

os generales, la potencia de salida máxima que es capaz de entregar depende principalmente de la tensión de alimentación y de la impedancia de carga. A partir de estos parámetros surgen luego los requisitos que debe cumplir cada una de las etapas ennumeradas, y finalmente la elección de los componentes y el dimensionamiento de los componentes restantes.

Como resultado, resulta posible diseñar un esquema circuital único que abarque las etapas de entrada, de pre-amplificación, de potencia y de salida, e incluso hacer que buena parte de los componentes sean comunes a una y otra versión. En esas condiciones, dicho circuito se puede adaptar a una placa impresa universal común a todas las versiones, lo que permite al usuario elegir la potencia de salida que más convenga mediante la adecuación de los componentes, de la tensión de alimentación y de la impedancia de carga a utilizar.

Es importante para todo esto es contar con una línea de semiconductores que permita los dispositivos más adecuados para cada función, y para cada etapa de transistores para baja frecuencia de Texas Instruments y para las mencionadas inicialmente, se pueden seleccionar los tipos indicados

transistores, se encaró el diseño de una etapa amplificadora modular de 7, 15, 35 y 70 Watts, cuyos aspectos circuitales y de armado se detallan en la continuación.

EN EL CIRCUITO

El circuito completo se muestra en la Fig. 1, en la cual se incluyen las designaciones y el valor para los componentes comunes a todas las versiones, y la posición —exclusivamente— en aquellos casos en que el valor de la potencia de salida elegida. El mismo criterio se ha seguido para indicar las corrientes de funcionamiento (ver Tabla 2).

El complementario de salida está compuesto por los transistores Q6 (PNP) y Q7 (NPN), comandados respectivamente por los transistores Q4 (NPN) y Q5 (PNP) a través de las combinaciones Q6-Q4 y Q7-Q5 se puede considerar como un "cortocircuito", cuya corriente de colector máxima dependerá de la ganancia equivalente, y cuya ganancia de corriente es el resultado de las características Q6 (o Q7), y cuya ganancia de corriente es el resultado de las ganancias individuales de Q6 y Q4 (o Q7 y Q5). Las tensiones de colector máximas que deben soportar estos cuatro transistores son aproximadamente iguales al valor de la tensión de alimentación V_{cc} del circuito. Los resistores R21 y R22 contribuyen a la estabilización térmica de la etapa de reposo de Q6-Q7, y limitan la corriente de colector en caso de cortocircuito de salida.

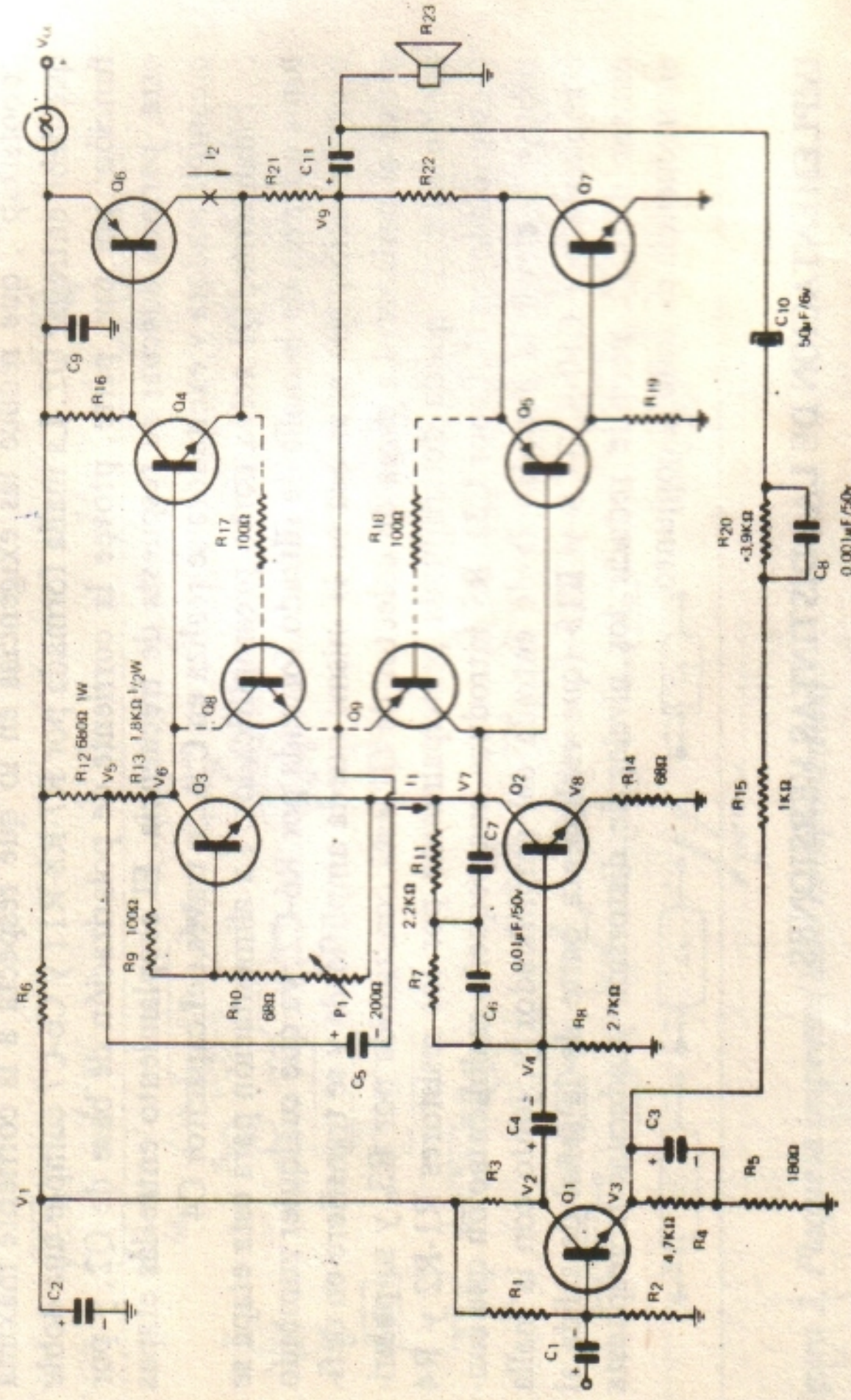


Figura 1. Esquema circuital (completo) utilizado en los amplificadores.

El transistor Q3, junto con R9-R10 y el potenciómetro P1, constituyen una etapa de polarización que permite ajustar la corriente de reposo mencionada (12), y al mismo tiempo mantener invariable su valor frente a variaciones de temperatura. Este es el único ajuste previo que necesita el circuito, antes de quedar definitivamente liberado para el uso.

Los transistores Q8 y Q9, junto con R17-R18, integran un circuito de protección opcional que se puede incorporar fácilmente durante el armado de la placa. Si —por ejemplo— la corriente de colector de Q6 aumenta excesivamente, habrá una mayor caída de tensión en R21. Esta caída de tensión polariza en sentido directo —a través de R17— la juntura base-emisor de Q8, transistor que pasa al estado de conducción. Al hacerlo, "cortocircuita" el circuito de base-emisor de Q4, que a su vez deja de conducir. En consecuencia, Q6 no recibe polarización de base-emisor y tampoco conduce, lo cual elimina el incremento inicial excesivo de corriente de colector.

El mismo razonamiento se puede seguir para analizar el funcionamiento de Q9. Cabe señalar que desaparecida la causa que originó el exceso de corriente, todo el circuito vuelve a su operación normal.

El transistor excitador es Q2, cuya carga de colector está compuesta por R12 y R13. Estos resistores, junto con el capacitor C5 (conectado entre el punto medio de la etapa de salida y la unión de los resistores mencionados) conforman un circuito

Audio modular: 7 a 70W. con la misma plaqueta impresa

Presentamos aquí un diseño de audio modular que aprovecha las distintas alternativas que ofrece la línea de transistores de baja frecuencia de Texas Instruments, para la realización de una gama de amplificadores de audio con potencias de salida de 7, 15, 35 y 70 watts. Una plaqueta impresa de diseño único permite construir el amplificador deseado, mediante la simple elección de algunos componentes que varían de una versión a otra.

Esta nota de aplicación incluye la descripción del circuito básico adoptado, las listas de materiales correspondientes a las distintas versiones, el diseño de la plaqueta impresa común, y las características eléctricas y de comportamiento más notables de estos amplificadores. También se discuten detalles relativos a su armado y puesta en funcionamiento.

INTRODUCCION

Son bien conocidas por todos las ventajas que ofrece la configuración de salida con transistores complementarios que operan en clase AB, para la implementación de las etapas de potencia de los amplificadores de audio de baja frecuencia.

Este diseño clásico consta básicamente de tres bloques:

- una etapa preamplificadora, cuyo elemento principal es un transistor de bajo ruido para pequeña señal, y que se encarga tanto de presentar una alta impedancia a la entrada como de llevar la señal de audio al nivel requerido por la etapa siguiente,
- una etapa excitadora, paso intermedio compuesto por un transistor de mediana potencia que "transforma" los niveles de tensión que entrega la etapa preamplificadora, en niveles de corriente adecuados para comandar a los transistores de la etapa de salida,
- una etapa de potencia (o de "salida"), integrada por dos transistores de potencia PNP-NPN aparcados —el "par complementario"— que operan en clase AB, y que son los que en definitiva excitan la bobina móvil del parlante.

En los diseños más elaborados se pueden encontrar algunas variantes de interés, tales como:

- la fijación de la corriente de reposo del par de salida por medio de un transistor, lo que permite compensar eficientemente las variaciones de dicha corriente en función de la temperatura,

- un circuito de protección compuesto por dos transistores PNP-NPN, que anula la excitación aplicada a los transistores de salida en caso de que la corriente de colector de los mismos —y en consecuencia, la potencia disipada— supere un nivel preestablecido (más allá del cual, generalmente se corre el riesgo que se deterioren permanentemente),
- los transistores PNP-NPN adicionales, combinados con los transistores de salida, para incrementar la ganancia de corriente efectiva de los mismos y aliviar las exigencias impuestas a la etapa excitadora. Usualmente, esta opción se utiliza cuando se requieren potencias de salida elevadas.

Tabla 1. Características principales de algunos componentes de la línea de transistores para baja frecuencia de Texas Instruments

TIPO	POL.	CAPACIT. A	Valores máximos absolutos a T=25°C			APLICACIONES
			VCE	IC	PD	
2N422	NPN	P1. AET	400	400 mA	850 mW	En etapas de salida para amplificadores de baja potencia, o amplificadores de audio. Complementaria al 2N422.
2N427	NPN	P1. AET	200	200 mA	350 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
2N428	NPN	P1. AET	200	200 mA	350 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
2A5712	PNP	P1. AET	200	200 mA	350 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
2A5714	PNP	P1. AET	200	200 mA	350 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316A	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316B	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316C	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316D	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316E	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316F	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316G	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316H	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316I	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316J	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316K	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316L	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316M	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316N	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316O	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316P	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316Q	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316R	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316S	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316T	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316U	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316V	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316W	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316X	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316Y	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.
1P2316Z	NPN	T0. 06	500	500 mA	200 mW	En etapas de salida para amplificadores de audio de baja potencia.

* Dirección continua del diodo al 25°C de temperatura de la salida.

Tabla 2. Tensiones y corrientes en los distintos puntos, para las cuatro versiones del circuito

PUNTO DE MEDICIÓN (Fig. 1)	VOLTAJE V _{CE}	CORRIENTE I _C	VALORES TÍPICOS
V1	12V	100 mA	12V
V2	12V	100 mA	12V
V3	12V	100 mA	12V
V4	12V	100 mA	12V
V5	12V	100 mA	12V
V6	12V	100 mA	12V
V7	12V	100 mA	12V
V8	12V	100 mA	12V
V9	12V	100 mA	12V
V10	12V	100 mA	12V
V11	12V	100 mA	12V
V12	12V	100 mA	12V
V13	12V	100 mA	12V
V14	12V	100 mA	12V
V15	12V	100 mA	12V
V16	12V	100 mA	12V
V17	12V	100 mA	12V
V18	12V	100 mA	12V
V19	12V	100 mA	12V
V20	12V	100 mA	12V
V21	12V	100 mA	12V
V22	12V	100 mA	12V
V23	12V	100 mA	12V
V24	12V	100 mA	12V
V25	12V	100 mA	12V
V26	12V	100 mA	12V
V27	12V	100 mA	12V
V28	12V	100 mA	12V
V29	12V	100 mA	12V
V30	12V	100 mA	12V
V31	12V	100 mA	12V
V32	12V	100 mA	12V
V33	12V	100 mA	12V
V34	12V	100 mA	12V
V35	12V	100 mA	12V
V36	12V	100 mA	12V
V37	12V	100 mA	12V
V38	12V	100 mA	12V
V39	12V	100 mA	12V
V40	12V	100 mA	12V
V41	12V	100 mA	12V
V42	12V	100 mA	12V
V43	12V	100 mA	12V
V44	12V	100 mA	12V
V45	12V	100 mA	12V
V46	12V	100 mA	12V
V47	12V	100 mA	12V
V48	12V	100 mA	12V
V49	12V	100 mA	12V
V50	12V	100 mA	12V
V51	12V	100 mA	12V
V52	12V	100 mA	12V
V53	12V	100 mA	12V
V54	12V	100 mA	12V
V55	12V	100 mA	12V
V56	12V	100 mA	12V
V57	12V	100 mA	12V
V58	12V	100 mA	12V
V59	12V	100 mA	12V
V60	12V	100 mA	12V
V61	12V	100 mA	12V
V62	12V	100 mA	12V
V63	12V	100 mA	12V
V64	12V	100 mA	12V
V65	12V	100 mA	12V
V66	12V	100 mA	12V
V67	12V	100 mA	12V
V68	12V	100 mA	12V
V69	12V	100 mA	12V
V70	12V	100 mA	12V
V71	12V	100 mA	12V
V72	12V	100 mA	12V
V73	12V	100 mA	12V
V74	12V	100 mA	12V
V75	12V	100 mA	12V
V76	12V	100 mA	12V
V77	12V	100 mA	12V
V78	12V	100 mA	12V
V79	12V	100 mA	12V
V80	12V	100 mA	12V
V81	12V	100 mA	12V
V82	12V	100 mA	12V
V83	12V	100 mA	12V
V84	12V	100 mA	12V
V85	12V	100 mA	12V
V86	12V	100 mA	12V
V87	12V	100 mA	12V
V88	12V	100 mA	12V
V89	12V	100 mA	12V
V90	12V	100 mA	12V
V91	12V	100 mA	12V
V92	12V	100 mA	12V
V93	12V	100 mA	12V
V94	12V	100 mA	12V
V95	12V	100 mA	12V
V96	12V	100 mA	12V
V97	12V	100 mA	12V
V98	12V	100 mA	12V
V99	12V	100 mA	12V
V100	12V	100 mA	12V

- Posibilidad de reducir la respuesta en alta frecuencia, a fin de "disimular" los ruidos producidos por discos deteriorados, o con rayaduras; función conocida como "filtro de púa" o "filtro de scratch".
- Posibilidad de reducir la respuesta en bajas frecuencias, a fin de "disimular" el ronroneo que producen determinados mecanismos de transporte de los reproductores de discos; función conocida como "filtro de retumbo" o "filtro de rumble".

Por otra parte, existen determinados parámetros que caracterizan a los preamplificadores de audio de cierta calidad. Estos son: bajo ruido, dado que el generado por estas etapas —principalmente la de entrada— se propaga y amplifica a través de toda la cadena de audio, y llega al parlante; se propaga y amplifica a través sobrecarga (capacidad de admitir tensiones de entrada muy superiores a la nominal, caso que se produce —por ejemplo— cuando una cápsula fonocaptora cae accidentalmente y golpea contra un disco); constancia de las características frente a variaciones de la tensión de alimentación y de la temperatura; ausencia de zumbido (ya sea proveniente de la fuente o por captación); etc.

Finalmente, todas las prestaciones y características de comportamiento recién enumeradas se deben lograr por medio de circuitos compactos y de bajo costo. Esto implica un óptimo aprovechamiento de los elementos activos (semiconductores) utilizados, a fin de reducir razonablemente la cantidad de componentes necesarios.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, y para ser utilizado en combinación con los amplificadores de potencia descritos en este y el anterior fascículo, hemos diseñado el preamplificador de audio cuyas características principales comentamos a continuación.

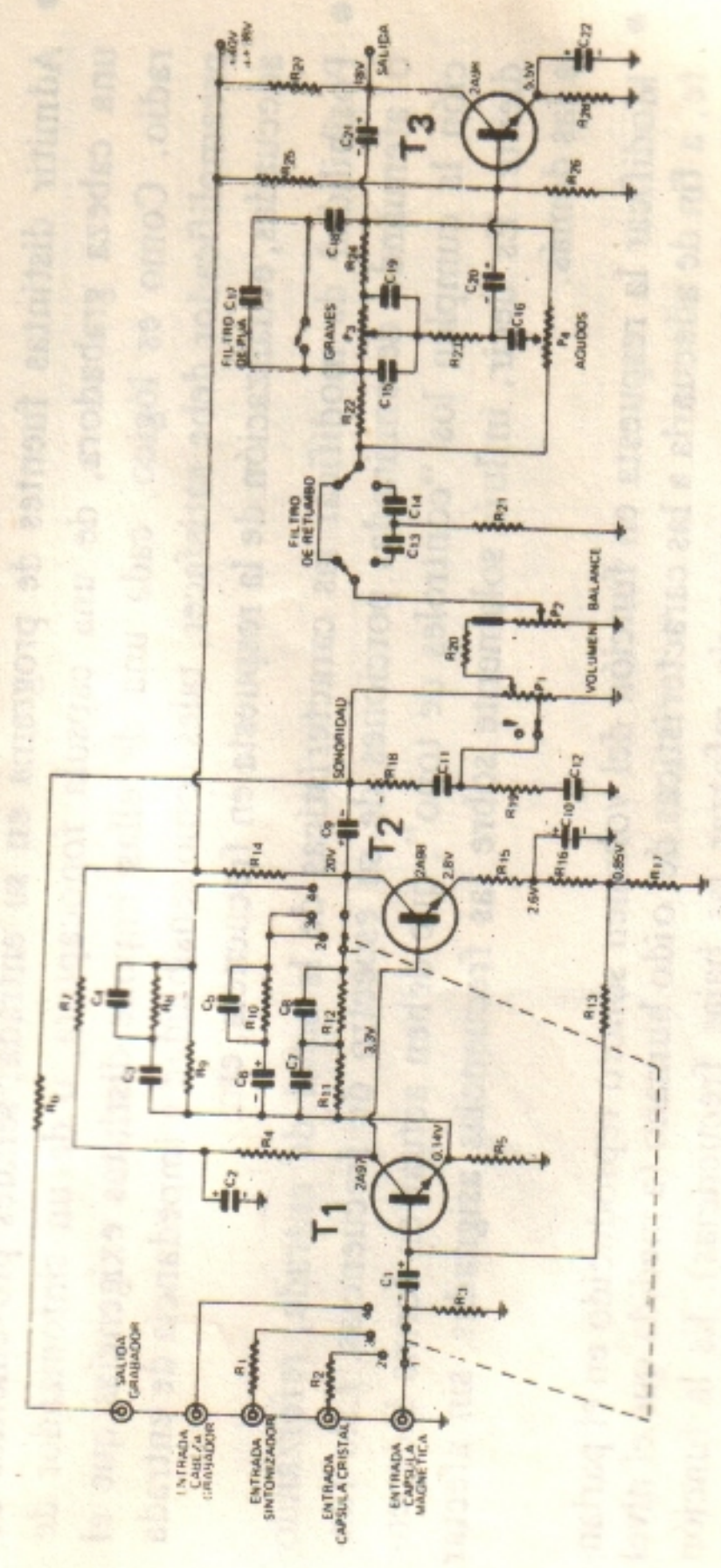


Figura 1. Circuito completo del preamplificador.

DESCRIPCION DEL CIRCUITO

El circuito completo del preamplificador se muestra en la Figura 1. Se trata de una configuración que utiliza tres transistores de silicio de bajo ruido, para cumplir todas las funciones indicadas previamente. T1 (2A97) y T2 (2A98) constituyen una etapa realimentada selectivamente, que provee las impedancias de entrada y la eualización de respuesta adecuadas para cada fuente de señal, y la amplificación e impedancia de salida necesarias para excitar a las etapas siguientes.

La impedancia de entrada de este conjunto queda determinada prácticamente por R3, y una de las secciones de una llave de dos polos —cuatro posiciones permite adaptar resistivamente su valor a los niveles exigidos por las distintas fuentes de señal. De esta forma, las entradas para cápsula magnética y cabeza grabadora presentan una impedancia del orden de los 50 k Ω y una sensibilidad entre 6 y 7 mV; mientras que gracias a la introducción de R1 y R2 (conmutadas por la llave), las entradas de sintonizador y cápsula a cristal presentan impedancias y sensibilidades de 1 M Ω /200 mV y 2,7 M Ω /500 mV, respectivamente. La sección restante de la llave conmuta tres redes de realimentación diferentes, encargadas de proporcionar la eualización de la respuesta del preamplificador, en función de la fuente de señal utilizada. Para las entradas de cápsula a cristal y sintonizador se utiliza la misma malla de realimentación, prácticamente constante en todo el rango de frecuencias involucrado.

Desde colector de T2, y a través de C9, se dispone de una salida amplificada para grabador, previa a los controles de sonoridad, volumen, balance y tono. Esta salida permite registrar en cinta magnética el material de programa que esté procesando el preamplificador.

El control de sonoridad se efectúa mediante la malla compuesta por R18, R19, C11 y C12, la llave de un polo/dos posiciones, y el potenciómetro con derivación P1 (control de volumen). La acción de este conjunto es tal que enfatiza la reproducción en bajas frecuencias, a medida que el cursor del potenciómetro de volumen avanza hacia el lado de masa. La llave incluida permite desactivar esta acción, en los casos que el oyente así lo prefiera.

Además del control de volumen, se incluye un control de balance para los equipos estereofónicos. En este tipo de aplicación los controles deben estar duplicados, a través de la utilización de potenciómetros dobles (uno para cada canal) en tandem. El potenciómetro de balance es "con media pista en cortocircuito", y la conexión de sus terminales se realiza de modo que cuando uno de los cursores esté sobre la porción correspondiente a su media pista en cortocircuito, el otro se encuentra en la porción correspondiente a su media pista resistiva. Esto proporciona un control de balance muy eficiente, y permite lograr impresiones auditivas idénticas en ambos parlantes.

En términos generales, la potencia de salida máxima que es capaz de entregar esta configuración depende principalmente de la tensión de alimentación y de la impedancia del parlante. A partir de estos parámetros surgen luego los requisitos que deberá satisfacer cada una de las etapas enumeradas, y finalmente la elección de los transistores adecuados y el dimensionamiento de los componentes restantes.

Por lo tanto, resulta posible diseñar un esquema circuital único que abarque diferentes potencias de salida, e incluso hacer que buena parte de los componentes no varíe entre una y otra versión. En esas condiciones, dicho circuito se puede alojar en una única plaqueta impresa universal común a todas las versiones, lo que permite que el usuario elija la potencia de salida que más convenga mediante la adecuada selección de los componentes, de la tensión de alimentación y de la impedancia del parlante a utilizar.

Un aspecto importante para todo esto es contar con una línea de semiconductores que ofrezca los dispositivos más adecuados para cada función, y para cada caso. De la gama de transistores para baja frecuencia de Texas Instruments y para las potencias mencionadas inicialmente, se pueden seleccionar los tipos indicados en la Tabla 1.

Con tales transistores, se encaró el diseño de una etapa amplificadora modular para potencias de 7, 15, 35 y 70 Watts, cuyos aspectos circuitales y de armado incluimos a continuación.

DESCRIPCION DEL CIRCUITO

El circuito completo se muestra en la Fig. 1, en la cual se incluyen las designaciones de posición y el valor para los componentes comunes a todas las versiones, y la designación de posición —exclusivamente— en aquellos casos en que el valor depende de la potencia de salida elegida. El mismo criterio se ha seguido para indicar las tensiones y corrientes de funcionamiento (ver Tabla 2).

El par complementario de salida está compuesto por los transistores Q6 (PNP) y Q7 (NPN), comandados respectivamente por los transistores Q4 (NPN) y Q5 (PNP). Cada una de las combinaciones Q6-Q4 y Q7-Q5 se puede considerar como un "transistor de potencia equivalente", cuya corriente de colector máxima depende de las características Q6 (o Q7), y cuya ganancia de corriente es el resultado de la contribución de las ganancias individuales de Q6 y Q4 (o Q7 y Q5). Las tensiones colector-emisor máximas que deben soportar estos cuatro transistores son aproximadamente iguales y equivalentes al valor de la tensión de alimentación V_{cc} del circuito. Los resistores R21 y R22 contribuyen a la estabilización térmica de la corriente de reposo de Q6-Q7, y limitan la corriente de colector en caso de cortocircuito en la salida.

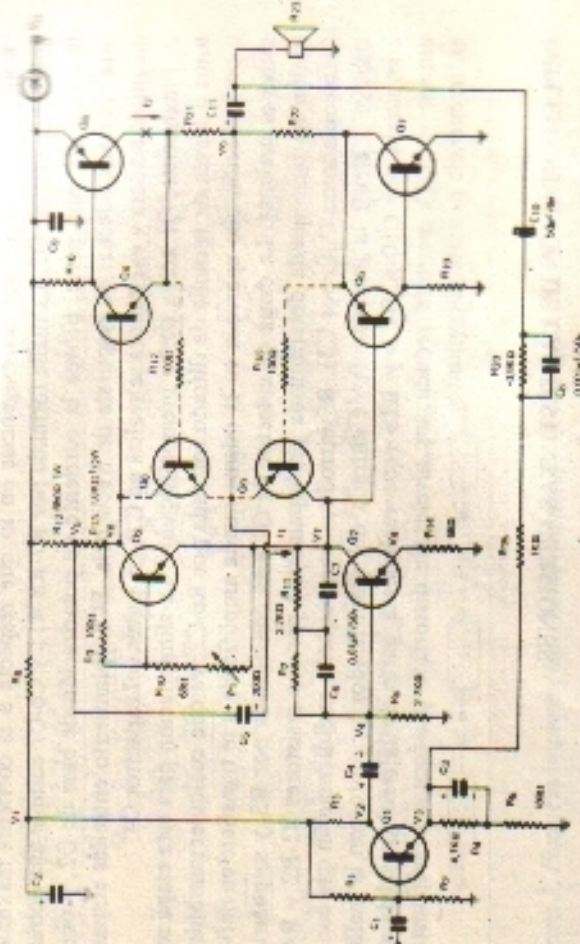


Figura 1. Esquema circuital (completo) utilizado en los amplificadores.

El transistor Q3, junto con R9-R10 y el potenciómetro P1, constituyen una malla de polarización que permite ajustar la corriente de reposo mencionada (I2), y al mismo tiempo mantener invariable su valor frente a variaciones de temperatura. Este es el único ajuste previo que necesita el circuito, antes de quedar definitivamente liberado para el uso.

Los transistores Q8 y Q9, junto con R17-R18, integran un circuito de protección opcional que se puede incorporar fácilmente durante el armado de la plaqueta. Si —por ejemplo— la corriente de colector de Q6 aumenta excesivamente, habrá una mayor caída de tensión en R21. Esta caída de tensión polariza en sentido directo —a través de R17— la junta base-emisor de Q8, transistor que pasa al estado de conducción. Al hacerlo, "cortocircuita" el circuito de base-emisor de Q4, que a su vez deja de conducir. En consecuencia, Q6 no recibe polarización de base-emisor y tampoco conduce, lo cual elimina el incremento inicial excesivo de corriente de colector.

El mismo razonamiento se puede seguir para analizar el funcionamiento de Q9. Cabe señalar que desaparecida la causa que originó el exceso de corriente, todo el circuito vuelve a su operación normal.

El transistor excitador es Q2, cuya carga de colector está compuesta por R12 y R13. Estos resistores, junto con el capacitor C5 (conectado entre el punto medio de la etapa de salida y la unión de los resistores mencionados) conforman un circuito

"bootstrap", que reduce las exigencias en lo que respecta a la corriente máxima que debe entregar Q2. La malla formada por R7-R8-R11 y C6-C7 cumple una doble función: por una parte, provee la corriente de polarización de base de Q2, y por otra, permite adecuar su respuesta de frecuencia. El acoplamiento entre las etapas preamplificadora y excitadora se realiza en C.A., a través del capacitor C4.

Finalmente, Q1 actúa como preamplificador. La alimentación para esta etapa se toma a través de la malla de filtro formada por R6-C2, ya que cualquier zumbido o perturbación que aparezca en la misma queda amplificada y se transfiere en definitiva al parlante. La carga de colector de Q1 está constituida por R3, y su polarización de base queda determinada principalmente por los resistores R1-R2 y R4 (desacoplado en C.A. por C3). R5 introduce una pequeña realimentación que contribuye a elevar la impedancia de entrada del amplificador y, junto con la malla compuesta por C10-R20-C8 y R15 (que realimenta parte de la señal de salida al emisor de Q1), permite reducir los niveles de distorsión y adecuar la respuesta en frecuencia de todo el conjunto.

IMPLEMENTACION DE LAS DISTINTAS VERSIONES

La potencia de salida que puede entregar esta configuración es, en una primera aproximación, directamente proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación, e inversamente proporcional a la impedancia del parlante. Si bien existen en juego otros factores adicionales tales como las tensiones de saturación de los transistores de salida, los resistores de colector R21-R22, etc., que hacen que los resultados prácticos se aparten del cálculo ideal, no obstante podemos deducir que:

- 1) al reducir a la mitad la impedancia del parlante utilizado, la potencia tenderá a duplicarse.
- 2) al incrementar en 1,41 veces (raíz cuadrada de dos) el valor de la tensión de alimentación, la potencia tenderá a duplicarse.

La consecuencia práctica final es que, partiendo de tres impedancias de parlante posibles (16, 8 y 4 ohms) y de dos tensiones de alimentación elegidas adecuadamente (40V y 55V), la misma configuración circuital con alguna variación de los componentes críticos, permite que en un mismo diseño de placa impresa el usuario pueda construir indistintamente amplificadores con potencias de salida de 7, 15, 35 y 70 W.

Tal es el caso del circuito de la Fig. 1, para el cual se ha diseñado la placa impresa mostrada en las Figs. 2 (lado componentes) y 3 (lado cobre). En las listas de materiales correspondientes, se detallan los valores de componentes adecuados para cada versión.

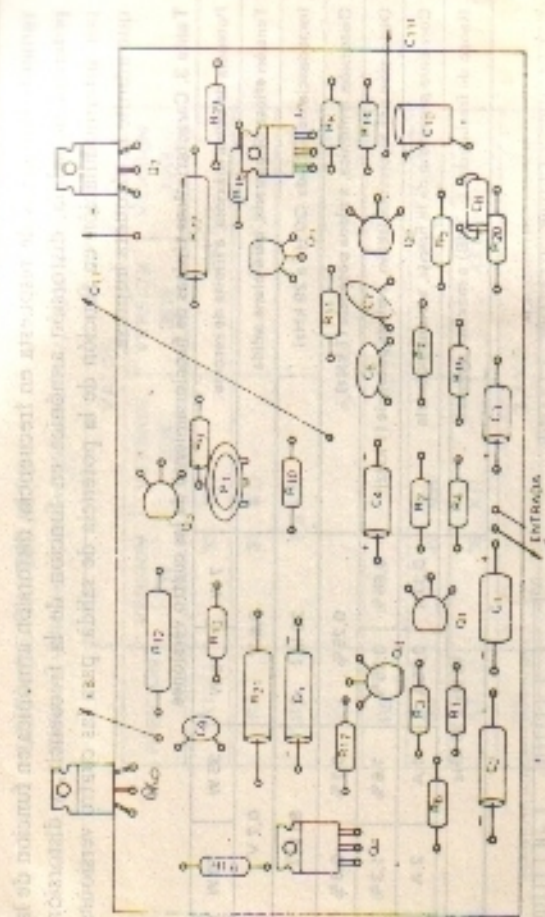


Figura 2. Placa impresa (lado componentes)



Figura 3. Placa impresa (lado cobre)

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LOS AMPLIFICADORES

En la Tabla 3 se han resumido las características de comportamiento más relevantes de los amplificadores. Por otra parte, las Figs. 4, 5, 6 y 7 grafican respecti-

vamente las curvas de respuesta en frecuencia, distorsión armónica en función de la potencia de salida, distorsión armónica en función de la frecuencia, y distorsión por intermodulación en función de la potencia de salida, para las cuatro versiones que admite la placa impresa.

Tabla 3. Características típicas de funcionamiento de las cuatro versiones

Potencia de salida máxima, a límite de recorte	7 W	15 W	35 W	70 W
Tensión eficaz de entrada, para plena salida	0,6 V			
Impedancia de entrada (20 Hz a 20 kHz)	25 k Ω			
Distorsión armónica, a plena potencia (1 kHz)	0,25%			
Distorsión por intermodulación, a plena potencia (1 kHz)	0,65%			
Corriente promedio de la fuente, a plena potencia	0,37 A			
Rango de frecuencias (-3 dB) a máxima potencia	16 Hz a 35 kHz			

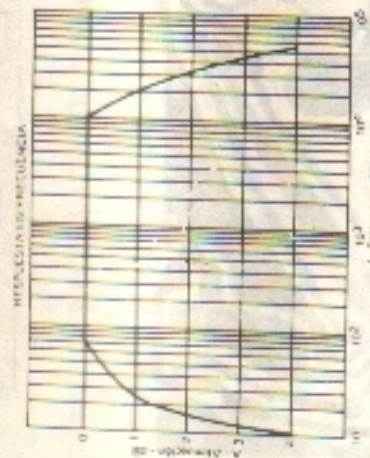


Fig. 4

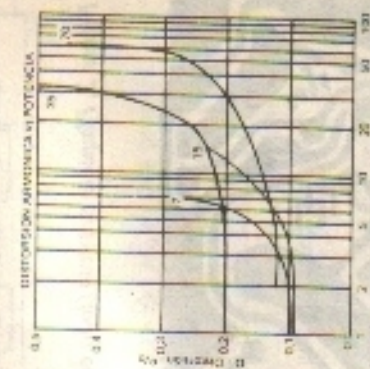


Fig. 5

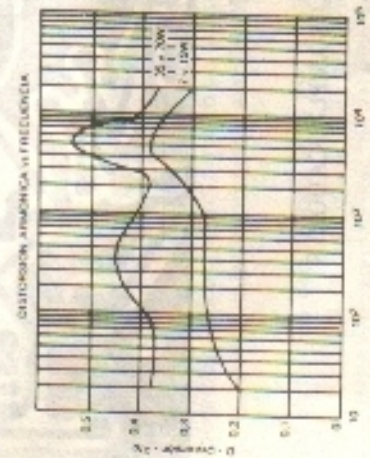


Fig. 6

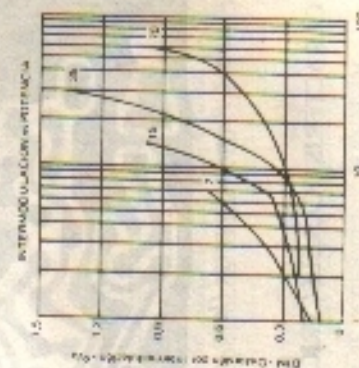


Fig. 7

LISTA DE MATERIALES

Resistores utilizados en los amplificadores de 7, 15, 35 y 70W

POSICION	VALOR			
	VERSION 7W	VERSION 15W	VERSION 35W	VERSION 70W
R1	82 K Ω		330 K Ω	
R2	33 K Ω		150 K Ω	
R3	5,6 K Ω		10 K Ω	
R4		4,7 K Ω		
R5		180 Ω		
R6	22 K Ω		33 K Ω	
R7	39 K Ω		47 K Ω	
R8		2,7 K Ω		
R9		100 Ω		
R10		68 Ω		
R11		2,2 K Ω		
R12		680 Ω (1W)		
R13		1,8 K Ω (0,5W)		
R14		68 Ω		
R15		1 K Ω		
R16	220 Ω		68 Ω	
R17		100 Ω		
R18		100 Ω		
R19	220 Ω		68 Ω	
R20		3,9 K Ω		
R21	0,51 Ω (1W)	0,25 Ω (2W)	0,18 Ω (2W)	0,1 Ω (3W)
R22	0,51 Ω (1W)	0,26 Ω (2W)	0,18 Ω (2W)	0,1 Ω (3W)
R23	16 Ω	8 Ω		4 Ω
P1	Potenciómetro "preset" 200 Ω			

NOTA: Excepto R21 y R22 (que son de tolerancia $\pm 5\%$) y salvo indicación contraria, todos los resistores son de 1/4W, tolerancia $\pm 10\%$.

VARIOS

Plaqueta impresa: Circuito LACI N° 2844/3

NOTAS:

- 1) En la versión de 7W: Q3 se monta en disipador N° 41862; Q6 y Q7 en un disipador de 10°C/W (38 cm² de aluminio de 2 mm, ó N° 682, Endozain SCA)
- 2) En la versión de 15W: Q3, Q4 y Q5 se montan en disipadores N° 41862; Q6 y Q7 en un disipador de 3,4°C/W (144 cm² de aluminio de 2 mm.; ó N° 682, Endozain SCA)
- 3) En la versión de 35W: Q2 y Q3 se montan en disipador N° 41862; Q4 y Q5 en dos disipadores de 20°C/W (16 cm² de aluminio de 2 mm); Q6 y Q7 en un disipador de 2,7°C/W (226 cm² de aluminio de 2 mm.; ó N° 682, Endozain SCA), con buena ventilación.
- 4) En la versión de 70W: Q2 y Q3 van montados en dispositivos N° 41862; Q4 y Q5 en dos dispositivos de 20°C/W (16 cm² de aluminio de 2 mm); Q6 y Q7 en un disipador de 1°C/W.
- 5) El disipador de Q3 debe estar adosado al de los transistores de salida Q6 y Q7, en todos los amplificadores.
- 6) Los transistores montados en disipadores deben tener toda su superficie en contacto con el disipador (con altador para Q6 y Q7), aplicando grasa siliconada (341 de Dow Corning, ó KLS-G/4 de Silicons Argentina) como intermediario.

FUENTES DE ALIMENTACION PARA LOS AMPLIFICADORES

En la Fig. 8 se muestra el circuito de la fuente de alimentación para los amplificadores de 7 y 15W, y en la Fig. 9 el correspondiente a los amplificadores de 35 y 70W. En ambos casos se utiliza un puente rectificador de onda completa, y se incluye una red de filtrado adicional para alimentar a un eventual preamplificador.

Está prevista para un preamplificador que opera con alimentación cercana a los 40 Volt, razón por la cual se agrega al transformador -en el caso de los amplificadores de 7 y 15W- un bobinado de baja corriente, cuya tensión rectificada se suma a la correspondiente al amplificador de potencia propiamente dicho. En los amplificadores de 35 y 70W, la tensión de alimentación es lo suficientemente alta como para hacer innecesario el uso de un bobinado adicional.

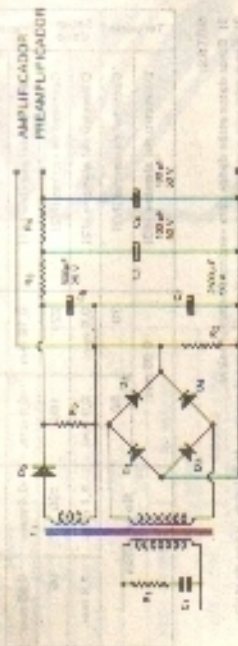


Figura 8. Fuente de alimentación para 7 y 15 W estereo.

Capacitores utilizados en los amplificadores de 7, 15, 35 y 70W

POSICION	VALOR			
	VERSION 7W	VERSION 15W	VERSION 35W	VERSION 70W
C1	2µF/20V		220nF/50V	
C2	50µF/35V		50µF/35V	
C3	50µF/5V		15µF/8V	
C4	50µF/12V		10µF/20V	
C5	100µF/35V		50µF/35V	
C6	180µF/50V		150µF/50V	
C7		10nF/50V		
C8		1nF/50V		
C9		10nF/50V		10nF/200V
C10			50µF/5V	
C11	1.000µF/35V	2.500µF/35V		2.500µF/50V

Transistores utilizados en los amplificadores de 7, 15, 35 y 70W

POSICION	VALOR			
	VERSION 7W	VERSION 15W	VERSION 35W	VERSION 70W
Q1			2A97	
Q2		2A92		2A98
Q3			2A3704	
Q4		2A92		TIP29A
Q5		2A5223		TIP30A
Q6	TIP30A	TIP32A	TIP34A	TIP36A
Q7	TIP29A	TIP31A	TIP33A	TIP35A
Q8			2A3704	
Q9			2A3702	

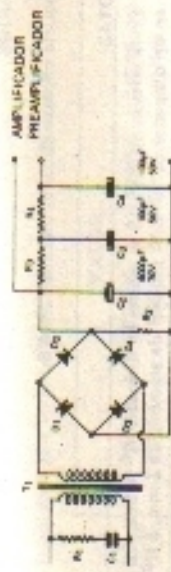


Figura 9. Fuente de alimentación para 35 y 70 W estéreo

La utilización de un nivel alto de tensión para el preamplificador, permite obtener muy buen filtrado en la alimentación del mismo, sin necesidad de recurrir a capacitores de valor demasiado elevado. Como puede observarse en las Figs. 8 y 9, en este caso se emplea una doble malla R-C, con capacidades de 100 μ F.

La Tabla 4 y la lista de materiales correspondiente detallan los aspectos constructivos del transformador y los valores de los componentes a utilizar, para el caso de versiones estereofónicas.

ARMADO DE LOS AMPLIFICADORES

El armado no requiere mayores recomendaciones, debiéndose respetar simplemente la práctica usual de montaje para estos casos. Conviene colocar inicialmente los elementos de menor tamaño (resistores, capacitores), y luego efectuar el montaje de los semiconductores. En las listas de materiales se indican los disipadores a utilizar para cada transistor que así lo requiera. En el caso de los dispositivos con capsula TO-3 o TO-66 se debe recordar que la aleta metálica de sujeción está unida eléctricamente al colector, y —en consecuencia— habrá que utilizar mica aislante

TABLA 4. Características principales de los transformadores utilizados en la fuente de alimentación

DATOS CONSTRUCTIVOS	ver Fig. 8		ver Fig. 9	
	7 W	15 W	25 W	70 W
Linealización μ P	111	112	125	99
Aislado	Cuadrado			
Cantidad de espiras (N1)	1.635	1.180	966	900
Diámetro del alambre (ϕ 1)	0,16 mm.	0,2 mm.	0,4 mm.	0,85 mm.
Cantidad de espiras (N2)	225	166	190	95
Diámetro del alambre (ϕ 2)	0,8 mm.	0,8 mm.	1,1 mm.	1,8 mm.
Cantidad de espiras (N3)	70	50	No se utiliza	
Diámetro del alambre (ϕ 3)	0,08 mm.			

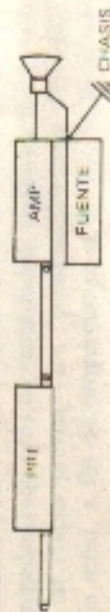
NOTAS:

- 1) Entre datos espaciales para versiones estereofónicas.
- 2) Entre espiras y secundario, colocar 2 capas de papel parafinado de 0,1 mm. y una de mica de 0,1 mm.
- 3) Entre secundario y terciario, colocar una capa de papel parafinado de 0,1 mm.
- 4) El alambre utilizado en los transformadores, se con aislamiento envidio.

entre dicha aleta y el disipador, y tubitos aislantes para la tornillería de fijación, en aquellas situaciones en que se corra el riesgo de que entren en contacto con otras partes del circuito. En la práctica solo será necesario adoptar esta precaución con los transistores de salida Q6 y Q7, dado que generalmente se los monta sobre un único disipador que a su vez está soportado por el chasis del equipo. Para las posiciones Q4 y Q5, las dimensiones de los disipadores requeridos son suficientemente reducidas como para que puedan ser soportados por el propio transistor.

Entre los transistores y su disipador, es conveniente colocar grasa siliconada, para permitir una óptima transmisión del calor en el conjunto. El transistor Q3, que como ya fuera señalado compensa las variaciones de la corriente de reposo del par de salida en función de la temperatura, se debe montar con su disipador adosado directamente al de Q6-Q7.

Con respecto al armado general del equipo, cabe una recomendación adicional: para permitir el funcionamiento correcto de los amplificadores y evitar la formación de lazos de realimentación espurios, el punto de conexión a chasis debe ser único, y reunir la masa de la fuente, la masa del parlante y la masa del amplificador de potencia (en el emisor de Q7).



AJUSTE DE LA CORRIENTE DE REPOSO DEL PAR DE SALIDA

En la puesta en marcha de los amplificadores, el único ajuste necesario es la regulación de la corriente de reposo del par de salida, por medio del potenciómetro P1. Una vez revisado el armado de las plaquetas y el conexionado general, y verificada (en vacío) la tensión de la fuente de alimentación, se debe seguir el procedimiento que se detalla a continuación:

TABLA 5. Componentes utilizados en las fuentes de alimentación (versión estereofónica)

POSICIÓN	VALOR			
	VERSION 7W	VERSION 15W	VERSION 25W	VERSION 70W
D1 a D4	700 mA 50VPI	1,2A 60VPI	2A 100VPI	4A 100VPI
Q5	100mA - 60VPI	No utilizado	No utilizado	No utilizado
R1	470 Ω - 1/2W	10k Ω - 1/2W	10k Ω - 1/2W	10k Ω - 1/2W
R2	10k Ω - 1/2W	10k Ω - 1/2W	10k Ω - 1/2W	10k Ω - 1/2W
R3	10k Ω - 1/2W	10k Ω - 1/2W	10k Ω - 1/2W	10k Ω - 1/2W
R4	10k Ω - 1/2W	10k Ω - 1/2W	10k Ω - 1/2W	10k Ω - 1/2W
C1	100 μ F - 50V	100 μ F - 50V	100 μ F - 50V	100 μ F - 50V
C2	2.500 μ F - 50V	2.500 μ F - 50V	2.500 μ F - 50V	2.500 μ F - 50V
C3	100 μ F - 50V	100 μ F - 50V	100 μ F - 50V	100 μ F - 50V
C4	100 μ F - 50V	100 μ F - 50V	100 μ F - 50V	100 μ F - 50V
C5	500 μ F - 25V	No utilizado	No utilizado	No utilizado



Figura 10.

- 1) Cortocircuitar la entrada del amplificador de potencia (terminal positivo de CI a masa).
- 2) Colocar el cursor del potenciómetro P1 (conectado como resistor variable) en la posición de máxima resistencia.
- 3) Conectar un miliamperímetro (como precaución inicial, en escala de alta corriente) entre los puntos marcados A-B del circuito impreso (ver Fig. 10).
- 4) Conectar la tensión de alimentación.
- 5) Girando el cursor del potenciómetro P1, llevar el valor de corriente leído en el miliamperímetro, al nivel indicado bajo I2 en la tabla 2.
- 6) Cortar la tensión de alimentación, y retirar el miliamperímetro. Cortocircuitar los puntos A-B del circuito impreso, con una gota de estaño.

Finalizado este ajuste, el amplificador queda preparado para funcionamiento normal.

Preamplificador de audio para los amplificadores de 7 a 70Watts

Incluimos aquí un circuito preamplificador que se puede utilizar con los amplificadores de 7 a 70W, y que ofrece excelentes y completas prestaciones: entradas ecualizadas para cápsula magnética o cerámica, cabeza grabadora y sintonizador de AM, FM (o auxiliar); salida para grabador; controles de tono independientes y de baja distorsión; control de sonoridad (y balance para versión estereofónica), y filtros de púa (scratch) y retumbo (rumble) optativos.

INTRODUCCION

Así como los amplificadores de potencia de audio tienen como función principal excitar al parlante en condiciones tales que el sonido reproducido conserve en la mejor manera posible sus características originales (para lo cual deben satisfacer determinados requisitos de sensibilidad, respuesta en frecuencia, distorsión, etc.), cabe a las etapas previas —los "preamplificadores de audio"— procesar y acondicionar la señal, a fin de proporcionar al usuario la impresión auditiva que más se adecúe a sus preferencias particulares. En definitiva, constituyen el nexo entre las fuentes de programa sonoro (discos, cintas magnéticas, transmisiones de radio, micrófonos, etc.) y las etapas de potencia.

Refiriéndonos al área de la llamada "alta fidelidad", existen ciertas prestaciones mínimas que todo preamplificador debe ofrecer. Son las siguientes:

- Admitir distintas fuentes de programa en su entrada; señales provenientes de una cabeza grabadora, de una cápsula fonocaptora, o de un sintonizador de radio. Como es lógico, cada una de ellas impone distintas exigencias que el preamplificador debe satisfacer, tales como sensibilidad e impedancia de entrada adecuadas, ecualización de la respuesta en frecuencia, etc.
- Posibilidad de modificar las características de la señal de entrada, reforzando o atenuando determinadas porciones de su espectro de frecuencias. Esta función la cumplen los "controles de tono", que deben actuar en forma independiente. Es decir, influir solamente sobre las frecuencias asignadas, sin afectar a las demás.
- Modificar la respuesta en función del volumen sonoro reproducido en el parlante, a fin de adecuarla a las características del oído humano (a medida que el nivel sonoro disminuye, es necesario reforzar las bajas frecuencias). Es la función denominada "control fisiológico de volumen", o "control de sonoridad".



- Posibilidad de reducir la respuesta en alta frecuencia, a fin de "disimular" los ruidos producidos por discos deteriorados, o con rayaduras; función conocida como "filtro de púa" o "filtro de scratch".
- Posibilidad de reducir la respuesta en bajas frecuencias, a fin de "disimular" el ronroneo que producen determinados mecanismos de transporte de los reproductores de discos; función conocida como "filtro de retorno" o "filtro de rumble".

Por otra parte, existen determinados parámetros que caracterizan a los preamplificadores de audio de cierta calidad. Estos son: bajo ruido, dado que el generado por estas etapas —principalmente la de entrada— se propaga y amplifica a través de toda la cadena de audio, y llega al parlante; baja distorsión; alta capacidad de sobrecarga (capacidad de admitir tensiones de entrada muy superiores a la nominal, caso que se produce —por ejemplo— cuando una cápsula fonocaptora cae accidentalmente y golpea contra un disco); constancia de las características frente a variaciones de la tensión de alimentación y de la temperatura; ausencia de zumbido (ya sea proveniente de la fuente o por captación); etc.

Finalmente, todas las prestaciones y características de comportamiento recién enumeradas se deben lograr por medio de circuitos compactos y de bajo costo. Esto implica un óptimo aprovechamiento de los elementos activos (semiconductores) utilizados, a fin de reducir razonablemente la cantidad de componentes necesarios.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, y para ser utilizado en combinación con los amplificadores de potencia descritos en este y el anterior fascículo, hemos diseñado el preamplificador de audio cuyas características principales comentamos a continuación.

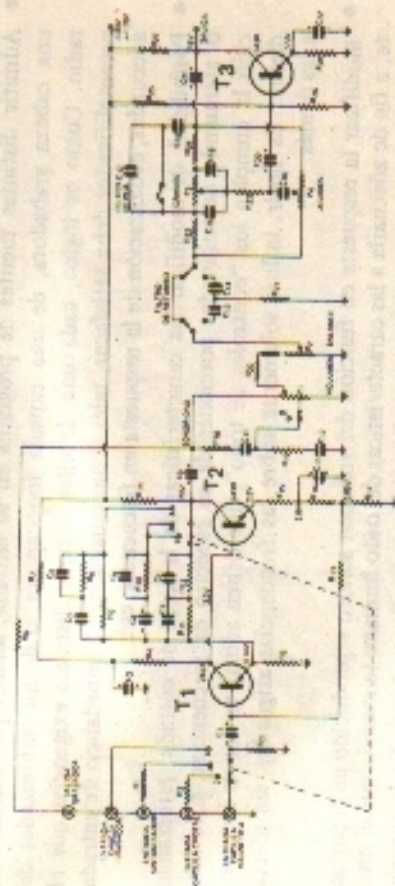


Figura 1. Circuito completo del preamplificador.

DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO

El circuito completo del preamplificador se muestra en la Figura 1. Se trata de una configuración que utiliza tres transistores de silicio de bajo ruido, para complementar todas las funciones indicadas previamente. T1 (2N297) y T2 (2N3045) constituyen una etapa realimentada selectivamente, que provee las impedancias de entrada y la equalización de respuesta adecuadas para cada fuente de señal, y la amplificación e impedancia de salida necesarias para excitar a las etapas siguientes.

La impedancia de entrada de este conjunto queda determinada prácticamente por R3, y una de las secciones de una llave de dos polos —cuatro posiciones permite adaptar resistivamente su valor a los niveles exigidos por las distintas fuentes de señal. De esta forma, las entradas para cápsula magnética y cabeza grabadora presentan una impedancia del orden de los 50 kΩ y una sensibilidad entre 6 y 7 mV; mientras que gracias a la introducción de R1 y R2 (conmutadas por la llave), las entradas de sintonizador y cápsula a cristal presentan impedancias y sensibilidades de 1 MΩ/200 mV y 2,7 MΩ/500 mV, respectivamente. La sección restante de la llave conmuta tres redes de realimentación diferentes, encargadas de proporcionar la equalización de la respuesta del preamplificador, en función de la fuente de señal utilizada. Para las entradas de cápsula a cristal y sintonizador se utiliza la misma malla de realimentación, prácticamente constante en todo el rango de frecuencias involucrado.

Desde colector de T2, y a través de C9, se dispone de una salida amplificada para grabador, previa a los controles de sonoridad, volumen, balance y tono. Esta salida permite registrar en cinta magnética el material de programa que esté procesando el preamplificador.

El control de sonoridad se efectúa mediante la malla compuesta por R18, R19, C11 y C12, la llave de un polo/dos posiciones, y el potenciómetro con derivación P1 (control de volumen). La acción de este conjunto es tal que enfatiza la reproducción en bajas frecuencias, a medida que el cursor del potenciómetro de volumen avanza hacia el lado de masa. La llave incluida permite desactivar esta acción, en los casos que el oyente así lo prefiera.

Además del control de volumen, se incluye un control de balance para los equipos estereofónicos. En este tipo de aplicación los controles deben estar duplicados, a través de la utilización de potenciómetros dobles (uno para cada canal) en tandem. El potenciómetro de balance es "con media pista en cortocircuito", y la conexión de sus terminales se realiza de modo que cuando uno de los cursores esté sobre la porción correspondiente a su media pista en cortocircuito, el otro se encuentra en la porción correspondiente a su media pista resistiva. Esto proporciona un control de balance muy eficiente, y permite lograr impresiones auditivas idénticas en ambos parlantes.

Los capacitores C13 y C14, junto con el resistor R21 y la llave de dos polos/dos posiciones que muestra la Figura 1, constituyen un filtro pasa-altos que se puede conectar a voluntad en el circuito: es el filtro de retumbo o "rumble". A éste le sigue la malla de control de tono, constituida por los resistores R22 a R24, los capacitores C15, C16 y C19, y los potenciómetros P3 (graves) y P4 (agudos). Adicionalmente figuran en el circuito los capacitores C17, C18 y un interruptor. La malla mencionada compone junto con el transistor T3, el bien conocido control de tono activo tipo "Baxandall". Con el interruptor abierto, el valor de capacidad del circuito serie C17-C18 es muy reducida, y prácticamente no afecta a la respuesta del preamplificador en todo el rango de frecuencias de audio. Pero al cerrar sus contactos, se cortocircuita C17 y la presencia de C18 (de valor relativamente elevado) reduce severamente la reproducción de las frecuencias medias y altas: es el filtro de púa o "scratch".

Finalmente, la señal de salida que se envía a la etapa de potencia, se toma del colector de T3. Nótese que en este caso no se incluye capacitor de salida, ya que el preamplificador ha sido diseñado para ser utilizado junto con la plaqueta modular de 7 a 70 W (que ya tiene capacitor de entrada). En caso de que se lo emplee independientemente, o con otro circuito de potencia que no posea capacitor de entrada, bastará con incluir en el colector de T3 un capacitor electrolítico con valor comprendido entre 2 y 10 μ F. En la conexión del mismo habrá que respetar su polaridad, conectando el terminal positivo al punto que presente mayor nivel de tensión.

La tensión de alimentación del preamplificador (38 a 40 volt) se toma directamente de la fuente correspondiente al amplificador de potencia (ver circuitos en el artículo que se presenta en este mismo fascículo sobre el tema). Para eliminar la posibilidad de introducción de ripple de fuente en la señal de audio, se ha incluido una malla de filtrado adicional (R7-C2) en la alimentación del transistor T1.

Prestaciones del preamplificador

En la Tabla 1 se indican la sensibilidad del preamplificador para salida nominal

Tabla 1. Niveles de entrada del preamplificador

Entrada	Sensibilidad para salida nominal	Máxima señal de entrada sin recorte
Cinta magnética	6 mV	60 mV
Cápsula magnética	7 mV	70 mV
Sintonizador	200 mV	1.5 V
Cápsula a cristal	500 mV	3.5 V

($R_L = 33 \text{ k}\Omega$, $V_o = 1 \text{ V}$ eficaz, $f = 1 \text{ kHz}$), y para límite de recorte, en función de las distintas entradas de programa.

Las Figuras 2 a 4 permiten visualizar el comportamiento del preamplificador, para distintas posiciones de los controles y filtros. En todos los casos, fue excitado desde la entrada para cápsula a cristal y cargado con una resistencia de $33 \text{ k}\Omega$. En la salida, tomando como referencia (0 dB) una tensión de salida de 0.5 V a 1000 Hz. Con propósitos de comparación, todas las figuras muestran (curvas 1) la respuesta del preamplificador con los controles en "plano", y con los filtros de púa y retumbo desconectados y el control de sonoridad incluído.

En la Figura 2, curva 2, se observa la fuerte acción del filtro de púa: prácticamente a 1 kHz, la respuesta ya cae a -3 dB. La curva 3 de la misma figura muestra la influencia del control de retumbo: los -3 dB se obtienen aproximadamente en 100 Hz. Finalmente, la curva 4 representa la condición en que ambos filtros están conectados, y los controles de graves y agudos se encuentran en la posición de máximo refuerzo.

La Figura 3 muestra la acción de los controles de tono, para máximo refuerzo (curva 2) y máxima atenuación (curva 3). A 100 Hz y 10 kHz, se logra controlar la respuesta en $\pm 15 \text{ dB}$.

La Figura 4 permite visualizar el efecto del control de sonoridad. Con los con-

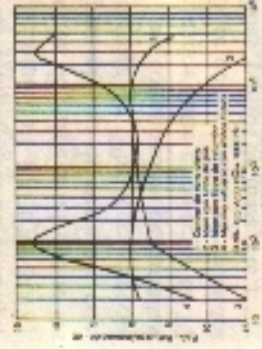


Figura 2. Acción de los filtros de retumbo y de púa.

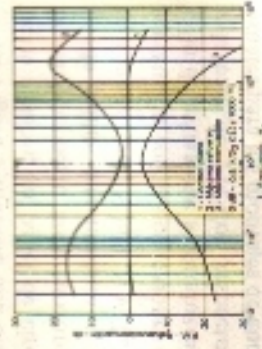


Figura 3. Acción de los controles de tono.

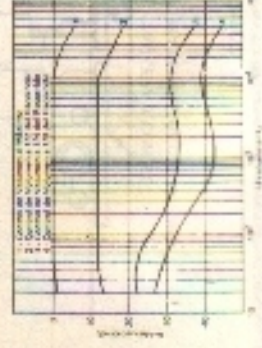


Figura 4. Acción del control de sonoridad.

troles de tono en plano, y los filtros de púa y retumbo desconectados, se mide la respuesta con el control de volumen a máximo (curva 1), y a medio, un cuarto y un octavo de recorrido (curvas 2, 3 y 4, respectivamente). Se observa claramente cómo se enfatizan las bajas frecuencias, a medida que disminuye el volumen (lo cual compensa la respuesta propia del oído humano).

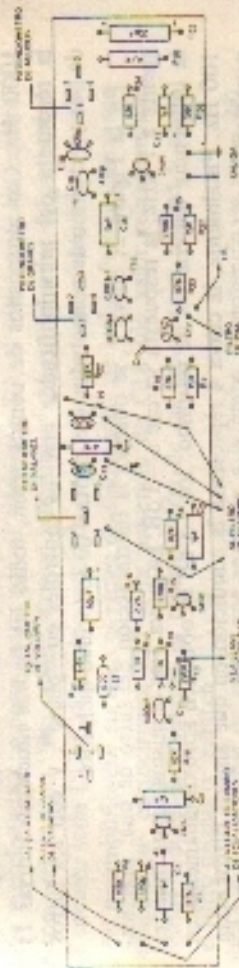


Figura 5. Disposición de materiales en un panel impreso.

Montaje del preamplificador

La Figura 5 muestra una distribución posible de los componentes del preamplificador, sobre un panel de circuito impreso (versión comercial: LACI NO 3018). Se han dispuesto las conexiones de los potenciómetros de manera tal que se los pueda soldar directamente al panel impreso, aún para el caso de versiones estereofónicas (ver Figura 6 y Tabla 2). Durante el montaje, se debe tener especial precaución con las conexiones que se efectúan en la llave conmutadora de entradas, a fin de evitar que se produzcan acoplamientos indeseados entre el colector de T2 y la base de T1. Con respecto al resto del circuito, se deben tomar los recaudos usuales para los montajes de audio (conexiones blindadas, puntos de masa, etc.).

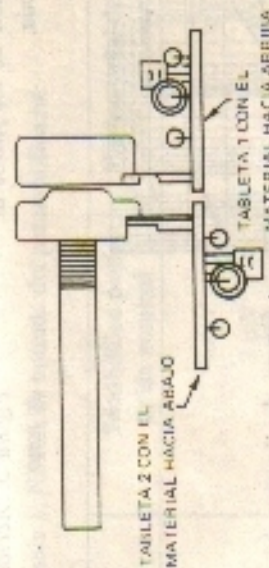


Figura 6. Versión estereofónica.

	VOLUMEN	BALANCE	GRAVES	AGUDOS
Plaqueta 1	1-2-3	4-2-5	1-2-3	1-2-3
Plaqueta 2	1-4-3	1-2-3	1-4-3	1-4-3

Tabla 2. Conexión de los potenciómetros

LISTAS DE MATERIALES

RESISTORES

R1	1MΩ	R11	1.2MΩ	R21	48KΩ
R2	2.7MΩ	R12	56KΩ	R22	82KΩ
R3	47KΩ	R13	220KΩ	R23	47KΩ
R4	82KΩ	R14	27KΩ	R24	82KΩ
R5	470Ω	R15	270Ω	R25	270KΩ
R6	100KΩ	R16	2.2KΩ	R26	56KΩ
R7	15KΩ	R17	1.2KΩ	R27	15KΩ
R8	22KΩ	R18	82KΩ	R28	4.7KΩ
R9	1.5MΩ	R19	1KΩ		
R10	75KΩ	R20	5.6KΩ		

Todos los resistores son de 1/4W y al 10% excepto R10 al 5%

CONDENSADORES

C1	10 μF/15V	C11	0.001 μF/50V
C2	2 μF/50V	C12	0.22/50V
C3	0.002 μF/50V	C13	0.05 μF/50V
C4	6.80 pF/50V	C14	0.05 μF/50V
C5	47 pF/50V	C15	0.003 μF/60V
C6	20 μF/25V	C16	470 pF/50V
C7	0.0033 μF/50V	C17	27 pF/50V
C8	0.001 μF/50V	C18	820 pF/50V
C9	1 μF/50V	C19	0.003/50V
C10	50 μF/6V	C20	5 μF/6V
		C21	1 μF/25V
		C22	20 μF/6V

POTENCIOMETROS

- 100 KΩ log con deriv. a 10 KΩ
- 50 KΩ lin. 1/2 pista en cortocircuito
- 1 MΩ lineal
- 500 KΩ lineal

