

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Instituto de Tecnologías

**Programa de Especialización Tecnológica
en Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones**

TEMA DE TESIS

**"CONSTRUCCIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE 50W DE GUITARRA
CON LA TECNOLOGÍA DE VÁLVULAS TERMOIÓNICAS PARA LA
BANDA MUSICAL CUERDAS NEGRAS"**

Previa a la obtención del Título de

TECNÓLOGO EN

**ELECTRONICA Y
MECATRONICA**

Presentado por

**Jaime Enrique Sauhing Aspiazu
Cristhian Xavier Loaiza Loayza**

**Guayaquil - Ecuador
2013**

AGRADECIMIENTO

Agradecemos primeramente a Dios por habernos dado la fortaleza para vencer todas las dificultades que se nos han presentado, a nuestros padres y hermanos por el apoyo incondicional y a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de este proyecto de tesis.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a Dios y a nuestros padres por ser los pilares en nuestras vidas.

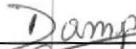
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Fernando Franco Vicuña, Lcdo.
Profesor Delegado del Director de INTEC



Camilo Arellano Arroba, Lcdo.
Tutor de Proyecto de Tesis

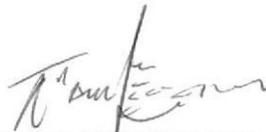


Diego Armando Muso, Lcdo.
Vocal de Proyecto de Tesis

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Tesis, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

Reglamento de Graduación de ESPOL



Jaime Enrique Sauhing Aspiazu
Autor de Tesis



Cristhian Xavier Loaiza Loayza
Autor de Tesis



ÍNDICE GENERAL

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| AGRADECIMIENTO | 2 |
| DEDICATORIA | 3 |
| TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN | 4 |
| DECLARACIÓN EXPRESA | 5 |
| INDICE DE FIGURAS | 7 |
| INDICE DE TABLAS | 8 |
| CAPÍTULO 1 | 9 |
| GENERALIDADES | 9 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 10 |
| 1.2.1 OBJETIVOS GENENRALES..... | 10 |
| 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 10 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN | 10 |
| GCAPÍTULO 2 | 11 |
| TEORÍA DE AMPLIFICACIÓN CON VÁLVULAS TERMOIIONICAS | 11 |
| 2.1 LA VÁLVULA TERMOIÓNICA | 12 |
| 2.2 CARACTERÍSTICAS | 12 |
| 2.3 TIPOS DE VÁLVULAS TERMOIÓNICAS..... | 14 |
| 2.4 POLARIZACIÓN | 19 |
| 2.4.1 CLASE DE LOS AMPLIFICADORES A VÁLVULAS..... | 23 |
| 2.4.2 CONFIGURACIÓN DE LOS AMPLIFICADORES A VÁLVULAS..... | 25 |
| 2.5 AMPLIFICADOR DE TENSIÓN..... | 26 |
| 2.6 AMPLIFICADOR DE POTENCIA..... | 27 |
| CAPÍTULO 3 | 28 |
| CONSTRUCCIÓN DEL AMPLIFICADOR | 28 |
| 3.1 ESPECIFICACIONES REQUERIDAS | 28 |
| 3.2 ELABORACIÓN DEL CIRCUITO | 28 |
| 3.2.1. ETAPA DEL PREAMP | 29 |
| 3.2.2 ETAPA DE POTENCIA | 30 |
| 3.2.3 FUENTE DE VOLTAJE | 30 |
| 3.3 SELECCIÓN DE ELEMENTOS | 31 |
| 3.4 ENSAMBLAJE DEL AMPLIFICADOR | 33 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 35 |
| ANEXOS..... | 36 |
| ANEXO 1 <i>Dimensiones (en milímetros) y Construcción del Chassis del amplificador en una CNC</i> ... | 36 |
| ANEXO 2 <i>Forma final del doblaje de los lados del Chassis</i> | 37 |
| ANEXO 3 <i>Montaje de resistencias y capacitores en la PCB del amplificador</i> | 37 |
| BIBLIOGRAFÍA | 38 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 2.1 Electrodo de una válvula termoiónica. | 14 |
| Fig. 2.2 Válvula diodo y símbolo..... | 15 |
| Fig. 2.3 Válvula tríodo y símbolo..... | 16 |
| Fig. 2.4 Válvula tetrodo y símbolo..... | 18 |
| Fig. 2.5 Válvula pentodo y símbolo..... | 19 |
| Fig. 2.6 Polarización de un tríodo..... | 20 |
| Fig. 2.7 Familia de curvas de una válvula tríodo..... | 21 |
| Fig. 2.8 Familia de curvas de una válvula pentodo..... | 22 |
| Fig. 2.9 Funcionamiento de una válvula amplificadora en clase A..... | 23 |
| Fig. 2.10 Funcionamiento de una válvula amplificadora en clase B..... | 24 |
| Fig. 2.11 Funcionamiento de una válvula amplificadora en clase AB..... | 24 |
| Fig. 2.12 Salida de señal de guitarra..... | 25 |
| Fig. 2.13 Esquema de un circuito amplificador en simetría Push-Pull..... | 26 |
| Fig. 2.14 Esquema de un amplificador de tensión en configuración single-ended..... | 26 |
| Fig. 2.15 Amplificador de potencia con válvulas pentodo..... | 27 |
| Fig. 3.1 Circuito de amplificador de guitarra por bloques..... | 28 |
| Fig. 3.2 Primera etapa del preamp..... | 29 |
| Fig. 3.3 Control de tono..... | 29 |
| Fig. 3.4 Circuito de la etapa de potencia..... | 30 |
| Fig. 3.5 Fuente de Voltaje..... | 30 |
| Fig. 3.6 PCB del amplificador..... | 33 |
| Fig. 3.7 Montaje y cableado de potenciómetros, sockets, choke y transformadores..... | 34 |
| Fig. 3.8 Montaje del PCB en el chasis..... | 34 |

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Lista de Requerimientos del amplificador..... 28
Tabla 2 Lista de elementos utilizados con sus respectivos precios..... 33



CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más moderno, los ingenieros especializados en el campo de la electrónica de audio, con el afán de elaborar equipos de bajo consumo energético, a igual que su costo, que sean resistentes y que ocasionen un bajo impacto al medio ambiente, han optado por sacrificar la calidad del sonido, para lograr los propósitos antes mencionados, basándose quizás, en que esto no afectaría de manera considerable la eficiencia sonora.

Sin embargo el otro lado de la moneda, los artistas profesionales no están de acuerdo con ello, debido a que estos, buscan en sus equipos la mayor calidad musical que se pueda obtener, más allá de cualquier otro beneficio que no concierna a esto.

Es por esto que en el presente proyecto, se propone un diseño basado en la utilización de las ya conocidas Válvulas Termoiónicas para un amplificador de guitarra de 50 Watts, las cuales en su época fueron las que predominaban específicamente en la industria musical, naciendo así la generación de los amplificadores íconos que hasta el día de hoy, han podido ser superados. A pesar de que las Válvulas Termoiónicas producen gran disipación y consumo de energía, ocupan mayor espacio y su costo es considerablemente alto comparado con los Transistores amplificadores de audio modernos a la hora de elegir son los preferidos.

En el *capítulo uno*, se expone una introducción y los objetivos que se desea llevar a cabo con este proyecto, en el *capítulo dos*, se expresa a detalle todo lo referente a la válvula termoiónica como es su tipología, polarización, aplicaciones típicas, etc. En el *capítulo tres*, se muestra los pasos a seguir para la construcción de un amplificador a válvulas.



1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVOS GENERALES

Construcción de un amplificador de 50 W con la tecnología de válvulas termoiónicas para la banda "Cuerdas Negras".

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Reconocer las diferentes etapas de un amplificador.
2. Realizar un estudio de las clases y configuraciones de las válvulas termoiónicas.
3. Elaborar el circuito que cumpla con los requerimientos, posterior a ello la construcción de la PCB.
4. Diseñar el chasis para el amplificador, en el cual se pueda ubicar la PCB, transformadores, válvulas de una forma organizada, luego proceder al ensamblaje del amplificador.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En el mundo de la música profesional, los guitarristas aún apuestan por usar equipos que utilizan válvulas termoiónicas, en vez de los más modernos transistores que a simple vista serian los más adecuados, teniendo en cuenta su costo, eficiencia etc.

La Banda de música "Cuerdas Negras" en su necesidad de adquirir un amplificador de guitarra para el género Rock distinto al que las casas musicales ofrecen, nos encomendó construirle un amplificador de guitarra de 50w con la tecnología de válvulas termoiónicas. Y esto dio paso a que surja este trabajo como nuestra tesis de grado.



CAPÍTULO 2

TEORÍA DE AMPLIFICACIÓN CON VÁLVULAS TERMOIONICAS

El primer amplificador de audio se hizo en 1906 por un hombre llamado Lee De Forest, después de la Segunda Guerra Mundial, se produjo un incremento de la tecnología debido a los avances desarrollados durante la guerra. Los primeros tipos de amplificadores de audio estaban hechos de tubos de vacío o válvulas.

Un ejemplo de ellos es el amplificador Williamson, de 1946. En ese momento, ese dispositivo en particular se consideró productor de un sonido de mayor calidad en comparación con otros amplificadores disponibles en el momento. El mercado de los amplificadores de sonido era grande y los dispositivos tipo válvula podían comprarse a precios económicos. En la década de 1960, los gramófonos y los televisores hicieron populares a los amplificadores de válvulas. [2]

Después de la invención de la válvula de potencia, se pudo elaborar amplificadores que abarcaban un mayor rango de recepción del sonido.

Entre las principales características que hacen posible que el amplificador a válvulas siga siendo el preferido por los artistas profesionales son las siguientes:

- PUREZA Y NITIDEZ DEL SONIDO

Una de las principales características de los amplificadores valvulares, es su pureza y nitidez del sonido, esto gracias a la cantidad de voltaje de entrada, que pueden manejar las válvulas sin que ocurra la saturación. [1]

- MAYOR RANGO DE FRECUENCIA

Como parte importante del amplificador valvular, está su etapa de salida, encargada por el transformador de potencia o también llamado acoplador de impedancias siendo estos elaborados para que abarquen un mayor rango de frecuencia. [1]

2.1 LA VÁLVULA TERMOIÓNICA

La válvula termoiónica es un componente electrónico que se usaba en la electrónica analógica y digital antes del uso del transistor y actualmente se utiliza solo en algunas aplicaciones específicas. Se utilizaba para amplificar, conmutar, o modificar una señal eléctrica mediante el control del movimiento de los electrones en un espacio vacío a muy baja presión, o en presencia de gases especialmente seleccionados.

La válvula originaria fue el componente crítico que posibilitó el desarrollo de la electrónica durante la primera mitad del siglo XX, incluyendo la expansión y comercialización de la radiodifusión, televisión, radar, audio, redes telefónicas, computadoras analógicas y digitales, control industrial, etc.

La válvula termoiónica está constituida por una ampolla o cápsula de vidrio, similar a la de las lámparas de incandescencia, a la que se le ha practicado el vacío y en la que se hallan un cátodo y un ánodo. Según el número de electrodos las válvulas se clasifican en: diodos, tríodos, tetrodos, pentodos y así sucesivamente. Otro tipo de válvulas termoiónicas son los tubos de rayos catódicos que se utilizan para las pantallas de televisión, los tiratrones, los iconoscopios, etc.

El material más utilizado en construcción de la válvula termoiónica es el vidrio, ya heredado de la fabricación de bombillas. Pero el vidrio tiene bajo punto de fusión, es un buen aislante térmico y es frágil, de modo que para válvulas de alta potencia y radiofrecuencia se prefiere utilizar cerámicas, que son menos frágiles, tienen buena conductividad térmica y alto punto de fusión. [2]

2.2 CARACTERISTICAS

Aunque existe una gran diversidad de tipos de válvulas termoiónicas, tanto en su aplicación como en sus principios de funcionamiento, la mayoría comparten una serie de características comunes y son las siguientes:



- FILAMENTO

El filamento como se muestra en la *Fig. 2.1* es el órgano calefactor que proporciona la energía suficiente para que el cátodo emita una cantidad de electrones adecuada.

En las primeras válvulas, el filamento también actuaba como cátodo (cátodo de caldeo directo). Posteriormente se separaron las funciones, quedando el filamento sólo como calefactor y el cátodo como electrodo separado (cátodo de caldeo indirecto). Ambas formas convivieron ya que el caldeo directo mejora la transferencia térmica entre el cátodo y el filamento, mientras que el caldeo indirecto simplifica grandemente el diseño de los circuitos y permite optimizar cada uno de los electrodos.

El filamento, al estar caliente, se ve sometido al efecto de sublimación del material de su superficie, es decir, su paso al estado gaseoso, lo que va reduciendo su sección en ciertos puntos que ahora se calientan más que el resto, aumentando la sublimación en ellos hasta que el filamento se rompe. [4]

- CÁTODO

El cátodo de acuerdo a la *Fig. 2.1* es el responsable de la emisión de electrones, que debe ser constante a lo largo de la vida de la válvula. Desgraciadamente, esto no es así, y los cátodos se van agotando según envejecen.

Para prolongar la vida de los filamentos, la temperatura de funcionamiento de los cátodos ha ido haciéndose cada vez menor, gracias al empleo de materiales con un potencial de extracción de electrones más bajo, como aleaciones de torio, óxidos de lantánidos. Los cátodos también deben ser buenos conductores, lo que limita la aplicación de algunos recubrimientos a aplicaciones muy particulares. [4]

- ÁNODO

El ánodo recibe el flujo de electrones que, en la mayoría de las válvulas, han sido acelerados hasta adquirir gran energía que transfieren al ánodo cuando chocan contra él. Por ello, los ánodos de las válvulas de potencia son grandes (*Fig. 2.1*), muchas veces masivos y forman parte del propio cuerpo de la válvula, pudiendo refrigerarse directamente desde el exterior, por contacto con una superficie fría, aire a presión, vapor de agua, etc. Anteriormente, la refrigeración de ánodo se

realizaba fundamentalmente por radiación, por lo que las ampollas de vidrio eran grandes y separadas del ánodo, para que éste pudiese adquirir gran temperatura. La emisión secundaria es un efecto, normalmente indeseable, que se produce en el ánodo, cuando los electrones incidentes, de gran energía, arrancan electrones del metal. Aunque en algunas válvulas este efecto se aprovecha para obtener ganancia, en la mayoría de ellas degrada la señal y debe evitarse. [4]

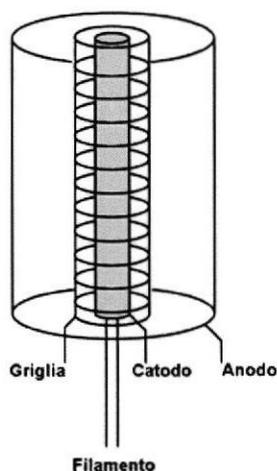


Fig. 2.1 Electrodos de una válvula termoiónica.

2.3 TIPOS DE VÁLVULAS TERMOIÓNICAS

La tipología de las válvulas se destacan por el número de electrodos entre las que aun están vigentes y dirigidas al desarrollo de amplificadores están los: Diodos (diodo de vacío), Tríodos, Tetrodos y Pentodos. [3]

- VÁLVULA DIODO

La válvula termoiónica (*Fig. 2.2*) de vacío más simple que existe es el diodo y fue inventado por John Ambrose Fleming. Consta de dos electrodos, el cátodo y el ánodo o placa. Gracias al efecto termoiónico, ocurre el milagro de la conducción eléctrica en el sentido cátodo-ánodo, y no al contrario. Por ello se le llama válvula a estos dispositivos.

La emisión termoiónica es un fenómeno que se da en los metales. En los átomos de éstos, existen electrones con un movimiento arbitrario, y cuya velocidad depende de la temperatura. Conforme aumenta la temperatura, crece su velocidad, pudiendo abandonar la superficie metálica.

A medida que los electrones abandonan el cátodo, forman una "nube electrónica", similar a las moléculas que forman un gas y cuya carga neta es negativa, puesto que está formada por electrones. El emisor de estos electrones es el cátodo, que se calienta mediante una resistencia o filamento de tungsteno puro, toriado o recubierto de una capa de óxido de bario. El filamento se calienta haciendo pasar una corriente (la corriente de caldeo). Si ahora aplicamos una tensión entre ánodo y cátodo (V_{ak}) siendo el ánodo más positivo, se produce una corriente eléctrica al ser los electrones atraídos por el ánodo, que está a potencial positivo.

A esta corriente se le llama corriente de placa. Si se aumenta la tensión V_{ak} , se produce un aumento de la corriente de placa (I_a), hasta alcanzar el valor de saturación (I_s), en el que la corriente no aumenta por mucho de subamos la tensión aplicada. Esto es debido a que la placa recoge todos los electrones que emite el cátodo, y no puede aumentar la corriente a menos que aumentásemos la emisión de electrones subiendo la temperatura de caldeo. La corriente de saturación I_s depende entonces del número de electrones que emita el cátodo.

Al principio, las válvulas eran de caldeo directo la mayoría, por su simplicidad, pero después se introdujo en masa la fabricación de válvulas con caldeo indirecto, que es más fiable y duradero. Últimamente ha resurgido la demanda de tríodos de caldeo directo, por supuesta superioridad sónica.

Así pues, el diodo se caracteriza porque conduce la corriente sólo en una dirección, cuando está polarizado en sentido directo: esto es, el ánodo positivo y el cátodo negativo. Esto hace que sea utilizado en la rectificación de una corriente alterna para obtener corriente continua. Las tensiones habituales de polarización son del orden de 300 ó 400 voltios, incluso más. Esto es un gran inconveniente de las válvulas, por el peligro que conlleva para nuestra seguridad. [4]

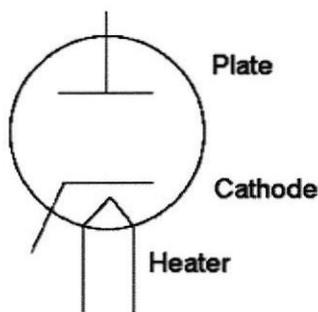


Fig. 2.2 Válvula diodo y símbolo.

- TRÍODO

La disposición física de estos electrodos se muestra en la Fig. 2.3. El cátodo emite electrones por el efecto termoiónico mencionado anteriormente, formando la carga espacial o nube electrónica. Como la rejilla tiene grandes espacios entre los hilos, los electrones logran circular a través de ella sin dificultades y llegar al ánodo cuando el tríodo está polarizado. Si ahora aplicamos una tensión negativa a la rejilla, los electrones encontrarán una oposición a su desplazamiento natural del cátodo al ánodo, y se verán repelidos hacia el cátodo, con mayor fuerza cuanto más negativa hagamos la rejilla. Esto se traduce en una disminución de la corriente de placa (I_a), tanto más cuanto más negativa hagamos la rejilla (V_g).

Si la tensión aplicada a la rejilla es nula, entonces el tríodo se comporta como un diodo y es como si no existiera la rejilla de control. Si la rejilla es positiva, entonces algunos electrones circularían por este electrodo, pero esta polarización no es la habitual. En resumidas cuentas, tenemos 3 casos:

- $V_g < 0$ la rejilla es negativa con respecto al cátodo y la corriente de placa disminuye.
- $V_g = 0$ la rejilla está al mismo potencial que el cátodo y es como si no existiera (sería un diodo).
- $V_g > 0$ la rejilla es positiva con respecto al cátodo y algunos electrones se van por ella (no se utiliza).

Lo que tenemos es un dispositivo que al variar la tensión en la rejilla V_g , provoca una variación de la corriente de placa I_a . La aplicación de esto es inmediata, si conectamos una resistencia en la placa, la corriente, que sigue las variaciones de la tensión de rejilla, provocará que esta variación se refleje en la diferencia de potencial de la resistencia de placa, pero más grande que la señal de entrada, es decir, un circuito amplificador. [4]



Fig. 2.3 Válvula tríodo y símbolo.



- TETRODO

El tríodo tiene algunos inconvenientes, como su elevada capacidad rejilla-placa (C_{ga}) que limita su funcionamiento a frecuencias altas, pudiendo originar que una etapa amplificadora oscile a causa de la realimentación que se produce a través, precisamente de la capacidad interna C_{ga} .

Para remediar esto, se inserta un nuevo electrodo, la rejilla pantalla, situada entre la rejilla de control y la placa. Está formada por una hélice de conductor fino, siendo el espacio entre las espiras consecutivas muy grandes en relación con el diámetro del conductor, de manera que no obstaculiza el paso de los electrones hacia la placa.

La rejilla pantalla, que abreviadamente se denomina "pantalla", tiene una conexión a tal efecto en el exterior del tubo en forma de pin, al igual que todos los demás electrodos de la válvula. [4]

La rejilla pantalla (screen grid) tiene un potencial positivo respecto al cátodo en condiciones normales de funcionamiento, y para señales alternas se desacopla con un condensador de capacidad suficientemente grande. La pantalla constituye un blindaje eléctrico (shield) entre rejilla y placa, y la capacidad que forman ambos electrodos queda muy disminuida. En el tríodo, C_{ga} es del orden de algunos (pF), mientras que en el tetrodo es unas cien veces menor.

En el tetrodo, los electrones de la carga espacial están sometidos, al igual que en el tríodo, a la acción de la rejilla de control. En segundo lugar, están sometidos a la acción de la placa y de la pantalla, ambas a potencial positivo respecto al cátodo. Como la pantalla está mucho más cerca del cátodo que de la placa, su acción es mucho más energética, teniendo en cuenta, además, el efecto blindaje de la pantalla, que aísla al cátodo de la influencia del ánodo o placa. Se puede considerar, que en el tetrodo, la corriente emitida por el cátodo está casi exclusivamente gobernada por rejilla de control y rejilla pantalla (g_1 y g_2), constituyendo casi un tríodo virtual estos tres electrodos. Pero como la rejilla pantalla es tan fina y existe gran separación en la espiral que forma, los electrones no se detienen en este punto, sino que finalmente colisionan con el ánodo que está a potencial positivo y los recoge finalmente.

Si observamos la familia de curvas $I_a = f(V_a)$ de un tetrodo, observamos que tiene un comportamiento anómalo en la región de tensión de placa pequeña.

Esto es debido al efecto denominado "emisión secundaria" de electrones por parte del ánodo, que consiste en que al llegar al ánodo un electrón con una velocidad muy grande, provoca el desprendimiento de algunos electrones, pudiendo suceder que se desprendan mayor número de electrones de los que llegan. Estos electrones desprendidos por emisión secundaria, son atraídos por la rejilla pantalla, que está a una mayor tensión positiva que la placa. A medida que aumenta la tensión de placa, el fenómeno va disminuyendo hasta su desaparición.

Debido a la emisión secundaria, el tetrodo (Fig. 2.4) es inutilizable a efectos prácticos en la zona anómala de funcionamiento, es decir, a tensiones de placa bajas. Para mejorar el comportamiento del tetrodo, se inventó el tetrodo de haces dirigidos (beam tetrode).

El tetrodo como se ha descrito anteriormente no es una válvula utilizada, en su lugar se emplea el de haces dirigidos que presenta características muy similares a las del pentodo, habiéndose suprimido el inconveniente de la emisión secundaria de electrones mediante unas placas deflectoras conectadas interiormente al cátodo de la válvula, que canalizan el flujo de electrones hacia la placa en unos haces en los que la concentración de estas partículas es muy elevada, y es tan grande el campo eléctrico generado que basta para repeler nuevamente hacia el ánodo a los electrones generados por emisión secundaria.

Los parámetros fundamentales del tetrodo son diferentes a los del tríodo, siendo su factor de amplificación μ mucho mayor, así como la resistencia interna R_i .

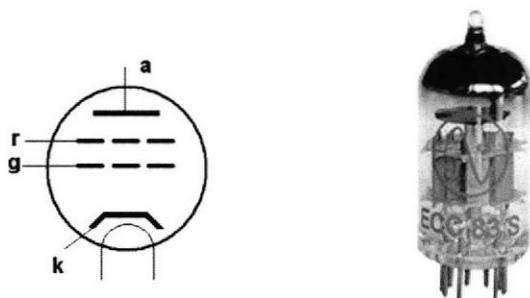


Fig. 2.4 Válvula tetrodo y símbolo.

- PENTODO

Este último dispositivo cuenta que una tercera rejilla como se ve en la Fig. 2.5, es decir una más que el tetrodo. Esta rejilla supresora se colocó entre la rejilla de pantalla y la placa. Así se obtiene un dispositivo conformado por 5 electrodos, la placa, las 3 rejillas y el cátodo.

Es importante mencionar que en cuanto a la construcción del pentodo, esta rejilla en la mayoría de los casos se conecta directamente al cátodo.



Debido al fenómeno de la emisión secundaria de electrones, cuando la tensión de ánodo no es suficientemente elevada, se produce la distorsión alineal que observamos en la curva de características del tetrodo.

Para evitar precisamente este inconveniente, se inventó un nuevo dispositivo llamado pentodo, al que se le añadió un nuevo electrodo entre ánodo y rejilla pantalla, llamado rejilla supresora (g3). Para que la rejilla supresora cumpla su cometido, tiene que estar al mismo potencial que el cátodo, o sea, negativo con respecto a la placa. Como cátodo y rejilla supresora tienen que estar al mismo potencial, los pentodos tienen estos dos electrodos habitualmente conectados internamente, y hay otros modelos que no incluyen la conexión interna para posibilitar que rejilla supresora y cátodo no estén a la misma tensión, que algunos circuitos especiales requieren. [4]

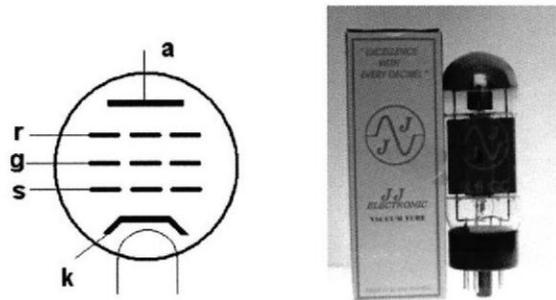


Fig. 2.5 Válvula pentodo y símbolo

2.4 POLARIZACIÓN

- POLARIZACIÓN DEL TRÍODO

Para la operación normal del tríodo se polariza de acuerdo a la Fig. 2.6, aunque en la práctica no se utilizan dos fuentes, sino que se intercala una resistencia en el cátodo, y la corriente hace que la caída de tensión en la misma ponga la rejilla a potencial negativo con respecto al cátodo ($V_{gk} < 0$). [1]



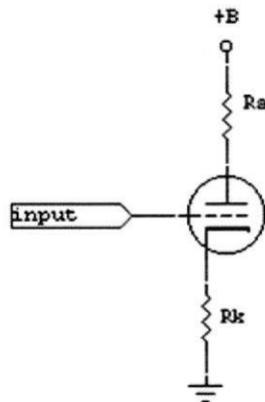


Fig. 2.6 Polarización de un triodo.

Recordemos que la polarización habitual de la rejilla de control es negativa. La representación de la figura es a efectos teóricos de polarización y nunca como circuito amplificador.

La aplicación de una señal a la entrada sería de efectos nulos, puesto que la resistencia de la batería de rejilla es prácticamente cero, con lo que representa un cortocircuito.

Del mismo modo, la señal de salida ve un cortocircuito entre placa y tierra. El circuito de la derecha muestra la llamada polarización automática, que consiste en añadir R_k al cátodo, y que al circular la corriente la produce una caída de tensión que pone a la rejilla con tensión negativa respecto al cátodo. La tensión de funcionamiento de este triodo sería la diferencia de potencial entre placa y cátodo, V_{ak} y que en los manuales llaman V_a , lo cual crea confusión.

Si la rejilla está en su zona de funcionamiento normal, esto es, $V_g < 0$, entonces la corriente que circula por la misma es prácticamente cero. Por tanto, la corriente anódica equivale a la corriente de cátodo. Siguiendo el camino desde placa a cátodo por el circuito obtenemos la expresión de V_{ak} :

$$V_{ak} = -I_a R_a + B - I_a R_k = B - I_a (R_a + R_k)$$

Según esta ecuación, si disminuimos los valores de las resistencias R_a , R_k , entonces aumenta la tensión V_{ak} . Pero no podemos determinar cuál es su valor exacto, puesto que la corriente de placa (I_a) también aumenta algo, y necesitamos consultar las familias de curvas (Fig. 2.7) $V_{ak}-I_a$ para poder determinar con una aproximación razonable el punto de polarización.

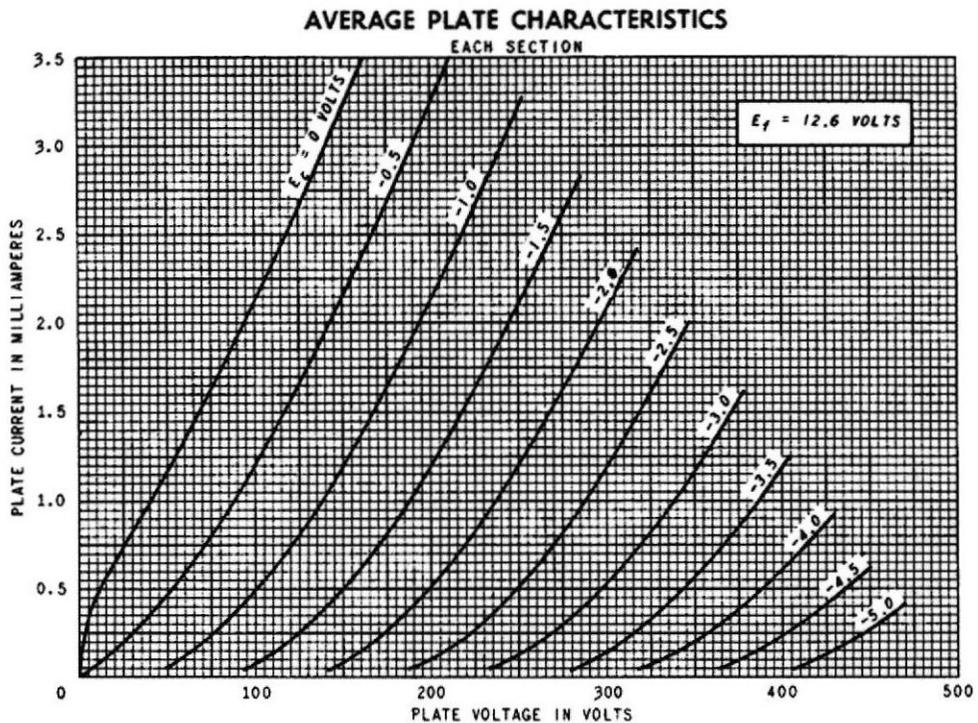


Fig. 2.7 Familia de curvas de una válvula triodo.

PUNTO DE POLARIZACIÓN

En cualquier dispositivo electrónico del tipo válvula o transistor bipolar (BJT, Bipolar Junction Transistor), o transistor monopolar (FET, MOSFET, IGFET) se consideran "dos tipos" de corrientes, o generalizando, dos tipos de señales eléctricas. Por un lado las que se pueden considerar continuas, que no tienen componente alterna, y por otro las señales alternas puras, sin componente continua. Precisamente éstas últimas son las que configuran el punto de polarización. En el anterior circuito, cuando la señal de entrada por la rejilla es nula, se dice que el triodo está en reposo, aunque la corriente de placa no valga cero. Esto es porque en ese triodo, circulan sólo corrientes continuas y por tanto las tensiones también son constantes en el tiempo, y diremos que son las de polarización. [4]

- POLARIZACIÓN DEL PENTODO

El funcionamiento del pentodo es similar al del tetrodo, con la diferencia de que la inclusión de la rejilla supresora evitará que los electrones secundarios emitidos por la placa lleguen a la rejilla pantalla (g2). Los electrones que parten del cátodo, lo

hacen con una elevada energía cinética, y atraviesan el campo eléctrico de la rejilla supresora con relativa facilidad, a pesar de estar a potencial negativo. Los electrones originados por emisión secundaria, procedentes del ánodo, poseen una energía cinética menor, y en su trayecto hacia el cátodo se encuentran con la barrera electrostática que forma la rejilla supresora, que está a potencial negativo, y es suficiente para rechazarlos de nuevo hacia la placa, que está a potencial positivo.

Como consecuencia, se elimina el efecto de emisión secundaria, y la familia de curvas $f(V_a)=I_a$ aparecen libres de la distorsión anómala que padece el tetrodo. Observemos la curva del pentodo. Cuando la tensión de placa (V_a) es pequeña, la corriente es muy sensible a los cambios de V_a , y aumenta rápidamente a medida que aumentamos la tensión de placa. Cuando V_a alcanza los 50 voltios, aproximadamente, un aumento de V_a no produce apenas cambios en la corriente de placa. Ver Fig. 2.8

Al eliminar la zona anómala que tenía el tetrodo, se extiende la zona útil de funcionamiento del dispositivo hasta las bajas tensiones de placa, y además, debido a la inclusión de la rejilla supresora, el efecto blindaje entre placa y rejilla de control es aún mayor, y como consecuencia disminuye la capacidad que forman ambos electrodos (C_{ga}) y que es del orden de la milésima de picofaradio. También aumenta la resistencia interna, puesto que la curva es casi horizontal cuando $V_a > 50$ voltios, ya que $R_i = dV_a/dI_a$ y el cociente es muy pequeño en esta expresión. [4]

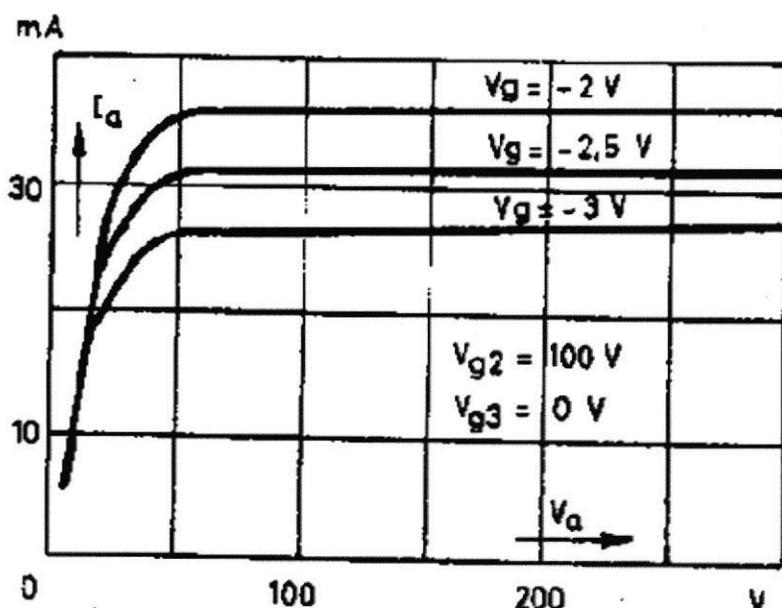


Fig. 2.8 Familia de curvas de una válvula pentodo.

2.4.1 CLASE DE LOS AMPLIFICADORES A VÁLVULAS

Los amplificadores funcionan de manera diferentes según al régimen al que estén sometidos. La clase de funcionamiento viene determinado por la posición del punto de funcionamiento en la característica dinámica y por la amplitud de tensión de entrada de la válvula.

Las clases de funcionamiento se denominan, bajo los criterios citados, en Clase A, Clase AB, etc.

- CLASE A

El amplificador funcionando en clase A es como reproduce con mayor exactitud en el circuito del ánodo las oscilaciones de la señal aplicadas a la grilla; sin embargo no suele utilizarse en los circuitos de potencia por no proporcionar la potencia que se puede conseguir con otras clases de funcionamiento. Ver Fig. 2.9

Para que la válvula trabaje en clase A es preciso que su tensión de polarización de grilla este situada en el punto medio de la recta de su curva característica. [3]

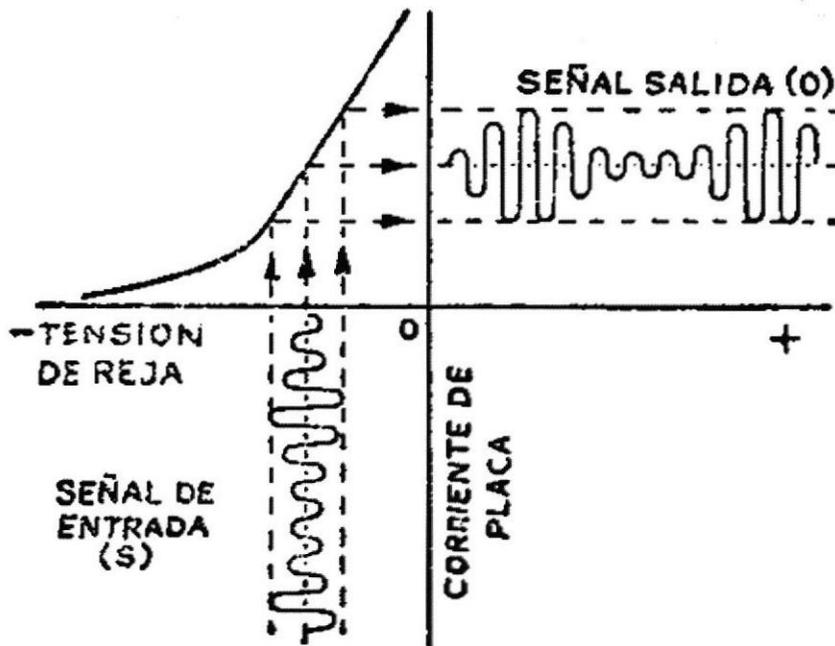


Fig. 2.9 Funcionamiento de una válvula amplificadora en clase A.

- CLASE B

En los amplificadores funcionando en clase B la tensión de polarización de grilla es mucho más negativa que en clase A, de forma que la corriente de reposo es muy pequeña. Como consecuencia de ello, la señal a la salida del amplificador se encuentra fuertemente distorsionada quedando muy recortado los picos negativos de la misma. [3]

El rendimiento de este amplificador es sin embargo elevado, y solo se utiliza en amplificadores en Contrafase o Push-Pull. Ver Fig. 2.10

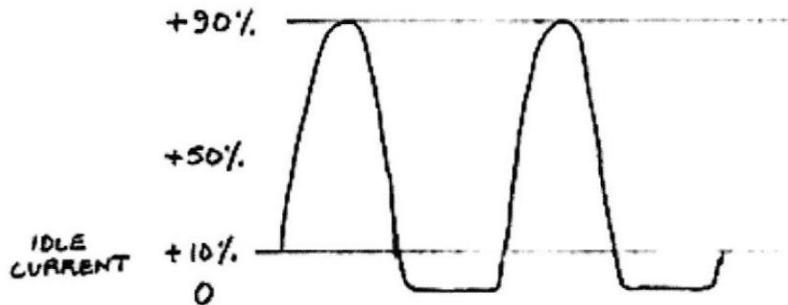


Fig. 2.10 Funcionamiento de una válvula amplificadora en clase B

- CLASE AB

En la clase AB se polariza la válvula con una tensión negativa de grilla cuyo valor este situado entre el aplicado en un funcionamiento clase A y un funcionamiento clase B y de ahí su nombre AB. Ver Fig. 2.11

Un amplificador en AB amplifica considerablemente las señales positivas aplicadas a la grilla y en menor grado las señales negativas aplicadas al mismo electrodo. [3]

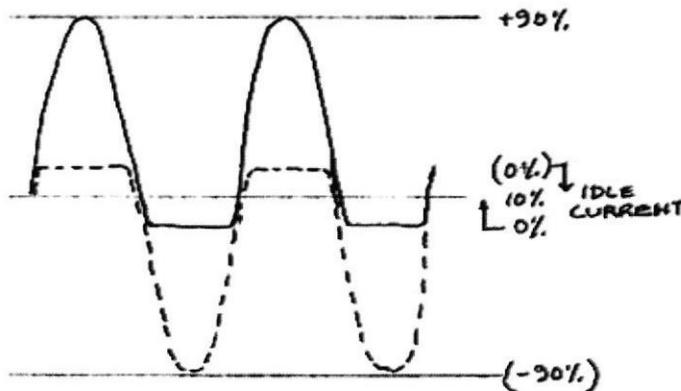


Fig. 2.11 Funcionamiento de una válvula amplificadora en clase AB.



2.4.2 CONFIGURACIÓN DE LOS AMPLIFICADORES A VÁLVULAS

La configuración refiere al número y a la disposición de las válvulas. Los términos comunes para describir configuraciones de válvulas de salida son "single-ended" y "push-pull".

- SINGLE-ENDED

En single-ended, la señal entera recorre un solo camino y es amplificada por una válvula a la vez. La señal que sale del cable de la guitarra es single-ended (Fig. 2.12). Hay solamente un conductor (más la tierra) que lleva la señal entera, haciéndola ir hacia adelante y hacia atrás, entre más y menos voltaje según se mueve la cuerda hacia un lado y hacia el otro frente al micrófono. Como ese voltaje pasa a través de las etapas del preamplificador, sigue siendo single-ended. Mayormente la salida single-ended se utiliza para economizar pero también tiene algunas características tonales muy interesantes. [3]

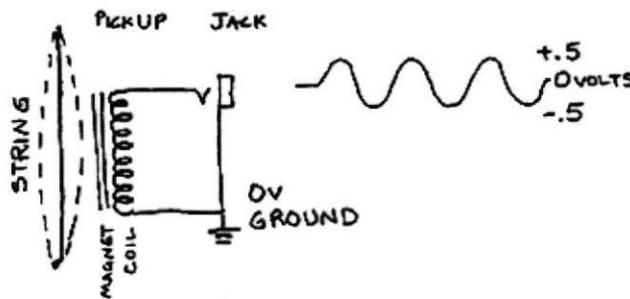


Fig. 2.12 Salida de señal de guitarra.

- PUSH-PULL

La configuración de potencia como se observa en la Fig. 2.13, mucho más común es la push-pull. Aquí la señal primero es separada en dos mitades, 180 grados "fuera de la fase" una con respecto a la otra. La "parte positiva" es amplificada por una válvula, y la "parte negativa" por la otra; luego las dos mitades de la señal "se recombinan" en el transformador de salida nuevamente en un voltaje single-ended para mover el parlante. Imaginemos una ducha con dos grifos caliente y fría separados donde el agua se mezcla junta y sale toda de una misma canilla.

La mayoría de los amplificadores de potencia utilizan la configuración push-pull porque permite que las válvulas trabajen más eficientemente, produciendo más potencia con menos unidades, con menos calor inútil, ya veremos cómo. Mientras tanto, observemos que el push-pull requiere al menos dos válvulas y se pueden agregar pares adicionales en "paralelo" para aumentar la potencia. Esa es la razón porqué siempre se ven dos, cuatro, seis, o a veces más, válvulas de potencia en un amplificador, pero siempre en un número par. [4]



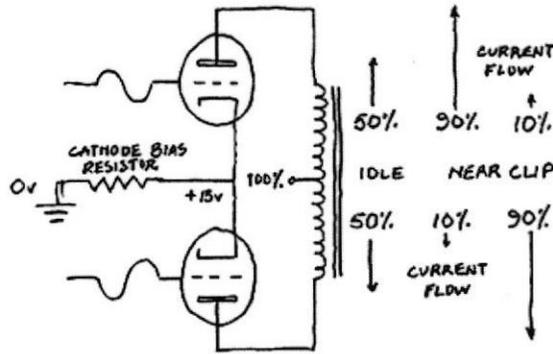


Fig. 2.13 Esquema de un circuito amplificador en simetría Push-Pull.

2.5 AMPLIFICADOR DE TENSIÓN

Recibe la denominación de amplificador todo aquel elemento capaz de aumentar la magnitud o energía de una señal sin modificación sensible de su forma de onda característica.

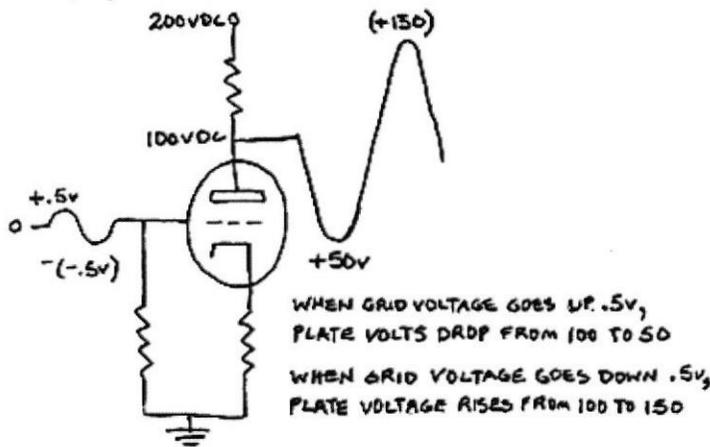


Fig. 2.14 Esquema de un amplificador de tensión en configuración single-ended.

La Fig. 2.14 muestra la misma válvula bajo condiciones dinámicas. Mientras que el voltaje de entrada se hace positivo, reduce la fuerza de rechazo que la grilla tenía en reposo. Más electrones, entonces, fluyen a la placa, causando una mayor caída de tensión a través del resistor de la misma. Esto reduce el voltaje en la placa de 100 a 50 voltios. Cuando la grilla se hace negativa, se invierte el efecto; rechaza más electrones y causa menos caída de tensión a través del resistor de carga de placa permitiendo que el voltaje en la placa se levante a 150 voltios. Así la señal de

entrada de 1 voltio ahora ha causado un cambio de 100 voltios en la placa. Acoplado esta "CC que fluctúa" a través de un condensador o de un transformador, el componente de la CC es bloqueado y solamente quedan fluctuaciones como señal pura de CA de 100 voltios, o, + y - 50.

2.6 AMPLIFICADOR DE POTENCIA

En este caso deberá tomarse en cuenta que tipo de amplificador se requiere puesto que al contrario de los amplificadores de tensión, aquí se busca potencia. Para esto se tiene clases y configuraciones como se expuso en el capítulo anterior.

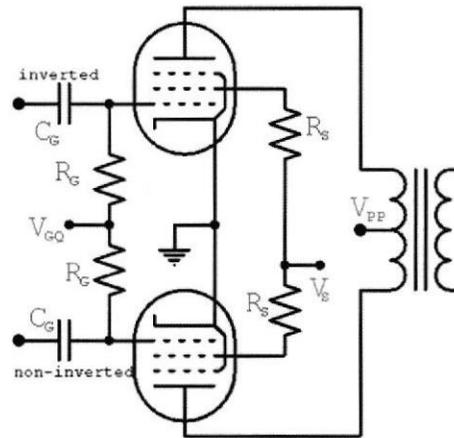


Fig. 2.15 Amplificador de potencia con válvulas pentodo.

En la Fig. 2.15 se muestra un amplificador de potencia en configuración push-pull clase AB.

CAPÍTULO 3

CONSTRUCCIÓN DEL AMPLIFICADOR

3.1 ESPECIFICACIONES REQUERIDAS

El amplificador que se va a construir para el género rock, entendiéndose esto como un equipo netamente High-Gain (alta ganancia) con los siguientes requerimientos:

| |
|-----------------------------------|
| Potencia 50W |
| 1 Entrada para Guitarra. |
| 1 Control de Gain |
| 1 Control de Tono (Tone Stack) |
| 1 Control de Master |
| 1 Control de Presencia (Presence) |
| 2 Salidas para Parlantes |
| 1 Control de Impedancias |

Tabla 1 Lista de Requerimientos del amplificador.

3.2 ELABORACIÓN DEL CIRCUITO

Teniendo en cuenta que es un amplificador de Alta Ganancia (High-Gain), se procede a desarrollar el circuito del amplificador sabiendo que todo sistema de audio consta de las siguientes etapas básicas. Ver Fig. 3.1

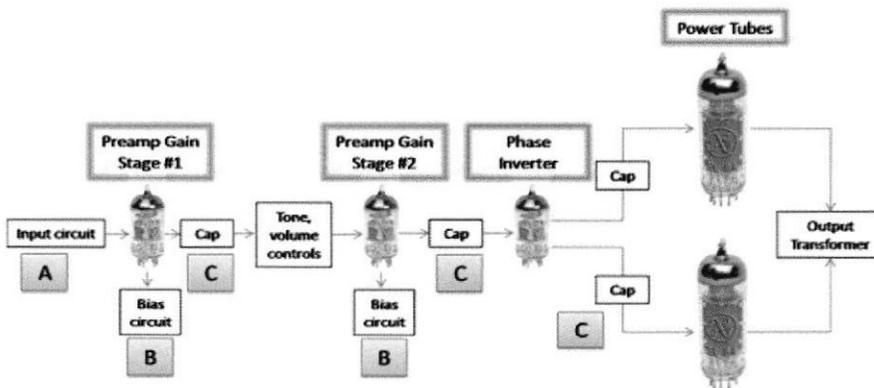


Fig. 3.1 Circuito de amplificador de guitarra por bloques.



3.2.1. ETAPA DEL PREAMP

Se continuó a la realización del circuito de preamp.

Como el amplificador es un High Gain (Alta Ganancia) consta de 4 etapas de pre amplificación, en la Fig. 3.2 se puede observar una de ellas, debido a que este tipo de amplificador es de alta saturación el resto de etapas son similares.

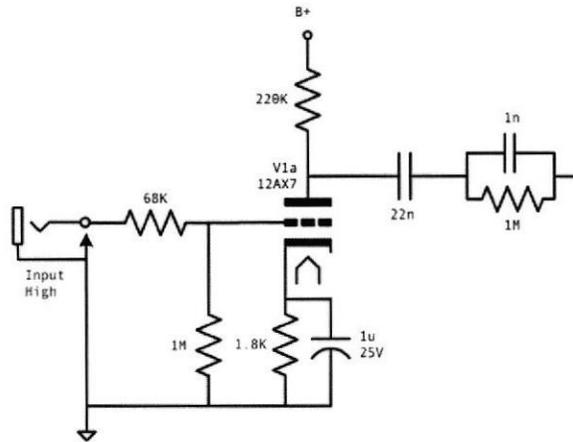


Fig. 3.2 Primera etapa del preamp.

- CONTROL DE TONO

Siguiendo con las especificaciones se añadió un control de tono (Tone Stack) utilizado en la mayoría de los amplificadores con este tipo de características (Fig. 3.3), ubicado después de las etapas preamplificadoras de tensión.

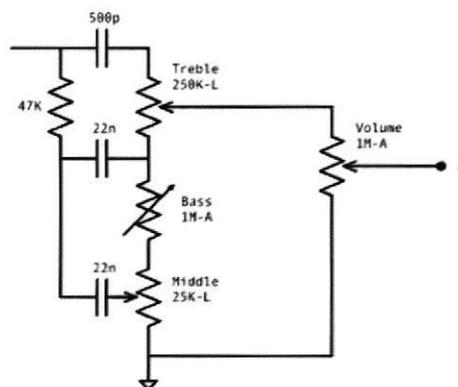


Fig. 3.3 Control de tono

3.2.2 ETAPA DE POTENCIA

Para esta etapa se utilizó un circuito de potencia estándar (Fig. 3.4.) muy característico en los amplificadores de alta ganancia (High-Gain).

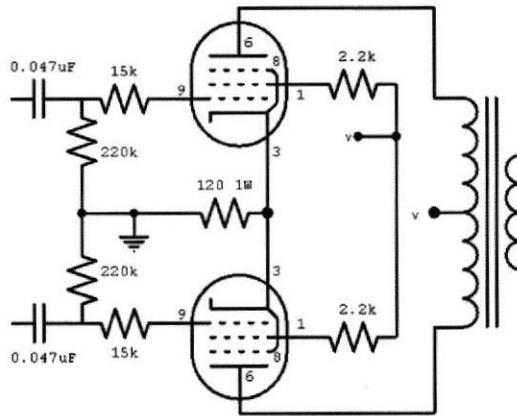


Fig. 3.4 Circuito de la etapa de potencia

3.2.3 FUENTE DE VOLTAJE

Los voltajes requeridos para el amplificador deben ser de más de 480v para alimentar la etapa de potencia y por ello se empleo el diseño de la fuente mostrada a continuación Fig. 3.5.

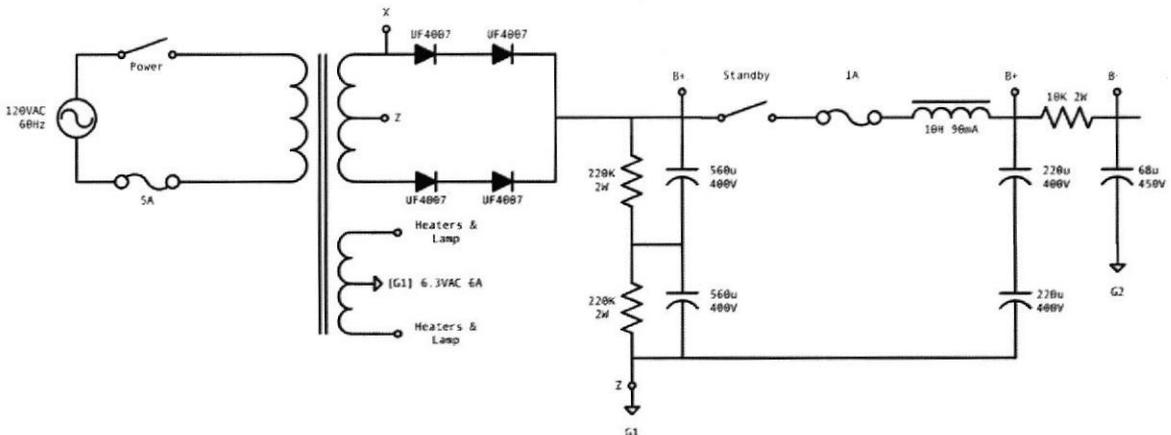


Fig. 3.5 Fuente de Voltaje.



3.3 SELECCIÓN DE ELEMENTOS

Para el diseño de este tipo de amplificadores se procedió a la selección de los elementos teniendo en cuenta la calidad de estos como es su baja tolerancia, es decir se eligieron componentes de precisión.

En la siguiente tabla se muestra la lista de los componentes utilizados en el amplificador. Ver *Tabla 2*.

| COMPONENTE | VALOR | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | TOTAL |
|---------------------------------------------|-------|----------|-----------------|-------|
| <i>Resistencias(Ω)</i> | | | | |
| 1/2w | 1M | 4 | 0,8 | 3,20 |
| 1/2w | 470K | 2 | 0,8 | 1,60 |
| 1/2w | 330K | 1 | 0,8 | 0,80 |
| 1/2w | 220K | 3 | 0,8 | 2,40 |
| 1/2w | 100K | 4 | 0,8 | 3,20 |
| 1/2w | 82K | 1 | 0,8 | 0,80 |
| 1/2w | 68K | 1 | 0,8 | 0,80 |
| 1/2w | 47K | 1 | 0,8 | 0,80 |
| 1/2w | 39K | 2 | 0,8 | 1,60 |
| 1/2w | 15K | 2 | 0,8 | 1,60 |
| 1/2w | 10K | 1 | 0,8 | 0,80 |
| 1/2w | 4.7K | 1 | 0,8 | 0,80 |
| 1/2w | 2.2K | 2 | 0,8 | 1,60 |
| 1/2w | 1.8K | 4 | 0,8 | 3,20 |
| 1/2w | 470 | 1 | 0,8 | 0,80 |
| 2w | 220k | 2 | 1,65 | 3,30 |
| 3w | 470 | 2 | 2,8 | 5,60 |
| 2w | 10k | 1 | 1,65 | 1,65 |
| 2w | 15k | 1 | 1,65 | 1,65 |
| <i>Potenciómetros (Ω)</i> | | | | |
| 2w | 1M | 3 | 9,5 | 28,50 |
| 2w | 500K | 1 | 9,5 | 9,50 |
| 2w | 250K | 1 | 9,5 | 9,50 |
| 2w | 25K | 2 | 9,5 | 19,00 |
| <i>Capacitores (F)</i> | | | | |

| | | | | |
|------------------------|----------------|---|------|-------|
| 400v | 560u | 2 | 16,5 | 33,00 |
| 400v | 220u | 2 | 8,6 | 17,20 |
| 100v | 100u | 2 | 2,75 | 5,50 |
| 450v | 68u | 1 | 7,3 | 7,30 |
| 450v | 33u | 1 | 4,8 | 4,80 |
| 400v | 1u | 3 | 0,8 | 2,40 |
| 400v | 100n | 3 | 3,2 | 9,60 |
| 500v | 1n | 2 | 0,75 | 1,50 |
| 400v | 0.22n | 9 | 3,8 | 34,20 |
| 500v | 47p | 2 | 0,9 | 1,80 |
| Válvulas | | | | |
| pre amp | 12AX7 | 4 | 19,6 | 78,40 |
| power amp | 6L6GC | 2 | 27,2 | 54,40 |
| Otros | | | | |
| Fusibles | | | | |
| | 1A y 5A | 2 | 1,6 | 3,20 |
| Sockets | | | | |
| tríodo | 9 pines | 4 | 4,9 | 19,60 |
| pentodo | 8 pines | 2 | 6,15 | 12,30 |
| fusible | | 2 | 3,7 | 7,40 |
| power cord | | 1 | 1,8 | 1,80 |
| Switches | | | | |
| toggle | on/off | 2 | 4,8 | 9,60 |
| rotary | 3 posiciones | 1 | 15,6 | 15,60 |
| Jack plug | | | | |
| | de 1/4 | 3 | 3,6 | 10,80 |
| Perillas | | | | |
| | hexagonal | 8 | 2,6 | 20,80 |
| Cables | | | | |
| Cable | 20 awg 600v | 1 | 8,25 | 8,25 |
| tipo bus | 20 awg 600v | 1 | 6,7 | 6,70 |
| Chasis | | | | |
| | aluminio | 1 | 75 | 75,00 |
| Transformadores | | | | |

| | | | | |
|--------|------|---|--------------|----------------|
| Fuente | 50 W | 1 | 225 | 225,00 |
| Salida | 50 W | 1 | 296 | 296,00 |
| | | | TOTAL | 1064,85 |

Tabla 2 Lista de elementos utilizados con sus respectivos precios

3.4 ENSAMBLAJE DEL AMPLIFICADOR

El ensamblaje se lo realizo de la siguiente manera:

PASO 1

Ubicación y soldada de los elementos en la PCB del amplificador. Como se observa en la *Fig. 3.6*

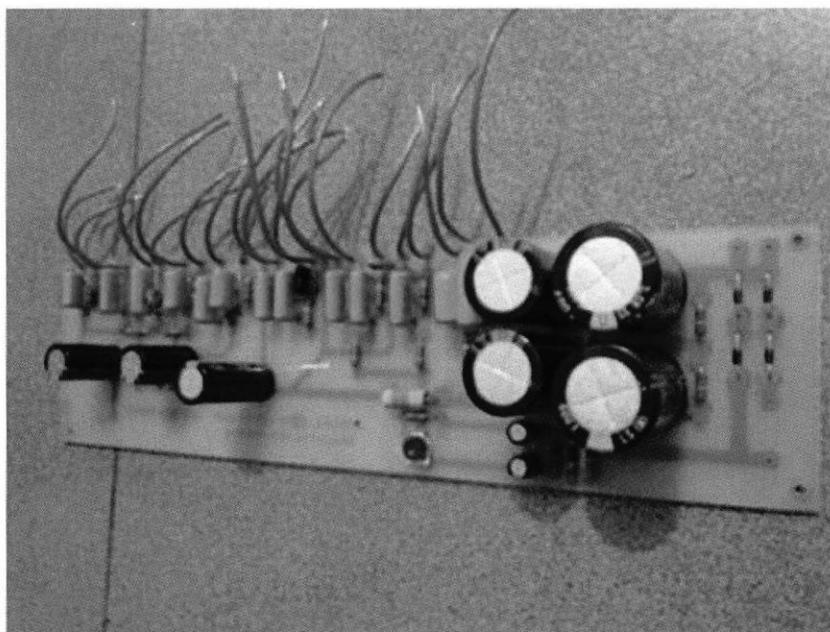


Fig. 3.6 PCB del amplificador.

PASO 2

Preparación del chasis (caja del amplificador) donde va a ir ubicado el PCB, TUBOS, etc. Como se ve en la *Fig. 3.7*.

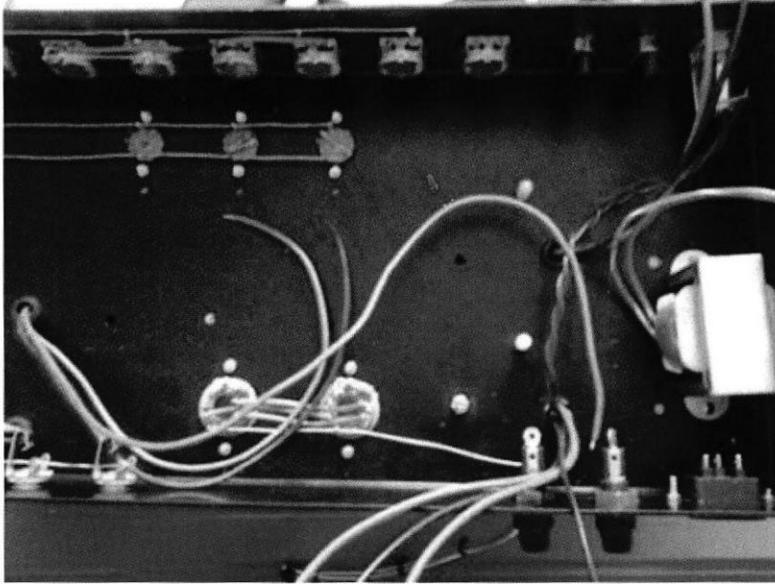


Fig. 3.7 Montaje y cableado de potenciómetros, sockets, choke y transformadores.

PASO 3

Montaje y soldada de PCB en el chasis. Ver *Fig. 3.8*.

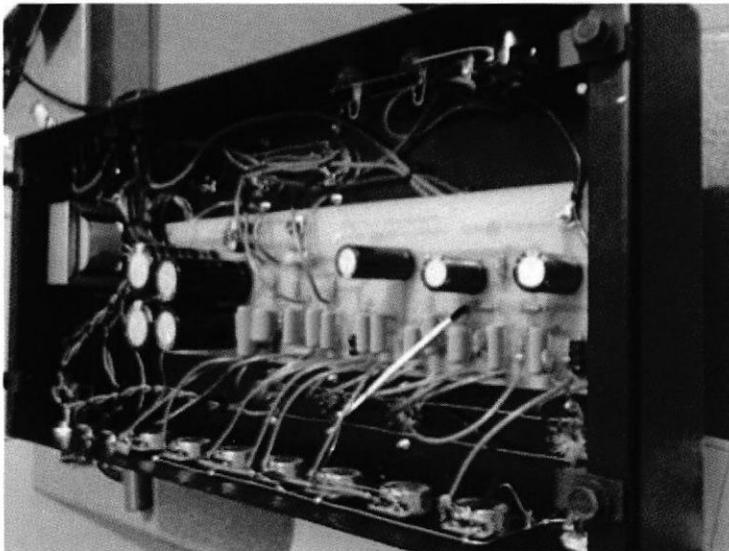


Fig. 3.8 Montaje del PCB en el chasis.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La realización de este proyecto dejó una amplia experiencia es la organización de los elementos al momento de diseñar una PCB, pues es muy importante tener en cuenta cómo va a ser la presentación de nuestro trabajo.

El proyecto aportó mucho a nuestro desarrollo profesional, claro está que se priorizó la calidad del audio que queríamos obtener, sino que también se dejó bien en claro que esto no hubiera sido posible, sin la exigencia de la precisión de los componentes utilizados.

Finalmente se concluye que con este proyecto finalizado exitosamente, deja énfasis que las bases desarrolladas a lo largo de nuestra preparación académica, fueron una vez más aplicadas con criterios profesionales y responsables dándonos ese sabor de emprender, sin ningún temor a nunca dudar de nuestra capacidad.

RECOMENDACIONES

Partiendo de nuestras experiencias adquiridas en este proyecto les damos las siguientes recomendaciones:

Para la construcción de este tipo de amplificadores tener mucho cuidado al momento de diseñar la PCB pues podrían ocasionar serios daños a los componentes y esto por el sobre entendimiento de que los elementos a utilizarse para la realización del mismo no son comunes en nuestro mercado.

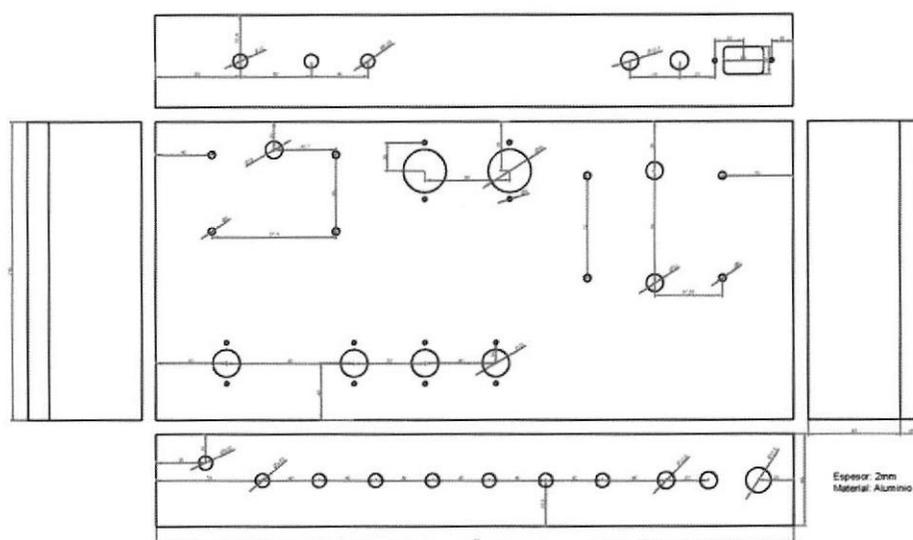
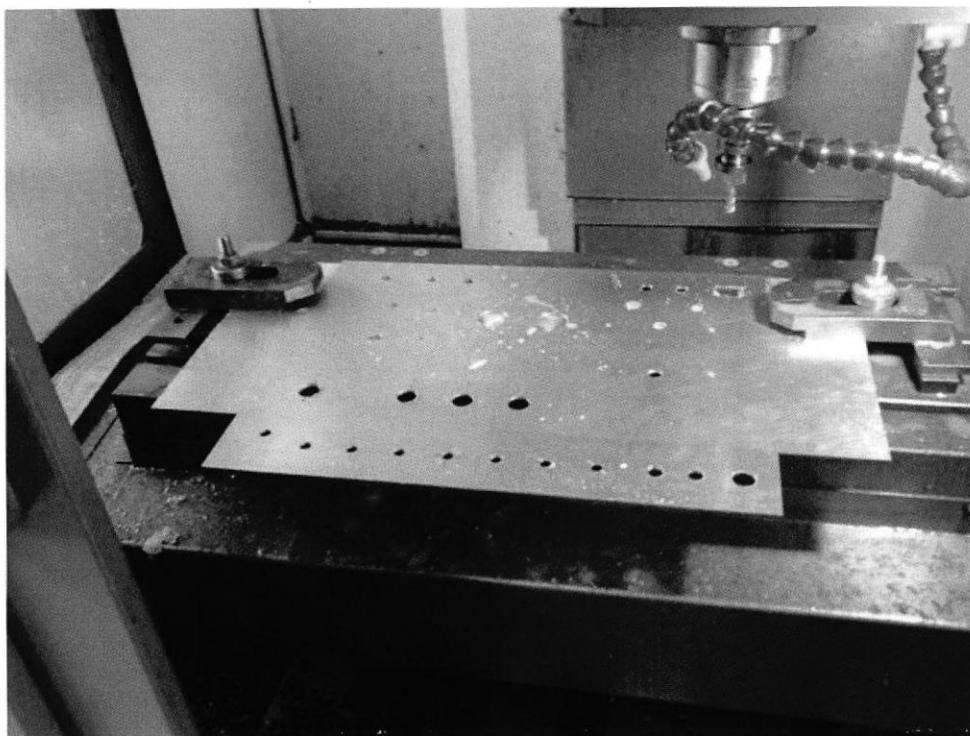
Tener precauciones al momento de distribuir el cableado cuando estemos soldando, podrían causar cortocircuitos de varios cientos de voltios.

Al momento de realizar mantenimiento hacerlo con unos buenos guantes aislantes eléctricos, tengamos presente que en este tipo de amplificadores se manejan mas de 300V en este especial los voltajes llegan hasta 760V aunque su corriente es del orden de los miliamperios tengamos mucho cuidado.

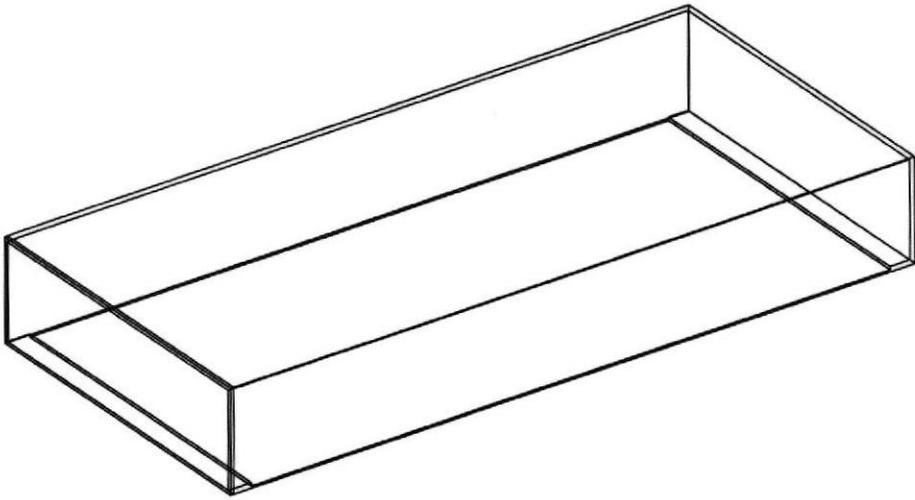
No encenderlo sin antes haber calentado los tubos, por ello los switches del **STAND-BY** y el de **POWER**.

Y por último, no encender el amplificador sin una carga en la sección de los **ALTAVOCES**, esto perturbaría parcialmente a nuestro transformador de salida o en el peor de los casos averiar quemarlo.

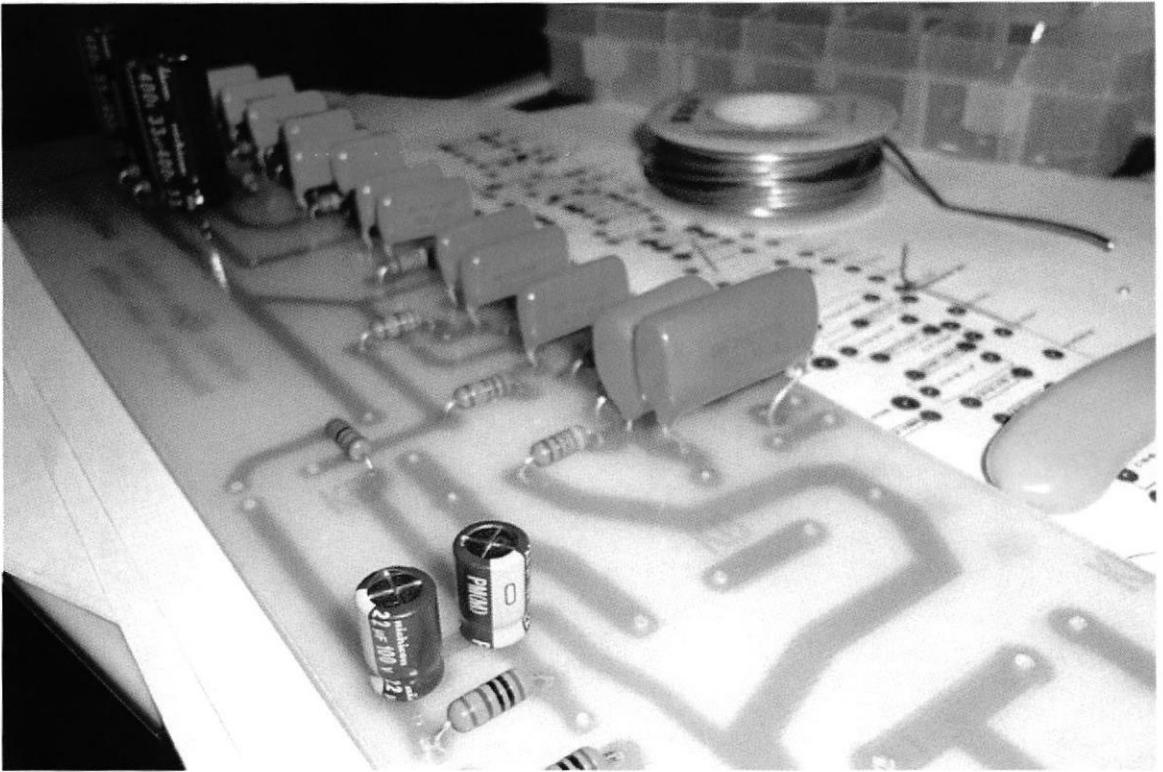
ANEXOS



ANEXO 1 Dimensiones (en milímetros) y Construcción del Chassis del amplificador en una CNC.



ANEXO 2 *Forma final del doblaje de los lados del Chassis*



ANEXO 3 *Montaje de resistencias y capacitores en la PCB del amplificador*

BIBLIOGRAFÍA

1. Charles R, Couch. Designing Vacuum Tube Amplifiers and Related Topics. 1st edition. California, USA. Eureka 2009 (P. 64-169)
2. General Electric Tube Manual. Schenectady, New York, USA. 1963
3. Morgan, Jones. Building Valve Amplifiers. 1st edition. London, England. Elsevier 2004 (P. 24-51)
4. Ruiz Vasallo, Francisco. Electrónica Industrial Componentes y Circuitos Básicos. Ediciones CEAC Reimpresa. Perú (P. 599 - 837)

