

# *Diseño y construcción de un amplificador didáctico de potencia para audio*

Antonio Blanco Solsona

Antonio.Blanco@uv.es

Francisco Hortelano Moya

hortelmo@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

En el presente artículo se describen los fundamentos básicos de los amplificadores de potencia para audio. Estos conceptos se aplican en el diseño y construcción de un amplificador de potencia. Por emplear componentes básicos y no hacer uso de ningún circuito integrado puede ser considerado como un buen amplificador didáctico donde se visualizan los fundamentos básicos de la amplificación de audio.

También se comenta el diseño y construcción del circuito impreso usando el ORCAD. El montaje se ha realizado obteniendo muy buenos resultados a niveles teóricos, experimentales y didácticos.

## EVOLUCIÓN DE LOS AMPLIFICADORES DE POTENCIA

Una vez realizada la amplificación de tensión es necesario actuar sobre el medio acústico para producir la sensación sonora. El elemento donde se produce la conversión de las variaciones eléctricas en variaciones de presión es el altavoz. Si se quiere producir una gran varia-

ción acústica es necesario disponer de altavoces con un gran cono y para mover este cono es necesario que circule una elevada corriente. Se consigue con una etapa final. La etapa final amplifica corriente y no tensión. La etapa de potencia es una etapa amplificadora de corriente.

La primera aproximación es intentar conseguirlo con un amplificador en clase A con transistores. La primera dificultad es adaptar la baja impedancia del altavoz con la necesaria en el colector del transistor. Suele ser alrededor de  $1.000 \Omega$ . Se utiliza un transformador para adaptar las impedancias. El esquema se muestra en la figura 1.

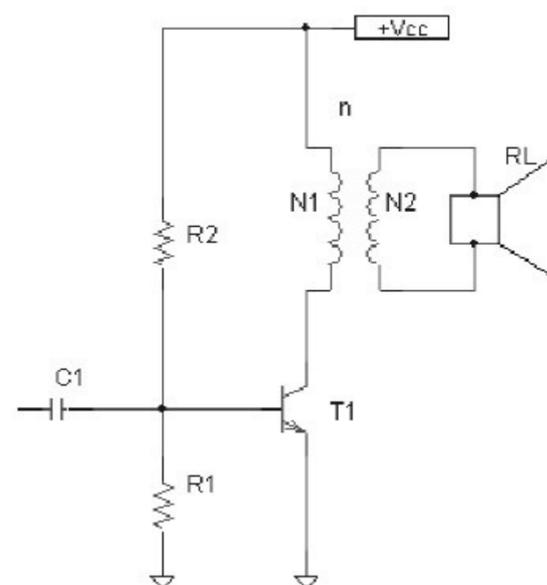
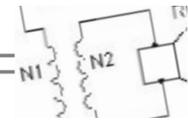


Figura 1. Amplificador en clase A con transformador



En un transformador se tiene:

$$n = \frac{N1}{N2} = \frac{V1}{V2}$$

Siendo  $n$  la relación de transformación.

Como el transformador tiene un rendimiento superior al 90%, se puede considerar ideal y la potencia del primario es prácticamente igual a la potencia en el secundario:

$$P1 = P2$$

Y como la potencia es:

$$P1 = V1 \cdot I1$$

$$P2 = V2 \cdot I2$$

Potencia para cargas resistivas. El altavoz se considera una carga resistiva o se adapta mediante la red de Zobel.

Mediante la ley de Ohm se obtiene:

$$V1 = Z1 \cdot I1$$

$$V2 = Z2 \cdot I2$$

Haciendo operaciones se obtiene:

$$Z1 = n^2 \cdot Z2$$

$Z1$  representa la impedancia transferida al primario de  $Z2$ . Si  $Z2$  es la impedancia del altavoz resulta:

$$Z1 = n^2 \cdot RL$$

El amplificador tiene dos rectas de carga distintas. La recta de carga estática y dinámica. Se diseña para que trabaje en clase A en régimen dinámico, resultando una corriente en el punto de funcionamiento:

$$I_{cq} = \frac{V_{cc}}{n^2 \cdot RL}$$

La potencia disipada en el transistor es el doble respecto a la disipada en el altavoz. El rendimiento es del 50%. Siempre está conduciendo el transistor, incluso en ausencia de señal de entrada. Además, el transformador no tiene una respuesta lineal y se pueden presentar distorsiones

Por todas estas causas este tipo de amplificador no es recomendable. No se usa y dio paso a otra configuración. Es el amplificador en clase B.

## AMPLIFICADOR EN CLASE B

El amplificador en clase B o en contrafase con transformador se diseñó para solucionar los problemas que presentaba la amplificación de potencia para audio en clase A. El esquema básico es:

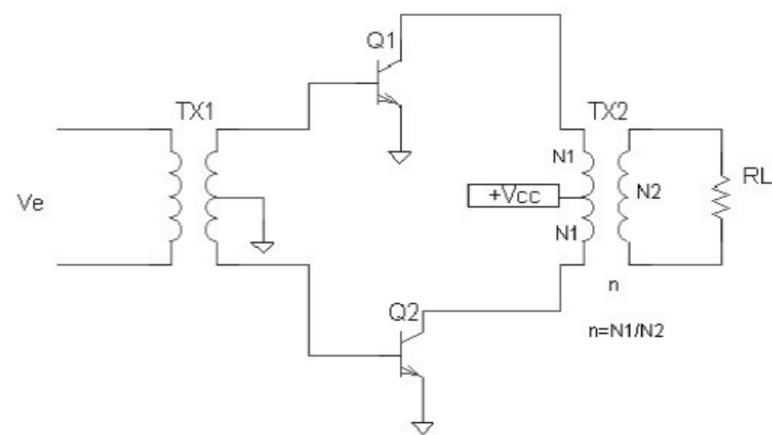


Figura 2. Amplificador en contrafase en clase B

La señal de entrada  $V_e$  llega a un transformador con toma media en el secundario. Se obtiene una señal con toma media respecto a masa. Para un semiciclo la polarización hace que entre en conducción  $Q1$  y se corte  $Q2$ . Al siguiente semiciclo, conduce  $Q2$  y se corta  $Q1$ . La salida de ambos colectores va al primario de otro transformador con toma media conectada al positivo de la fuente de alimentación. En la salida de este transformador se obtiene sobre la carga o altavoz, la señal reconstruida y adaptada a la impedancia de éste.

La ventaja de este amplificador reside en el alto rendimiento (78%) y en la ausencia de consumo sin señal en la entrada. El principal inconveniente es la distorsión de cruce. Esta se produce al estar los transistores en corte. Para que entren en conducción es necesario superar la barrera de potencial de los diodos. Es necesario que entre base y emisor se tengan aproximadamente 0.7 V. Como la polarización viene determinada por la propia señal, aparece una distorsión denominada distorsión de cruce.

Cada transistor, en reposo está en corte:

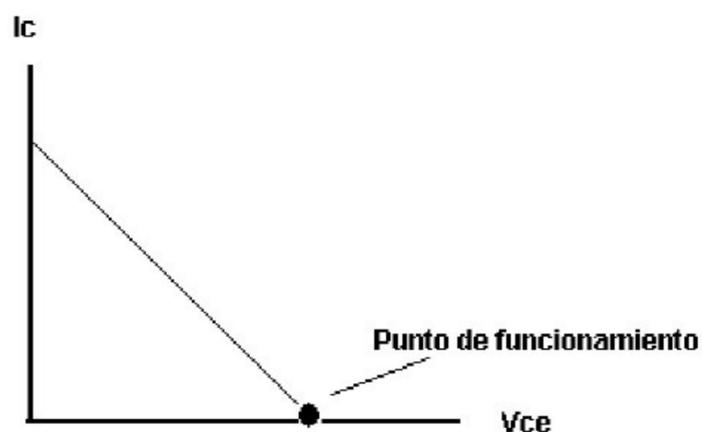


Figura 3. Funcionamiento en clase B

El diseño se realiza partiendo de la potencia deseada. Suponiendo carga resistiva en el altavoz, por ser despreciable el efecto inductivo o por estar compensado por la red de Zobel, se tiene:

$$PL = V \cdot I$$

Siendo V e I la tensión y la corriente eficaz en el altavoz.

Como  $I = V / RL$  haciendo operaciones resulta:

$$PL = \frac{V_{cc}^2}{2 \cdot n^2 \cdot RL}$$

Y despejando Vcc:

$$V_{cc} = \sqrt{2 \cdot PL \cdot n^2 \cdot RL}$$

Siendo Vcc la tensión de la fuente de alimentación. Está en función de la potencia deseada, de la impedancia del altavoz y de la relación de transformación.

La potencia suministrada por la fuente es:

$$P_{cc} = \frac{PL}{0.78}$$

La potencia disipada en cada transistor es:

$$Pt = 0.2 \cdot PL$$

El principal inconveniente de este circuito es la distorsión de cruce. La unión base emisor no está polarizada y es la propia señal la encargada de polarizar dichas uniones. Si los transistores estuvieran ya conduciendo, este problema no se presentaría. Es lo que se consigue en el diseño en clase AB.

## AMPLIFICADORES DE POTENCIA EN CONTRAFASE SIN TRANSFORMADOR DE SALIDA

Utilizando un transistor NPN y otro PNP no hace falta el transformador de salida. Se tienen los siguientes esquemas:

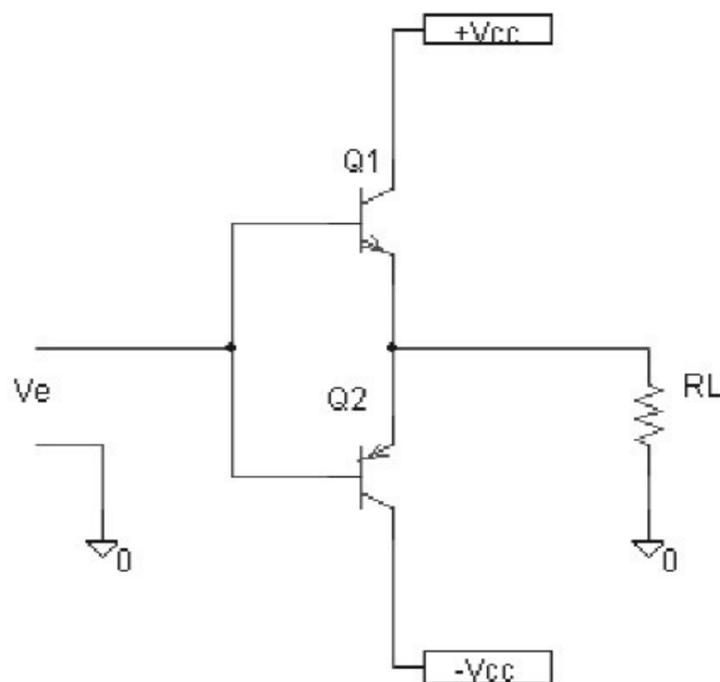


Figura 4. Amplificador de potencia sin transformador con alimentación simétrica

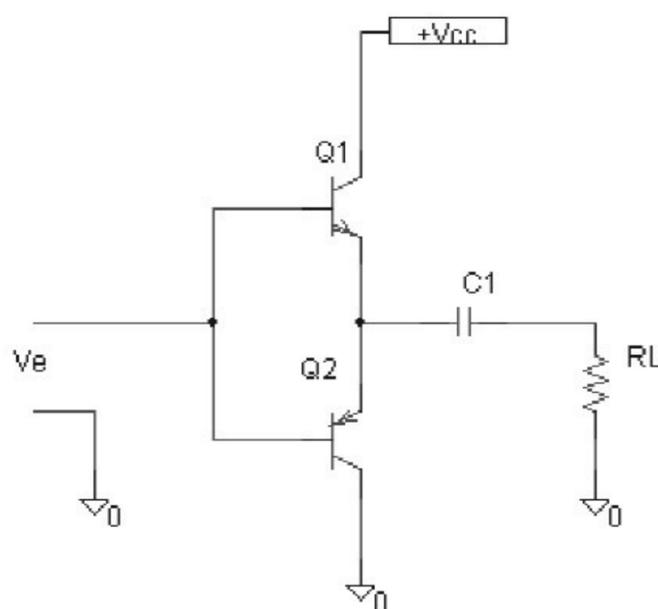
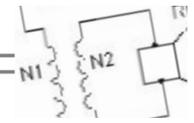


Figura 5. Amplificador de potencia sin transformador con alimentación simple

En el circuito de la figura 5 cada transistor conduce durante un semiciclo. En el de la figura 6 también. Cuando Q1 está en corte, la energía almacenada en el condensador C1 permite la conducción de Q2.



El funcionamiento también es en clase B. Para solucionar el problema de la distorsión de cruce se diseñan en clase AB.

## AMPLIFICADOR EN CLASE AB

Este tipo de amplificadores funcionan básicamente como los amplificadores en clase B, excepto en el que se inyecta una pequeña corriente de polarización para que ya estén conduciendo previamente a la llegada de la señal. No se diseñan en clase A. Se diseñan casi en corte, pero sin llegar a estar en ese estado. De esta forma se consigue eliminar la distorsión de cruce.

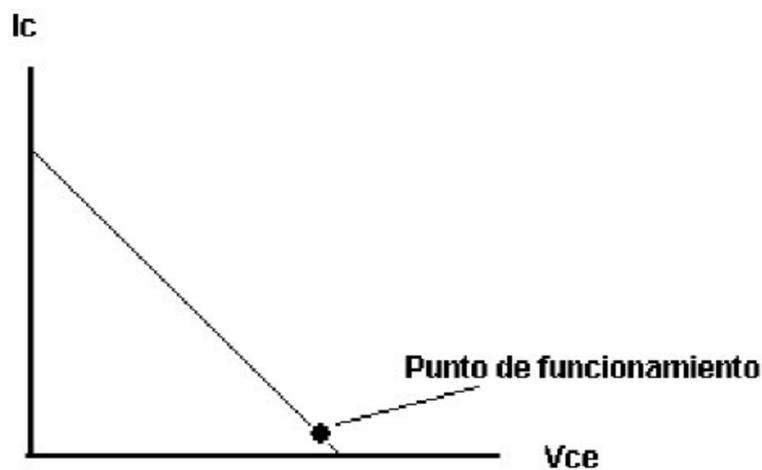


Figura 6. Funcionamiento en clase AB

La principal dificultad es conseguir la estabilidad del punto de funcionamiento. Se debe garantizar que los transistores no entrarán en corte. La mejor solución es recurrir al espejo de corriente.

El espejo de corriente se basa en la conexión en paralelo de dos diodos iguales. Si son iguales y tienen la misma curva característica, por los dos diodos circula la misma corriente puesto que los puntos de funcionamiento son idénticos. Para una misma tensión ánodo-cátodo en los dos diodos se tiene una misma corriente en cada uno de ellos.

Si el diodo y el transistor son de silicio se pueden considerar iguales la tensión en extremos del diodo y la tensión entre base y emisor. En el siguiente esquema, la corriente que circula por el diodo es la misma que circula por la unión base emisor. Es decir:

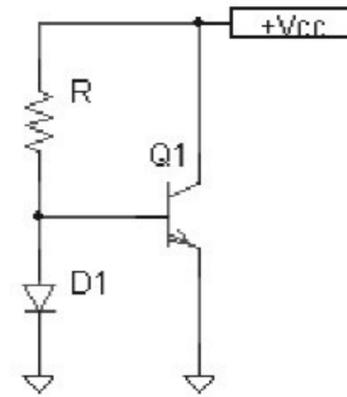


Figura 7. Espejo de corriente

Si la corriente  $I_o$  que circula por la resistencia  $R$  permite despreciar la que se deriva por la base, la corriente que circule por el diodo será prácticamente  $I_o$ . Esto se puede considerar si se cumple:

$$I_o \geq 10 \cdot I_b$$

La corriente de colector es:

$$I_c \approx \frac{V_{cc} - 0.7}{R}$$

Para evitar problemas térmicos se coloca en serie con el emisor una resistencia de potencia de  $0.47 \Omega$

Estos conceptos se emplean en el diseño del siguiente amplificador de potencia en clase AB:

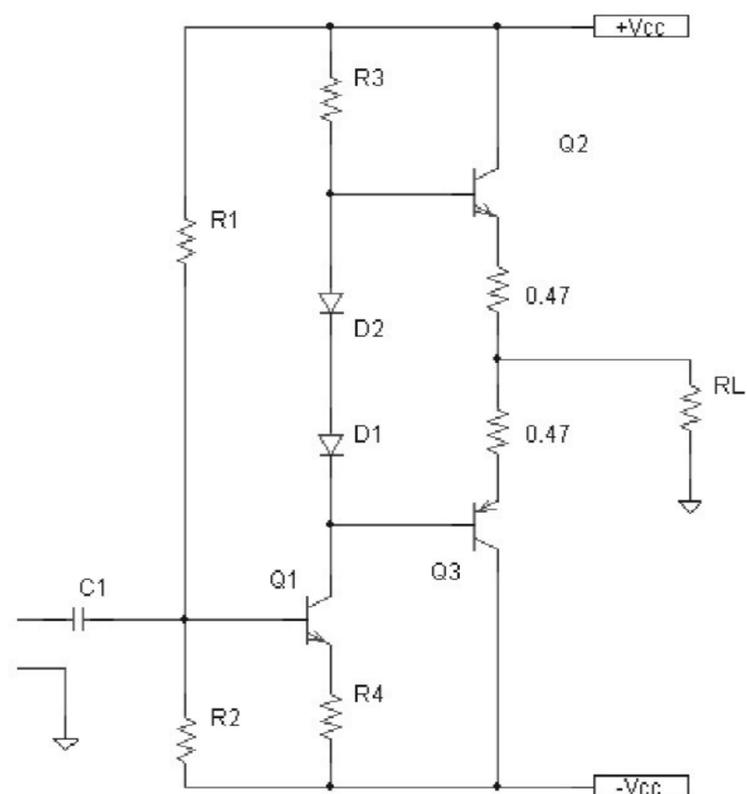


Figura 8. Amplificador de potencia en clase AB por espejo de corriente



El transistor Q1 polarizado por R1 y R2 se comporta como una fuente de corriente:

$$I_e \approx I_c \approx \frac{V_b - 0.7}{R_4}$$

La corriente  $I_c$  en régimen estático es constante. La corriente por los diodos D1 y D2 también lo es. La polarización de los transistores queda garantizada al estar los diodos en paralelo con las uniones base emisor.

Para alterna, los diodos se comportan como una resistencia dinámica por estar polarizados en el primer cuadrante. Las bases para alterna están unidas. Para minimizar las diferencias puede conectarse entre ambas un condensador.

En reposo, la tensión continua en extremos de la carga debe ser 0 voltios. Se ajustará retocando ligeramente la resistencia R4 o la resistencia R3.

Si se introduce una señal variable en la entrada, Q1 la amplifica. A la salida de Q1, Q2 amplifica el semiperiodo positivo y Q3 el negativo. En el altavoz,  $R_L$ , se tiene la señal reconstruida.

Para conseguir que los transistores de potencia puedan ser del mismo tipo, se recurre a la configuración con simetría complementaria y Darlington. En la siguiente figura se puede observar esta configuración.

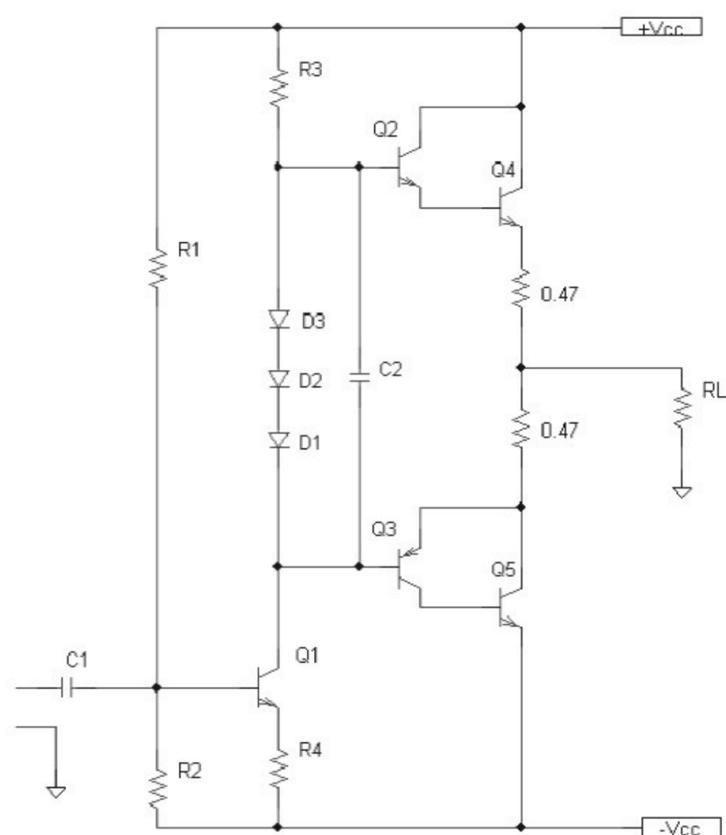


Figura 9. Amplificador de potencia en clase AB por espejo de corriente y simetría complementaria.

Se añade otro diodo, para compensar otra unión base emisor en la configuración del espejo de corriente.

Los transistores finales son de potencia. La  $\beta$  de estos transistores suele ser de 20. La del resto de los transistores suele ser de 100.

## LA RED DE ZOBEL

La red de Zobel es una red compuesta por una resistencia y un condensador en paralelo con el altavoz diseñada para compensar el efecto inductivo de éste. El esquema es:

“ $R_a$ ” representa la resistencia del altavoz. Suele ser 8  $\Omega$ . “ $L_a$ ” representa la inductancia del altavoz.

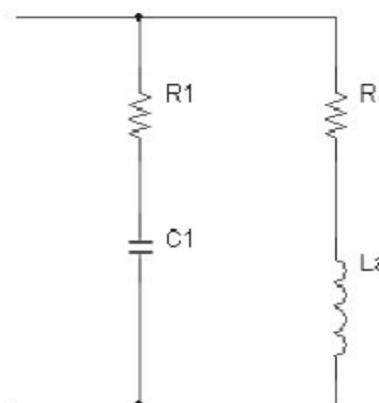


Figura 10. Red de Zobel

Para que todo el conjunto equivalga a una impedancia ohmica de valor igual a  $R_a$  se deben cumplir dos condiciones:

$$R = R_a$$

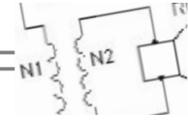
$$C = \frac{L_a}{R_a^2}$$

Se justifica a partir de:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R + \frac{1}{C \cdot P}} + \frac{1}{R_a + L_a \cdot P}$$

$$Z = R_a$$

Haciendo operaciones, se obtienen los valores indicados.



Valores prácticos son:

$$R = 8 \Omega$$

$$C = 42 \text{ nF a } 100 \text{ nF}$$

Con todo lo expuesto, se puede diseñar ya el amplificador didáctico de potencia.

Además,

$$I_L = \frac{V_L}{R_L}$$

resulta:

$$P_L = \frac{V_L^2}{R_L}$$

## AMPLIFICADOR DIDÁCTICO DE POTENCIA

Se va a diseñar un amplificador de potencia para audio, en contrafase y funcionando en clase AB. Se ha elegido una potencia de 30 W y una pequeña etapa amplificadora compuesta por un transistor. La frecuencia inferior de corte se elige de 20 Hz. El esquema que se va a justificar es el indicado en la figura 11:

El diseño parte de la potencia requerida y de la impedancia del altavoz. Se diseña de derecha a izquierda. Suponiendo una potencia de 30 W sobre un altavoz de 8 Ω el primer paso consiste en calcular la tensión de alimentación.

$V_L$  representa el valor eficaz. Al estar alimentado el amplificador con alimentación simétrica, la máxima desviación de la tensión en la carga es  $V_{cc}$ . Resulta:

$$V_L = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{V_{cc}}{\sqrt{2}}$$

Sustituyendo:

$$P_L = \frac{V_L^2}{R_L} = \frac{V_{cc}^2}{2 \cdot R_L} = \frac{V_{cc}^2}{2 \cdot R_L}$$

## Cálculo de la fuente de alimentación

Como  $P = V_L \cdot I_L$  por ser carga resistiva

Despejando  $V_{cc}$ ,

$$V_{cc} = \sqrt{2 \cdot P_L \cdot R_L}$$

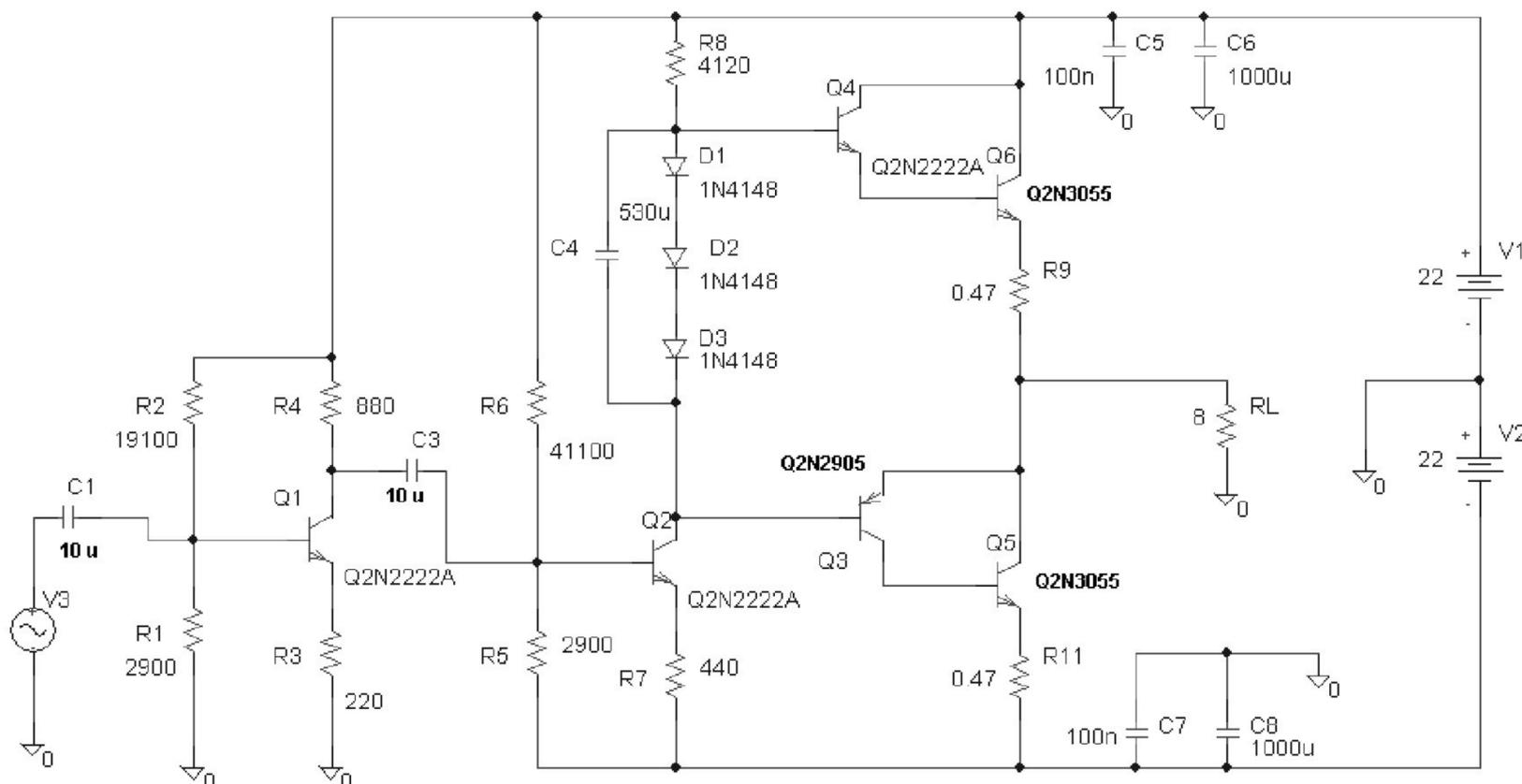


Figura 11. Amplificador didáctico de potencia



Y sustituyendo valores:

$$V_{cc} = \sqrt{2 \cdot 30 \cdot 8} = 21.9 \approx 22V$$

La fuente de alimentación debe suministrar una tensión simétrica de  $\pm 22$  voltios.

La corriente máxima que debe suministrar cada fuente es:

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R_L} = \frac{22}{8} = 2.75A$$

## Características de los transistores

Los transistores Q5 y Q6 tienen las siguientes características:

$$V_{ce} \geq 22V$$

$$I_c \geq 2.75A$$

$$\beta = 20$$

Son transistores de potencia. La  $\beta$  se toma de 20

## Características de las resistencias R9 y R11

Las resistencias R9 y R11 se eligen de  $0.47\Omega$ . Al ser de potencia, es necesario calcular la potencia disipada:

$$P_{R9} = V \cdot I$$

$$P_{R9} = R \cdot I^2$$

$$P_{R9_{max}} = 0.47 \cdot 2.75^2$$

$$P_{R9_{max}} = 3.55W$$

R9 y R11 son resistencias de  $0.47 \Omega$  y con una capacidad de disipación superior a  $3.55 W$ .

## Características de los transistores Q3 y Q4

Q4 es un transistor NPN en configuración darlington junto con Q6. Q3 es un transistor PNP en configuración darlington complementario junto con Q5.

Q4 y Q5 equivalen a un transistor NPN de

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$$

Q3 y Q5 equivalen a un transistor PNP de

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$$

Los transistores de potencia tienen una  $\beta$  aproximada de 20. Por ejemplo se elige el 2N3055.

Para Q4 se elige un transistor de  $\beta$  100. Por ejemplo el 2N2222A. Para Q5, un transistor PNP de  $\beta$  100, por ejemplo el 2N2905.

## Cálculo de R8

Para calcular R8 se necesita saber la corriente y la diferencia de potencial en extremos. En reposo, la tensión en  $R_L$  es  $0V$ . Despreciando la caída de tensión en la resistencia de  $0.47\Omega$ , la tensión en la base de Q4 es  $1.4V$

El valor máximo de la corriente por la base es:

$$I_b = \frac{I_c}{\beta_1 \cdot \beta_2} = \frac{2.75}{20 \cdot 100} = 0.0014A = 1.4mA$$

Se toma para R4 una corriente ligeramente superior para garantizar que los diodos y el transistor Q2 siempre estén conduciendo. Por ejemplo  $5mA$

$$R_8 = \frac{V_{cc} - 2 \cdot V_{be}}{I} = \frac{22 - 1.4}{5mA} = 4120\Omega$$

$$R_8 = 4120 \Omega$$

## Cálculo de C4

C4 garantiza la unión eléctrica de las bases de los transistores para alterna. Se puede realizar un cálculo aproximado para obtener el valor del mismo. No es crítico su elección.

$$C \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ic} \cdot (3 \cdot r_d)} =$$

$$r_d = \frac{25mV}{I} = \frac{25mV}{5mA} = 5\Omega$$

Sustituyendo:

$$C_4 \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot (3 \cdot 5)} = 530\mu F$$

$$C_4 = 530 \mu F$$



## Elección de los diodos D1, D2 y D3

La corriente que circula por los diodos es pequeña, 5mA. Sirve cualquier diodo de señales, como por ejemplo el 1N4148.

## Elección de Q2

Q2 es un transistor que funciona con una corriente y una tensión reducida. Cualquier transistor de señales sirve para esta aplicación. Se elige el transistor NPN 2N2222A de  $\beta = 100$ .

## Cálculo de R7

R7 debe calcularse de forma que permita el correcto funcionamiento del transistor Q2 para cualquier variación de la señal de entrada. Se elige una caída de tensión  $V_{cc}/10$ , es decir 2.2 V.

$$R7 = \frac{V_{cc}}{I_c} = \frac{2.2}{5mA} = 440\Omega$$

$$R7 = 440 \Omega$$

## Cálculo de R5

Se elige una corriente por R5 y R6 superior a la de la base. La corriente por la base de Q2 es:

$$I_{b2} = \frac{I_{c2}}{\beta_2} = \frac{5mA}{100} = 0.05mA$$

Se toma una corriente de 1 mA. De esta forma se puede despreciar la de base.

$$R5 = \frac{2.2 + 0.7}{1mA} = 2900\Omega$$

$$R5 = 2900\Omega$$

## Cálculo de R6

La corriente es de 1 mA. La diferencia de potencial en extremos es:

$$V = 22 - (-19.1) = 41.1V$$

La resistencia,

$$R6 = \frac{41.1}{1mA} = 41100\Omega$$

$$R6 = 41100 \Omega$$

## Elección de Q1

Q1 es un transistor de señal. Se puede elegir perfectamente el 2N2222A

## Cálculo de R3 y R4

Se elige una corriente de colector de 10 mA, un punto de funcionamiento en clase A y una tensión de emisor de 2.2 V. A partir de estos datos se diseñan las resistencias:

$$R3 = \frac{V_e}{I_c} = \frac{2.2}{10mA} = 220\Omega$$

$$R3 = 220 \Omega$$

En el colector de Q1 se tiene la siguiente tensión:

$$V_c = V_e + V_{ce} = V_e + \frac{V_{cc}}{2} = 2.2 + \frac{22}{2} = 13.2V$$

La resistencia R4:

$$R4 = \frac{V_{cc} - V_c}{I_c} = \frac{22 - 13.2}{10mA} = 880\Omega$$

$$R4 = 880 \Omega$$

La ganancia de la etapa es:

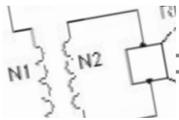
$$A = 20 \cdot \log \left( \frac{R4 // Z_{e2}}{r_{d1} + R3} \right)$$

Suponiendo que se está trabajando a una frecuencia superior a la de corte.

La impedancia de entrada de la siguiente etapa es:

$$Z_{e2} = R5 // R6 // \beta \cdot (r_{d2} + R7) = 2553\Omega$$

$$Z_{e2} = 2553 \Omega$$



pues  $r_{d2} = 25 \text{ mV} / 5 \text{ mA} = 5 \Omega$

$r_{d1}$  se calcula de igual forma:

$$r_{d1} = 25 \text{ mV} / 10 \text{ mA} = 2.5 \Omega$$

Calculando  $R4 // Ze2$  se obtiene:

$$R4 // Ze2 = 654 \Omega$$

La ganancia es:

$$A = 20 \cdot \log\left(\frac{R4 // Ze2}{r_{d1} + R3}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{654}{222.5}\right) = 9 \text{ dB}$$

$$A = 9 \text{ dB}$$

La ganancia  $A_v$  es:

$$A_v = 654 / 222.5 = 2.9$$

Siendo  $A_v = V_2 / V_1$  o función de transferencia.

## Cálculo de C3

$C_3$  se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$C_3 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ic} \cdot (R4 + Ze2)} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot (880 + 2553)} = 2.32 \mu\text{F}$$

Se elige uno superior. Por ejemplo uno de  $10 \mu\text{F}$

$$C_3 = 10 \mu\text{F}$$

## Cálculo de R1 y R2

La corriente por la base de Q1 es  $I_{b1} = I_c / 100 = 0.1 \text{ mA}$

Se toma una corriente por R2 diez veces superior para poder hacer aproximaciones:

$$I_o = 1 \text{ mA}$$

La tensión en la base de Q1 es:

$$V_{b1} = V_{e1} + V_{be1} = 2.2 + 0.7 = 2.9 \text{ V}$$

$$R_1 = 2.9 / 1 \text{ mA} = 2900 \Omega$$

$$R_1 = 2900 \Omega$$

$R_2$  se calcula a partir de:

$$R_2 = \frac{V_{cc} - V_{b1}}{I_o} = \frac{22 - 2.9}{1 \text{ mA}} = 19100 \Omega$$

$$R_2 = 19100 \Omega$$

## Cálculo de la impedancia de entrada

La impedancia de entrada del amplificador se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Z_e = R_1 // R_2 // \beta \cdot (r_{d1} + R_3) = 1092 \Omega$$

$$Z_e = 1092 \Omega$$

## Cálculo de C1

El cálculo de  $C_1$  se realiza a partir de la impedancia de entrada y de la frecuencia inferior de corte:

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ic} \cdot Z_e} = 7.2 \mu\text{F}$$

Se toma uno de  $10 \mu\text{F}$

$$C_1 = 10 \mu\text{F}$$

## SIMULACIÓN DEL AMPLIFICADOR. RESPUESTA TEMPORAL

La simulación se ha realizado con Pspice. Los resultados obtenidos para una señal de entrada de  $500 \text{ mV}$  son:

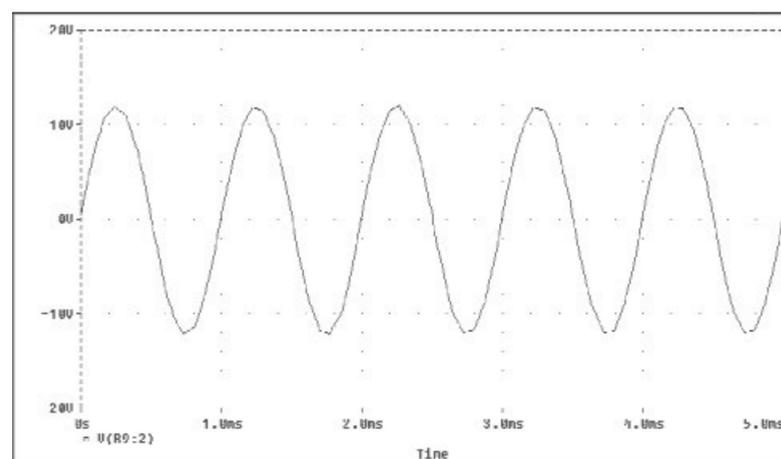
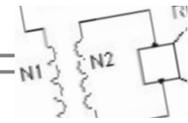


Figura 12. Respuesta temporal

No se puede alcanzar la potencia deseada debido a las limitaciones impuestas por  $R_7$  y  $R_8$  que afectan a funcionamiento de Q2 y debido también a que se han despreciado las pérdidas en las resistencias de  $0.47 \Omega$ . Para solucionarlo, solamente es necesario aumentar la tensión de las fuentes de alimentación y comprobar los resultados mediante simulación. Finalmente se consigue



la potencia deseada alimentando el amplificador con dos fuentes de alimentación de 35 V. Es necesario ajustar la resistencia R7 para conseguir 0 voltios en extremos del altavoz. Se consigue con un valor de 468  $\Omega$ . Esta resistencia es crítica y sería conveniente sustituirla por un potenciómetro multivuelta.

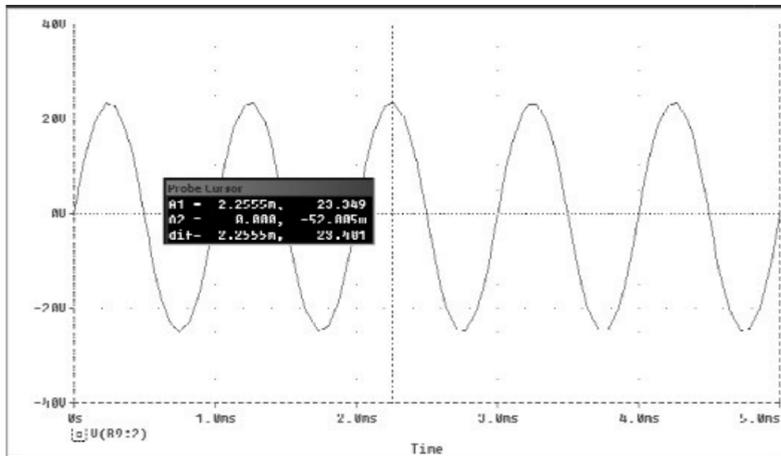


Figura 13. Señal en extremos del altavoz una vez ajustado el amplificador.

Antes de modificar las tensiones de alimentación se simula el circuito. Las tensiones obtenidas son:

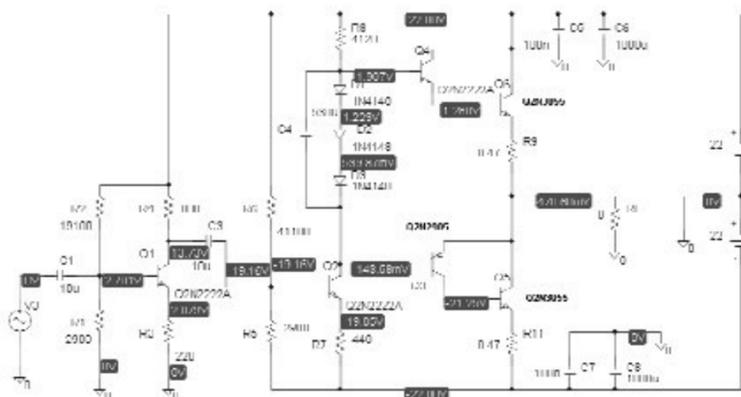


Figura 14. Tensiones continuas en el amplificador alimentado a  $\pm 22V$

Las corrientes continuas en el amplificador son:

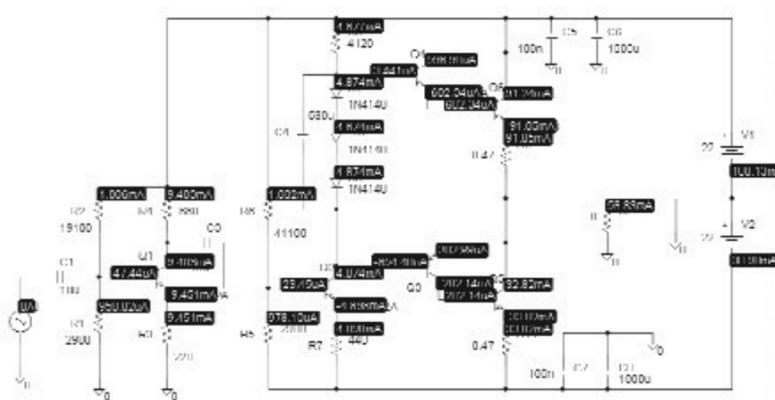


Figura 15. Corrientes continuas en el amplificador alimentado a  $\pm 22V$

Con el ajuste de tensiones de la fuente de alimentación y el ajuste de la resistencia R7 se tienen los siguientes valores de tensiones y corrientes:

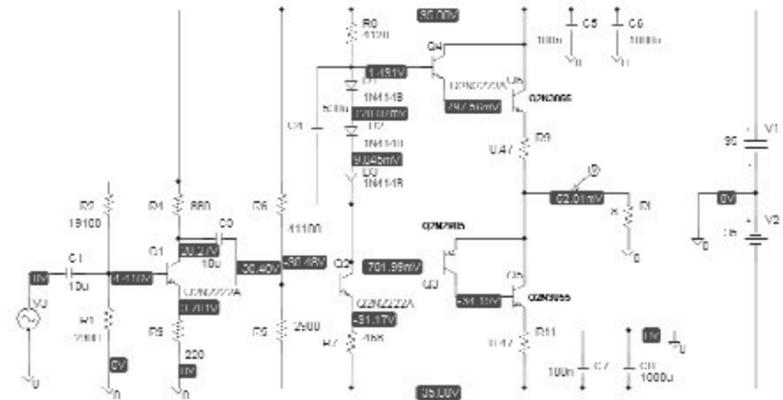


Figura 16. Tensiones continuas en el amplificador alimentado a  $\pm 35V$  y con R7 ajustada a 468  $\Omega$

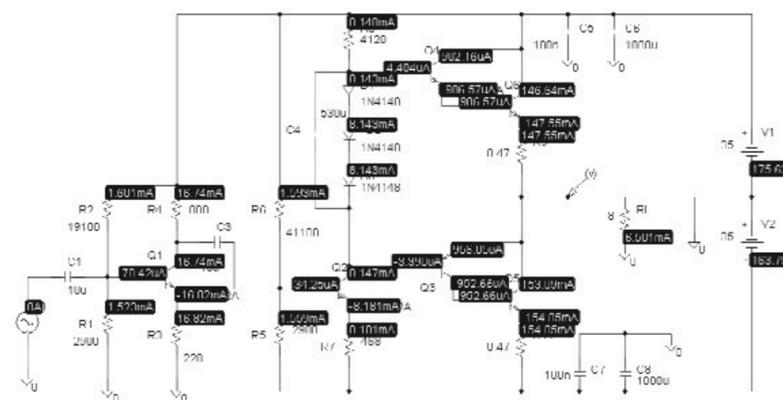


Figura 17. Corrientes continuas en el amplificador alimentado a  $\pm 35V$  y con R7 ajustada a 468  $\Omega$

Las variaciones de las corrientes de polarización no afectan al circuito. Las variaciones de las tensiones de alimentación tampoco. El circuito se ha ajustado al valor de potencia requerido, minimizando las pérdidas generadas en los componentes.

El único cambio a realizar es la fuente de alimentación. Esta debe ser una fuente simétrica de  $\pm 35V$ .

## SIMULADOR DEL AMPLIFICADOR. RESPUESTA FRECUENCIAL

La respuesta frecuencial del amplificador es el diagrama de Bode. La simulación da el siguiente resultado:

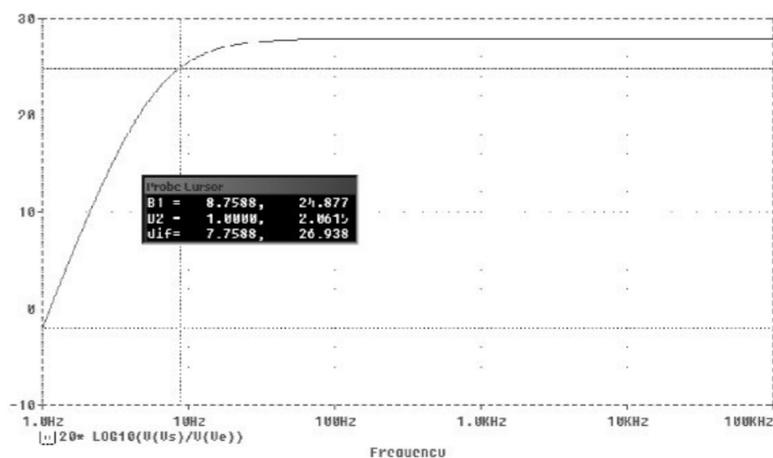
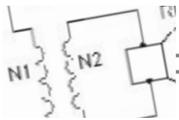


Figura 18. Respuesta frecuencial del amplificador

Se puede observar una respuesta plana a partir de la frecuencia de corte. La frecuencia de corte es de 9 Hz. A mejorado y ha descendido de los 20Hz requeridos al elegir condensadores de una capacidad superior a la calculada.

## SIMULADOR DEL AMPLIFICADOR. ANÁLISIS ESPECTRAL

Se obtiene a partir de la transformada de Fourier. El resultado obtenido se muestra a continuación:

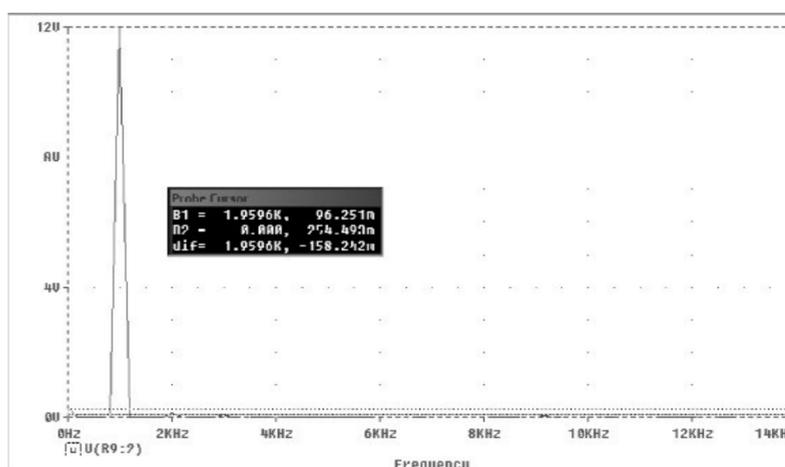


Figura 19. Análisis espectral

Se puede observar como la fundamental tiene una amplitud de 12V y el resto de los armónicos tienen amplitudes inferiores a los 96mV. Presenta una buena definición de la señal de entrada amplificada.

## REALIZACIÓN DE LA PLACA DE CIRCUITO IMPRESO

Para obtener el montaje completo del amplificador hemos utilizado el programa de diseño Orcad en su ver-

sión 9.00. Este programa nos permite la captura de esquemas (Orcad Capture) con el que realizamos el esquema eléctrico del circuito. Para ello se dispone de varios cientos de componentes electrónicos agrupados en distintas librerías de las que podemos hacer uso para colocar en el esquema los componentes necesarios.

El programa permite crear componentes nuevos que no están inicialmente en las librerías suministradas con el. De esta manera si queremos colocar un componente de una forma determinada en el esquema, y éste no lo encontramos en ninguna librería de las que vienen con el programa, resulta sumamente fácil crear uno nuevo con la forma y terminales que se desee. Además, podremos incorporar dicho componente nuevo creado por nosotros en alguna de las librerías ya existentes o, si lo deseamos, podemos crear una nueva librería donde guardarlo.

Una vez realizado el esquema eléctrico del circuito, el programa Orcad permite anotar los componentes, es decir, numerar sus referencias, con objeto de que no existan dos resistencias o transistores numerados de igual forma (debe ser por ejemplo R1, R2, R3, etc.). Esto es importante pues, al realizar la placa de circuito impreso, no debe haber dos componentes con la misma referencia o el programa dará error.

Cuando hayamos realizado el esquema y referenciado correctamente los componentes del mismo deberemos realizar el chequeo eléctrico. La herramienta de chequeo es muy útil y con ella el programa puede detectar errores de conexiones y avisarnos de ello para que sean corregidos si ha lugar a ello.

Finalmente, se ha de indicar para cada componente del esquema cuál es el encapsulado que le corresponde con objeto de saber cuáles son las medidas y las distancias físicas que tiene cada componente en la realidad.

Lo que se consigue al final de todo el proceso anterior es un fichero de lista de conexiones que será utilizado por otro de las utilidades del programa Orcad y que no es otra que la utilidad Orcad Layout.

Orcad Layout se encargará de utilizar el fichero de conexiones creado con Orcad Capture para obtener las pistas del circuito impreso correspondiente.

A continuación se explica como se ha realizado la placa de circuito impreso del amplificador didáctico utilizando las utilidades de Orcad Capture y Orcad Layout mencionadas anteriormente.

Este proceso no pretende ser un curso completo acerca de la utilización del programa sino una explica-



ción algo detallada para que cualquier lector pueda desarrollar alguna placa de circuito impreso por sus propios medios.

## ABRIENDO Y PREPARANDO EL PROGRAMA

Al abrir el programa Orcad Capture nos encontramos con el típico programa windows y sus barras de menús y herramientas correspondientes. Para iniciar la realización del esquema File — New — Project. Se abrirá una ventana y nos pedirá el nombre del proyecto. Indicaremos que deseamos obtener finalmente un circuito impreso (PC Board Wizard). Indicaremos también el nombre de la carpeta donde se guardará el proyecto.

Se nos preguntará si deseamos añadir simulación (para obtener sólo el circuito impreso no es necesario). A continuación se abrirá otra ventana para indicarnos si deseamos añadir alguna librería de las que trae el programa (si lo desea, puede añadir alguna pero no es necesario).

Veremos como aparece la ventana de dibujo de esquemas que nos ofrece el programa para dibujar. A la derecha de la ventana de dibujo está la barra de herramientas de diseño de esquemas en la que aparecen varios botones para colocar componentes, cables, uniones, buses, terminales de alimentación, de masa, así como algunas utilidades para dibujar líneas, rectángulos, círculos o texto.

## COLOCANDO COMPONENTES EN EL ESQUEMA

Para comenzar a dibujar el esquema puede usar el botón de “Place part” que sirve para localizar y colocar componentes en el esquema. Si lo presiona se le abrirá una ventana donde le pedirá el nombre del componente que desea colocar. Si sabe el nombre completo (por ejemplo 1N4148) sólo póngalo en la casilla “Name” y aparecerá debajo. Entonces deberá seleccionarlo y podrá ver su dibujo. Si es el componente que se desea solo acéptelo y aparecerá en el esquema.

A veces no se conoce el nombre completo del componente o sólo se sabe parte de su denominación (por ejemplo, sólo 157 del 74LS157). Si es así, escriba \*157\* en el apartado nombre y después pídale al programa que lo busque con el botón “Part Search”. Si Orcad dis-

pone en alguna de sus librerías de ese componente se lo hará saber y lo podrá visualizar y colocar en el esquema.

De la manera explicada anteriormente puede buscar y colocar todos los componentes que necesite para la realización del esquema.

A veces (bastantes) no existe el componente que se necesita ya sea porque Orcad no lo trae con sus librerías o, sencillamente, porque es moderno y no existía en su momento (o existe y no hay forma de encontrarlo en las librerías). En ese caso, debemos crearlo nosotros lo cual es muy sencillo.

## CREANDO COMPONENTES NUEVOS

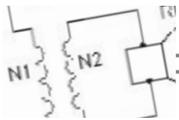
En la realización del esquema del amplificador didáctico se han empleado varios componentes que no figuraban en las librerías de Orcad tales como las resistencias, los condensadores electrolíticos, y los conectores de regleta para circuito impreso. Estos han sido creados por nosotros mismos utilizando la facilidad que nos brinda Orcad para la creación de componentes nuevos.

Si en algún momento del diseño del esquema se desea crear algún componente nuevo sólo tiene que seguir los siguientes pasos:

En el programa verá que hay una pequeña ventana situada a la izquierda de la de dibujo de esquemas. En ella aparecen un árbol de directorios perteneciente al proyecto que se está realizando. Se ve una carpeta llamada “Design Resources”, otra con extensión .dsn (carpeta de diseño). Si abrimos la carpeta con extensión .dsn aparecen otras dos llamadas “Schematic1” y “Design Caché”. La que necesitamos para crear componentes nuevos es la siguiente carpeta que aparece y que lleva por nombre “Library”.

Si pulsamos el signo + de la carpeta library nos aparecen los nombres de las librerías del propio Orcad que están añadidas a esta carpeta. Es muy importante saber que si creamos algún componente nuevo, este debe crearse en alguna carpeta de las que aparezca en esta lista. Si una librería no aparece en la lista podemos añadirla muy fácilmente a ella sin más que pulsar con el botón derecho sobre la carpeta “Library”. Aparecerá que añadamos una librería “Add File”. Debemos saber que las librerías de componentes de Orcad se encuentran en C:\Program Files\Orcad\Capture\Library\

Cuando creamos un componente nuevo podemos guardarlo en cualquiera de las librerías de Orcad así que,



en principio, podemos añadir la librería que queramos de las que figuran. Por ejemplo, si deseamos crear una resistencia rectangular la podemos añadir a la librería Discrete.olb (las librerías de Orcad llevan la extensión .olb). El condensador electrolítico también podríamos guardarlo en esa librería.

Para comenzar por tanto a crear el componente nuevo asegúrese que aparece la librería elegida anteriormente en el directorio Library.

Ahora, sitúe el cursor sobre la librería añadida a la carpeta Library y, con el botón derecho, elegir "New Part". Se abre una ventana nueva de propiedades del componente que vamos a crear.

Póngale un nombre al componente en "Name" y en el apartado Part Reference póngale un prefijo a su componente (por ejemplo R para resistencia ó C para condensador). Deje el resto de apartados como están. Cuando haya hecho lo anterior se le abrirá una ventana nueva donde tendrá que dibujar el componente que desea crear.

En principio aparece una zona de 5x5 espacios cuadrada en la que se puede dibujar. Fíjese como en el título de la ventana aparece el nombre de la librería en la que esta trabajando y el nombre que se le ha dado al componente. A la derecha de la pantalla se ve la barra de herramientas de las que dispone para dibujar el componente. Algunas de ellas son: Place pin, Place line, Place Polyline, Place rectangle, Place ellipse, Place arc y Place text. Con ellas se construirá el nuevo componente.

Primero estire el cuadrado de trabajo con el ratón hasta que sea suficientemente grande (o pequeño) para que contenga al componente.

Tenga en cuenta que un componente debe tener siempre terminales (que son los pines) y cuerpo (forma o dibujo). Además, cada terminal deberá tener un nombre y un número de pin. Lo primero siempre es colocar los terminales o pines. En el caso de la resistencia rectangular que queremos hacer, ésta tendrá dos pines. Para colocar un pin pulsar el botón de la barra de herramientas llamado "place pin". Se abrirá entonces una ventana de edición para indicar las características de ese pin.

Indicar el nombre que tendrá ese pin (no omitirlo o el componente no será valido) en Name y el número del pin. En el caso de que se esté editando un circuito integrado cada pin que coloquemos en el componente deberá coincidir con el número que le corresponda en el circuito integrado correspondiente. Si, por el contra-

rio, estamos creando una resistencia o un condensador o cualquier otro componente podemos poner en Number el que deseemos (sin repetirse por supuesto).

El apartado Shape se refiere a la forma de ese terminal o sea, dot, clock (activo con flanco de subida de reloj), dot clock (activo con flanco de bajada de reloj), short (corto), line (normal), o longitud cero (zero length).

El apartado type del pin se refiere a si éste es de entrada, salida, bidireccional o triestado. Hay que elegir el que corresponda (si no se conoce el tipo de terminal conviene ponerle passive). Una vez terminado de editar el pin aceptar y colocarlo en su lugar. Y así una y otra vez hasta que todos los terminales estén colocados.

Cuando los terminales están editados sólo falta dibujar la forma externa del componente (el triángulo de un diodo, el emisor de un transistor, etc). Para ello, utilizaremos los botones de la barra de herramientas de la derecha como line, polyline, ellipse (para círculos y elipses) y el resto. Para finalizar la edición del componente se cierra la ventana y responder que sí a la pregunta de salvar cambios.

Con ello habremos creado nuestro componente que estará listo para ser usado en el esquema.

## REALIZACIÓN DEL ESQUEMA COMPLETO

Con los componentes que vienen diseñados con el programa y con los creados por el usuario podremos ya dibujar el esquema completo de nuestro amplificador.

Para conectar los terminales de los distintos componentes del esquema usaremos el botón de Place wire (colocar cable) de la barra de herramientas de la derecha.

Hay que fijarse bien cuando esté terminado el esquema y veremos que cada componente posee una referencia (por ejemplo R1 o C7 o U5) y, además veremos que posee también un "value" (valor). La referencia puede aparecer numerada (por ejemplo R3) o con un interrogante (R?). Si aparece con el interrogante deberemos proceder a su numeración (manual con doble clic sobre el componente. Aparecerá la ventana "Property Editor" y en la casilla "Reference" podemos asignarle el número de orden que deseemos).



## ANOTACIÓN AUTOMÁTICA

Para evitar la repetición de dos referencias (por ejemplo R5 y R5) es preferible utilizar la anotación automática que posee el programa. Con ello será imposible que dos componentes tengan la misma referencia. Para usar dicha anotación sólo hay que resaltar en la ventana de directorios la carpeta con extensión .dsn. Veremos entonces habilitados en la barra de herramientas superior varios botones, entre ellos el de anotación (botón U?). Si lo pulsamos se abre una ventana de anotación en la que podemos resetear todas las referencias (ponerlas todas en ?), o indicarle que las numere incondicionalmente (las numerará automáticamente). Si se hace así, todas las referencias del esquema quedarán anotadas y no habrá ninguna repetición.

## CHEQUEO ELECTRICO DEL ESQUEMA

Una vez realizada la anotación de referencias con éxito es recomendable proceder a un chequeo de las reglas eléctricas de dibujo. Orcad tiene sus propias reglas de diseño de esquemas, y si no se cumple alguna de ellas, no podrá realizar la placa de circuito impreso deseada.

Para realizar el chequeo eléctrico sólo hay que resaltar otra vez la carpeta con extensión .dsn y en la barra de botones superior pulsar la tecla que aparece como DRC (marcado). Conviene activar todas las opciones del apartado "Report". Después aceptar y se procederá a comprobar si el esquema realizado cumple las normas que Orcad impone para continuar. Si apareciese algún error se nos informará de cuál es y deberemos proceder a su corrección.

Los errores que normalmente aparecen son del tipo de pines incorrectos o conexiones fuera de sitio pero normalmente son fácilmente subsanables.

## COLOCACIÓN DE ENCAPSULADOS O "FOOTPRINTS" DE CADA COMPONENTE

Sólo nos falta ahora indicarle al programa el nombre del encapsulado que utilizará cada componente (no es igual de grande una resistencia de  $\frac{1}{4}$  de watio que una de 1 watio).

Para ver los nombres de los encapsulados de que dispone Orcad debemos cambiar ahora de Orcad y pasar del Orcad Capture de esquemas al Orcad Layout de diseño de circuitos impresos. Para ello, de la misma forma que se entró al programa Orcad Capture debemos entrar ahora al Orcad Layout Plus.

Al abrirlo veremos en la barra de título que estamos ahora en Layout Plus. (recuerde que no puede realizar aún la placa de circuito impreso porque no se han colocado en Orcad Capture los encapsulados).

Para ver los encapsulados de los que dispone Orcad elegir Tools — Library Manager . Se abrirá el gestor de librerías donde se ven algunas librerías de encapsulados (tienen extensión .lib). Si seleccionamos alguna librería (por ejemplo la DIP100T) aparecerán debajo los encapsulados (footprints) que contiene la misma. Si seleccionamos ahora algún footprint éste aparecerá en la ventana de edición de footprints. Si alguno de los encapsulados que aparecen en estas listas de footprints es válido para alguno de los componentes de nuestro esquema sólo debemos copiar su nombre (exacto) para luego volver al Orcad Capture y ponerlo en el lugar correspondiente.

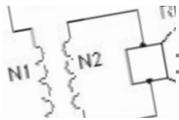
El lugar en el que se coloca el nombre del footprint correspondiente a cada componente del esquema de conexiones realizado con Orcad Capture lo indicaremos al acabar este apartado.

## CREACIÓN DE UN NUEVO ENCAPSULADO

Si tiene todos los encapsulados que se necesitan para asignarlos a los componentes del esquema realizado con Orcad Capture, y éstos se encuentran en las librerías de Orcad Layout, se puede pasar directamente a su asignación en el esquema eléctrico. Pero si no es así, y necesita crear uno nuevo se puede hacer muy fácilmente.

Normalmente todos o casi todos los encapsulados de los componentes electrónicos fabricados hoy en día tienen sus terminales físicos separados en distancias que son un múltiplo de la décima de pulgada.

Así por ejemplo, los pines de un circuito integrado del tipo dual in line están separados entre sí una décima de pulgada. Incluso, terminales de condensadores radiales o relés también separan sus pines en múltiplos de décima de pulgada.



Para crear un nuevo encapsulado es imprescindible conocer como es éste físicamente y conocer su anchura, longitud, distancia entre pines, etc. Una vez conocidos todos esas medidas Orcad Layout nos permite realizar el encapsulado correspondiente y utilizarlo para nuestras placas de circuito impreso.

Si se abre el gestor de librerías de Orcad Layout como se indicó anteriormente y, por ejemplo, seleccionamos la librería DIP100T (que corresponde a footprints de circuitos integrados) podemos seleccionar por ejemplo el encapsulado de nombre DIP.100/14/W.300/L.700 que se trata de un footprint para un c.i. de 14 pines.

Al observar atentamente el footprint vemos los pines del integrado redondos de color azul y numerados. Todos los pines de un footprint deben ir numerados. Además la numeración de estos pines debe corresponderse con la situación real de los terminales en el componente físico. Así por ejemplo, consideremos un transistor cuyos terminales fuesen colector, base y emisor.

Cuando hemos seleccionado el componente transistor del esquema hemos visto que sus terminales están numerados también y al colector le corresponde un número, a la base otro y al emisor otro distinto. Pues bien, cuando realizamos un footprint o encapsulado nuevo, debemos colocar los terminales o pines en el lugar y a la distancia que realmente tienen físicamente.

Si se pretende por tanto crear un footprint (encapsulado) nuevo se deberán seguir los siguientes pasos:

Con el gestor de librerías (Library Manager) abierto en pantalla pulsar el botón "Create New Footprint"

Se nos pide el nombre que queremos darle y las unidades de creación. Ponemos nombre y en unidades dejamos las "English" ya que Orcad trabaja mejor con unidades anglosajonas (pulgadas).

Entonces aparecera el nuevo componente pero sólo con un terminal (el número 1) y con unos nombres por defecto en pantalla. Ahora debemos añadirle los terminales que le faltan al componente. Asumiendo que conocemos las medidas y distancias del mismo sólo añadiremos los siguientes pines.

Antes de ello vamos a la barra de menús y elegimos Options — System Settings para fijar las unidades de trabajo. Elegir unidades en "mils" (100 mils es igual a una décima de pulgada que es la distancia entre dos pines de un c.i. dual in line). Elegir también en "Visible grid" en 50 y en "Place grid" en 50.

Para colocar el pin 2 (el 1 ya viene de principio) pulsar el botón derecho y elegir New. En ese momento aparecerá el pin 2. Según las distancias colocarlo en el lugar adecuado y a la distancia correcta.

## CARACTERÍSTICAS DE UN PIN

En principio, cuando colocamos un terminal o pin en un footprint este sale con medidas predeterminadas que pueden no ser las correctas. No es lo mismo un pequeño pin para la patilla de un transistor que otro para, por ejemplo, el terminal de un relé. Así pues, debemos elegir un tamaño adecuado para esos pines que estamos colocando a nuestro encapsulado.

Para cambiar el pin predeterminado que pone el programa por otro, podemos hacer doble clic sobre el pin y veremos como se abre una ventana de edición de pad (pad es el terminal físico). Si desplegamos con la flecha en el apartado Padstack Name apareceran multitud de pines diferentes y con distintas medidas. Así por ejemplo, si elegimos el pad 70R50 estamos ante un pin redondo (R) cuyo diámetro total es de 70 mils (recuerde que 100 mils son unos 2,54 mm) y cuyo diámetro de taladrado será de 50 mils.

Repitiendo el proceso puede asignar los terminales del footprint hasta conseguir los deseados.

## REALIZACIÓN DEL CUERPO DE DIBUJO DEL FOOTPRINT

Una vez colocados los pines del encapsulado se debe dibujar el contorno del footprint y, de esa manera, podremos obtener más tarde la serigrafía de los componentes sobre la placa. Para dibujar el dibujo del componente pulsaremos el botón Obstacle tool que aparece en la barra de herramientas superior. Al hacerlo y colocar luego el cursor sobre la ventana de edición del footprint veremos que éste cambia de forma a una + grande. Entonces con el botón derecho elegir New. El cursor cambia de nuevo a signo + pequeño. Nuevamente botón derecho y elegir Properties para elegir las propiedades del obstáculo que vamos a dibujar (el dibujo del componente se considera un obstáculo en Orcad).

En Obstacle type elegir Detail y en Obstacle layer elegir la cara SSTOP . Dibujar así el contorno y detalles



del componente. Si se desea dibujar algún círculo o arco elegir arc después de las propiedades.

Existe también la posibilidad de dibujar un obstáculo de tipo Place Outline y que corresponde con la línea verde que engloba a todo el componente y que se puede ver en los footprints que vienen con Orcad. Se realizan igual que el de tipo Detail sólo que éste es de tipo Place Outline y se hace en la cara (Obstacle Layer) Global Layer.

Una vez terminado el nuevo footprint podemos guardarlo en la librería actual (Save) o en otra distinta (Save as) o incluso una creada por nosotros con los procedimientos habituales de windows.

## COLOCAR LOS NOMBRES DE FOOTPRINTS EN EL ESQUEMA

Una vez obtenidos todos los footprints necesarios para realizar la placa hay que volver al programa Orcad Capture y visualizar el esquema que ya teníamos terminado y al que sólo le faltaba incluir los nombres de los encapsulados correspondientes.

Una vez lo tenga visualizado en pantalla ir al menú Edit — Select All . Eso seleccionará todos los componentes del esquema que cambiarán su color a rosa. Ahora con el botón derecho elegir Edit Properties y aparecerá la ventana del editor de propiedades de los componentes. Elegir entonces la pestaña de la parte inferior llamada Parts y verá aparecer una columna llamada PCB Footprint. Es en esa columna donde se deberá escribir el nombre exacto del encapsulado o footprint de cada componente del esquema. En esa misma ventana se ven los nombres y referencias que posee cada componente del esquema lo que ayudará a su localización. Al terminar el proceso cierre la ventana.

## OBTENCIÓN DEL FICHERO DE CONEXIONES (NETLIST)

El fichero de conexiones, comúnmente llamado “netlist”, es el fichero que necesitará el programa Orcad Layout para obtener la placa de circuito impreso. Para obtener este fichero sólo hay que resaltar en la ventana de directorios la carpeta con extensión .dsn (como se

hizo para la anotación y el chequeo eléctrico). Entonces pulsar el botón de la barra de herramientas llamado Create Netlist. Se abrirá la ventana Create Netlist y en la parte superior elegir la pestaña Layout.

Seleccionar Run ECO to Layout y también User properties in inches. Entonces se creará un fichero con extensión .MNL que será el que se utilice para crear la placa de c.i.

## CREACIÓN DE LA PLACA DE CIRCUITO IMPRESO

Con el fichero de conexiones vamos ahora al programa Orcad Layout de nuevo. Desde la pantalla de dibujo vacía ir al menú File — New. Se abrirá la ventana Load Template File. Ahí elegir el fichero por defecto que nos dice el programa. Entonces se abrirá otra ventana que nos pide el fichero de lista de conexiones (con extensión .mnl). Escribiremos el nombre que le dimos a nuestro fichero de conexiones.

A continuación nos pide el nombre con el que queremos salvar la placa de circuito impreso que vamos a realizar. La placa tendrá por extensión .max.

Después el programa se pondrá a buscar todos los footprints correspondientes a nuestra placa y aparecerán, aunque descolocados, en pantalla. Si Orcad encuentra algún error al intentar poner los footprints en pantalla lo advertirá y deberemos solucionarlo con las herramientas adecuadas. Normalmente los errores más comunes consisten en que un footprint tiene más o menos terminales que el símbolo eléctrico del esquema o de tipo parecido.

Si todo ha ido bien veremos como Orcad ha colocado todos los footprints en la placa aunque estarán descolocados como se podrá apreciar. Para colocar los componentes en el lugar que queramos sólo tenemos que pulsar en la barra de herramientas la tecla Component (con dibujo de circuito integrado). Si selecciona ahora algún componente se podrá mover por la pantalla y colocarlo en el sitio elegido. Puede que al intentar colocar el componente en la placa aparezca el mensaje “Unable to verify...”. Para evitar que se produzca este error sólo desactive el botón de la barra de herramientas Online DRC.

Si se desea hacer un zoom fácilmente se puede pulsar la tecla I mayúscula (para aumentar) o la O (para disminuir).



Una vez colocados los componentes en su lugar dibujaremos la línea de borde de placa que no es otra cosa que una línea de tipo obstáculo. Para ello seleccionar otra vez de la barra de herramientas el botón *Obstacle Tool*, después con el botón derecho *New* y finalmente *Properties*. Se abrirá la ventana de edición de obstáculo. Escriba en *Obstacle Type* el tipo *Board Outline* (línea de borde de placa) y en el apartado *Obstacle Layer* poner *Global Layer*. Aceptar y después hacer clic en el lugar dónde se desee comenzar la línea. Haciendo sucesivamente clic en cada esquina de la placa tal y como deseemos terminaremos de realizar la línea de borde de placa.

Antes de realizar las pistas tenemos que indicarle al programa que realice solamente pistas por la cara de pistas pues Orcad es capaz de hacer circuitos impresos de simple y doble cara (y más caras). Además le indicaremos cual debe ser la anchura de las pistas porque la anchura predeterminada que inicialmente utiliza el programa puede resultar demasiado fina.

Para indicarle al programa que utilice sólo la cara de pistas seleccionamos el botón de la barra de herramientas llamado *View Spreadsheet* y después *Layers*. Con ello se abrirá la ventana de edición de caras de trabajo donde veremos las caras *Top* (componentes) *Bottom* (pistas) y otras más. En este caso nos interesa sólo realizar pistas por la cara de soldadura y a una sola cara. Debemos entonces deshabilitar las caras por las que no nos interesa realizar pistas. Para ello (para deshabilitar) hacer doble clic en la casilla correspondiente de la columna *Layer Type*. Por ejemplo, para deshabilitar el ruteado por la cara *Top* (componentes) hacemos doble clic en la casilla correspondiente y veremos como se abre la ventana *Edit Layer*. Seleccionar el radio botón *Unused Routing* y esa cara quedará deshabilitada.

Por último, nos queda indicarle al programa la anchura de las pistas y esto lo hacemos eligiendo nuevamente el botón de la barra de herramientas *View Spreadsheet* pero ahora, en vez de *Layers*, elegiremos *Nets* (conexiones). Se abrirá la ventana de título *Nets* donde vemos la columna *Width, min, con y max*. Hacemos doble clic en el título de esa columna editamos en los tres apartados *Min Width*, *Conn Width* y *Max Width* la anchura en mils que deseemos (recuerde que 100 mils son 2,54mm). Por ejemplo, si queremos una anchura de 1mm de pista serán aproximadamente 40 mils.

Antes de proceder al ruteado final del circuito hay una última operación que deberíamos hacer. Iremos al menú *Options* — *Global Spacing* y veremos una ven-

tana de edición de espaciado en el que se puede indicar al programa las distancias mínimas entre pistas (*Track to Track*), entre pista y terminal (*Track to Pad*), entre pista y *Via*, etc.

Por fin, podemos realizar las pistas del circuito impreso de forma automáticamente. Para ello ir a la barra de menús y elegir *Auto* — *Autoroute* — *Board*. Las pistas comenzaran a trazarse automáticamente. Como se ha elegido solamente la cara de soldadura (llamada *Bottom*) veremos que las pistas se realizan de color rojo. Si alguna pista de las trazadas es de otro color es que no hemos deshabilitado alguna de las demás caras. Parar entonces el proceso con la tecla *escape* y volver al botón *View Spreadsheet* — *Layers* para deshabilitar la necesaria.

Si el programa no es capaz de realizar todas las pistas del circuito y se deja alguna por ejecutar podemos borrarlas todas desde el menú *Auto* — *Unroute* — *Board*. Entonces se procederá a cambiar de sitio alguno de los componentes del circuito impreso para que no obstaculice el trazado de alguna pista y volveremos a trazar de nuevo.

## MODIFICAR PISTAS TRAZADAS

Si han sido trazadas todas las pistas todavía podemos manipular manualmente dicho trazado para que quede más estético o más a nuestro gusto. Para ello hacemos clic en el botón de la barra de herramientas llamado *Edit Segment Mode* y veremos como se puede modificar cada pista haciendo clic sobre ella.

## EL AMPLIFICADOR DIDÁCTICO DE 30W

Con todas las operaciones detalladas anteriormente hemos conseguido los siguientes resultados. El circuito impreso finalizado con el Programa Orcad nos ha quedado como se muestra en la figura 20.

Las pistas del circuito impreso completo se pueden ver e imprimir desde el menú con *Options* — *Post Process Settings* y botón derecho en la casilla *Bot* de la columna *Plot Output File Name* y después *Preview*. Desde ahí se puede imprimir en una impresora para realizarlo físicamente con el procedimiento que se desee. En nuestro amplificador las pistas quedaron como se observa en la figura 21.

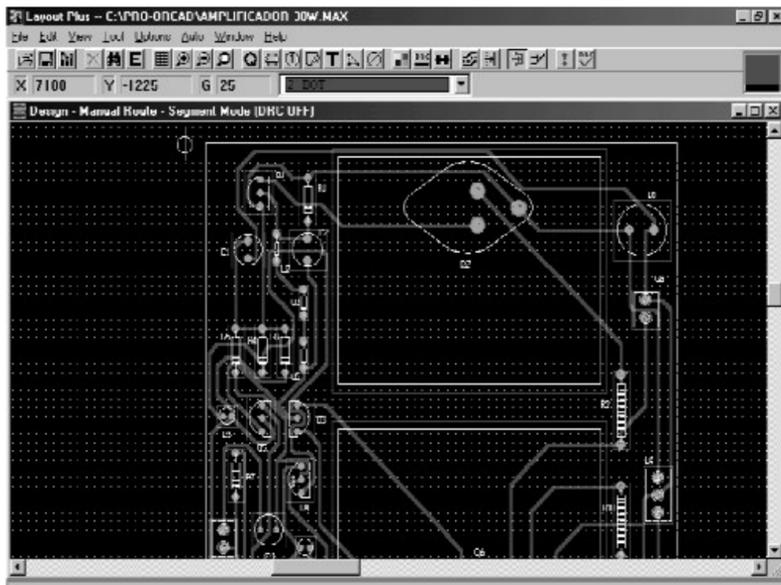
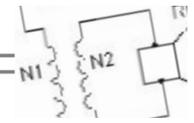


Figura 20. Presentación de orcad de las pistas del circuito impreso

La cara que aparece arriba está espejeada. Esto quiere decir que lo que se ve es la cara de pistas pero vista como si la cara de componentes fuese transparente. Para obtener las pistas tal y como se ven en realidad (sin espejear) sólo elegir en el menú Options — Post process Settings. Después hacer doble clic en la casilla BOT de la columna Plot Output File Name y se abrirá la ventana de Post Process Settings. Activar la casilla Mirror y, en el apartado Output Format activar la casilla Print Manager — Force Black & White y Print / Plot To File; con esto hemos preparado el fichero de impresión. Pulsar OK para volver a la ventana “Post Process”.

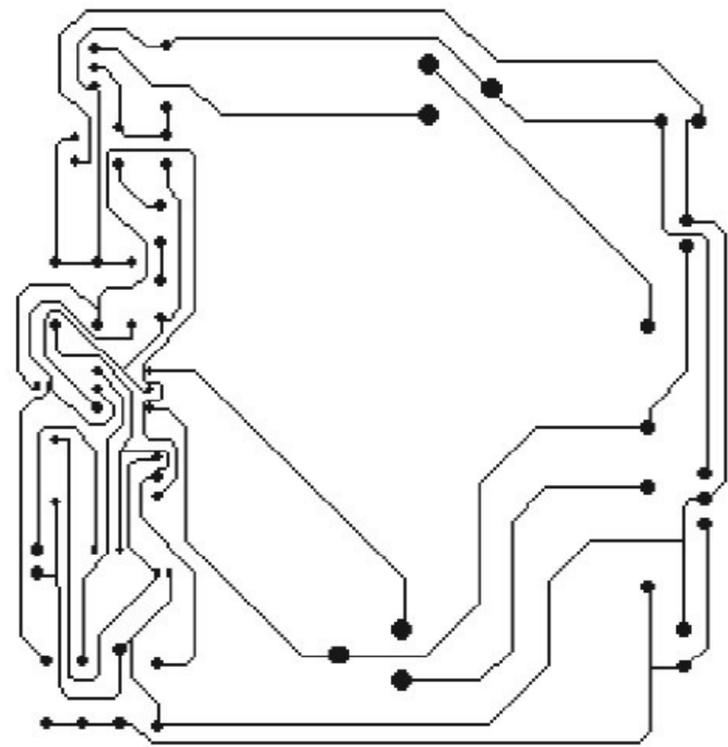


Figura 21. Circuito impreso

Finalmente y con el botón derecho sobre la casilla BOT elegir Plot to Print Manager y Aceptar. Obtendremos la cara de pistas real (sin espejear).

El esquema realizado con Orcad según todos los puntos explicados quedó como se ve a continuación:

### ESQUEMA ELÉCTRICO COMPLETO

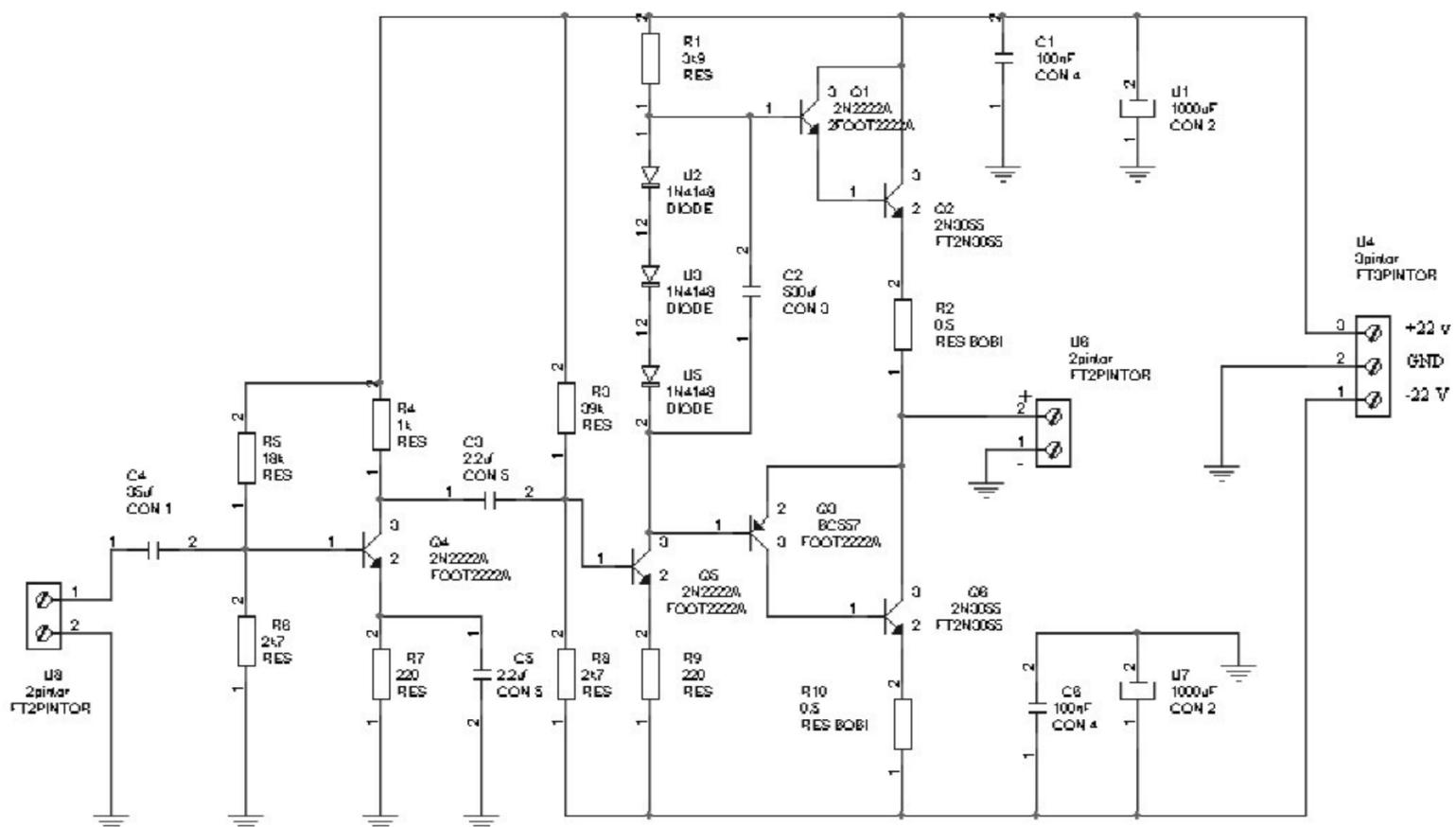


Figura 22. Esquema utilizado por Orcad para confeccionar el circuito impreso



**LISTA DE COMPONENTES**

R1.....	3K9 ½ W
R2.....	0,5 ohms. Bobinada 5W
R3.....	39 K ½ W
R4.....	1 K ½ W
R5.....	18 K ½ W
R6.....	2K7 ½ W
R7.....	220 ohms ½ W
R8.....	2K7 ½ W
R9.....	220 ohms ½ W
R10.....	0,5 ohms. Bobinada 5W
C1.....	100 nF
C2.....	470 uF 50 V.
C3.....	2,2 uF 50 V.
C4.....	35 uF 50 V.
C6.....	100 nF
U1.....	1000 uF 50 V.
U2.....	Diodo 1N4148
U3.....	Diodo 1N4148
U4.....	Regleta de c.i. 3 pin.
U5.....	Diodo 1N4148
U6.....	Regleta de c.i. 2 pin.
U7.....	1000 uF 50 V.
U8.....	Regleta de c.i. 2 pin.
Q1.....	Transistor NPN 2N 2222A.
Q2.....	Transistor NPN 2N 3055
Q3.....	Transistor PNP BC557
Q4.....	Transistor NPN 2N 2222A
Q5.....	Transistor NPN 2N 2222A
Q6.....	Transistor NPN 2N 3055

El prototipo del amplificador con los radiadores para los transistores de potencia 2N 3055 puede verse en la figura 23:

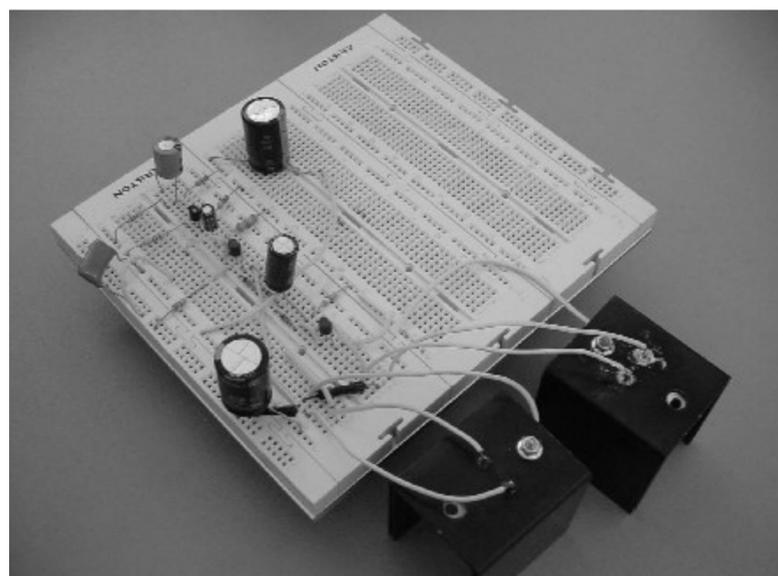


Figura 23. Prototipo del amplificador

El amplificador con los radiadores para los transistores de potencia 2N 3055 puede verse en la figura siguiente:

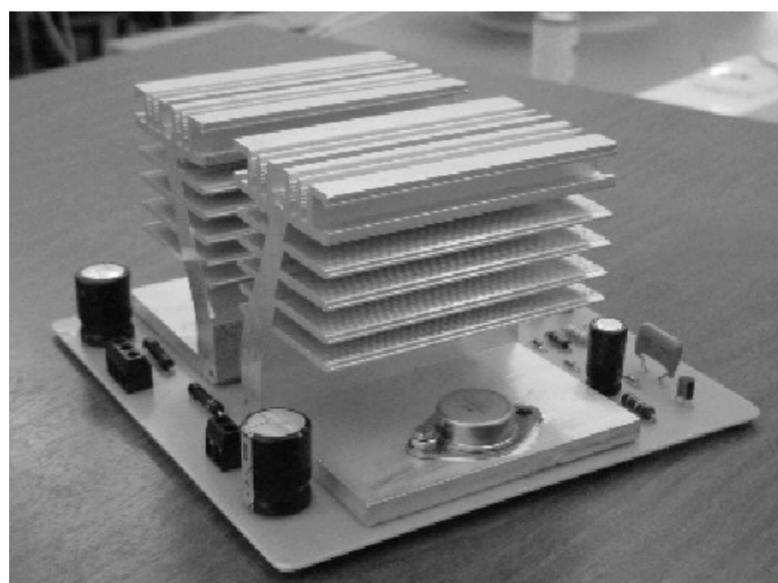


Figura 24. Amplificador didáctico de 30 W

Las conexiones y verificaciones:



Figura 25. Conexiones y comprobaciones