptor. Este potenciómetro se conecta al circuito por medio de un conector EIS de cinco terminales, esto se puede observar en la figura 3.17.

El resto del potenciómetro es similar a los normales y se conecta para formar un divisor de voltaje entre + 8 V y -8 V, donde el cursor está conectado al amplificador LF411 con una configuración de seguidor, este amplificador es uno de propósito general, porque al manejar la componente de directa este no requiere un amplio ancho de banda. La salida del seguidor esta conectada al interruptor del potenciómetro de cinco terminales que lo puede o no conectar a un sumador implementado con otro LT1363, donde la señal de directa es sumada con la señal de la forma de onda. Este sumador tiene el capacitor en paralelo para evitar la oscilaciones como lo indica el fabricante.

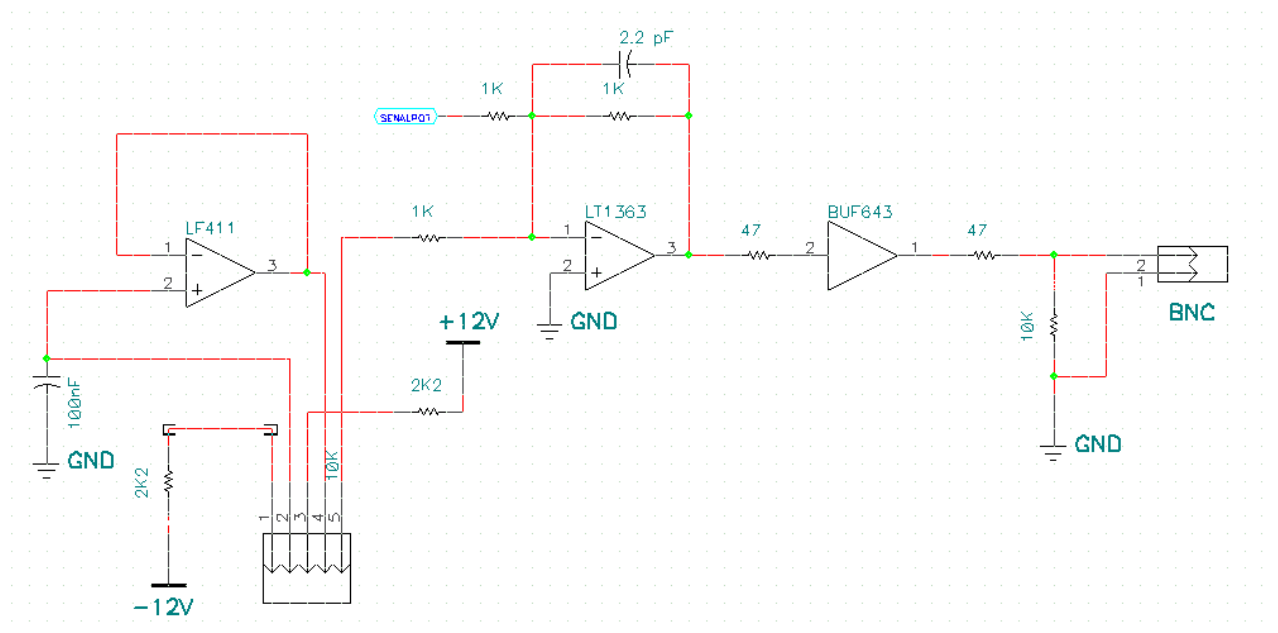


Figura 3.17. Diagrama esquemático del sumador de componente de directa y buffer.



A la salida del sumador está conectado un buffer, el cual entrega una mayor corriente de salida. El buffer BUF643 le da la capacidad al generador de funciones de entregar una corriente de salida de hasta 250 mA, y gracias a sus características de ancho de banda y slew rate, no presenta ninguna distorsión a la señal en las frecuencias utilizadas. El buffer tiene una resistencia de 47 Ohms en serie con la salida encontrada en la carátula del dispositivo, así en caso de producirse un corto circuito al exterior del gabinete quedará una resistencia de 47 Ohms.

### 3.5. Etapa de alimentación

El circuito requiere para su correcto funcionamiento de cuatro voltajes referidos a tierra: +12 V, -12 V, +5 V, -5 V. Esto se debe a que la etapa lógica funciona con +5 V, utilizamos los -5 V para el disparador Schmitt y la etapa de amplificación con +12 V y -12 V.

Todo el sistema se alimenta de la red eléctrica (127 V ~), por lo que se utiliza un transformador para disminuir el voltaje a 30 V, de los cuales se alimentan dos circuitos independientes que funcionan como fuentes de voltaje.

Estas fuentes de voltaje están compuestas por un puente de diodos que alimenta los reguladores lm78xx y lm79xx. A la entrada y salida de estos encapsulados hay capacitores para filtrar la señal.

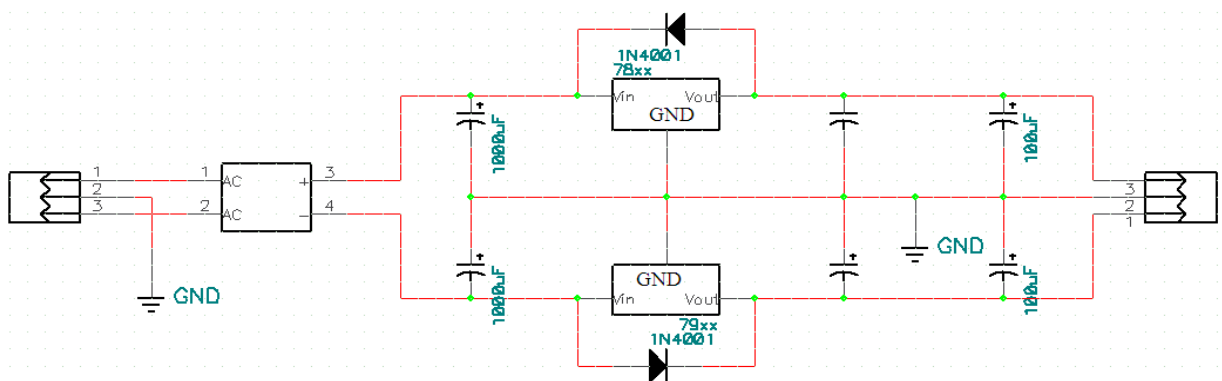


Figura 3.18. Diagrama esquemático de cada etapa de alimentación.

### 3.6. Construcción

En este apartado se hace la descripción del proceso de construcción del instrumento, tanto la parte física como la parte eléctrica.

Para la parte física se utilizó un gabinete plástico de 80 x 20 x 7.5 cm, dentro del cual se encuentran todos los elementos eléctricos y electrónicos. Al frente del gabinete se ubica una placa de aluminio, la cual nos sirve de carátula. Esta placa tiene que ser perforada para poder albergar: el interruptor de encendido, el conector BNC hembra, nueve botones de presión, nueve LEDs y tres potenciómetros.

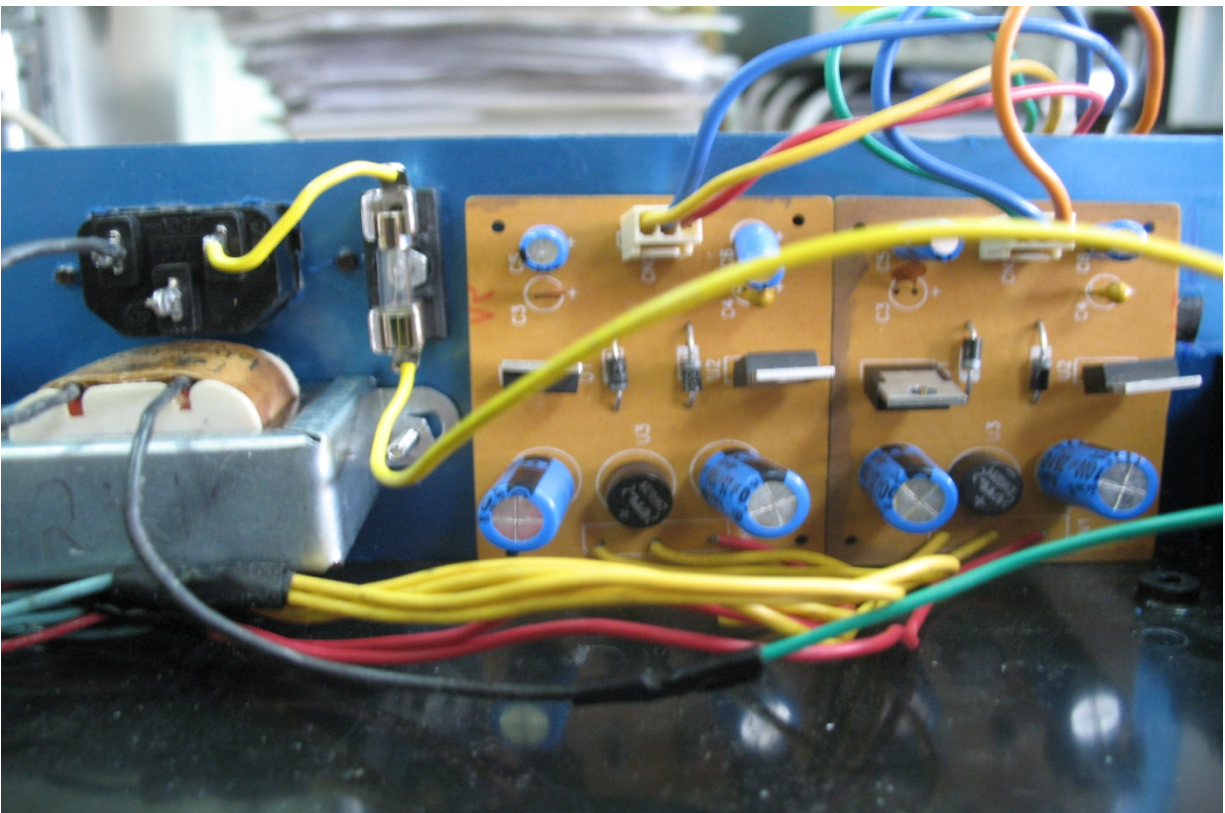


*Figura 3.19. Carátula del generador de funciones.*

En la placa trasera del gabinete se coloca el conector de la alimentación y en la parte interior de la placa se posicionan: un transformador de 120- 30 V, un porta fusibles y los dos circuitos de regulación de voltaje.



*Figura 3.20.* Parte trasera del generador de funciones.



*Figura 3.21.* Circuitos de alimentación y transformador.

En las *figuras 3.22 y 3.23* se muestra el circuito impreso utilizado para la construcción del generador de funciones. Éste es un circuito de doble cara, la cara inferior es en la que se encuentra la etiqueta con el nombre.

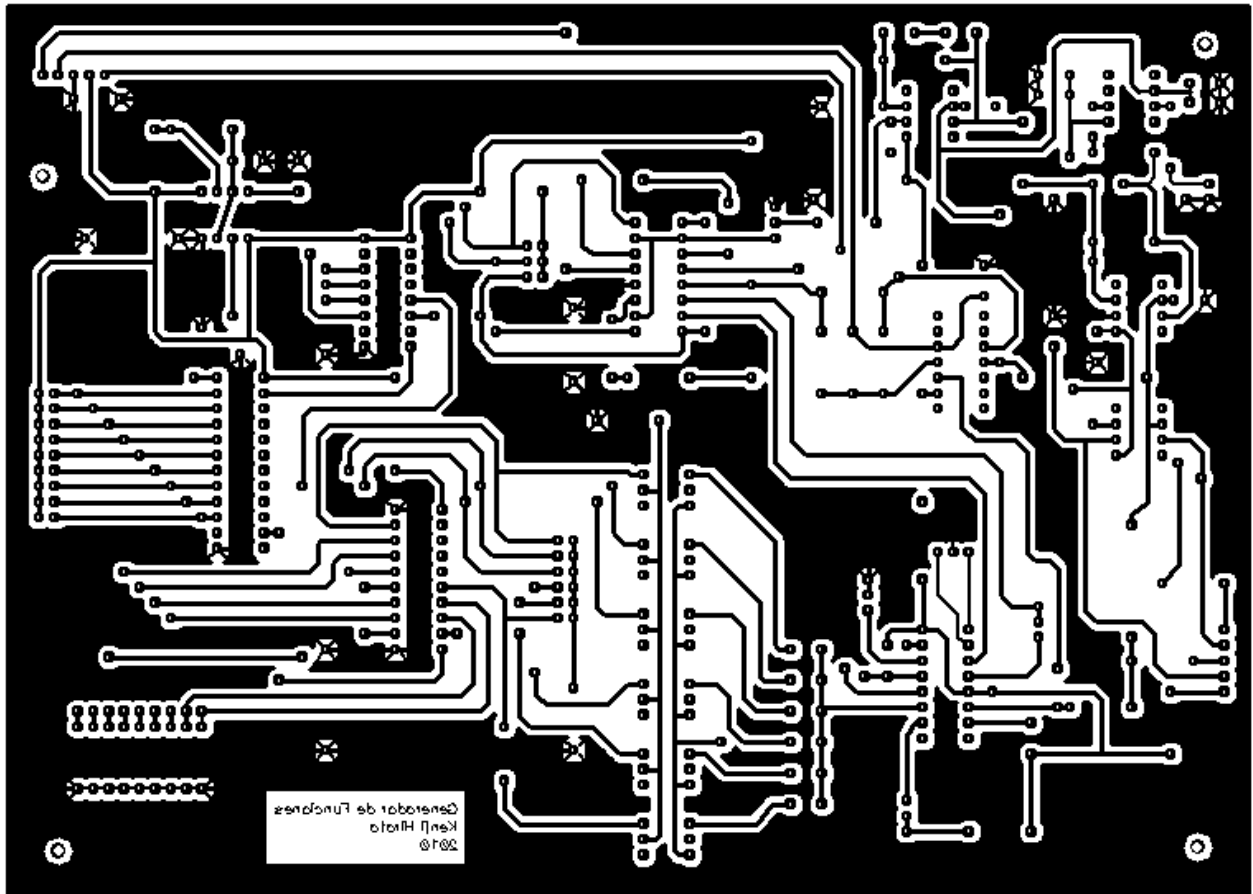
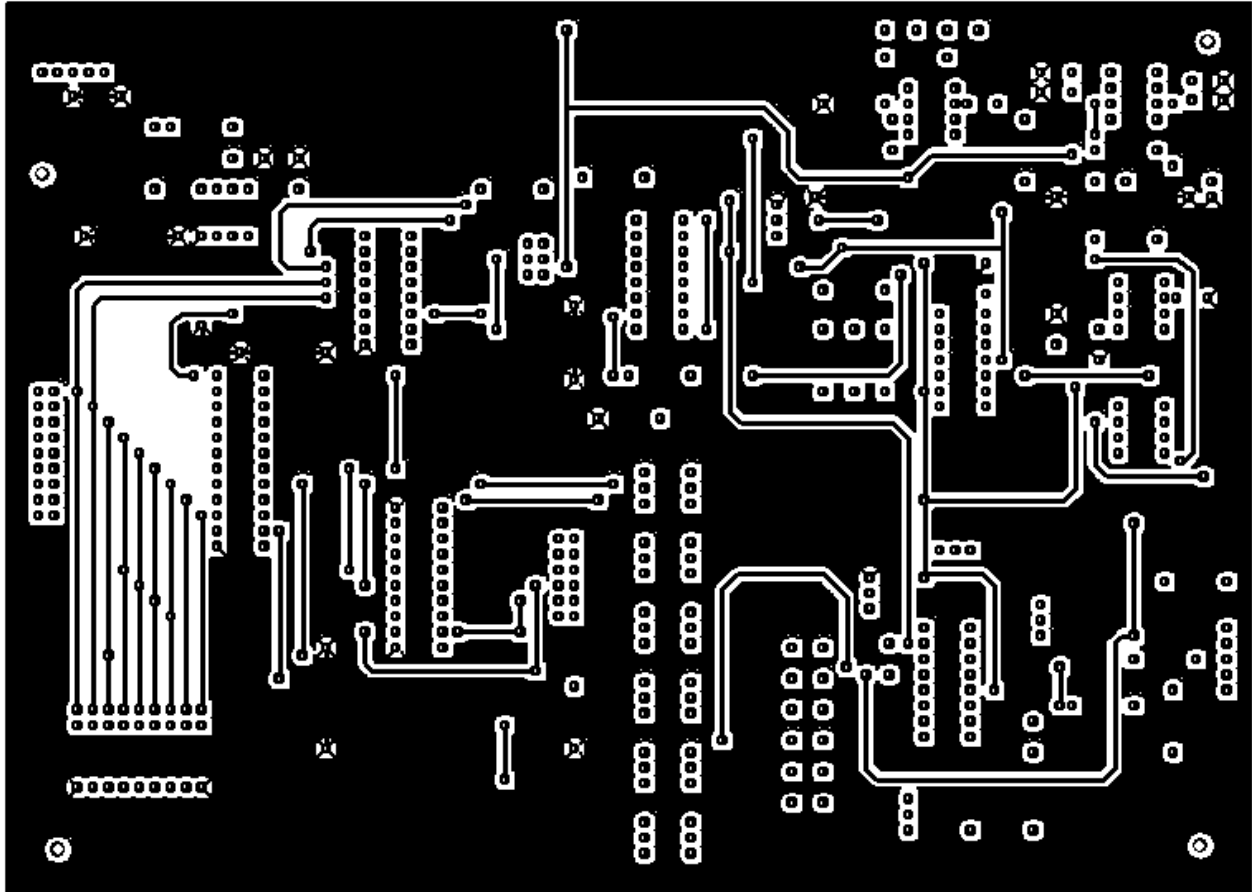


Figura 3.22. Cara inferior del circuito impreso.



*Figura 3.21.* Cara superior del circuito impreso.

En la *figura 3.24* se puede ver el circuito con todos los elementos colocados en su lugar.



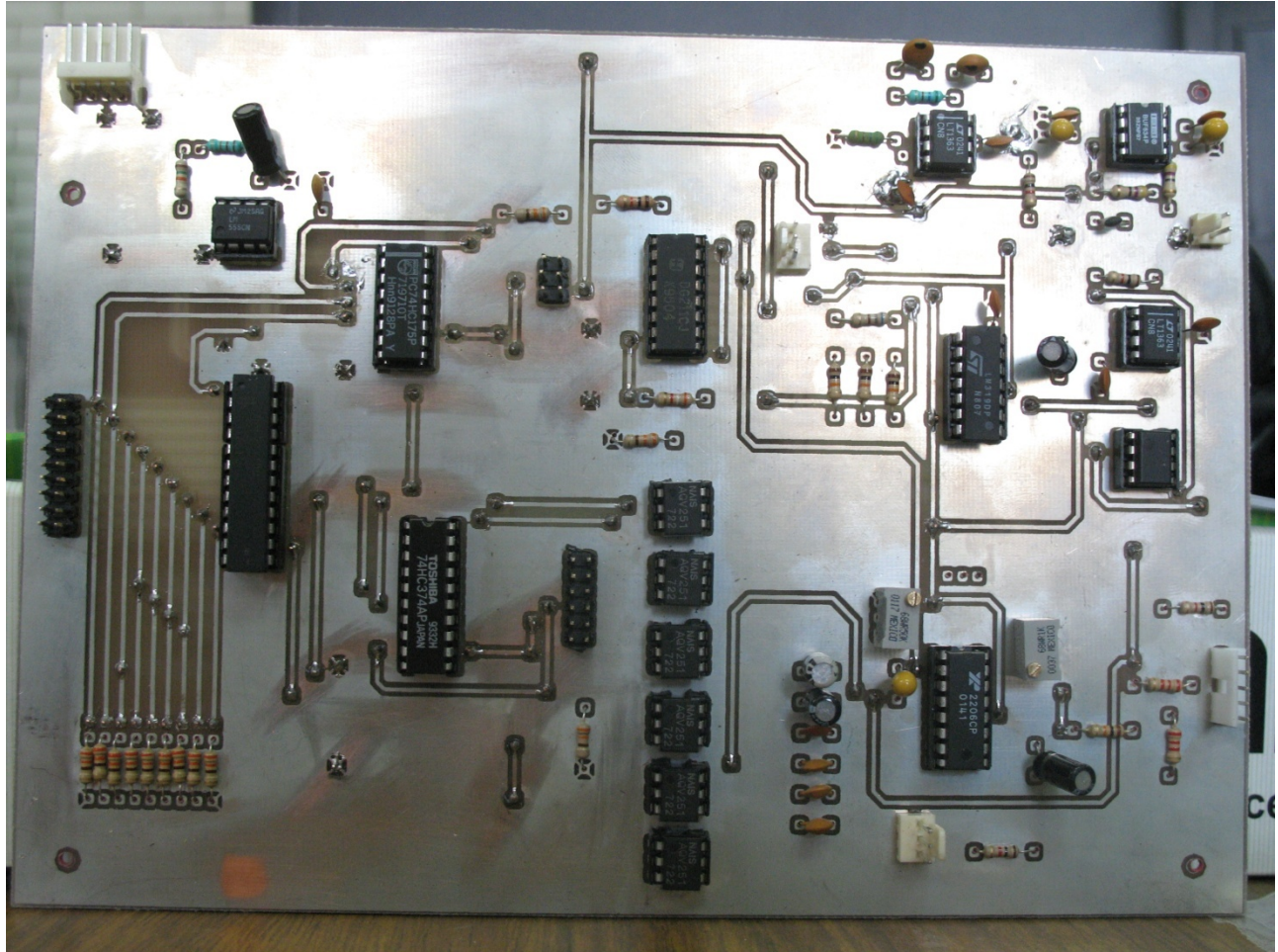


Figura 3.24. Circuito con los elementos.

La conexión de los LEDs y botones al circuito impreso se hace por medio de conectores de cable plano, para reducir el espacio ocupado en el circuito impreso; los potenciómetros, los circuitos de alimentación y la salida son conectados con conectores EIS paso 100.

En la siguiente tabla se agregan los precios de cada uno de los componentes del generador de funciones, para poder hacer un estimado del costo total.

Diseño de un generador de funciones

Capítulo III – Diseño

Pieza	Precio (pesos)	Cantidad	Subtotal (pesos)
XR2206	60	1	60
LT1363	70	2	140
BUF643	70	1	70
LM319	9	1	9
LF411	7	1	7
DG211	18	1	18
AQV251	40	6	240
74HC175	6	1	6
74HC374	7	1	7
GAL22V10	18	1	18
LM555	4	1	4
LM7805	5	1	5
LM7812	5	1	5
LM7905	7	1	7
LM7912	7	1	7
Puente de diodos	4	2	8
Resistencia 47	0,2	2	0,4
Resistencia 330	0,2	12	2,4
Resistencia 560	0,2	1	0,2
Resistencia 680	0,2	1	0,2
Resistencia 1k	0,2	4	0,8
Resistencia 2k2	0,2	2	0,4
Resistencia 3k9	0,2	1	0,2
Resistencia 5k6	0,2	1	0,2
Resistencia 10k	0,2	4	0,8
Resistencia 15k	0,2	1	0,2
Resistencia 22k	0,2	1	0,2
Potenciómetro 1k	10	1	10
Potenciómetro 1M	10	1	10
Potenciómetro c/ switch 10k	20	1	20
Trimpot 1k	13	1	13
Trimpot 50k	13	1	13
Capacitor cerámico 1p	2	2	4
Capacitor cerámico 2.2p	2	1	2
Capacitor cerámico 220p	2	1	2
Capacitor cerámico 1n	2	1	2
Capacitor cerámico 10n	2	2	4
Capacitor cerámico 100n	2	8	16

Diseño de un generador de funciones

Capítulo III – Diseño

Capacitor electrolítico 1u	2	4	8
Capacitor electrolítico 10u	2	1	2
Capacitor electrolítico 100u	2	4	8
Capacitor electrolítico 1m	3	4	12
Capacitor tantalio 1u	4	2	8
Capacitor tantalio 10u	4	3	12
LED	0,5	9	4,5
Diodo 1N4001	1	4	4
Transformador 127-24 .5 A	40	1	40
Interruptor	7	1	7
Botones de presión	6	9	54
Conector BNC hembra	9	1	9
Conector EIS 2	3	1	3
Conector EIS 3	3	4	12
Conector EIS 5	3	2	6
Conector de cable plano 10	3	1	3
Conector de cable plano 16	3	1	3
Conector de cable plano 20	3	1	3
Headers	10	1	10
Conector de alimentación	8	1	8
Porta fusible	3	1	3
Fusible 1 A	1	1	1
Gabinete	200	1	200
Tornillo	0,5	5	2,5
Cables	10	1	10
Total			1146

Tabla 3.5. Tabla de precios de los componentes.

Estos precios pueden variar dependiendo del proveedor y el volumen de compra. El costo total es aproximadamente 1146 pesos.