

# Super amplificador lineal para 144 MHz con 4CX1500B

*Premio CQ 2000*

*Los amplificadores son casi los únicos accesorios de cierta importancia que todavía están al alcance del radioaficionado entusiasta de los montajes.*

*La detallada descripción de esta realización ha de facilitar las cosas a quienes estén interesados en el DX en VHF.*

*Josep M<sup>a</sup> Prat, EA3DXU*

Todos quienes estamos activos en la banda de 144 MHz hemos considerado alguna vez la utilización de un amplificador lineal de potencia. Resulta evidente que si la potencia necesaria es del orden de 100 o 150 W, la solución está en un amplificador a transistores de los que abundan en el mercado, si las necesidades de potencia se sitúan entorno a 250 o 300 W, la solución ya pasa por un amplificador a válvula con una 4CX250 de los diferentes modelos existentes.

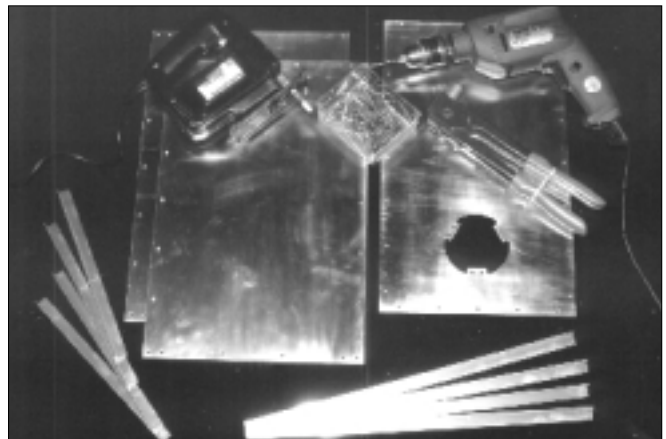
Si se necesita mayor potencia (600 W PEP autorizados en España o potencias superiores –hasta 1.500 W– legales en otros países), hay que recurrir a válvulas mayores o a amplificadores con varias válvulas en paralelo. Existen múltiples soluciones, desde amplificadores comerciales a amplificadores de construcción doméstica, cada uno con sus ventajas e inconvenientes; aquí analizaremos un poco las distintas soluciones y el por qué de la solución con un tetrodo 4CX1000A/4CX1500B (ambos son intercambiables en este diseño). Básicamente las soluciones pasan por dos tipos de válvulas: *triodos o tetrodos*.

**Triodos.** Entre las válvulas triodos son muy habituales la 3CX800A7, la 3CX1500A7 (8877) y la GS35B. Con una 3CX1500A7 pueden obtenerse fácilmente potencias de 1.500 W y con una 3CX800A7 potencias de hasta 800 W; una solución bastante corriente es la utilización de dos válvulas 3CX800A7 en paralelo para alcanzar los 1.500 W. Existen varias firmas comerciales que venden equipos con estas válvulas, fiables y a punto de marcha, por lo que la primera solución pasa por comprar uno y problema resuelto.

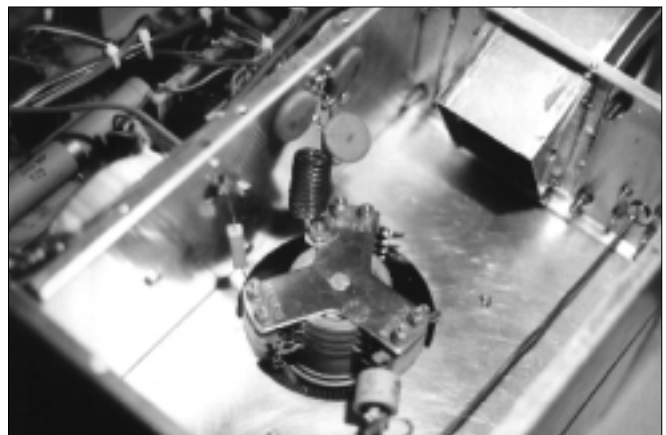
Si esta solución resulta demasiado cara o va en contra de nuestros principios, que nos inclinan a fabricarnos nuestro propio amplificador (uno de los pocos equipos que aún podemos construirnos los radioaficionados), habrá que buscar dónde conseguir alguna de estas válvulas. Esto no es fácil porque en el mercado de segunda mano las válvulas 3CX800A7 y 3CX1500A7 casi no se encuentran y si hay que comprarlas nuevas cuestan mucho dinero. Por otra parte, estos triodos son bastante sensibles a la corriente de rejilla y es fácil destruirlos por un descuido o por un mal ajuste del amplificador, por lo que se aconseja tomar todo tipo de precauciones en el circuito y manejo para evitar este punto débil.

Actualmente abundan en el mercado válvulas rusas

GS35B que son muy baratas (se encuentran nuevas por 10.000 ptas.) y son muy robustas; con estos triodos es fácil conseguir grandes potencias. Existen varios diseños con ellas, por lo que actualmente es también una buena solución para construirse un amplificador lineal.



*Vista de algunas de las chapas y angulares de aluminio para la caja de la unidad de RF.*



*Cavidad de cátodo.*

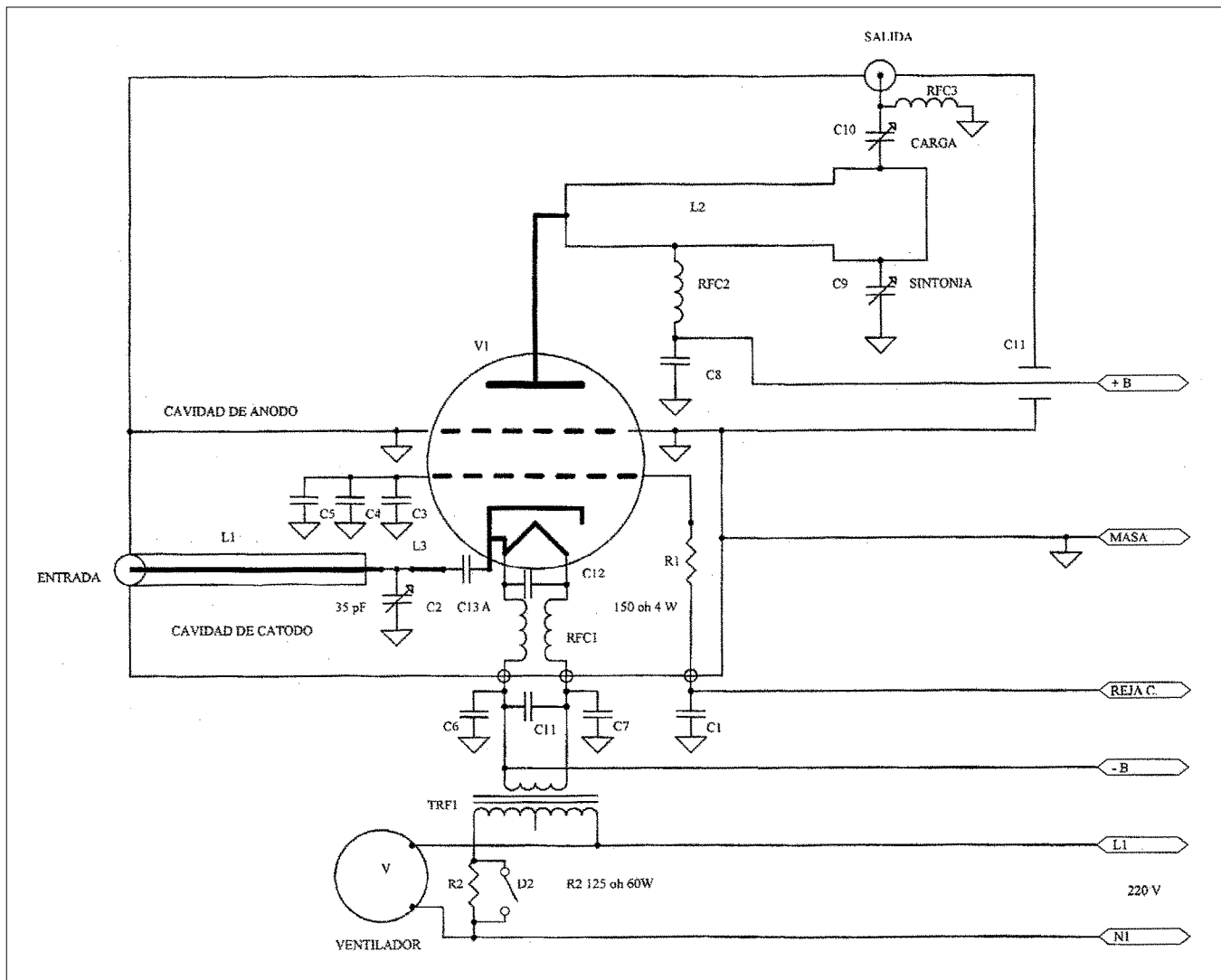


Figura 1. Esquema de montaje con la 4CX1500B.

**Tetrodos.** Entre las válvulas tetrodos son corrientes la 4CX250B, 4CX350A, 4CX1000A y 4CX1500B. Las dos primeras son de sobra conocidas entre nosotros y las 4CX1000A y 4CX1500B son bastante abundantes en el mercado de segunda mano porque durante muchos años han sido utilizadas en las emisoras comerciales de FM de 1 kW. Es de todos conocido el montaje en *push-pull* con dos 4CX250B y también el paralelo con dos y hasta tres válvulas, por lo que no comentaremos estas soluciones tradicionales y nos centraremos en las 4CX1000A y 4CX1500B. Estas válvulas, como hemos comentado, son abundantes y tienen un gran atractivo, puesto que al ser tetrodos (con 4 electrodos: cátodo, rejilla de control, rejilla pantalla y placa) tienen una ganancia importante (del orden de 20 a 25 dB) con lo que es posible conseguir grandes potencias (1.500 W) con solo 10 W de excitación.

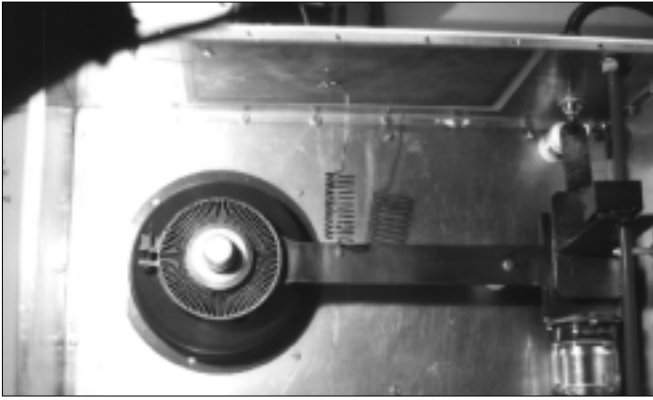
Esto ha generado diversos diseños de amplificadores de gran potencia con estas válvulas, todos ellos utilizando esta ventaja de la gran ganancia, con la que es posible excitar el amplificador con casi cualquier transmisor, incluso los que sólo sacan 10 W. Esta virtud ha sido su mayor defecto, puesto que para aprovechar la gran ganancia hacía falta un diseño y una construcción muy precisa, con el fin de evitar la autooscilación del amplificador y han sido notables los fracasos de muchos constructores que, una vez finali-

zando el amplificador, no han conseguido que funcionara y han tenido que abandonarlo o transformarlo.

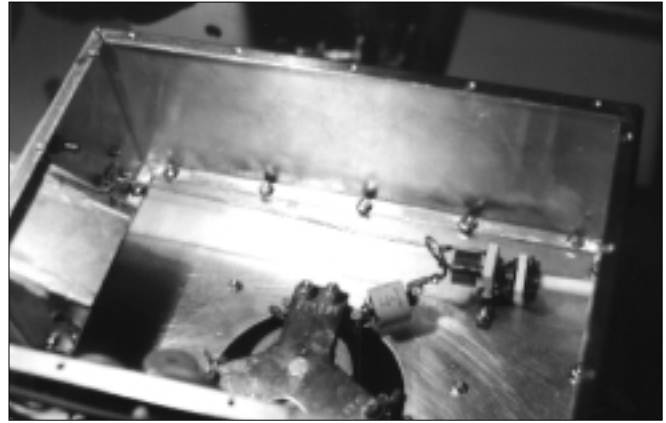
El amplificador lineal que a continuación se describe es la solución definitiva de estos problemas. Su construcción es bastante sencilla y, lo más importante, el resultado final está garantizado a poco que el constructor se ajuste al guión y no improvise demasiado. Antes de empezar, es obligado advertir que para construir este amplificador es aconsejable tener «experiencias previas» con amplificadores a válvulas y saber que todos ellos utilizan una tensión de placa del orden de 2.000 a 4.000 V *que son mortales*, y que en ningún caso hay que correr el riesgo de que pueda tocarse ninguna parte del circuito sometida a alta tensión (fuente de alimentación o el circuito resonante de placa) cuando esté el amplificador encendido, por el riesgo que ello comporta.

**Importante:** *El incumplimiento de este punto puede acarrear consecuencias fatales para el constructor del amplificador, que debe ser consciente que si decide construirlo asume unos riesgos de los cuales él es el único responsable.*

La principal característica de este diseño es que utiliza un tetrodo como si fuera un triodo; es decir, nuestra válvula será excitada por cátodo como si de un triodo se tratara, para ello la pantalla se conectará directamente a masa (chasis), la rejilla de control estará a - 315 V con respecto



Cavidad de placa. Obsérvese el condensador C8, formado por la placa de CI pegada a la pared.



Línea de entrada.

a la pantalla y perfectamente desacoplada a masa para la CA mediante tres condensadores de 1 nF a 3.000 V en paralelo. El cátodo quedará a un potencial de - 255 V y se conectará al negativo de la alta tensión -B, que en lugar de unirse al chasis (masa) se conectará al cátodo.

Esta solución es la más común en los amplificadores profesionales de gran potencia para las frecuencias de 200 a 1.000 MHz y tiene dos ventajas principales: gran estabilidad y gran linealidad. La primera condición se consigue porque las dos rejillas de la válvula están conectadas a masa «a los efectos de radiofrecuencia (RF)», una de ellas –la pantalla– directamente y la otra –la rejilla de control– está puesta a masa mediante tres condensadores, lo que equivale a un cortocircuito para efectos de RF; el «blindaje interno» que crean estos dos electrodos conectados a masa reduce al mínimo las interacciones entre el circuito de placa y el circuito de entrada (cátodo) con un aislamiento superior a los 30 dB, lo cual garantiza una estabilidad absoluta, ya que este amplificador tiene una ganancia que no supera en ningún caso los 18 dB.

La linealidad es inherente al tetrodo, pues por el hecho de tener el cuarto electrodo (la pantalla), las curvas de corriente de placa son muy poco dependientes de la tensión de placa, consiguiéndose una linealidad mejor que en el triodo, cualidad muy importante para minimizar la distorsión y con ella los consiguientes *splatters* o salpiques. Como todo en la vida, también hay que pagar un peaje por esta solución, por una parte será necesaria una mayor potencia de excitación: 15 W para 600 de salida y unos 45 para 1.500 de salida; otro peaje es que la fuente de alimentación es un poco más complicada que la necesaria para un triodo.

Veamos un poco de teoría para entender cómo funciona nuestro amplificador. En la figura 1 puede verse un esquema de montaje con el tetrodo 4CX1500B. Lo primero que se observa es que la rejilla pantalla está directamente unida a masa, y que la rejilla de control se conecta a través de R1 (desacoplada a masa por C1) a una fuente de polarización negativa que controla el paso Tx/Rx y la corriente de reposo en Tx. Los condensadores C3, C4 y C5 ponen a masa a efectos de RF la rejilla de control.

El calentamiento del filamento se realiza mediante el transformador TRF1, de 6 V y 10 A (60 W). Para evitar que la RF que se aplica al cátodo se escape por el circuito de filamento es necesario un choque bifilar RFC1 y cuatro condensadores C6, C7, C11 y C12. Una vez tenemos el cátodo en disposición de emitir electrones veamos como se polariza la válvula en CC. La fuente de alimentación genera una tensión de 255 V entre masa y el -B (que quedará a - 255 V) con objeto de que la pantalla trabaje a 255 V positivos con respecto al cátodo.

La polarización de la rejilla de control se consigue con una segunda fuente de alimentación que genera una tensión negativa (referida al cátodo o -B) de un máximo de -135 V para cuando la válvula está al corte (Rx) o una tensión ajustable de aproximadamente - 60 V para polarizar la válvula cuando está en Tx. Esta polarización se ajusta mediante un potenciómetro que permite regular la corriente de reposo de placa alrededor de los 200 mA.

Este punto es importante para el buen funcionamiento de nuestro amplificador lineal en SSB; para ello lo ideal es que trabaje en clase AB1 o como mínimo en AB2. La clase AB1 es por definición aquella en que la corriente de placa circula durante más de 180° de cada ciclo de RF, sin llegar a los 360° (que sería clase A), y sin que en ningún caso se produzca corriente en la rejilla de control (para ello la tensión de pico de la rejilla de control nunca debe hacerse positiva con respecto al cátodo). Si se excede ligeramente esa tensión de pico se producirá corriente de rejilla y en este caso estaríamos en clase AB2. Si se pretende un «super lineal» tendremos que mantenernos en la clase AB1 con la garantía de una distorsión e intermodulación mínimas, con lo que se producirá una señal tan limpia como la de nuestro transmisor y bastante más potente.

Finalmente, la fuente de alta tensión +B suministrará una tensión de 2.000 o más voltios al ánodo con respecto al cátodo. Esto se realizará a través del choque RFC2, el condensador de desacoplo C8 y el condensador pasamuros C11, que evitan la fuga de RF del circuito de placa a la fuente de alimentación. Ya tenemos nuestra válvula en funcionamiento y con una corriente de reposo de 200 mA; esto supondrá una disipación de placa de 400 o 600 W según la tensión de placa aplicada (2.000 - 3.000 V), lo cual no supone ningún problema para esta válvula, que permite una disipación de 1.000 o 1.500 W según el modelo utilizado, sólo falta aplicar señal de RF al cátodo.

El circuito de cátodo es del tipo sintonizado y está compuesto por L1, C2 (opcionalmente L3) y C13 (que aporta la capacidad de entrada del cátodo). El motivo de usar este circuito resonante en el cátodo es neutralizar las importantes variaciones en la impedancia de carga que presenta el cátodo entre los semiciclos negativos de la señal de excitación (donde conduce y presenta muy baja impedancia) y los positivos con, una impedancia muy alta; este fenómeno produciría una distorsión en la señal de excitación y la consiguiente distorsión en la señal de salida, para evitarlo es suficiente que el cátodo esté alimentado por un circuito resonante a la frecuencia de trabajo con un Q de por lo menos 2. En este caso el circuito está compuesto por L1, C2 y el propio cátodo mediante el condensador de paso C13, que interviene en la resonancia aportando unos 35 pF.

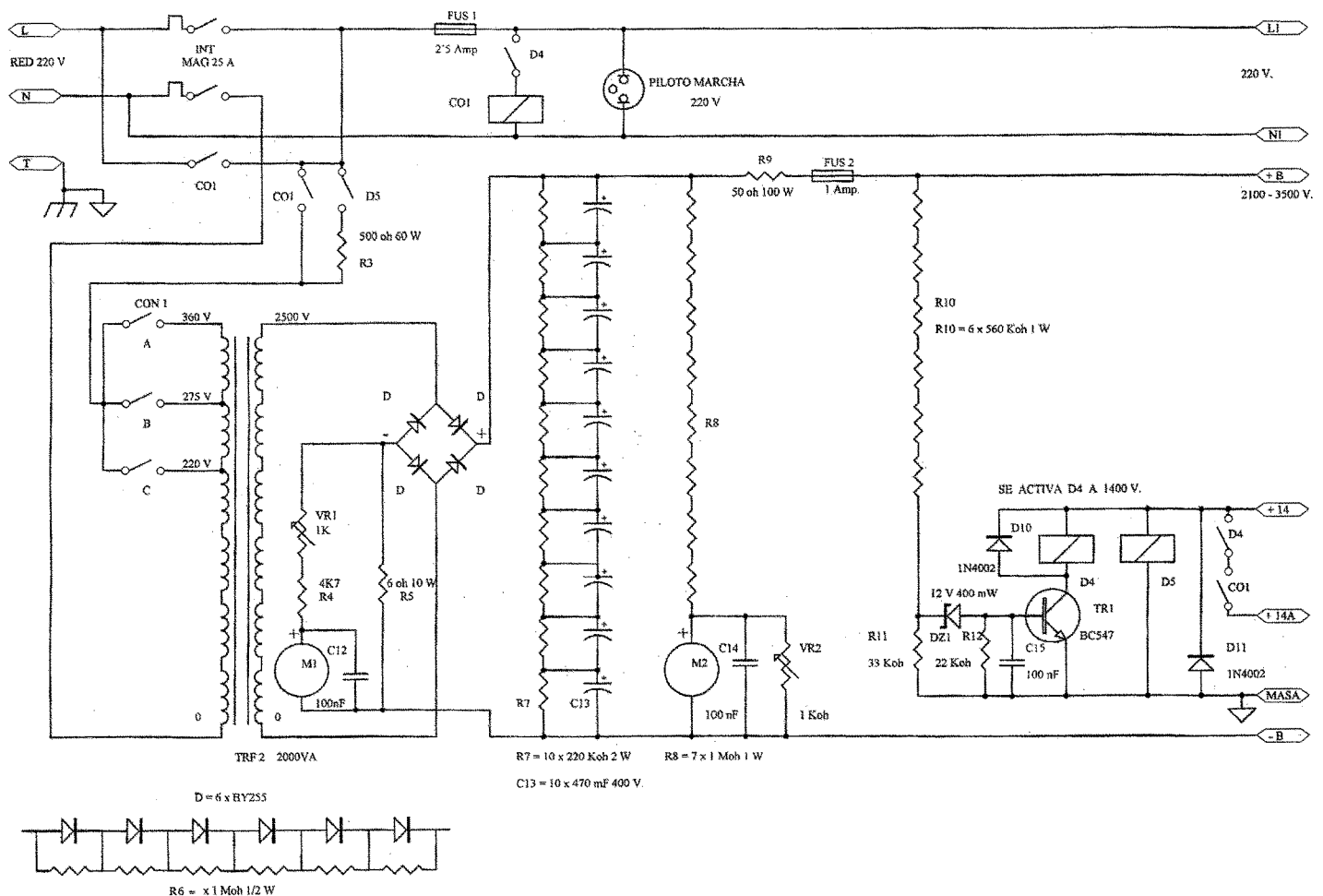


Figura 2. Esquema de la fuente de alta tensión.

Según la válvula y las condiciones de trabajo puede ser necesario para un óptimo funcionamiento (mínima ROE de entrada) añadir una pequeña inductancia L3 en serie con el cátodo como veremos más adelante.

### Circuito de placa

Está compuesto por el circuito resonante L2, C9 (C10 también interviene) y la capacidad de salida de la propia válvula, que es del orden de los 12 pF. Este conjunto se ajusta a la frecuencia de trabajo mediante el condensador C9 el cual, debido al tipo de circuito utilizado tiene que ser de bastante capacidad (mínimo 25 pF) y de alta tensión por lo que la mejor solución es utilizar un condensador de alta tensión al vacío. Como todos los circuitos de potencia, este conjunto tiene un Q en resonancia muy alto, del orden de 40, que en carga se ve limitado a 5 por la potencia absorbida por la antena a través de C10; este alto Q genera corrientes de RF muy elevadas en todos los elementos que intervienen en el mismo, por lo que las uniones de todos los componentes deben hacerse lo más perfectas y generosas posible.

Para evidenciar esto y a título de curiosidad, si consideramos esta válvula trabajando a una tensión de placa de 2.370 Vcc en carga, cuando el lineal entrega su máxima salida, la capacidad de salida de la válvula (12 pF) soportará una tensión de «radiofrecuencia» de aproximadamente

1.500 Vef; esto, aplicando las fórmulas del condensador, nos dará la corriente de RF que circula por la válvula (entre placa y pantalla):

$$I = V/Z = 1500 \times C \times W = 1500 \times 12 \times 10^{-12} \times 905 \times 10^6 = 16,28 \text{ A}$$

$$Z = 1/CW \quad W = 2\pi \times f = 2\pi \times 144 \times 10^6 = 905 \times 10^6$$

$$C = 12 \times 10^{-12}$$

Como se puede observar esta gran intensidad de RF (16,28 A) circulará también por L2, C9 y la chapa de la cavidad de placa; evidentemente para que nada se caliente y se queme, todo el circuito de potencia tiene que estar bien dimensionado y construido. En estas condiciones la potencia de salida puede ser de unos 600 W, lo que traducido a corriente  $I^2 = W/R$  para una antena de 50 Ω serían 3,46 A que es la corriente que circula por C10. Todo ello evidencia que para una corriente útil en antena de 3,46 A circulan por el tanque de placa 16,28 A, lo que representa un Q aproximado en carga de  $Q = 16,28 / 3,46 = 4,7$ .

Como todos los lineales a válvulas, el óptimo funcionamiento y la máxima potencia de salida se consigue cuando la válvula entra en saturación, esto quiere decir que la tensión de placa en el pico de la tensión de RF, alcanza o desciende ligeramente por debajo de la tensión de pantalla, lo que se evidencia por un aumento importante de la

corriente de ésta, al recoger este electrodo parte de los electrones emitidos por el cátodo y que se quedan atrapados en la pantalla porque ya es más positiva que la placa.

Para alcanzar este punto de saturación y para una determinada potencia de excitación de la válvula, siempre se podrá encontrar este punto mediante los dos condensadores de ajuste (C9 y C10). Con C9 (condensador de sintonía) se buscará la resonancia del circuito de placa, que coincidirá con un máximo en la potencia de salida y de la corriente de pantalla. Una vez en este punto pueden darse tres casos:

A) Corriente de pantalla negativa, inexistente o muy pequeña.

B) Corriente de pantalla correcta, unos 30 mA.

C) Corriente de pantalla excesiva, más de 30 mA.

Los casos A y C pueden reconducirse al caso correcto (B) mediante el ajuste de C10 (condensador de carga). En el caso A, no se consigue que la válvula entre en saturación; ello es debido a que el condensador C10 está demasiado cerrado y deja salir a la antena demasiada corriente de RF de la que circula por el tanque; esto se traduce en una impedancia de carga de la válvula demasiado baja y que con la corriente que produce la lámpara no se alcance la saturación de la misma, no llegando en este caso a entregar la máxima potencia posible a la antena. La solución consistirá en abrir un poco C10 y resintonizar a máxima salida con C9, repitiendo este proceso cuantas veces sea necesario hasta alcanzar la corriente de pantalla correcta. En el caso de que la excitación sea muy reducida es posible que no se consiga alcanzar más de unos pocos miliamperios de pantalla.

El caso B, es el correcto. El condensador C10 deja salir a la antena la corriente justa para que la válvula alcance la saturación, en este caso la válvula generará la máxima potencia posible, que será entregada a la antena.

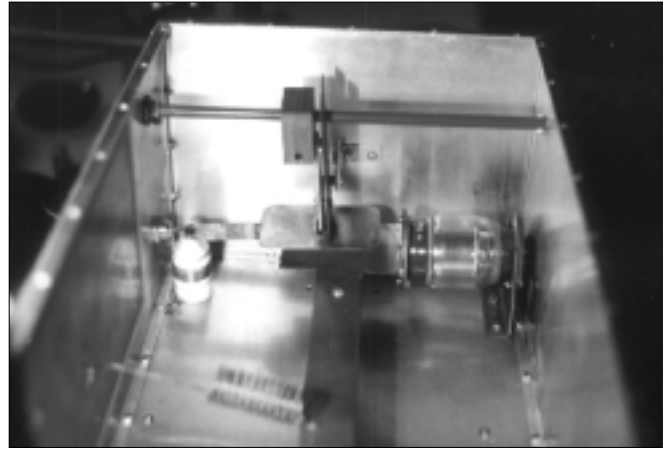
El caso C, es el contrario del caso A. El condensador C10 está demasiado abierto y deja salir a la antena poca corriente de RF, en consecuencia la impedancia de carga de placa es demasiado alta y la válvula se satura sin que el tanque de placa pueda absorber toda la corriente que genera la misma. La solución consistirá en cerrar C10 y resintonizar mediante C9, tantas veces como sea necesario hasta alcanzar el caso B.

Como se ha podido observar, los ajustes de C9 y C10 se interaccionan mutuamente por lo que al mover C10 será necesario retocar C9 para conseguir la máxima salida.

Por último solo queda añadir que todo lo anteriormente descrito es válido para una tensión continua de placa +B y para una potencia de excitación determinada. Si se aumenta o reduce la tensión del +B o se aumenta o reduce la potencia de excitación, será necesario variar la impedancia de carga de la válvula modificando C10 en el sentido que sea necesario según lo descrito y resintonizar mediante C9.

Como todos los amplificadores lineales excitados por cátodo, la potencia de excitación aparece en la salida; ello mejora ligeramente el rendimiento energético, que se situará entre 50 y 55 % en clase AB1 (SSB), para alcanzar valores entre 60 y 65 % en clase B o C (telegrafía).

Otro capítulo importante es la refrigeración de la válvula, que se consigue presurizando con un ventilador la cavidad de cátodo; es imprescindible un ventilador centrífugo para poder conseguir la presión necesaria. Para una disipación de 1.000 W se necesita una presión mínima de 8 mm de columna de agua en la cavidad de cátodo y 13 mm para 1.500 W (esto puede medirse con un tubo de plástico transparente doblado y con agua, un extremo libre y el otro acoplado a la cavidad de cátodo, con el ventilador parado



Detalle de C9, C10 y RFC3.

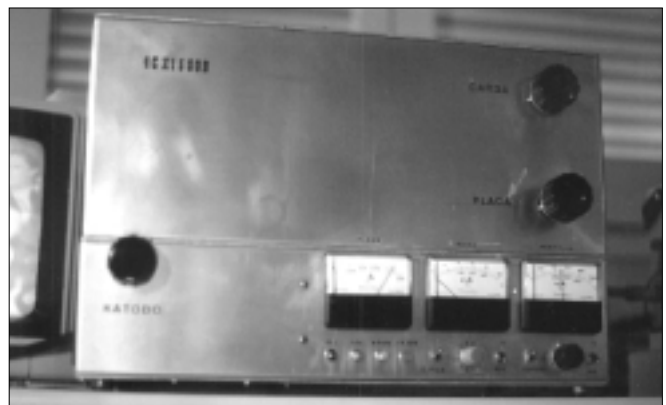
el nivel de agua a ambos lados está al mismo nivel y al arrancar el ventilador se puede medir la diferencia de altura del agua en milímetros). Estas presiones son las mínimas necesarias, evidentemente por más ventilación, nunca será un problema, siendo habituales 15 y hasta 20 mm de presión, aunque para ello ya se requieren ventiladores con motores de 50 o 60 W.

## Medidas de seguridad

En la figura 1 se observa en la salida de la antena el choque RFC3 que pone a masa la antena para la CC por motivos de seguridad y que en el caso de saltar un arco en C10 no exista ningún peligro. La resistencia R2, en serie con el primario del transformador TRF1 sirve para que al iniciar el calentamiento del filamento, no se produzca una punta de corriente, que es muy perjudicial para la vida de la válvula; esta punta se produce porque la resistencia en frío del filamento es muy pequeña. Al cabo de 2,5 minutos cuando el filamento ya se aproxima a su temperatura definitiva, esta resistencia es eliminada mediante el contacto D2 y se le aplican al filamento los 6 V que produce el transformador TRF1.

## Fuente de alimentación

Esta fuente es automática, es suficiente con dar el interruptor magnetotérmico general INT para que al cabo de 2,5 minutos el amplificador esté listo para transmitir. La secuencia de arranque, que finaliza con la aplicación de la alta tensión a la placa y después a pantalla sólo se completa si



Aspecto del super amplificador lineal para 144 MHz ya terminado.

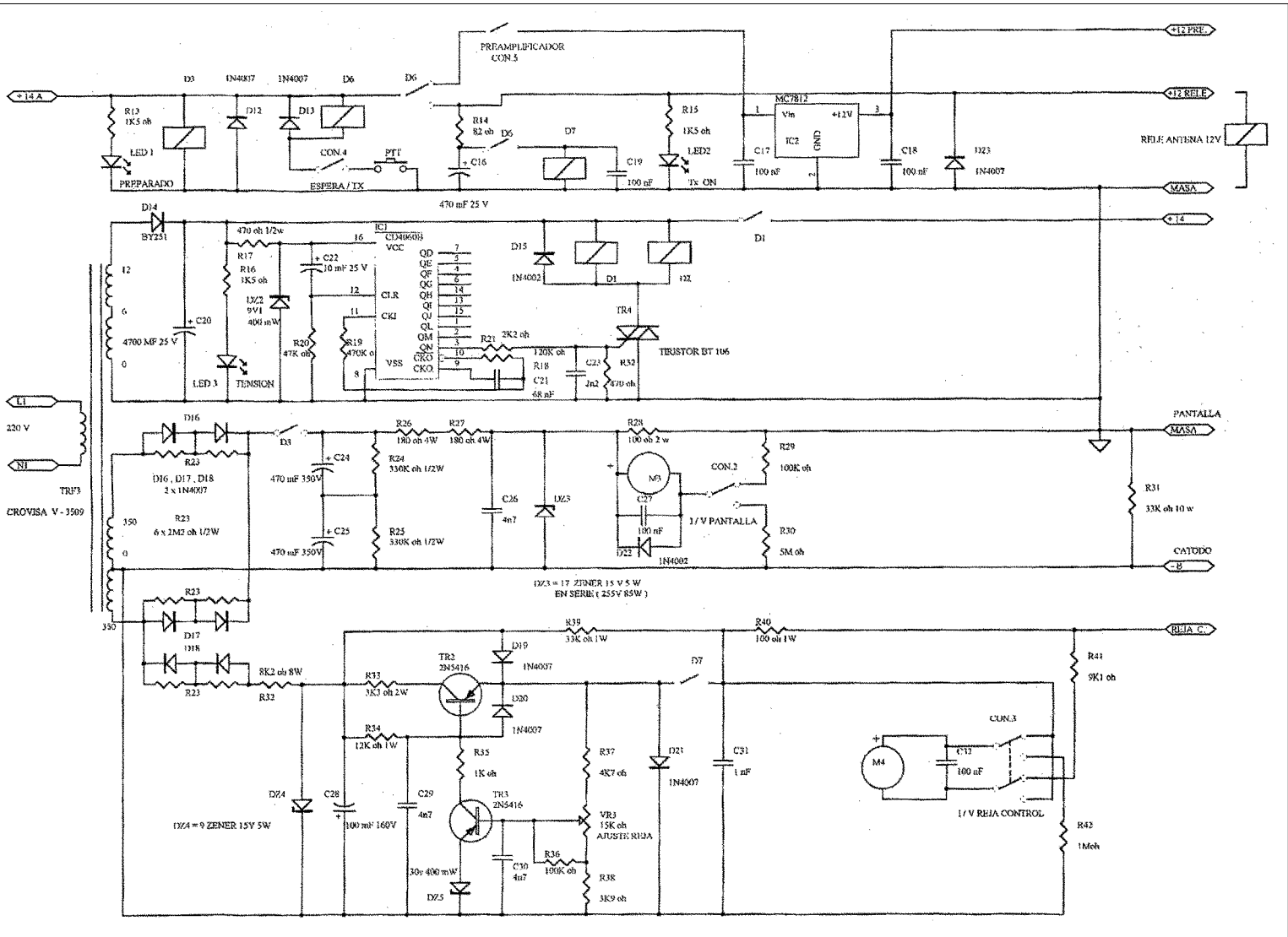


Figura 3. Esquema de la fuente de baja tensión.

no hay ninguna anomalía en la fuente de alta tensión, de lo contrario (en caso de un cruce en un diodo o condensador de alto, etc.), nunca se aplica toda la tensión al primario del transformador de alta tensión. En caso de fallo de la alta tensión o fusión del fusible de alta FUS2, nunca arranca la tensión de pantalla y el lineal nunca entra en transmisión, con objeto de evitar la destrucción de la válvula.

Al desconectar se produce el proceso inverso, el ventilador, las tensiones de filamento y de la rejilla de control se mantienen hasta que la alta tensión desciende por debajo de los 1.400 V, para dar tiempo a que la válvula se enfríe un poco, y entonces se produce el paro total.

Por último la fuente ofrece una secuencia de Tx/Rx o viceversa totalmente segura para el conjunto de elementos de la estación (lineal, relé de antena, preamplificador) que, si son alimentados por la fuente, garantizan una conmutación sin riesgo, pudiendo incluso prescindirse de un secuenciador externo.

El esquema de la fuente se ha dividido en dos partes (figuras 2 y 3). Si la fuente de alimentación se monta en una caja independiente, se montará en ella todo el material que compone la figura 2 (el indicador de corriente de placa M1, puede montarse con la unidad de RF por razones de utilidad funcional). El resto (figura 3) es mejor montarlo en la

parte inferior de la unidad de radiofrecuencia, junto a la cavidad de cátodo.

Esta fuente de alimentación es suficiente para superar los 1.500 W de potencia máxima de salida, para potencias inferiores puede utilizarse un transformador de alta TRF2 de menor potencia y tensión, lo que disminuye el peso y el coste de la fuente.

### Secuencia de arranque

Al cerrar el interruptor general INT, se enciende el piloto «Marcha», se conecta el ventilador y se inicia el calentamiento del filamento de la válvula; simultáneamente recibe tensión el transformador TRF3, que aplica -135 V a la rejilla de control. Este transformador, a través de su devanado de 12 V, genera una tensión de 14 Vcc mediante D14 y C20 para la alimentación auxiliar de los relés y el piloto LED3 (tensión).

El circuito integrado IC1 hace las funciones de temporizador y al cabo de 2,5 minutos genera un impulso por su patilla 3 que dispara el tiristor TR4; éste, una vez disparado, ya se queda permanentemente conectado hasta que se para el amplificador.

El tiristor TR4 conecta los relés D1 y D2, el relé D2 cruza

R2 conectando la alimentación directa al filamento de la válvula, el relé D1 conecta la alimentación al resto del circuito de maniobra.

Esta alimentación +14 V activa el relé D5, el cual conecta el primario del transformador de alta tensión TRF2 a través de la resistencia limitadora R3. La alta tensión empieza a subir hasta alcanzar los 1.400 Vcc, momento en que se conecta al relé supervisor de tensión D4; este relé activa el contactor CO1 que cruza la resistencia R3, con lo que la alta tensión adquiere su valor nominal.

Al activarse D4 y CO1 aparece la tensión +14A, que enciende el LED1 «Preparado»; esta misma tensión conecta el relé D3, que pone en funcionamiento la fuente de pantalla de 255 V y deja el lineal listo para funcionar. En este momento el relé D6 (Tx) está listo para entrar. El interruptor de seguridad CON4 se ha dispuesto para bloquear el paso a Tx. Una vez CON4 cerrado, si se cierra el pulsador PTT entra en servicio D6, que corta la alimentación al circuito del preamplificador, conecta el relé exterior de antena, enciende el LED2 (Tx) y, con un retardo de 60 ms, conecta D7, que pone la válvula en transmisión al reducir la tensión de rejilla de -135 V a unos -60 V.

Al abrir el PTT se abre D6, con sólo 2 ms de retardo cae D7 que bloquea la válvula a -135 V; al cabo de unos 100 ms cae el relé de antena, conectando el preamplificador que ya recibe alimentación.

## Secuencia de paro

Al parar el amplificador abriendo el magnetotérmico INT, se corta inmediatamente la alimentación del transformador de alta tensión TRF2 pero, a través del contacto CO1 se mantienen en marcha el resto de las alimentaciones (ventilación, filamentos, rejilla de control, etc.). La alta tensión irá descendiendo lentamente hasta que, al bajar de 1.400 V caerá el relé supervisor de alta tensión D4, caerá CO1 y se apagará toda la alimentación, habiendo dado un tiempo para enfriar la válvula y cerrar con baja tensión en la misma.

*Nota.* Si durante esta secuencia de paro se cierra el PTT, el proceso de paro se precipita ya que al entrar la válvula en conducción la alta tensión cae en el acto y se para todo sin ningún problema.

## Fuente de alta tensión

La alta tensión (figura 2) se genera en el transformador TRF2, que tiene un primario con tomas. El objeto de estas tomas poder obtener varias tensiones de placa (2.100, 2.800 y 3.500 V); con ello es fácil en un mismo amplificador adecuar la alta tensión a las necesidades de potencia de cada momento. Es conveniente que el conmutador CON1 sea muy robusto para soportar la violenta conmutación del transformador (se aconseja, sin embargo, no conmutar en carga).

El secundario del transformador se conecta al puente rectificador de diodos D compuesto por seis diodos en cada rama con sendas resistencias en paralelo (R6, no dibujadas) para repartir la tensión inversa en los diodos; el condensador de filtro está formado por C13 (10 condensadores de 470  $\mu$ F 400 V en serie) con sus respectivas resistencias R7 de reparto de tensión.

La resistencia R9 de 50  $\Omega$  100 W (2 de 100  $\Omega$  50 W en paralelo) es imprescindible para limitar la corriente en el caso de un arco de alta tensión, y evitar que el fusible FUS2

literalmente explote. La medida de la corriente de placa se hace por el retorno del puente rectificador mediante R5 y se ajustará mediante VR1 para una correcta indicación en el instrumento M1, este sistema evita la destrucción del instrumento por un arco de alta tensión.

La medida de la alta tensión se realiza en M2, con el divisor R8 (7x1 M $\Omega$  en serie) y se ajusta la indicación mediante VR2.

El relé de supervisión de alta tensión funciona con el divisor R10 (6 x 560 k $\Omega$  en serie) R11 y el diodo Zener DZ1, que hace conducir TR1 cuando se superan los 1.400 Vcc. Con ello se asegura que nunca pueda entrar en funcionamiento el amplificador si falla la tensión +B por cualquier causa.

## Fuente de baja tensión

La tensión de alimentación de pantalla se obtiene del secundario de 350 V de TRF3 con rectificación a doble onda por D16, D17 y el condensador de filtro C24, C25, equilibrados por R24 y R25, el contacto D3 asegura que la fuente de pantalla no se ponga en marcha si falla el +B. Las resistencias R26 y R27, juntamente con DZ3 (17 diodos Zener 15 V 5 W en serie) generan una tensión de pantalla

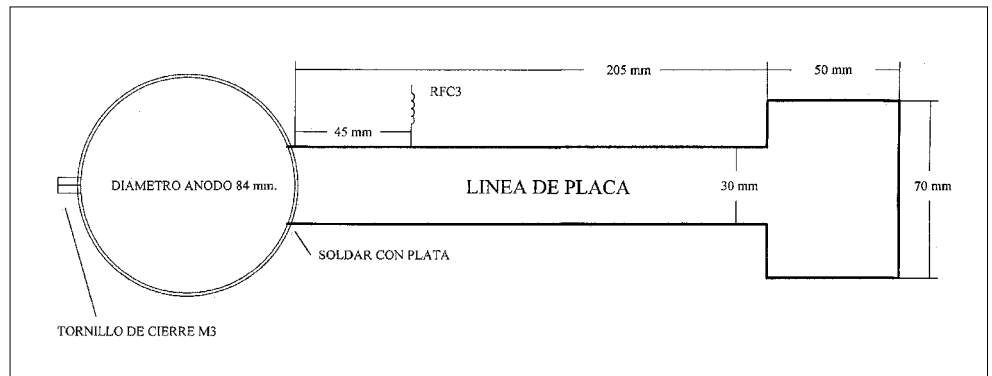


Figura 4. Línea de placa.

de 255 V, con una capacidad de drenaje de hasta 53 mA; la resistencia R31 origina un drenaje fijo de 8 mA, con objeto de que el indicador de corriente de pantalla M3 quede como mínimo en 8 mA, esto es necesario porque esta lámpara, cuando está fuera de saturación, presenta con frecuencias pequeñas corrientes negativas de pantalla, que así pueden observarse, siempre que no superen los 8 mA. El medidor de corriente de pantalla M3 utiliza R28 como *shunt* y R29 para el calibre. Cuando se conmuta CON2, el mismo instrumento M3 se convierte en voltímetro de pantalla a través de R30, de 5 M $\Omega$  (2 x 10 M $\Omega$  en paralelo). El positivo de esta fuente se conecta a masa y el negativo al cátodo a través de -B. Esta conexión es fundamental porque es la que fija todas las tensiones de la válvula.

La polarización de la rejilla de control se consigue rectificando la media onda negativa de los 350 V de TRF3 mediante D18; como la tensión obtenida así es excesiva, se la limita a -135 V mediante R32 y DZ4 (9 diodos Zener 15 V/5 W en serie) y se filtra con C28, esta tensión se conecta siempre a la rejilla de control, a través de R39 y R40, para asegurar un correcto bloqueo de la válvula. La tensión de polarización en Tx se regula alrededor de -60 V con la fuente negativa compuesta por R33, TR2, R35, TR3 y DZ5 y el divisor R37 y R38; el potenciómetro VR3 permite regular en un amplio margen la tensión estabilizada para poder ajustar la polarización de la válvula en el punto deseado. El transistor TR2 debe disponer de un pequeño radiador para

asegurar una correcta disipación, esta fuente tiene una capacidad de drenaje de unos 10 mA, que es ampliamente suficiente para esta válvula. Cuando el lineal pasa a Tx se cierra el relé D7, que reduce los - 135 V de reposo a la tensión de polarización ajustada por VR3, que se montará en el frontal o un punto fácilmente accesible.

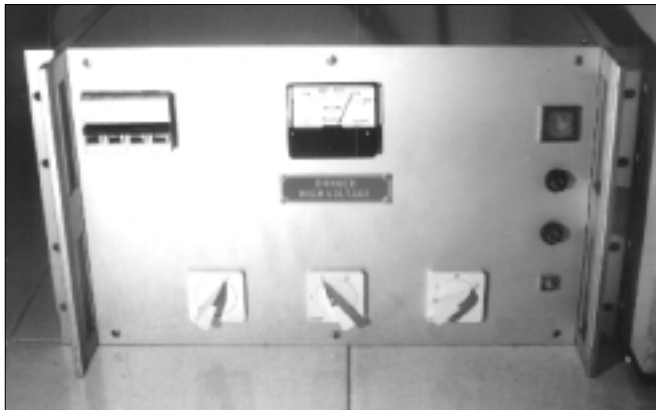
La medición de la corriente de la rejilla control se hace mediante M4, que utiliza R40 como *shunt* y R41 para el calibre; cuando se conmuta CON3, el mismo instrumento se convierte en voltímetro de reja con una indicación máxima de - 100 V, utilizando R42 como calibre.

## Construcción

La etapa de radiofrecuencia se montará con chapa de aluminio de 2 mm de grosor en dos departamentos: el superior, de 432 x 250 mm y con una altura de 178 mm es la cavidad de placa y el inferior, de 432 x 250 mm con 102 mm de alto, es la cavidad de cátodo; ambas cavidades se unirán con una chapa de aluminio en medio que servirá para el soporte del zócalo y como separación de ambas.

En la cavidad de cátodo se colocará un tabique de separación a 170 mm del extremo en donde se coloca la válvula, el resto de la cavidad servirá para montar los transformadores TRF1, TRF3 y las fuentes de reja y pantalla, así como los indicadores M1, M3, M4, LED, etc.

El zócalo de la válvula será del tipo SK800A, al que se le eliminará toda la parte superior (condensador de pantalla). Este proceso tiene diferentes soluciones según el ingenio de cada constructor, hay quien desmonta el condensador



La fuente de alimentación.

de pantalla o quien desmonta todo el zócalo y sólo aprovecha los aislantes y contactos de las patas para montarlos sobre la chapa de separación, en cualquier caso debe garantizarse una perfecta puesta a masa de la pantalla y hay que hacer un agujero lo suficiente grande para que el aire de refrigeración pase con gran facilidad. Por el lado de placa se montará la chimenea, para que el aire que cruza por el zócalo pase a través del ánodo de la válvula para una correcta refrigeración.

El centro del zócalo se montará a 115 mm del final de la cavidad y en la mitad de la misma; la línea de placa se construirá con chapa de cobre o latón de como mínimo 1 mm de grosor por 30 mm de ancho, la longitud total será de 255 mm y en un extremo aumentará en sus últimos 50 mm a una anchura de 70 mm. En el otro extremo se soldará con plata una brida de sujeción de la válvula con un tornillo de apriete (el diámetro del ánodo es de 84 mm). Esta línea, una vez finalizada, puede platearse para un mejor rendimiento del lineal. (Ver plano en la figura 4).

www.cq

La línea de placa se montará a 40 mm de altura sobre la chapa que soporta el zócalo, con un aislador cerámico o de teflón en el extremo contrario de la válvula.

El condensador de vacío C9 se conectará al extremo de la línea de placa (en la parte de 70 mm de anchura), mediante una platina de cobre o latón que asegure un perfecto contacto, y por el otro extremo se conectará al chasis o a masa por un procedimiento similar, en ambos casos, con un conductor lo más corto y ancho que sea posible. El condensador de salida C10 se construirá con una chapita de latón de 40 x 80 mm x 1 mm de grueso y se unirá al conector N de salida con una hoja de latón muy delgada y flexible de 10 mm de ancho (o malla de RG-213) para que pueda moverse con facilidad, el sistema para aproximar esta chapa se puede hacer con una excéntrica sobre un eje de fibra de vidrio y un correcto guiado para que la chapa no se incline y se mueva paralela a la línea de placa; el desplazamiento de esta placa debe permitir de 5 a 15 mm de separación (nunca menos de 5 por el riesgo de arco) en el funcionamiento normal quedará entorno a los 7 mm de separación.

El choque RFC3 puede hacerse enrollando sobre un cilindro de teflón de 25 mm de diámetro unas 20 espiras, separadas 1 mm entre sí, de hilo esmaltado de 0,5 mm.

El choque RFC2 se construirá con 12 espiras hilo 1 mm de diámetro con un diámetro de bobina de 18 mm y una longitud de 40 mm, este choque se conectará a la línea de placa a 45 mm de la válvula.

El condensador C8 será de 1 nF 5 kV tipo *doorknob* o en su defecto una placa de circuito impreso de 150 x 250 mm, pegada a la pared por el lado de la fibra, a la que habrá que quitarle 10 mm de cobre por todo el contorno de la placa como medida de seguridad contra arcos.

El condensador pasamuros C11 no es imprescindible, pero si es posible, montar uno de 1 nF 5 kV comercial, que además sirve de terminal para conectar el +B; también puede utilizarse un conector de alta tensión (descartar un BNC, N e incluso un PL de teflón)

Finalmente se pondrá una rejilla suficiente en la tapa superior del lineal para una correcta salida del aire de refrigeración. Se recomienda un agujero con un diámetro de 150 mm sobre la válvula.

En la parte posterior de la cavidad de cátodo se instalará el ventilador de refrigeración, así como el conector N de excitación, a una distancia de 25 mm del fondo de la cavidad y 30 mm del extremo. La línea de entrada L1 se construirá con 180 mm de hilo plateado de 2 mm de diámetro, manteniendo las distancias al fondo y lateral de 25 y 30 mm, respectivamente. Al final de esta línea se colocará C2, de 35 pF, para el ajuste de entrada, C13 será de 1 nF tipo *doorknob* o similar; la inductancia opcional L3 consistirá en 1 espira de hilo de 2 mm con un diámetro aproximado 20 mm (esta bobina puede no ser necesaria) y en todo caso se montará en serie entre C2 y C13, que se unirá al cátodo de la válvula.

El choque bifilar RFC1 se construirá con dos hilos esmaltados en paralelo de 2 mm de diámetro, formando una bobina de 10 espiras juntas con un diámetro de 15 mm; por el lado del zócalo se montará C12 de 1 nF 1.000 V, así como C6, C7 y C11, que se montarán sobre pasamuros en la pared lateral; estos tres condensadores serán cerámicos de 4,7 nF a 3.000 V.

Los tres condensadores C3, C4 y C5 serán cerámicos de 1 nF 3.000 V, montados sobre el propio zócalo, entre la rejilla de control y la pantalla (electrodos 1 y 2 en el zócalo). Estos condensadores tendrán las patillas lo más cortas posible, este detalle es fundamental para un correcto desacople de la rejilla de control.

En la cavidad que queda libre junto al cátodo se montará



## Lista de materiales

L1, L2, L3, RCF1, RCF2, RCF3, ver texto.

TRF1 = 220 V/6 V, 10 A, 60 VA (Crovisa 206.206 o similar)

TRF2 = primario 220/275/360 V, secundario 2.500 V (2.000 VA)

TRF3 = 220 V primario, 350-0-350 V, 100 mA, 6-0-6 V, 1 A (Crovisa V-3509 o similar)

Zócalo V1 = EIMAC SK800A modificado

Válvula V1 = EIMAC 4CX1000A / 4CX1500B

D1, D2, D3, D5, D7 = relé 12 Vcc 1 AC

D4, D6 = relé 12 Vcc 2 AC

CO1 = contactor 220 Vca 4 A

INT = interruptor magnetotérmico 25 A

M1 = microamperímetro 67 x 60 mm 1 mA CC fondo escala (escala especial 0-1 A)

M2 = microamperímetro 67 x 60 mm 50  $\mu$ A CC fondo escala (escala especial 0-5.000 V)

M3 = microamperímetro 67 x 60 mm 100  $\mu$ A CC fondo escala (escala especial 0-100 mA/0-500 V)

M4 = microamperímetro 67 x 60 mm 100  $\mu$ A CC fondo escala (escala especial 0-10 mA/0-100 V)

V = ventilador centrífugo 220 V alta presión (potencia 25-60 W)

C1 = pasamuros 1 nF 1.000 V

C2 = condensador variable, aire 5-35 pF (o más)

C3, C4, C5 = 1 nF 3.000 V cerámico

C6, C7, C11 = cerámicos 4n7 3.000 V

C8, C10, C11, ver texto

C9 = condensador al vacío, 25 pF 15 kV

C12 = 1 nF 1.000 V cerámico

C13A = 1 nF 5 kV (tipo *doorknob*)

C13 = 10 x 470  $\mu$ F 400 V electrolítico en serie

C14, C15, C17, C18, C27, C32 = 100 nF 63 V poliéster

C16 = 470  $\mu$ F 25 V electrolítico

C19, C27 = 100 nF 400 V poliéster

C20 = 4.700  $\mu$ F 25 V electrolítico

C21 = 68 nF 63 V poliéster

C22 = 10  $\mu$ F 25 V electrolítico

C23 = 2n2 63 V cerámico

C24, C25 = 470  $\mu$ F 350 V electrolítico

C26 = 4n7 1.000 V cerámico

C28 = 100  $\mu$ F 160 V electrolítico

C29, C30 = 4n7 500 V cerámico

C31 = 1nF 500 V cerámico

R1 = resistencia 150  $\Omega$  4 W

R2 = resistencia 125  $\Omega$  60 W (500  $\Omega$  60 W con cursor en la mitad, uniendo ambos extremos)

R3 = resistencia 500  $\Omega$  60 W

R4 = resistencia 4K7 1/4 W

R5 = resistencia 5  $\Omega$  10 W (2 x 10  $\Omega$  10 W en paralelo)

R6 = resistencia 1 M $\Omega$  1/2 W en paralelo con cada diodo D

R7 = resistencia 10 x 220 k $\Omega$  2 W en paralelo con cada condensador de C13

R8 = resistencia 7 x 1 M $\Omega$  1 W

R9 = resistencia 50  $\Omega$  100 W (2 x 100 50 W en paralelo)

R10 = resistencia 6 x 560K 1 W

R11 = resistencia 33K 1/2 W

R12 = resistencia 22K 1/4 W

R13, R15, R16 = resistencia 1K5 1/4 W

R14 = resistencia 82  $\Omega$  1/4 W

R17 = resistencia 470  $\Omega$  1/2 W

R18 = resistencia 120 k $\Omega$  1/4 W

R19 = resistencia 470K 1/4 W

R20 = resistencia 47K 1/4 W

R21 = resistencia 2K2 1/4 W

R22 = resistencia 470  $\Omega$  1/4 W

R23 = resistencia 6 x 2M2 1/2 W

R24, R25 = resistencia 330K 1/2 W

R26, R27 = resistencia 180  $\Omega$  4 W

R28 = resistencia 100  $\Omega$  2 W

R29, R36 = resistencia 100K 1/4 W

R30 = resistencia 5 M $\Omega$  1/4 W (2 x 10 M $\Omega$  1/4 W en paralelo)

R31 = resistencia 33 k $\Omega$  10 W

R32 = resistencia 8K2 8 W

R33 = resistencia 3K3 2 W

R34 = resistencia 12K 1 W

R35 = resistencia 1K 1/4 W

R37 = resistencia 4K7 1/4 W

R38 = resistencia 3K9 1/4 W

R39 = resistencia 33K 1 W

R40 = resistencia 100  $\Omega$  1 W

R41 = resistencia 9K1 1/4 W

R42 = resistencia 1 M $\Omega$  1/4 W

D = diodo rectificador (24 x BY255)

D16, D17, D18 = diodo rectificador (6 x 1N4007)

D10, D11, D12, D23, D15, D22, D19, D21 = diodo de silicio 1N4007

D14 = diodo rectificador BY251

LED1 = LED verde

LED2 = LED rojo

LED3 = LED amarillo

DZ1 = diodo Zener 12 V 400 mW

DZ2 = diodo Zener 9,1 V 400 mW

DZ3 = diodo Zener 17 x 15 V, 5 W en serie

DZ4 = diodo Zener 9 x 15 V, 5 W en serie

DZ5 = diodo Zener 30 V 400 mW

TR1 = transistor BC547

TR2, TR3 = transistor 2N5416 con radiador

TR4 = tiristor BT106

IC1 = circuito integrado 4060

IC2 = fuente 7812

CON1 = conmutador transformador 3 pos. 1 circuito, 16 A

CON2, 4, 5 = conmutador CK, 1 circuito, 2 posiciones

CON3 = conmutador CK, 2 circuitos, 2 posiciones

VR1, VR2 = potenciómetro ajuste multivuelta 1 K

VR3 = potenciómetro regulación 15K 0,5 W con eje

PL1 = piloto neón 220 V

FUS1 = fusible 2,5 A (5 x 20 mm)

FUS2 = fusible alta tensión 1 A (tipo horno microondas o de 6 x 32 mm)

el transformador de filamentos TRF1 y todo el material de la figura 3. El -B puede conectarse con un conector PL de teflón y un cable RG-8, (malla = masa, vivo = -B) de esta manera el sistema es desmontable y se garantiza una masa de seguridad entre ambas unidades del amplificador.

**Muy importante.** Al montar la fuente de alimentación en una segunda caja, la parte de alta tensión tiene que dispo-nerse de forma que exista una separación suficiente entre todos sus componentes y la caja (de como mínimo 10 mm) y que en ningún caso los puntos de máxima tensión +B y -B, los extremos del transformador de alta tensión y el puen-te rectificador queden a menos de 10 mm de distancia entre sí, para evitar que salte el arco; también deben cuidarse los divisores R7 y R10, que se montaran en línea de forma que se reparta la tensión correctamente. El fusible de alta tensión FUS 2, de 1 A, se recomienda que sea del tipo usado en los hornos de microondas o en todo caso de 6,3 x 20 mm de longitud con portafusible de pinza y éste bien aislado. Por último es necesario que el cable de alta tensión

+B sea de silicona de alta tensión y es bueno añadirle una funda para una mayor resistencia mecánica.

## Puesta en marcha y ajuste

Una vez construido todo el amplificador y la fuente de alimentación y repasado cuidadosamente el montaje se procederá a su puesta en marcha. Para ello primero se quita-rá la válvula y se desconectará el +B por el lado de la fuen-te de alimentación, se colocará el conmutador CON1 en la posición de 360 V para que la fuente de alta entregue su mínima tensión (2.100 V).

Se conectará el interruptor general y se comprobarán todas las tensiones (¡excepto la alta tensión!): filamentos, rejilla de control, temporizador, rejilla pantalla, etc. y las secuencias de arranque y paro. Cuando se haya compro-bado que todo está correcto se procederá a ajustar el voltí-metro de alta tensión M2 con el potenciómetro VR2 (si se dispone de un voltímetro con punta de alta tensión hasta

Modo	+B vacío	I reposo	Excit.	I ánodo	I pantalla	I rejilla c.	Pot. salida
SSB	2.100 V	200 mA	10 W	500 mA	17 mA	1 mA	450 W
SSB	3.500 V	200 mA	10 W	580 mA	2 mA	1 mA	800 W
SSB	2.100 V	200 mA	25 W	650 mA	24 mA	1 mA	680 W
SSB	3.500 V	200 mA	25 W	750 mA	21 mA	1 mA	1.150 W
SSB	3.500 V	200 mA	40 W	820 mA	27 mA	2 mA	1.450 W
CW	3.500 V	50 mA	50 W	860 mA	27 mA	3 mA	1.600 W

Tabla I.

30.000 V, se medirá y ajustará con precisión); si no se dispone de un voltímetro de alta tensión, no hacer experimentos que puedan resultar fatales, ajustar para que marque 2.100 V, es mejor una indicación aproximada, que un fatal accidente.

Apagar el interruptor INT y esperar a que el voltímetro de alta tensión marque cero, a continuación se ajustará el amperímetro de placa M1 haciendo pasar con una fuente auxiliar, una corriente conocida –inferior a 1 A– por R5 y ajustar VR1 para una correcta indicación.

Conectar el +B y conectar INT para comprobar que todo está correcto y que no salta ningún arco, apagar el interruptor INT y esperar a que el voltímetro de alta tensión marque cero, colocar la válvula, poner el potenciómetro de polarización VR3 en la posición de máxima tensión negativa de la rejilla control, y conectar nuevamente INT. Esperar a que se complete el ciclo de arranque y cerrar el interruptor Espera/Tx. Cerrar

el PTT: la válvula debe entrar en conducción con una corriente nula o muy pequeña, ajustar mediante VR3 hasta que la corriente de reposo alcance los 200 mA.

El amplificador ya está en condiciones de funcionar; conectar un vatímetro de potencia adecuada y una carga artificial o antena a la salida de RF y conectar un transmisor con un medidor de ROE a la entrada de excitación. Con una excitación de unos 10 W, comprobar la salida de potencia, que debe alcanzar con facilidad unos 400/450 W, ajustar mediante C2 para una mínima ROE de entrada, si queda en un valor 1,5:1 o mejor es correcta, en caso de que no se pueda bajar de 2 o 3, parar e incorporar L3 para corregir este punto, en todo caso modificar ligeramente L3 para optimizar la ROE de entrada.

En las pruebas iniciales, comprobar la temperatura del aire de salida, que en ningún caso debe superar los 60°. De lo contrario habría una refrigeración insuficiente, y no hacer ajustes muy largos (más de 2 minutos). Si todo es correcto nuestro amplificador ya está en condiciones de funcionar. En la tabla I podemos ver algunos datos típicos de trabajo.

La corriente nominal de placa de estas válvulas es de 1.000 mA, por lo que aun hay un gran margen de seguridad o posibilidad de mayor potencia de salida, con más excitación.

Considerando las grandes potencias generadas por este amplificador, es aconsejable utilizar un filtro pasabajos para mejorar la limpieza de la señal de salida y reducir la amplitud de los armónicos en bandas superiores. 