

MINI SUBWOOFER ACTIVO

Existen muchas personas que no pueden, o no quieren, tener en su cuarto de estar las grandes cajas acústicas que se necesitan para una buena reproducción musical, y por ello utilizan modelos más pequeños. Aunque hoy en día muchos de ellos dan muy buen resultado, se quedan cortos a la hora de reproducir las frecuencias graves. El subwoofer activo descrito en este artículo permite corregir esta deficiencia.

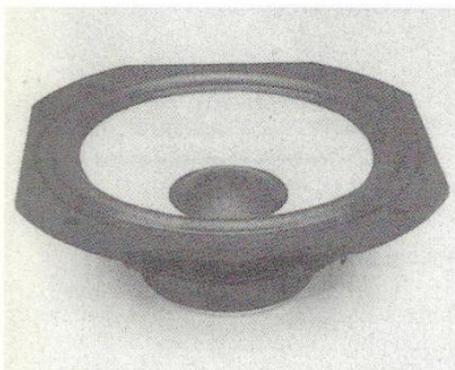


Figura 1 El nuevo altavoz tipo 10V516 de Focal.

Es un hecho, basado en las propias leyes de la naturaleza, que la reproducción fidedigna de frecuencias graves requiere el desplazamiento de un gran volumen de aire. Esto a su vez obliga a que el cono del altavoz tenga una gran superficie y un gran movimiento lineal. Dado que un altavoz dentro de una caja desplaza grandes volúmenes de aire a frecuencias menores al punto de corte inferior de -3 dB, lo cual resulta desde luego muy poco eficiente, es necesario diseñar la caja de forma que asegure que el punto de corte caiga bastante por debajo de los 30 Hz, con el fin de conseguir una eficiencia óptima.

Es difícil cumplir estas especificaciones si han de minimizarse las dimensiones de la caja. Como tantas veces en la vida, es por ello necesario llegar a un compromiso.

Sin embargo, si se supone que el usuario del subwoofer no va a necesitar cientos de vatios de potencia de salida, puede llegarse a una buena solución.

Elección del altavoz

El subwoofer usa el nuevo tipo de altavoz 10V516 del fabricante francés Focal (Véase Fig. 1). Se trata de un altavoz de 25 cm con un cono bastante pesado y rígido, que consiste en un soporte de papel sobre el cual se ha depositado una capa de polyglass, una mezcla de pequeñas partículas de vidrio y resina. La inusualmente larga bobina de audio (23 mm), puede mo-

verse linealmente en un margen de 12 mm pico a pico.

El desplazamiento total de aire, de 394 cm³, es excepcionalmente bueno para un altavoz de 25 cm. El devanado está bobinado con hilo plano sobre un soporte especialmente diseñado.

Los parámetros Thiele-Small del altavoz $-f_s = 23$ Hz; $Q_{ts} = 0,42$; $V_{as} = 132$, lo hacen muy apropiado para ser usado en una caja con un volumen neto de 35 l. El punto de -3 dB cae sobre los 43 Hz con un Q_{tc} razonable de aprox. 0.8. De los prototipos del subwoofer se obtuvo una curva de respuesta que

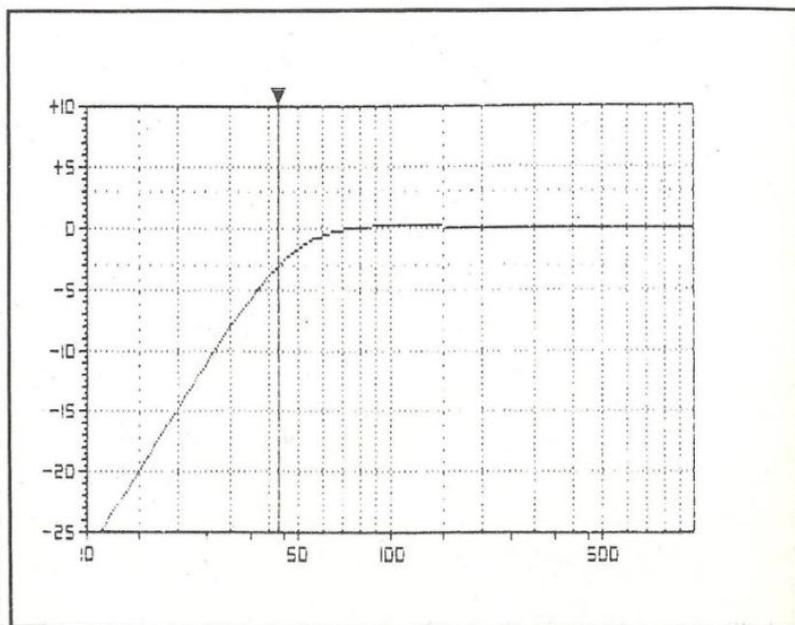
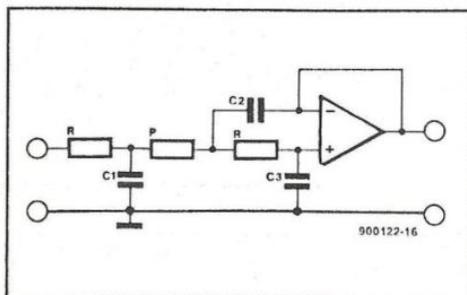


Figura 2 Curva de respuesta calculada para el 10V516 en una caja cerrada.

a cabo los grandes desplazamientos adicionales. En el diseño descrito, la corrección máxima está justo por encima de los 6 dB, lo que reduce el punto de corte en unos 10 Hz.

Otro punto relacionado con el cálculo del circuito, es que en la práctica los resultados van a ser distintos a la curva teórica de respuesta global. Nótese, por ejemplo, que los valores de algunos de los componentes de la Fig. 4, son bastante diferentes de los valores calculados. Esto se debe a que después de calcular los valores, se introdujeron, junto a los datos de las características del altavoz utilizado, en un programa de simulación, como consecuencia de lo cual adaptamos los valores para obtener una curva de respuesta óptima (los componentes, incluyendo C1 y C2).

En la Fig. 4, IC1a es un amplificador sumador. Las señales de entrada de los canales izquierdo y derecho, que están a nivel de línea, entran vía C1-R1 y C2-R2 respectivamente. Dependiendo del ajuste de P1, la suma de las señales se amplifica en un valor determinado, y se aplica posteriormente al circuito



BUTTERWORTH	BESSEL
$C_1 = 0.2215 / fR$	$C_1 = 0.1572 / fR$
$C_2 = 0.5644 / fR$	$C_2 = 0.2265 / fR$
$C_3 = 0.03221 / fR$	$C_3 = 0.04039 / fR$

Tabla 1 Fórmulas para calcular el punto de corte en el filtro paso bajo de tercer orden, basado en IC1b.

corrector, que está basado en IC1c.

Existen también dos entradas de alto nivel, a las cuales se puede conectar la señal del amplificador (integrado) de salida. Estas señales son reducidas a nivel de línea por R3 y R4.

El interruptor S1 permite seleccionar entre señal normal y señal invertida. La señal invertida (por IC1d) proporciona un acoplo de corrección de fase con los altavoces ya existentes. El circuito de corrección, en combinación con C1 y C2, proporciona un pico de justo 6 dB para 35 Hz, lo cual significa desplazar el punto de corte inferior de -3 dB a 28 Hz.

El circuito corrector viene seguido por un filtro paso bajo de tercer orden, basado en IC1b, con característica Butterworth. El conmutador S2 permite seleccionar entre 4 puntos de corte diferentes: 75 Hz, 100 Hz, 125 Hz y 150 Hz para permitir un acoplamiento óptimo entre el subwoofer y los altavoces ya existentes.

Una de las ramas del filtro se muestra en la Tabla 1, que incluye fórmulas para calcular diferentes puntos de corte.

La señal de salida de IC1b se lleva al amplificador de potencia, que en principio puede ser cualquiera que suministre 50 vatios a una carga de 5 Ω. En el número del mes que viene se describirá un posible diseño.

La alimentación para el circuito de la Fig. 4 se deriva desde el amplificador de potencia. Dos reguladores, IC2 e IC3, reducen la tensión de entrada a ±15 V.

Montaje

El diagrama de montaje de la caja se muestra en la Fig. 7. Se trata de una sencilla caja de tipo rectangular construida con chapa de aglomerado de 18 mm de espesor. Las estructuras de refuerzo interiores, pueden realizarse también con chapa de aglomerado.

FORMULAS PARA LA RED DE CORRECCION LINKWITZ

Datos requeridos:

Q_{tc} = Factor de calidad de la unidad en recinto cerrado.

f_c (frecuencia de resonancia de la unidad).

Nuevos parametros requeridos:

Q_{tc}' = Nuevo factor de calidad con la red de corrección.

f_c' = Nueva frecuencia de resonancia con la red de corrección.

Con la red de corrección:

$$K = \frac{f_c/f_c' - Q_{tc}/Q_{tc}'}{Q_{tc}/Q_{tc}' \cdot f_c/f_c'} \rightarrow 0$$

Donde K es el factor "Pole-Shifting".

Calculo:

Fijar un valor para R1 y calcular los valores de los demas componentes como se indica:

$$R_2 = 2KR_1$$

$$R_3 = R_1(f_c/f_c')^2$$

$$C_1 = \frac{2Q_{tc}(1+k)}{2\pi f_c R_1}$$

$$C_2 = \frac{1}{4\pi f_c Q_{tc} R_1(1+K)}$$

$$C_3 = C_1(f_c/f_c')^2$$

LISTA DE COMPONENTES

Resistencias

- R1, R2 = 33 K
- R3, R4 = 680 K
- R5, R6 = 10 K
- R7, R8 = 18 K
- R9 a R12 = 39 K
- R13, R17, R21 = 22,6 K 1%
- R14, R18, R22 = 16,9 K 1%
- R15, R19, R23 = 13,7 K 1%
- R16, R20, R24 = 11,5 K 1%
- R25, R27 = 332Ω 1%
- R26, R28 = 3,65 K 1%
- P1 = 50 K ajustable

Condensadores

- C1, C2, C13 = 330 nF
- C3, C4 = 15 nF
- C5, C6 = 100 nF
- C7 = 1 μF-16V
- C8, C9 = 33 nF
- C10 = 470 nF
- C11 = 120 nF
- C12 = 10 nF
- C14 = 12 nF
- C15 = 6,8 nF
- C16, C19 = 220 μF 40 V
- C17, C20 = 10 μF 16 V
- C18, C21 = 10 μF 25 V

Semiconductores

- IC1 = TL074
- IC2 = LM317
- IC3 = LM337

Varios

- S1 = 1 cir 2 pos
- S2 = 3 cir - 4 pos (rotativo)
- Placa = 900122-1

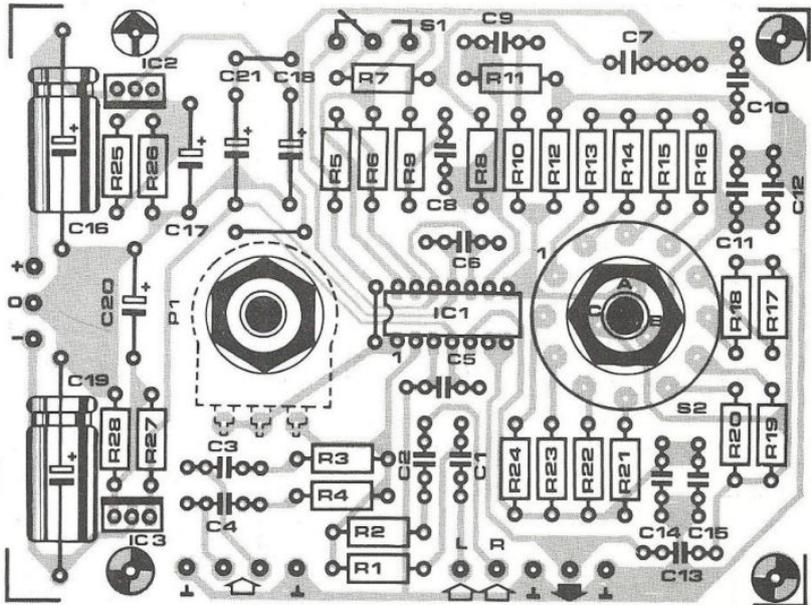
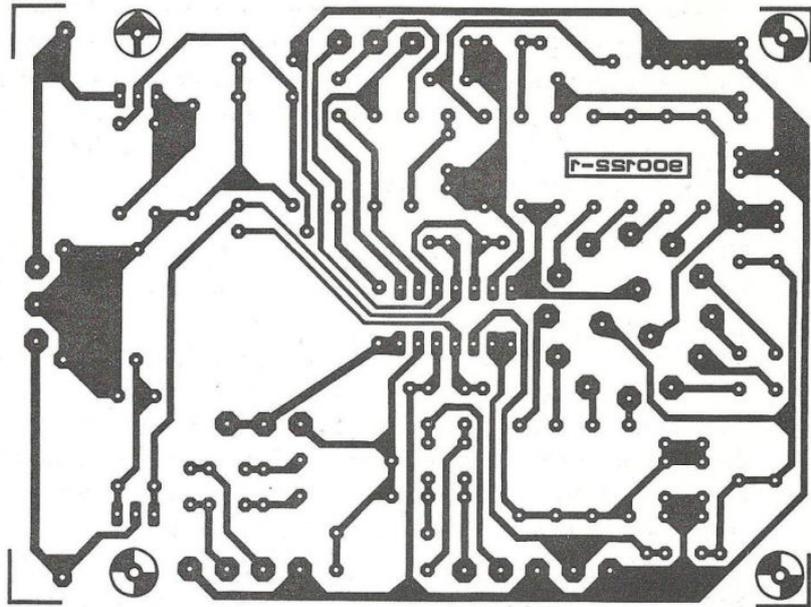


Figura. 5 Tarjeta de circuito impreso para el filtro corrector

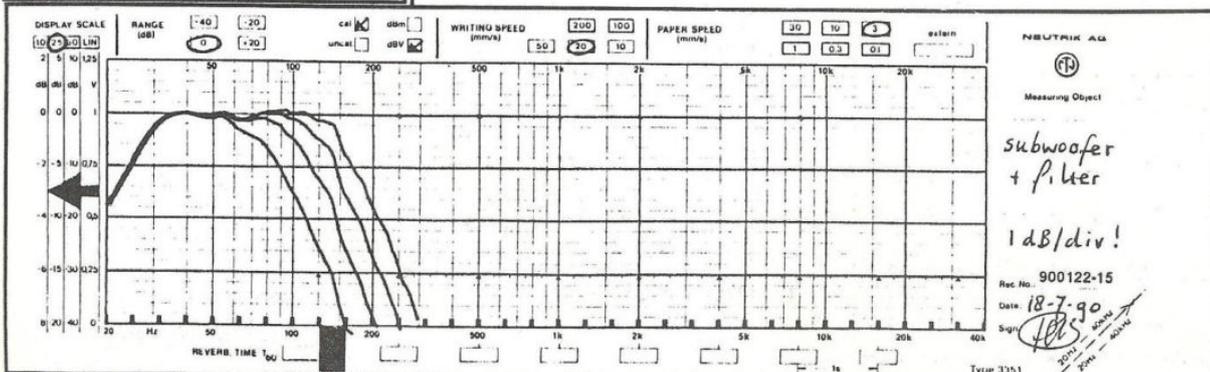


Figura. 6 Curva de respuesta en frecuencia del subwoofer con cuatro puntos de corte superiores diferentes. Nótese que el cuadrículado es de 1 dB en lugar de los 2 dB usuales.

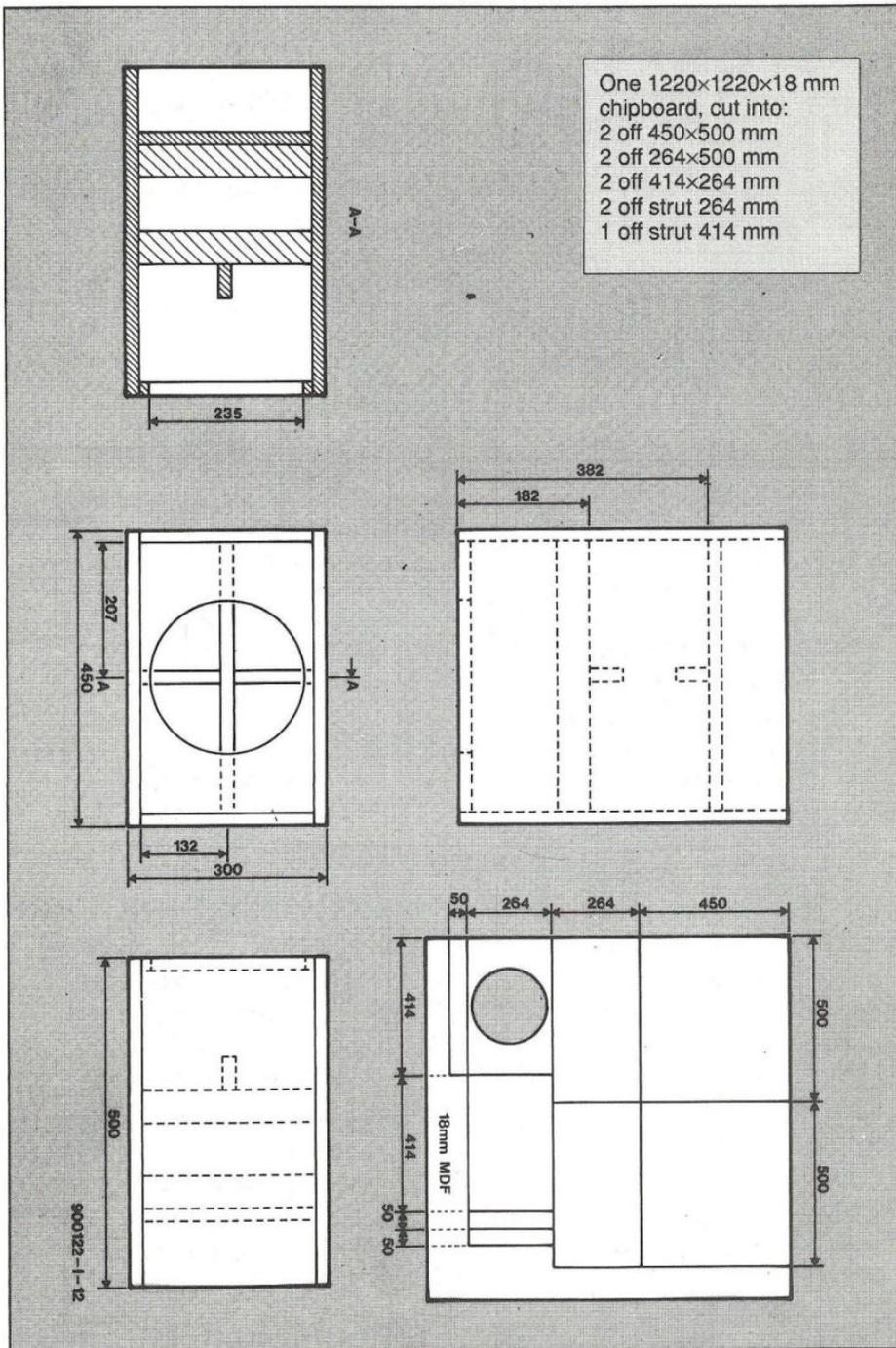


Figura. 7 Esquema de montaje de la caja para el subwoofer. Dos refuerzos internos aseguran la robustez de los paneles. Los componentes se ubican en un espacio separado en la parte posterior.

La tabla incluida en la figura muestra que puede cortarse todas las partes necesarias a partir de una chapa de 122x122 cm.

Se reserva un espacio en la parte trasera de la caja para ubicar los componentes (amplificador de potencia, alimentación y tarjeta con filtro corrector).

Deberá taladrarse un orificio en el panel trasero para pasar el cable al altavoz. Una vez realizada la conexión, el agujero deberá cerrarse con un relleno de algodón. El altavoz queda atornillado al panel frontal; si el panel es lo suficientemente liso, puede hacerse sin utilizar arandelas. El cable puede quedar conectado a él con conectores tipo faston. A continuación debe acondicionarse la caja con un relleno apropiado para columnas de altavoz. El exterior puede terminarse según el gusto personal.

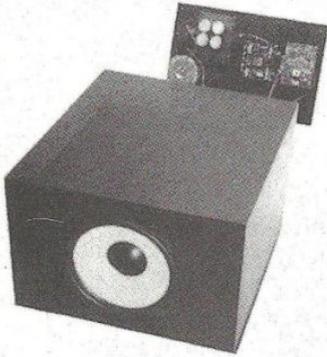
Ahora puede montarse también la tarjeta de corrección y filtro (véase Fig. 5). Incluye espacio para montar los interruptores, de forma que sólo es necesario montar por separado los conectores de fono. Esto queda aplazado al mes que viene.

En este momento ya se puede verificar el subwoofer conectando un amplificador de potencia apropiado entre él y el circuito corrector. El circuito corrector debe ser alimentado con una tensión de entre 20 V y 30 V.

El mes que viene daremos más información de como instalar los componentes y de como conectar el subwoofer, y operar con él, a un sistema de audio preexistente.

MINI SUBWOOFER ACTIVO PARTE 2ª

esta segunda parte del artículo describe una salida del amplificador designada para el subwoofer, el montaje electrónico de la caja y como el subwoofer puede conectarse a un existente sistema de audio.



Amplificador de salida

Aunque en principio puede usarse para el subwoofer cualquier amplificador de salida que sea capaz de suministrar 50 vatios sobre 8 Ω , hemos pensado que muchos lectores desearían un sistema completo, por lo que hemos diseñado un amplificador de salida especialmente para ellos.

El amplificador es un circuito híbrido consistente en una etapa de control basada en un operacional, y una etapa de potencia que utiliza transistores discretos. El esquema eléctrico se muestra en la Fig. 8.

El operacional, del tipo OP16 de PMI, es de precisión, con entradas JFET y un coeficiente de rotación de 25 V/V. Contiene su propio alimentador de tensión de 15 V, que se deriva de la alimentación principal de 30 V a través de R15/D4 y R16/D5.

La señal de entrada se lleva a la entrada no inversora del operacional vía C1. La impedancia de entrada queda determinada casi exclusivamente por R1 (dado que

el operacional tiene entradas JFET).

El ancho de banda del OP16 es restringido, en cierta medida, por un condensador de 2.2 nF entre la salida y la entrada inversora y una resistencia de 100 Ω entre la entrada inversora y masa. Este ajuste puede ser comparado al condensador de compensación entre las

salidas del primer amplificador diferencial en una etapa de salida convencional.

La salida del operacional excita la etapa de potencia a través de una fuente de corriente basada en T1. Esta fuente asegura un nivel estable de corriente de reposo a través de los transistores de salida. La tensión de referencia en la fuente viene dada por un led de alta eficiencia (D1).

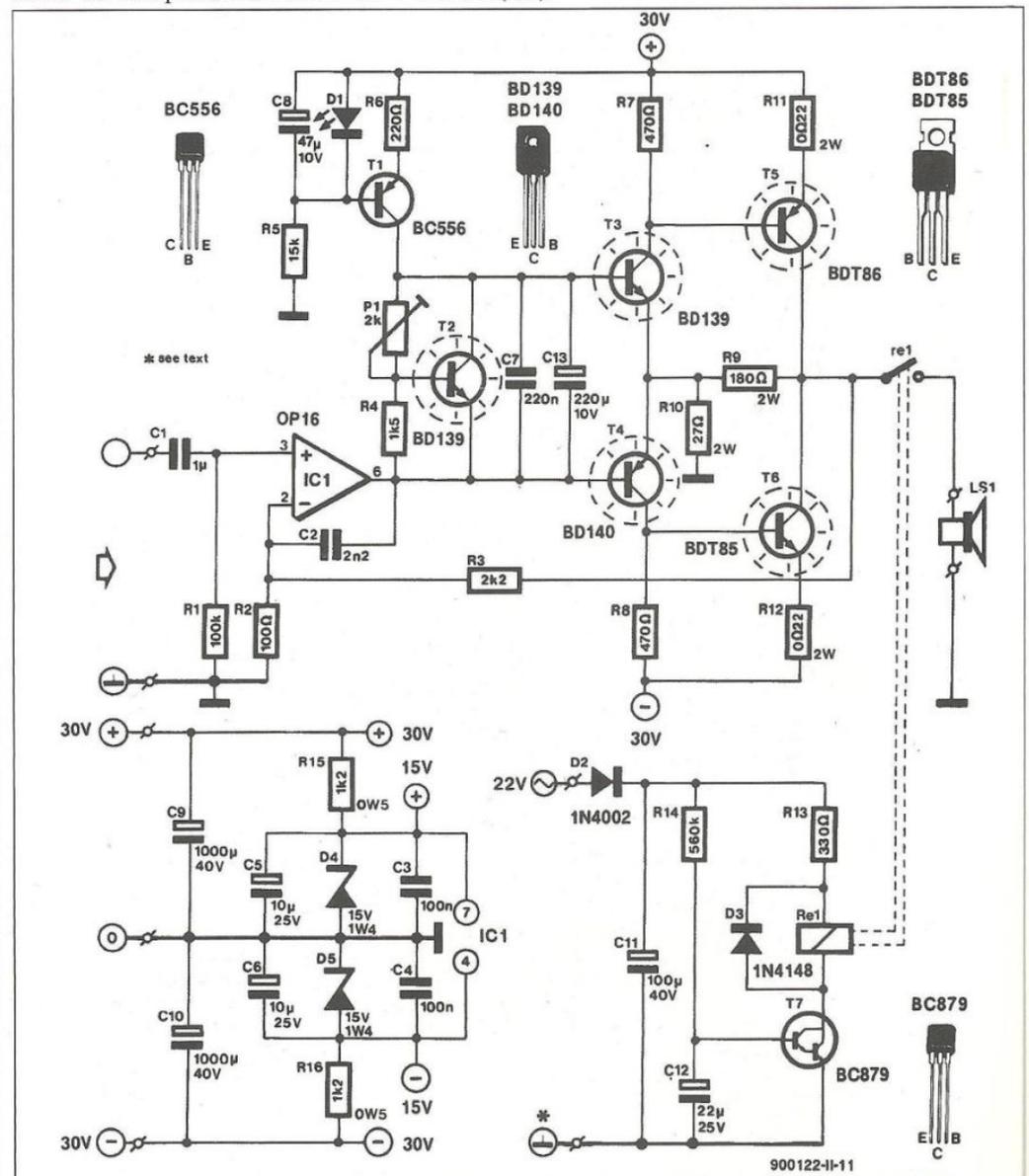


Figura.8. Esquema eléctrico del amplificador de salida especialmente diseñado para ser usado con el subwoofer.

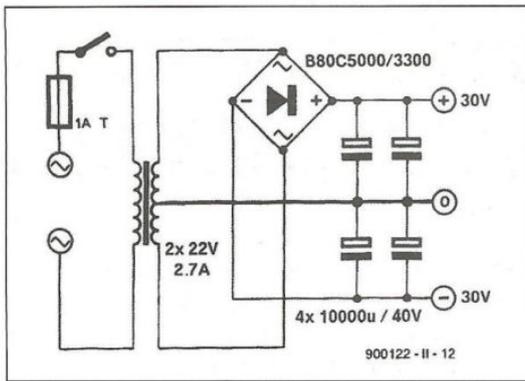


Figura 9. fuente de alimentación para amplificador de salida

La etapa de potencia consiste en una configuración compuesta, T3-T6. Normalmente se usa en la salida una especie de súper seguidor de emisor para garantizar la amplificación de corriente adecuada. En el presente diseño no es suficiente amplificar sólo la corriente (característica típica de un seguidor de emisor), debido a que el rango de la señal de salida del operacional está limitado a $<F128M> \times <F255D> 12$ V. Por ello se necesita cierta

amplificación adicional. Un circuito compuesto produce amplificación de corriente y de tensión.

La amplificación en tensión del presente circuito queda determinada por el factor de ganancia de los transistores de salida y por el divisor de tensión, R9-R10, entre los transistores de salida y los de entrada de la etapa. Para garantizar que el operacional no produzca una tensión de salida demasiado alta, la cual limitaría la corriente de salida, se ha fijado la ganancia del circuito compuesto de salida en un factor de 4 (12 dB). Es de destacar, en esta con-

LISTA DE COMPONENTES

Resistencias:

R1: 100 k Ω
 R2: 100 Ω
 R3: 2k2
 R4: 1k5
 R5: 15 k Ω
 R6: 220 Ω
 R7, R8: 470 Ω
 R9: 180 Ω , 2,5 W
 R10: 27 Ω , 2,5 W
 R11, R12: 0,22 Ω , 5W
 R13: 330 Ω , 1 W
 R14: 560 Ω
 R15, R16: 1k2, 0,5 W
 P1: 2 k Ω , multivuelta, ajuste V.

Condensadores:

C1: 1 μ F
 C2: 2n2
 C3, C4: 100nF
 C5, C6: 10 μ F, 25 V
 C7: 220 nF
 C8: 100 μ F, 10 V
 C9, C10: 1000 μ F, 10 V
 C11: 100 μ F, 40 V
 C12: 22 μ F, 25 V
 C13: 220 μ F, 10 V, radial

Semiconductores:

D1: 3mm, LED, rojo, alta eficacia
 D2: 1N4002
 D3: 1N4148
 D4, D5: zener 15 V, 1,4 W
 T1: BC556
 T2, T3: BD139
 T4: BD140
 T5: BDT86 ó BD912
 T6: BDT85 ó BD911
 T7: BC879
 IC1: OP16

Varios:

Re1: relé, 24V, 1 circuito
 Transformador de red de 2x22 V, 2,7A
 4 condensadores electrolíticos de 10000 μ F, 40 V
 Puente rectificador B80C5000/3300
 Placa: 900122-2

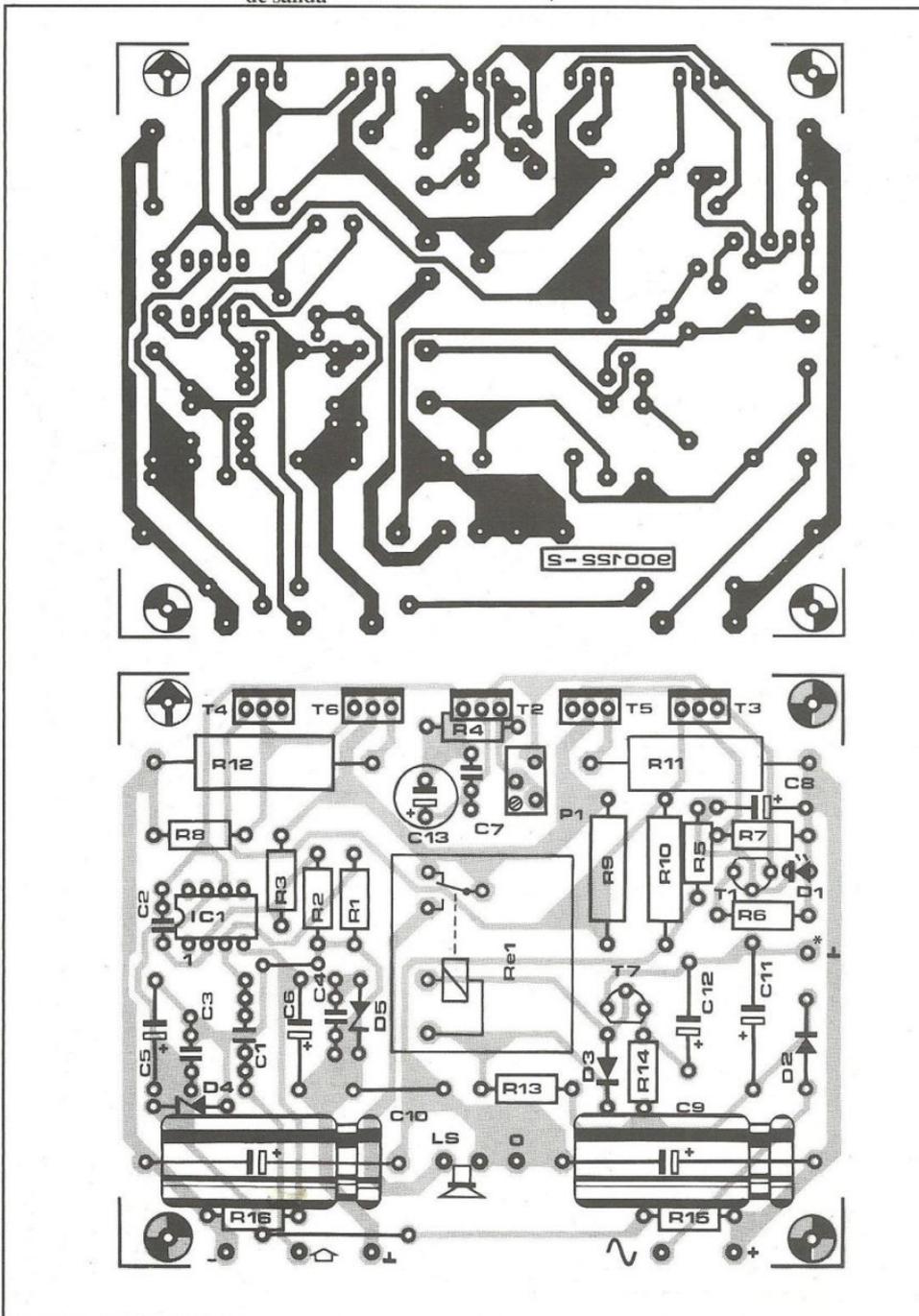


Figura 10. Tarjeta de circuito impreso para el amplificador de salida.

figuración de salida, que las resistencias de emisor de los transistores de salida se conectan directamente a los polos de la alimentación.

El ajuste de la corriente de reposo es llevado a cabo por el diodo zener' variable, T2-P1-R4. El transistor T2 queda conectado al radiador entre los transistores de salida, para garantizar un buen acoplo térmico. Los condensadores C7 y C13 realizan el desacoplo en alterna del 'zener'. El lazo de realimentación del amplificador en su conjunto queda formado por las resistencias R2 y R3 que ajustan la ganancia global a un factor de 23 (27 dB).

El circuito construido alrededor de T7 y Re1 produce un retardo de unos pocos segundos entre la activación de la alimentación y la conexión del altavoz con la etapa de salida que estamos describiendo. Dicho circuito deriva la alimentación a través de D2: esto garantiza que el relé se abra tan pronto como se desactiva la alimentación.

El diseño de la fuente de alimentación es muy sencillo (véase Fig. 9). Además de los 4 condensadores de 10.000 <F128M>m <F255D>F que se muestran aquí, otros dos condensadores de 1.000 <F128M > m <F255D > F, en la tarjeta, producen un desacoplo adicional de las líneas de alimentación.

Montaje

El amplificador se monta perfectamente en la tarjeta de circuito impreso que se muestra en la Fig. 10. Aparte del montaje de los transistores T2-T6, la implementación no debería presentar ningún problema.

Los transistores T2-T6 pueden montarse de varias maneras, dependiendo de la construcción mecánica. Si se utiliza una lámina de aluminio doblada en L, se pue-

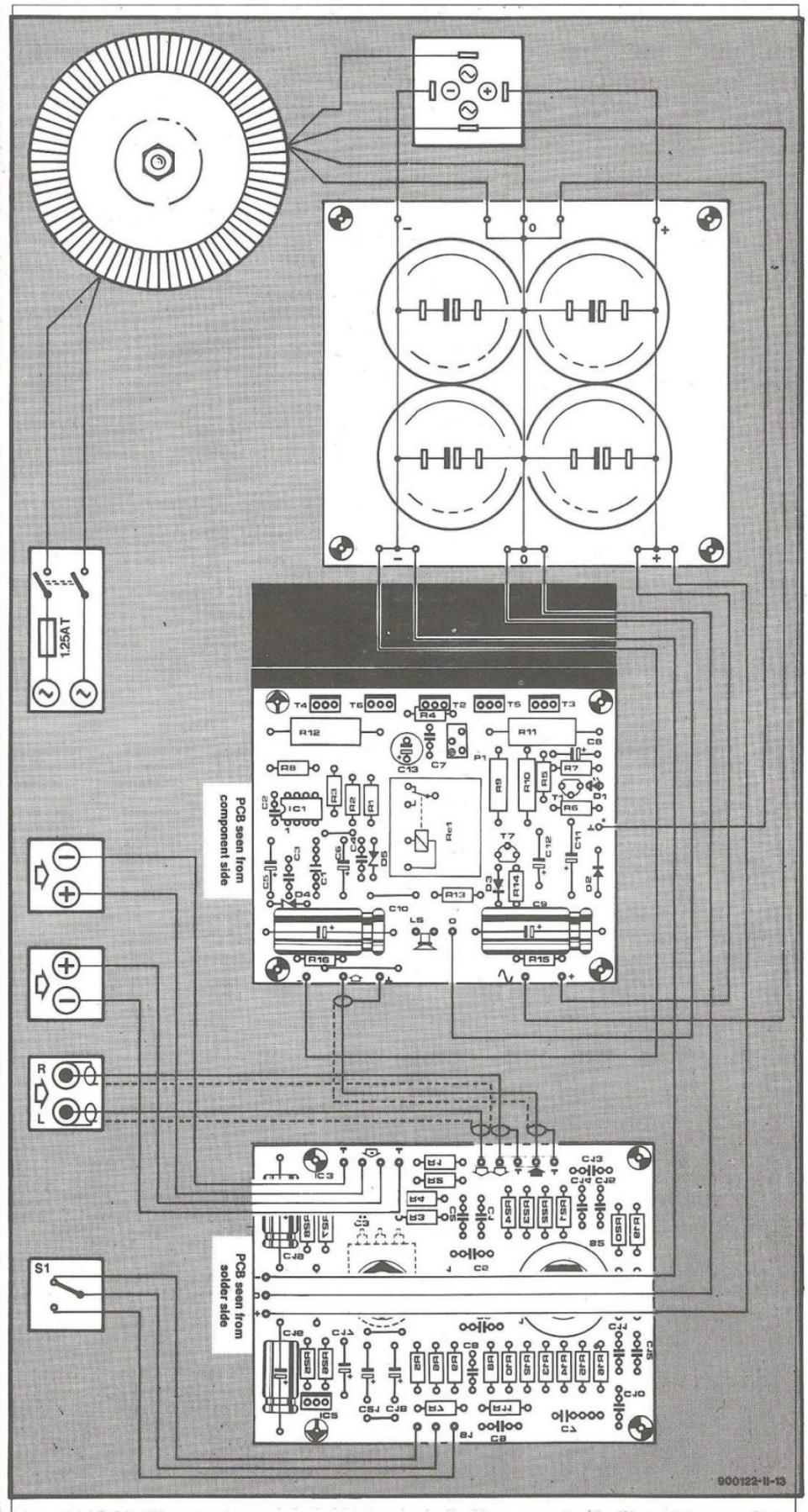


Figura. 11. Diagrama de conexiones del amplificador de salida con su fuente de alimentación

den montar en la tarjeta y sujetar a la lámina la cuál, a su vez, se atornilla al radiador. Sin embargo también es posible atornillar el amplificador y las tarjetas de filtro a una lámina de aluminio de tamaño apropiado, que serviría como radiador. En ese caso, fije primero los transistores T2-T6 a la lámina, doble sus patillas hacia arriba un par de milímetros por encima de su encapsulado y páse-las por sus agujeros correspondientes de la tarjeta de circuito impreso. Asegúrese de dejar suficiente espacio entre la tarjeta y la lámina para poder realizar las soldaduras. Tenga en cuenta además que los transistores deben quedar aislados de la lámina.

Para mayor claridad este último montaje, sobre una lámina de aluminio de 3 mm de espesor, se muestra en la Fig. 11. Las dimensiones de la lámina permiten introducirla en el hueco de la parte trasera de la caja del subwoofer. Para ello pegue cuatro soportes triangulares de madera a las esquinas del lugar donde se atornillará posteriormente la lámina. Fije las tarjetas de circuito impreso a la lámina mediante cuatro separadores de 10mm.

La fuente de alimentación se instala lo más lejos posible de las tarjetas, para evitar cualquier posibilidad de zumbidos.

Fíjese en las conexiones de masa separadas para el circuito de retardo (marcado en la tarjeta de circuito impreso por un símbolo de tierra y un asterisco) y el punto central de masa. No realice una conexión directa entre los dos puntos de masa en la tarjeta del amplificador.

No conecte aún el altavoz al amplificador.

Cuando todo esté listo, ajuste primero P1 a la resistencia mínima y active la alimentación. A continua-

ción ajuste P1 para una corriente de reposo de 100 mA: ello se mide con un milivoltímetro entre R11 o R12, donde la lectura deberá ser 22 mV. Finalmente desactive la alimentación, conecte el altavoz al amplificador, y cierre la caja del altavoz.

Conexión del subwoofer

Hay dos maneras de conectar el subwoofer a un sistema de audio ya existente. Si el sistema posee preamplificador y amplificador independientes, o una conexión al exterior entre ambos, si vinieran integrados, lo mejor es llevar la salida del preamplificador al subwoofer mediante un cable de audio apantallado. Si ello no es posible, conecte el (segundo) par de terminales de altavoz del sistema a los zócalos de banana del subwoofer.

Si las conexiones entre el sistema de audio y sus altavoces son largas, es posible prolongarlas desde dichos altavoces hasta el subwoofer, dado que este último deberá estar en cualquier caso lo más cerca posible de los altavoces para conseguir un rendimiento óptimo. Se puede adaptar el punto de corte inferior del sistema con el subwoofer de varias maneras. Cuando se usan preamplificador y amplificador separados se puede instalar un simple filtro paso alto de primer orden para adaptar el condensador de entrada del amplificador de potencia. Si se conoce la impedancia de entrada, Z, del amplificador de potencia, el valor de la capacidad en función de la frecuencia de corte viene dado por:

$$C = 1/2 \cdot \frac{1}{F_{128M}} \cdot \frac{1}{Z}$$

Otra forma consiste en adaptar el filtro separador de bandas (cross-over) en las cajas de los altavoces. Sin embargo esto no es tan sencillo debido a que en un rango de fre-

cuencia tan bajo, el pico de resonancia del subwoofer produciría efecto, de forma que el filtro no puede terminarse como una resistencia pura. Una tercera posibilidad es dejar todo como está. Particularmente con cajas de altavoz pequeñas, donde la frecuencia de corte es en cualquier caso bastante alta -normalmente entre 75 y 100 Hz-, es totalmente correcto conectar los subwoofers al sistema.

Una cuarta solución sería anteponer a la etapa de salida un filtro separador de bandas (cross-over) del tipo de alguno de los publicados durante los últimos años. Esta solución resulta un tanto exagerada, pero está disponible si usted quiere.

La ubicación de los subwoofers no es muy importante, pero preferentemente no deberían quedar demasiado alejados de los altavoces. A los oyentes exigentes puede gustarles colocarlos entre los altavoces. El nivel de sonido puede ajustarse con el potenciómetro en la parte trasera de los subwoofers.

Finalmente, se pueden invertir si fuera necesario las señales con ayuda de un conmutador de fase. La experimentación en este sentido puede resultar interesante.