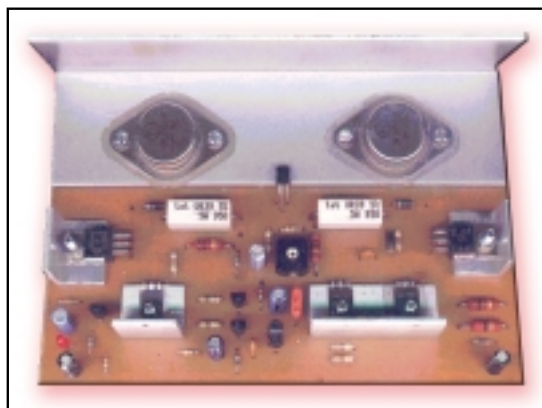


## Artículo de Tapa

# Cuaderno Especial de Audio

Los archivos e información adicional están en nuestra web, clave: **kit60w**

## Presentamos el Nuevo Kit “POWER60W”: Amplificador de Potencia de Audio de Nueva Generación de 60Watt Reales por Canal



En esta nota especial vamos a explicar el funcionamiento de los amplificadores de audio de potencia, desde los históricos con salida a transformador hasta la última generación de equipos. La novedad, que probablemente revolucione la industria de los próximos 5 años son los Amplificadores Digitales y los Semidigitales, y de estos también hablaremos. El objeto de esta nota es que, además de adquirir conocimientos, pueda armar un amplificador de audio de nueva generación de excelentes características.

**AUTOR: ING. ALBERTO H. PICERNO**  
[picernoa@fullzero.com.ar](mailto:picernoa@fullzero.com.ar)

### INTRODUCCION

Quienes sigan el curso de Reproductores de CD que publicamos en esta revista se preguntarán si el viejo amplificador de audio ya puede ser digitalizado; aunque es muy temprano aún para hablar con detalle del tema, ya trascendieron algunas particularidades que pueden revolucionar la industria del audio.

En el momento actual, la técnica de la reproducción de CD pasa por una etapa realmente extraña. Por fin el hombre cuenta con un sis-

tema excelente para guardar música (y datos por extensión) de alta fidelidad y a un costo muy reducido. En efecto, el disco CD tiene prácticamente un costo que se corresponde con los derechos de autor, de interpretación, de distribución, la ganancia de la casa de música donde se vende y la ganancia del sello grabador.

El costo de fabricación y de materiales, es prácticamente inexistente, comparados con estos valores ya que es del orden de 1 dólar para una sola copia y de 30 centavos

para fabricación en gran escala. La distorsión y el ruido, desde el disco hasta el convertidor D/A, es prácticamente despreciable. Pero a partir de allí la cadena digital se transforma en analógica y los circuitos agregados generan tanto ruido y distorsión como siempre. Y además, esa sección (nos referimos al amplificador de potencia y a los parlantes) es la más cara de todo el equipo. Tan es así, que allí suele estar el talón de Aquiles del sistema porque las empresas que dominan este mercado (Coreanas

y Japonesas) no dudan en construir bafles que por lo menos trabajan al borde de la falla.

El usuario se suele quedar gratamente sorprendido cuando escucha unos bonitos bajos saliendo por los bafles de su equipo, que tiene parlantes de solo 6" o a lo sumo de 8". El acoplamiento mecánico entre el cono de ese parlante y el tímpano del usuario se realiza a través del aire y se requiere una adecuada compresión del mismo para transportar importantes potencias acústicas. Con esos diminutos parlantes el rendimiento acústico del baffle es muy bajo.

Para aumentar la potencia acústica hay dos caminos posibles. Aumentar el rendimiento del baffle usando parlantes de mayor tamaño, lo cual significa gastar mucho dinero; o aumentar la potencia eléctrica que entrega el amplificador y seguir utilizando los mismos pequeños bafles con bajo rendimiento. Aunque parezca extraño el criterio adoptado universalmente es el segundo y el hombre vuelve a equivocarse una vez más a la hora de utilizar los recursos energéticos de nuestro vapuleado planeta. Tal vez si la industria estuviera dominada por el mercado común europeo la historia sería otra. Por lo general los pueblos europeos son respetuosos del medio ambiente, pero la industria electrónica se cocina en oriente y allí parece que sólo interesa el beneficio económico. Si es más barato usar un amplificador de 150+150 watt RMS en lugar de utilizar un parlante de 15", se lo usa.

*Esto significa que cuando el usuario levanta el volumen de su equipo consume recursos energéticos, renovables o no renovables, pero que paga de su bolsillo cada vez que viene la cuenta de energía eléctrica.*

Lo peor es que nadie le dice que ese equipo que suena tan lindo está consumiendo bosques enteros. Y todo por la desidia o la ambi-

ción de los fabricantes de productos de electrónica de entretenimiento. *¿Para qué?* solo para que el reproductor cueste algunos dólares menos y pueda entrar en competencia con productos similares desarrollados sin pensar en la economía de recursos energéticos. *¿Yo me pregunto?*, si a los fabricantes de cigarrillos los obligan a poner una leyenda en el atado que indique que contiene productos que producen cáncer; por qué no obligan a los fabricantes de productos electrónicos de audio a poner un cartel en la caja que indique que ese producto deteriora el medio ambiente con su bajo rendimiento.

Comenzaremos dando una presentación histórica del tema, apoyados por circuitos reales debidamente virtualizados en el Workbench. Observaremos cómo fueron cambiando los amplificadores de audio en función del tiempo y de los componentes que se conseguían en cada época. Aconsejamos al lector que no se quede sólo con la lectura pasiva del artículo. Si Ud. no tiene instalado un laboratorio virtual en su computadora está totalmente detenido en el tiempo. Todos los circuitos de este artículo son funcionales y sólo se requiere un Workbench 5.1 o un Multisim para poder observar su funcionamiento con los instrumentos virtuales.

Si aún no tiene instalado un Workbench en su PC escríbale un e-mail al autor planteándole sus dudas. Los archivos de circuitos puede bajarlos de nuestra web ([www.webelectronica.com.ar](http://www.webelectronica.com.ar)).

### AMPLIFICADORES A VALVULAS

Es evidente que el primer componente amplificador, utilizado para fabricar amplificadores de potencia de audio fue la válvula termoiónica. Para los más jóvenes recordemos que la válvula termoiónica es un

dispositivo que genera una corriente de placa que es función de la tensión aplicada a su grilla de control. La característica que relaciona a ambas variables se llama transconductancia, se representa con las letras gm y se mide "mho" (en un dechado de sagacidad la unidad elegida es la unidad de resistencia "ohm" leída al revés).

Como sea, las válvulas prácticas tenían una impedancia de placa del orden de los varios kilohms y los parlantes, como todos sabemos, pueden llegar a tener una impedancia máxima del orden de los 100 ohms en construcciones muy especiales (lo típico son de 4 a 8 Ohm en la actualidad y de 3,2 Ohm en aquella remota época). Ergo, se impone un dispositivo adaptador de impedancias entre la válvula y el parlante que como el lector imagina se trata de un transformador.

Construir un transformador para frecuencia de red (50 o 60Hz) es muy fácil; pero cuando el mismo debe cubrir una banda de 20 a 20.000Hz el diseño es muy complicado y caro, porque requiere laminaciones especiales de bajas pérdidas (recuerde que la pérdidas en el hierro crecen con el cuadrado de la frecuencia). Además, para obtener buenas potencias, el transformador se somete a tensiones altas sobre la placa y eso trae aparejado una construcción especial para alta tensión.

Las válvulas utilizadas como salida de audio fueron cambiando con el tiempo. Primero se usaban triodos (cátodo, rejilla y placa), luego se utilizaron tetrodos (cátodo, rejilla de control, rejilla pantalla y placa) y por último pentodos (cátodo, rejilla de control, rejilla pantalla, rejilla supresora y placa). En la figura 1 podemos observar un circuito característico de salida a transformador con un triodo.

Los transformadores son dispositivos que se caracterizan porque generan distorsión de las señales

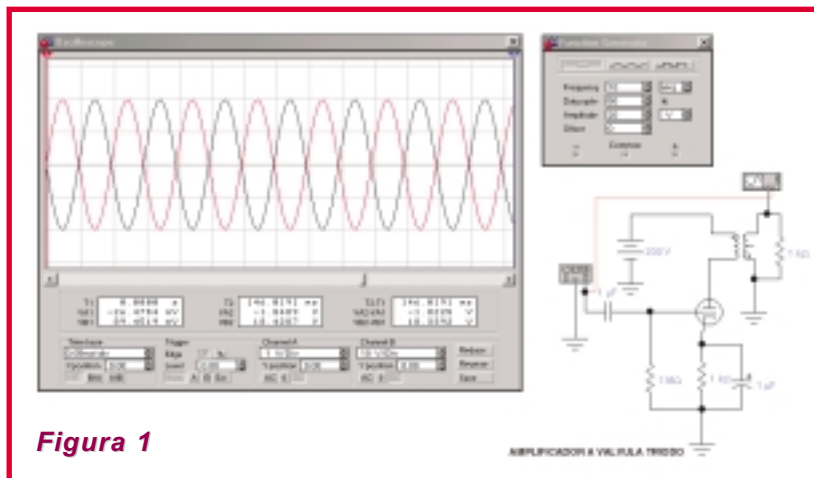


Figura 1

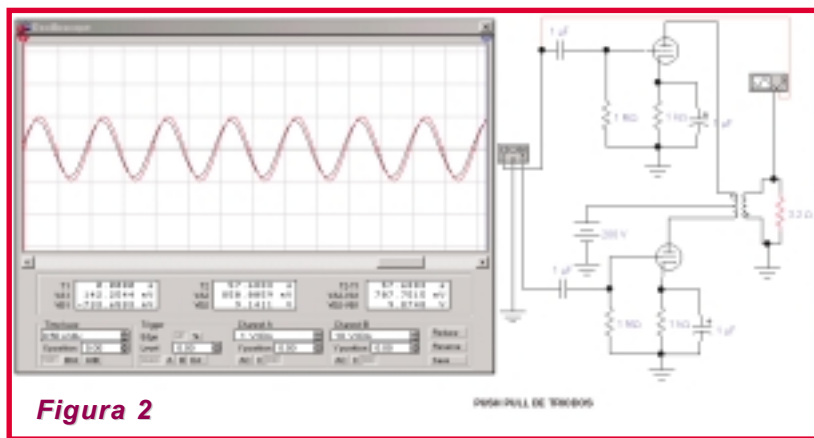


Figura 2

que acoplan. Esta distorsión se puede reducir, pero jamás se puede eliminar porque es una característica propia del hierro utilizado para la laminación. Sin embargo, utilizando disposiciones en push pull, se pueden anular las componentes impares de las señales distorsionadas, simplemente porque se anulan entre sí en las dos mitades del transformador. Esto invitó a los di-

señadores a realizar etapas de salida en push pull a transformador con válvulas triodo primero y pentodo después, uno de cuyos circuitos se puede observar en la figura 2.

Actualmente, existe una corriente de usuarios que defiende a los amplificadores a válvulas, indicando que el sonido de un amplificador de este tipo es mejor que el de cualquier equipo a transistores.

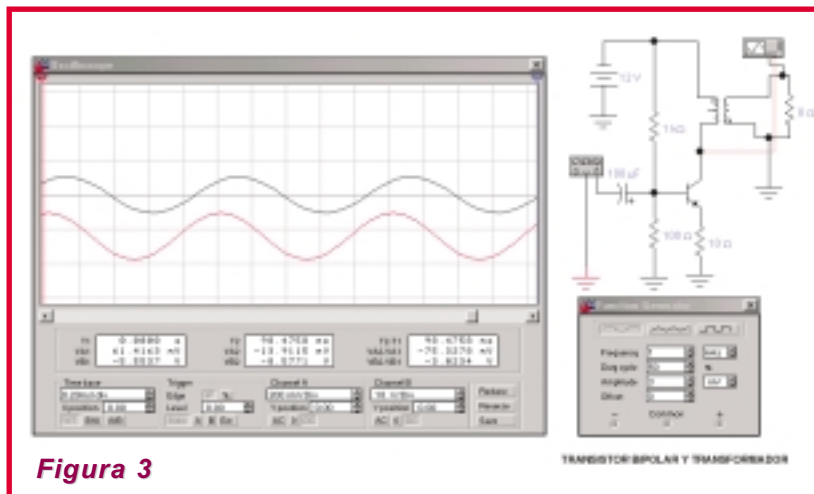


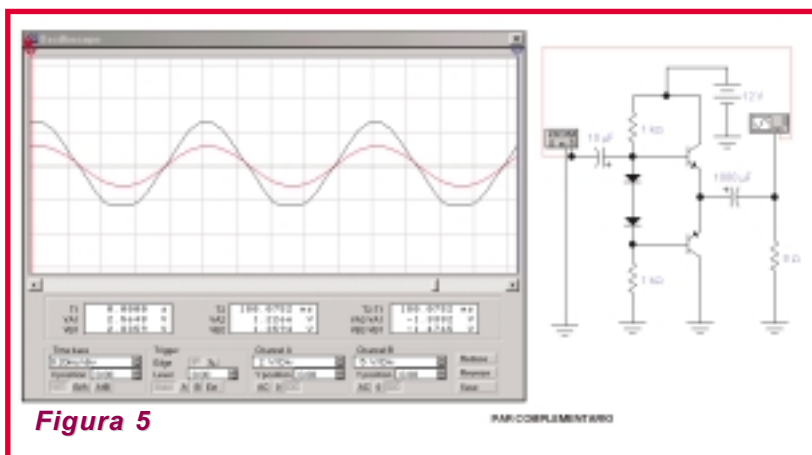
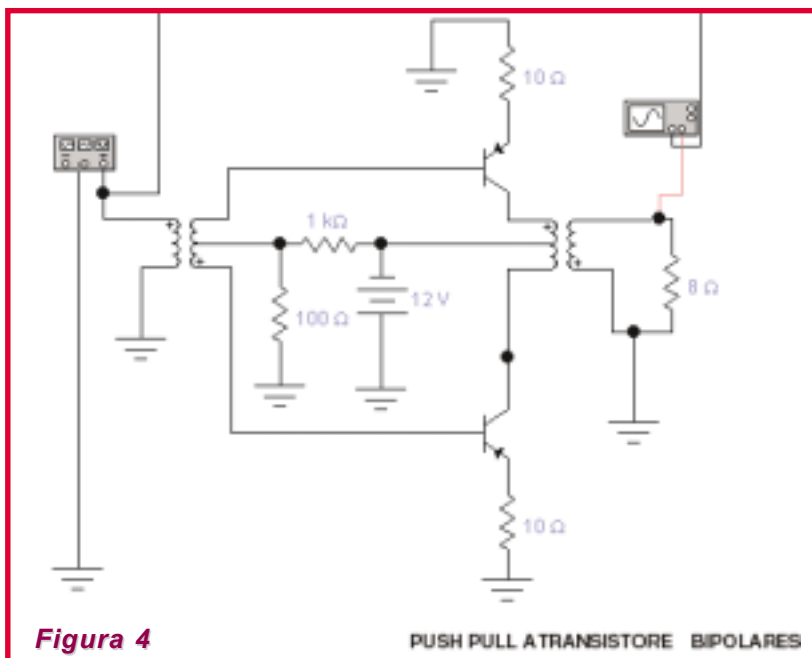
Figura 3

La realidad es que la combinación de amplificador con baffle puede considerarse como un instrumento musical y es muy probable que las distorsiones de frecuencia y amplitud de ambos componentes se sumen o se cancelen para dar un sonido más dulce con un contenido armónico que *"suenan mejor"*. Las mediciones de distorsión, ruido, respuesta en frecuencia y potencia RMS y de pico son, sin embargo, ampliamente favorables a los amplificadores a transistores. Ni qué decir tiene, que el rendimiento de los amplificadores a válvulas es muy inferior a los de transistores habida cuenta de la potencia de calefacción del filamento.

### AMPLIFICADORES A TRANSISTORES

Los primeros amplificadores a transistores integraban las autoradios, en donde el factor consumo era dejado de lado. Por esa razón, esos equipos optaban por utilizar una simple etapa de un transistor de potencia acoplado a transformador a un parlante de 3,2 o 8 Ohm. El circuito no presenta diferencias fundamentales con respecto al de un pentodo salvo por la excitación, ya que el transistor a diferencia de una válvula puede considerarse como un generador de corriente solo que en este caso también debe ser excitado a corriente. Los transistores bipolares tienen como parámetro fundamental al coeficiente de amplificación de corriente que se representa con la letra griega BETA. En la figura 3 se puede observar un circuito típico de la salida de un autoradio.

Este circuito tiene dos problemas fundamentales. El primero es que la etapa consume tanto con señal como sin ella. Por esa razón su rendimiento es peor a medida que se reduce la señal de salida. El otro problema es que dado que posee



un solo transistor de salida el mismo debe trabajar todo el tiempo. Desde esta época existe un sistema de clasificación de los amplificadores de acuerdo al ángulo de conducción de los transistores. En este caso, es evidente que si el amplificador reproduce una señal sinusoidal el único transistor que posee trabaja todo el tiempo o lo que es lo mismo los 360° sexagesimales que gira el generador de esa señal.

Los mismos circuitos push pull que se utilizaron para las válvulas se emplearon también con transistores, solo que en estos casos la excitación era también a transformador. En la figura 4 se puede observar un típico circuito.

El uso de transformadores fue dejado de lado con circuitos llama-

dos de salida complementaria o cuasicomplementaria con transistores bipolares. El problema de realizar etapas de salida complementarias, es lograr transistores de salida NPN y PNP con las mismas características. En un principio, la fabricación de los NPN de germanio eran muy compleja y cara. Por esa razón los diseñadores encontraron una salida más económica utilizando etapas llamadas de simetría cuasicomplementaria. En estos circuitos se utilizan dos transistores PNP de potencia y dos transistores complementarios de media potencia. Con el tiempo se obtuvieron transistores aptos para producción de las dos polaridades, a un precio accesible y los amplificadores complementarios se hicieron populares

a potencias del orden de 30W por canal, que en esa época se consideraban como lo máximo en audio (utilizados con buenos bafles de madera de buen rendimiento del tipo bass reflex aunque también se utilizaron los del tipo infinito que tenían un rendimiento menor pero más fidelidad). Cuando se comenzaron a utilizar los transistores de silicio el problema se invirtió; ahora los transistores caros eran los PNP. Por ese motivo los circuitos de simetría cuasicomplementaria siguieron vigentes por mucho tiempo (vea la figura 5).

*Si el lector desea ampliar sus conocimientos sobre este tipo de amplificadores (que se siguen utilizando aún hoy en día por sus inigualables prestaciones) puede consultar la serie de Workbench Multisim del mismo autor que se publica en esta revista.*

Allí no solo puede encontrar información de texto y circuitos prácticos, sino circuitos simulados que permiten levantar las características de estos amplificadores con una PC. Comuníquese con el autor si no tiene instalado el Workbench Multisim en su máquina.

Si Ud. desea llegar más allá de la simulación, tiene la oportunidad de armar un amplificador de potencia de última generación, al precio más bajo de plaza y con la posibilidad de instalarlo en un baffle especial para el que se venderá armado o en forma de kit para armar con todas las indicaciones. El parlante de este baffle fue diseñado específicamente para el amplificador y el baffle y es un diseño especial para nuestros lectores completamente fabricado en la Argentina.

Este kit es la respuesta para todos aquellos que piensan que en nuestro país no se puede fabricar nada. Se puede, y nosotros queremos ayudar a que se recupere la industria nacional con este pequeño aporte que esperamos sea la semiente de grandes proyectos nacionales.



## AMPLIFICADORES A MOSFET

Un MOSFET es el equivalente a una válvula; en efecto se lo puede asimilar a un generador de corriente controlado por tensión. Mas aún se puede considerar que la compuerta aislada prácticamente no consume energía simplificándose de este modo en grado sumo el circuito de excitación. El uso de MOSFET como componentes de potencia, se puso de moda hace un par de años, pero pronto se dejaron de utilizar por su costo y por su confiabilidad. Con dos MOSFET en disposición simétrica se puede conseguir una bajísima distorsión intrínseca ya que son dispositivos lineales por naturaleza. Pero con bipolares y una fuerte realimentación se puede conseguir el mismo resultado a menor precio. De cualquier modo, aún con MOSFET se debe utilizar una fuerte realimentación para reducir la impedancia de salida del amplificador. Ya que los parlantes debe alimentarse con generadores de tensión pura para que no provoquen distorsiones propias. No ponemos un ejemplo circuital ya que el mismo sería una copia del de transistores bipolares pero con dispositivos MOSFET.

### ¿Todos los MOSFET sirven como amplificadores de audio?

No, sólo sirven aquellos que se diseñaron especialmente para el uso en audio de potencia. Por ejemplo si usáramos un MOSFET diseñado como llave de una fuente pulsada, serviría, pero generaría distorsiones que tal vez la realimentación no logre corregir completamente. En el diseño de MOSFET de potencia se tiene en cuenta sobre todo la linealidad entre la tensión de compuerta y la resistencia de drenaje a fuente (es usual que se considere al MOSFET como un resistor controlado por tensión). Por eso es un error reemplazar dis-

positivos teniendo en cuenta solo la corriente y la tensión de trabajo de los MOSFET. El reemplazo debe ser por función primero y por parámetros máximos después.

## AMPLIFICADORES INTEGRADOS

Existen dos grandes tipos de integrados. Los monolíticos y los híbridos. En los primeros no existen componentes que se fabriquen independientemente primero y luego se unan sobre un placa base. Todos se fabrican directamente sobre un sustrato de silicio y en el mismo proceso de fabricación se unen a componentes vecinos a través de enriquecimientos localizados del sustrato. Los integrados monolíticos se fabrican por procesos fotográficos y el chip final tiene dimensiones de algunos milímetros de lado (pueden ser de 2 x 2 mm por ejemplo).

Un dispositivo híbrido es como un circuito armado en una placa de circuito impreso. Dicho esto en el sentido de que se trata de componentes discretos que se unen de algún modo sobre una placa de algún tipo. La placa no es la clásica de materiales fenólicos o de fibra de vidrio y los componentes no son los clásicos con terminales de alambre. Los componentes pueden ser SMD o estar especialmente fabricados para el híbrido y se suelen unir entre sí con tintas conductoras, o algún otro medio, que no sea la clásica soldadura de estaño plomo.

La potencia máxima que se puede producir con un circuito integrado, depende de la construcción del mismo. Los monolíticos solo pueden llegar hasta 10 o 15W. Más allá, la concentración de calor en un pequeño chip se vuelve peligrosa. Con técnicas híbridas se puede llegar a potencias del orden de los 50 a 100W con circulación forzada de aire. Pero la circulación forzada

es cara y poco segura; una turbina que se traba puede significar un sobrecalentamiento del amplificador. Esto implica que se deben agregar dispositivos de protección por sobretemperatura que corten la tensión de fuente en caso de exceso. Y esto a su vez significa que se deben usar relés o tiristores de potencia porque no debemos olvidar que un amplificador puede consumir 10 A y no es fácil conmutar esa corriente.

*Un dispositivo típico del tipo monolítico es el famoso TD4001 y un clásico de los híbridos es el STK4142 II que forma parte del no menos famoso centro musical ALWA 330W.*

### ¿Qué tipo de circuito tiene internamente un STK?

El autor no pudo conseguir el circuito interno, pero se supone que sólo tiene dos salidas complementarias bipolares, una para cada canal. Por supuesto tiene también todos los circuitos del driver y el pre-driver, ya que entrando con algo de 100mV de audio para cada canal y conectando dos fuentes complementarias de alrededor de 35V, se puede obtener una salida de potencia. Además del híbrido sólo se requieren unos pocos resistores externos que forman los circuitos de bootstrap y de realimentación (estos circuitos no podrían ser internos porque con ellos el diseñador modifica el comportamiento del dispositivo en lo que respecta a su ganancia y respuesta en frecuencia).

### ¿Por qué razón existiendo un híbrido tan versátil y sencillo se siguen diseñando amplificadores discretos?

Dejando de lado el problema de la potencia máxima, la respuesta es la siguiente:

Porque el precio de un híbrido STK4142 II es de aproximadamente 40 dólares. Esto lo hace absolutamente imposible de utilizar por-

que la misma potencia con transistores discretos puede conseguirse gastando unos 10 dólares de materiales.

### AMPLIFICADORES DARLINGTON SEMIDIGITALES

#### ¿Y qué se usa en la actualidad?

Los híbridos sólo sirven hasta unos 100W, más allá sólo se pueden utilizar dispositivos discretos suficientemente separados entre sí como para que el calor no se concentre en un solo punto. Y aquí entramos en la parte más interesante del audio de la actualidad.

#### ¿Los equipos de más de 100W no son todos para uso profesional?

Hasta hace cinco años sí, pero la moda de los baffles de plástico sin lana de vidrio y con parlantes de 8 pulgadas como máximo requiere una potencia superior a los 150W (algunos equipos llegan a 300W por canal) y nos estamos refiriendo a los watt reales y no a los PMPO.

No puede ser, me dirá Ud., hagamos un pequeño cálculo, para saber cuánta potencia puede sacar un amplificador de salida alimentado con fuente partida. Tomemos como ejemplo un AIWA NS70LH. Su amplificador de potencia se alimenta con fuentes que dan +72V y -72V. Supongamos que la regulación de estas fuentes es mala y que con plena carga pierden un 20% de tensión llegando a 58V. Supongamos que en los transistores de salida caigan unos 3 o 4 volt en cada transistor; podemos llegar a una tensión efectiva de 50V de fuente, disponibles para generar potencia. La señal que puede salir de este amplificador tendrá como valor de pico 50V lo cual quiere decir que puede salir una sinusoide de 50/1,41 V eficaces, es decir unos

35V. Esa tensión eficaz generará una potencia eléctrica de: "35V al cuadrado, dividida por la resistencia del parlante, que en este caso es de 6 Ohm". La cuenta da la "friole-ra" de 204 watt por canal a pesar de haber realizado un cálculo pesimista.

Esos 200W son por canal, es decir que en realidad del equipo deberían salir 400W, si los dos canales están trabajando con una señal monofónica. En realidad el rendimiento de un amplificador bipolar de simetría complementaria práctico está en el orden del 70%, es decir que la fuente debe entregar un 30% más que los 400W es decir 520W. Sin embargo, observando en el respaldo del equipo se puede leer que el consumo desde la red es de sólo 150W.

Y esto qué significa, dirá el lector, un amplificador no puede tener un rendimiento del  $520/150 = 3,46$ , porque el rendimiento máximo teórico es 1, que equivale al 100%. Un rendimiento del 50% significa que la mitad de la energía eléctrica de la fuente se transforma en energía de audio y el resto en calor. Un rendimiento superior a uno significa que el equipo no calienta sino que enfría.

En realidad lo que ocurre es que la fuente no puede soportar la carga máxima del equipo y pierde tensión abruptamente muy por debajo de una regulación del 20%. Esta condición no se puede admitir por mucho tiempo, porque se terminaría incendiando la fuente. Sin embargo, el equipo puede entregar esa potencia en forma de pico mientras duren cargados los electrolíticos de fuente.

Este estado de cosas nos enseña algo. El rendimiento de la etapa de salida no puede ser superior a 1. Pero se encuentra normalmente en un valor del 50% para una etapa clase "A" trabajando a plena excitación, o en orden del 70% en una clase "B". Si ese rendimiento llega-

ra al máximo teórico del 100% la fuente no se achicaría mucho, pero la disipación en los transistores de potencia sería nula y no necesitaríamos carísimos disipadores de aluminio o turbinas de ningún tipo.

Al rendimiento del 100% no se puede llegar, pero en los equipos que nombramos (y en muchos más) se utiliza un sistema llamado semidigital que reduce el tamaño de las fuentes ya que permite llegar a rendimientos del orden del 80%.

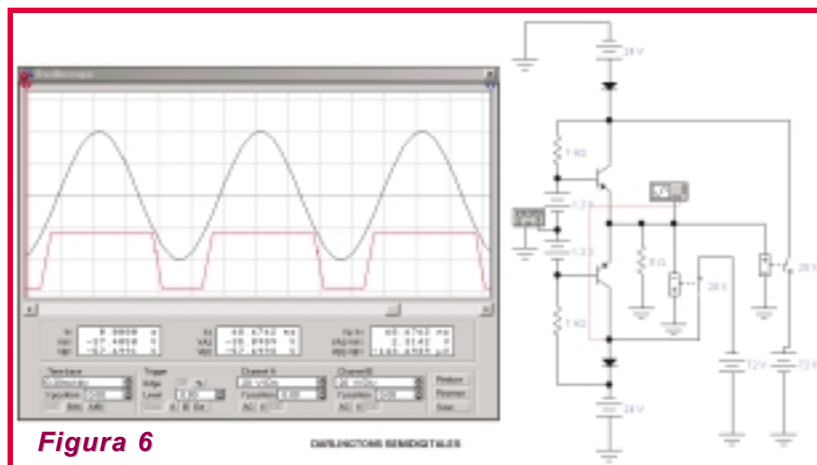
#### ¿Y qué es un sistema semidigital?

Los primeros amplificadores usaban una sola fuente positiva, luego se utilizaron dos fuentes en disposición complementaria, una positiva y otra negativa del mismo valor. Y actualmente se utilizan 4 fuentes; una positiva alta, una positiva baja, una negativa alta y una negativa baja y por lo general las bajas tienen una tensión del orden del 33% de las altas. Por ejemplo si la fuente alta es de 60V la baja es de 20V.

El amplificador de salida utiliza la tensión necesaria y no más. Si la señal de salida está siempre por debajo de 20V (para nuestro ejemplo) la única fuente que se conecta es la de 20V. La otra queda a la espera de una mayor señal. Si en determinado momento el usuario levanta el volumen es posible que se requiera mas de 20V de pico y entonces se conectan las fuentes de 60V.

Esto no sólo ocurre con los niveles medios de potencia. Ocurre punto a punto de la señal de salida. Si por ejemplo la señal de salida es un tono de audio de 1kHz y 60V de pico, las fuentes de 60V se conectan cuando la tensión instantánea supera los 20V y permanecen conectadas hasta que la tensión instantánea se reduzca por debajo de 20V. Con los valores instantáneos negativos ocurre otro tanto.

La mejor manera de entender


**Figura 6**

este funcionamiento, es a través de circuitos simulados con el laboratorio virtual Workbench tal como se puede observar en la figura 6.

Observe que los transistores utilizados son realmente circuitos integrados de potencia que contienen dos transistores en disposición superalfa. Esta disposición es equivalente a un solo transistor que tenga un factor de amplificación de corriente igual al producto de los betas de los dos transistores, reduciéndose de este modo la características del circuito de excitación.

Para no llenar este artículo de oscilogramas lo invitamos a que baje el archivo de workbench CD2661.ewb y vea los oscilogramas en su monitor. Abra el circuito. Pulse la llave de la mesa de trabajo para que comience la simulación. Observe que las llaves controladas por tensión comienzan a abrirse y cerrarse. Esas llaves son las que controlan la tensión aplicada al amplificador. Cuando están hacia la izquierda el amplificador se alimenta con  $\pm 24V$  y cuando están a la derecha lo hace con  $\pm 72V$ .

Tal como está conectado el osciloscopio, Ud. puede comparar la salida de audio con la alimentación de la fuente negativa. Observe que cada llave se cierra una vez en cada ciclo de la señal de salida (en el semiciclo negativo opera la llave de la izquierda y en el positivo la llave de la derecha). De acuerdo a la velocidad de su PC el movimiento es

tan rápido que no se puede apreciar este detalle. Si este fuera su caso le aconsejamos bajar la frecuencia de generador de funciones a 1Hz o a 0,1Hz para observar todo en cámara lenta. Si Ud. realmente me está siguiendo con un Workbench en este momento estará observando una especie de circuito animado tan simple de comprender que seguramente nunca más aceptará una clase o un artículo sin simulaciones.

Cambie la punta roja del osciloscopio a la fuente del transistor superior y observe como varía la fuente positiva. Luego reduzca la tensión del generador de funciones para observar que las llaves dejan de moverse por debajo de 20V.

### AMPLIFICADORES DIGITALES

Lo último en amplificadores de potencia son los amplificadores digitales a PWM. Tratemos de entender el nombre. Un dispositivo digital trabaja con salidas que son un alto o un bajo, no hay valores intermedios. Si pudiéramos fabricar un parlante digital tendría tal vez 8 o 16 patas de entrada y una pata de masa. Aplicando tensión a una sola entrada el cono se movería un poco. Aplicando tensión a dos entradas se movería algo más y así sucesivamente hasta poner todas las entradas en el estado alto en cuyo

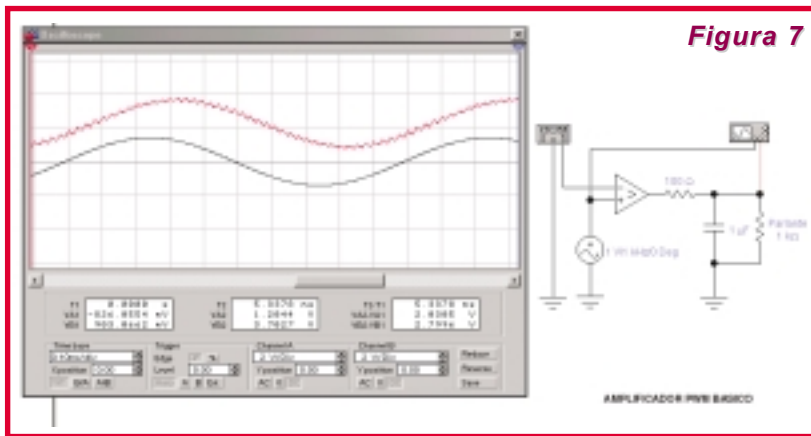
caso el cono se movería al máximo. Así se irían generando las tensiones instantáneas de audio. Esta no es una idea teórica imposible de llevar a la práctica; es más, como el autor no puede entender como no se realizaron aún dispositivos de ese tipo está realizando algunas experiencias para comprobar su viabilidad.

Pero ese parlante no existe por ahora. Sin embargo un circuito integrado digital puede generar una señal PWM equivalente a una señal digital con la ventaja de que solo emplearía una pata de conexión.

Los reparadores están acostumbrados a las señales PWM así que nos ahorramos los comentarios sobre las mismas. Ejemplos de señales PWM las tenemos en las salidas de los servos digitales de los reproductores de CD y fueron estudiadas aquí cuando tratamos el servo de velocidad. En los video-grabadores con servo digitales del tipo utilizado en los videos PANASONIC 2010 y similares también se utilizan señales PWM como tensiones de error de velocidad. Sin embargo el uso más común son las salidas de control de brillo, contraste, color, etc., de la mayoría de los TVs. Todas ellas son señales PWM que se transforman en señales analógicas con el solo agregado de un filtro a RC, que filtre las componentes de alta frecuencia y deje sólo el valor medio de la señal PWM.

Pues bien, un amplificador de audio PWM funciona del mismo modo. El conversor D/A del reproductor de CDs típico se convierte en un D/PWM con un periodo de muestreo idéntico al periodo de muestreo de la norma CD es decir de 44,1kHz. Con esa señal PWM se opera una llave de potencia a MOSFET, que está conectada por un lado a la fuente de alimentación y por otro al parlante, a través de un filtro de valor medio adecuado a la corriente del parlante.

*Para entender los principios de*



no tiene mayor importancia en un circuito de demostración. De cualquier modo ese ripple es de una frecuencia de 41kHz y por lo tanto completamente inaudible. Se ve pero no se escucha.

Se pueden fabricar parlantes de tan alta impedancia como 1kHz pero es muy difícil. Esos parlantes utilizan un alambre muy fino bobinado en varias capas y se trata de una tecnología muy vieja porque se utilizaba para amplificadores sin transformador de la época de la válvula. En esa época era Philips el que propugnaba ese tipo de circuitos con parlantes de 80 Ohm.

En realidad el circuito de aplicación no es el mostrado. Ese circuito se muestra solo a título didáctico ya que el circuito real funciona con una red RL tal como se puede observar en la figura 9.

Esa red RL es realmente un parlante en el que se busca aumentar la inductancia a los valores indicados. Esto es inverso a un parlante común, donde se busca minimizar la inductancia y que el parlante se comporte como una carga resistiva pura en lo posible.

**¿En dónde está entonces el amplificador de potencia digital?**

No está, no existe tal como lo conocemos, se transformó en una llave que se cierra y se abre y que en nuestro circuito está incluida en el comparador de tensión que tiene

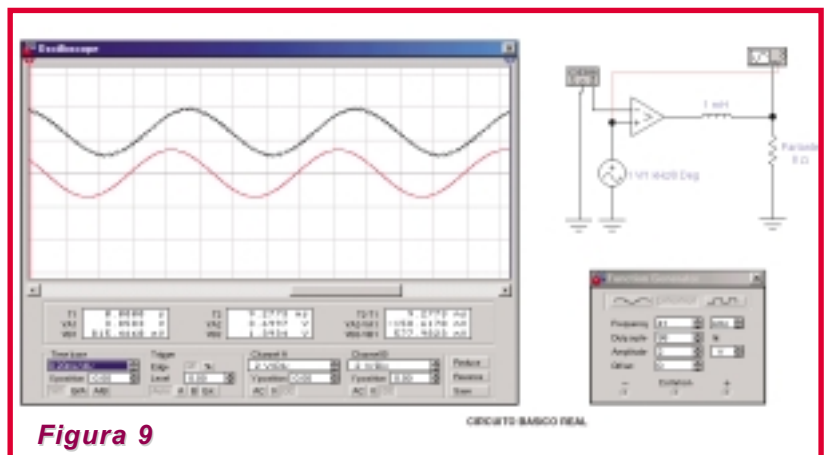
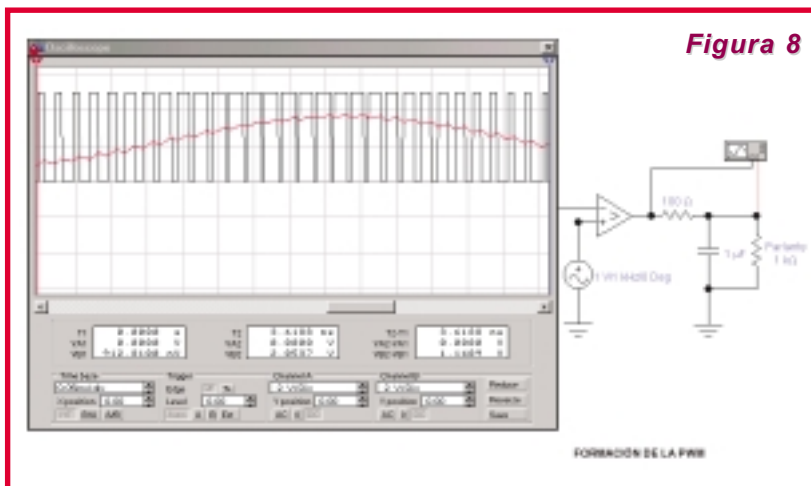
funcionamiento, es conveniente estudiar primero la forma de generar una señal PWM partiendo de una señal analógica, aunque en realidad en un equipo moderno como un CD o un DVD las señales nunca se transforman en analógicas.

Directamente se decodifican como PWM. Luego la filtraremos y las aplicaremos a un parlante de alta impedancia (por ejemplo de 1000 Ohm). Ver figura 7.

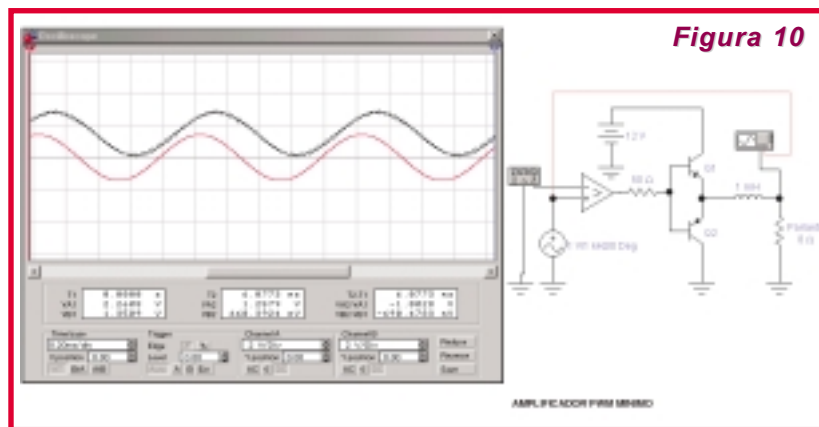
En esta figura el lector puede observar como la señal analógica de entrada colocada en el terminal positivo, se procesa para que aparezca como una senoide con ripple sobre el parlante de alta impedancia. En realidad lo más interesante es cómo la señal del generador de 1kHz se transforma en una señal PWM en la salida del comparador ideal de tensiones. El autor necesitaría 1000 palabras para poder explicar la generación de la señal PWM de periodo de actividad varia-

ble, a razón de 1000 veces por segundo que es una fiel representación de la señal senoidal de entrada. Pero el workbench nos facilita enormemente las cosas porque la señal se ve como un dibujo animado muy fácil de entender. En la figura 8 se puede observar una instantánea del proceso de formación.

Nuestra red RC solo recupera el valor medio de la PWM y lo hace generando un pequeño ripple que






**Figura 10**

una muy baja impedancia de salida capaz de soportar la resistencia de carga del parlante.

Si de circuitos reales se trata, le mostramos el de la figura 10. Allí el comparador es real y con una resistencia de salida de 50 Ohm. En este caso un par de transistores complementarios Q1 y Q2 se encargan de prestar la baja impedancia necesaria para excitar al parlante. Este sería el amplificador de potencia en su más mínima expresión.

### ¿Cuáles son las ventajas de este sistema?

En principio el rendimiento. Las llaves sin resistencia interna y sin fugas no generan calor y los transistores agregados en la figura 10 son simples llaves que bien podrían ser algún moderno MOSFET de conmutación (no los especiales de audio que son caros, sino los adecuados para fuentes conmutadas que son baratos). Y si las llaves son perfectas no se calientan y no se necesitan disipadores. El consumo energético del mismo equipo no se reduce mucho (tal vez un 30%) pero el equipo no calienta al ambiente y hace falta menos refrigeración es decir que indirectamente hay un beneficio. Otro beneficio es que los equipos se achican considerablemente y eso permite suponer que se podrá realizar una integración en gran escala. Mayor rendimiento y menos calor significa mayor confiabilidad porque no hay dilatacio-

nes y contracciones de los chips.

Aquí el lector seguramente se estará preguntando: *¿y dónde está el control de volumen, el control de tono, los circuitos reductores de ruido tipo dolby, la entrada de micrófono, el eco, los generadores de ritmo, los medidores de salida y toda la parafernalia que suele poblar un equipo de audio de la actualidad, que menos picar carne hace de todo?* No existen en la forma en que los conocemos hoy en día. Su única posibilidad de existencia consiste en transformarse en dispositivos virtuales existente con forma de un microprocesador que se conectaría entre la salida digital de 16 bits del decodificador de CD y la entrada del conversor D/PWM.

### ¿Qué quiero decir con virtual?

Tomemos por ejemplo el caso del control de volumen. Los estados altos de las 16 salidas del decodificador de CD representan números binarios de 16 bits. Esos números son precisamente las muestras de audio que van apareciendo en rápida sucesión y que el autor gusta de considerar como audio virtual (en realidad hay dos puertos de audio virtuales porque el sistema es estereofónico).

### ¿Qué significa amplificar estas muestras virtuales de audio?

Significa multiplicarlas por un número como lo haría una calculadora de mano, sólo que mucho más

rápido y a medida que aparecen los datos en el puerto de entrada y acumulándolos corregidos en el puerto de salida. Una atenuación significa un producto por un número menor a la unidad o un cociente. Esto no es más que un potenciómetro virtual.

El control de tono es algo más complicado, porque la atenuación o amplificación dependen de la velocidad de variación de los datos (graves o agudos) que se deben atenuar o amplificar según una curva elegida por el usuario. El Dolby funcionaría de un modo similar, es decir que todo se transforma en operaciones matemáticas. Parece todo muy simple porque al fin y al cabo se trata de un problema de programación.

Sin embargo, la velocidad de operación que se requiere para todas las correcciones hace que el problema no pueda ser resuelto en el estado actual de la técnica. Pero no falta mucho, según la ley de variación de la velocidad de las computadoras tal vez en un par de años se pueda resolver el problema.

Mientras tanto siempre nos queda el recurso de transformar las señales digitales en analógicas, procesarlas como siempre lo hicimos con dispositivos analógicos y luego transformarla en una señal PWM para amplificarlas con dispositivos de rendimiento casi unitario. Probablemente el año próximo tengamos los primeros equipos PWM en un lanzamiento conjunto en todo el mundo, por parte de las compañías dedicadas a audio y video.

Como conclusión, podemos decir que la etapa más simple de otros tiempos es ahora quizás la más compleja ya que volvió a ser una etapa armada con componentes discretos y con circuitos de alto rendimiento del tipo cuasidigital. Esto no es algo del futuro. Salvo los amplificadores digitales, que aún no llegaron al mercado, todos los otros están vigentes y son el pro-

blema de todos los días. Los AIWA F9 con el amplificador de potencia destrozado son algo habitual. Los daños no son infringidos en un intento de sabotaje al cliente; son la consecuencia de diversos e inútiles intentos de reparación. Pues bien, nosotros le vamos a enseñar un método de reparación infalible con el cual le garantizamos que jamás va a quemar un Darlington o una pista del circuito impreso, ni siquiera va a quemar un fusible. Y no le miento, es imposible que ocurran estas cosas porque los Darlingtons se sacan del equipo y se guardan hasta que todo esté probado y el equipo emita música (sin potencia por supuesto) y recién entonces se vuelven a colocar los Darlingtons cuyo valor actual es de 6 a 15 dólares (y son 4 que se queman juntos).

## Amplificador de 60W Reales de Ultima Generación

El primer proyecto que encara un estudiante de electrónica es casi siempre un amplificador de audio. Del mismo modo un técnico que recién comienza con sus actividades lo suele hacer comenzando con la reparación de equipos de audio. Si su idea es comenzar a producir algún equipo electrónico en nuestro país, podría ser interesante incursionar en el tema del audio, ya que se trata de equipos voluminosos de elevado valor agregado.

### ¿Qué amplificador me conviene construir?

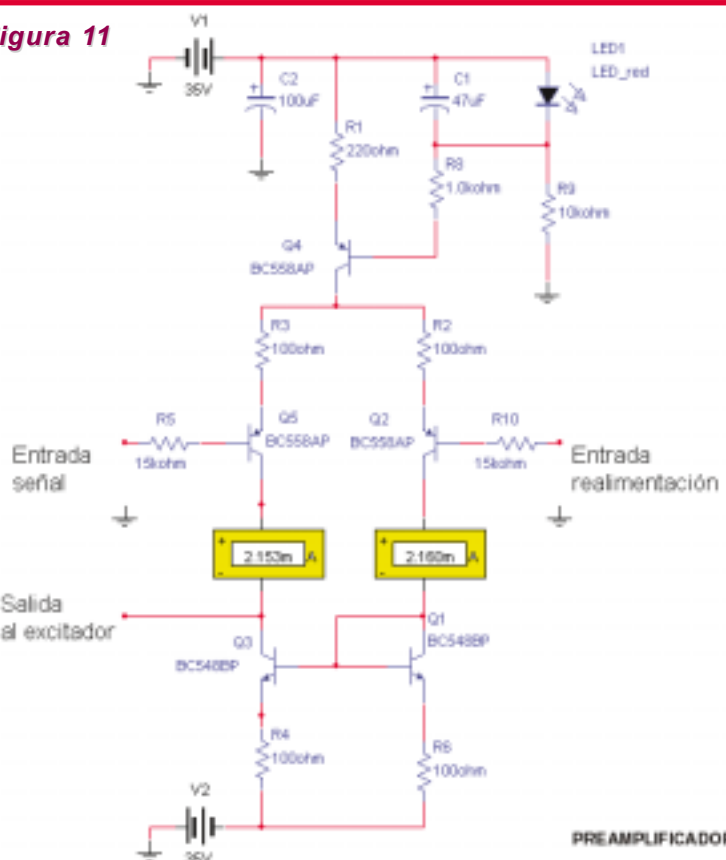
En audio hay para todos los gustos. Más aún, la editorial me pidió un kit que sea un proyecto con vida propia. Esto significa que Ud. lo puede armar con todos los datos que le damos y le aseguramos que va a cumplir las especificaciones de fábrica. Pero también le damos:

- 1) los circuitos,
- 2) los planos de armado,
- 3) la lista de materiales,
- 4) los archivos de Workbench,
- 5) el servicio de prueba y ajuste de la unidad construida por Ud. y
- 6) la posibilidad de que se comunique por e-mail para realizar alguna pregunta sobre el equipo.

Con toda esta ayuda pensamos que el proyecto es ideal para modificar y volver a modificar todas las veces que Ud. lo desee. Por ejemplo si Ud. quiere lograr más potencia puede cambiar los disipadores

¿Ud. se preguntará? para qué voy a comprar el kit en la editorial si puedo comprar los materiales y armarlo por mi cuenta. Porque seguramente le va a salir más caro. Nuestro consejo es: tome la lista de materiales, pregunte los precios en su proveedor habitual; sume y luego venga a comprar el kit 60W en la editorial.

Figura 11



Cuando llegue el momento de fabricar los bafles y comprar los parlantes no deje de consultarnos porque estamos trabajando sobre el tema y pronto saldrá un kit conteniendo un baffle para armar con su parlante y su tweeter a un precio muy competitivo y todo de industria nacional.

En otras revistas seguramente le entregarían el kit con una mínima explicación sobre el funcionamiento. Nosotros queremos que Ud. arme el amplificador y lo haga funcionar pero con pleno conocimiento de lo que está haciendo. Por ello, en este artículo comenzamos a explicar todo lo correspondiente a los amplificadores de audio moderno. Es decir que no sólo le vamos a explicar cómo funciona el circuito del kit. También le vamos a explicar todo lo relacionado con el audio moderno hasta los amplificadores digitales tipo PWM. Y dentro de lo posible apoyaremos los artículos con otros kits didácticos funcionales

que le permitirán escuchar música en alta fidelidad en su hogar y por el mínimo valor posible.

### EL PREAMPLIFICADOR

En la figura 11 se puede observar la sección de entrada del amplificador. Ella tiene la función de realizar la amplificación de tensión del sistema. En líneas generales se puede decir que la señal original se amplifica primero en tensión, luego en potencia media y por último en potencia alta. Las etapas que realizan estas funciones se llaman genéricamente; preamplificador, excitador y salida respectivamente. En este apartado vamos a indicar las características del preamplificador.

En los equipos más modernos se utilizan siempre amplificadores diferenciales (ver figura 11). La razón de esto debemos buscarla en la baja distorsión total de la etapa. En realidad deberíamos decir que las dos entradas de esta etapa tienen una distorsión considerable;

pero la distorsión de una de las secciones se anula con la otra de modo que la distorsión total es muy baja.

En un amplificador diferencial las ramas del mismo trabajan en el modo complementario de corriente. La corriente por ambas ramas están determinadas por el transistor generador de corriente Q4 que genera una corriente determinada por una fuente estable de tensión conectada entre la fuente positiva y la base y por el valor del resistor de emisor. La fuente de tensión en este caso es el led LED1 que además opera como piloto.

La corriente de colector de Q4 de aproximadamente 4mA entra al par diferencial en donde se dividirá en dos partes de 2mA cada una que circulan por Q5 y Q2. El circuito parecería desbalancearse cuando se aplica tensión de entrada pero realmente no es así ya que el circuito de salida y la red de realimentación responden generando una tensión exactamente igual a la de entrada. El resultado es que las co-

rrientes siguen siendo siempre las mismas (2mA) cualquiera sea el valor de la tensión de entrada. Si no colocamos la carga de la etapa excitadora estas corrientes son siempre iguales ya que las ramas no se pueden diferenciar entre sí. Sin embargo, el agregado de los transistores Q1 y Q3 que forman un circuito "espejo de corriente" hace que las corrientes vuelvan a dividirse por dos aún con la carga de la etapa excitadora.

Observe que el circuito tiene una perfecta simetría de corriente. Esto significa que la distorsión por variación del beta con la corriente no existe, si los transistores Q2 y Q5 son del mismo tipo. O por lo menos se puede asegurar que la distorsión es mínima si Q2 y Q5 son fabricados al mismo tiempo. Si además Ud. se toma el trabajo de aparearlos midiendo el beta de los transistores este circuito puede considerarse como extremadamente lineal.

### LA ETAPA EXCITADORA

En un equipo moderno no se utiliza bootstrap. En efecto la realimentación provocada por el electrolítico de bootstrap es positiva y por lo tanto se lo puede considerar como una fuente de distorsión sobre todo en baja frecuencia. El bootstrap es necesario para que los transistores de salida lleguen a una tensión de salida cercana a la de la fuente positiva. Cuando no se utiliza bootstrap se debe cambiar la disposición de la etapa driver de modo que en lugar de resistencia de carga de colector tenga como carga a un generador de corriente. Ver la figura 12.

La etapa driver está realmente formada por los transistores Q6 y Q7 en disposición Darlington con el fin de incrementar la impedancia de entrada para disminuir la carga del preamplificador. El capacitor C5 ge-

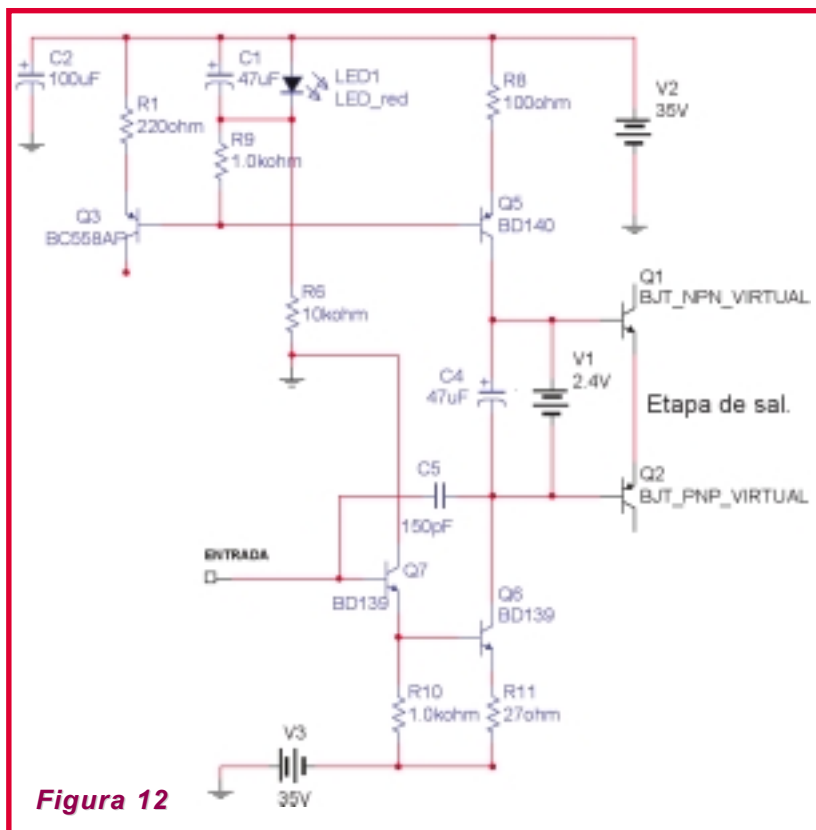


Figura 12

nera un cero en la respuesta para frecuencias superiores a las audibles.

Por lo común, la carga de esta etapa es un resistor conectado a la fuente positiva. Pero cuando la salida de la etapa de potencia comienza a acercarse a la fuente positiva, este resistor se queda sin tensión aplicada (el terminal superior a fuente y el inferior acercándose a fuente) esto significa que la salida deja de subir y se pierde potencia. Para que esto no ocurra el resistor se parte en dos resistores y en la unión se conecta un capacitor electrolítico con el terminal negativo sobre la salida del amplificador. Esto elimina el problema de la disponibilidad de tensión pero genera una distorsión incompatible con los usos y costumbres actuales.

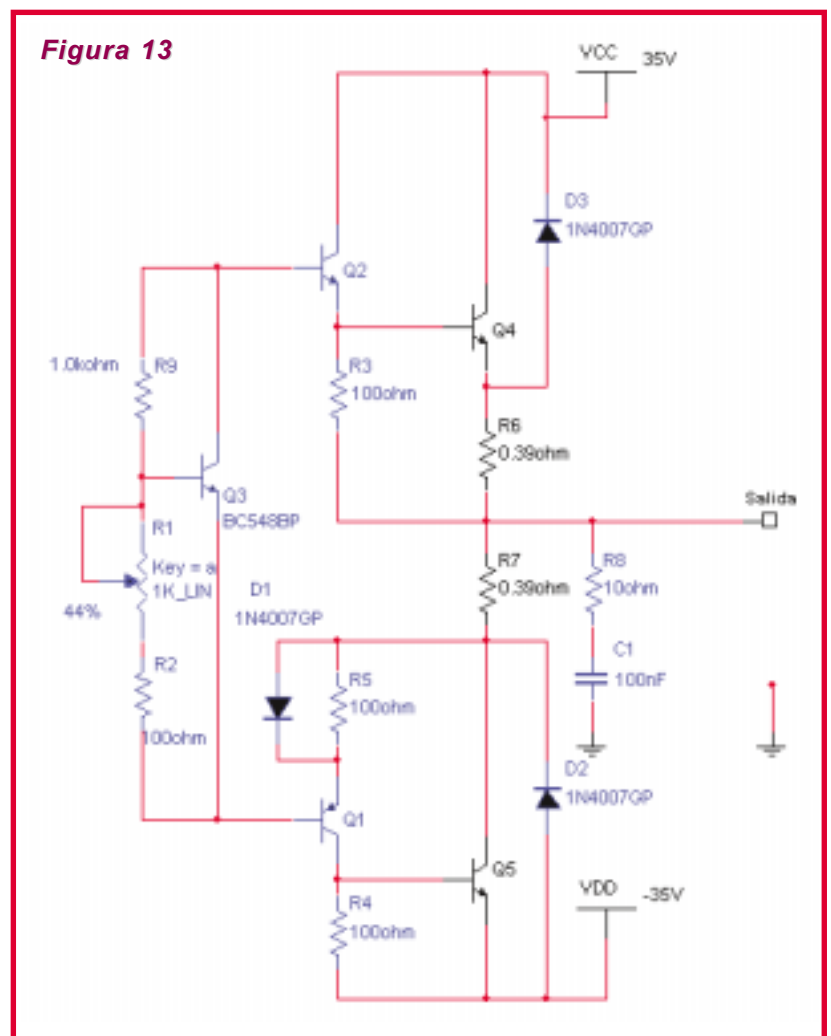
En nuestro amplificador no usamos bootstrap y para reducir el problema de la excursión máxima de señal de salida, reemplazamos la resistencia de carga del excitador por una fuente de corriente que utiliza la misma tensión estabilizada que el generador de corriente del preamplificador. El transistor Q5 se encarga de generar una corriente de aproximadamente 10mA que se conservan constantes cualquiera sea la tensión de salida. Con este circuito se puede excursionar la salida hasta aproximadamente 5V menos que la fuente.

### LA ETAPA DE SALIDA

Si bien existen un par de transistores complementarios 2N3055 y 2N2955 el PNP (2955) es más caro que el NPN (3055) y es el que habitualmente se quema cuando se ponen los bafles en cortocircuito ya que por alguna razón es el más débil del par.

Por esa razón preferimos utilizar una salida cuasi complementaria que cumple la misma función pero a menor costo. En realidad se de-

Figura 13



ben vencer dos barreras por lado lo cual significa que también se perderá disponibilidad pero no tanta que nos obligue a usar un transistor más caro. Ver la figura 13.

Los transistores a utilizar pueden ser varios pero el kit viene provisto con dos 2N3055, TIP31C y TIP32C que cumplen sus funciones correctamente y a un bajo costo. Sin embargo, si Ud. lo desea, más adelante puede mejorar las prestaciones colocando transistores más especializados.

De izquierda a derecha comenzaremos la descripción por el transistor Q3. El mismo cumple la función de ajustar la tensión entre las bases de los transistores cuasi complementarios. De acuerdo a la relación del divisor de base, se genera una tensión equivalente a cuatro barreras entre el emisor y el co-

lector de Q3. Como Q3 se encuentra térmicamente acoplado con el disipador de salida; la tensión generada se ajusta automáticamente de modo tal que los transistores de salida tienen una corriente controlada de vacío que se puede ajustar entre 2 y 6mA con el potenciómetro R1.

Los transistores Q2 y Q4 forman el transistor NPN simulado y Q3 y Q4 el PNP. Los resistores R6 y R7 cumplen la función de linealizar la impedancia de base de la salida y colaborar en la estabilidad térmica del conjunto.

Los diodos D2 y D3 son simple protecciones contra tensiones que ingresan por el cable del parlante cuando se producen cortocircuitos o fugas a cables de alimentación. Observe que con el agregado de los mismos la tensión de salida



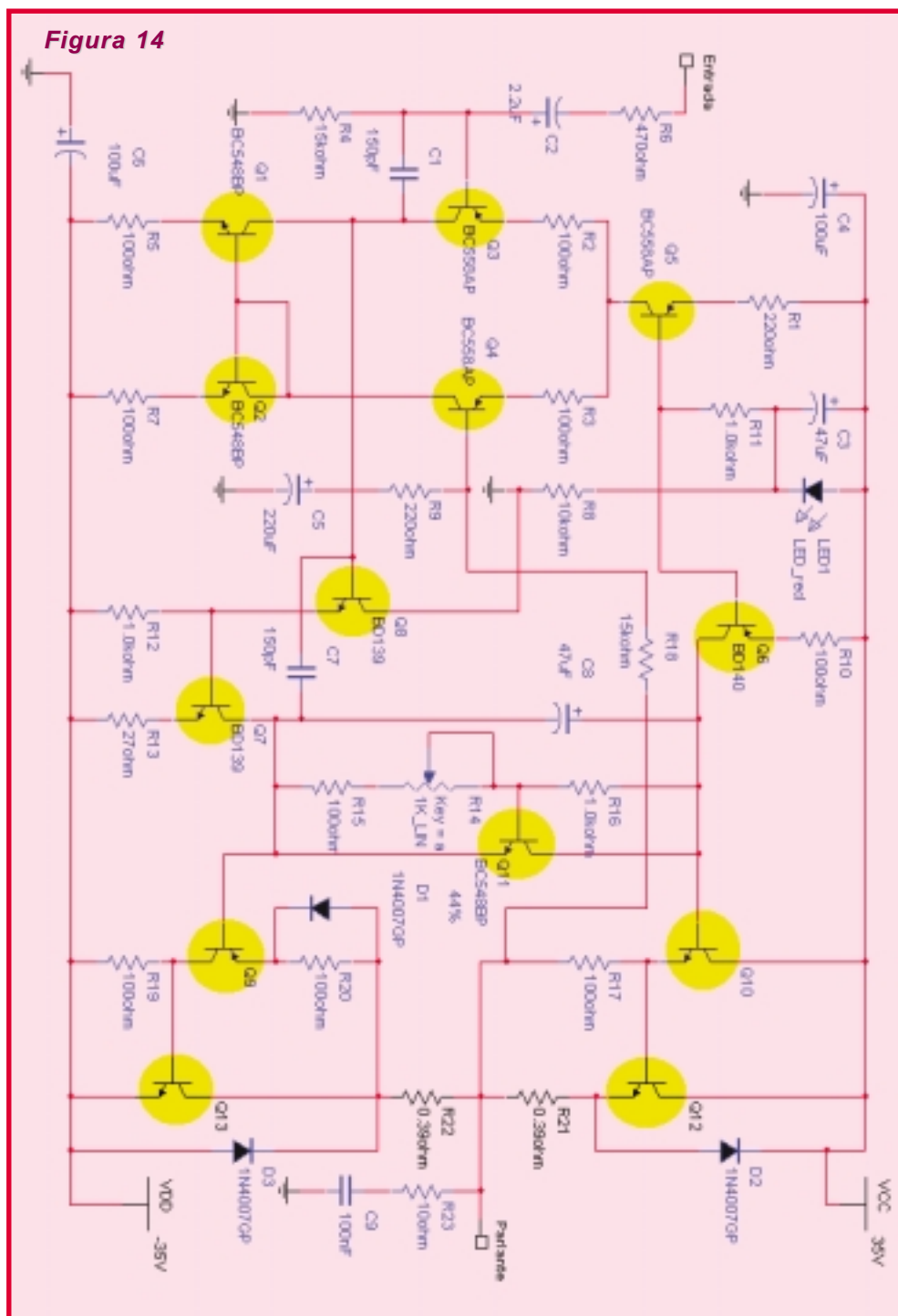
puede variar libremente entre las fuentes negativa y positiva, pero si la tensión de salida excede en más o en menos de una barrera a las tensiones de fuente positiva y negativa, conduce uno de los diodos limitando la tensión con los resistores R6 y R7 actuando como limitadores de corriente o fusistores. El diodo D1, sirve para que el circuito de salida tenga una perfecta simetría de entrada. Sin él, el driver vería dos barreras con excursiones positivas y sólo una con excursiones negativas.

Un parlante siempre se considera como una carga resistiva. Pero en realidad tiene importantes componentes inductivas que no pueden despreciarse cuando el parlante es excitado con frecuencias elevadas de audio. Por esa razón se agrega la red R8 y C1 que compensa las características inductivas del parlante recomendado para este amplificador y de la mayoría de los parlantes comerciales.

### CIRCUITO COMPLETO Y CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES

Uniando los tres bloques importantes vistos con anterioridad se lo-

**Figura 14**



gra un amplificador de excelentes características, ideal para el audiófilo exigente (vea la figura 14). Pero falta aún enumerar una de las secciones mas importantes del amplificador: la red de realimentación formada por R18, R9 y C5. En efecto, si sólo acopláramos una etapa a la otra obtendríamos un dispositivo con una gran amplificación, pero con una elevada distorsión y una

pobre respuesta en frecuencia. La red de realimentación toma una muestra de la salida y la realimenta a la entrada con varios fines:

A) Adecuar la sensibilidad a un valor de 500mV en el punto de recorte.

B) Reducir la distorsión armónica total a niveles inferiores al 0,05% a media potencia y

CARACTERISTICA	VALOR	UNIDAD
CARGA	8 OHMS	OHMS
POTENCIA	58	WATS
FUENTE	+35 -35	VOLTS
CONSUMO	1,25	AMPERES
DISTORSION A 30W	0,023	%
CORTE INFERIOR A 3 dB	6	Hz
CORTE SUPERIOR A 3 dB	100	KHz
CORRIENTE DE VACIO	AJUSTABLE DE 5 A 30	mA
SENSIBILIDAD	500	mV

Figura 15

C) obtener una respuesta en frecuencia de 25 a 20kHz a 3dB.

En cuanto al corte de alta frecuencia, puede ser obtenido de diferentes modos uno de ellos es la realimentación desde colector a base del transistor Q3 por C1 y desde la entrada a la salida del excitador por C7. Con esto se evita complicar la red de realimentación de bajos y poder manejar la respuesta independientemente.

Las características resumidas de este amplificador se pueden observar en la tabla de la figura 15.

Como indicación general podemos decir que el amplificador admite el uso de una carga de 8 Ohms pero probablemente deban incrementarse el tamaño de los disipadores y cambiar los transistores de salida por otros de mejores características.

### CONCLUSIONES

Esta fue la presentación de nuestro amplificador AUD60W. Por supuesto que quedaron muchas cosas por explicar, pero la idea era presentarlo en sociedad y creo que cumplimos con creces. El autor y el editor no saben aún si éste es el primer artículo de una serie o si la serie es de debut y despedida. En todo caso, si la serie continúa en la próxima entrega le explicaremos el

detalle de funcionamiento de cada etapa y cómo modificarla y probarla con el Workbench multisim, cómo potenciar la salida, etc., etc.

Todo depende de nuestros lectores; si notamos un interés, continuaremos con un mezclador universal con control de tono y protección de sobreexcitación para completar el proyecto.

### AGRADECIMIENTO

Los circuitos presentados en esta serie no fueron creados por el autor, el autor sólo realizó la virtualización con Workbench, aportó una que otra idea para mejorar los proyectos y generó los textos y dibujos. Un proyecto, según lo considera el autor, debe estar realizado por una persona que se dedique permanentemente a la especialidad. Yo no armo amplificadores de audio permanentemente y aunque soy perfectamente capaz de diseñar un amplificador, seguramente lo voy a diseñar sin tener en cuenta la experiencia de campo que existe sobre el tema. Con el tiempo, seguramente el proyecto tendrá las mejoras adecuadas para que funcione sin problemas y por un largo tiempo. Sin embargo, de ese modo, es el lector y el hobbista, quien paga por la inexperiencia del diseñador y eso no es justo.

Huya de los proyectos diseña-

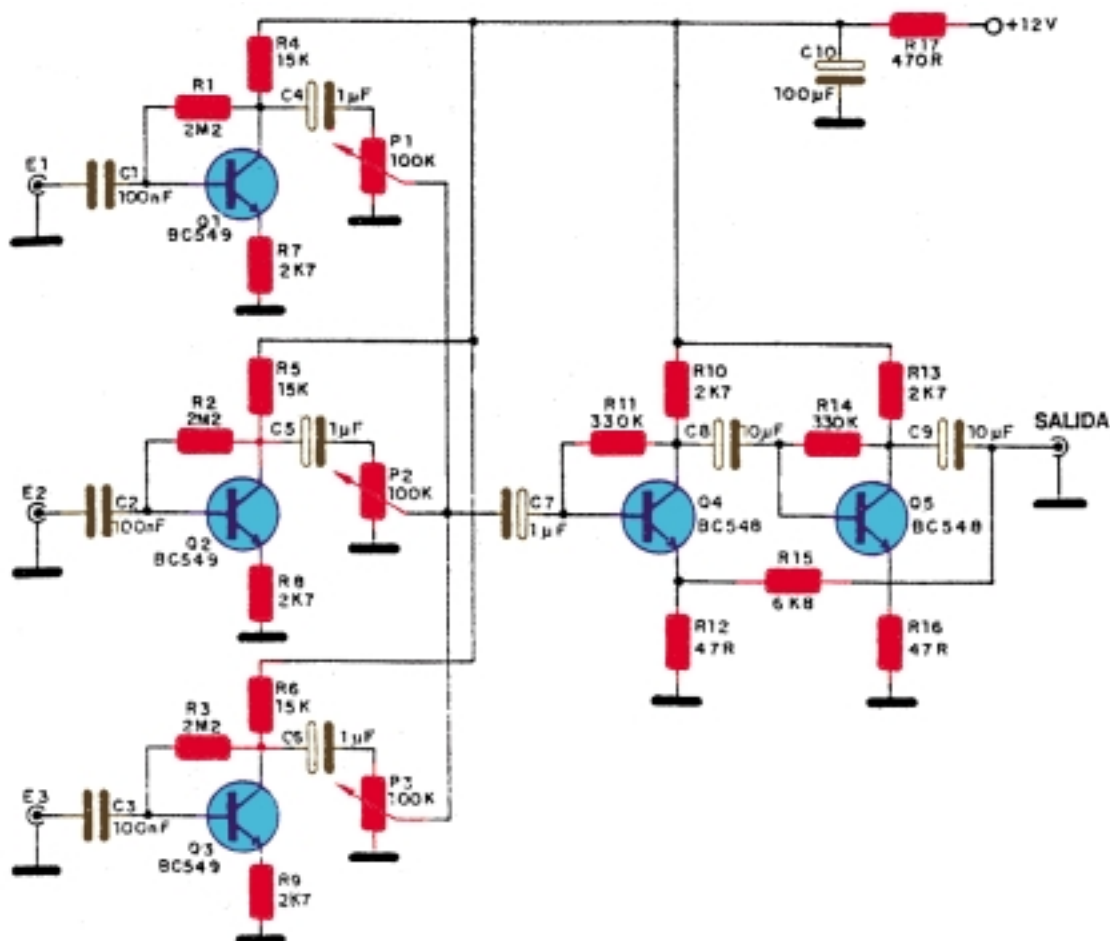
dos por gente sin experiencia en cualquier campo que sea. El AUD60W está probado por muchos años de experiencia de campo en la peor de las condiciones, porque fue diseñado por una persona que está todo el día con el audio de potencia ya que su trabajo es diseñar y controlar el audio en una repartición del estado.

Cuando uno está a cargo del audio de un conferencista o de un político y hay miles de personas esperando, no se puede depender de que al amplificador se le queme fortuitamente un transistor. Los equipos deben ser fuertes y soportar todo tipo de cortocircuitos. Por eso vaya mi agradecimiento al Wilo que tan gentilmente me brindara los circuitos que se presentan en esta serie.

Gracias GUILLERMO NECCO

### FICHAS DE CIRCUITOS DE AUDIO

Como éste es un cuaderno especial de audio, queremos que Ud. tenga herramientas para satisfacer el interés de los "audiófilos". En este sentido, damos a continuación algunas "fichas" de circuitos prácticos relacionados con esta materia, que fueron publicados en diferentes números de **Saber Electrónica**.



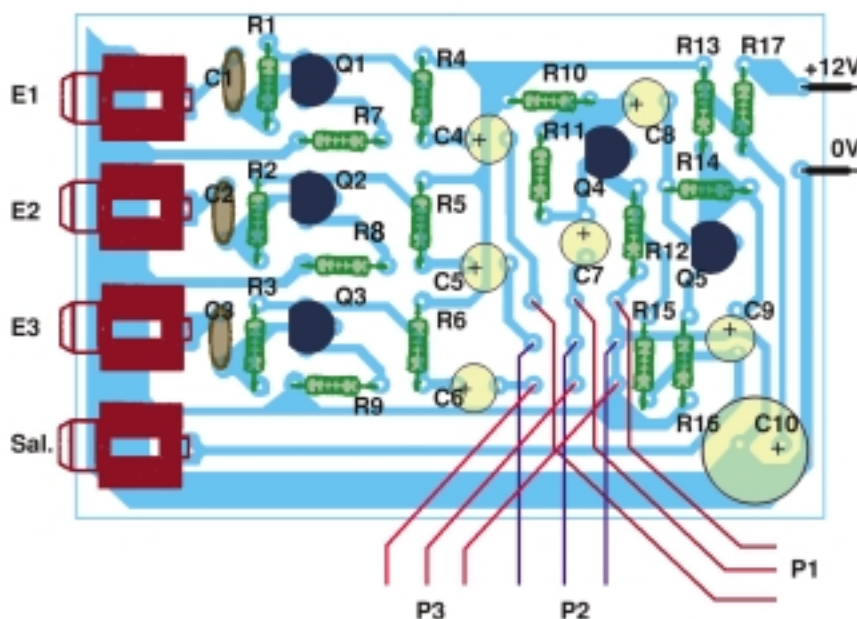
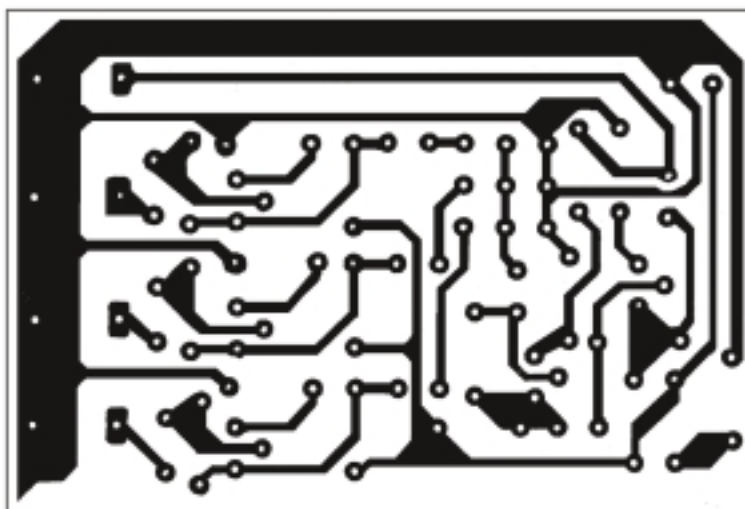
Este mixer presenta características excelentes para trabajos de poco porte como ser la edición case-  
ra de programas de audio, fiestas o realización de programas grabados, etc. La respuesta es lineal en la  
banda audible, y los micrófonos son de baja impedancia, de  $100\Omega$ , que pueden usarse en forma directa  
sin necesidad de preamplificadores, ya que el circuito tiene una ganancia bastante buena, del orden de  
35dB. La salida posee un nivel de señal suficientemente alto para excitar a la mayoría de los amplifica-  
dores comunes de potencia. La alimentación se efectúa a partir de una tensión de 12V, pero con consu-  
mo de corriente bastante bajo, lo que hace posible aprovechar las fuentes de los amplificadores aunque  
puede usarse una fuente independiente. Para mayor versatilidad de operación, describimos el montaje  
con potenciómetros deslizantes, pero en una versión económica pueden usarse potenciómetros comu-  
nes. Otra característica importante en este proyecto es el uso de transistores, que facilita las cosas a  
los lectores con menos experiencia en integrados, si bien su desempeño es similar al de los circuitos  
más elaborados. El circuito mostrado tiene 3 canales de mezclado que tienen una sola salida para la  
versión monofónica. Para una versión estéreo basta montar dos unidades y alimentar con una sola fuen-  
te: tendremos entonces 3 canales de entrada para cada canal de salida.

Cada entrada lleva un transmisor amplificador de entrada en la configuración de emisor común, es  
decir, la señal se aplica en la base del transistor vía capacitor y es retirada de su colector vía capacitor.  
El transistor tendrá una ganancia determinada básicamente por la relación que existe entre el resistor de  
base, alterarse específicamente, para cambiar las características del aparato.

Usamos el transistor BC549 en esta etapa de entrada porque este tipo tiene bajo nivel de ruido y alta  
ganancia. Pueden usarse entonces fuentes de pequeña intensidad, sin problemas, como micrófonos di-  
námicos, cápsulas cerámicas, etc.

Cada etapa de amplificación envía la señal al potenciómetro deslizante que controla la intensidad de  
mezcla. Los potenciómetros regulan qué porción de señal mezclan.

Las señales mezcladas se juntan en una sola después de los potenciómetros y se llevan a un ampli-  
ficador con dos transistores, también en la configuración de emisor simple. La expansión para más cana-



les, hasta 5 ó 6, no afecta la impedancia de entrada de la última etapa del circuito, de manera que puede efectuarse sin problemas.

La fuente de alimentación de 12V puede ser cualquiera, mientras esté bien filtrada y regulada.

Los potenciómetros son lineales deslizantes de 100k $\Omega$ . Una posibilidad para la versión estéreo que hace dependientes los ajustes de entrada es el uso de potenciómetros dobles, pero en este caso la placa debe volver a proyectarse.

Es muy importante que los cables de entrada y salida de señal del "mixer" sean blindados para que no se capten zumbidos o realimentaciones que afecten la calidad del sonido.

Para la prueba del circuito, conecte las salidas del "mixer" a las entradas auxiliares de un amplificador de potencia. En las entradas deben conectarse las fuentes de señales que desee.

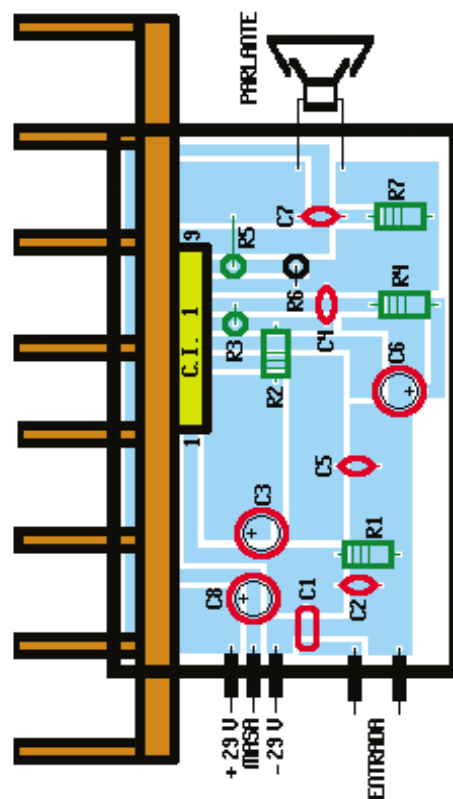
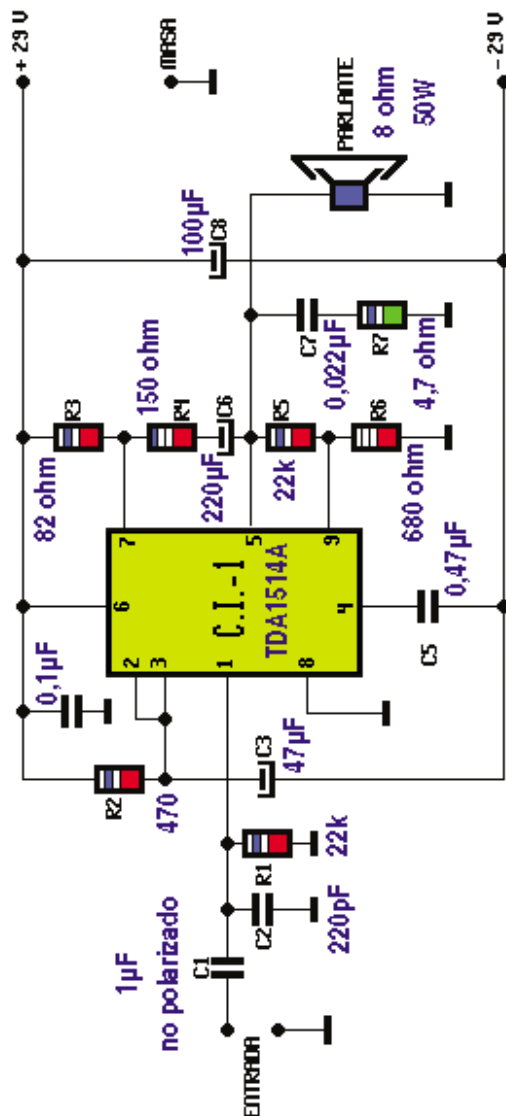
Coloque inicialmente los potenciómetros todos para abajo (mínimo) y conecte las alimentaciones de todos los aparatos. El amplificador debe estar en volumen no muy alto.

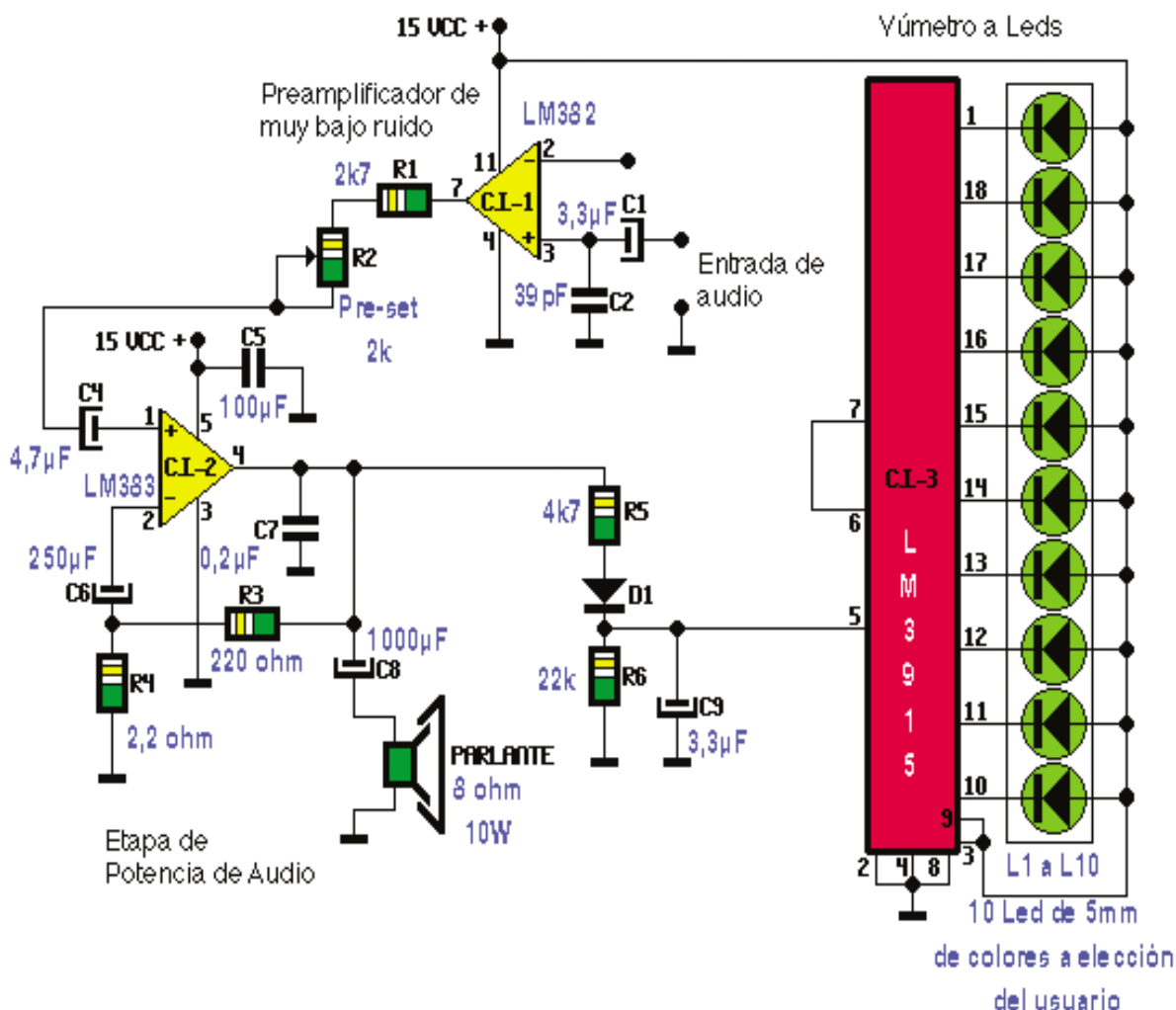
Accione cada potenciómetro individualmente para verificar su acción en la entrada de señal correspondiente. Si lo desea, marque los puntos en que empieza a haber distorsión por sobreexcitación de cada canal para no sobre pasarlos. Si hay distorsión baje el valor de la resistencia de colector con el objeto de poder utilizar todo el recorrido del potenciómetro.



# AMPLIFICADOR DE 750W PMPO

El amplificador (con el integrado con disipador), entrega una potencia cercana a los 50W con excelente fidelidad, alcanzando una temperatura de unos 60°C, razón por la cual es recomendable emplear un pequeño ventilador si se lo va a emplear a plena potencia. El integrado posee tres protecciones internas. La primera protección sirve para limitar la potencia máxima de los transistores de salida, la segunda protección “bloquea” el funcionamiento del integrado cuando la temperatura de la carcasa supera los 70°C y la tercera protección impide que el integrado se inutilice en caso de que se cortocircuite la salida accidentalmente. Por otra parte posee un cicuito de “muting” que hace que el integrado funcione cuando todos los electrolíticos estén cargados, esto evita ruidos molestos cuando se pone en marcha el equipo. La tensión máxima de alimentación es de  $\pm 30V$ , la corriente de reposo es de unos 70mA y la corriente a plena carga con una impedancia de salida de 4 $\Omega$  es de 1,3A. La distorsión total a media potencia es inferior a 0,15%. R1 provee al circuito la impedancia de entrada apropiada, mientras que C2 es un filtro para las señales de RF que pudieran estar presentes en el conector de entrada, de esta manera, la señal desde el preamplificador se aplica a la pata 5 del circuito integrado. C3 y R2 se utilizan para generar el efecto de “muting” que impide que se escuche el clásico “toc” cuando se enciende el amplificador. R4 y C6 cumplen la función de mejorar las características del amplificador con el objeto de obtener una mayor potencia de salida, menor disipación de calor y mayor ganancia.



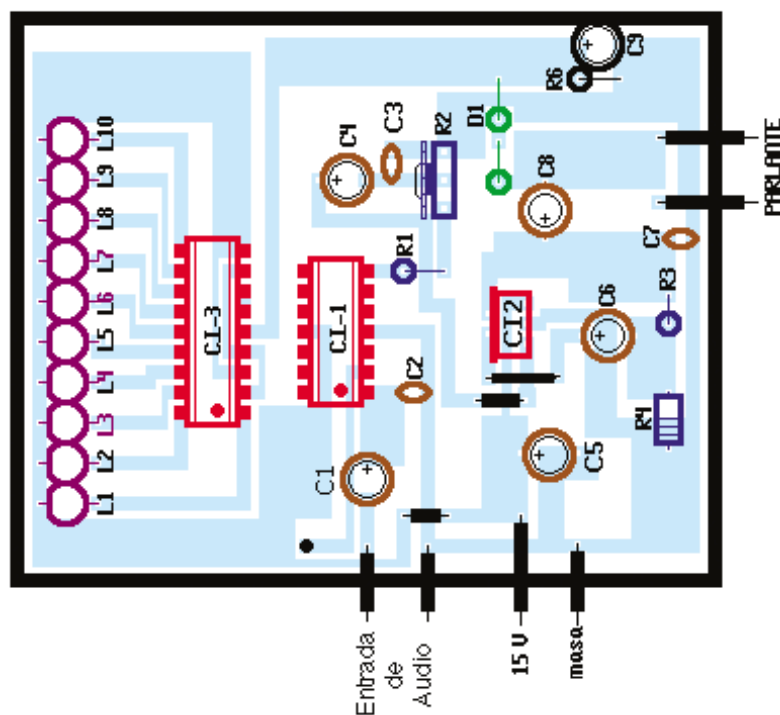
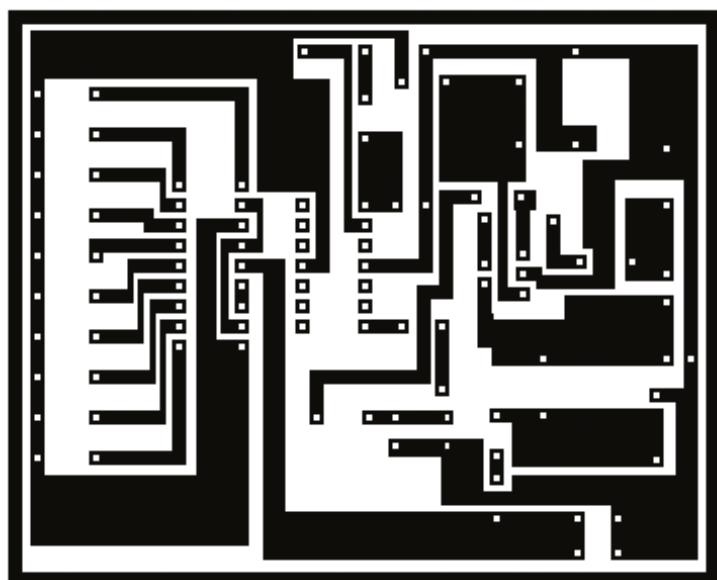


En varias oportunidades he comentado que más que un diseñador de equipos electrónicos me considero un aceptable intérprete de los manuales de componentes suministrados por las empresas, dado que suelo utilizar los circuitos sugeridos en las hojas de datos para comenzar con el proyecto de un circuito en particular. También empleo los montajes que nos hacen llegar nuestros lectores, como “ideas” que me permiten obtener circuitos de mejor desempeño.

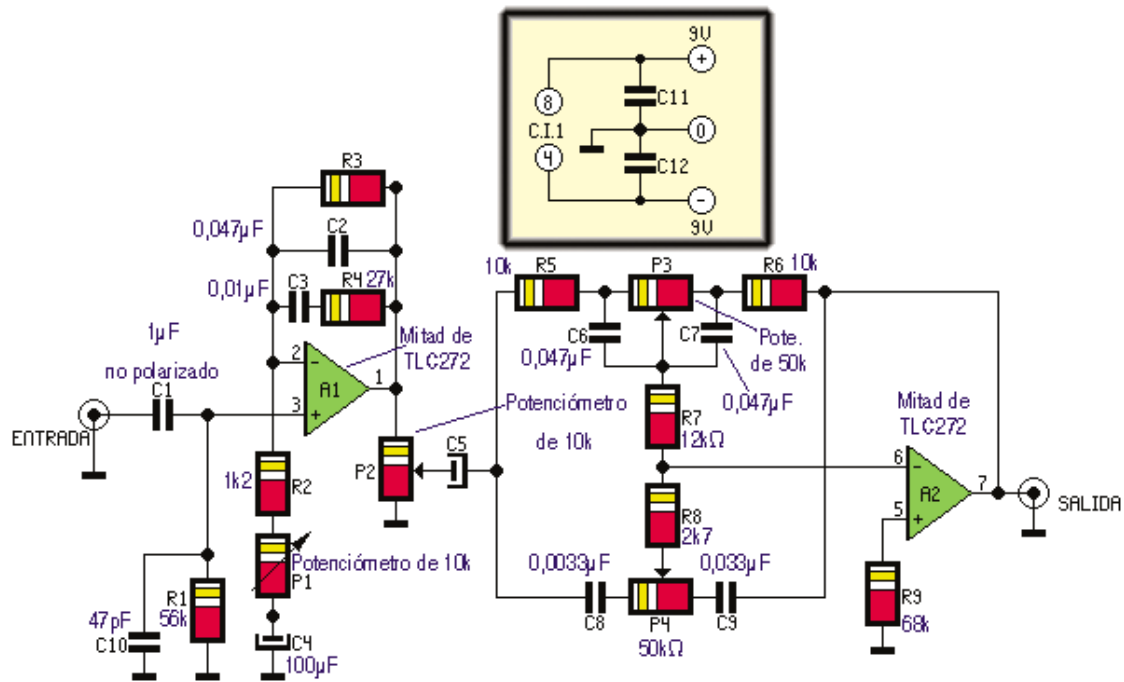
El proyecto que presentamos surge como una modificación de un circuito enviado por el lector Victor Húmeda quien armó un montaje similar para obtener una salida de potencia para su guitarra eléctrica. Al consultar las hojas de datos del LM382, me sorprendió el excelente “rechazo” que puede presentar a señales de baja frecuencia, lo cual me dió la idea de modificar el filtro de entrada con el objeto de obtener una unidad que presente muy bajo ruido a las señales de la red eléctrica ya que éste es un problema al que suelen enfrentarse los músicos que interpretan este instrumento.

El circuito de la figura de arriba consiste en un amplificador para guitarra eléctrica de unos 5W de potencia de salida (más de 70W PMPO) que emplea uno de los dos amplificadores, operaciones de muy bajo ruido que trae el circuito integrado LM382 y posee un vúmetro a leds comandado por un LM3915 que, de alguna manera, es un indicador de la potencia de salida.

La señal procedente del captor de la guitarra eléctrica se aplica a la pata no inversora del amplificador operacional, teniendo la precaución “de no conectar la pata inversora”, ésta queda flotante debido a que, posiblemente, el operacional tenga una referencia de masa internamente. Nosotros hemos probado con la colocación de un resistor de 1MΩ conectado a masa y el desempeño no varió mucho, las características recién comenzaron a alterarse cuando el valor de dicho resistor era inferior a los 470kΩ.

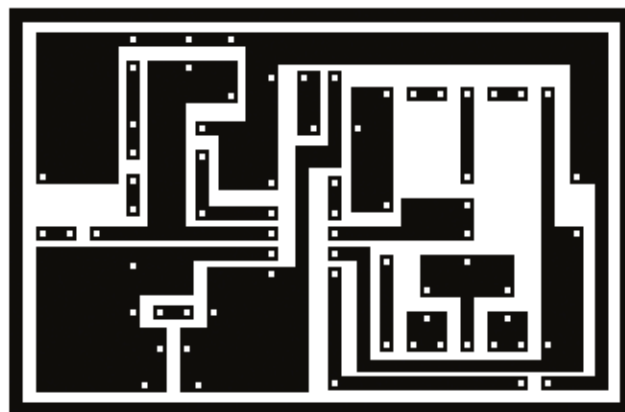
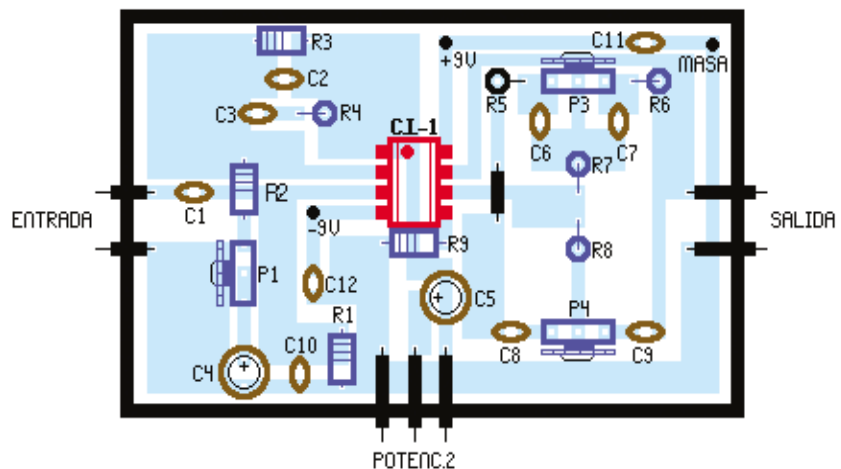


El circuito no reviste consideraciones especiales, sólo debe tener la precaución de no modificar en demasía el circuito impreso mostrado en la figura dado que, por ser un circuito experimental, no aseguro los resultados si se emplea otra configuración. Con relación al vúmetro a leds, he tenido algún problema para encontrar una calibración conveniente pero, con los valores dados en el diagrama los resultados fueron aceptables. Cabe aclarar que más que un vúmetro es un medidor de la potencia de salida de nuestro amplificador dado que la cantidad de leds que se encenderán dependerá del volumen del amplificador, el cual se puede regular por medio del resistor R2. Si Ud. prefiere, puede colocar un potenciómetro como R2 ya que con él podrá regular el volumen del equipo.

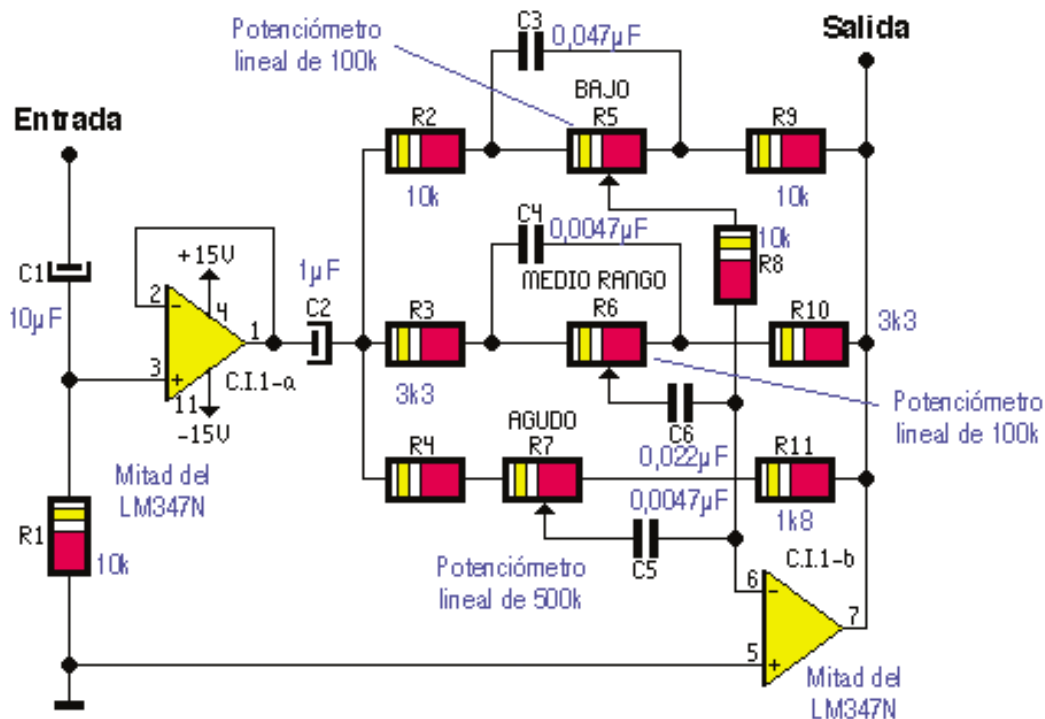


En la figura de arriba puede observarse el esquema eléctrico de este proyecto. La ganancia de la etapa de entrada, diseñada alrededor de A1, puede variarse entre 10 y 20 mediante el potenciómetro de ajuste P1. El nivel de 0dB a la entrada es de 50mV. La impedancia y capacidad de entrada son 56kΩ y 47pF, respectivamente, para permitir la conexión directa de la mayoría de los reproductores de CDs y cassetes. La sección de control de tonos es una de tipo Baxandall estándar. Los potenciómetros P3 y P4 tienen como finalidad el control de bajos y agudos, respectivamente. El consumo de corriente del preamplificador es reducido; sólo unos 10mA. Cuando el circuito esté correctamente balanceado, los puntos de medida deben estar a una tensión cercana a la de masa. En el caso de que se quiera obtener un preamplificador estéreo, habrá que duplicar el circuito.

Si bien el TLC272 es fácil de conseguir, puede emplear dos integrados independientes con entrada fet, como el LF356, para lo cual deberá cambiar el lay-out del impreso.







Los recursos electrónicos que modifican la curva de respuesta de un sistema de sonido pueden ser útiles en diversos casos, como por ejemplo cuando se desea el realce de un instrumento, el trabajo con la voz humana o, incluso, la obtención de efectos especiales en un ambiente de ciertas propiedades acústicas. Los boosters y los ecualizadores gráficos son dos ejemplos.

Antes de describir nuestro sistema y hablar de sus ventajas, debemos decir qué es un ecualizador paramétrico.

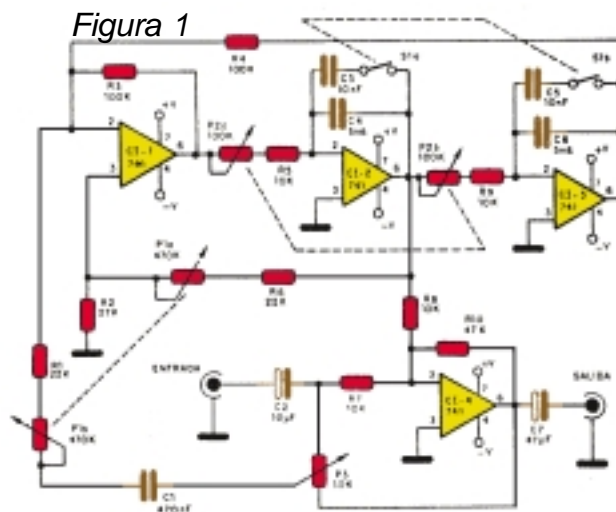
Un ecualizador permite alterar el ancho de la banda pasante de audio, que es aplicada a la entrada de un amplificador y luego reproducida. Centralizando esta banda en los medios podemos tener un realce especial para la voz humana y modificar completamente el timbre de ciertos instrumentos.

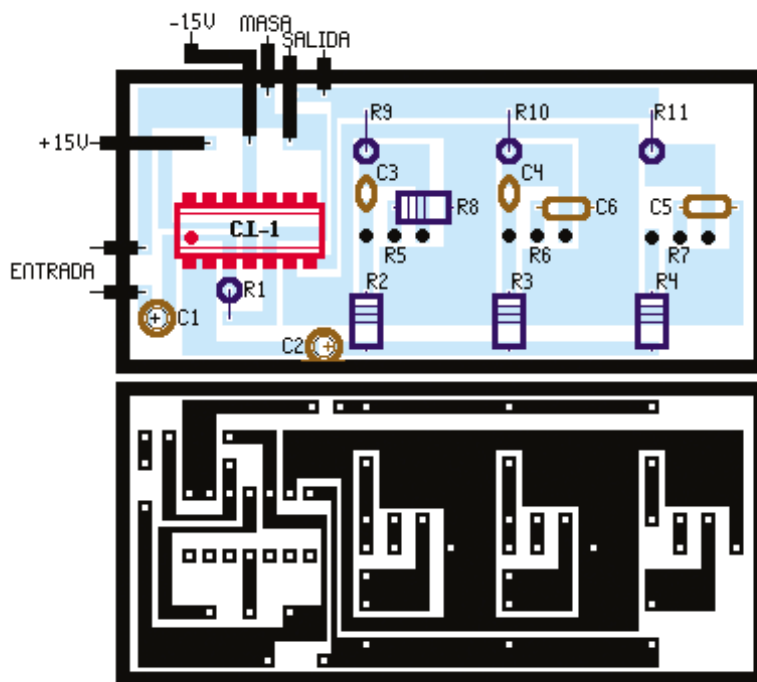
Esto significa que, intercalando un ecualizador entre una fuente de señal y un amplificador, podemos modificar sensiblemente el timbre y la predominancia de ciertos instrumentos.

Una señal de audio está compuesta por la suma de señales senoidales de frecuencias múltiples (Fourier). La proporción en que estas frecuencias aparecen determina la forma de onda de la señal y, por lo tanto, la característica conocida por timbre.

Modificando la forma de onda de esta señal, por el bloqueo de ciertas armónicas de frecuencias más bajas y más elevadas que un cierto valor, modificamos también el timbre.

En la figura 1 tenemos es un filtro acti-





vo con amplificadores operacionales (3) cuyo factor de calidad (Q) que determina su selectividad puede ser alterado por la acción sobre potenciómetros. Los filtros poseen dos valores de capacitores que permiten centralizar la frecuencia de acción máxima (frecuencia central) en 1000 y 3000Hz aproximadamente. Claro que si desea utilizar más capacitores podrá emplear una llave selectora de 2 polos y tantas posiciones como capacitores tenga, y con esto obtener mayor versatilidad para su ecualizador.

El cuarto integrado (CI-4) es empleado como un buffer para la señal.

La fuente de alimentación deberá ser simétrica de 12 a 15V con excelente regulación y filtrado para que no aparezcan ronquidos en la señal reproducida.

La impedancia de entrada del circuito es del orden de 10k $\Omega$  y la sensibilidad alrededor de 100mV. En la salida obtenemos una señal de aproximadamente 500mV con baja impedancia (150 $\Omega$ ), que permite excitar fácilmente la entrada de la mayoría de los amplificadores, sin problemas.

Para la fuente de alimentación, los reguladores pueden ser dotados de pequeños disipadores, ya que la corriente provista es baja.

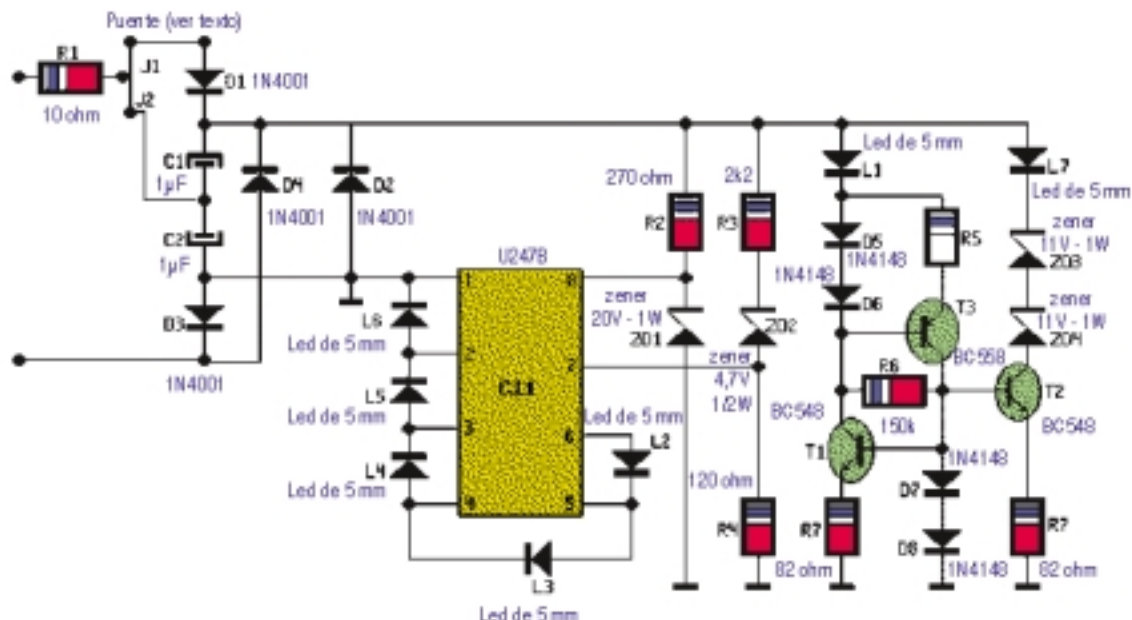
El ecualizador propuesto puede construirse y comenzar a operar en tan sólo una hora. El circuito usa un amplificador operacional de entrada JFET de bajo ruido, LF347 y algunos componentes externos.

La construcción total cuesta aproximadamente \$25 (unos 9 dólares).

La señal de audio se amplifica en el primer operacional del circuito integrado y se envía a las tres redes de separación de tono. Potenciómetros separados controlan las respuestas de graves, del rango medio y de agudos. Luego las señales de audio son mezcladas nuevamente por un segundo operacional y aplicadas al preamplificador externo.

Con agregar más bandas de control incluirá más redes. El circuito, tal como se muestra, está destinado a una operación monoaural.

En la operación estéreo, para duplicar el circuito, simplemente use los dos operacionales restantes del IC1 (que no aparecen en la figura) y un potenciómetro estéreo para controlar cada banda de frecuencia.



Proponemos el armado de un simple y reducido indicador de potencia para salida de parlantes. Su pequeño tamaño y su versatilidad de uso para diferentes potencias de salida hacen que sus posibilidades de uso sean múltiples. Se lo puede instalar tanto en el gabinete del amplificador como en el baffle, con lo cual dispondremos en cada instante de una referencia bastante aceptable de la potencia de salida de nuestro equipo.

El circuito posee siete leds indicadores para la representación de nivel de potencia que desarrolla cada módulo con la posibilidad de "cambiar de escala de indicación" en función de nuestras necesidades.

Para ellos se debe "configurar" una serie de puentes internos en función de la impedancia de salida de nuestro amplificador y su potencia máxima. No necesita alimentación externa ni interna, es decir, el equipo se alimenta de las señales de audio de nuestro equipo de sonido. Esto permite reducir considerablemente su tamaño y le permite al instalador, disponer de una libertad que en muchos otros medidores no es posible.

El prototipo está pensado para trabajar con impedancias de entrada, tanto de 4 como de 8Ω y con potencias de salida que van desde los 5W hasta los 200W.

El proyecto no dispone de una fuente de alimentación interna, tradicional en cualquier montaje, ni de conectores de entrada específicos para usos determinados (como ocurre con los preamplificadores que poseen entradas para diferentes prestadores de señales, ya sea reproductor de CD, cinta, auxiliar, etc.), por lo que nos queda, como única fuente de energía, la entrada de señal de audio, como toma de tensión de alimentación.

R1 fija una impedancia de entrada similar a la de los parlantes que podemos disponer en un equipo de música, realizando de esta manera, la adaptación de impedancias entre la salida de parlantes de amplificador y la entrada de nuestro medidor de potencia de audio. Posteriormente se hallan los puentes J1 y J2 que son los encargados de configurar nuestro medidor de potencia para cada una de las potencias de entrada y las diferentes impedancias de los parlantes, para lo cual podemos recurrir a lo dado en la tabla 1. El montaje de los diferentes puentes (J1 y J2) determinará la sensibilidad de equipo a las señales de entrada.

Así cuando tenemos montado J1, la señal del parlante es rectificada por los diodos D1 a D4 y convertida a continua constante a través de los capacitores C1 y C2. La función de dichos capacitores, aparte de fijar la tensión, es la de evitar posibles "rebotes" en los cambios de fase de la señal alterna que nos llega a la entrada. De esta manera tenemos una tensión continua constante para la alimentación del circuito. El circuito integrado C11 es un U247B, que está pensado para realizar el control de leds dentro de una determinada escala lineal. Así, este circuito es capaz de controlar hasta un total de cinco leds colocados en serie, con lo cual se puede conseguir una corriente de excitación de los diodos bastante reducida, ya que es la misma para todos, lo único que varía es la tensión de control de dichos diodos. Los diodos leds L2 a L6 no se iluminarán hasta que en la pata 7 de IC1 no se vayan superando, respectivamente, las tensiones de 0,1V; 0,3V; 0,5V; 0,7V y 0,9V.

ZD2 es el encargado de fijar la tensión de referencia, a partir de la cual comienzan a encenderse los leds. Así, el primer diodo led controlado por IC1 no se encenderá hasta que obtengamos una tensión de alimentación general del circuito de 6V, aproximadamente. R2 y ZD1, por su parte, nos proporcionan la tensión de alimentación de IC1 y fija un máximo de 20V, que es la tensión del diodo zener. Así, cuando la tensión rectificada por los

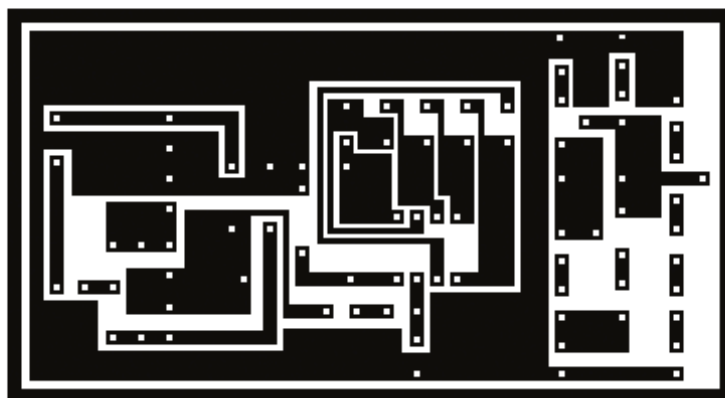
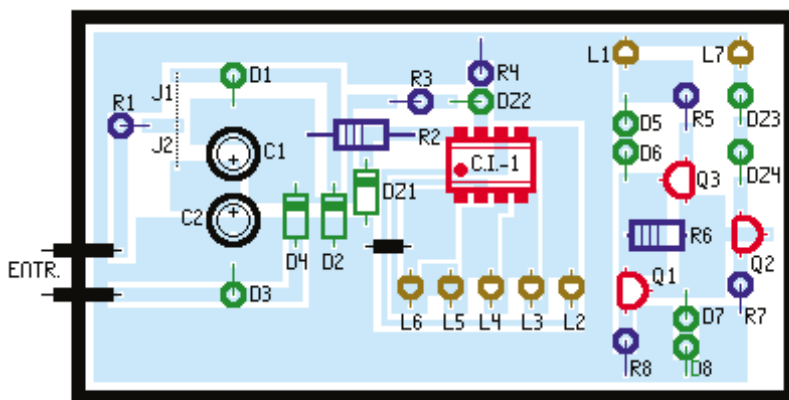
diodos D1 a D4 supera los 20V, DZ1 comienza a conducir y fija la tensión de alimentación en 20V. La resistencia R2 es la encargada de limitar la tensión que tenemos a la salida de los diodos rectificadores.

Tenemos siete diodos leds y el circuito IC1 sólo controla cinco, por lo que necesitamos circuitos adicionales para controlar los dos leds que nos faltan. De esto se encargan T1, T3 y sus componentes asociados, por una parte, y por otra, T2 con R8, ZD3 y ZD4. Los dos primeros transistores, junto con D5 y D6, D7 y D8, R5, R6 y R7, forman dos fuentes de corriente constante de 8mA, cada una, que nos dan los 16mA que se han elegido como la corriente de activación del L1. T2 y sus componentes asociados son los encargados de la activación de L7 que no se producirá hasta que la tensión de alimentación no haya alcanzado los 24V. Los transistores T1, T2 y T3 tienen entre base y masa, dos diodos colocados en serie. Con ello, la tensión entre dichos puntos va a ser constante cuando los diodos estén en conducción. Si tomamos el ejemplo de T1 o T2, la tensión entre base y masa deber ser de 1,2V, aproximadamente. Al conducir los transistores, la caída de tensión entre base y masa se reparte entre la base y emisor del transistor y la resistencia R7 (o R8), es decir ( $V_{base-masa} = V_{b-e} + VR7$ )

Como la tensión entre base y emisor es también de aproximadamente 0,6V, nos queda que en R7 (o R8) tenemos una tensión fija de 0,6V, para poder igualar las tensiones de la otra rama. Con ello, la corriente de emisor queda fijada en 8mA, aproximadamente. Una vez que hemos visto lo que sucede en el circuito con el puente J1 colocado, veamos qué sucede cuando montamos J2. En este caso, los capacitores C1 y C2, así como los diodos D1 y D4, trabajan como dobladores de tensión, con lo cual alcanzan mucho más rápidamente las tensiones de funcionamiento que veíamos con J1 colocado. Esto quiere decir que los diodos leds se activarán antes, o lo que es igual, hemos aumentado la sensibilidad de nuestro medidor de potencias (medirá una potencia máxima más baja, tal como vemos en la tabla 1).

El doblador de tensión opera de la siguiente manera: los capacitores se cargan al máximo de la señal de entrada dando una tensión continua sobre la que se vuelve a superponer la tensión rectificada por los diodos. Esto quiere decir que con una señal alterna de, por ejemplo, 2V se puede obtener una tensión continua de 4V. En nuestro caso se traduce en una manera más fácil de obtener la tensión de funcionamiento del circuito aumentando la sensibilidad del mismo, ya que el circuito responde a la excitación con menores señales de entrada.

Esta posibilidad nos permite obtener una segunda escala de medidas de la potencia de audio de entrada que junto a la posibilidad de trabajar con las dos impedancias de entrada de 4 y 8Ω, nos aumenta las prestaciones del equipo con muy pocas variaciones del circuito. ★



IMPEDANCIA DEL PARLANTE	POTENCIA MAX. DEL AMPLIFICADOR	J1	J2	ESCALA
4	250W	SI	NO	12 a 200W
8	125W	SI	NO	6 a 100W
4	100W	NO	SI	5 a 80W
8	50W	No	SI	5 a 40W

Tabla 1