

# Aprendiendo a Diseñar, Simular y Montar Circuitos Electrónicos

## Generador de Funciones

Comenzamos esta obra tratando de explicar cómo se arma un circuito electrónico, realizando el diseño del montaje “desde cero”.

En la era de los microcontroladores de los prototipos digitales, solemos olvidarnos de los beneficios de la electrónica analógica.

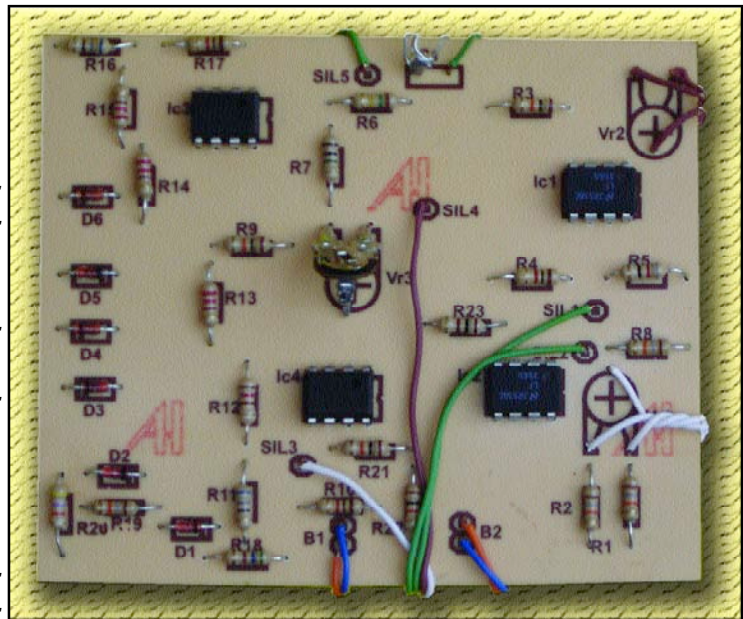
Si uno desea contar con herramientas para el diseño de circuitos electrónicos específicos, es fundamental saber cómo funciona un transistor, un amplificador operacional y un temporizador como el 555.

Para poder explicar “las bondades de la electrónica analógica” elegimos un generador de funciones (genera señales senoidales, triangulares y cuadradas en una amplia gama de frecuencias) construido a partir de amplificadores operacionales y un conformador realizado con diodos.

El generador de funciones (también conocido como generador de audio) es un instrumento útil para el tallerista, especialmente para ser usado en tareas de calibrado de amplificadores de audio, verificación de la respuesta en frecuencia de un equipo, puesta en marcha de sistemas digitales y análisis de circuitos electrónicos en general. Es importante que el técnico sepa manejar el instrumento, pero también debe conocer su funcionamiento con el objeto de poder utilizarlo al máximo.

Luego de conocer cómo funciona el circuito, lo armaremos y lo simularemos con un laboratorio electrónico (en este caso emplearemos Livewire). De esta manera, no sólo aprenderá a construir osciladores, amplificadores, diferenciadores e integrados con amplificadores operacionales, sino que tendrá la oportunidad de comprobar su funcionamiento en una computadora y aprender a manejar el osciloscopio de un laboratorio virtual.

Por último, veremos cómo construir el circuito impreso de este circuito utilizando el programa PCB Wizard y cuáles son las diferencias obtenidas si el impreso se obtiene en forma totalmente automática o con la ayuda del operador, para colocar los componentes en forma manual. De más está decir que lo que enseñamos en este primer capítulo es aplicable al resto de los kits desarrollados en este texto.



## Introducción

En el año 1985 diseñé el circuito de un generador de funciones que luego publiqué en Saber Electrónica N° 10, luego en Saber Electrónica N° 182 volvimos a exponerlo pero con mejoras en el impreso para que sea más compacto.

Cuando programamos los temas que incluirían los tomos de colección del Club Saber Electrónica, decidimos que los tomos 11, 13, 15 y 17 corresponderían a un curso completo de televisión con asistencia por Internet y exámenes, que el alumno pueda contestar para obtener un certificado cuando apruebe el curso. Cada uno de estos tomos contiene los montajes de instrumentos útiles para el mantenimiento, reparación y calibrado de los receptores de televisión, razón por la cual tuvimos que "reflotar" al generador de funciones.

Mientras leía la nota publicada hace más de 16 años, comencé a pensar que muchos lectores quizá no tengan la oportunidad de diseñar y montar sus propios circuitos, porque hoy ya casi ni se enseña la electrónica analógica, por ese motivo decidí realizar esta nota en la que se vuelven a explicar los conceptos teóricos, se realiza la simulación electrónica en Livewire y se diseña el circuito impreso con la ayuda de PCB Wizard 3.

## Descripción Teórica

El amplificador operacional (A.O.) es un circuito de muy alta ganancia, impedancia de entrada elevada e impedancia de salida baja. El símbolo del amplificador operacional se muestra en la figura 1.

El amplificador operacional por



A partir del tomo 11 del Club Saber Electrónica (publicado en noviembre de 2005) se editó un curso de TV color con asistencia por internet y en él, además del texto teórico, se describen instrumentos que pueden ser empleados en el mantenimiento y la reparación de estos equipos. Uno de los instrumentos es el generador de funciones, objeto de este capítulo.

medio de un circuito asociado determinado puede utilizarse como: a) amplificador inversor, b) amplificador no inversor; c) sumador; d) separador; e) integrador, f) diferenciador g) oscilador, etc.

Figura 1 A

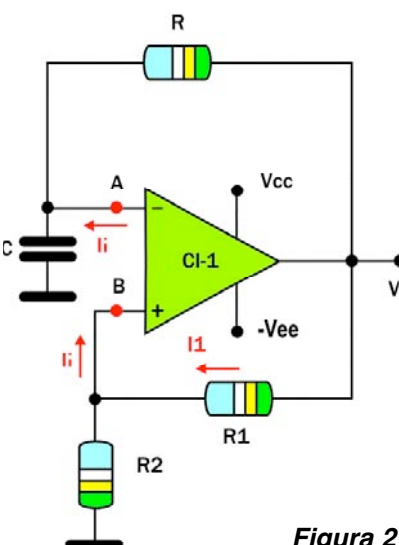
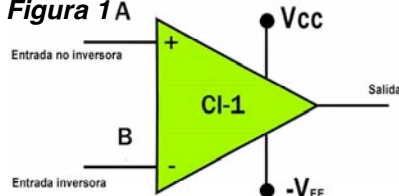


Figura 2

Nos interesa usar el A.O. como oscilador de onda cuadrada, para ello nos valemos del circuito de la figura 2, que entrega una señal de forma de onda cuadrada en la salida y una señal de forma de onda diente de sierra en el punto A.

Como la ganancia del A.O. es muy alta, una pequeña diferencia de tensión entre los puntos A y B lleva a la salida al nivel de **Vcc ó -Vee**; es decir, la salida tendrá un estado de "saturación". Por ejemplo, si  $V_A > V_B$ , entonces  $V_o = -V_{ee}$  ( $V_o$  = tensión de salida); si

$V_A < V_B$ , entonces  $V_o = +V_{cc}$  (Ver figura 3).

Supongamos en un primer momento, que la salida del circuito de la figura 2 está en estado alto ( $V_o = V_{cc}$ ), en esas condiciones, como  $I_i = 0$  debido a la alta impedancia del A.O. se tiene que:

$$I_1 = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

Luego, por ley de Ohm, la tensión en el punto B (entrada positiva del A.O.) será:

$$V_B = I_1 \times R_2$$

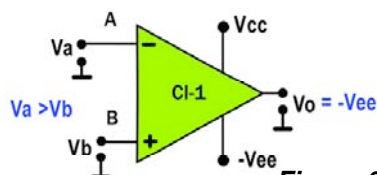
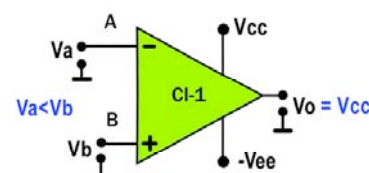


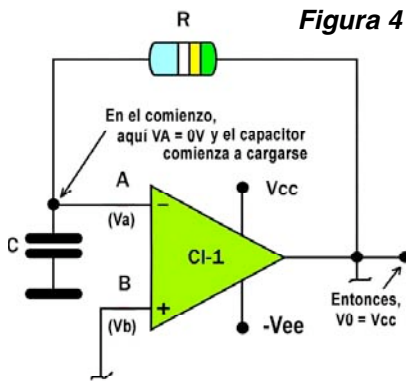
Figura 3

$$V_B = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \times R_2$$

Es decir, en el primer instante de análisis, el capacitor C está descargado por lo cual:

$$V_A = 0 \text{ y } V_B = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \times R_2$$

Por lo tanto  $V_A < V_B$  lo que justifica que la salida se setee en estado alto ( $V_O = +V_{CC}$ ). En esas condiciones el capacitor se carga desde  $V_{CC}$  a través de  $R_1$  según muestra la figura 4.



**Figura 4**

La tensión que adquiere el capacitor con el transcurso del tiempo vale:

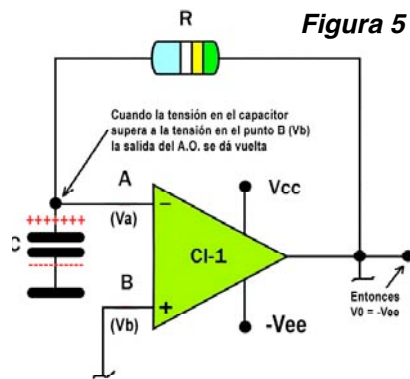
$$V_A = V_{CC} \left( 1 - e^{-\frac{t}{R \times C}} \right)$$

Cuando la tensión sobre el capacitor supera la tensión del punto B se cumple que  $V_A > V_B$  y la salida cambia de estado, es decir,  $V_O = -V_{CC}$ .

En ese momento la tensión en el punto B es negativa ya que:

$$V_{B1} = \frac{-V_{EE}}{R_1 \times R_2} \times R_2$$

También cambia de signo la tensión de carga del capacitor, razón por la cual el capacitor se carga con una corriente de signo contrario (se descarga) hasta que  $V_A = 0$  cargándose luego con una tensión negativa respecto de masa (figura 5).

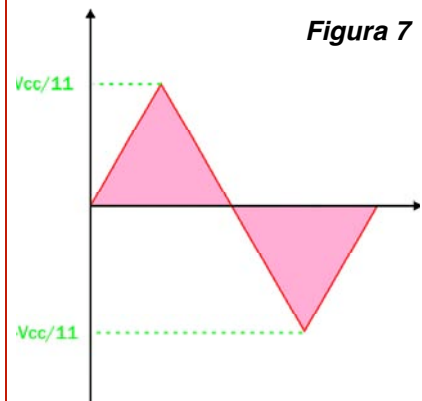


**Figura 5**

Esta situación se repite constantemente, lo que permite tener una señal de onda cuadrada a la salida de operacional y una señal diente de sierra en el punto A. El período de carga y

descarga de C puede variarse a través de R; es decir, si R es variable tendré señales de frecuencia variable a voluntad del operador. Lo dicho se explica en la figura 6.

Se puede demostrar que en el entorno de "0" volt de la señal diente de sierra, la tensión crece o decrece casi en forma lineal, por lo tanto si hacemos que el operacional cambie de estado para tensiones próximas a cero volt, en el punto A tendré una señal



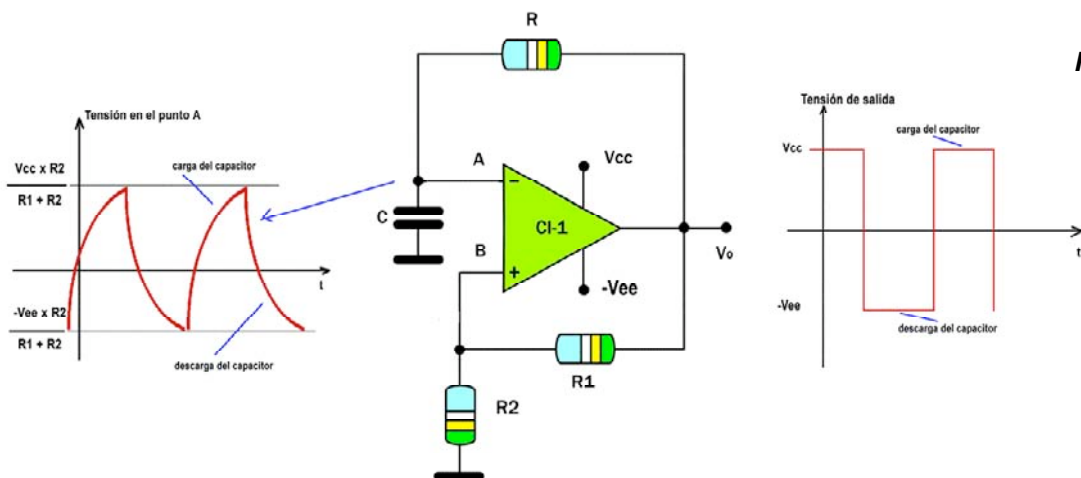
**Figura 7**

triangular de bajo nivel.

La figura 7 muestra una señal triangular casi perfecta como consecuencia de haber tomado:

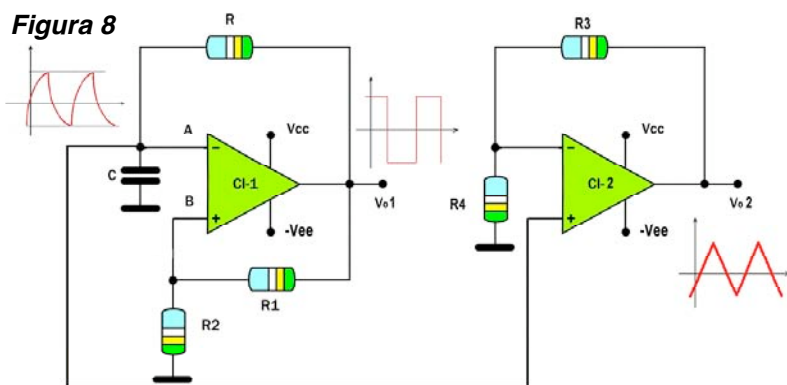
$$R_2 \ll R_1 \times \left( R_2 = \frac{R_1}{10} \right)$$

Proponemos que  $R_2 = R_1/10$   
Luego, haciendo cálculos mate-



**Figura 6**

**Figura 8**



máticos es fácil deducir que el punto B oscilará entre dos valores con crecimiento lineal (onda triangular), estos valores son:

$$V_B = \frac{V_{CC}}{11} \quad \text{y} \quad V_{B'} = \frac{-V_{EE}}{11}$$

Con esta consideración, el oscilador de la figura 2 entregará señales de forma de onda cuadrada y triangular, pero como la señal triangular es de menor amplitud, se la amplifica por medio de un A.O. conectado en configuración **no inductor** según muestra la figura 8.

La ganancia del segundo amplificador operacional (Vo2) de esa figura se calcula:

$$\frac{V_{O2}}{V_A} = \frac{R_3}{R_4}$$

Basta entonces, encontrar la relación (R3/R4) apropiada para que la amplitud de la onda triangular sea

igual a la amplitud de la señal de onda cuadrada.

Para muchas aplicaciones, puede resultar útil tener una señal rectangular con ciclo de actividad variable, es decir, con tiempos de estado "alto" y estado "bajo" distintos (ver figura 9).

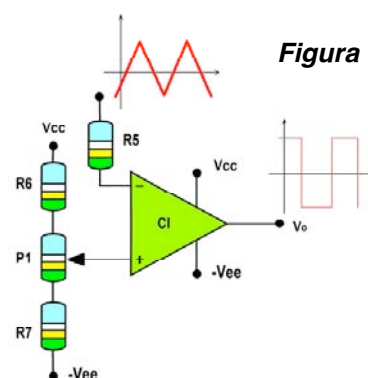
Utilizaremos otro operacional que compare la señal triangular con una tensión fijada por el técnico.

Cuando la señal triangular alcanza dicho valor, el A.O. satura debido a su elevada ganancia. El circuito propuesto se muestra en la figura 10.

Con P1, fijo una tensión VD en la entrada no inversora del A.O., luego, la salida está en estado alto mientras la onda triangular no alcance ese valor.

Cuando  $V_C > V_D$  (la señal triangular alcanzará el nivel VD) el A.O. "se da vuelta", es decir, variando P1, cambia la tensión VD y por lo tanto, también cambia el ciclo de actividad de la onda cuadrada.

**Figura 10**



ciclo de actividad de la onda cuadrada.

Para obtener una señal de forma de onda senoidal se utiliza un CONFORMADOR que es una matriz formada por diodos y resistencias como muestra la figura 11.

La matriz transforma la onda triangular en onda senoidal debido a que reduce la pendiente de la señal diente de sierra a medida que aumenta su amplitud. La señal así obtenida se aplica a un A.O. implementando como amplificador no inductor de corriente continua.

En realidad, la forma de onda resultante senoidal puede considerarse como una serie de tramos rectos que cambian de pendiente cada cuarto de ciclo. R19, P2 y R20 forman un divisor resistivo para que la señal triangular a conformar tenga la amplitud necesaria con el objeto de tener un onda senoi-

**Figura 11**

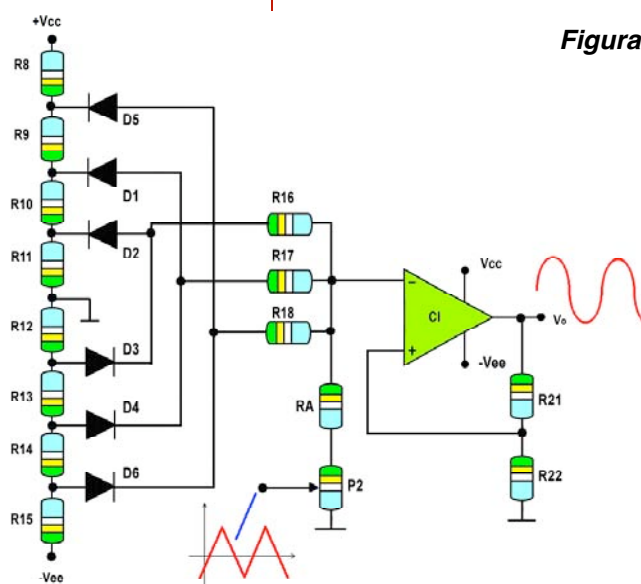
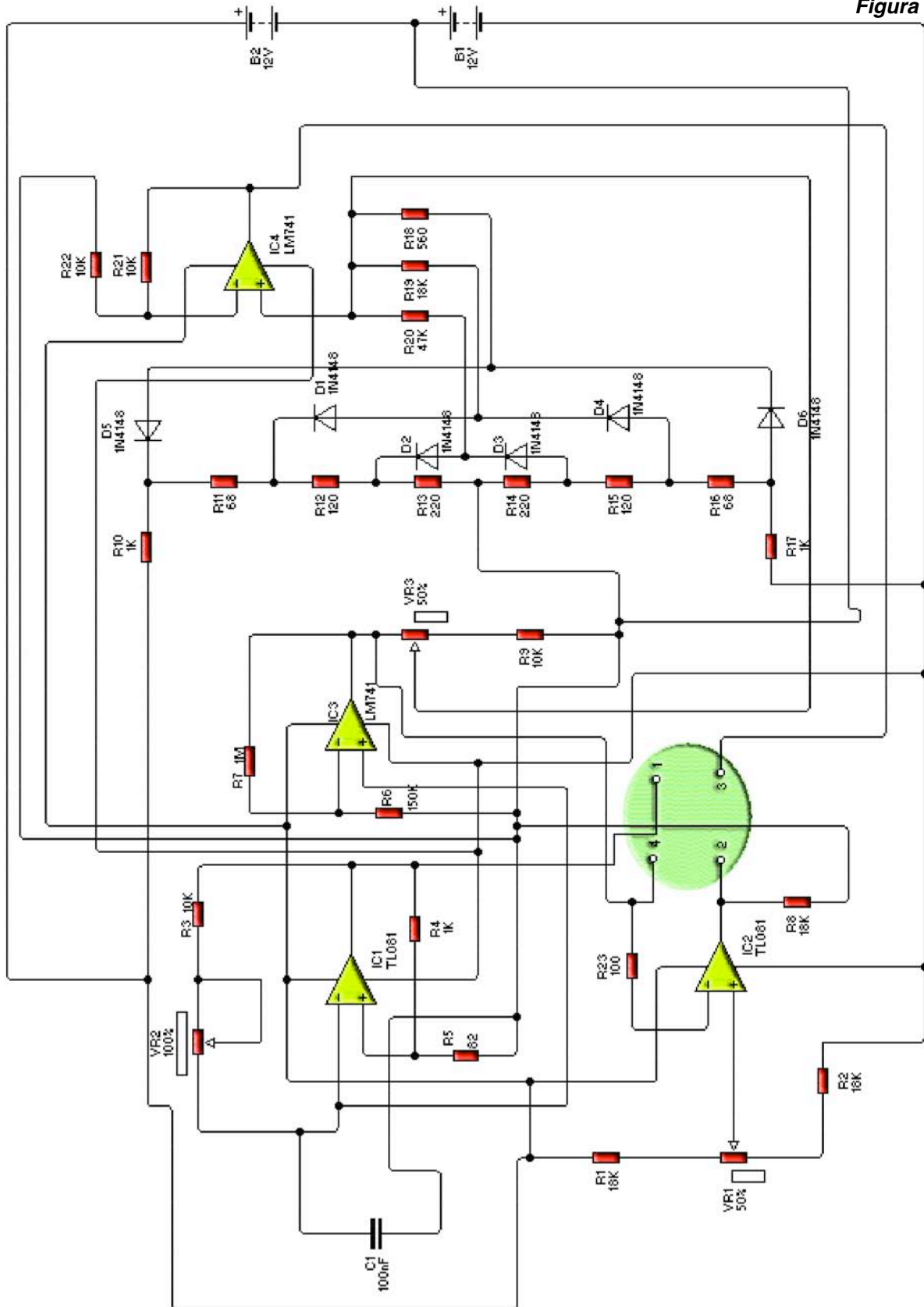




Figura 12



dal con un contenido armónico inferior al 3%.

De esta manera tenemos un generador de onda cuadrada, rectangular y senoidal de amplitud constante aproximadamente igual a  $(V_{cc} + V_{ee})$  y frecuencia variable dependiente de la carga y descarga de C a través de R.

## Aprenda Construyendo

Es importante que antes de armar el generador de funciones se interiorice en el circuito a construir, con el objeto de no cometer equivocaciones. En la figura 12 se muestra el circuito completo del generador, que hemos armado y simulado en Livewire, tal como veremos más adelante.

Es conveniente, en el montaje, colocar zócalos (bases) para los circuitos integrados con el objeto de poder reemplazarlos fácilmente en casos de deterioros. C se cambia por medio de una llave selectora con el objeto de

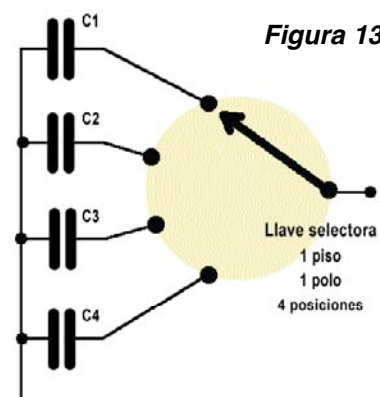


Figura 13

variar la frecuencia del generador por bandas según muestra la figura 13.

Colocando valores de capacidad apropiados se pueden conseguir frecuencias desde algunos Hz hasta 50kHz aproximadamente.

Si se colocan circuitos integrados del tipo CA741, el generador entrega formas de onda aceptable hasta 5kHz. Para frecuencias superiores la impedancia de entrada del operacional disminuye y el tiempo de respuesta del mismo se hace considerable,

razón por la cual aparecen notables distorsiones en todas las formas de onda. Para aumentar el rango de frecuencias se deben colocar A.O. con entrada FET del tipo LF356 en CI1 Y CI2. CI3 y CI4 pueden seguir siendo CA741.

Para probar el instrumento una vez armado, conéctelo a una fuente de alimentación como la mostrada en la figura 14.

Con un osciloscopio verifique las formas de onda cuadrada, rectangular, senoidal y triangular en los puntos 1, 2, 3 y 4 respectivamente, para ello calibre el pre-set P3 de modo de obtener una señal senoidal casi perfecta (con osciloscopio en punto 3). Si desea puede colocar una llave selectora con el objeto de seleccionar la forma de onda a utilizar.

Variando P2 verifique que cambia la frecuencia de la señal mostrada.

Con el osciloscopio en 2 varíe P1 verificando que cambie el ciclo de actividad de la señal rectangular. Es indispensable el uso de un osciloscopio para comprobar el correcto funcionamiento del generador, si Ud. no lo posee recurra a un service amigo o algún laboratorio electrónico. Con un frecuencímetro podrá calibrar el recorrido de P2 en valores de frecuencia para las distintas bandas.

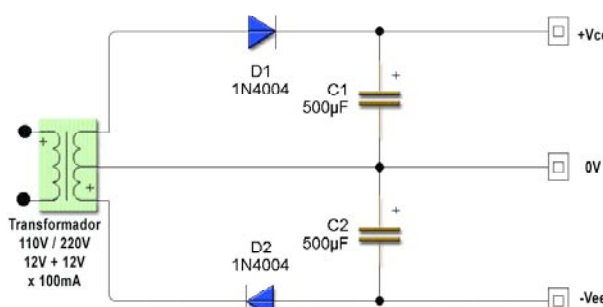


Figura 14

Una vez calibrado el instrumento no será necesario ni el osciloscopio ni el frecuencímetro, pues tendrá la seguridad que su generador de funciones funciona correctamente.

Note que la amplitud de salida del oscilador es alta y constante. Para poder variar la amplitud a voluntad puede utilizar otro amplificador operacional como inversor (no figura en el circuito impreso) como muestra la figura 15.

De esta manera, con un reducido costo Ud. puede construir un instrumento de múltiples aplicaciones, que, si bien no es de excelente calidad, puede competir con la mayoría de los generadores comerciales de taller, con la ventaja que Ud. sabe cómo funciona y puede armarlo con poco dinero.

Dejo a su elección el gabinete sobre el cual montará el instrumento y el diseño del frente, pero le aconsejo que siga las indicaciones que le he dado a lo largo de esta lección.

Más adelante le explicaré circuitos alternativos que, adosados a este ge-

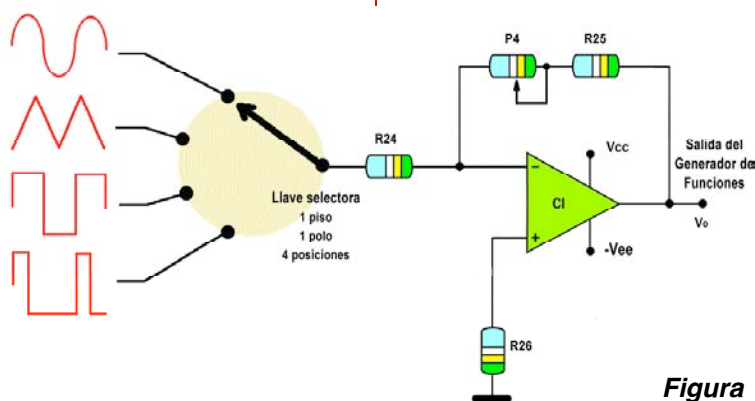


Figura 15

nerador, aumentan su utilidad convirtiéndolo en un verdadero instrumento de laboratorio. Como puntas de conexión exterior puede utilizar un cable mallado conectando en sus extremos pinzas de las denominadas "cocodrilos".

Le reitero que relea este capítulo y no arme el prototipo hasta no estar seguro de comprender perfectamente el funcionamiento del equipo propuesto. Si tiene el programa Livewire haga la simulación tal como explicaremos a continuación y si no lo tiene, baje el DEMO que está en [www.webelectronica.com.ar](http://www.webelectronica.com.ar) con la clave **newave**.

Si no ha tenido inconvenientes...  
¡Manos a la Obra!

### **Armado y Simulación del Generador en un Laboratorio Electrónico**

Tal como lo decimos al comienzo, ¡vamos a full con la electrónica analógica! y para comprobar esta frase, veremos una herramienta fundamental para todo amante de la electrónica, sea aficionado, estudiante, técnico o ingeniero.

Los laboratorios virtuales son utilitarios que se instalan en computadoras para que se puedan armar circuitos y simular su funcionamiento sin que sea necesario tener que montarlo realmente. Nosotros sugerimos el Livewire como programa simulador por varias razones: es económico, práctico, fácil de usar, posee una amplia biblioteca de componentes y se lo actualiza constantemente a través de Internet. Hace casi 5 años que "adoptamos" este programa para realizar las notas de Saber Electrónica y hasta editamos un libro llamado "Simulación de Circuitos & Diseño de Circuitos Impresos" (figura 16) que explica el funcionamiento de Livewire y PCB Wizard 3 y trae gran cantidad de ejemplos prácticos. Como ya hemos explicado varias veces el uso de este programa, sólo haremos una introducción

a modo de "recordatorio" sobre la forma de armar un circuito.

Tenemos que armar nuestro circuito y para eso, debemos crear un nuevo documento en el cual dibujará su circuito.

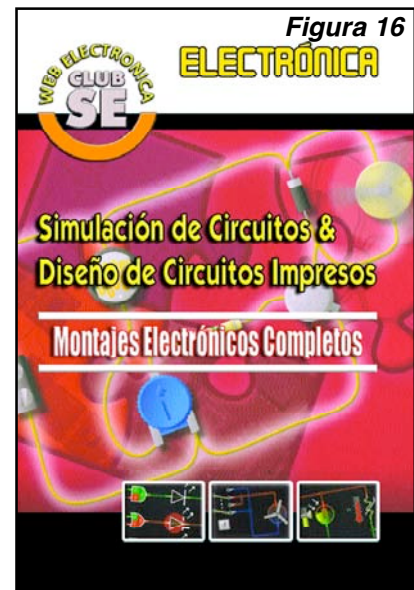
Para crear un nuevo documento, haga click en el botón "nuevo" o elija "nuevo" del menú de archivo. Sobre el nuevo documento aprenderemos a usar la galería para agregar componentes a su circuito.

Si la galería no está actualmente abierta, presione sobre el botón Gallery (galería) en la barra de herramientas para abrirlo (figura 17).

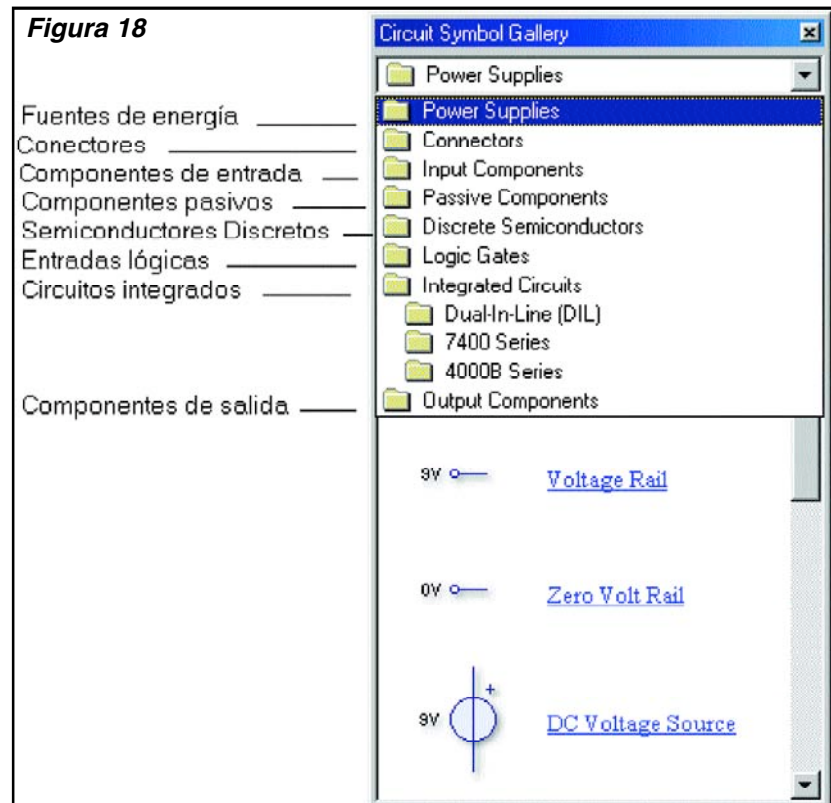
Seleccione la opción símbolos de circuito.

En la ventana de la galería de símbolos de circuito, usted podrá ver todos los componentes que se encuentran disponibles dentro del programa (figura 18).

En la figura 19 se pueden ver las diferentes galerías de componentes con que contamos para hacer nuestros proyectos.



Los componentes dentro de la galería están agrupados de acuerdo a su función. En la parte superior de la ventana hay una lista que le permi-



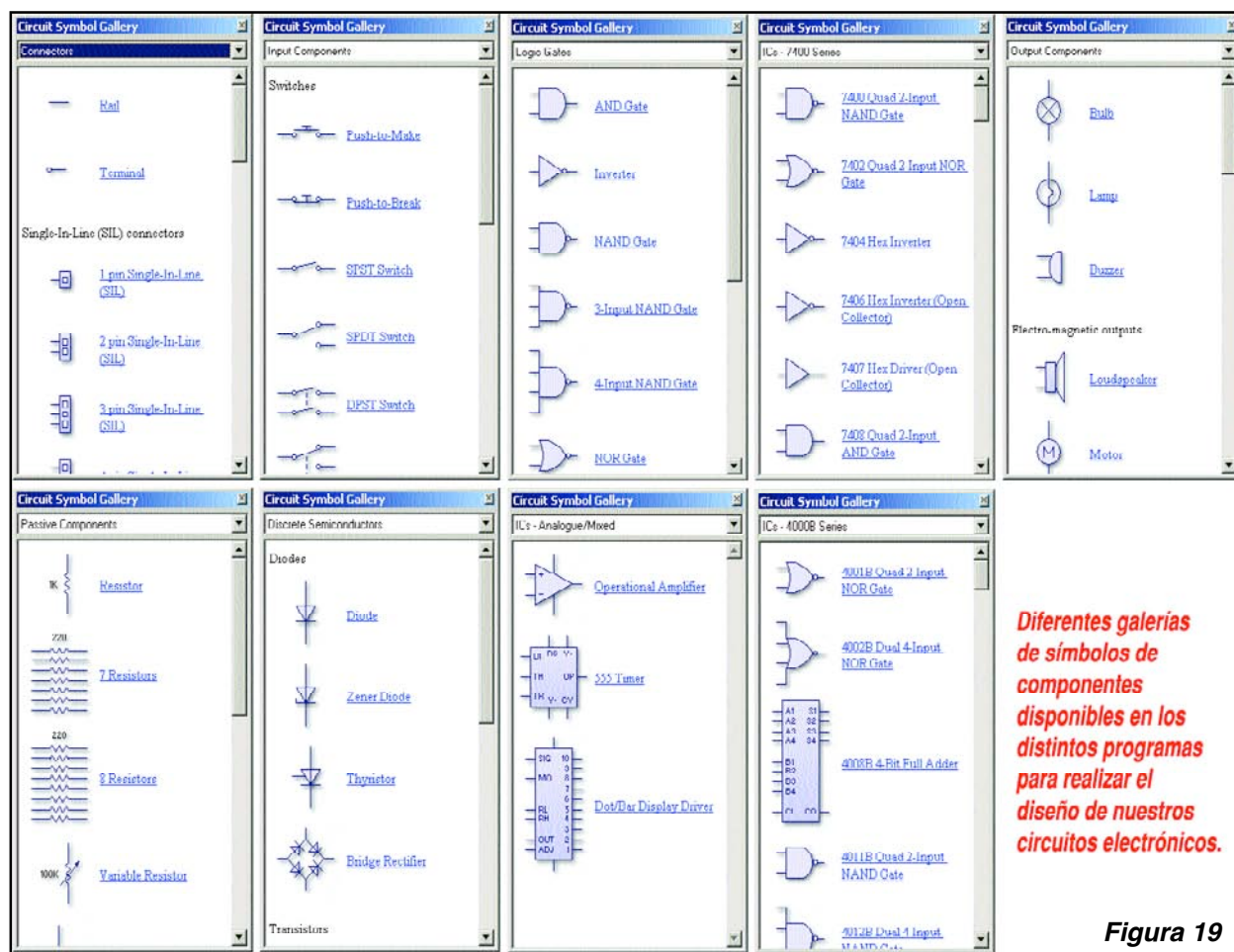


Figura 19

te seleccionar qué grupo será exhibido. Para hacer el circuito de la figura 12, del grupo “fuentes de alimentación”, agregue los componentes “batería” al documento de trabajo. Para hacer esto coloque la flecha del mouse sobre el símbolo batería, presione y mantenga el botón izquierdo del mouse, con el botón aún sostenido, arrastre el símbolo a su circuito. Finalmente, suelte el botón del mouse cuando el símbolo del circuito esté en la posición requerida dentro del documento de trabajo.

Ahora necesitaremos agregar el resto de los componentes, para lo cual procederemos de forma análoga a lo recién explicado.

Agregue resistores fijos, resistores variables, circuitos integrados amplificadores operacionales, capacitores, diodos, etc. de cada grupo según los mostrados en la figura 19.

Debemos posicionar los componentes cuidadosamente sobre el documento de trabajo antes de comenzar a diseñar el circuito.



Figura 20

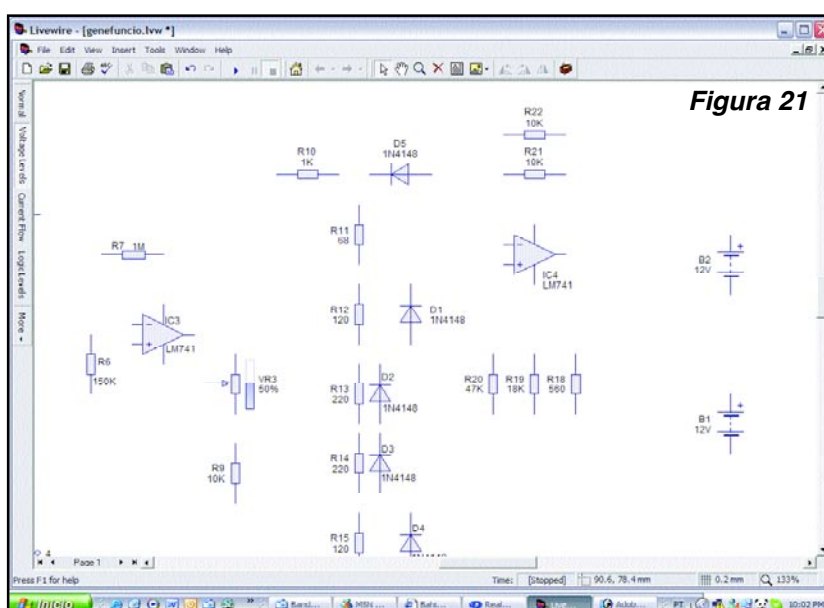


Figura 21



Tenga en cuenta que se pueden mover los componentes si nos fijamos con el mouse sobre ellos, haciendo un click y manteniendo apretado el botón mientras movemos el componente sobre la posición requerida. Para esto, desde la barra de herramientas, deberemos seleccionar el cursor como un señalador estándar (figura 20).

En la figura 21 podemos ver cómo quedarán los componentes una vez arrastrados sobre el documento de trabajo. Por razones de legibilidad del circuito, sólo pusimos algunos componentes, a los que ya les hemos puesto su numeración y valor (más adelante explicaremos cómo se hace esto). Tenga en cuenta que es conveniente pensar en la posición que deberán tener los componentes antes de colocarlos sobre el documento de trabajo. La posición de los componentes al comienzo, puede ayudar a producir un diagrama de circuito más claro.

Para alinear los pines de algunos componentes, necesitará rotarlos (en el caso de la figura 21, hemos rotado a R21 y R22), para ello seleccione el componente haciendo un click con el mouse y entonces presione sobre el botón "rotar" hacia la izquierda o a la

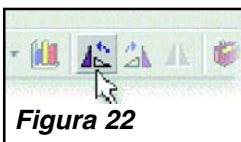


Figura 22

derecha de la barra de herramientas (figura 22). Una vez que los componentes han sido ubicados, usted puede comenzar a unirlos. Para hacer esto usted debe primero presionar sobre el botón "seleccionar" de la barra de herramientas (figura 23).



Figura 23

Luego, mueva el mouse sobre el pin superior de la batería (figura 24). Mientras sostiene el mouse sobre el pin se dará cuenta que aparecerá un

recuadro describiendo ese pin en particular. Presione y mantenga con el botón izquierdo del mouse, sin soltarlo mueva el mouse hasta el punto donde desea hacer la unión.

Usted puede dibujar curvas, deslizando el botón del mouse sobre el mismo o presionando sobre una parte vacía del circuito, como por ejemplo la posición (b) de la figura 25. Como vamos a conectar la salida del operacional con R21, para completar la unión, deslice el botón del mouse sobre la parte superior de R21 sin dejar de presionar el botón izquierdo del mouse (figura 26).

Ahora agregue las diferentes conexiones hasta completar el circuito del generador, tal como se muestra en la figura 12. Cabe aclarar que Ud. puede bajar el archivo de este generador desde nuestra web para no tener que construirlo, sin embargo recomendamos que lo arme Ud. mismo con el objeto de practicar. Para bajar este archivo y el del PCB que explicaremos más adelante, diríjase a [www.webelectronica.com.ar](http://www.webelectronica.com.ar), haga click en el ícono password e ingrese la clave "gene".

Para unir dos pistas, simplemente deslice el botón del mouse sobre una pista existente. Se dará cuenta que, cuando haga esto, se agrega automáticamente una unión en el punto de conexión.

Si se equivoca, en cualquier momento puede presionar el botón "deshacer" para corregir cualquier

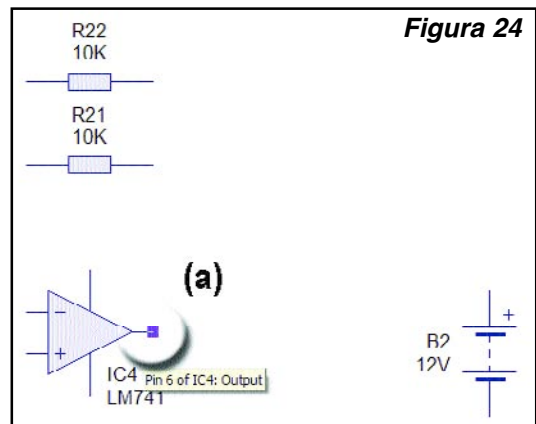


Figura 24

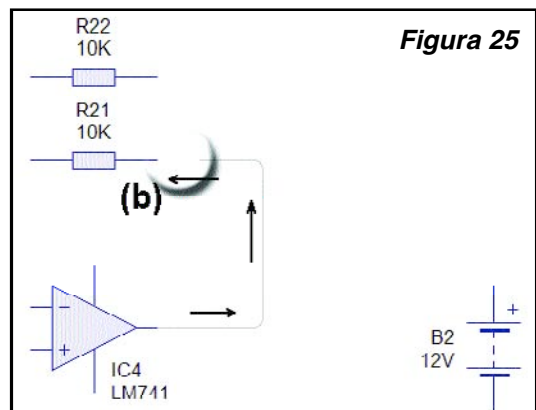


Figura 25

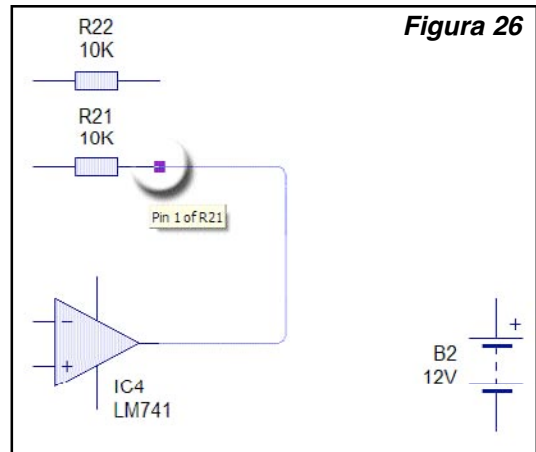
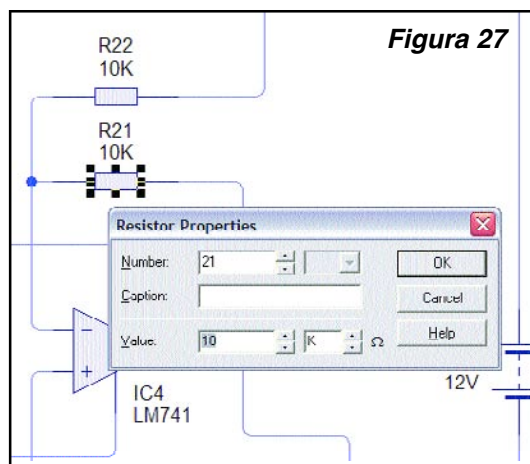


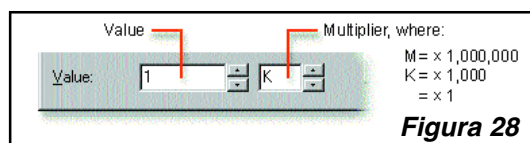
Figura 26

error. Con el diagrama de circuito de la figura 12, puede comenzar a ajustar el valor de los componentes (tenga en cuenta que en dicha figura ya están los valores reales y que el procedimiento que vamos a explicar, en dicho circuito ya lo hemos seguido).

Para cambiar el valor de un componente, haga doble click sobre él con lo cual se exhibirán las características del mismo (figura 27). El



**Figura 27**



**Figura 28**

campo VALOR para el resistor se muestra en la parte inferior de la ventana y consiste en un valor y un multiplicador (figura 28). Ingrese 10 en el primer recuadro de valor (es el valor del resistor), y luego presione sobre la flecha de la derecha del segundo recuadro si debiera cambiar el multiplicador de K (x1000) a x1. En nuestro caso eso no es necesario.

Para completar el diseño del circuito, necesitará ajustar el valor de

los (figura 29).

Usted se dará cuenta de que el A.O. está etiquetado como UM741 en el diagrama de circuito.

La mayoría de los componentes dentro de PCB Wizard, proveen modelos diferentes. Los leds por ejemplo, están disponibles en una gama de diferentes colores. Pruebe ahora, presione

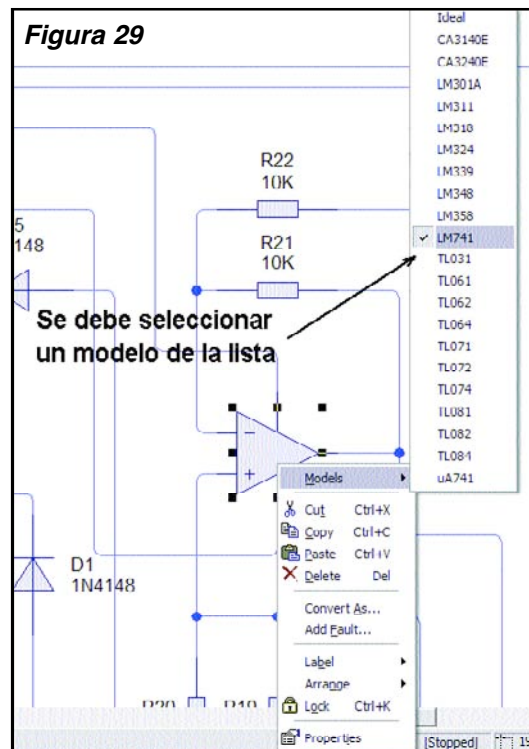
todos los componentes pasivos siguiendo los pasos indicados. Luego debe asignar la matrícula a los semiconductores, por ejemplo, qué tipo de amplificador operacional va a usar en cada caso (el procedimiento es el mismo para diodos y transistores).

Presione el botón derecho del mouse sobre el operacional y del menú que aparece, elija el UM741 de la lista de mode-

el botón derecho del mouse sobre un diodo y seleccione el modelo 1N4148 de la lista de modelos habilitados.

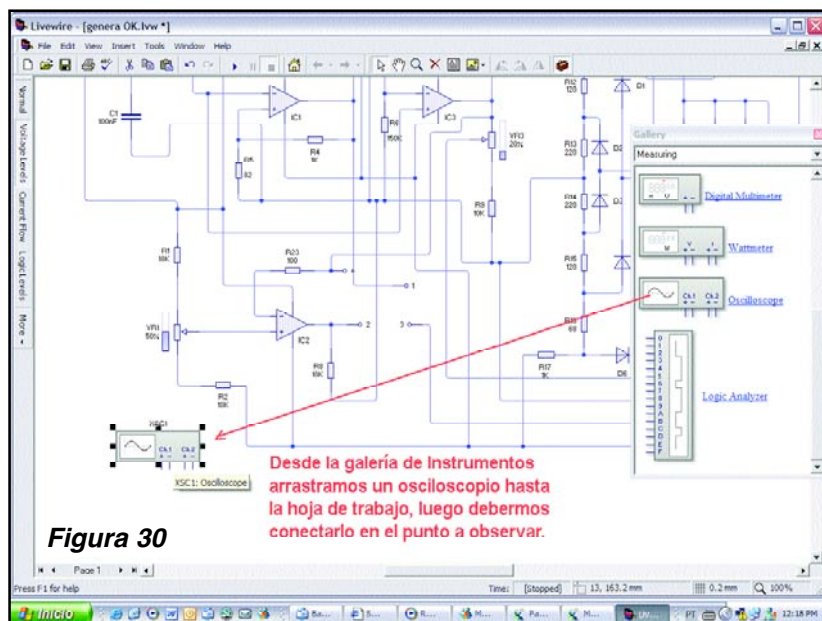
Debe proceder de la misma manera para todos los componentes del circuito.

Para simular el funcionamiento del circuito de la figura 12, debemos



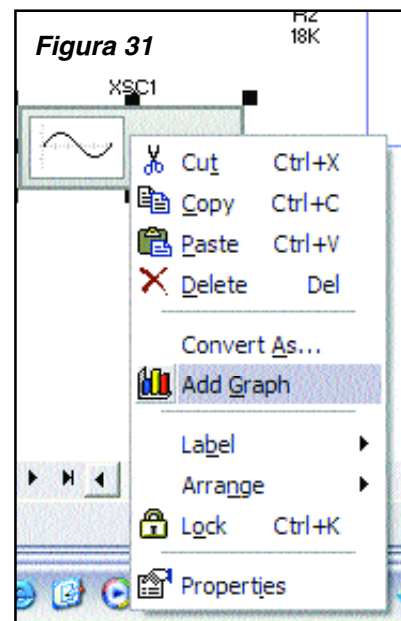
**Figura 29**

Se debe seleccionar un modelo de la lista

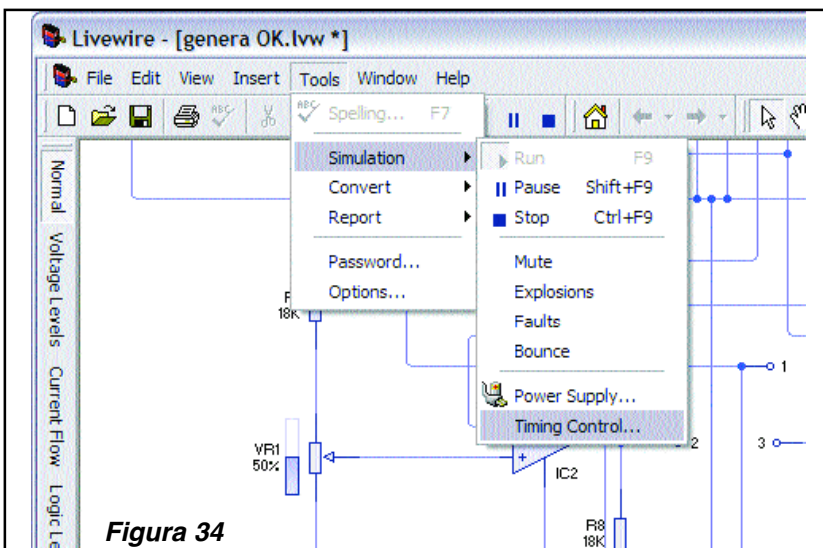
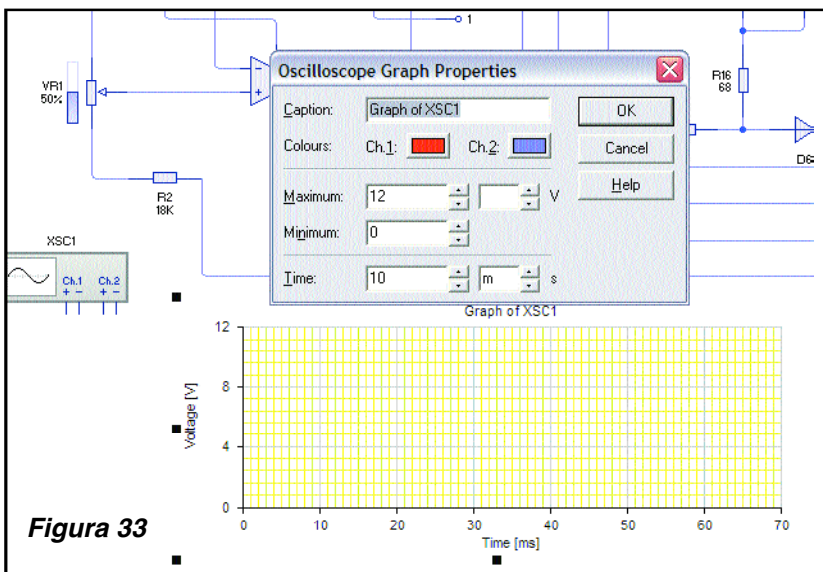
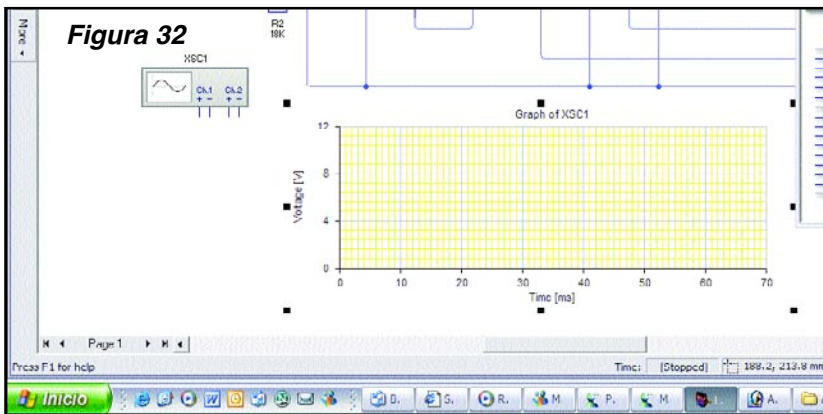


**Figura 30**

Desde la galería de Instrumentos arrastramos un osciloscopio hasta la hoja de trabajo, luego deberemos conectarlo en el punto a observar.



**Figura 31**



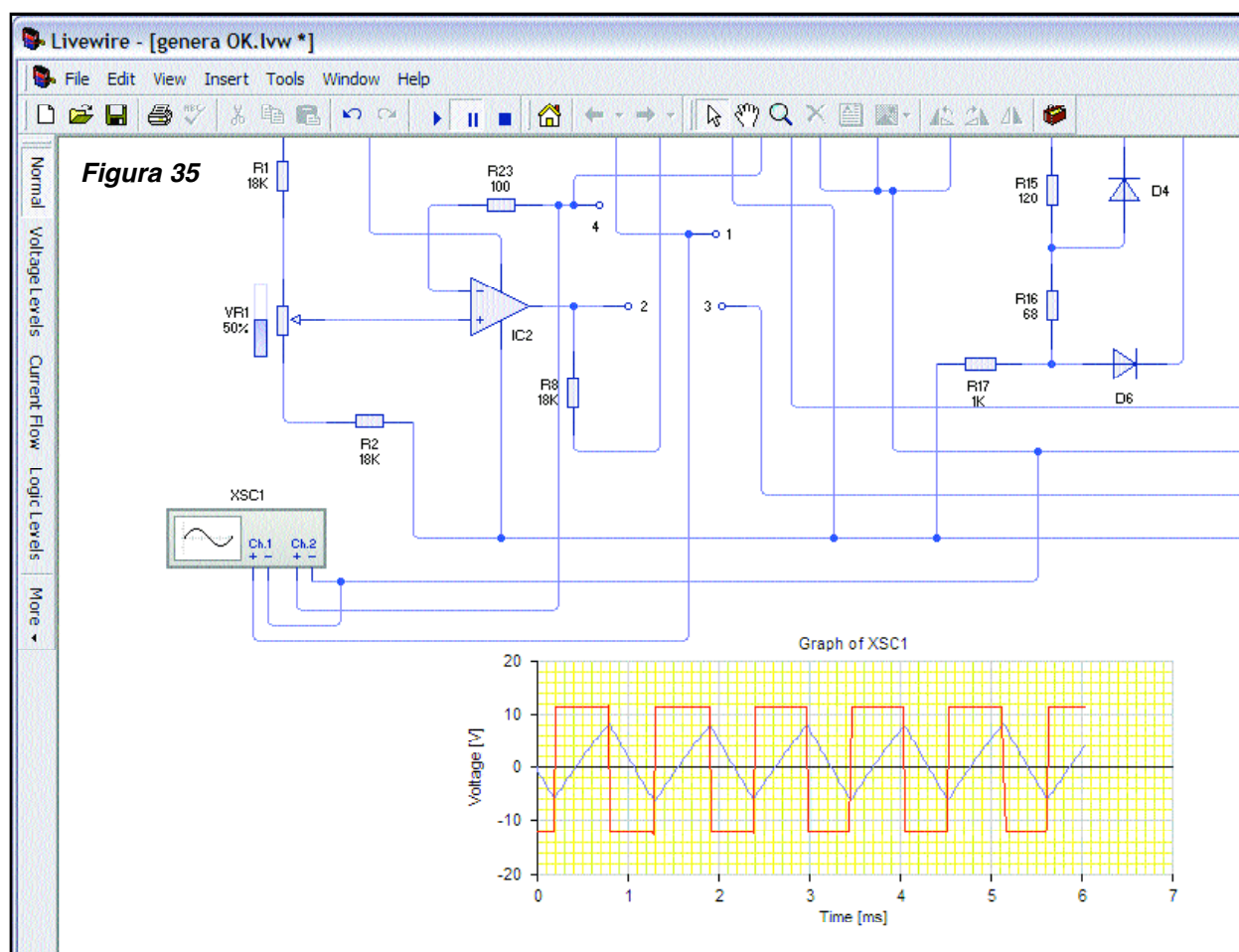
agregar un osciloscopio, para ello, de la galería de instrumentos hacemos un click sobre el instrumento y lo arrastramos hacia nuestra hoja de trabajo (figura 30). Hecho ésto, hacemos un click sobre el instrumento

con el botón derecho del mouse y seleccionamos la opción **Add Graph** (figura 31). Luego, al mover el mouse verá que aparece un cruce de líneas que me indica la posición donde colocaremos “la pantalla del osciloscopio” (en realidad un gráfico que la simula). Hacemos click en la posición donde queremos colocar el gráfico y manteniendo el botón izquierdo del mouse apretado vamos corriendo hasta obtener el tamaño del gráfico que nosotros querremos (figura 32). Ahora debemos fijar los parámetros del osciloscopio, para ello, haciendo un doble click sobre el gráfico, aparece una tabla para fijar los valores de tensión máxima y mínima y la escala de tiempos en sentido horizontal (la base de tiempo del osciloscopio, que no es la base de tiempo de simulación, la que deberemos fijar después). Como no sabemos la frecuencia que vamos a medir, en **Time** colocamos “2 ms”, en **maximum** colocamos 15V y en **minimum** ponemos -15V (figura 33). Note que el canal 1 se graficará en color rojo y el canal 2 en color azul, Ud. puede cambiar los colores en que se presentarán las señales en el gráfico haciendo un doble click en el cuadrado donde está la definición del color. Cuando definimos todos los parámetros apretamos **OK**.

Ahora conectamos el osciloscopio, de modo que el canal 1 muestre la señal cuadrada (terminal 1) y el canal 2 la señal triangular (terminal 4). Por último, antes de hacer la simulación, debemos ajustar la base de tiempo de simulación (Timing Control), es decir, el programa deberá realizar la simulación en un tiempo del mismo orden del período de la señal a mostrar, caso contrario el resultado será erróneo (se sugiere que el tiempo de simulación sea entre 3 y 10 veces el valor de la frecuencia que se está mostrando).

Como el generador produce señales de 1Hz a unos 50kHz, en principio podemos decir que la señal a





## Lista de Materiales:

R1 - 18kΩ  
R2 - 18kΩ  
R3 - 10kΩ  
R4 - 1kΩ  
R5 - 82Ω  
R6 - 150kΩ  
R7 - 1MΩ  
R8 - 18kΩ  
R9 - 10kΩ  
R10 - 1kΩ  
R11 - 68Ω  
R12 - 120Ω  
R13 - 220Ω  
R14 - 220Ω  
R15 - 120Ω  
R16 - 68Ω  
R17 - 1kΩ  
R18 - 560Ω  
R19 - 18kΩ  
R20 - 47kΩ  
R21 - 10kΩ  
R22 - 10kΩ

R23 - 100Ω  
R24 - 10kΩ  
R25 - 470Ω  
R26 - 1kΩ todas de 1/8W

Capacitores para cambio de banda con:

\* CA - 470pF  
\* CB - .005μF  
\* CC - .05μF  
\* CD - .2μF

D1 a D6 - 1N4148

\* C11 y C12 - LF356

\* C13 y C14 - CA741

P1 - Potenciometro de 100kΩ lineal

P2 - Potenciometro de 1MΩ logar.

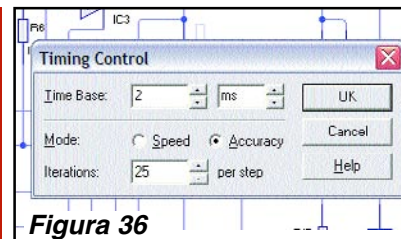
P3 - Pre-set de 10kΩ

P4 - Potenciometro de 10kΩ lineal

\* L1 - Llave selectora 1 polo 4 posiciones

\* L2 - Llave selectora 1 polo 4 posiciones

\* (Ver texto)



**Figura 36**

mostrar será del orden de 1kHz, es decir, su período (inversa de la frecuencia) será de 1 ms, por lo tanto, fijamos ese tiempo en Timing Control. Para ajustar ese parámetro, en la barra del menú vamos a Tools, Simulation, Timing Control (figura 34). Aparece una pantalla como la de la figura 35, en la que debemos seleccionar la opción Accuracy (precisión) y le decimos que tome 25 muestras por cada período de simulación para mostrar la señal en el gráfico. Pocas muestras pueden generar una señal que no está de acuerdo con la reali-



dad (en el caso de mostrar señales complejas) y muchas muestras puede arrojar una señal con mucho ruido.

Ajustada la base de tiempo, ya estamos en condiciones de realizar la simulación, al apretar el botón RUN, comenzará a graficarse las señales, tal como se muestra en la figura 36. Si no aparecen las señales, es porque el Timing Control es muy pequeño, aumentelo 10 veces. Si aparecen líneas verticales como si se tratara de una señal de muy alta frecuencia, entonces el Timing Control es muy grande y debe bajarlo 10 veces. La experiencia le irá diciendo en qué valores debe ajustar el tiempo de simulación.

En el gráfico de nuestro ejemplo, la señal tiene un período de 1,3 ms, es decir, corresponde a una frecuencia de unos 770Hz. Puede variar la frecuencia ajustando VR2 para observar cómo cambia la señal en el gráfico. También puede colocar otro osciloscopio para verificar la producción de señales de onda senoidal y cuadrada con ciclo de actividad variable. Realice todas las pruebas que crea conveniente y se va a sorprender de los resultados obtenidos. Hecha la simulación ya nos encontramos en condiciones de explicarles la forma de obtener el circuito impreso.

## Cómo Hacer un PCB Optimizado

Una vez que tenemos nuestro proyecto armado en Livewire, procedemos a hacer el correspondiente circuito impreso. Para eso, sin cerrar Livewire debemos abrir el programa PCB Wizard 3.

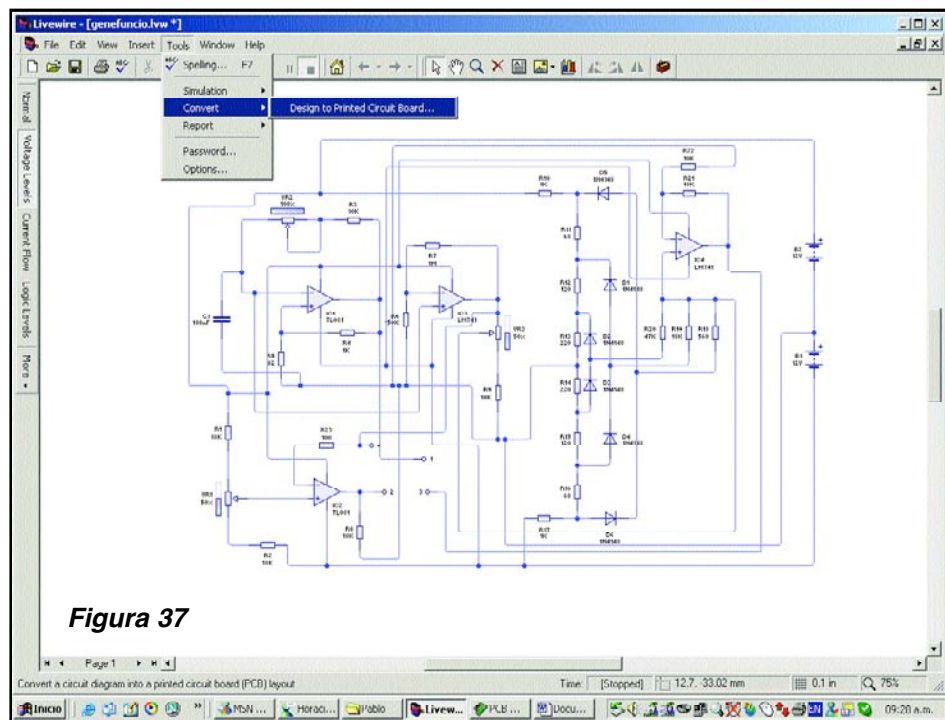


Figura 37

Luego volvemos al circuito en Livewire y en la barra de herramientas hacemos un click en **Tools** (Herramientas) y deslizamos el mouse sin soltar el botón hasta **Convert** y luego **Design to printed circuit board** en donde debemos soltar el botón del mouse, tal como vemos en la fi-

gura 37. Automáticamente nos aparecerá una ventana como la que se ve en la figura 38, ésta nos dice que el programa nos guiará para poder realizar el diseño siguiendo determinadas pautas que nosotros podremos cambiar de acuerdo con nuestro criterio. Haciendo click en **Next**

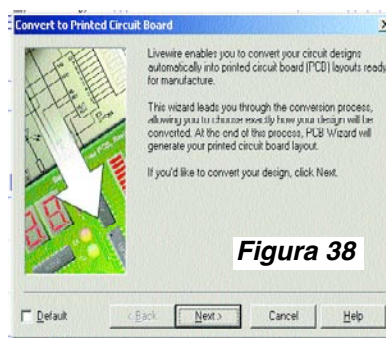


Figura 38

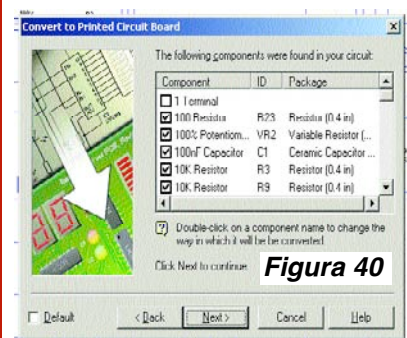


Figura 40

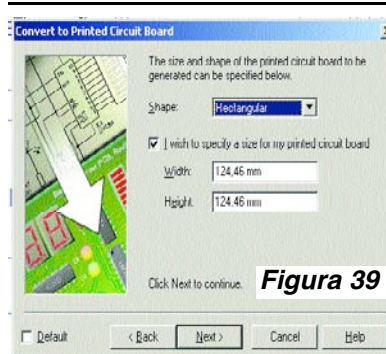


Figura 39

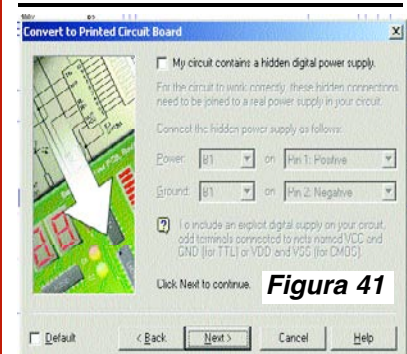


Figura 41

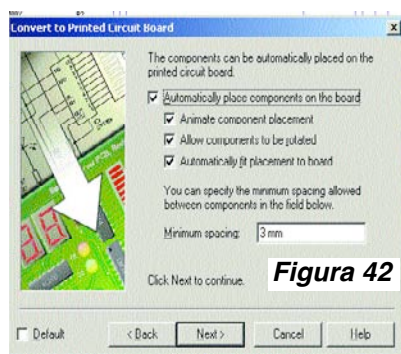


Figura 42

(próximo) aparecerá otra ventana para configurar el tamaño de la placa de circuito impreso (figura 39), aquí podrá seleccionar la opción pa-

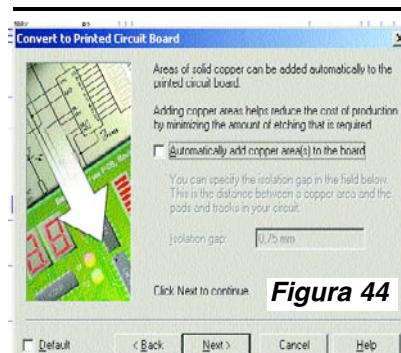


Figura 44

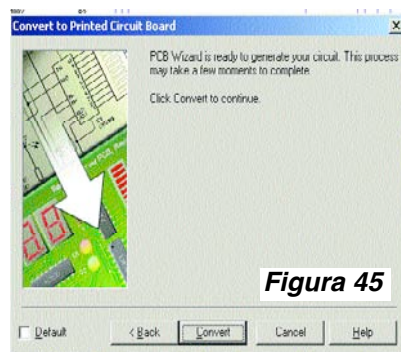


Figura 45

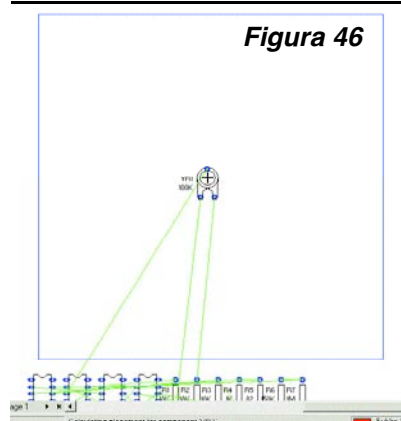


Figura 46

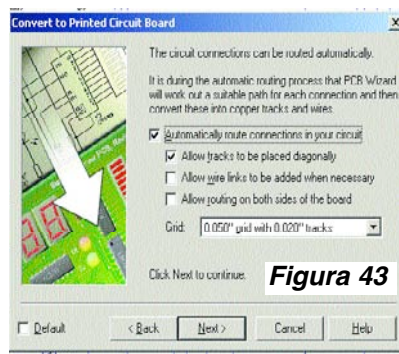


Figura 43

ra que el PCB Wizard elija el tamaño y forma adecuada o Ud. podrá colocar las medidas que crea convenientes. Una vez que definió las medidas del futuro PCB, haga click en **Next** y aparecerá otra ventana que nos muestra la lista de materiales utilizados en nuestro proyecto (figura 40), es muy probable que en algún proyecto Ud, por algún motivo, haya dejado componentes fuera del circuito, o sin conexión, por lo tanto, éstos no deberán aparecer en la placa y en esta ventana tendrá que destildar a dichos componentes. Siguiendo la lista podrá corroborar si aparecen todos los elementos que forman parte del circuito. Cuando hayamos verificado que están todos los componentes, hacemos click en **Next** para ver la próxima ventana, que nos pregunta si el circuito posee una fuente digital (figura 41), cosa que ocurriría en el caso en que se usan compuertas lógicas, y en cuyo diagrama esquemático no aparecen las conexiones de positivo y negativo de dichos componentes, nuestro circuito no posee dichas fuentes por lo cual destildamos la opción para que las incluya y continuamos. Dando un click en **Next** aparecerá una nueva ventana donde deberemos indicar si queremos o no, que el programa realice automáticamente la colocación de los componentes en el impreso, que gire los componentes si es necesario, que los fije al impreso y el espacio mínimo entre pistas, como vemos en la figura 42. Es a partir de aquí que podemos indicar que

el programa siga en forma automática, en forma manual o semimanual, o por partes. Veamos algunas de las opciones.

## Creando un PCB en Forma Automática

Haciendo click en **Next** vamos a la siguiente pantalla que nos da la opción del ruteo automático para la unión de los componentes, si pueden haber pistas en diagonal, si es necesario agregar puentes, si es de doble faz o faz simple y el grosor de las pistas (Ver figura 43).

Volvemos a hacer click en **Next** y se abre otra pantalla que nos da la opción de agregar cobre en todas las partes vacías del impreso (**Automatically add copper area(s) to the board**), con lo que nos ayuda a ahorrar percloruro férrico a la hora de hacer el impreso. Nos da también la opción de cambiar la distancia entre pistas para que no pasen unas muy cerca de otras pudiendo provo-

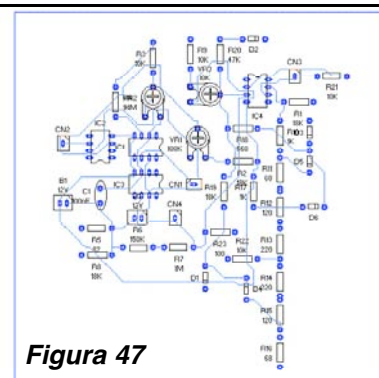


Figura 47

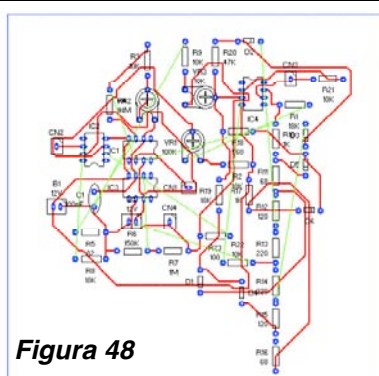


Figura 48



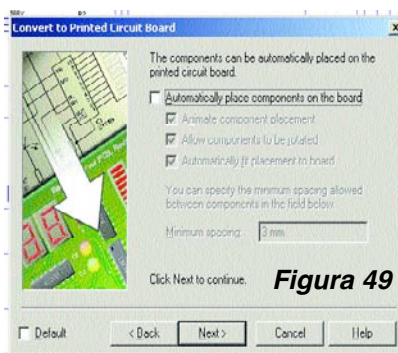


Figura 49

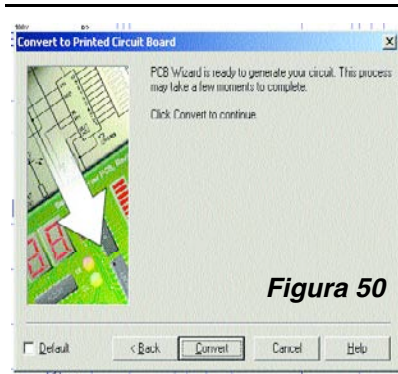


Figura 50

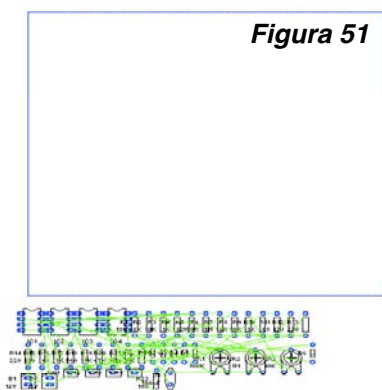


Figura 51

car un cortocircuito entre pistas (figura 44). Damos nuevamente un click en **Next** y finalmente aparecerá la última pantalla antes del proceso de conversión, donde solamente debemos hacer click en **Convert** como vemos en la figura 45.

Inmediatamente después, vemos que los componentes se van colocando dentro del tablero que será nuestro circuito impreso y esperamos a que haga el ruteamiento automáticamente. En unos minutos tendremos nuestro impreso terminado (ver figuras 46, 47 y 48).

Note que al hacer el ruteo automático tenemos el inconveniente de que si nuestro proyecto posee muchos componentes, el impreso contendrá algunos puentes entre conexiones y hasta puede hacerse confuso a la hora de armar el PCB en la vida real.

Para mejorar este problema existen otras maneras de proceder. Podemos recurrir a la manera manual o semimanual, o diseñarlo por partes eso dependerá de usted y lo complicado del proyecto.

## Creando un PCB de Forma Semimanual

Debemos seguir los mismos pasos que antes hasta la pantalla de la figura 41, quien indica si vamos a utilizar conexiones de fuentes digitales.

Luego de indicar si necesitamos conectar fuentes digitales o no, damos un click en **Next** y nos aparece nuevamente la pantalla de la figura 42, pero en este caso, destildamos la opción **Automatically place components on the board** (figura 49) y hacemos click en **Next** para que aparezca la siguiente ventana que nos permitirá continuar en la definición de parámetros hasta obtener la pantalla de la figura 50, hacemos click en **Convert**.

Veremos en la pantalla siguiente la placa de circuito impreso vacía y debajo de ella todos los componentes que usaremos y que deberemos ir colocando en dicha placa.

Para continuar, debemos tener una idea de cómo irán colocados los componentes en el PCB de manera tal que no le sea tan complicado al programa hacer las conexiones y de esa manera no aplicar puentes entre pistas. (Figura 51).

Ahora, vamos haciendo un click con el mouse sobre cada componente y lo arrastramos hasta lo que será la placa de circuito impreso co-

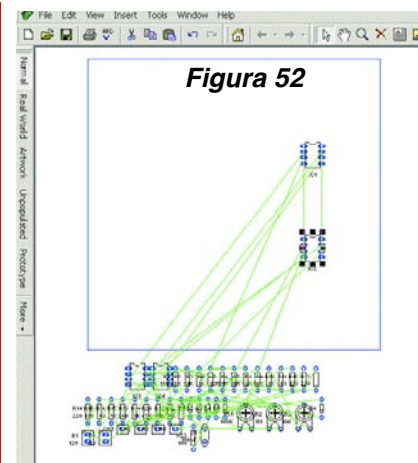


Figura 52

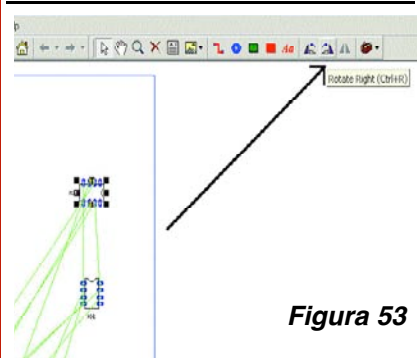


Figura 53

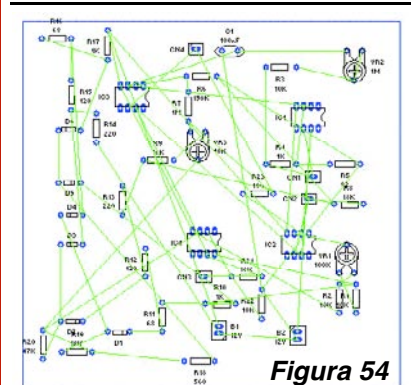


Figura 54

mo vemos en la figura 52. Recuerde que puede rotar los componentes, primero seleccionándolos con el mouse y luego haciendo click en el ícono de rotar como se ve en la figura 53, damos la orientación que creemos conveniente.

Así vamos colocando todos los componentes hasta tener a todos en la placa de acuerdo con la posición que creemos adecuada, tal como vemos en la figura 54. Para este paso, conviene tener a mano el circuito eléctrico, así sabremos la cerca-

nía y posición más adecuada entre elementos.

Una vez hecho esto, vamos a la barra de herramientas y hacemos click en **Tools** y deslizamos el mouse soltando en **Auto route - route all nets** (figura 55) y nos aparecerá una ventana que da las opciones para que se puedan crear pistas diagonales, agregar puentes entre pistas si es necesario y si el impreso será

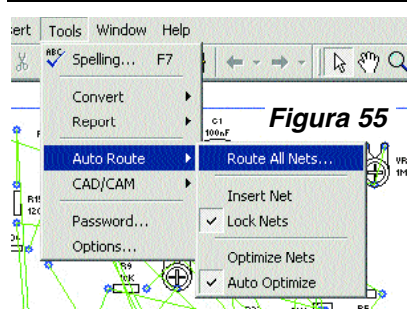


Figura 55

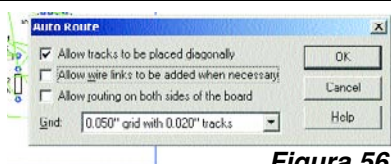


Figura 56

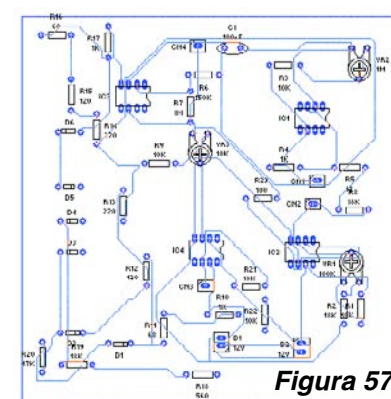


Figura 57

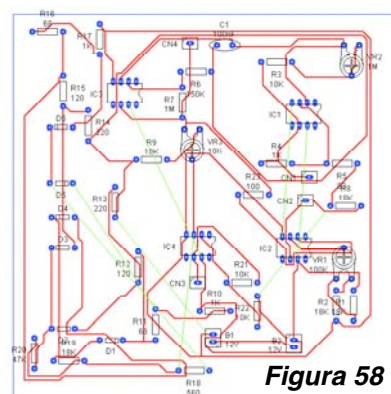


Figura 58

de simple faz o de doble faz (ver figura 56). Destildamos la opción de los puentes y la del impreso de doble faz. Así comenzará un nuevo ruteo como se ve en la figura 57. Terminado el proceso, esta vez el programa nos ha creado sólo 8 puentes entre pistas (figura 58), varios menos que en la versión automática, que había creado 12 puentes.

A partir de aquí, el proceso lo podemos continuar de forma manual y así ir encontrando soluciones a los puentes creados, ya que cuanto menor sea la cantidad de ellos, mejor será nuestro diseño. También podemos compactarlo (hacer el impreso más pequeño).

Mejoremos entonces el proyecto, los pasos a seguir son los siguientes:

## Proceso de Optimización Manual de un PCB Creado Semiautomáticamente

Tenemos el diseño que muestra la figura 58, agrandamos la página con la lupa (encuentra el icono lupa

en la barra de herramientas), y tratamos de buscar alternativas cambiando componentes de lugar, rotándolos (Con los iconos de rotar

), corriendo las pistas, en fin... utilizando todas las herramientas disponibles en el programa para poder confeccionar un impreso del menor tamaño posible.

Podemos, por ejemplo, modificar la pista que une el preset VR1 con R1. También podemos modificar las conexiones de R1 y R2 que van al preset VR1, tal como vemos en las figuras 59 y 60. Para modificar las pistas, seleccione el cursor en la barra de herramientas

como se ve en la figura 59 y luego haga click sobre la pista a modificar, como se ve en la figura 60, arrastre los puntos interiores de la pista selecciona-

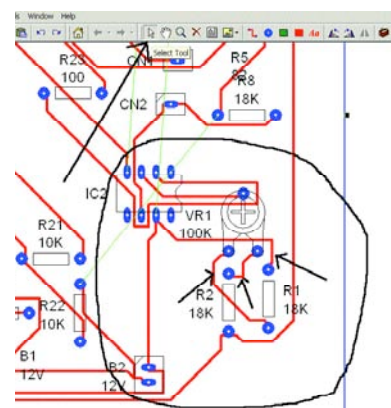


Figura 59

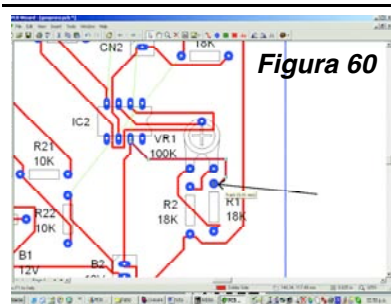


Figura 60

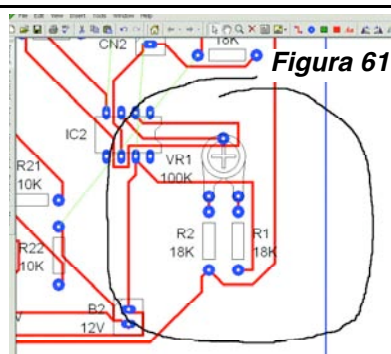


Figura 61

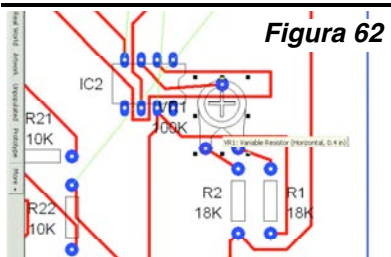


Figura 62

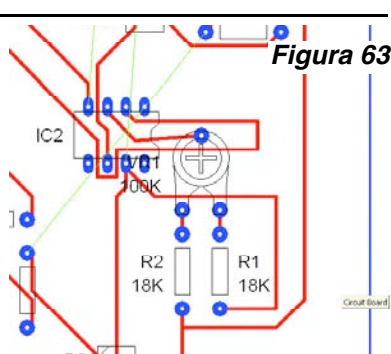


Figura 63



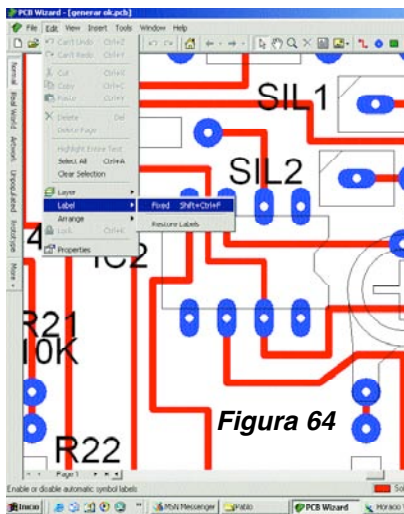


Figura 64

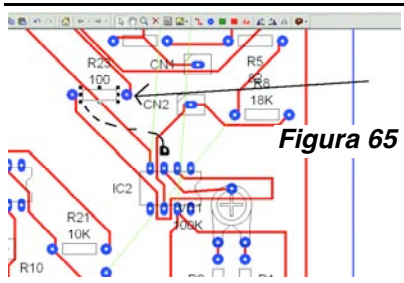


Figura 65

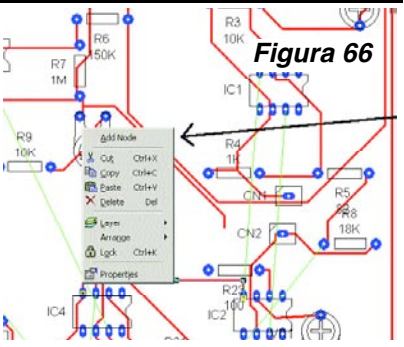


Figura 66

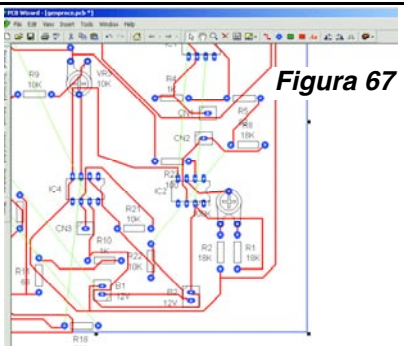


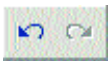
Figura 67

da y diríjela hacia donde quiere llevarla (vea la figura 61) y compare los cambios con la figura 59. Como puede ver, hemos hecho un poco más simple una parte del impreso sin afectar al circuito, ya que los dos re-

sistores, tanto R1 como R2 son del mismo valor y además los resistores no llevan polaridad para conectarse. Ahora podemos acercarnos más al VR1, R1 y R2 al circuito integrado IC2, como se ve en las figuras 62 y 63.

Recuerde que si en algún momento se enciende la etiqueta de un componente sobre otro, puede seleccionar dicha etiqueta y haciendo un click en **Edit**, y deslizando el puntero del mouse hasta **Label / Fixed** o ejecutando las teclas **Shift+Ctrl+F**, podrá cambiar de lugar dicha etiqueta sin mover el componente, como se muestra en la figura 64.

En la figura 65 vemos que R23 puede cambiarse de lugar y de esa manera evitar que pase una pista entre las terminales 5, 6 y 7 del integrado IC2. Pero también hay una pista para cambiar de lugar y poder conectar el otro extremo de R23, para eso hacemos click sobre la pista y la movemos a partir de los puntos o nodos internos, también podemos agregar nodos, haciendo click con el botón derecho del mouse teniendo la pista seleccionada, ver figura 66. El resultado del cambio lo vemos en la figura 67.

Observamos que el preset VR2 y R3 pueden colocarse más cerca del integrado IC1, y éste a su vez más cerca de R4 y R5, de esa manera de a poco vamos compactando el circuito impreso. Recuerde mover cada pista o componente con cuidado para no equivocarse y luego hacer una conexión errónea. Si tiene dudas vuelva atrás con el icono atrás /adelante (  ) de la barra de herramientas) y luego hacia adelante.

Así vamos mejorando el diseño del

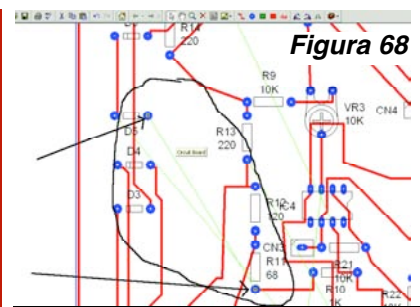


Figura 68

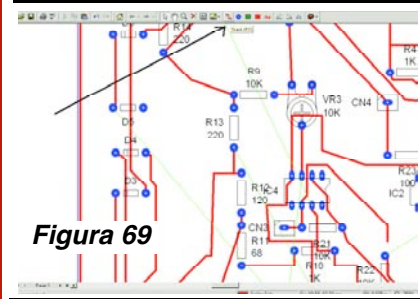


Figura 69

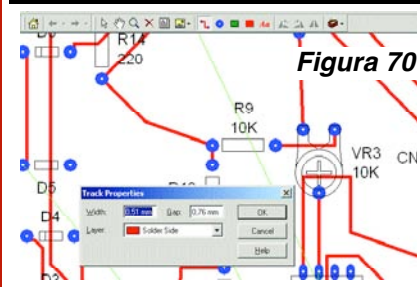


Figura 70

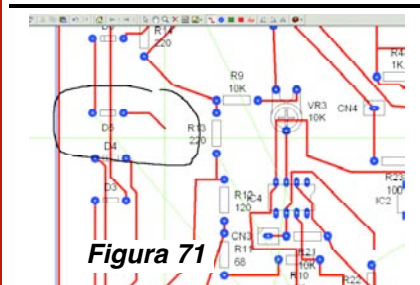


Figura 71

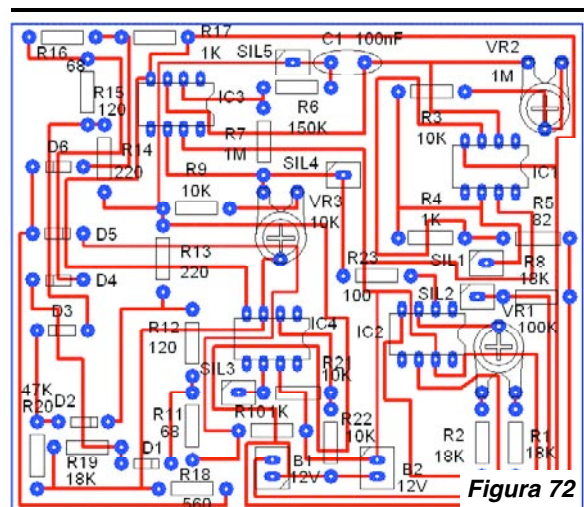


Figura 72

impreso, haciendo lugar para colocar pistas donde había puentes. Para eliminar un puente selecciónelo y luego presione la tecla "Delete", ver figura 68, y luego con el ícono que se muestra en la figura 69 podemos dibujar las pistas, antes haga un doble click sobre el ícono para definir el grosor de la pista que vamos a dibujar (figura 70). Para eso haga click sobre el centro de la terminal de un componente y vaya arrastrando el mouse haciendo un click en cada nodo o curva hasta quedar conectado al componente correspondiente, donde deberá hacer doble click para que la pista se fije al impreso y una los componentes, como se ve en la figura 71.

Finalmente, obtenemos nuestro impreso sin puentes y en un tamaño bastante reducido. (Ver figura 72).

Queda para una próxima entrega, explicar cómo hacer el PCB por partes, sin embargo, en la figura

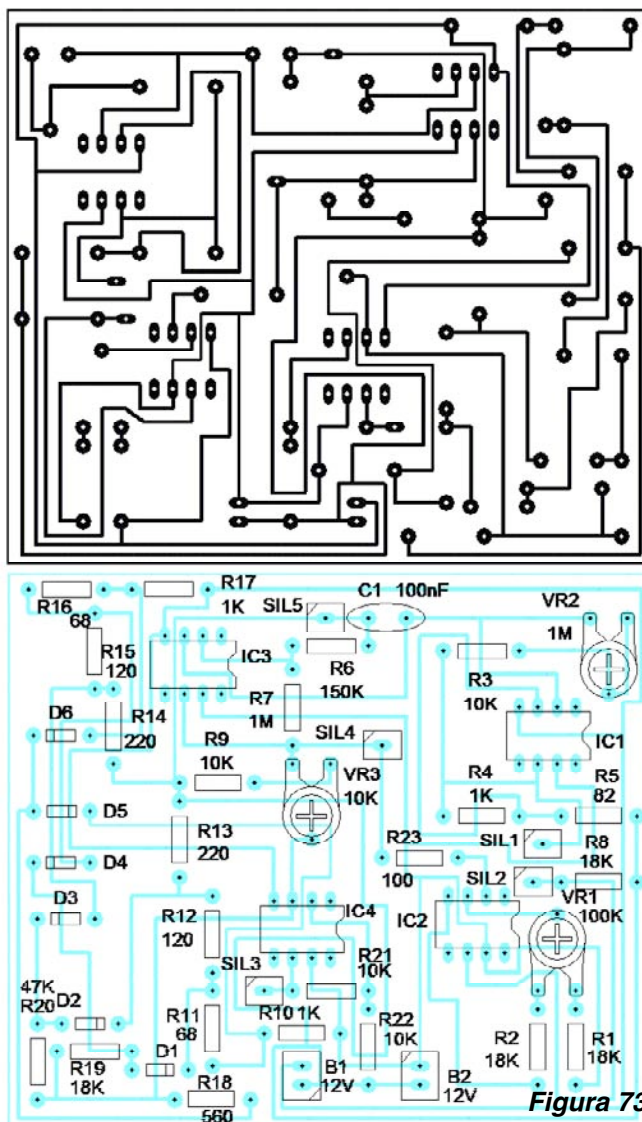


Figura 73

73 reproducimos el circuito impreso en tamaño real, ya sea del lado del cobre como de los componentes.

Una vez construido el generador, sólo debe realizar un ajuste y para ello tiene que contar con un osciloscopio o un analizador de espectro.

Tiene que ajustar VR3 para que la señal senoidal posea el menor contenido armónico posible, si cuenta con un osciloscopio, tiene que mover el pre-set hasta que la imagen vista en pantalla sea lo más senoidal posible. Con VR2 ajusta la frecuencia en pasos finos, mientras que VR1 permite el ajuste del ciclo de actividad de la señal de forma de onda cuadrada obtenida en la salida 2. Para cambiar el rango de frecuencias, debe conmutar al valor de C1.

Si emplea transistores con entrada FET, podrá conseguir señales superiores a los 50kHz con muy pocas deformaciones.

Le aconsejamos que antes de montar el generador realice la simulación en Livewire, si no tiene el programa completo, puede bajar un demo de nuestra web, dirigiéndose a [www.webelectronica.com.ar](http://www.webelectronica.com.ar), haciendo click en el ícono password e ingresando la clave: "gene". El montaje no reviste consideraciones especiales y si sigue las indicaciones dadas en el comienzo de este artículo verá que habrá aprendido "mucho" sobre electrónica. ⚡

