



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE SONIDO Y ACÚSTICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PREAMPLIFICADOR PARA
MICRÓFONO CON TECNOLOGÍA DE TUBOS CATÓDICOS

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos establecidos
para optar por el título de

INGENIERO EN SONIDO Y ACÚSTICA

Profesor Guía
Ing. Marcelo Lazzati

Autor
Juan José Villamar Villarreal

Año
2011

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con los estudiantes, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Marcelo Darío Lazzati Corellano
Ingeniero en Ejecución de Sonido
C. I.: 171163573-8

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaramos que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Juan José Villamar Villarreal

CI: 100322767-3

AGRADECIMIENTO

A Dios creador del universo y dueño de mi vida quien con su infinita bondad me permite construir este proyecto.

A mis padres por su apoyo incondicional a lo largo de la carrera, entendieron mis ausencias y mis malos momentos.

A mis hermanos por enseñarme que no hay límites en lo que me proponga, lo puedo lograr y solo depende de mí.

A mis amigos y compañeros por permitirme soñar y crecer con su imaginación

A Marcelo por haber confiado en mí, por sus comentarios en todo el proceso de elaboración de la Tesis y sus atinadas correcciones.

A todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

Gracias a todos

DEDICATORIA

El esfuerzo de esta tesis es dedicado a Jesucristo, Dios de la Vida, principio y fin de mi felicidad.

RESUMEN

El presente trabajo trata de manera específica el diseño y la construcción de un preamplificador de tubos para micrófono como opción y elemento importante de una cadena electroacústica, partiendo de la premisa que se puede llegar a construir uno con menos de 800 dólares de inversión y con buen sonido.

Se inicia haciendo una amplia investigación sobre los conceptos técnicos que rodean a la Acústica, Electrónica y tecnología de tubos catódicos.

Basado en el concepto técnico aprendido se proponen las principales características a tener en cuenta en un preamplificador previo a su diseño y paso a paso se implementan una a una en el diseño resolviendo problemas técnicos a través de cálculos y con la ayuda del software simulador electrónico Multisim en su versión 10.

El diseño implementado pasa por una simulación completa a través de software y paso a paso los datos esperados son confirmados; se procede a construir el prototipo del preamplificador y su funcionamiento es bueno.

Al final se comprueba que es posible construir el preamplificador por un bajo costo y se sabe que cumple las características eléctricas necesarias para su funcionamiento, también algunas ideas para futuros desarrollos son descritas.

ABSTRACT

This work, specifically covers the design and construction of an microphone tube preamp shown as an option and an important element of an electroacoustic net; the premise is that is possible build one preamp with less than \$ 800 dollars invested and with a good sound.

It starts doing extensive research on the technical concepts surrounding acoustics, electronics and technology of vacuum tubes.

Based on the proposed technical concept learned, the main features to consider in a pre-amp design are implemented step by step and one by one the technical problems are solved through design calculations and with the help of electronic simulator software Multisim in version 10.

The implemented design goes through a complete software simulation and step by step the expected data is confirmed; the prototype is constructed and the performance is good.

At the end is proved that is possible to build the amp for a low cost and with the electrical characteristics required by the simulation, also some ideas for futures developments are exposed.

Índice

Capítulo I. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Marco referencial.....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Justificación.....	2
1.5 Objetivos.....	2
1.5.1 Objetivo general.....	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	3
1.6 Hipótesis.....	3
 Capítulo II. Marco Teórico.....	 4
2.1 Propiedades del sonido.....	4
2.1.1 La naturaleza del sonido.....	4
2.1.2 La transmisión del sonido.....	4
2.1.3 El sonido como movimiento ondulatorio.....	5
2.1.4 Los sonidos periódicos.....	6
2.1.5 La velocidad del sonido.....	8
2.1.6 El período.....	8
2.1.7 La frecuencia.....	8
2.1.8 La amplitud.....	9
2.1.9 Presión sonora.....	9
2.1.10 Nivel de Presión Sonora (NPS).....	9

2.1.11	Representación gráfica del sonido.....	10
2.2	Conceptos básicos de electroacústica.....	11
2.2.1	La electroacústica.....	11
2.2.2	El decibel.....	11
2.2.3	Relación entre acústica y electricidad.....	13
2.3	Principios de electrónica.....	13
2.3.1	Cargas en los átomos.....	13
2.3.2	La corriente (I).....	14
2.3.3	Trabajo (W) y energía (W).....	14
2.3.4	Circuitos electrónicos.....	15
2.3.5	Ley de Ohm.....	15
2.3.6	La potencia (P)	16
2.3.7	Ecuaciones principales.....	17
2.3.8	Organización de elementos electrónicos.....	17
2.3.9	Ley de Kirchhoff.....	18
2.3.10	Elementos en serie o paralelo	19
2.3.11	Suma de resistencias en serie y paralelo.....	20
2.3.12	Inductancia, capacitancia y reactancia.....	22
2.3.12.1	Capacitancia.....	22
2.3.12.2	Inductancia.....	23
2.3.12.3	Reactancia	23
2.3.12.4	Suma de capacitores e inductores	24
2.3.13	Diodos	25

2.3.13.1	El diodo Zener.....	27
2.3.14	Corriente directa.....	27
2.3.15	Corriente alterna.....	28
2.3.16	Sujetadores.....	30
2.3.17	Transformadores.....	31
2.4	Electroacústica básica para preamplificadores.....	33
2.4.1	Micrófonos.....	33
2.4.1.1	Sensibilidad.....	34
2.4.1.2	Respuesta de Frecuencia.....	34
2.4.1.3	Micrófonos dinámicos.....	35
2.4.1.4	Micrófonos de condensador.....	36
2.4.1.5	Impedancia.....	37
2.5	Requerimientos básicos de un preamplificador de micrófonos.....	39
2.6	El tubo de vacío.....	40
2.6.1	Tecnología termoiónica.....	40
2.6.2	Construcción interna del tubo.....	43
2.6.3	Mejoras al tubo.....	44
2.6.4	Características de los tubos.....	45
2.6.5	Operación de un tubo.....	47
2.6.6	Modos de operación del tubo.....	49
2.6.7	Tipos de tubo disponibles.--.....	51
2.7	El tríodo como amplificador.....	52

2.8	Ventajas y desventajas del uso de tubos en el audio.....	54
2.8.1	La distorsión hace la diferencia.....	56
2.9	Conectores de audio.....	59
2.9.1	Conector XLR-3.....	59
2.9.2	Conector TS.....	60
	Capítulo III. Desarrollo.....	61
3.1	Metodología.....	61
3.2	Desarrollo del diseño y prototipo.....	63
3.2.1	Determinación de aspectos importantes de diseño.....	63
3.2.2	Listado de recursos a ser usados en el trabajo experimental.....	64
3.2.2.1	Recurso material inicial.....	64
3.2.2.2	Recurso Humano.....	65
3.2.2.3	Recurso bibliográfico.....	65
3.3	Análisis de seguridad.....	65
3.4	Alimentación de potencia para los micrófonos.....	68
3.4.1	Análisis de seguridad.....	69
3.4.2	Alimentación de potencia para los micrófonos.....	73
3.5	La señal de audio de origen.....	74
3.6	Optimización de la entrada de micrófono.....	76
3.6.1	Adaptador de impedancias.....	76

3.6.2	PAD.....	78
3.6.3	Inversor de polaridad.....	80
3.6.4	Potenciómetro de entrada.....	81
3.6.5	El transformador de entrada.....	82
3.7	Diseño de circulación del tubo.....	83
3.7.1	Diseño de alimentación de los calentadores de cátodo.....	84
3.7.2	Alimentación para circulación de audio del tubo.....	84
3.7.3	Manejo del tubo y amplificación.....	92
3.7.3.1	Análisis del tubo 12AX7.....	92
3.7.3.2	Simulación de datos a través de software.....	99
3.7.3.3	Análisis de corriente.....	101
3.7.3.4	Solución al problema de corriente y el uso del tubo 12AU7.....	104
Capítulo IV. Construcción del prototipo		108
Capítulo V. Evaluación		110
5.1	Evaluación eléctrica.....	110
5.1.1	Evaluación a la fuente de voltaje <i>Phantom Power</i>	110
5.1.2	Evaluación al transformador de entrada de micrófono.	110
5.1.3	Evaluación de la fuente de poder para direccionado de voltaje en los tubos.....	111
5.1.4	Voltaje de salida del preamplificador.....	112

5.1.5	Evaluación switches.....	112
5.2	Evaluación Estética.....	112
Capítulo VI. Análisis económico		114
6.1	Descripción de ítems.....	114
6.2	Detalle de componentes comprados con fines de implementación y evaluación del prototipo.....	117
6.3	Detalle de componentes del circuito final.....	117
6.4	Consideraciones sobre el análisis económico.....	118
Capítulo VII. Proyecciones del proyecto.....		119
Capítulo VIII. Conclusiones y recomendaciones.....		121
8.1	Conclusiones.....	121
8.2	Recomendaciones.....	123
Capítulo IX. Bibliografía.....		125
9.1	Libros.....	125
9.2	Artículos y notas técnicas.....	126
9.3	Página web.....	127
9.4	Imágenes y Gráficos.....	128

Capítulo X. Anexos..... 129

Capítulo I. Introducción

1.1 Antecedentes

Las grabaciones de audio a lo largo del tiempo, a más de ser producto de la invención y creatividad de grandes artistas, son también producto del respaldo de aparatos electrónicos y electroacústicos, de los cuáles el preamplificador se destaca como dispositivo de proceso crítico dentro de todo el sistema de grabación. Gracias a este dispositivo se pueden permitir hasta el día de hoy que esos momentos sonoros importantes sean captados con gran calidad y calidez. Una vez que las diferencias de presión captadas por el micrófono son transformadas a señales eléctricas, estas señales eléctricas necesitan ser amplificadas y alcanzar el nivel de línea que es uno de los estándares de procesamiento de audio, de este último y crucial proceso se encarga el preamplificador. En la grabación, de la calidad y capacidad de procesamiento de lo captado depende en gran parte el producto final, por esto los circuitos y prestaciones de un preamplificador son de gran valía y aprecio en el mundo del sonido profesional y el trabajo en su desarrollo es sumamente requerido.

1.2 Marco referencial

En el medio ecuatoriano gracias a la creación de nuevas carreras especializadas en la electrónica y el audio, además de la constante mejoría de calidad en la música y el afán de lograr estilos y sonoridad diferente, la gente del medio se ha impulsado a dar el valor merecido a la tecnología de los preamplificadores. De hecho, en los últimos años se han importado algunos de estos¹²³ a costos bastante elevados, por su calidad y conscientes de la importancia de estos en todo el proceso de grabación. En cuanto a la fabricación de estos dispositivos en el país, y su desarrollo, no existen puntos

¹ Magic Sound and Music, 2010

² Ozland, 2010

³ Graba Estudio, 2010

de referencia salvo ciertas modificaciones que se realizan a circuitos que en su mayoría ya han sido diseñados, por eso la implementación de un foco referencial sería de gran ayuda al desarrollo de estos dispositivos electroacústicos en el medio.

1.3 Alcance

La tesis a desarrollarse aborda el diseño y construcción de un preamplificador de micrófono, basado en tubos y no en transistores, puesto que los primeros son ahora menos comunes. Este aparato maneja al audio tan solo en nivel analógico, con una circuitería nueva pero, basada en la investigación y referencias de avances electroacústicos anteriores. Se desarrollará el proyecto con un presupuesto referencial de 800 dólares que pretende dar como resultado un producto de buena calidad con una inversión relativamente baja. Se evaluará además su calidad sonora a nivel estético y su relación costo beneficio. Vale la pena mencionar que en caso de armar del circuito se podría necesitar a técnicos con más práctica únicamente en el ensamblaje final a nivel manual.

1.4 Justificación

Por parte de los sonidistas del medio, se ha esperado siempre disponer de preamplificadores para micrófono de buena calidad y bajo costo, que aporten al desarrollo de sonoridad de calidad en las producciones; además siempre ha sido de la curiosidad del autor conocer con mayor detalle la circuitería de estos dispositivos y dar el aporte necesario al avance e investigación de estos.

La propuesta entrega un resultado que servirá como primera referencia y motivación para futuras investigaciones en este mismo campo, vale decir que no será incluido un estudio de comercialización del dispositivo.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar y construir un preamplificador para micrófono con tecnología de tubos catódicos.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar una investigación sobre los tubos de vacío y su implementación en circuitos electrónicos para determinar los aspectos técnicos más relevantes en el diseño de preamplificadores de micrófono.
- Diseñar y construir un circuito para preamplificador de micrófono en base a tubos con una inversión en material y mano de obra de máximo 800 dólares.
- Medir las especificaciones técnicas más relevantes del preamplificador diseñado y evaluar técnicamente su funcionamiento.
- Evaluar estéticamente al preamplificador diseñado en base a grabaciones y criterios subjetivos de sonidistas reconocidos del medio.

1.6 Hipótesis

Se asume como hipótesis del presente proyecto de investigación que es posible el diseño y construcción de un preamplificador con tecnología de tubos que permita obtener buena calidad sonora con un bajo costo.

Capítulo II. Marco teórico

2.1 Propiedades del sonido

2.1.1 La naturaleza del sonido

Se puede considerar al sonido a partir de dos naturalezas: la primera relacionada al fenómeno físico del movimiento y disturbio del aire y la segunda referida a la percepción del cerebro en su corteza debido a impulsos nerviosos.

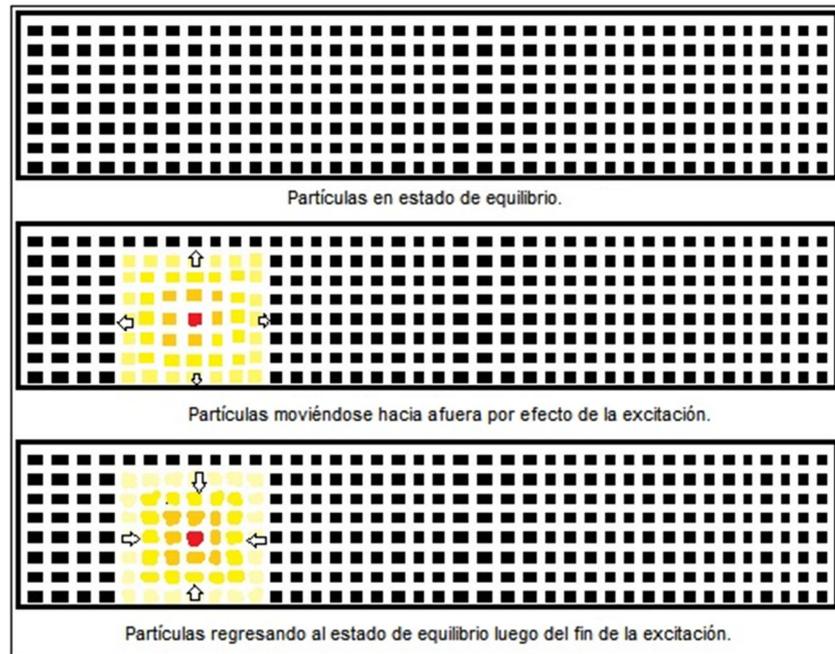
Las dos naturalezas mencionadas están íntimamente relacionadas, pues mientras en el aire se produce el fenómeno físico que llega al oído y por lo tanto al sistema nervioso, el cerebro es el encargado de interpretar estas manifestaciones físicas.

2.1.2 La transmisión del sonido

Para que el sonido se transfiera es preciso que este viaje a través de un medio elástico y con inercia. De todos los medios posibles con dichas características el aire es el que está en contacto con los seres humanos la mayoría de tiempo, aunque el sonido puede ser también transportado a través del agua metales y otros materiales.

Se describe el funcionamiento, primero hay a un medio con sus partículas en equilibrio y luego, una excitación se produce en un sector y las partículas contiguas son impulsadas a moverse y también las siguientes a estas; cuando la fuerza de excitación se extingue las partículas que se han movido regresan a su estado de equilibrio como en el gráfico de la página siguiente.

Figura 2.1 Excitación de partículas en un medio.



Fuente: Autor.

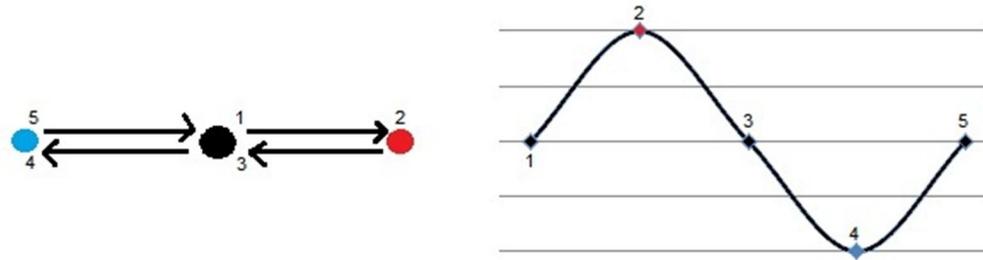
2.1.3 El sonido como movimiento ondulatorio

Hay varios tipos de ondas en la naturaleza física, el ejemplo más gráfico se encuentra cuando un objeto excita una superficie líquida y esta a su vez reacciona generando ondas circulares concéntricas sobre el punto de excitación.

Rara vez las partículas de un medio se encuentran en verdadero equilibrio, pues casi siempre alguna variación térmica o física produce una variación que determina que hace que el estado sea relativo de todas maneras esta última dinámica suele ser despreciable en condiciones convencionales.

Las formas de onda que más tienen que ver con el sonido son las producidas por el movimiento longitudinal de partículas, movimiento que puede ser representado por una onda senoidal así:

Figura 2.2 Representación senoidal de los momentos de una partícula con movimiento longitudinal.



Fuente: Autor

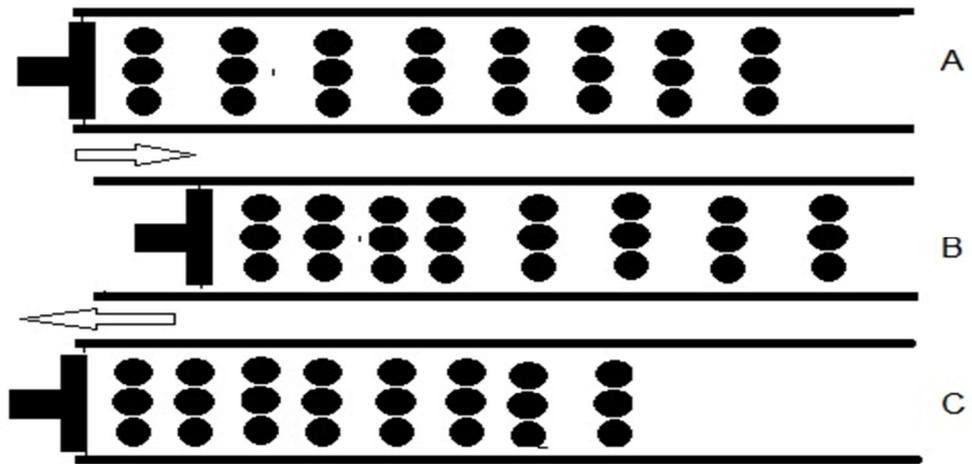
Donde la partícula pasa de un estado de equilibrio a un movimiento a dos puntos distintos pero al final termina regresando a su estabilidad.

2.1.4 Los sonidos periódicos

En el apartado anterior se pudo analizar la reacción pertinente a una sola perturbación pero en general el fenómeno del sonido tiene más de un movimiento de partículas o perturbación, en ciclos, que se repiten una y otra vez hasta que la fuente se apague y a este movimiento se le llama periódico.

Un ciclo senoidal representa a dos perturbaciones sucesivas. En el momento A tubo y pistón se encuentran en estabilidad mientras en el momento B el pistón empuja a las partículas y comprime el espacio en el tubo así para el momento C el pistón cede y las partículas retroceden; a todo este proceso se le llama un ciclo .

Figura 2.3 Pistones en un tubo de aire. A. Inicio del movimiento. B. Excitación máxima. C. Excitación en sentido negativo.



Fuente: Autor

Tomando en cuenta que la onda tiene una dirección de desplazamiento y que un ciclo completo es el lapso entre el principio y el final de la onda o se puede también medir entre dos picos altos o bajos del ciclo; el espacio entre dos picos, es conocido como longitud de onda.

Figura 2.4 Gráfico explicativo de longitud de onda. $\lambda = \text{longitud de onda}$



Fuente: Autor

2.1.5 La velocidad del sonido

El factor velocidad en el sonido determina la cantidad de desplazamiento de la onda en un periodo de tiempo y es así que se expresa en unidades de longitud sobre temporales y lo más común es encontrarla en metros por segundo (m/s); la velocidad del sonido es independiente de la intensidad del origen del sonido y según mediciones, en el aire, se desplaza a alrededor de **345 m/s** con una temperatura media de 23° C⁴, pero puede variar dependiendo del medio en el que el sonido se transporta o de la temperatura ambiente.

Cuando un medio es más denso el sonido se transporta a mayor velocidad, además cada 20° Fahrenheit el sonido cambia en su velocidad un 2%.

2.1.6 El período

Se define como el tiempo que transcurre entre una perturbación y la siguiente, se expresa en segundos o milisegundos y se calcula dividiendo a la unidad para la frecuencia que se requiere así:

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.1)$$

2.1.7 La frecuencia

Con este parámetro (f) definimos a la cantidad de ciclos sucedidos en un segundo; las frecuencias audibles para el hombre están entre los 20 y 20000 ciclos, sus unidades se dan en Hz y guarda relación con el período, y longitud de onda así:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.2)$$

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

$$T = \frac{\lambda}{c} \quad (2.4)$$

⁴ Miyara, 2003, Pág. 3.

2.1.8 La amplitud

Es el parámetro relacionado directamente con la cantidad de desplazamiento de las partículas, es decir con la intensidad que no es otra cosa que la cantidad de energía con la que una onda está trabajando.

Es un factor decisivo al momento de medir la presión sonora y se expresa con decibeles.

2.1.9 Presión sonora

La comunidad científica ha marcado al Pascal (Pa) como unidad de medida física de la presión y por ende, tiene mucho que ver con el sonido ya que este es un fenómeno relacionado con el aumento y disminución de la presión; en medidas experimentales se ha descubierto que las presiones sonoras audibles oscilan entre los $20\mu\text{Pa}$ y 20Pa .

Si se toma en cuenta que la presión atmosférica normal suele estar en alrededor de $100\,000\text{ Pa}$, la presión sonora queda pequeña y de ahí, lo que se suele hacer es tomar en cuenta solo a la diferencia de presión sobre los 100 pascuales para hacer cualquier comparación o cálculo, pero, si se necesitase saber la presión atmosférica total se debe sumar a la presión natural más la que ejerce el sonido en dicho momento.

2.1.10 Nivel de presión sonora (NPS)

Es una relación logarítmica donde se hace una comparación entre una presión que se quiere poner a consideración versus una referencial que en el caso del NPS es de $20\mu\text{Pa}$, equivalente a la mínima presión audible por el ser humano.

La ventaja de que sea una relación logarítmica permite a esta unidad de medida dar abasto al amplio rango audible del ser humano, la fórmula del NPS se presenta a continuación:

$$NPS = 10 \log \left(\frac{P}{P_{ref}} \right) \text{ (dB)} \quad (2.5)$$

Donde: log es el logaritmo en base 10, P la presión a medir,
Pref la presión de referencia usualmente 20u, ambas en Pascales.

2.1.11 Representación gráfica del sonido.

Se sabe que todo sonido tiene frecuencia y amplitud, surge entonces en el mundo de la ciencia la necesidad de dar una forma gráfica a estos dos parámetros y para esto se ha convenido dividir al espacio horizontal para el tiempo y al vertical para la intensidad⁵ y de esta manera poder determinar la amplitud del sonido a lo largo del tiempo, además, con estos datos se puede obtener la longitud de onda y por ende las frecuencias y períodos correspondientes basándose en la siguiente ecuación:

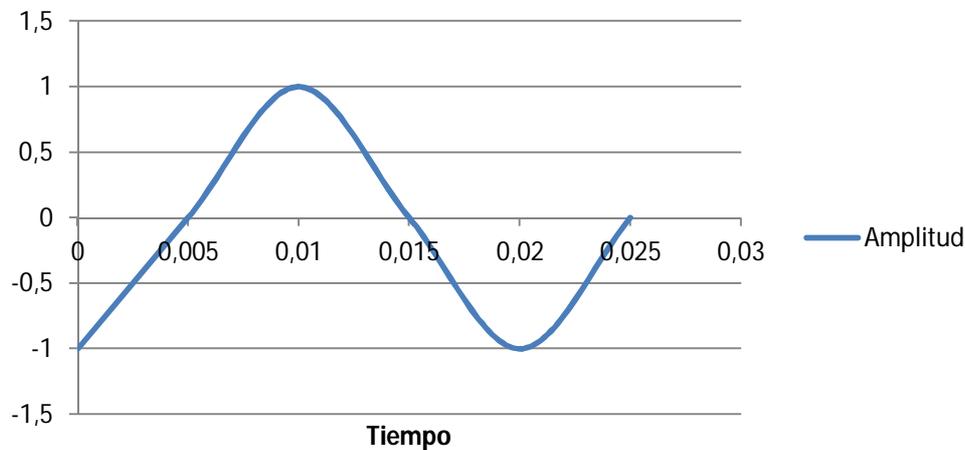
$$x = A \cos(\omega t + \theta) \quad (2.6)$$

Donde A es la amplitud de la onda, ω es la frecuencia angular, t el tiempo y θ el ángulo de fase.

De la ecuación anterior se puede obtener una gráfica como la siguiente que es la representación del sonido.

⁵ Miyara, 2003, Pág. 8 y 9.

Figura 2.5 Representación gráfica del sonido.



Fuente: Autor

2.2 Conceptos básicos de Electroacústica.

2.2.1 La Electroacústica

La electroacústica se define como la materia que relaciona a la acústica con la electricidad, es decir a las presiones sonoras con sus manifestaciones eléctricas.

2.2.2 El decibel.

Es una unidad diseñada para expresar comparación entre el valor que se quiere poner a prueba y una referencia; en el caso de la acústica el nombre propio de esta comparación es el NPS (Nivel de Presión Sonora). A nivel eléctrico también existen decibeles que no son más que la manifestación eléctrica de su equivalente en acústica, la amplitud en Pascales es ahora reemplazada por los Voltios eléctricos, además, hay varios tipos de referencias a nivel de circuitos y por tanto dBs con varias denominaciones.

Los aparatos que miden los niveles eléctricos de grabación de audio ya sean provenientes de consolas o de otros dispositivos estándar suelen considerar el resultado promedio del voltaje AC considerando una impedancia

(Z) determinada por la resistencia interna del siguiente dispositivo de la cadena electroacústica; a sabiendas de que $P = \frac{V^2}{R}$ y conscientes de la teoría de logaritmos se puede decir que:

La diferencia de voltaje es:

$$20 \log \left(\frac{V_2}{V_1} \right) dB = 10 \log \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} \right) dB = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right) dB$$

De ahí se puede concluir que:

$$dBV = 20 \log \frac{V}{1V} \quad (2.7)$$

Dónde V es el voltaje a comparar y 1V la referencia sobre la cual se compara.

$$dBu = 20 \log \frac{V}{0,775V} \quad (2.8)$$

Fórmula del decibel con 0,775 voltios de referencia.

⁶En el caso de la ecuación 2.7, el voltaje dBV tiene 1V de referencia por ser el valor unitario del voltaje más lógico y conveniente que además cumple con el requisito del máximo rango para las tarjetas análogo-digitales.

⁷Con la ecuación 2.8 la referencia es 0,775V ya que en los primeros años del siglo XX buena parte de los aparatos de sonido trabajaban con 600Ω de resistencia y para determinar un estándar se le aplicaba 1mW de potencia, y de ahí nace la referencia de 0,775V.

⁶ WOLFE, 2005, Pg. 3

⁷ WOLFE, 2005, Pg. 4

2.2.3 Relación entre Acústica y Electricidad.

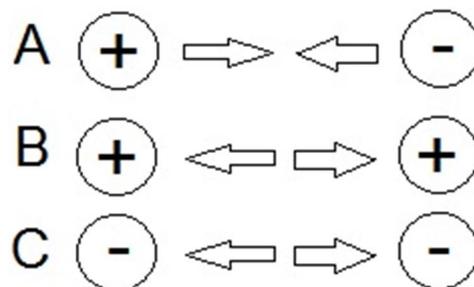
Para topar este tópico es necesario tener conocimiento de la existencia de ciertos aparatos y equipamientos que sirven para convertir señales de origen acústico a eléctrico y viceversa, a estos elementos se les llama transductores. Para fines prácticos de esta tesis los transductores que serán usados son solo los acústicos - eléctricos mejor conocidos como micrófonos que se analizan en siguientes capítulos, Cada transductor posee sus propias características y producirá un voltaje dado en función de la presión sonora que le llegue.

2.3 Principios de Electrónica

2.3.1 Cargas en los átomos

Gracias a los avances de la física se sabe hoy que todo objeto está compuesto de materia y que la materia se compone de átomos que a su vez contienen electrones, protones y neutrones; para fines prácticos se cita aquí que los electrones tienen carga negativa y los protones positiva, además partículas con carga del mismo signo se repelen y con carga de signos distintos se atraen.

Figura 2.6 Atracción y repulsión de protones y electrones. A. Atracción entre protones y electrones. B. Repulsión entre electrones. C. Repulsión entre protones.

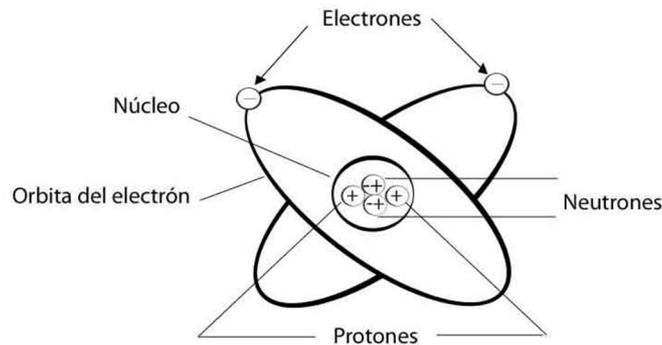


Fuente: Autor

Un electrón es el elemento del átomo que se encuentra en el exterior de este y por eso es fácil que bajo ciertas condiciones físicas se muevan hacia

otro átomo, con el fin de medir su carga se determinó a la unidad para su medición con el nombre de Coulomb que equivale a $6,24 \times 10^{18}$ electrones.

Figura 2.7 Representación gráfica del átomo.



Fuente: <http://electronicaradical.blogspot.com/2010/12/principios-de-la-electronica.html>

2.3.2 La corriente (I)

El flujo de electrones de un punto a otro en un determinado tiempo es llamado corriente, se mide en Amperios y se define con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.9)$$

Donde: I es la corriente, Q es la carga y t es el tiempo.

2.3.3 Trabajo (W) y energía (E)

El joule es la unidad que por convención se usa para medir el trabajo y representa a la fuerza que un newton hace para desplazar a una partícula de su punto de origen por metro.

$$1J = 1N \cdot m \quad (2.10)$$

Para que los electrones se desplacen de un punto hacia otro se requiere de un impulso que motive este movimiento y se decidió llamar a este impulso natural Fuerza Electro Motriz o EMF por sus siglas en inglés, definiéndose que los electrones se mueven de acuerdo a diferencias de potencial de mayor a menor.

El flujo de carga está relacionado directamente a la masa de los electrones en movimiento y a la EMF, entonces, la diferencia de potencial se define como la energía requerida para mover una carga unitaria de un Coulomb de un punto a otro con un Joule de trabajo así:

$$\frac{W \text{ (trabajo)}}{Q \text{ (carga)}} = V \text{ (diferencia de potencial)} \quad (2.11)$$

Donde W está en Julios, Q en Coulombos y V en voltios.

Es importante citar que el concepto de trabajo se relaciona con la energía expedita de la siguiente manera.

$$W \text{ (trabajo realizado)} = \text{Energía invertida en un tiempo} \quad (2.12)$$

2.3.4 Circuitos

Para que la corriente fluya se necesita un circuito, que se define como una interconexión de elementos activos y pasivos donde la corriente que parte de una fuente retorna a la misma luego de haber circulado por varios componentes⁸. Cuando el circuito es cortado en una parte sensible, la corriente deja de circular.

2.3.5 Ley de Ohm

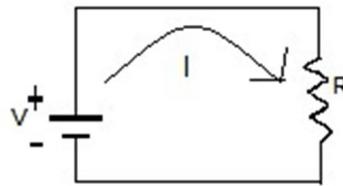
En la electrónica existen componentes en especial diseñados para oponerse al paso de la corriente llamados resistencias (R); la ley de Ohm se encarga de dar los postulados fundamentales sobre las relaciones existentes entre voltaje, corriente y resistencia; si una diferencia de potencial de un voltio es aplicada sobre una resistencia de valor unitario entonces se dice que la

⁸Harry, et al., 2011: Página 3

corriente circulante sobre la resistencia es de un amperio y matemáticamente se escribe así:

$$V(\text{Voltaje}) = I(\text{Corriente}) \times R(\text{Resistencia}) \quad (2.13)$$

Figura 2.8 Elementos de la ley de Ohm.



Fuente: Autor.

Donde V está en voltios, I en Amperios y R en Ohms (Ω).

2.3.6 La potencia (P)

La ley de Ohm contiene parámetros importantes para realizar cálculos y análisis sobre circuitos pero, se precisan de más variables para dar solución a problemas complejos y de ahí nacen las relaciones entre potencia, energía, voltaje y corriente.

La potencia se define como la cantidad de energía o trabajo expedido en un cierto espacio de tiempo así:

$$P(\text{Potencia}) = \frac{W(\text{Energía})}{t(\text{tiempo})} \quad (2.14)$$

Donde P se mide en watts, W en julios y t en segundos.

2.3.7 Ecuaciones principales

En base a la teoría expuesta en los apartados anteriores se pueden obtener interrelaciones importantes de gran poder para el momento de diseño y resolución de problemas, teniendo en cuenta las ecuaciones bases:

$$W = Q \times V \quad (2.15)$$

$$V = I \times R \quad (2.16)$$

$$P = \frac{W}{t} \quad (2.17)$$

Se obtiene:

$$P = I \times V \quad (2.18)$$

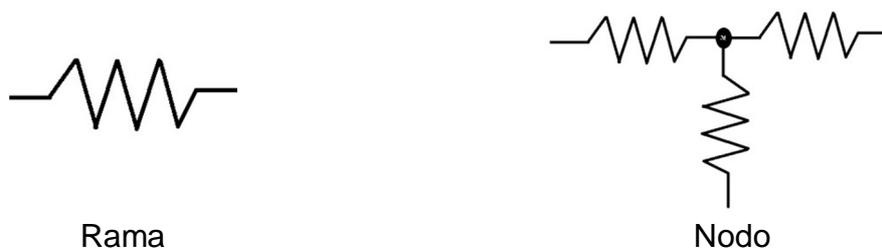
$$P = \frac{V^2}{R} \quad (2.19)$$

$$P = I^2 \times R \quad (2.20)$$

2.3.8 Organización de elementos electrónicos

Los elementos electrónicos pueden ser interconectados de algunas formas en circuitos totalmente seriales o redes con varias interconexiones e infinidad de opciones pero de todo esto se obtienen dos conceptos importantes: la rama y el nodo. Mientras una rama representa a un solo elemento como una fuente de voltaje, una resistencia, etc. el nodo es un punto de conexión entre dos o más ramas de la siguiente manera:

Figura 2.9 Tipos de conexiones en la electrónica.



Fuente: Autor

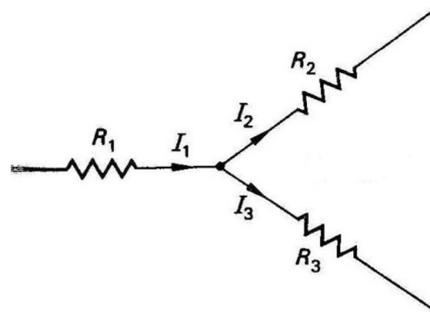
Un lazo es una trayectoria cerrada en un circuito que contiene elementos solamente en serie en su disposición.

2.3.9 Ley de Kirchhoff

Esta ley de gran importancia se compone de dos postulados poderosos, uno referente a la corriente eléctrica y otro al voltaje.

Para la corriente se postula que la suma algebraica total de las corrientes que ingresan a un nodo es igual 0, o lo que es lo mismo, la suma de corrientes que entran a un nodo es igual a la suma de corrientes que salen de él:

Figura 2.10 Ley de Kirchhoff para corriente.

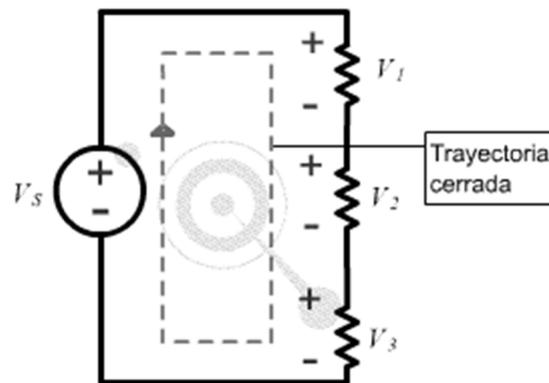


$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (2.21)$$

Fuente:<http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/fisica2/4.5.htm>

En el caso del voltaje se establece que la suma algebraica de todas las tensiones en un lazo es igual a cero:

Figura 2.11 Ley de Kirchhoff para voltaje.



Fuente: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001601/cap02/Cap2tem2.html>

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 \quad (2.22)$$

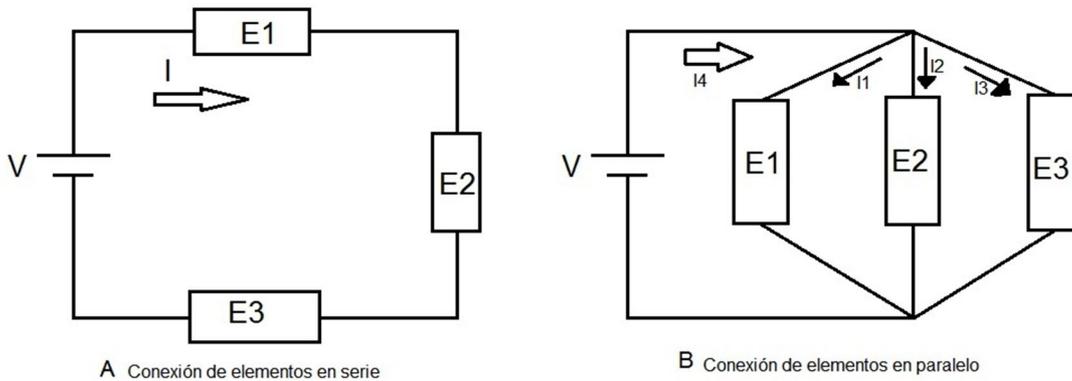
2.3.10 Elementos en serie o paralelo

Dentro de un circuito electrónico los elementos pueden ser presentados en serie o en paralelo.

Se considera una conexión en serie cuando los elementos que están dentro del lazo son ubicados uno detrás de otro y la corriente es la misma para cada elemento sin que necesariamente el voltaje lo sea.

Una conexión en paralelo es aquella en la que dos o más elementos electrónicos se relacionan entre sí uno junto al otro compartiendo los nodos de entrada y salida, además tienen sí o sí el mismo voltaje pasando entre ellos pero una corriente distinta en cada uno.

Figura 2.12 Representación de elementos electrónicos: A en serie y B en paralelo.

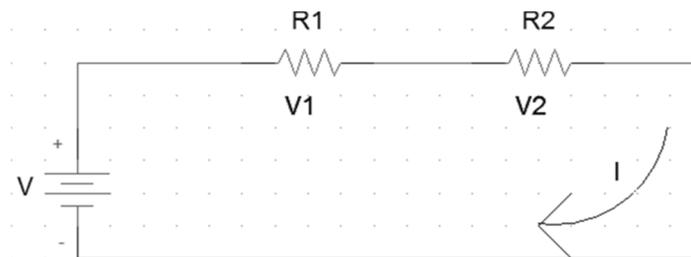


Fuente: Autor.

2.3.11 Suma de resistencias en serie y paralelo

En la electrónica se calculan con gran frecuencia valores de resistencia específicos para una necesidad pero, alcanzar estos valores en la vida práctica suele necesitar de la combinación de varios resistores; cuando las resistencias están en serie sean dos o más la corriente es la misma en un lazo pero el voltaje se divide, además la resistencia total equivalente es igual a la suma de los valores en ohms de cada resistor, de igual manera sirve para dos o más.

Figura 2.13 Suma de resistencias en serie.



Fuente: Autor

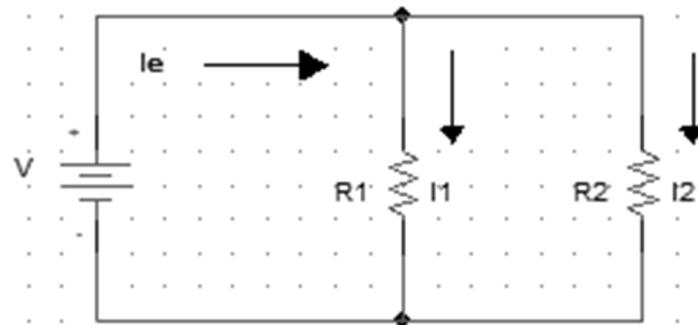
$$R_t = R_1 + R_2 \quad (2.23)$$

$$V_1 = I \times R_1 \quad (2.24)$$

$$V_2 = I \times R_2 \quad (2.25)$$

En caso de tener resistores conectados en paralelo se sabe que el mismo voltaje pasa por cada uno de ellos pero la corriente será distinta para cada elemento que esté ubicado entre los dos nodos, además, usando los métodos de la ley de Kirchhoff y la ley de Ohm podemos concluir que la resistencia equivalente recíproca es igual a la suma total de los valores recíprocos de cada resistencia así:

Figura 2.14 Suma de resistencias en paralelo.



Fuente: Autor.

$$V = I_1 x R_1 = I_2 x R_2 \quad (2.26)$$

$$I_e = I_1 + I_2 \quad (2.27)$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (2.28)$$

En caso de que se busque la resistencia total en un circuito que contiene resistencias en serie y paralelo se debe hacer uso de los dos sistemas anteriores en conjunto y obtener una resistencia equivalente total.

2.3.12 Inductancia, capacitancia y reactividad

Se han analizado hasta ahora los circuitos con resistores pero existen también otros elementos en la vida práctica y a continuación se analizarán de mejor manera:

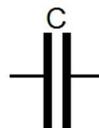
2.3.12.1 Capacitancia

Una partícula cargada ya sea de electrones o protones viene rodeada de un campo electrostático que se proyecta en todas direcciones con la misma intensidad, a esta carga se le llama estática ya que no está en movimiento como la corriente.

Se toma en consideración entonces a dos conductores o placas cargadas una frente a la otra y muy cerca pero sin contacto de por medio; si se supone a una placa cargada de manera positiva y a la otra de manera negativa según la teoría antes estudiada se concluye que están en atracción pero al no estar unidas las cargas simplemente se acumulan y no saltan de un conductor al otro y es así como funcionan los capacitores que desprenden su energía solo cuando la fuente de voltaje se apaga.

La unidad de medida de capacitancia es el Faradio (F) y es común encontrar estos elementos en valores de μF y pF .

Figura 2.15 Símbolo de un capacitor.



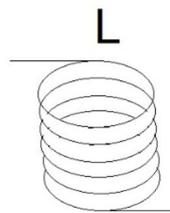
Fuente: Autor

2.3.12.2 Inductancia

Los grandes científicos Faraday y Henry en experimentos realizados hace más de un siglo demostraron que cuando la corriente fluye en un conductor se induce un campo magnético y que recíprocamente⁹, cuando un campo magnético se mueve alrededor de un conductor se genera una diferencia de potencial.

La inductancia se mide en Henrios (H) y se define, valga la redundancia, como la cantidad de inductancia presente si una diferencia de potencial de un voltio es inducida debido al cambio de corriente de un amperio por segundo.

Figura 2.16 Símbolo de un inductor.



Fuente: Autor

2.3.12.3 Reactancia

Así como los resistores presentan la característica de resistencia los capacitores e inductores presentan una cualidad llamada reactancia que es también medida en ohms, es el símil para corriente alterna de lo que es la resistencia para la corriente directa y su símbolo es la X, dado que es común encontrar estos elementos en los circuitos se suele denotar con subíndices C o L para especificar su origen capacitivo o inductivo, a continuación sus fórmulas:

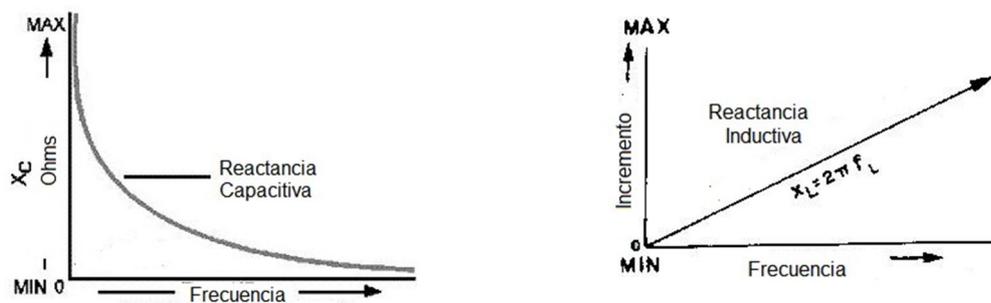
$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.29) \quad X_L = 2\pi fL \quad (2.30)$$

⁹ Jones, 2009, Pág. 28

Donde X_c es la reactancia capacitiva y X_l la reactancia inductiva, además, C es el valor de la capacitancia en Faradios y L el valor de la inductancia en Henrys.

Observando a las ecuaciones se puede concluir que la reactancia cambia de acuerdo a la frecuencia y valor de cada componente, un inductor tiene reactancia cero si no hay frecuencia, mientras la frecuencia crece la reactancia también; en manera distinta, el capacitor tiene reactancia infinita a frecuencia cero, y si el valor de la frecuencia cae la reactancia también así:

Figura 2.17 Curvas de reactancia

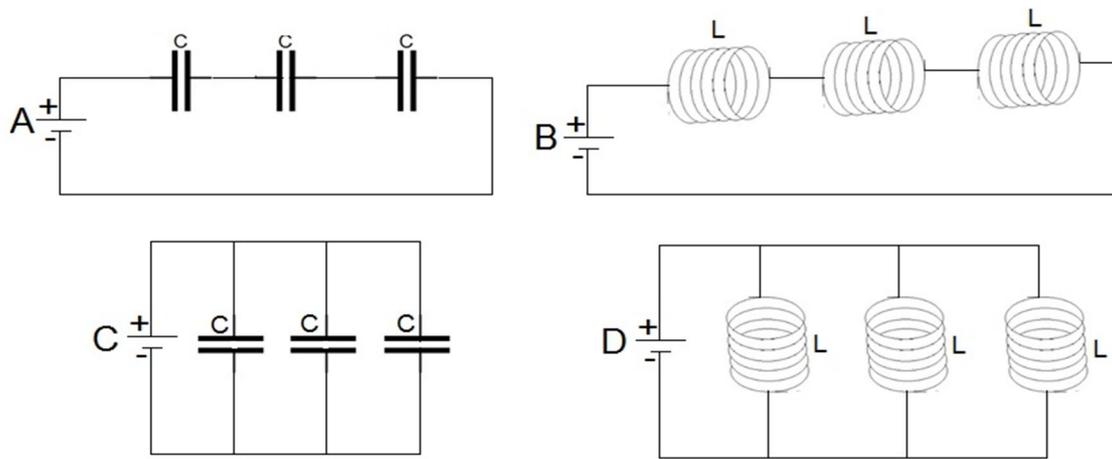


Fuente: <http://www.learn-about-electronics.com/inductivereactance.html>, traducido.

2.3.12.4 Suma de capacitores e inductores

De manera inversa a la suma de resistores los capacitores e inductores se suman de manera directa cuando están en paralelo, y de manera inversa si se encuentran en serie, a continuación un gráfico y sus respectivas fórmulas lo explican de mejor manera.

Figura 2.18 Suma de capacitores e inductores.



Fuente: Autor.

- A. Capacitores en serie. B. Inductores en serie.
C. Capacitores en paralelo. D. Inductores en paralelo.

Tabla 2.1. Cuadro de sumas de capacitores e inductores.

Suma	Serie	Paralelo
Capacitores	$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \dots + \frac{1}{c_n}} \quad (2.31)$	$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (2.32)$
Inductores	$L_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}} \quad (2.33)$	$L_{eq} = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad (2.34)$

2.3.13 Diodos

El Diodo es un semiconductor que básicamente cumple la función de permitir el paso de corriente en una dirección y no permitir el paso de corriente en otra dirección tomando como punto de referencia una cierta diferencia de potencial dada por un fabricante; se compone de dos elementos a los que llamaremos P y N ambos materiales semiconductores que en su estado de reposo no presentan una carga o repulsión a la carga determinada, pero al momento de su conexión si el voltaje se encuentra entre los valores del piso A

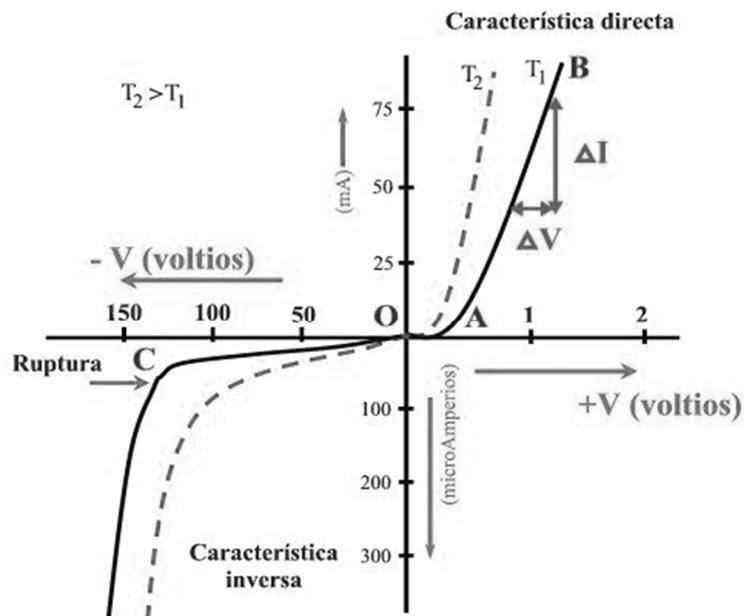
y el techo B, elemento N suspende el paso de electrones de P a través de él, si el voltaje sobrepasa B entonces N dejará circular a la corriente.

Figura 2.19 Composición del Diodo.



Fuente: Autor

Figura 2.20 Curva característica del Diodo.



Fuente: <http://www.ifent.org/lecciones/diodo/curva.asp>

Donde: V_u es la tensión umbral, V_s la tensión de saturación, V_r la tensión de ruptura, OA la zona de baja polarización directa, pequeña corriente, AB la Zona de conducción y OC la corriente inversa de saturación por último A partir de C, es la zona de avalancha.

Figura 2.21 Representación típica del diodo donde el ánodo es el polo de entrada de la corriente positiva y el cátodo su punto de salida.

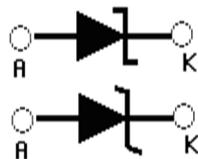


Fuente:<http://www.hardmodding.net/smf/electronica-aplicada/vumetro-para-los-bajos-de-las-musicas/>

2.3.13.1 El diodo Zener

Es una variante del diodo cuya función primordial es la regulación de voltaje, esto, es que solo permiten pasar dentro de sí desde una cantidad de voltaje piso, en general cero, hasta una máxima cantidad de diferencia de potencial determinada por el fabricante, por ejemplo el diodo Zener de 6.5 voltios solo dejará pasar en sentido cátodo ánodo hasta 6.5 voltios, si encuentra un voltaje mayor a este lo limitará y no dejará que el voltaje entre sus polos sobrepase al 6.5V

Figura 2.22 Representación gráfica típica de un diodo Zener.



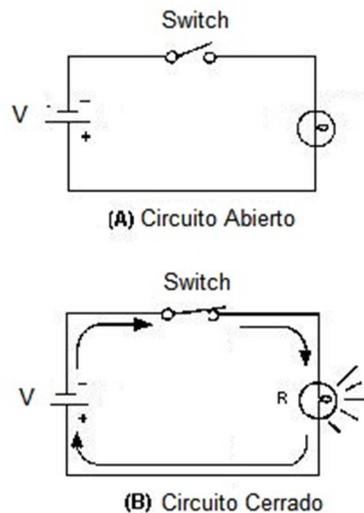
Fuente: Autor

2.3.14 Corriente directa

La corriente directa (DC) es la referida al flujo unidireccional de carga eléctrica, se produce por elementos como baterías, celdas solares, etc. aunque también se puede obtener a través de un inversor de voltaje con base en AC;

esta corriente se usa de manera amplia en sistemas electrónicos con energía de batería autónoma, además es muy usado para transmitir grandes cantidades de potencia generada en sitios remotos o interconectar mallas de corriente alterna.

Figura 2.23 Corriente DC, A. Circuito Abierto B. Circuito Cerrado.



Fuente: <http://www.learn-about-electronics.com/dc-current.html>, traducido

2.3.15 Corriente alterna

Su particularidad se debe al movimiento del flujo de carga eléctrica en dos direcciones de manera periódica y no solo en una como en la corriente directa. La AC es la forma de entrega de corriente estándar para hogares e industrias de todo el mundo, el voltaje entregado cambia de polaridad a lo largo del tiempo con frecuencias de 50 o 60Hz¹⁰, el beneficio de esta corriente es el traslado de grandes cantidades de potencia en distancias muy grandes sin una pérdida tan grande.

¹⁰ Harry, et al, 2008, Pág 147.

La onda senoidal, al igual que en la acústica, se presenta como la manera más simple de representar al voltaje alterno y su ecuación es la siguiente:

$$v = V_{peak} \sin(\omega t + \theta) = V_{peak} \sin(2\pi f t + \theta) \quad (2.35)$$

Donde: v = el valor instantáneo del voltaje en el tiempo

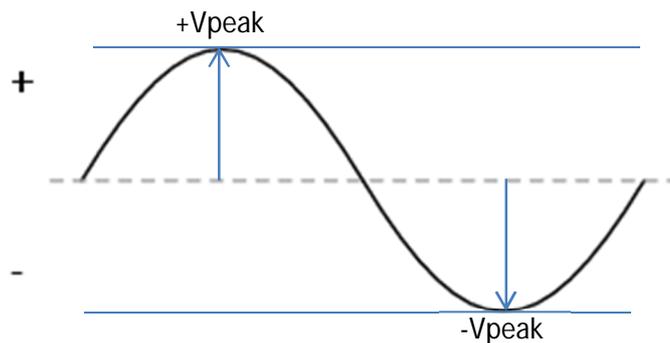
V_{peak} = el valor pico del voltaje

ω = la frecuencia angular en radianes por segundo ($\omega = 2\pi f$)

t = tiempo en segundos

θ = ángulo de fase constante

Figura 2.24 Onda Senoidal Peak to Peak.



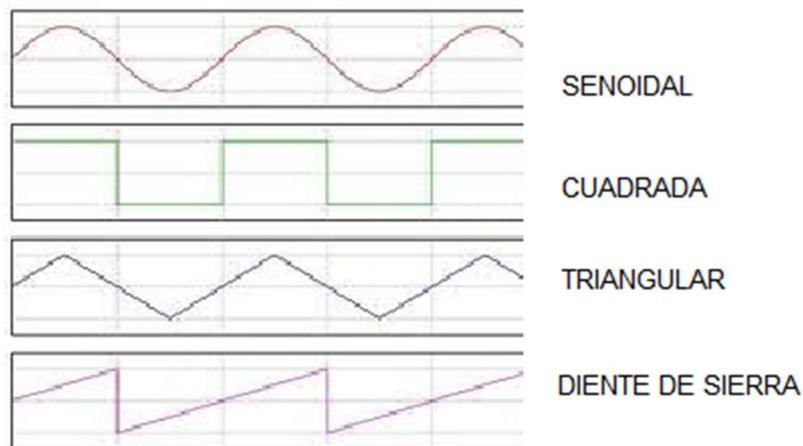
Fuente: <http://www.learn-about-elect.com/ac-current.html>

También vale mencionar que período T es igual a $\frac{1}{f}$ en caso de que algún cálculo realizado con este parámetro sea necesario.

El voltaje peak tiene un significado preciso que se refiere al valor alcanzado desde el 0V hasta la máxima amplitud ya sea esta positiva o negativa. De la amplitud depende el valor del voltaje y por tanto su intensidad. El parámetro de la fase θ es de vital importancia si se compara una onda con otra y más aún si es de la misma frecuencia.

En el mundo de la electrónica a más de la onda senoidal existen también ondas triangulares, cuadradas, etc. que pueden ser evaluadas a través de osciloscopios. En el gráfico siguiente se pueden observar algunos tipos de onda.

Figura 2.25 Diversos Tipos de Onda.

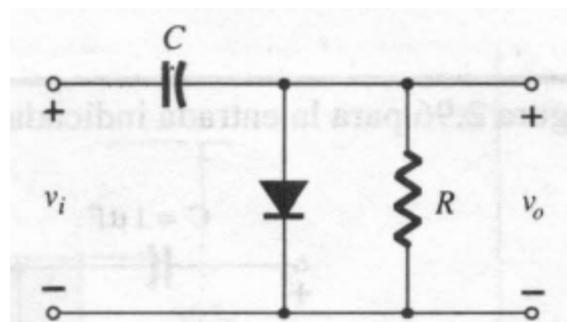


Fuente: Autor

2.3.16 Sujetadores

En la electrónica existe un concepto poderoso llamado sujetador, producto de la formación de una fuente AC, un capacitor, un diodo y una resistencia de carga con la siguiente disposición:

Figura 2.26 Disposición de un sujetador.



Fuente: Electrónica y Teoría de Circuitos, Robert Boylestad, pag. 83.

Partiendo de la figura anterior y poniendo en la palestra a una corriente AC como alimentadora que produce un voltaje V_i se debe imaginar al diodo como un switch que se cierra al paso de la media onda positiva y se abre cuando pasa la media onda negativa; si se imagina la ausencia del diodo el capacitor y resistor en serie configuran una reactancia de la cual se podría calcular la constante de tiempo tau (τ) para determinar el período de carga y descarga de un primer momento.

Mientras la onda positiva actúa se encargará de que el capacitor se cargue pero cuando la onda negativa se presente el capacitor se descargará pero aun así en este punto se puede evitar aquello escogiendo un τ de menor valor al que tarda la media onda en pasar por el eje del tiempo y pudiéndose tardarse unos pocos ciclos la carga total del capacitor una vez sucedido esto siempre existirá mayor potencial en el cátodo que en el ánodo y por tanto el diodo es forzado a actuar en todo momento como abierto, por último dado que V_0 se encuentra en paralelo con V_i , con la resistencia y el diodo mediante la ley de Kirchhoff se puede concluir que V_0 es igual a $2V_i$ pero con polaridad inversa.

De forma práctica para cálculos posteriores basta saber que:

$$\tau = RC \quad (2.36)$$

Donde R es el valor de la resistencia en Ohms y C el valor de la capacitancia en microfaradios.

$$V_0 = -2V_i \quad (2.37)$$

Donde V_0 es el voltaje de entrada AC y V_i es el voltaje de salida en DC.

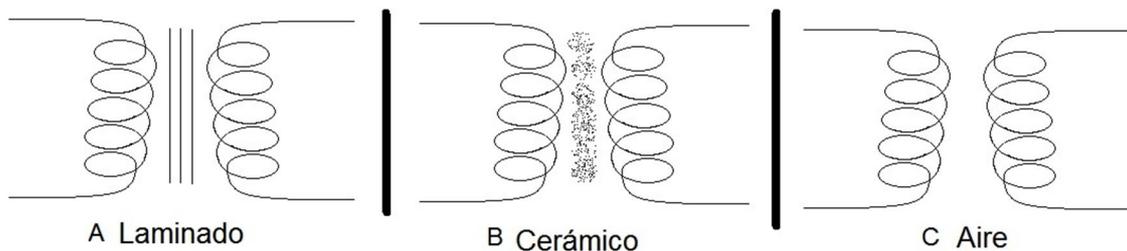
2.3.17 Transformadores

Desde que la electricidad fue introducida en el mundo industrializado el dilema a tomar en cuenta fue la manera de distribuirlo ya que podía bien ser AC o DC, se tomó la resolución de que sea AC debido a la ventaja que

representaba la facilidad de subir o bajar su voltaje debido a procesos de transformación sin perder gran cantidad de potencia¹¹.

Un transformador es básicamente un acople magnético entre dos bobinas que usualmente tienen un núcleo de hierro. Estas bobinas suelen tener diferencias marcadas la una de la otra sobre todo en temas de número de espiras y tamaños, además, existen varios tipos de transformadores dependiendo del material que compone el núcleo de transmisión siendo los más populares los de láminas de hierro, cerámica especial o aire así:

Figura 2.27 Representación típica de los Transformadores. A. Laminado, B. Cerámico, C. Aire.



Fuente: Autor

El transformador ideal es aquel que no pierde potencia y de este postulado surgen las fórmulas principales.

$$P_{in} = P_{out} \quad (2.38)$$

$$V_{in}I_{in} = V_{out}I_{out} \quad (2.39)$$

Entonces:

$$\frac{V_{in}}{V_{out}} = \frac{I_{out}}{I_{in}} = n \quad (2.40)$$

Donde n corresponde al ratio entre el número de devanados de la bobina de entrada vs la bobina de salida que usualmente son conocidos como los devanados primarios y secundarios.

¹¹ Harry, et al, 2008, Pág. 148

$$n(\text{radio}) = \frac{\text{número de devanados primario}}{\text{número de devanados secundario}} \quad (2.41)$$

Se considera ahora la situación de una transformación de alto a bajo voltaje, en este caso el radio n aumenta y por cada amperio en la bobina primaria se aumentan 20 en la bobina secundaria, la resistencia de carga del segundo devanado entonces, será diferente a la del primer devanado, aplicando la ley de Ohm a la conservación de energía se obtiene lo siguiente:

$$\frac{V_{\text{primaria}}^2}{R_{\text{primaria}}} = \frac{V_{\text{secundaria}}^2}{R_{\text{secundaria}}} \quad (2.42)$$

$$\frac{R_{\text{secundaria}}}{R_{\text{primaria}}} = \left(\frac{V_{\text{primaria}}}{V_{\text{secundaria}}} \right)^2 = n^2 \quad (2.43)$$

El transformador cambia de resistencia de acuerdo al cuadrado del radio de relación entre devanados.

2.4 Electroacústica básica para preamplificadores

2.4.1 Micrófonos

El micrófono es el primer elemento de la cadena electroacústica de grabación; es un transductor que convierte a la diferencia de presiones acústicas en el ambiente a señales eléctricas, hay micrófonos de varios tipos en el mercado y cada uno presenta características de funcionamiento y tecnología distinta pero a pesar de esto también hay ciertos parámetros y normas que se cumplen en común por estandarización.

Para fines de esta tesis en desarrollo se analizan a continuación los parámetros más representativos a considerarse de los micrófonos en relación a un preamplificador.

2.4.1.1 Sensibilidad

Es la capacidad del micrófono de producir un voltaje debido a la fuerza acústica que impacta en el transductor, se define como el cociente entre el voltaje producido y la presión que le da origen así:

$$S = \frac{v}{p} \quad (2.44)$$

Donde S es la sensibilidad, v el voltaje producido y p la presión. Además, el voltaje está en voltios y la presión en Pascales.

La sensibilidad se puede expresar también en dB, es decir de manera logarítmica tomando en cuenta a 1(V/Pa) como referencia, entonces:

$$S_{dB} = 20 \log_{10} \frac{S}{S_{ref}} \quad (2.45)$$

Donde S es la sensibilidad en decibeles y S_{ref} la referencia.

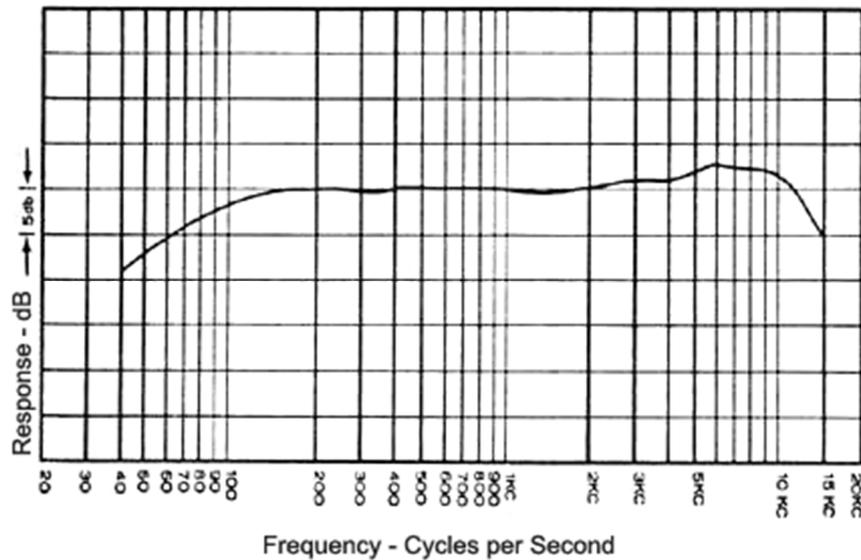
2.4.1.2 Respuesta de frecuencia

Es una referencia técnica que describe la forma en que el micrófono responde a las frecuencias que recepta, son los datos que indican la capacidad de recepción que tiene el micrófono para cada frecuencia; por cuestiones de diseño algunos fabricantes diseñan micrófonos que son muy sensibles a ciertas frecuencias y atenuadoras para otras.

El gráfico de respuesta de frecuencia del micrófono es un arreglo donde se presenta en el eje de las x a la sensibilidad en dB, mientras en el eje de las y los valores de frecuencia del oído humano como entre 20 y 20kHz son ubicados; en la gráfica una línea describe el comportamiento del micrófono, los picos más altos describen una mayor sensibilidad para las frecuencias donde los picos estén y los valles denotan atenuación, por ejemplo, en la gráfica 2.27, las frecuencias sobre los 10kHz y bajo los 100Hz son atenuadas, por los 5kHz

se nota el pico más alto pero también tiene una parte plana entre los 200Hz y 2kHz.

Figura 2.27 Respuesta de frecuencia de un micrófono.



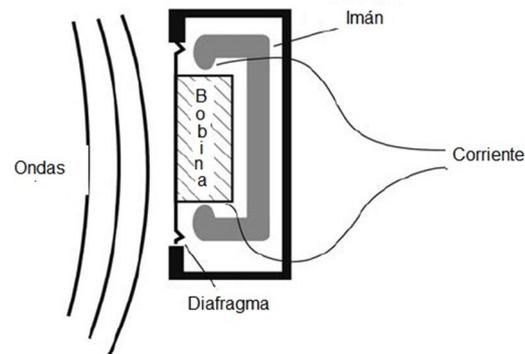
Fuente: <http://www.mediacollege.com/audio/microphones/frequency-response.html>

2.4.1.3 Micrófonos dinámicos

Estos micrófonos usan el principio básico del uso de la bobina móvil. El devanado que tiene núcleo de hierro se mueve por efecto de la presión sonora que es captada por una membrana que a su vez está conectada a la bobina. Cerca de la bobina está un imán cuyos terminales se conectan al resto de la cadena electroacústica. La bobina al moverse genera una diferencia de potencial o voltaje en las terminales, que es el que se transmite al preamplificador.

En general la sensibilidad de estos micrófonos se halla entre 1 y 4mV por cada Pascal que es captado por la membrana. A continuación mediante un gráfico se observa la configuración de conexión.

Figura 2.28 Partes del sistema de transducción del micrófono mecánico.



Fuente: Handbook for Sound Engineers, pag 19. Traducido.

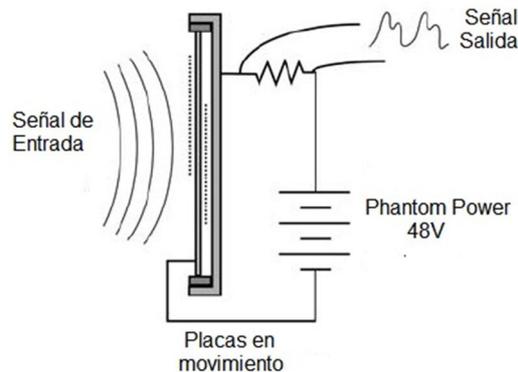
2.4.1.4 Micrófonos de condensador

Los micrófonos llamados capacitivos o de condensador usan a un campo eléctrico a cambio de un magnético, el proceso es fácil pues se ubican a dos placas juntas pero sin contacto la una de la otra donde la primera placa es la que recibe los efectos de la presión sonora que pretende llegar al sistema, y la segunda, con algunos agujeros en medio es la que recibe la diferencia de potencial producto de la transducción.

Se necesita de una fuente de voltaje que alimente la carga de las placas en el micrófono y de ahí, se decidió la creación de la alimentación *phantom power*, un estándar de 48 voltios que permite romper la barrera de la gran impedancia que el condensador del micrófono tiene¹².

¹² Miyara, 2003, Pág. 93

Figura 2.29 Elementos de un micrófono de condensador.



Fuente: The Recording Engineer's Handbook.

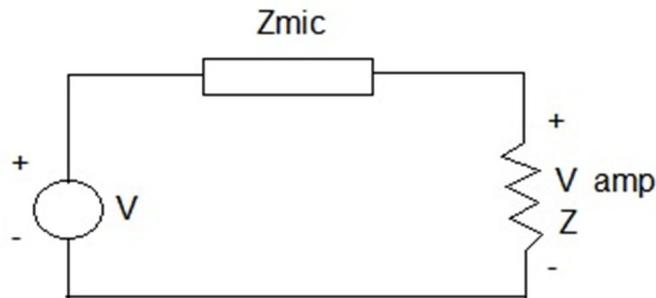
2.4.1.5 Impedancia

La impedancia es un factor relacionado de manera importante con el desempeño de un micrófono y la eficiencia de este en la cadena electroacústica; la impedancia es un fenómeno dado por la resistencia propia que tiene un elemento eléctrico o electrónico al paso de potencia. En el mercado existen gran cantidad de micrófonos pero los más recomendados y considerados como profesionales son los que tienen una impedancia inferior a los 5000hms. El nivel de salida de los micrófonos suele hallarse entre los micro voltios, milivoltios y algunas ocasiones bajo presión sonora extrema hasta un voltio o más.

Las señales salientes de los micrófonos resultan ser bastante bajas por lo que precisan de un proceso llamado preamplificación donde la señal del micrófono es amplificada hasta la señal de línea pero toda la circuitería que tiene el micrófono posee una impedancia propia provocada por la interacción entre componentes internos, este problema puede ser sobrellevado dándole al preamplificador una impedancia de entrada 10 veces mayor a la de salida del micrófono garantizando así un buen funcionamiento. Cuanto mayor sea la impedancia de entrada del amplificador será menor la cantidad de voltaje que disminuye en el proceso. Valores típicos son los de micrófonos con impedancia

interna de 50 a 200 Ohms y las entradas de micrófonos del preamplificador suelen encontrarse en el orden de 1000 Ohms o más¹³.

Figura 2.30 Gráfico de impedancias.



Fuente: Autor

Donde, V es el voltaje producido debido a la presión, Z_{amp} la impedancia propia del micrófono y Z_{amp} la impedancia de entrada del preamplificador.

$$V_{amp} = \frac{Z_{entrada}}{Z + Z_{entrada}} V \quad (2.46)$$

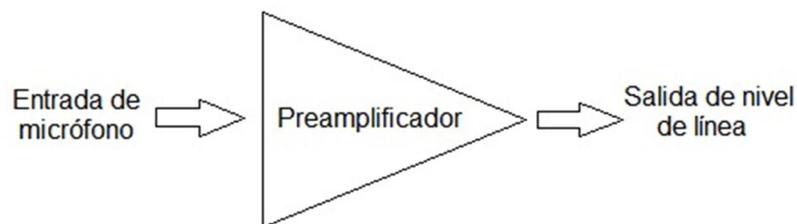
Donde V_{amp} es el voltaje dado por el amplificador, $Z_{entrada}$ la impedancia de entrada del preamplificador, V el voltaje producido por el micrófono y Z la impedancia propia del micrófono.

¹³ Jones, 2009, Pág. 491

2.5 Requerimientos básicos de un preamplificador de micrófonos

La idea básica del preamplificador es aumentar la señal del nivel de micrófono a nivel de línea.

Figura 2.31 Diagrama de bloques del funcionamiento de un preamplificador para micrófono.



Fuente: Autor

El nivel que produce un micrófono depende de varios factores, entre estos: el NPS entrante, las características propias del micrófono y la proximidad del micrófono a la fuente. Conociéndose los factores anteriores un preamplificador para micrófono suele cumplir las siguientes especificaciones¹⁴:

- Ganancia de entre 40 y 70dBu sobre la entrada.
- *phantom power* de 48V +/- 4.
- Para aplicaciones con alto NPS un atenuador de 20dB.
- Una salida balanceada y otra desbalanceada de ser posible.
- Ser capaz de adaptarse al siguiente dispositivo de la cadena electroacústica aunque tuviese impedancias de entrada de 10 a 20k.
- Un potenciómetro de regulación de entrada.
- Un potenciómetro de regulación de salida.

¹⁴ Rivers, 2008, Págs. 1,2,5.

2.6 El tubo de vacío

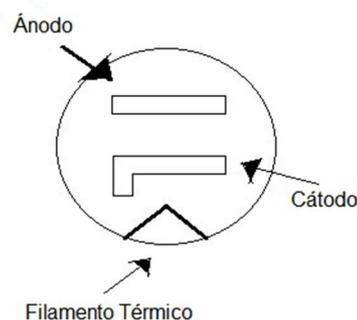
2.6.1 Tecnología termoiónica

El desarrollo del tubo de vacío o válvula termoiónica, tuvo sus inicios en 1883 con los descubrimientos de Thomas Edison esto es alrededor de 65 años antes de que la tecnología del transistor se empiece a concebir su principio de funcionamiento es el llamado efecto Edison¹⁵.

Se sabe que hay dos tipos de cargas eléctricas: el protón positivo y electrón negativo, además, estas dos cargas se atraen por ser contrarias; todo material compuesto de varios átomos que a más de tener los electrones como parte de las órbitas propias de su núcleo contiene también electrones sueltos cerca de las órbitas exteriores. En la naturaleza algunos materiales responden al calor desprendiendo los electrones libres y ubicándolos a cierta distancia del núcleo de sus átomos de tal manera que hasta pudieran fugar a otro material.

La configuración más simple de un tubo de vacío usa a tres elementos: el ánodo, el cátodo y un tercer elemento que calienta al cátodo de la siguiente manera:

Figura 2.32 Configuración más simple de un tubo (Diodo).



Fuente: Autor

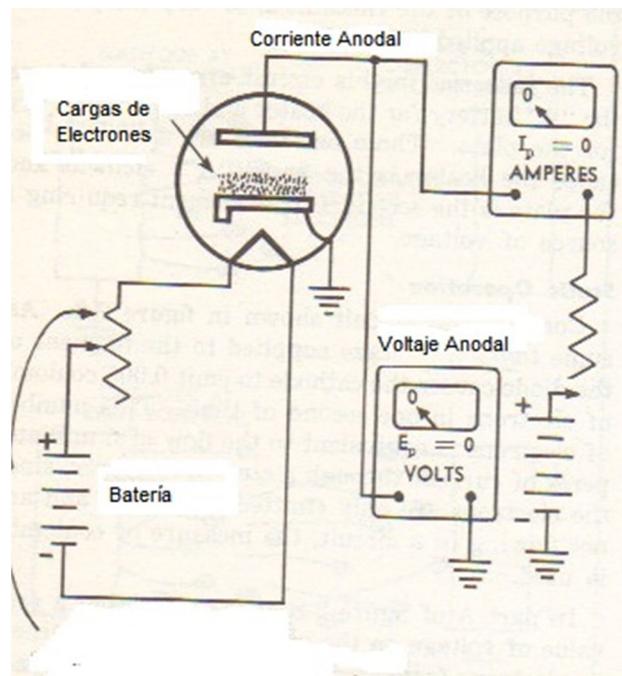
La tecnología termoiónica se refiere a la separación de electrones de un material debido a su aumento de temperatura, entonces, desde ahora

¹⁵ Philco, 1966, Págs. 8

llamaremos materiales termoiónicos a los que cumplen esta función y el proceso se da así:

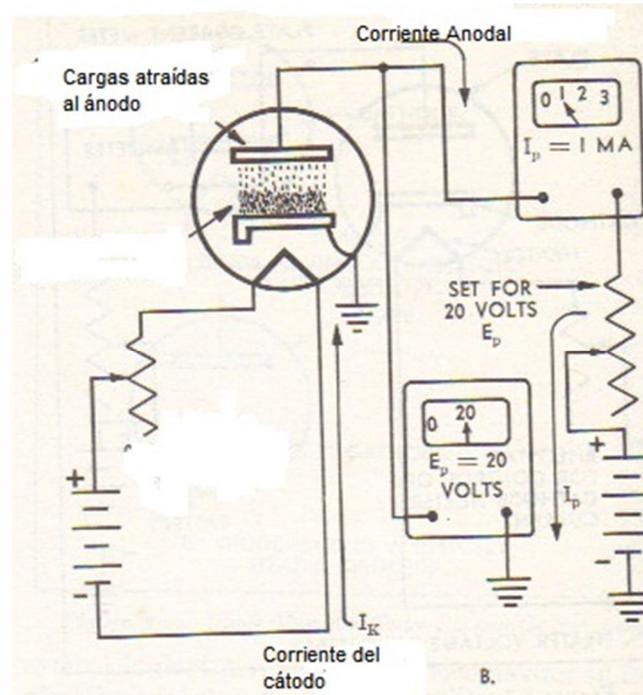
1. Una fuente proporciona voltaje a un material que se llama calentador o *heater*.
2. El cátodo se calienta debido al calor del *heater* y empieza a desprender electrones.
3. Otra fuente induce carga positiva al ánodo y al estar en polaridad contraria al cátodo y en distancia corta empieza a atraer a los electrones y por tanto se empieza a generar una corriente.

Figura 2.33. Configuración simple del tubo.



Fuente: Vacuum Tube and Semiconductor Fundamentals, Cap2, Pagina 15, traducido.

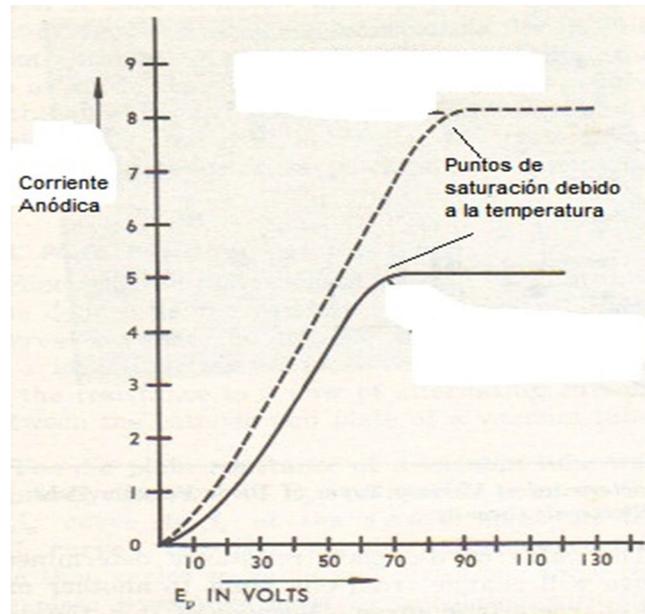
Figura 2.34 Funcionamiento básico del tubo con inducción de corriente al cátodo.



Fuente: Vacuum Tube and Semiconductor Fundamentals, Cap2, Pagina 16, traducido.

Lo expuesto anteriormente es el proceso de funcionamiento básico de un tubo de vacío con su respectivo material termoiónico pero en este material el ánodo tiene una curva característica importantísima de subida de voltaje respecto a corriente, además el voltaje mencionado llega hasta un punto de saturación donde aunque se aumente el calor el cátodo no podrá emitir más electrones.

Figura 2.35 Respuesta de voltaje del ánodo respecto a la corriente del cátodo.



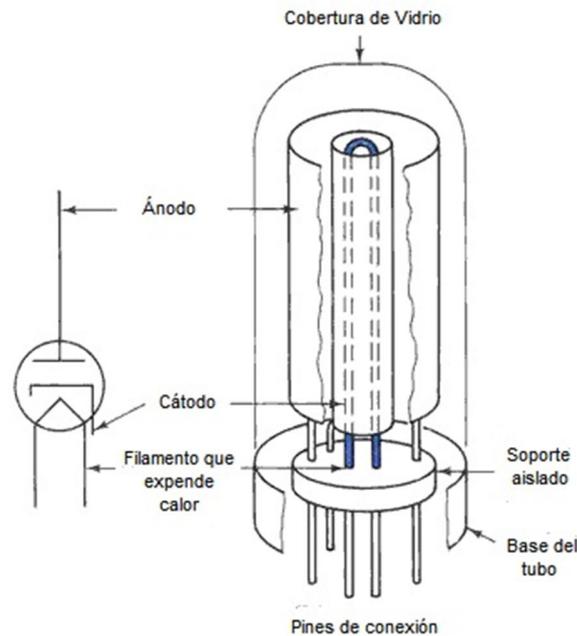
Fuente: Vacuum and Semiconductors Fundamentals, página 17, traducido.

2.6.2 Construcción interna del tubo

Toda la implementación del sistema explicada en el apartado anterior funciona en el vacío, de ahí, que para que este problema sea solventado se decidió ubicar al ánodo, cátodo y al inductor de temperatura dentro de una cobertura de vidrio a la que se le extrae cualquier gas y por tanto queda en vacío; en general el vidrio que cubre a los componentes suele ser frágil de ahí la importancia de cuidar bien y evitar caídas en lo posible pues pueden ser causa de un deterioro irreversible del material.

Para una mejor visualización se pone a consideración de manera gráfica de la estructura física común de un tubo.

Figura 2.36 Partes del tubo de vacío.



Fuente: <http://www.justinholton.com/trod/tubes.html>, traducido.

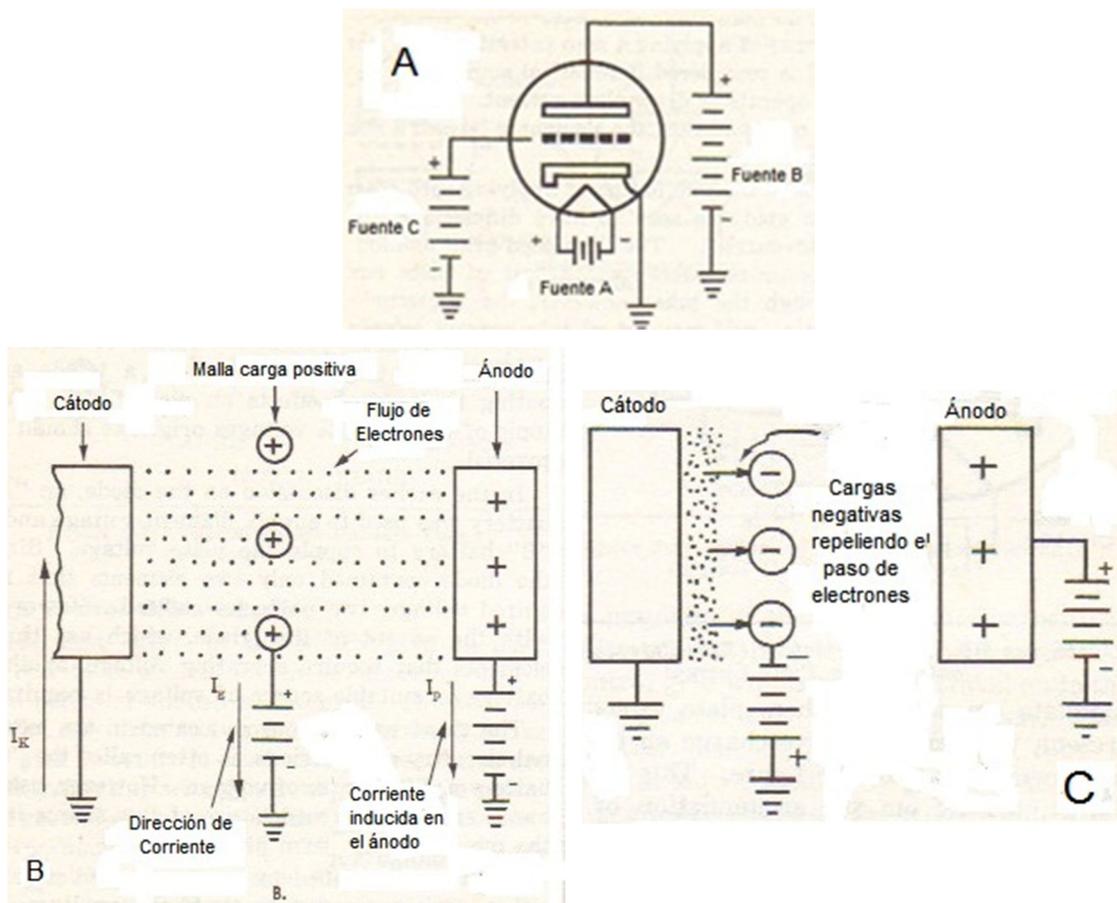
2.6.3 Mejoras al tubo

A lo largo del tiempo los físicos quisieron darle al tubo una mejor eficiencia y con este fin se hicieron algunas modificaciones y de estas la más representativa es la implementación de un elemento llamado malla entre el cátodo y el ánodo con la función de regular el paso de electrones entre estos y aumentar en ciertos casos hasta 10 veces el factor de amplificación¹⁶; en caso de que la malla estuviese conectada a tierra algunos de los electrones quedarán atrapados en el material y fugarán decreciendo la corriente, si la malla se conecta a carga positiva gran parte de los electrones fugarán atraídos al el elemento antes dicho y por último si se conecta la malla a carga negativa la mayor parte de los electrones no pasarán al ánodo pues su paso será repelido.

¹⁶ Philco, 1966, Pág. 50

La intensidad de carga positiva o negativa en la malla se puede controlar con resistencias variables.

Figura 2.37 Situaciones de funcionamiento de un tubo: A tríodo con malla a tierra. B con malla positiva. C con malla de carga negativa.



Fuente: Vacuum Tube and Semiconductors Fundamentals, página 52, traducido.

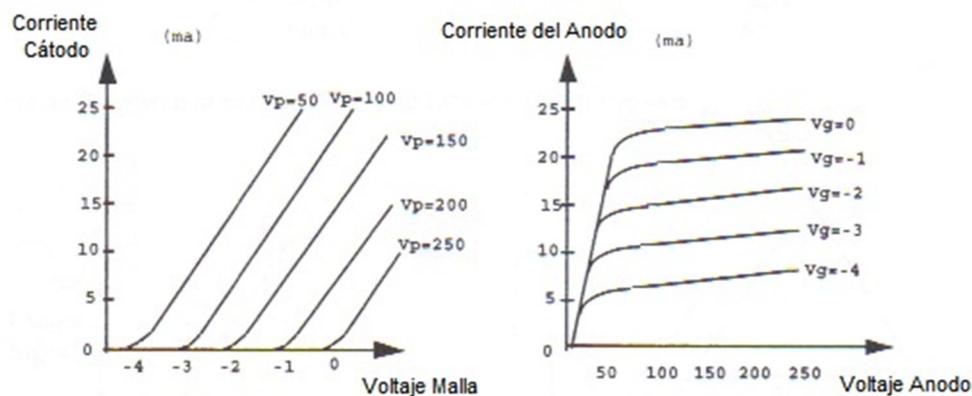
2.6.4 Características de los tubos

Los tubos son distintos de otros componentes electrónicos existentes en el mercado desde su propia construcción y forma, así mismo, los datos de información y técnicos presentados por los fabricantes son distintos.

Se sabe también que cada tubo es distinto de otro a pesar de su fabricación en serie, por lo tanto, lo que se hace para obtener resultados prácticos es un promedio de una muestra de algunos tubos y varias casas de fabricantes incluso no envían datos técnicos en sus productos¹⁷.

Específicamente hay dos curvas que ayudan a desarrollar un circuito, la primera que presenta a la corriente del ánodo como función del voltaje existente en el mismo y la segunda que presenta al voltaje del ánodo en función del voltaje de la malla y también obteniendo la corriente en el cátodo.

Figura 2.38 Curvas características de los tubos.



Fuente: Vacuum tube Guitar and Bass Amplifier Theory, pag.9.

De los parámetros vistos en estas curvas se pueden obtener tres claves para el estudio de los tubos, la primera es la transconductancia (g_m) expresada en mhos, este parámetro indica cuán grande es el cambio en la corriente del ánodo; el segundo parámetro importante que se puede obtener es la resistencia del ánodo (R_p) y el tercero es el factor de amplificación que es el producto de la resistencia del ánodo por la transconductancia y de todo esto se obtiene la siguiente fórmula:

$$u = R_p \times g_m \quad (2.47)$$

Dónde u es el factor de amplificación.

¹⁷ Jones, 2010, Pág. 580

2.6.5 Operación de un tubo¹⁸

Para los cálculos de operación de un tubo es de enorme ayuda la curva característica presentada en la hoja de datos técnicos, de estos gráficos el que enfrenta la corriente del ánodo versus el voltaje de la malla es muy poco común pero en este caso se analiza algo de ella para entender la operación típica del elemento en cuestión; a continuación se explican algunos elementos.

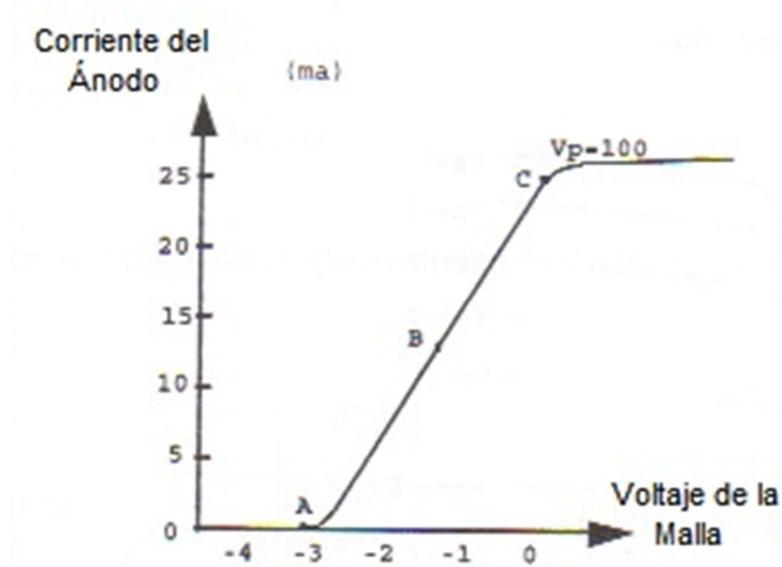
El punto de corte se encuentra en la mitad de la región de operación. Hablando del voltaje de malla el punto de operación solo se encontrará en el lado negativo, pues en voltaje positivo la malla no permite la operación del tubo; observando el gráfico de abajo si el punto de corte está en A cualquier voltaje menor a 3 voltios hará que la malla este cargada de forma negativa en saturación y por tanto no habrá paso de corriente.

En la región linear, es decir el punto B, es donde se encuentra el área de operación en la que la corriente del ánodo es directamente proporcional al voltaje de la malla. La región entre el punto B y C es la que menos distorsión tiene y donde los amplificadores toman el nombre de clase A.

El punto de saturación es la región de operación donde la corriente del ánodo está a su máximo y por eso no responde a ningún incremento adicional de carga positiva, cualquier esfuerzo sobre este límite no derivará en aumento de corriente.

¹⁸ Zottola, 1995, Pag. 5

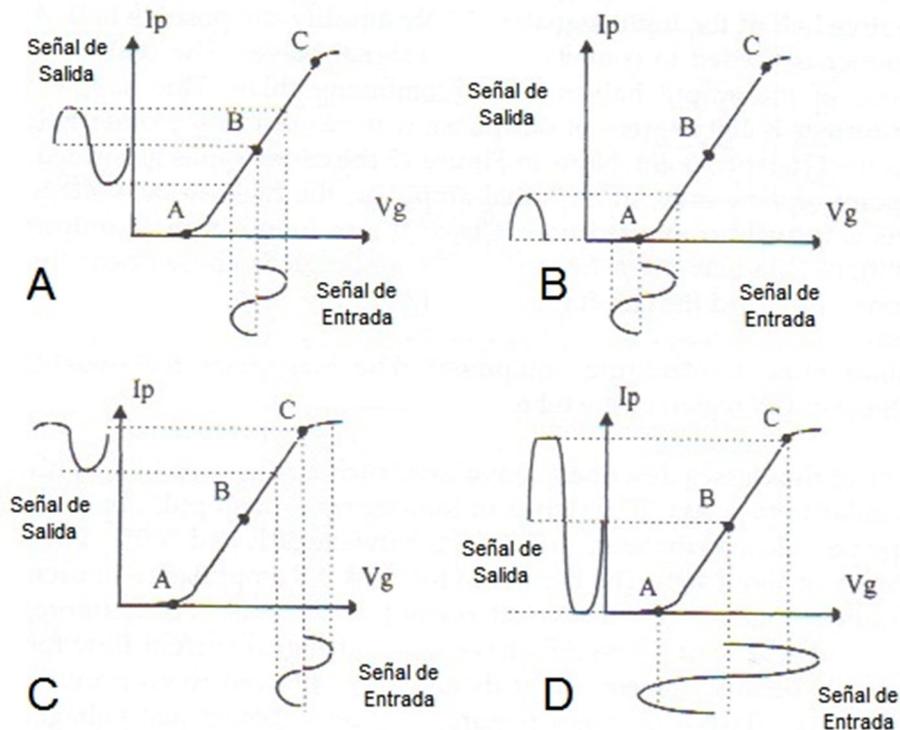
Figura 2.39 Curva de zonas del tubo.



Fuente: Vacuum Tube guitar and Bass Amplifier Theory, pag. 10.

Se supone ahora el ingreso de una señal senoidal al tubo, entonces cuando el funcionamiento del sistema está exactamente calibrado para el punto B lo que se obtiene es una copia igual de la señal de entrada; si la corriente se hace cerca del punto A lo que se va a obtener es solamente la parte positiva de la señal y la negativa es ignorada, por último cuando un tubo se pone en funcionamiento en la región C o cerca de esta la parte positiva de la señal se anula y solo la negativa pasa. En caso de que se aplicase un voltaje con una amplitud que exceda el punto de saturación del tubo existirá distorsión de cualquier manera.

Figura 2.40 Algunas modos de amplificación de tubos.



Fuente: Vacuum Tube Guitar and Bass Theory, pag. 11.

1. Amplificación sin distorsión zona B.
2. Amplificación con solo señales positivas zona A.
3. Amplificación con solo zona negativa zona C.
4. Amplificación con distorsión.

2.6.6 Modos de operación del tubo

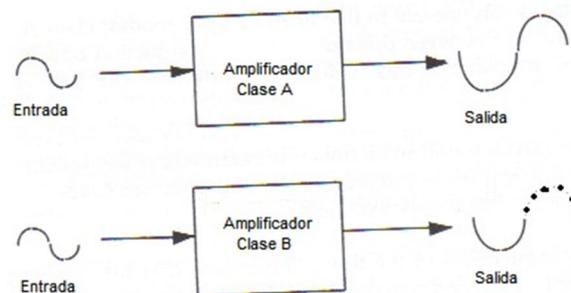
El tubo puede operar en tres situaciones llamadas A, B y C, aquellos sustantivos se deben al tiempo de conducción que tiene el tubo sobre la onda y como éste es conectado.

Los amplificadores de clase A conducen a la señal el 100% del tiempo. Esto quiere decir que se conduce una señal y se la está amplificando siempre, su desventaja se encuentra en que tiene una menor eficiencia.

Los amplificadores de clase B conducen solamente el 50% del tiempo, esto quiere decir que por ejemplo en una onda senoidal solo tomaría una mitad del ciclo y no todo, por lo tanto no es lineal y en caso de que se use este se deberá duplicar a la mitad del ciclo que se tomó e incluso rectificarla y también invertirla si es necesario, pero a ventaja del A tiene una mayor eficiencia. Existe una variante de amplificador de clase B que incluso requiere de un transformador para llevar a la señal a continuidad.

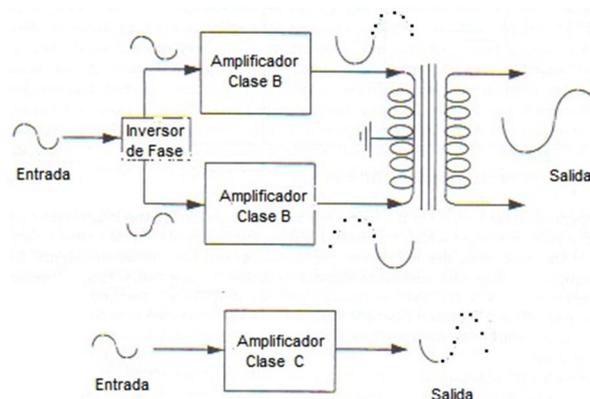
Por último, los amplificadores de tipo C conducen solamente una cuarta parte del ciclo y su trabajo en rectificación y duplicación de señal debe ser más grande pero a ventaja de los otros tiene un gran porcentaje de eficiencia.

Figura 2.41 Descripción de los amplificadores clase A y B.



Fuente: Vacuum Tube Operation, Pag. 12. Traducido

Figura 2.42 Gráficas de los amplificadores clase C y clase B con inversor.

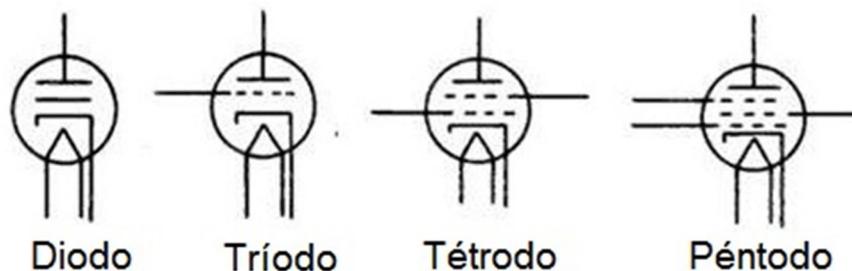


Fuente: Vacuum Tube Operation, Pag. 13. Traducido.

2.6.7 Tipos de tubo disponibles

Los tubos de vacío gozaron de su época de oro hace ya varios años, y hoy su uso es limitado pero muy bien valorado en pocos aspectos de la electrónica como el audio, la tv y amplificación de potencia para personas con gusto por el estilo de electrónica y rendimiento analógico. Hay ahora algunas empresas dedicadas a la fabricación de tubos pero no en la misma cantidad de décadas anteriores. Entre los tubos más usados se tienen al tubo rectificador, al tríodo al tetrodo y al pentodo de poder; de estos al primero se lo usa con el mismo efecto de un transistor y a los pentodos y tetrodos como elementos de amplificación de potencia, por último los tríodos son ideales para la preamplificación y un primer aprendizaje pues de acuerdo a la hoja característica presentada en el Anexo 1 maneja un orden de 300 a 400 voltios, mientras otros tubos usan un mayor voltaje, por lo tanto es más seguro trabajar con un tríodo para evitar accidentes eléctricos.

Figura 2.43 Representación gráfica de los tubos más comunes.



Fuente: : Vacuum Tube Guitar and Bass Theory, pag. 16

2.7 El tríodo como amplificador¹⁹

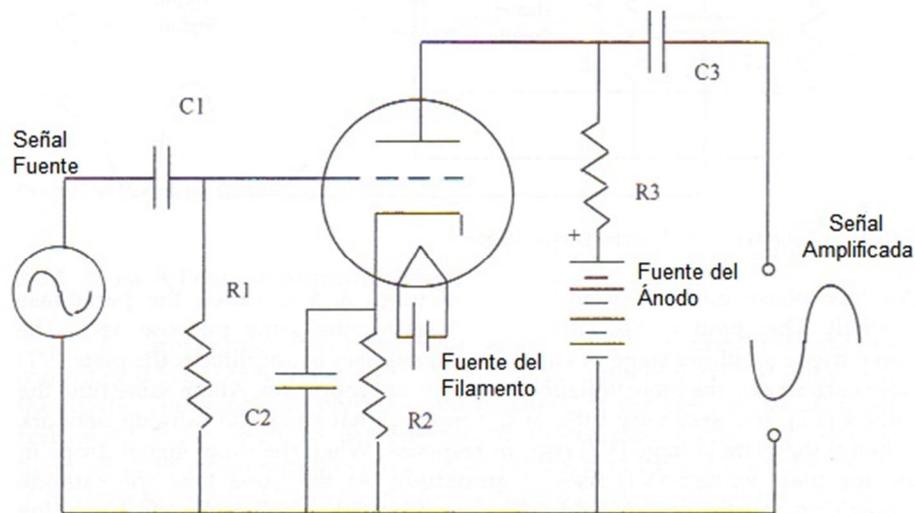
La configuración del tubo como tríodo a diferencia del diodo presenta a la malla como elemento nuevo; la alimentación de la señal viene dada por el cátodo y la malla, mientras, la señal de salida se da entre la malla y el ánodo.

Para que el proceso de amplificación se dé en este caso se precisan de 3 fuentes de voltaje: una para el filamento productor de calor, otra para la malla y una última para el ánodo o en todo caso una optimización entre ellas. La fuente del filamento se encarga de comenzar y regular el desprendimiento de electrones mientras la fuente de la malla se encarga de regular el punto de operación del tubo y por último con la fuente del ánodo se determina el flujo de la corriente o no en el tubo.

En la figura 2.44 se observa como el tubo tríodo toma voltaje desde el filamento y el ánodo con dos fuentes distintas, en este caso no hay una fuente de voltaje propia para la malla, sino una señal y el voltaje aquí viene luego de la resistencia R1 que a su vez viene de la fuente del filamento; dado que existe la resistencia antes mencionada se observa de manera clara que el voltaje es de 0 en la malla ya que está conectada al mismo punto de referencia que el cátodo y la fuente del ánodo, en este caso las dos fuentes de voltaje auto regulan el nivel que hay en la malla ya que están interconectadas y no hay una tercera fuente o potenciómetro que genere un cambio en el potencial o controle algún parámetro de este elemento.

¹⁹ Zottola, 1995, Pág. 15

Figura 2.44 Configuración básica de un amplificador de tubo.



Fuente: Vacuum Tube Guitar and Bass Amplifier Theory, pág. 14, traducido.

Es pertinente decir que el tubo es un elemento controlado por el voltaje y de ahí la necesidad de la existencia de R3 pues de su valor depende convertir la corriente existente en el voltaje requerido; las capacitancias C1 y C3 están en el camino de las señales senoidales pero no se oponen a estas, la capacitancia C2 cumple la función de bypassear a la resistencia R2, por lo tanto la impedancia no es tocada aquí. Los capacitores C1 y C2 ayudan a mantener aisladas de la fuente y resultado senoidal la influencia del voltaje DC, sobre todo para evitar que se afecte a la corriente; lo expuesto en el gráfico anterior forma a una amplificador de acople RC (resistor-capacitor) debido a la posición de estos elementos en las etapas previa y posterior del tubo.

Es de tener en cuenta en estos circuitos que la onda senoidal resulta amplificada pero invertida su resultante respecto a la original.

2.8 Ventajas y desventajas del uso de tubos en el audio²⁰.

El sonido en una grabación depende de varios aspectos como la calidad del instrumento, interpretación, características del micrófono usado, cables de conexión, equipos de procesamiento de la señal, etc. De gran importancia en la grabación es el preamplificador de micrófono y de este existen en la actualidad dos tecnologías en funcionamiento disponibles en el mercado, la primera y más antigua es la que usa tubos catódicos y la segunda, más nueva, basa su trabajo en los transistores; existen también híbridos basados en el uso de tubos junto a un arreglo de transistores pero es muy poco común.

El tema de comparar los pros y contras del uso de tubos o transistores en el audio ha sido ya profundamente comentado entre especialistas en el tema y mayoritariamente la conclusión ha sido favorable hacia el uso de tubos en cuanto a calidad sonora y uso de transistores por razones de costo y seguridad de transporte.

A continuación se exponen un par de tablas de resumen de ventajas y desventajas para tubos y transistores con datos obtenidos de Eric Brebur y la IEEE, además, luego de estas un análisis de la principal diferencia entre las dos tecnologías.

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas de tubos.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Calidad superior de sonido. • Amplificación lineal, sin distorsión notoria sobre todo en pequeñas señales. • En zonas de distorsión el recorte es suave por lo que su sonoridad es considerada bastante agradable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden llegar a ser voluminosos y bastante frágiles. • Se requieren voltajes altos y generalmente peligrosos. • Alto consumo de potencia. • Hace más notorios los defectos sonoros de ciertos micrófonos.

²⁰ Brebur, et al, 2004, all.
O. Hamm, 1972, all.

<ul style="list-style-type: none"> • Gran tolerancia a sobrecargas y picos de voltaje. • Características de funcionamiento altamente independientes de la temperatura en el contexto. • Rango dinámico mucho más amplio que el de los transistores. • El diseño de circuitos es menos complejo al no necesitar acoples de transistores de distintas órdenes y voltajes. • El uso del voltaje DC permite un manejo estable del sonido. • Pueden ser fácilmente reemplazados por el usuario. • La más importante, su sonido es más cálido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere gran trabajo en el diseño para la adaptación de impedancias, sobre todo en la salida. • Tiene costos más altos en relación a lo que podría costar la tecnología de transistores.
---	---

Fuente: Vacuum Tubes and Transistors Compared, Eric Brebur y la IEEE.

Tabla 2.2 Ventajas y desventajas de los transistores en audio.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño y peso menor, por lo tanto para fácil transporte. • Un enorme circuito puede ser incluido dentro de un solo pequeño chip. • Consume una pequeña cantidad de energía. • Opera a niveles de voltaje más bajos e seguros, además de tener 	<ul style="list-style-type: none"> • Tendencia a una mayor distorsión en el sonido que en sus circuitos equivalentes en tubos. • Circuitos de considerable complejidad que podrían derivar en retroalimentación. • Falta de suavidad al actuar como compresores debido a cortes bruscos en etapas límites.

<p>un bajo consumo eléctrico.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El acople de impedancias es más fácil. • Gran capacidad de resistencia del dispositivo completo a golpes o efectos del movimiento por causa de transporte o accidentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • La capacidad de trabajo del transistor frente a voltajes extremos tiene a disminuir. • Características tolerancia poco fiables en diseños ensamblados. • Alta afección de la temperatura sobre el dispositivo y por tanto sobre el sonido final, el transistor es severamente afectado por el recalentamiento mientras el tubo soporta de mejor manera. • Pobre producto sonoro frente al ingreso de señales con sobre voltaje o picos. • Se pueden ver afectados por señales de radio que pueden interferir con la señal de audio manejada originalmente.
--	--

Fuente: Vacuum Tubes and Transistors Compared, Eric Brebur y la IEEE.

2.8.1 La distorsión hace la diferencia.

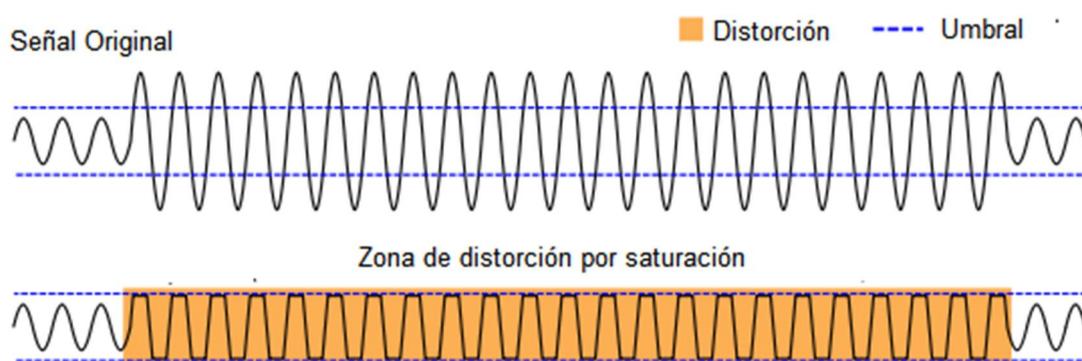
Se sabe que el sonido puede ser representado en nivel eléctrico y para esto se hacen gráficos con el tiempo en el eje horizontal y, la diferencia de potencial en el eje vertical como se puede ver en el apartado 2.3.15.

Se supone una señal de micrófono que entra a un preamplificador; la señal a la salida de este preamplificador debe tener la misma forma la señal de entrada salvo un aumento en la amplitud como se puede observar en la parte superior del gráfico 2.45.

Tubos y transistores tienen una característica llamada el umbral máximo de potencia, a partir de este umbral las señales ya no podrán ser amplificadas

con linealidad pues las características propias del tubo o transistor no tienen la capacidad de hacerlo y cada vez que la señal intente sobrepasar este límite se darán problemas de recorte de la señal en sus niveles pico y de ahí la percepción sonora en la mayoría de casos puede llegar a ser desagradable, un ejemplo gráfico se encuentra en la parte inferior de la figura 2.45.

Figura 2.45 Distorsión por saturación.



Fuente: [http://www.geniusdv.com/weblog/mtsearch.cgi? IncludeBlogs=28&tag=Audio&limit=20](http://www.geniusdv.com/weblog/mtsearch.cgi?IncludeBlogs=28&tag=Audio&limit=20), traducido.

El papel de la distorsión en el sonido en los tubos es el mayor diferenciador a la hora de escoger estos preamplificadores sobre los de tecnología de transistores²¹. Los tubos distorsionan de manera única pues aprovechan el máximo potencial del tubo sin que exista una saturación exagerada que derive en cortes de la señal y, por el contrario es un limitador delicado; el transistor por otra parte ejerce un corte brusco que causa cierta incomodidad al oyente, a nivel gráfico se puede resumir en la Figura 2.46.

El aspecto técnico expuesto en el párrafo anterior es corroborado con los comentarios emitidos por sonidistas de reconocida trayectoria a nivel mundial de la siguiente manera:

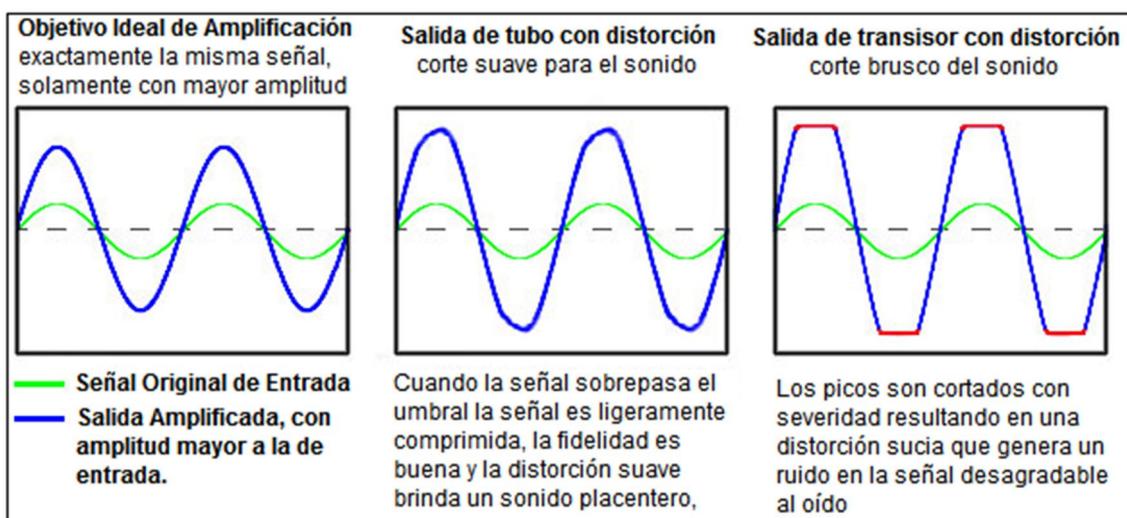
“(…) Si quieres intentar romper los límites del realismo y buscar más, yo creo que debes usar tubos” Harry Pearson.

²¹ Pittman, 2004, Pág. 103.

"(...) Los tubos son más realistas. Ellos tienen más cuerpo, son más brillantes. Ellos tienen la acción que los dispositivos de estado sólido no tienen". Jonathan Valin

"Puedes hablar mucho sobre mediciones pero eso no te dice nada sobre cómo el amplificador comunica la música. Tu obtienes ese algo especial con el sonido de los tubos". Robert Harley

Figura 2.46 Gráfico distorsión para tubos y transistores.



Fuente: <http://milbert.com/articles>, traducido.

Existen también análisis basados en la psicoacústica que confirman el postulado observado en los párrafos anteriores, estos experimentos los realizó Russell O. Hamm hace ya varios años determinando que los tubos tienen la capacidad de reforzar las frecuencias armónicas insertas en él con mayor amplitud pero más suavidad mientras un preamplificador de transistores no lo puede hacer de la misma manera, además se comprobó que en bajas frecuencias los tubos pueden rendir de mejor manera pues debido al rango dinámico adicional que presta esta tecnología los sonidos se escuchan más fuertes y claros.

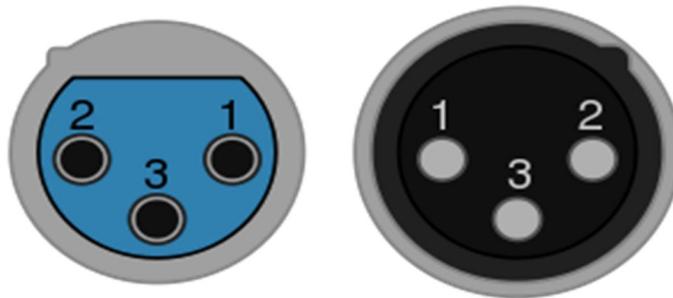
2.9 Conectores de audio

Desde la creación misma de los transductores electroacústicos un acuerdo al que siempre se buscó llegar tiene que ver con el uso de conectores para los procesos eléctricos y en este apartado se darán a conocer los que se usan para llevar a cabo esta tesis así:

2.9.1 Conector XLR-3

Llamado conector balanceado de 3 pines tiene su principal fortaleza en una transmisión con buen aislante al ruido debido a su pin exclusivo de conexión a tierra para descarga; sus terminales deben ser conectados de manera correcta y tienen una numeración específica; para mejor maneja existe un terminal hembra generalmente ubicado en los preamplificadores y un terminal macho en la salida de los micrófonos de la siguiente manera:

Figura 2.47 Conectores XLR hembra y macho



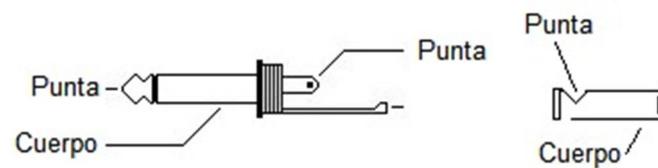
Fuente: Autor.

Donde el pin 1 es la malla del cable, el pin 2 la fase con polaridad normal y el pin 3 la fase con polaridad invertida

2.9.2 Conector TS

Llamado también Jack de $\frac{1}{4}$ de pulgada; debido a sus siglas TS (*Tip, Sleeve*) es un conector desbalanceado en forma de cilindro metálico con una punta al final, es además el estándar de conexión de línea no balanceado y comúnmente se presenta como una de las salidas que se presentan en un preamplificador de micrófono, a continuación su configuración que puede ser macho o hembra:

Figura 2.46 Conectores TS macho y hembra desbalanceados.



Fuente: www.doctorproaudio.com

Capítulo III. Desarrollo

3.1 Metodología

Para comenzar este proyecto se determina el alcance que va a tener todo el desarrollo del trabajo, las principales variables y opciones que se cree se presentarán en el camino, y se estiman los caminos de mayor viabilidad para llevar a cabo los objetivos.

Es un punto de referencia en el desarrollo la adquisición de material bibliográfico referido al tema dado que en el medio no es común que se encuentre una amplia fuente informativa; a través del internet y foros se investiga sobre las mejores opciones para fuente de datos y los autores más representativos en el área de investigación, se selecciona lo requerido y se procede a su obtención teniendo en este punto algunas dificultades con temas de importación y de traducción pues casi todas las fuentes disponibles especializadas en este tema no traducen sus textos al idioma español.

A través del estudio del tema se toman decisiones sobre las características a implementar en el diseño y sobre los probables recursos a ser adquiridos pensando siempre en la optimización del material resultante y lo práctico que pueda resultar al final, además, con una idea más clara del tema se procede a la compra de los materiales necesarios para las pruebas y experimentación de probables diseños, encontrando solo una parte de la materia prima requerida en el mercado local se procede a importar lo que hace falta siendo parte de esto último los elementos más sensibles para la implementación del proyecto.

Contando con los materiales y conocimientos apropiados para el comienzo de la experimentación se proceden a realizar esquemas y pruebas con los modelos de tubos adquiridos; a través de cálculos para los componentes más sensibles y también en manera experimental se encuentran ventajas y dificultades de cada opción, además de nuevos requerimientos a nivel material para poder continuar con el trabajo.

Parte del desarrollo en cierto momento se centra en tomar medidas de precaución ya que se encuentran voltajes letales de no ser cuidadoso y se toma la decisión de resolver el problema a través de estudios por áreas: el de seguridad, el de potencia, el de alimentación de audio a los tubos, y el de adaptación de impedancias de entrada y salida, vale recalcar que para estos 4 aspectos no necesariamente se usa un orden cronológico; solamente al final de la implementación de los primeros estudios se puede realizar un análisis sonoro al circuito definitivo.

Se da prioridad al tema seguridad y se busca la solución que use niveles eléctricos manejables con el menor riesgo posible, para estos menesteres el cálculo matemático manual del comportamiento del tubo y su sistema se vuelve extenso en demasía y pasaría a ser parte de otro tema de análisis por lo que se decide acudir a simulaciones por computador basadas en los datos del fabricante de los tubos además de cálculos razonables y objetivos ayudando así a un desarrollo más dinámico del trabajo.

En cuanto a la parte práctica se decide el uso de 3 micrófonos tipo del mercado y se prueba niveles de entrada, de resistencia al paso eléctrico y su nivel de amplificación en cada parte del proceso, además para probar la salida se evalúa el rendimiento del diseño en una caja amplificada y un software de grabación cuidando que la adaptación de impedancias sea la adecuada.

Se analizan entonces a la par los cálculos en papel y en digital intentando una y otra vez hasta llegar a los valores requeridos, por último se adapta el diseño definitivo a un prototipo en tablero electrónico con los materiales disponibles y se procede a las pruebas

Una vez probado el prototipo se diagrama el circuito final del preamplificador siendo este el resultado final de la investigación junto a evaluaciones básicas de su funcionamiento.

Por último se llega a conclusiones basadas en la experiencia del tema y se dan sugerencias y tentativas de próximos pasos a seguir para que en el futuro el proyecto pueda extenderse.

3.2 Desarrollo del diseño y prototipo

3.2.1 Determinación de aspectos importantes de diseño

Para dar forma al proyecto se determinó a través de la exploración en internet, blogs, sitios especializados y ante todo en hojas técnicas las características comunes en preamplificadores disponibles del mercado decidiendo que los siguientes parámetros tentativamente serán desarrollados en el diseño.

- A) Impedancia de entrada con valor de al menos 10 veces la de un micrófono profesional promedio.
- B) Incorporación de un PAD atenuador en la señal de entrada.
- C) Incorporación de un inversor de voltaje entre los polos 2 y 3 del micrófono.
- D) Implementación de voltaje *phantom power* de 48V en los polos 2 y 3 respecto de la referencia en el puerto de entrada del micrófono para micrófonos de condensador.
- E) Ganancia de al menos 35dBV entre la entrada y salida del dispositivo.
- F) Impedancia de salida balanceada y desbalanceada con capacidad de carga de 15k Ohms
- G) Conexión para su funcionamiento estándar a 120V e 60Hz de red doméstica AC.
- H) Por la disponibilidad y uso de los micrófonos disponibles este trabajo se centrará en la optimización del diseño para pruebas con voz.

3.2.2 Listado de recursos a ser usados en el trabajo experimental

Antes de comenzar el trabajo se juntan los materiales para tenerlos a disposición, a continuación se listan:

3.2.2.1 Recurso material inicial

- Fuente de Voltaje 0-18 V DC, 1-3 A.
- Cautín de estaño con 45 Watts de potencia.
- Transformadores de potencia.
 - 120VAC – 500VDC @ 0,6A / 120VAC – 6,3VDC @ 0,6A
 - 110VAC - 12VDC @ 2A primario y secundario.
- Tubos de vacío básicos para pruebas.
 - 11 tubos modelo 12AX7 de diversas marcas.
 - 2 tubos modelo 12AU7A Electro-Harmonix.
 - 2 tubos modelo 12BH7 Electro-Harmonix.
- 6 tableros de prueba electrónica de uso universal de 800 puntos.
- Generador analógico de funciones senoidales, triangulares y cuadradas de 8V de amplitud para frecuencias entre 10Hz y 1MHz.
- Osciloscopio digital Hantek DS0-2090 de interfaz USB de dos canales para observación de gráficas.
- Kit de resistencias de varios valores entre 1 y 1000000 de Ohms para potencia de ½ Watt.
- Kit de capacitores de entre 1pf y 1000uf con valores de resistencia de voltaje varios.
- 2 multímetros digitales estándar.
- Puntas para osciloscopio con atenuación 10 a 1 (10X).
- Transformador de audio 1:10 de entrada de micrófono Jensen JT-115K-EPC.
- Leds en varios colores.
- Conectores XLR macho y hembra en cantidades adecuadas.
- Cables de audio para conexión profesional.

- Cables de interconexión electrónica para protoboards.
- 3 micrófonos profesionales con impedancia menor a 6000hms.
 - SM-58 de bobina móvil.
 - SM-86 de condensador.
 - MXL-400 de condensador.
- Herramientas de práctica varias. (destornillador, cortacables, etc.)
- Calculadora.
- Computador portátil con software de medición eléctrica y de simulación electrónica (Multisim-Workbench 2010).
- Computador de escritorio con software Pro Tools habilitado.
- Monitor de estudio activo.
- Manuales de usuario disponibles de los materiales mencionados anteriormente.

3.2.2.2 Recurso humano

El trabajo experimental y analítico es realizado de manera total por el autor de esta tratado, apenas se acude a un profesional en el tema de seguridad eléctrica como consultor.

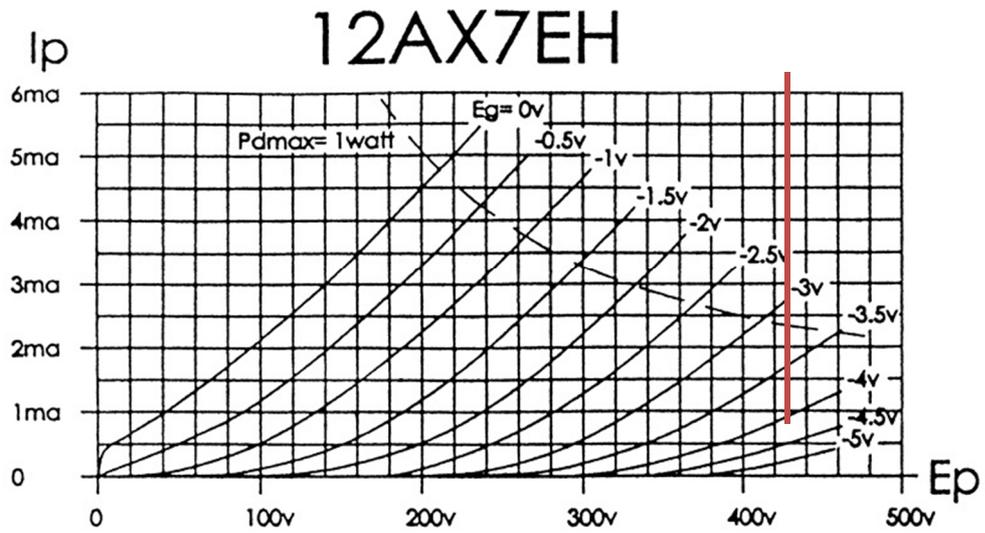
3.2.2.3 Recurso bibliográfico

Se encuentra disponible su listado en la zona de bibliografía cerca al final de este trabajo, cabe decir que la gran mayoría de libros se importaron pues no se encontró bibliografía de tubos para audio disponible en el medio.

3.3 Análisis de seguridad

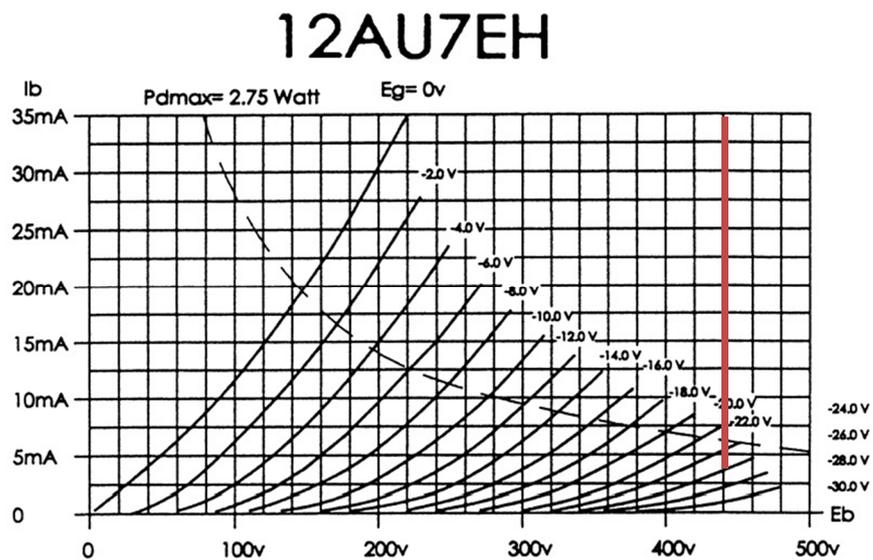
En la medida que el proyecto se va desarrollando un dato que llama la atención y es digno de mencionar primero es el tema de seguridad; antes de iniciar el estudio el autor de esta obra imaginaba que el manejo de tubos no ameritaba un riesgo de electrocución pero al observar las tablas técnicas de los tubos presentadas en los anexos 1,2 y 3 de esta tesis se decidió insertar este análisis. Se disponen de 3 tipos de tubos: el 12AX7, el 12AU7A y el 12BH7 de los cuales a continuación se ubican sus curvas de trabajo.

Figura 3.1 Curva de funcionamiento del tubo 12AX7.



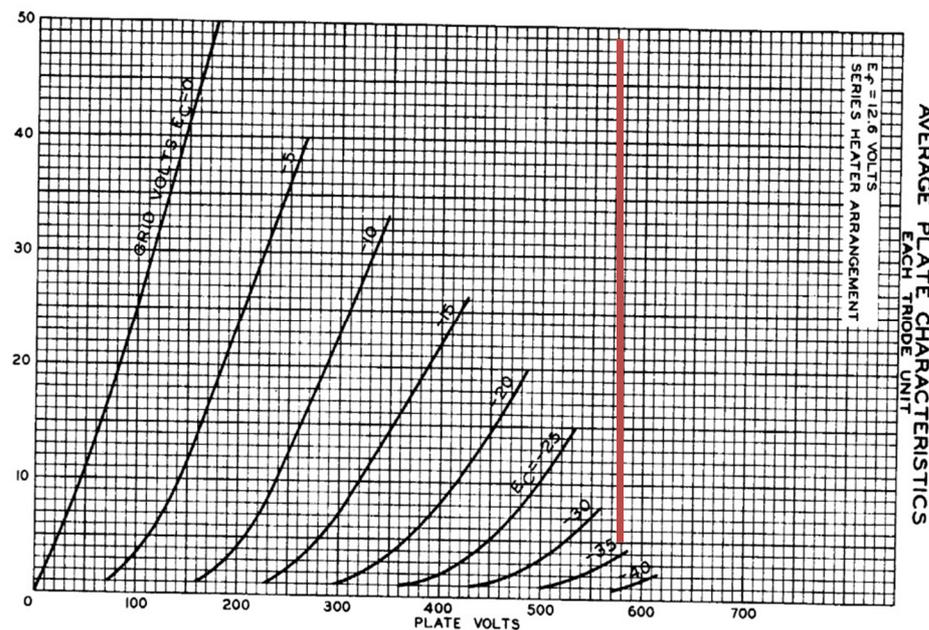
Fuente: 12AX7 Electro Harmonix Data Sheet.

Figura 3.2 Curva de funcionamiento del tubo 12AU7.



Fuente: 12AU7A Electro Harmonix Data Sheet.

Figura 3.3 Curva de funcionamiento del tubo 12ABH7.



Fuente: 12ABHT Data Sheet.

En cada uno de los gráficos se ubicó una línea roja para señalar los voltajes límite a los que trabajan estos elementos, en los tres casos se observa que en el eje de las x se puede llegar a una diferencia de potencial de 600 voltios; en el nivel experimental por falta de concentración, error de cálculo o conexiones erradas de manera involuntaria en más de una ocasión los niveles de voltaje alcanzaron dramáticos 1500 voltios con un consumo de al menos 2 A por lo que se procedió de manera inmediata a una rápida capacitación de seguridad eléctrica, de todas maneras desde aquellos momentos se tomó mayor precaución y se procedió al cambio de componentes solamente con el prototipo desconectado de cualquier fuente; según portaleléctricos.com para manejo de alto voltaje se recomienda lo siguiente:

Figura 3.4 Tabla de límites de aproximación eléctrica.

Tensión Nominal del Sistema	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida [m] Incluye movimientos involuntarios	Límite de aproximación técnica [m]
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta		
51–300 V	3,00	1,10	Evitar contacto	Evitar contacto
301–750 V	3,00	1,10	0,30	0,025
751V–15kV	3,00	1,50	0,66	0,18

Tomado de <http://www.portalelectricos.com/retie/cap2art13.php>

Interpretando los datos para manejar el diseño debemos referirnos a la última columna derecha que es el límite de aproximación técnica, para los casos de entre 600 y 1.2kV la distancia de seguridad abarca entre 2,5 y 18cm, de ahí que no es recomendable bajo ningún termino cambiar componentes en medio de la operación o usar para la medición puntas tomadas por las manos a menos de 10cm.

Pensando también en el tema de potencia cada tubo tiene su propio consumo y límite máximo de recepción de potencia, por eso se escoge al tubo con menor cantidad de potencia límite para mantener a este parámetro controlado y se trabajará en base a este el diseño; el tubo escogido es el 12AX7 por las razones expuestas en este ítem de análisis.

3.4 Alimentación de potencia para los micrófonos.

Antes de empezar a realizar las primeras pruebas a los niveles de salida de los micrófonos es menester conocer sobre sus fuentes de voltaje; en el caso de los micrófonos de bobina móvil no se necesita de una fuente especial para ellos pues basta con la presión sonora que se le induce y la bobina interna genera una diferencia de potencial; el caso de los micrófonos de condensador es distinto pues requieren de un voltaje DC de 48V, es al menos el caso particular del SM86 y el MXL4000, entonces ahora se dará paso al diseño de la fuente de poder para este caso.

3.4.1 Diseño de la fuente de voltaje phantom

Es una fuente de voltaje DC con 48V de entrega que se ubica en los pines 2 y 3 de una señal balanceada para los micrófonos de condensador. Se tiene en el stock inicial de diseño un transformador que trabaja a 2 amperios transformando una diferencia de potencial de 110V a 12V, además, otro transformador que convierte de 125V a 6,3V en su secundario y de 115V a 500V en el primario; se buscan en el mercado fuentes de entre 44 y 52 voltios con voltaje directo pero no se encuentran, se procede entonces a diseñar con el transformador 110-12 la fuente usando los siguientes cálculos y consideraciones.

En electricidad existe un concepto llamado multiplicación de voltaje producto de conjugar de manera correcta una fuente AC, diodos rectificadores y capacitores; cada multiplicación del voltaje de entrada aumentara dos veces el voltaje inicial pero rectificado a DC y aquí radica la ventaja para la consecución y objetivo de llegar al *phantom power* requerido de 48V.

Se decide entonces usar la fuente que transforma de 110 a 12 Voltios y a continuación se procede a calcular su factor de transformación:

$$F_t = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{12V}{110V} = 0,109$$

En términos más claros, por cada unidad de voltaje ingresada a este transformador se obtendrán a la salida 0,109 voltios de AC; tomando en cuenta que la red ecuatoriana trabaja en promedio a 120-125V con una frecuencia estandarizada de 60 Hz el valor real que produciría el transformador se obtiene de la siguiente manera:

$$F_t = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

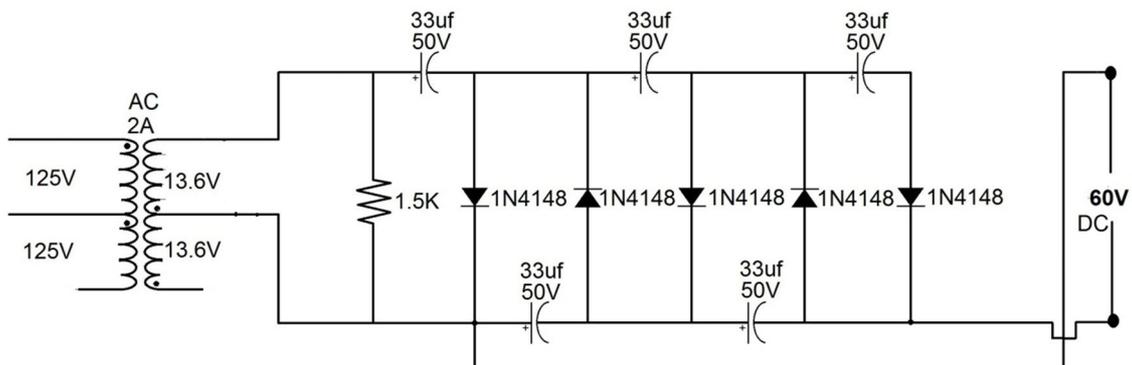
$$V_{out} = F_t \cdot V_{in}$$

Reemplazando:

$$V_{out} = 0.109 \times 125 V = 13.6 VAC$$

Por lo visto en los cálculos, si solamente se triplica el voltaje se llega a alrededor de 40 V que no es suficiente para obtener el nivel requerido, ahora bien, se toma la alternativa de multiplicar al voltaje por 5 veces pensando previsivamente en que aunque el peor de los casos se presente y el voltaje sea mucho menor a 65 voltios en fuente nunca baje de 48V, se procede entonces a diseñar recurriendo al recurso de sujetadores observado en el apartado teórico 2.3.16 así:

Fig. 3.5. Fuente de voltaje *phantom* antes de rectificación.



Fuente: Autor.

Se usa el transformador de 2A con la salida de 13.6V AC y conociendo que por estandarización la señal eléctrica en el Ecuador se encuentra con frecuencia de 60Hz se calcula el tiempo que dura un semiperíodo:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60} = 0.016s$$

De aquí se concluye que medio período sería 0.008s y por eso la constante τ de tiempo debe ser mayor a ese valor, además la carga para los 48V es una impedancia de micrófono profesional usualmente para un condensador alrededor de los 250 Ohms, por lo tanto:

$$\begin{aligned}\tau &> 0.008; \tau = RC \\ \rightarrow RC &> 0.008 \\ C &> (0.008/250) \\ C &> 32\mu\text{f}\end{aligned}$$

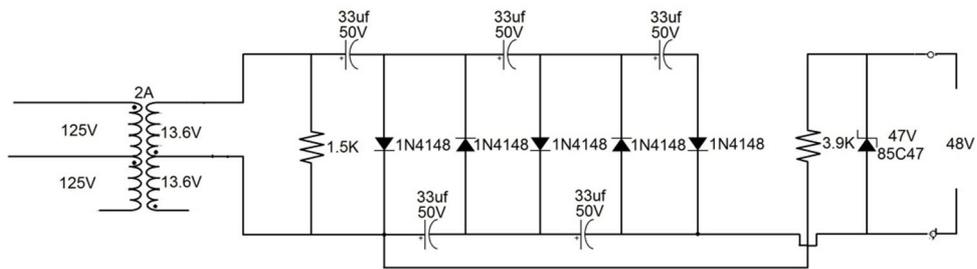
Ahora, conociendo el valor del capacitor se debe escoger un voltaje superior al que soportará, es decir 50V o más; luego de la rectificación se escoge el modelo disponible más cercano en el mercado que es de 33 μf con soporte de 50V.

La resistencia de 15000ohms ubicada al inicio del circuito cumple la función de descargar las capacitancias luego de que el dispositivo sea desconectado.

Ahora bien, el diodo N4148 ha sido elegido porque cumple las características de soporte de voltaje y es común en las tiendas del medio, por lo tanto de fácil reemplazo y además, la pérdida de voltaje es de 0,7V cada vez que la señal pasa por uno de ellos.

Se puede ver que el voltaje resultante de la propuesta anterior alcanza los 60 voltios pero para cumplir con el requerimiento de 48V hace falta bajar 12V al total y de ahí que se usa un diodo Zener de 47V junto a una resistencia de 3.9kOhms para regular y dar un tope estabilizador al voltaje así:

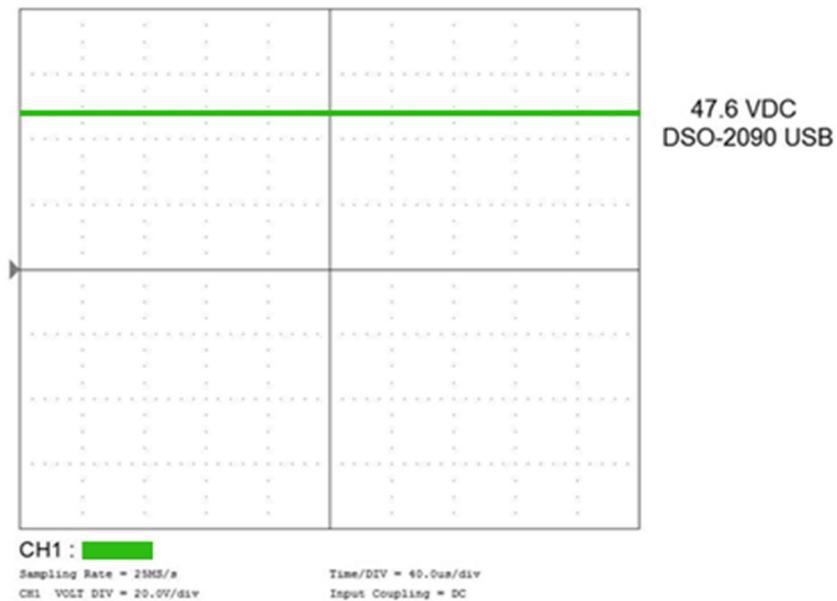
Fig. 3.6 Fuente *phantom* incluido estabilizador Zener.



Fuente: Autor.

La resistencia en este caso genera un divisor de voltaje de manera que los 3.9kOhms disipen la cantidad de voltaje no requerida por el diodo Zener para estabilizarse y así al final se obtiene una fuente DC casi totalmente plana de la cual se presenta una imagen a continuación tomada por osciloscopio.

Figura. 3.7 Linealidad de Voltaje DC para *phantom power*.



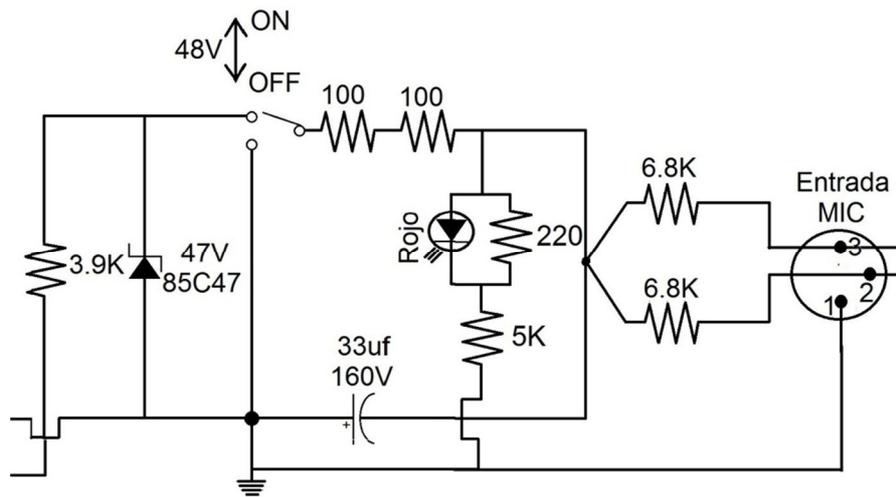
Fuente: Autor, a través de DSO-2090.

Gracias a mediciones del multímetro se determina que antes de la ubicación del diodo zéner existen 55V DC que podrían quemar al micrófono condensador; con la ayuda del diódo se llega a valores de entre 47.5 y 48V.

3.4.2 Aplicación de estándares y normalización a fuente *phantom*.

Para el correcto funcionamiento de la fuente vista en el punto anterior, si se habla de un micrófono de condensador hay ciertos estándares dispuestos para ello y de tomar en cuenta es el oficial determinado por la norma IEC 61938²², en base a esto y a la lógica necesidad de contar con un led indicador de encendido de *phantom power* se procede a diseñar la parte previa a la entrada de micrófono como se muestra en la figura 3.7 y se describe luego de la misma.

Figura. 3.8 Fuente phantom regulada hasta entrada de micrófono.



Fuente: Autor.

²² IEC 61938, 1996, mic section.

Antes de que la fuente de poder vaya hacia el micrófono se debe recordar que en el preamplificador de este diseño deben ingresar tanto señales de micrófono de condensador como de micrófono dinámico de ahí que se necesita la implementación de un switch o botón para integrar o desintegrar el voltaje DC; dado que el voltaje debe ir a los puntos 2 y 3 con la misma diferencia de potencial respecto a tierra se coloca también una capacitancia de 33uf para evitar un cortocircuito, además 200 Ohms de resistencia en serie con la capacitancia mencionada para que una vez apagado el switch de *phantom power* los 33uf tengan sitio de descarga.

No se requiere un diagrama para cada micrófono pues es el mismo circuito el usado ya sea para dinámicos o de condensador, lo que es necesario aclarar tiene que ver con el *switch* pues este se debe activar en ON si se pretende usar un micrófono de condensador sea cual sea y, ubicar el switch en OFF si lo que se desea es conectar un micrófono dinámico.

Dos resistencias, una de 5KOhms y otra de 220 ohms sirven para darle voltaje a un led rojo que cumple la función de avisar cuando si y cuando no está encendido el voltaje fantasma para micrófono de condensador; por último las resistencias de 6.8KOhms son ubicadas desde un mismo punto de origen hacia los pines 2 y 3 por norma, es válido decir aquí que la razón de ser de los 6.8 KOhms se encuentra en la limitación de corriente, ante todo en el caso de que alguien por olvido deje encendido el botón de *phantom power* mientras se conecta un micrófono dinámico.

3.5 La señal de audio de origen

Para obtener datos precisos se acuden a las hojas de especificaciones técnicas de los 3 micrófonos de los cuales se disponen que son micrófonos tipo del mercado; observando con atención la sensibilidad y el máximo nivel de presión sonora al cual pueden ser expuestos, aquí, vale recalcar que el micrófono SM58 no presenta la característica de máximo nivel de presión sonora en su hoja técnica pero, Matthew Mcglynn en uno de sus foros expone el dato y lo ubica a 180dB; por los otros dos micrófonos los datos son

completos. Gracias a la ayuda del trabajo realizado y resumido en una tabla por Dennis Bohn²³, que se cita en el anexo 4, se puede obtener el nivel máximo de salida de un micrófono en dBu teniendo el SPLmax y sensibilidad junto a la lógica de ubicar visualmente el rango adecuado.

Tabla 3.1 Máximos niveles de salida de micrófonos.

	Sensibilidad	Max SPL	Salida Max (dBu)	Salida Max (VRms)
SM58	1,85mV/Pa	180dB	4	1.22
SM86	3,15mV/Pa	147dB	4	1.22
MXL-4000	15mV/Pa	130dB	1.5	0.92

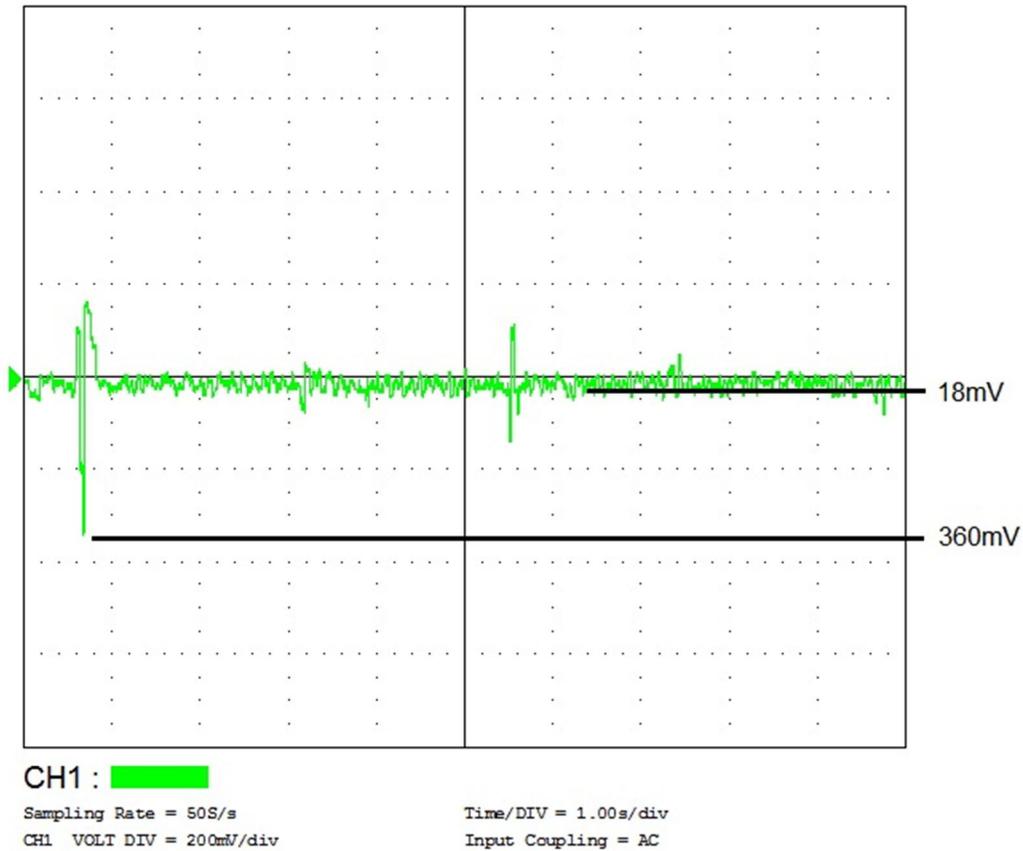
Fuente: SM58, SM86 y MXL-4000 Data Sheets, Dennis Bohn, tabla de datos.

No existen condiciones para medir el máximo SPL en laboratorio dado que se debería exponer a cada micrófono a su máximo soporte, esto es prácticamente inducir SPL hasta forzar el rompimiento de la membrana o placa receptora cosa que implicaría la pérdida de alrededor de 800 dólares en costo de micrófonos y un aumento significativo al costo de investigación.

Con los datos posteriores se puede también calcular que el máximo voltaje *peak* llega a 1.72V con niveles de presión sonora enormes que en la vida real se dan pocas veces. Según Manuel Gallego de ISP música un cantante emitiendo a máxima potencia puede alcanzar picos de hasta 90dB de NPS pero obviamente no puede ser por grandes períodos de tiempo, además, el documento manifiesta que una conversación normal se encuentra alrededor de 50dB, considerando lo anterior y haciendo los respectivos cálculos para el micrófono SM86 es razonable que un micrófono alcance en su salida mucho menos de un voltio.

²³ Bohn, 2001, Pág. 2

Figura 3.9 Voltaje emitido por el micrófono SM86 en una locución con varios cambios de nivel en la interpretación.



Fuente: Autor, a través de DSO-2090.

3.6 Optimización de la entrada de micrófono.

Es común observar en buena parte de los preamplificadores de micrófono disponibles en el mercado ciertos switches o botones que activan opciones especiales a la entrada del preamplificador, de aquellos los que se diseñan aquí son un adaptador de impedancias, un PAD y un inversor de polaridad de los cuales su diseño se detalla a continuación:

3.6.1 Adaptador de impedancias.

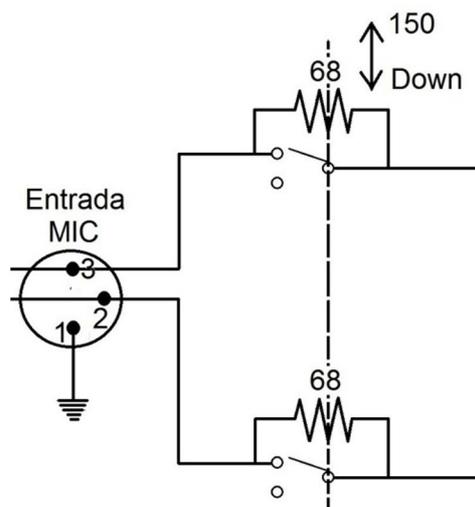
A través de un switch doble se puede operar la señal proveniente de los pines 2 y 3 del micrófono; comúnmente un micrófono profesional se encuentra

bajo los 500Ohms de impedancia y en el caso específico de los micrófonos que se usan en este documento se encuentran todos alrededor de 200Ohms pero pueden presentarse en el mercado micrófonos de una impedancia menor.

Es parte del material para la experimentación un transformador de entrada de micrófono específico para audio con impedancia de entrada promedio de 1400Ohms (Figura 3.8), para su funcionamiento óptimo la relación de este transformador debe ser 5 y 10 versus la impedancia de salida de un micrófono; ahora bien, si se encontrase un micrófono de por ejemplo 70Ohms de impedancia la relación pasa a ser de 20 a 1 respecto al transformador mencionado y no se obtiene el rendimiento requerido así, si el switch está en la opción 150Ohms no tendrá injerencia sobre la señal y se mantendrá el nivel inicial de la misma manera y está bien mantenerlo así en micrófonos con impedancia mayor a 150Ohms.

En el caso de un micrófono de impedancia menor a 150Ohms es recomendable activar el switch a la opción *down* y el valor de las dos resistencias se aumenta a la impedancia de entrada que en el caso de ser de 70Ohms pasaría a ser $(70+68+68)$ Ohms, en total 206Ohms alcanzando un valor de impedancia de entrada aceptable.

Figura 3.10 Señal de micrófono con adaptador de impedancias.



Fuente: Autor

3.6.2 PAD

El diseño de switch de PAD cumple la función de atenuar la señal de entrada en caso de que lo que se pretenda procesar contenga un alto NPS y por tanto una gran diferencia de potencial. El valor de las resistencias escogidas va en base a un cálculo específico que considera a la impedancia de salida de micrófono y la impedancia de entrada del transformador; al saber que el audio maneja relaciones logarítmicas se opera con esa misma lógica para diseñar el PAD y en el caso de micrófono se considera adecuada una disminución de -20dB así, para obtener el factor K se procede con la siguiente fórmula:

Formula de determinación de K.

$$K = 10^{\frac{dB}{20}} \quad (3.1)$$

Donde dB representa al valor que se quiere atenuar en dB.

Entonces reemplazando a dB por 20 se tiene que K=10, esto quiere decir que la señal del diseño es atenuada en un factor de 10:1; el PAD usa el diseño de un divisor de voltaje a través de resistencias en serie, de la cual una obligatoriamente toma el valor que se destinará a la entrada del transformador.

La siguiente fórmula determina el valor de las resistencias a utilizarse:

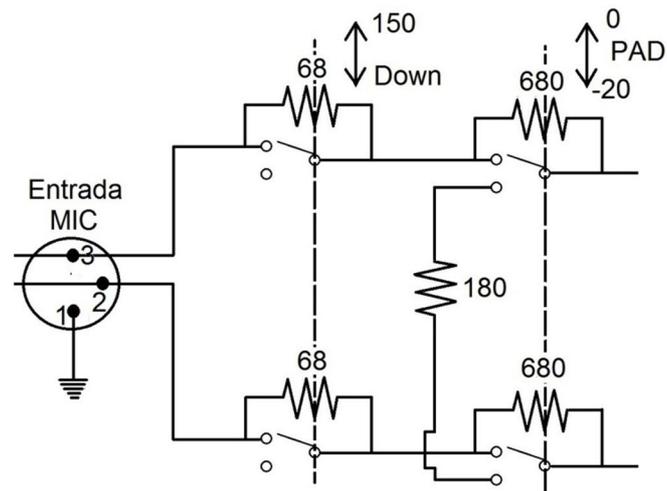
Fórmula de cálculo de resistências

$$K = 1 + \frac{Resistencia_{serie}}{Resistencia_{carga}} \quad (3.2)$$

Donde la resistencia de carga es el valor de la impedancia equivalente del micrófono, en este caso 150Ohms, además reemplazando K por 10 el valor de la resistencia serie es de 1350Ohms pero como tenemos una señal balanceada en 2 y 3 bien se puede dividir la resistencia para dos valores sin afectar el divisor de voltaje, esto es 675Ohms, de todas maneras no se encuentran

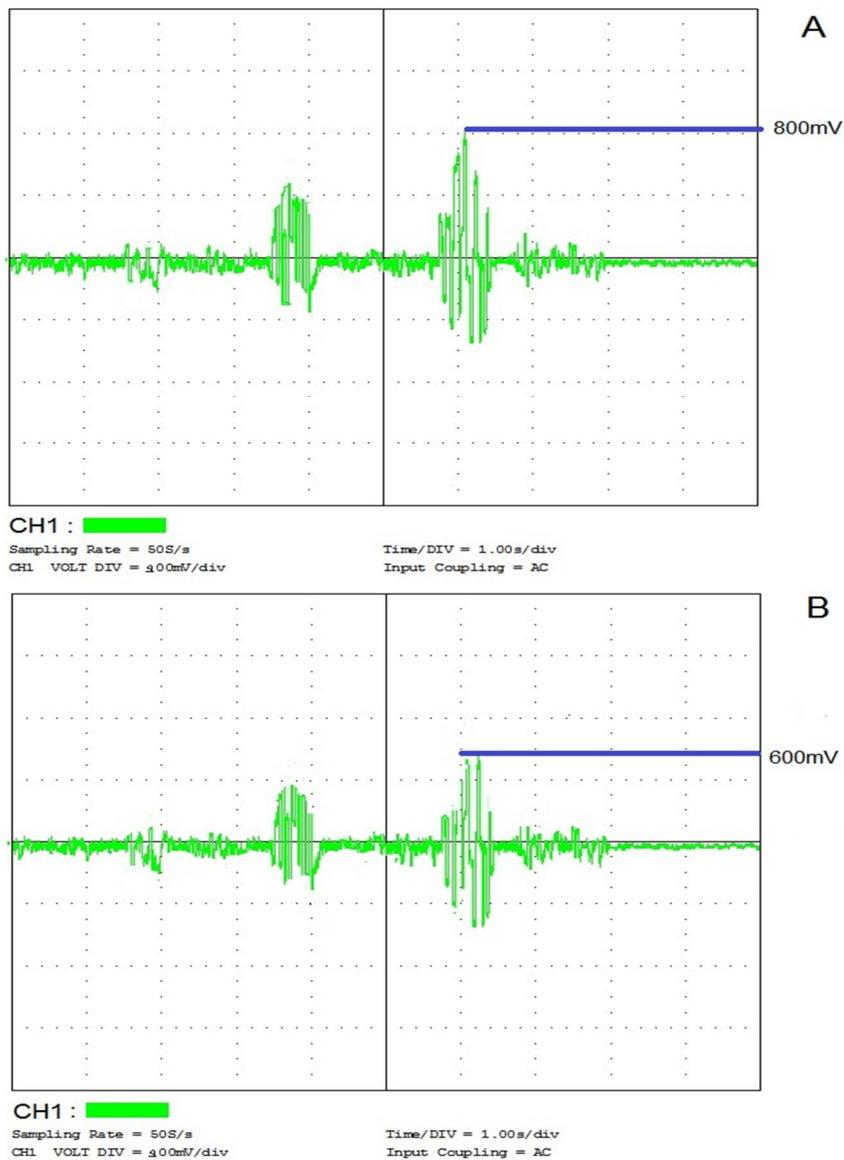
resistencias en el mercado de ese valor y se decide ocupar una resistencia de 680Ohms, así mismo por no existir una resistencia de 150Ohms se acude a una de 180Ohms y el diagrama resultante queda de la siguiente manera:

Figura 3.11 Entrada de micrófono con adaptador de impedancia y PAD.



Fuente: Autor

Figura 3.12. Antes y después del uso del pad en una señal.



Fuente: Autor, a través de DSO-2090, resaltado.

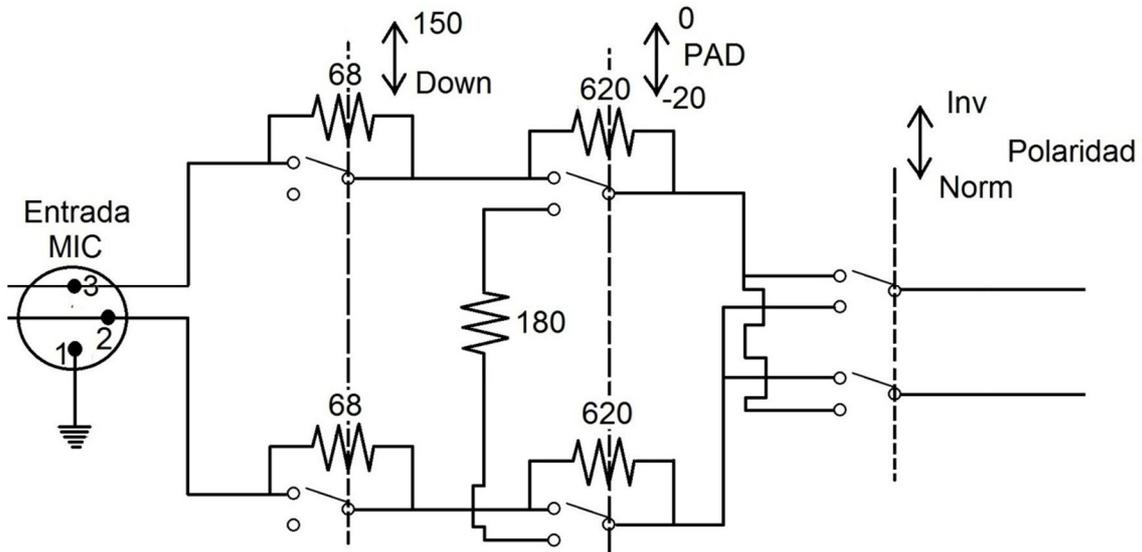
En el gráfico A límite llegó hasta 800mV, mientras en la segunda disminuyó a 600mV; el pico de esta señal estaba al alrededor 96dB acústicos.

3.6.3 Inversor de polaridad

Es el más sencillo de los modificadores de entrada de micrófono pues simplemente con una doble conexión a un switch se cambian los pines 2 por 3

de ser activado y caso contrario los pines se mantienen en su ubicación natural sin generar afección sobre las ondas.

Figura 3.13 Entrada de Micrófono.

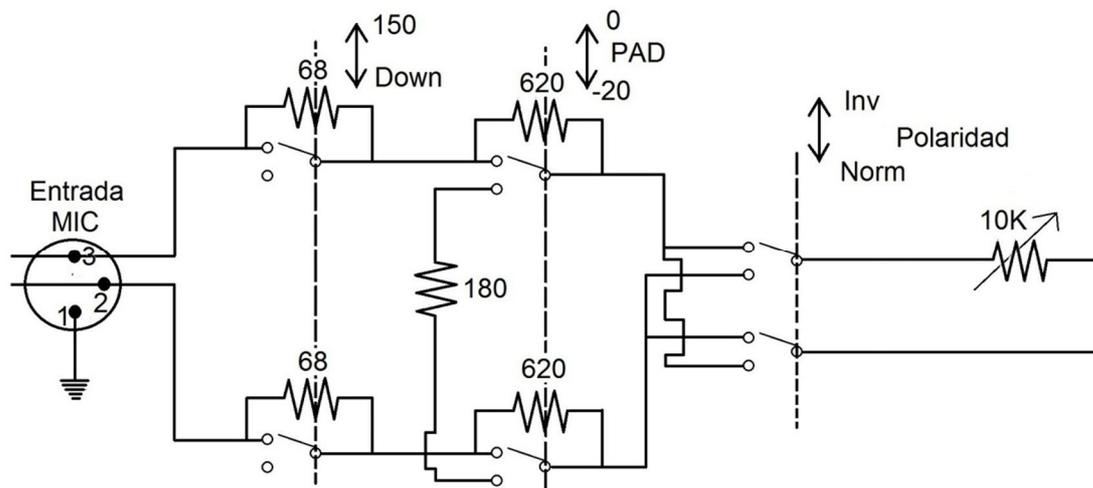


Fuente: Autor

3.6.4 Potenciómetro de entrada

Ubicado a través del polo 2 luego de todo el proceso de entrada cumple la función de regular la cantidad de entrada y salida de voltaje que llega al transformador de entrada.

Figura 3.14 Proceso completo de entrada pre transformador.



Fuente: Autor.

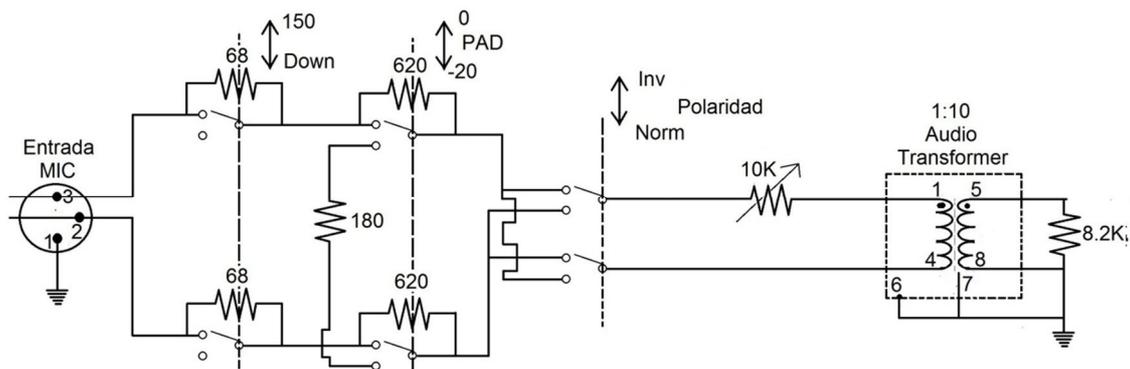
3.6.5 El transformador de entrada

Aunque todo el diseño que se realiza en el preamplificador es de gran importancia, el transformador de entrada tiene una gran responsabilidad al elevar la señal del micrófono 10 veces y sus componentes deben ser de gran calidad y con importante aislación de cualquier otro distractor magnético; se usa entonces para esta etapa un transformador con impedancia de entrada de 1,4kOhms e impedancia de salida de 17kOhms²⁴, su ganancia de voltaje ronda los 17.95 dB y cuenta con una distorsión considerablemente baja.

La razón del uso de este transformador tiene su fundamento en el tratamiento de la señal a través del tubo pues en un apartado posterior de este texto se verá que mientras mayor rango de variación de voltaje tenga la entrada entre 0 y 5 voltios es mejor y de ahí que se necesita elevar a la señal.

Debe recordarse en este punto que mientras haya una señal de entrada entre los pines 2 y 3 existe una diferencia de potencial y por tanto es necesario escoger a un punto de ellos como referencia; la resistencia sirve como aislante entre los puntos y para desviar algo del amperaje hacia la referencia.

Figura 3.15 Entrada de micrófono con transformador.



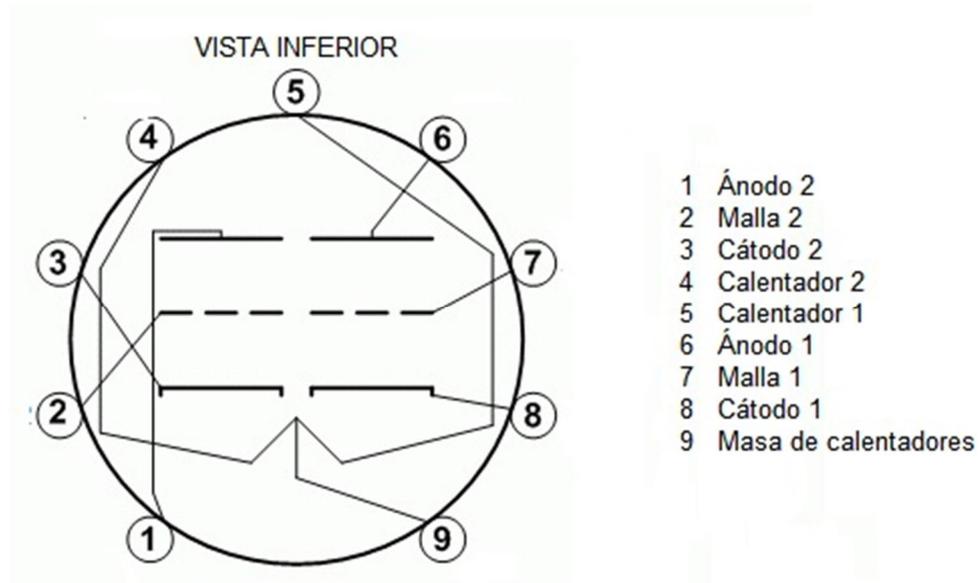
Fuente: Autor

²⁴ Jensen Transformer Data Sheet, 1997, Pág. 2.

3.7 Diseño de circulación del tubo

Se escoge debido a su seguridad y prestaciones al modelo 12AX7, este modelo se construye por varias firmas pero aun así en el Ecuador es difícil conseguirlo; la importación es posible y por tanto un futuro reemplazo en caso de daño del tubo por tiempo de vida útil. El tubo 12AX7 es un doble tríodo, es decir se puede usar para dos señales de audio distintas y cuenta con 9 pines de los cuales tres sirven para la alimentación de dos calentadores de cátodo, 3 más para un canal y 3 más para el canal restante, a continuación se presenta la disposición del tubo y sus pines.

Figura 3.16 Pines del tubo 12AX7.



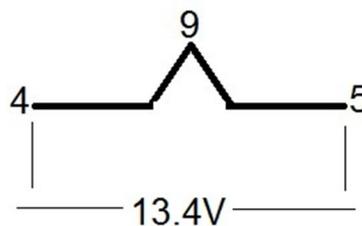
Fuente: Autor.

Es válido decir que en cualquier tubo de doble tríodo se puede usar un solo de los canales sin problema, de ahí se hará el análisis en un solo canal de audio.

3.7.1 Diseño de alimentación de los calentadores de cátodo.

Los calentadores de cátodo son dos y están conectados en serie, se puede entonces tomar una de dos opciones, o conectar los dos calentadores a través de los puntos 4 y 5 a una fuente AC o DC de 12 a 13,6V o tomar un solo calentador y aplicarle de 6 a 6,8V entre los pines 4 y 9 ó 5 y 9. Para el caso de este preamplificador se toma la opción de una sola fuente para dos calentadores a pesar de que solo se use uno, esto porque existe desde el primer transformador de potencia de 2A el voltaje requerido y no se precisaría de otro proceso.

Figura 3.17 Alimentación del calentador



Fuente: Autor

3.7.2 Alimentación para circulación de audio del tubo

Como se sabe, luego del análisis de seguridad, los tubos funcionan a un alto voltaje considerando solamente el DC para su operación de ahí que es pertinente tener una fuente de alimentación de gran diferencia de potencial pero en el mercado no se encontraron fuentes de 500 voltios o similares DC por falta de disponibilidad. Mientras el valor de voltaje disminuya se podría encontrar una solución para solventar este problema con más seguridad entonces se propone una fuente que alcanza alrededor de 290 voltios que si bien no es el máximo de trabajo del tubo pero bien puede ayudar a un desarrollo adecuado del diseño.

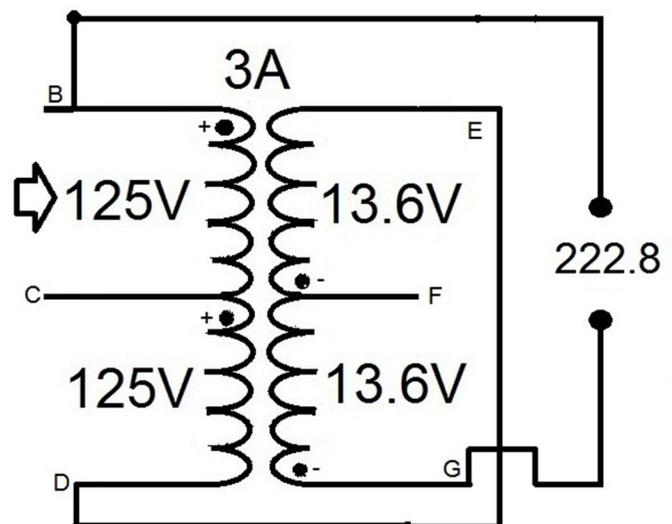
Figura 3.18 Voltaje máximo de operación del tubo.



Fuente: Autor

Como parte de los materiales iniciales para el diseño de esta tesis se cuenta con un segundo transformador de 110-12V AC a 3A, la ventaja de este transformador es que mediante una conexión adecuada de polaridades se puede obtener un voltaje mayor al mismo de 110V, se requiere especial atención al momento de observar los extremos y conectarlos de manera adecuada para evitar cortocircuitos o inconvenientes de este tipo.

Figura 3.19 Configuración de transformador para AC previo a 290VDC.



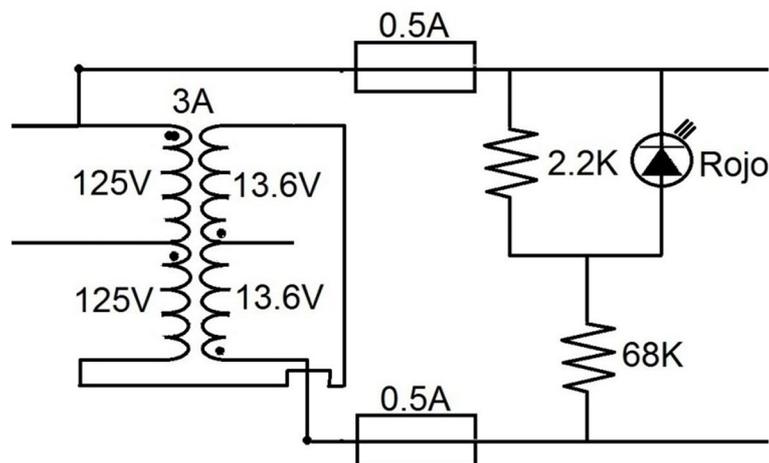
Fuente: Autor

En el gráfico anterior un punto en la parte superior del devanado denota capacidad aditiva, mientras un punto en la parte inferior denota capacidad subtractiva; para aprovechar las capacidades de ambos lados del transformador se conectan los pines D y E. La diferencia de potencial es conectada al transformador a través de los pines B y C, además $D=E$ de aquí, se suman los voltajes de acuerdo a polaridad en el siguiente orden $CB-EF-FG+EC$ teniendo $125-13.6-13.6+125$ con un total de $222.8V$ resultantes en AC.

Entre los terminales de salida de los $222V$ y el siguiente proceso del bloque se ubican tanto en B como en G dos fusibles de $0.5A$ como precaución para evitar cortocircuitos en el sistema eléctrico más allá del diseño en caso de presentarse alguna dificultad.

Para este segundo transformador se cree adecuado en el diseño ubicar un led con el fin de conocer de manera precisa, si cuando se enciende el circuito se cierra en ese punto. Las resistencias de $68k\Omega$ y $2.2k\Omega$ crean un divisor de voltaje.

Figura 3.20 Fuente de voltaje para el audio del tubo con LED, antes de rectificarse.



Fuente: Autor

Para el trabajo del tubo es requerida solamente alimentación DC por lo tanto se procede a rectificar a la señal obtenida de $222V$ con un puente de

Diodos. Para este fin es necesario notar el alto voltaje que llegará a pasar por los diodos sin despreciar sus picos haciendo el siguiente cálculo.

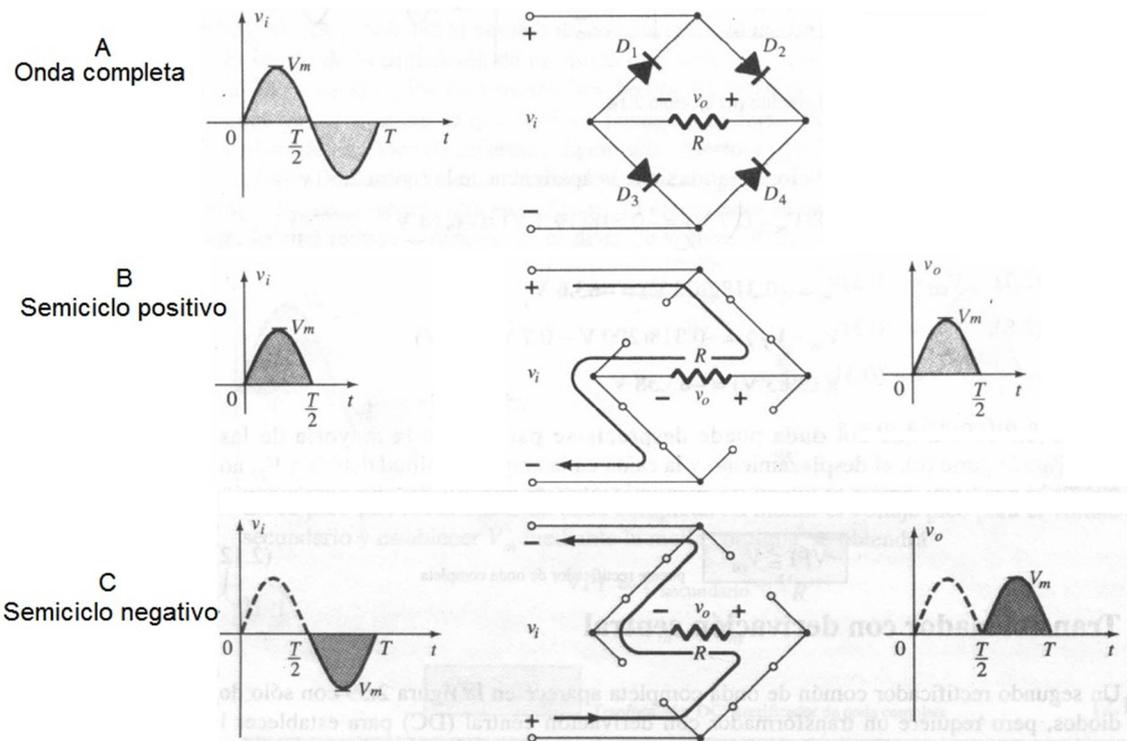
Sea 222V el valor RMS, entonces.

$$V_{peak} = 222 * 1.41 = 313V$$

Dada esta circunstancia se recomienda el uso de diodos con soporte de 350V a 2A para operar de manera adecuada. El puente de diodos es un arreglo de 4 elementos que rectifica al voltaje alterno dejando pasar a los semiciclos positivos tal como son y a los negativos invirtiéndolos de tal manera que al final se continúa teniendo una señal variable pero solamente del lado positivo.

Se debe también tomar en cuenta, nuevamente, que el circuito requiere de un voltaje DC lo más plano posible y no basta con los semiciclos ondulados proporcionados por el rectificador, sino, hay que acercarse de manera acertada a lo ideal. Por el motivo anterior luego del puente de Diodos se ubica un capacitor en paralelo que recibe el voltaje y lo estabiliza, por último una resistencia de descarga del capacitor con fines de seguridad pues luego de apagado el aparato hay un tiempo de descarga, cabe decir que en caso de mantenimiento de este equipo se lo debe hacer apagado y desconectado luego de haber medido un voltaje menor a 20V en el capacitor.

Figura 3.20 Trabajo del puente de diodos. A. Onda completa, B. Semiciclo positivo, C. Semiciclo Negativo.



Fuente: Electrónica de Boylestad páginas 72 y 73 editado.

Como se observa en el gráfico anterior literal C la onda inicial, que en el caso del Ecuador tiene un ciclo de 60Hz, pasa a ser una onda con ciclo de 120Hz debido a que lo antes llamado semiciclo pasa a ser un ciclo completo en la mitad de tiempo que el anterior pero aun así no es una función lineal, se debe ahora por lo tanto buscar eso y el primer paso a seguir es ubicar una capacitancia en paralelo a R de tal manera que acumule diferencia de potencial.

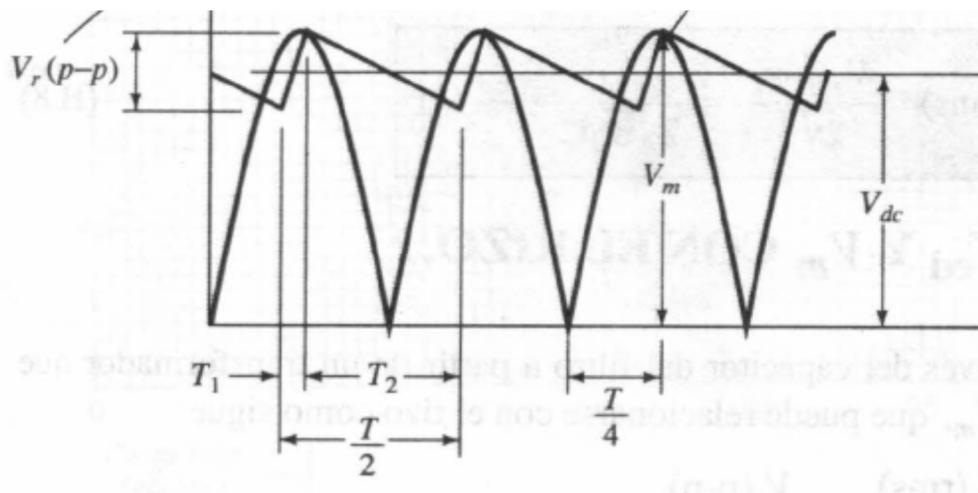
$$V_{in} \approx 220VAC \rightarrow V_{peak} = V_{RMS} \sqrt{2} \approx 300V$$

Conociendo el dato anterior se concluye que la capacitancia debe tener un valor máximo de trabajo de al menos 350V y de esa manera evitar cualquier inconveniente, en cuanto al valor del capacitor de la parte teórica implementada en el primer capítulo de esta tesis se puede concluir que:

$$CV = It \quad (3.3) \quad \text{y} \quad V = \frac{I_t}{C} \quad (3.4)$$

En este punto de la fuente existen dos tipos de voltaje el AC y DC; el DC determina la diferencia de potencial entre el nuevo AC de la señal y 0 voltios mientras el AC determina la magnitud de la oscilación de la señal partiendo con la altura del DC como la mitad del voltaje *peak to peak*.

Figura 3.21 Voltaje peak to peak del rizado.



Fuente: Electrónica de Boylestad página 893.

Debido a que en esta parte del diseño aún no se conoce la carga total de la fuente se escoge una capacitancia de valor alto y disponible en el mercado, se encuentran capacitores de 100uf y 60uf con capacidad de soportar 350V. La resistencia de descarga tendrá un valor de 270kOhms debido a que es la más alta y con mayor amperaje encontrada, y no hay muchas variables en esto ya que por seguridad es mejor aumentar el amperaje y evitar un sobrecalentamiento de dispositivos.

La capacitancia cumple la función de estabilizar al voltaje y el valor alto en Faradios se escoge interpretando la siguiente fórmula.

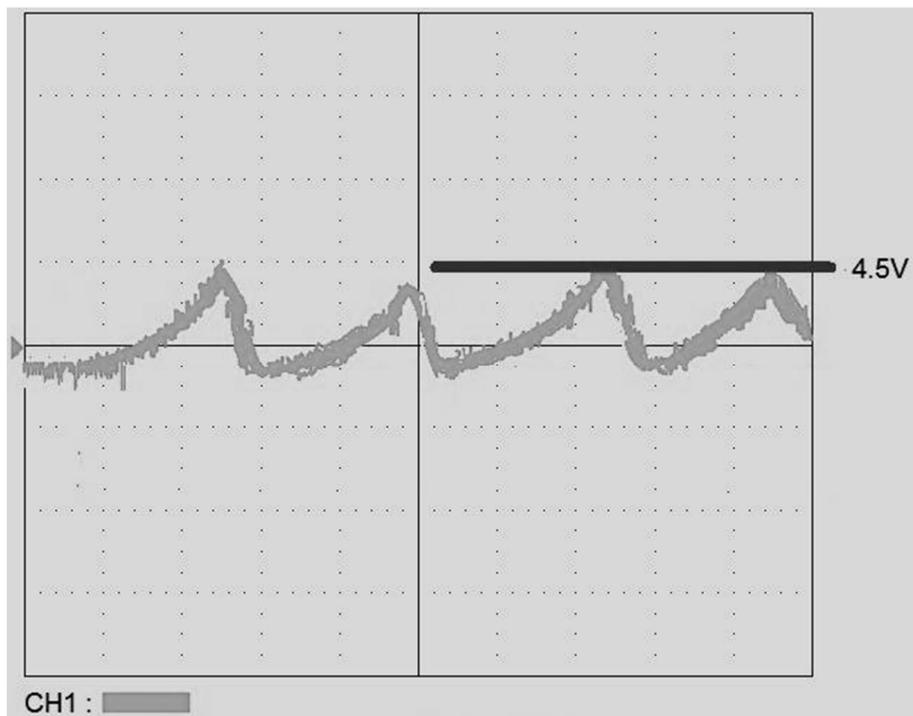
Ecuación de Factor de rizado del voltaje rectificado (3.5)

$$F_r = \frac{1}{\sqrt{3}(4fRC - 1)}$$

Donde F_r es el factor de rizado en %, f la frecuencia de la onda, R el valor de la resistencia y C el de la capacitancia.

Es fácil concluir que mientras más aumente el valor de C menor será el factor de Rizado y por tanto el DC resultante será más lineal, se decide en primera instancia usar de prueba el capacitor de 60uF para evitar una enorme acumulación de voltaje; se procede con el

Figura 3.22. Rizado de 4.5V, producto de la capacitancia de 80uF.

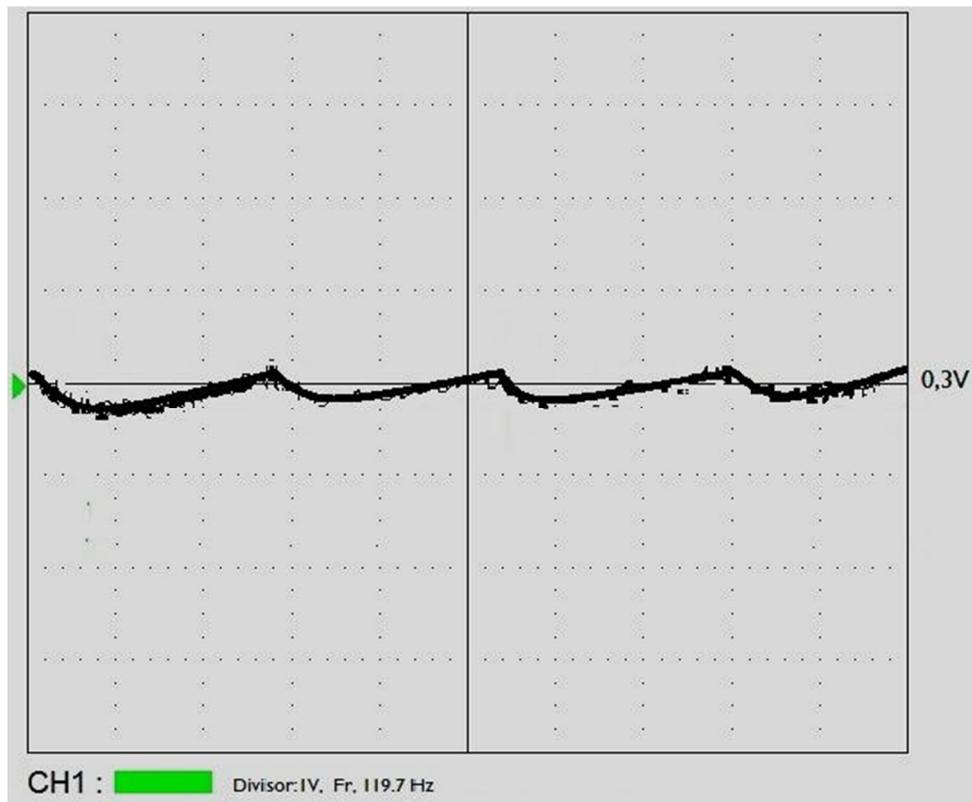


Fuente: Autor, a través de DSO-2090, resaltado.

Vale mencionar que la frecuencia de rizado se encuentra en casi exactos 120Hz que es el doble de la frecuencia del sistema nacional interconectado, esto por cuestiones de rectificación. La situación del problema del rizado cronológicamente dentro del trabajo es apenas identificada cuando el prototipo

está casi completo al final de este capítulos pues se nota un ruido de impulso periódico y se encuentra el problema vía osciloscopio en esta parte del diseño, dado que en el mercado solo se encuentran para más de 200V a los capacitores de 60uF e 100uF, tomando en cuenta a la fórmula 3.5 se decide ocupar a todos los capacitores para solucionar el problema y en el siguiente dato experimental se observa lo siguiente:

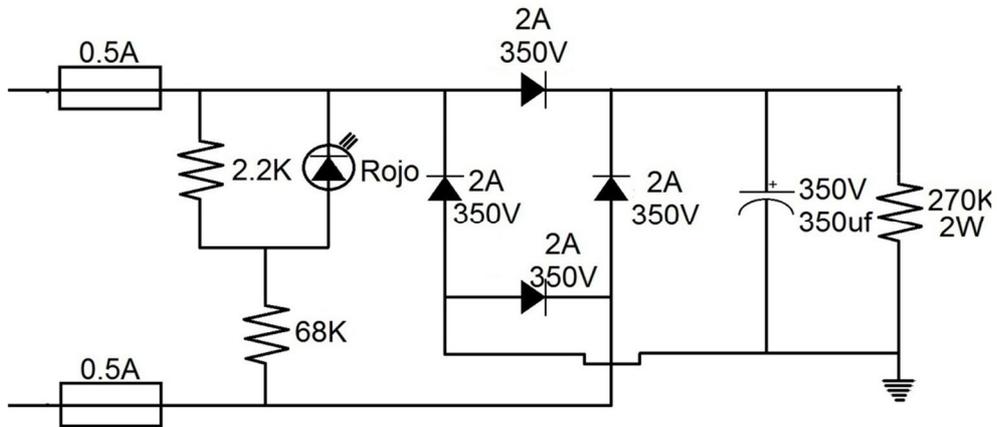
Figura 3.23. Problema de rizado solucionado.



Fuente: Autor, a través de DSO-2090.

Se tiene entonces ahora a un error en el rizo mucho menor que a nivel auditivo no causa mayor interferencia sobre la señal que entra a nivel acústico como para preocupar siendo en total 350uF.

Figura 3.24 Diseño de fuente de voltaje para circulación de audio en los tubos.



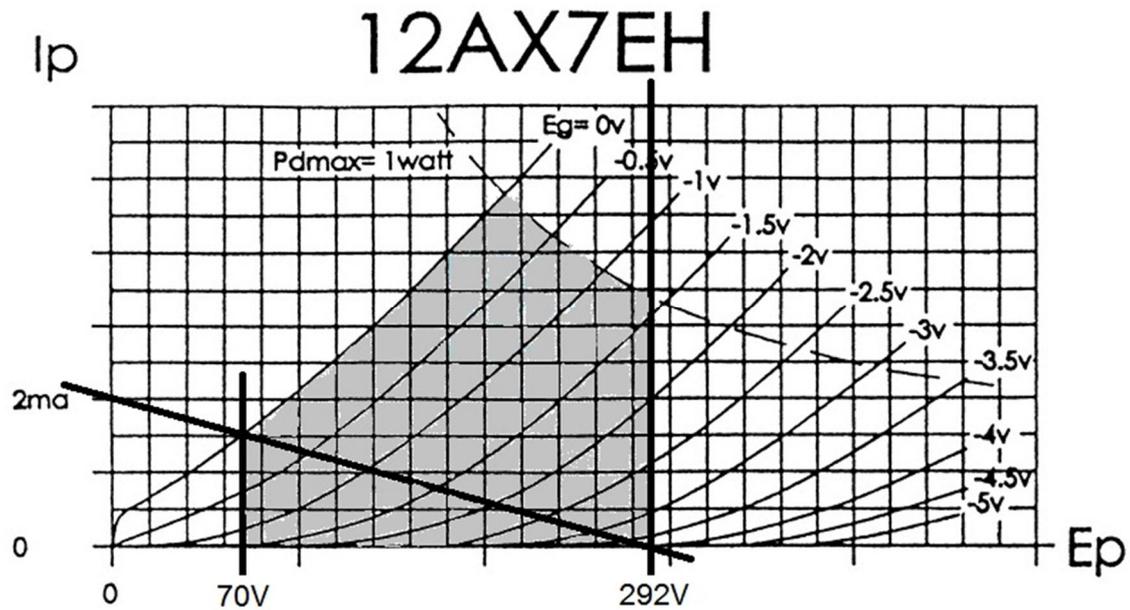
Fuente: Autor

3.7.3 Manejo del tubo y amplificación

3.7.3.1 Análisis del tubo 12AX7

Lo primero a tener en cuenta es la curva de respuesta del tubo entregada por el fabricante, en base a esto se deben escoger dos aspectos, el primero referente al amperaje con que funciona el tubo y el segundo al voltaje de trabajo; en mediciones que se tienen en la posterior etapa de evaluación el voltaje DC de la fuente alcanzó los 292V y por eso aquel valor es usado aquí, el amperaje es elegido a voluntad pero como se ve en la gráfica siguiente a mayor amperaje menor espacio útil se tiene de trabajo de ahí que se escoge a 2 mA quedándonos disponible la siguiente área:

Figura 3.25 Área de trabajo seleccionada del tubo 12AX7.

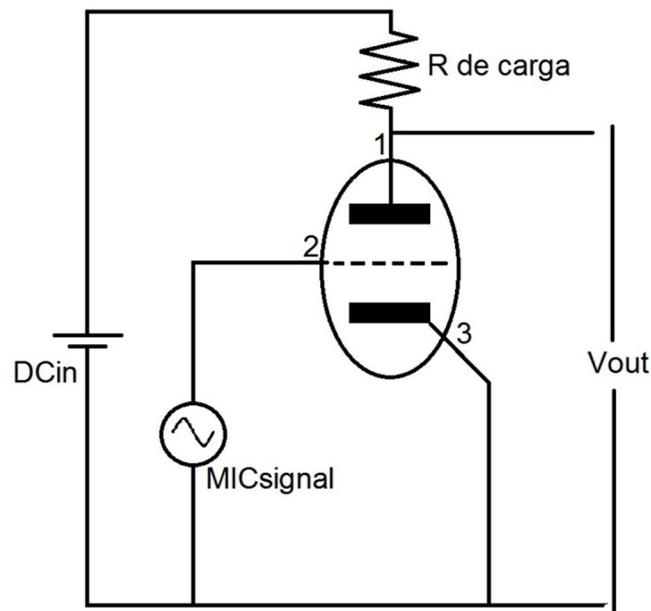


Fuente: 12AX7EH Data Sheet junto a selección de trabajo del autor.

Donde $E_p = V_a$, es decir el voltaje anodal, $E_g = V_g$ o voltaje de malla e I_p la corriente anodal.

El área de trabajo se delimita con 292V a la derecha como voltaje más alto de funcionamiento y desde ese punto se traza una línea hasta 2mA, siendo esta la función de manejo del tubo; la potencia máxima en la parte superior de 1 watt da un extremo máximo a la parte superior derecha; la parte superior izquierda queda truncada por el voltaje máximo de la grilla 0, y por último el extremo izquierdo resulta de la intersección de la línea de manejo del tubo con el voltaje 0 de operación de la grilla, el punto de intersección debe ser traspasado por una línea vertical que, en este caso, obtiene un valor de 70V para funcionamiento.

Se puede tratar al 12AX7 solamente a través de un canal usando únicamente los pines 1, 2 y 3 con la siguiente configuración:

Figura 3.26 Funcionamiento base del tubo²⁵.

Donde el 1 es ánodo, 2 malla y 3 cátodo.

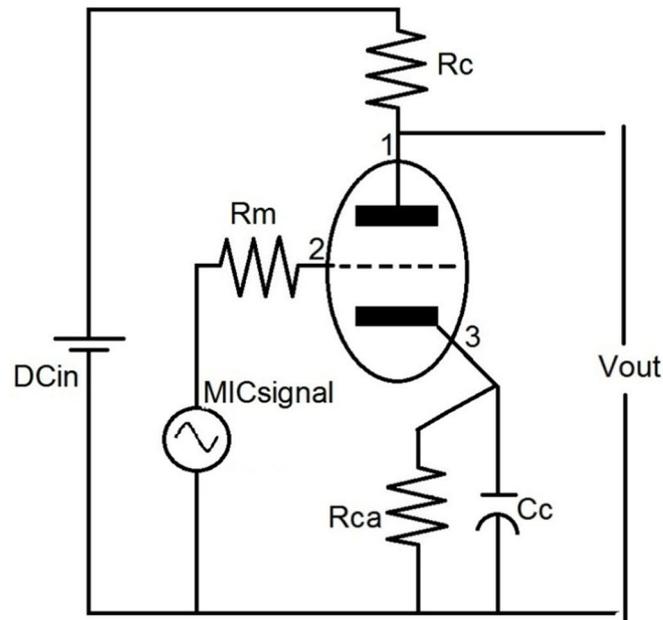
292 voltios es el voltaje entregado por el DC in de la fuente; MIC Signal es la fuente proveniente del transformador de entrada del micrófono, R de carga sirve de protección de voltaje al tubo que tiene un límite máximo determinado en la hoja técnica y por último el Vout es la señal amplificada de MIC signal. El cátodo sirve como referencia y junto al pin 2 de MIC signal controlan la operación del tubo.

De vital importancia es el concepto que se presenta entre los pines dos y tres pues para que el tubo entre en funcionamiento de amplificación siempre el potencial de 3 debe ser mayor al de 2; por diseño nunca entrará un tubo en modo amplificación si la diferencia en potencial de dos es mayor a la de 3, esta diferencia de potencial adopta el nombre de voltaje de malla y en la figura 3.24 se puede observar que el diseño sobre el que se está trabajando funcionará con un voltaje de entre 0 a -3.5. Para que el voltaje se mantenga siempre negativo entre 0 y -3.5 se modifica la conexión del cátodo no llevándolo directamente a tierra sino pasando esta señal a través de un capacitor y

²⁵ Jones, 2010, Pág. 76

resistencia en paralelo que ayudarán a regularla versus una resistencia en serie entre la entrada de micrófono y el polo 2 del tubo; la configuración quedará de la siguiente manera:

Figura 3.27 Configuración del tríodo con regulación.



Ahora bien, para determinar los valores de todos estos componentes existen fórmulas que ayudan a conseguir un funcionamiento cercano a lo óptimo y ante todo permite que el voltaje 2 en relación a 3 sea siempre negativo mientras exista un voltaje de entrada de la señal de micrófono, se procede así:

Para obtener la resistencia de carga (R_c)

$$R_c = \frac{DC_{in}}{I_a} = \frac{292}{0.002} = 146000\Omega$$

Se desea también conocer el voltaje de amplificación (A_v) del tubo, es decir, el cambio de voltaje en el ánodo respecto al cambio de voltaje de la malla (V_m).

$$A_v = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_m} = \frac{292 - 70}{0 - 3.5} = -63.42V$$

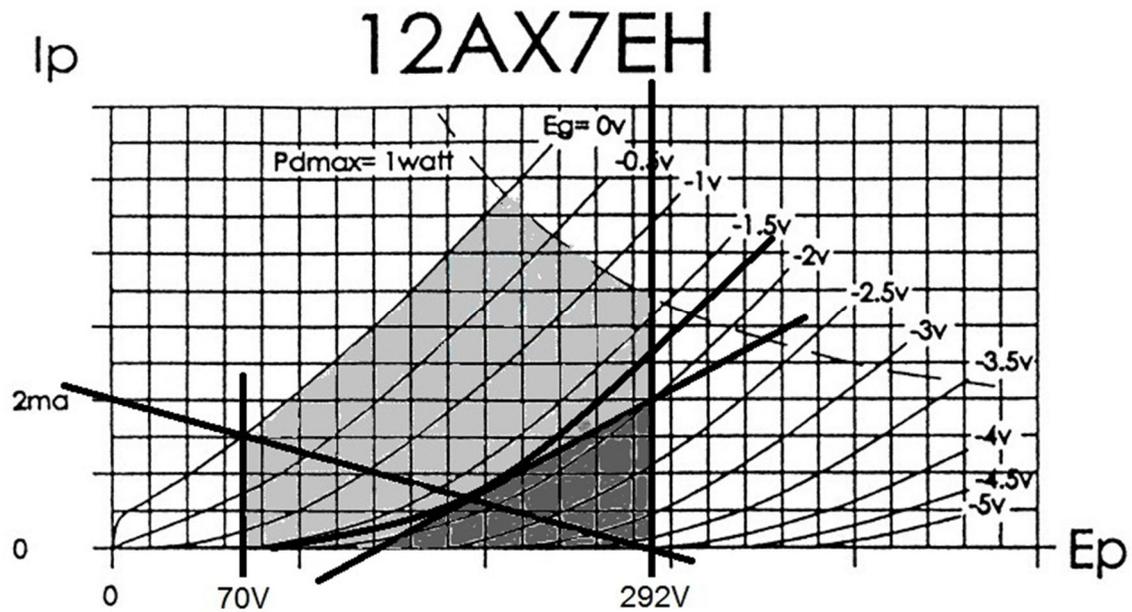
A_v está dado en voltaje *peak to peak*, por eso es necesario saber su valor RMS y se obtiene dividiéndolo para 2 veces la raíz de dos.

$$V_{RMS} = \frac{V_{peak\ to\ peak}}{2\sqrt{2}} = \frac{63.42}{2\sqrt{2}} = 22.42\ VRMS$$

Refiriéndose a la hoja técnica se observar el mayor voltaje de malla o grid que permite este tubo conociéndose el dato de 0 voltios; ahora se debe escoger un punto de operación de malla entre 0 y -3.5 voltios y lo ideal es tomar al valor medio entre ellos para tener posibilidad de desplazamiento ya sea a la izquierda o derecha en el voltaje fuente de 292V, se escoge entonces a -1.75V que debe tener una curva entre -1.5 y -2.

Ahora bien, el ánodo se sabe tiene una resistencia interna al paso de corriente y se determina de manera gráfica luego de conocer al punto de operación que se fija en -1.75V. Lo que se hace es trazar una línea tangente a la curva de -1.75V de tal manera que cruce por el eje del voltaje anodal y deje un triángulo de la siguiente manera:

Figura 3.28 Gráfico de determinación de resistencia del ánodo.



En el gráfico anterior el triángulo identificado con el color plomo más oscuro es el que nos ayuda a determinar los valores; donde la tangente interseca a la vertical de 292 voltios se tiene un valor de 2,5mA y donde la misma tangente interseca a 0mA es alrededor de los 140V, de ahí con la siguiente fórmula se deduce el valor de Ra.

$$R_A = \frac{\Delta V_A}{\Delta I_A} = \frac{292 - 140}{2.5 - 0} = 60.8k\Omega$$

Volviendo a la figura 3.26 un importante valor a determinar es el de la corriente en el ánodo y para obtenerlo matemáticamente se tiene en cuenta que de pasar una línea vertical entre el punto de operación que se escogió y el eje en cero de la corriente el valor de voltaje DC donde opera el punto es de alrededor de 200V así:

$$I_a = \frac{V_{DC} - V_a}{R_C} = \frac{292 - 200}{146000} = 0.5mA$$

Se tiene el valor de la μ y con este valor la ciencia ha determinado una fórmula que permite conocer R_{ca} .

$$R_{CA} = \frac{V_{operación}}{I_A} = \frac{1.75}{0.5} = 3.5k\Omega$$

Existe también un importante parámetro llamado factor de amplificación del tubo representado por la sigla μ y para el caso de esta aplicación es:

$$\mu = \frac{\Delta V_A}{\Delta V_M} = \frac{292 - 70}{3.5} = 63.42$$

Con μ presente se puede calcular la resistencia interna del cátodo R_{ica} a través de los siguientes cálculos.

$$R_{ICA} = \frac{R_C + R_a}{\mu + 1} = \frac{146000 + 60800}{63.42 + 1} = 3.2K\Omega$$

Ahora bien, para conocer un valor definitivo y real de resistencia del cátodo se debe calcular poniendo en paralelo a la resistencia interna del cátodo junto a la resistencia del cátodo que irá paralelo a la capacitancia así:

$$R_k = \left(\frac{R_{ca}R_{ica}}{R_{ca} + R_{ica}} \right)^{-1} = \left(\frac{3.2 + 3.5}{3.2 * 3.5} \right)^{-1} = 1.75k\Omega$$

Por último el valor de la capacitancia que acompañará a R_{ca} es vital a la hora de fijar un voltaje negativo en el pin 2 respecto al 3 y por eso su cálculo debe ser hecho considerando una onda tan larga que no afecte a el sistema por completo, por ejemplo 1 Hz que con un período de un segundo es bastante más grande que casi cualquier otra frecuencia manejada en lo audible así:

$$C_c = \frac{1}{2\pi f R_k} = \frac{1}{2 * 3.14159 * 1 * 1750} = 0.9\mu f$$

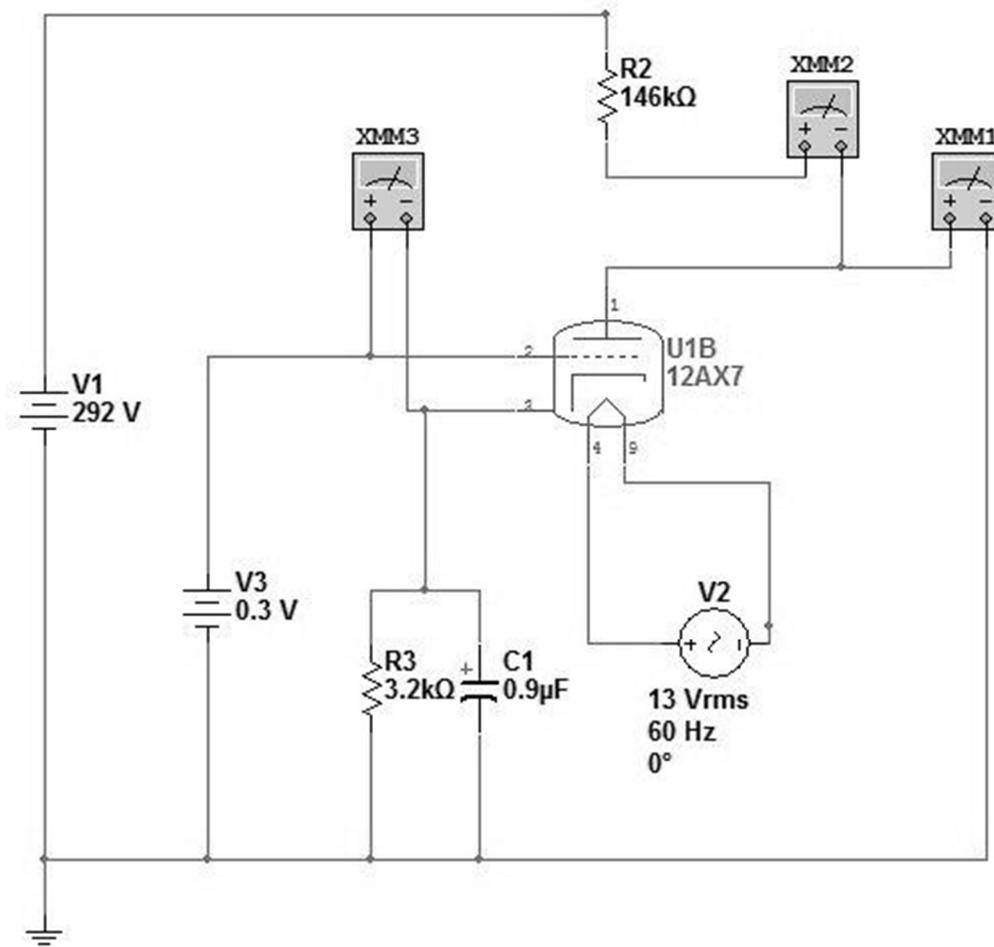
Ahora bien, se tienen despejadas todas las variables del diseño inicial del tubo 12AX7 y se obtiene un V_{out} del orden de 285V con datos tomados con multímetro pero, las entradas de línea de cualquier aparato electrónico en general requieren valores del orden de 1 a 5 voltios y en casos de sobrecarga se podrían soportar hasta 8 o 10 voltios pico y por ello se acude a un divisor de voltaje, probando que con la entrada de mayor exageración y amplitud en la entrada se obtengan 8 voltios a la salida del preamplificador y los resultados son positivos en mediciones, pero al momento de cargar la impedancia del altavoz o sistema de grabación la corriente se ve afectada, de ahí este problema se trata en el punto 3.7.3.3.

Dado que de las partes más sensibles del amplificador se tienen solamente pocas y en ciertos casos una sola unidad se decide efectuar una simulación de datos por software para precautelar la integridad de los elementos y no hacerlo de manera práctica en esta parte del documento.

3.7.3.2 Simulación de datos a través de software

Se acude al software simulador Multisim 10 que tiene un modelo del tubo 12AX7 para obtener datos con mayor rapidez con la particularidad de que a cambio de ubicar una fuente senoidal de micrófono se ubica una fuente DC a la que se le varía el valor para poder estimar valores coherentes en la salida, además el DC se hace con voltaje negativo y positivo para incluir tanto a ciclos positivos como negativos de la onda.

Figura 3.29 Circuito base simulado.

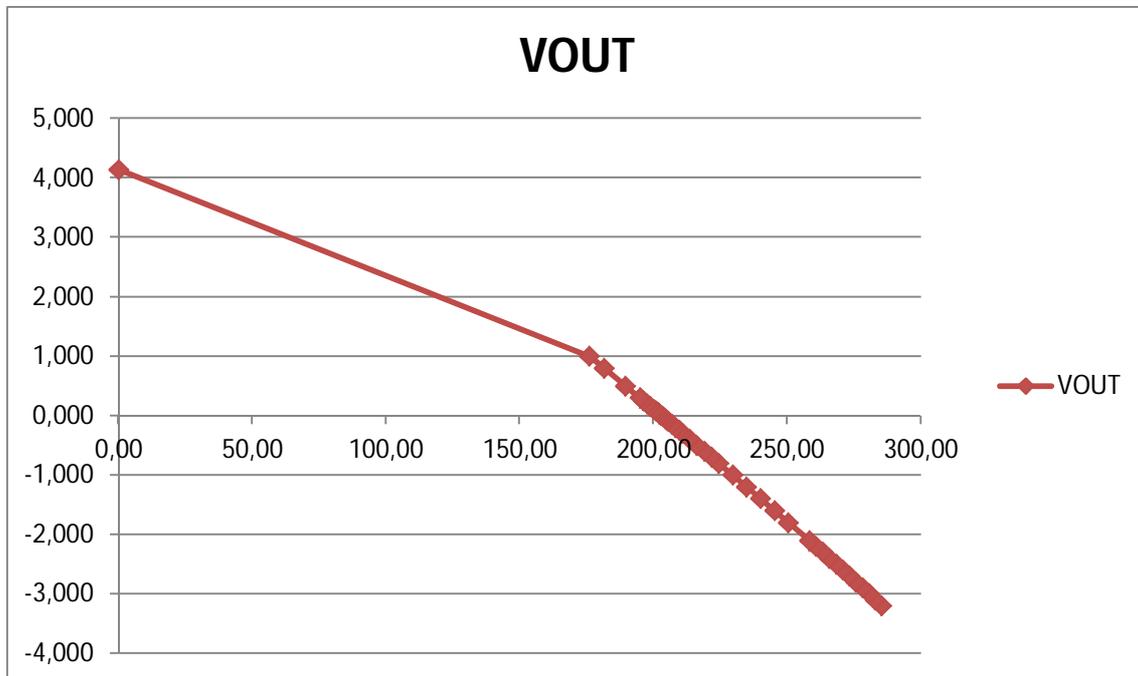


Fuente: Autor

Donde XMM2 mide el amperaje XMM1 el voltaje de salida (AC) y XMM3 el voltaje entre 2 y 3.

Los datos arrojados se encuentran en el anexo 5 final de esta tesis, en esta parte se presenta un gráfico comparativo entre V_{in} , y V_{out} notándose una dirección inversa pues mientras el voltaje de entrada es más positivo su resultante a la salida será más pequeño.

Figura 3.30 Gráfica de resultados de funcionamiento del circuito.



Fuente: Autor

Como se puede ver en la gráfica existen cambios en el voltaje de salida respecto al voltaje de ingreso y cuando el V_{in} está en 0 es debido a que la malla se encuentra en el valor de -1.81 , algo bastante cercano al calculado negativo $-1.75V$.

3.7.3.3 Análisis de corriente.

Cada uno de los transformadores de potencia tienen el mismo factor de transformación pero distinta capacidad de corriente, volviendo a la figura 3.27 se debe aclarar que el V_{out} está conectado a una carga estándar de línea, para pruebas del prototipo es de gran ayuda usar como prueba al ingreso de línea del RACK 003; el RACK 003 es una interfaz estándar de captura y grabación de audio que usa el software Pro Tools, es considerada por su gran calidad y costo aceptable en el medio, esta interfaz tiene $15k\Omega$ ²⁶ por impedancia de

²⁶ Avid Audio, 2011, Pág.7

entrada, dada la enorme cantidad de carga con los siguientes análisis se determina si el transformador de 3A es suficiente para seguir brindando el voltaje adecuado sin grandes pérdidas y entregando 1.228 V_{RMS} que es lo que se necesita, entonces a sabiendas de que el máximo voltaje que llega a la salida es de alrededor de 285V se diseña un divisor donde de un lado queden 1,22 volts y del otro 283,78V; a sabiendas de que solo se tiene resistencias disponibles de 0,5W en valores elevados se propone calcular el mínimo valor de resistencia para evitar sobrecalentamiento con 283,78V, así:

$$0,5W = \frac{283,78^2}{R} \rightarrow R > 162kOhms$$

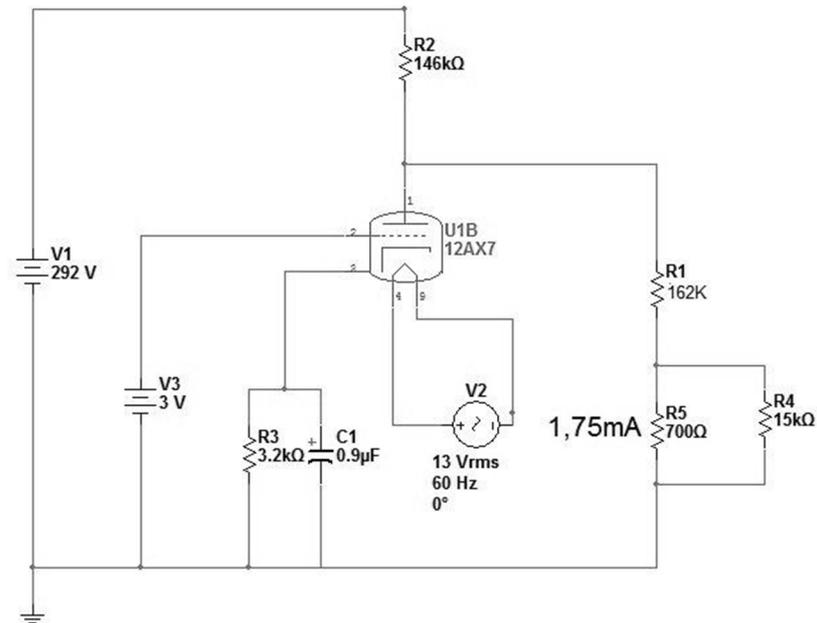
Y a través de $V=IR$ se obtiene también $I=1,75mA$

Ahora, si se conoce I se puede obtener el valor de resistencia que terminará de completar el divisor para enviar la señal de línea.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1,22}{0,00175} = 700 Ohms$$

Sobre esta R de 700Ohms se genera ahora una nueva carga en paralelo de 15000Ohms equivalente a la entrada de línea del dispositivo 003; se procede a calcular la corriente que pasará por los 700 y por los 15000 Ohms.

Figura 3.31 Diagrama de salida RMS con carga.



Fuente: Autor

El voltaje presentando en cualquiera de las dos resistencias es igual a 1,22V pero definitivamente la corriente fugará por donde existe menos resistencia al paso de corriente, y esto es por la resistencia de 700ohms así:

$$1,22V = I_{700} * 700$$

$$\therefore I_{700} = 1,745mA$$

$$1,22V = I_{15000} * 15000$$

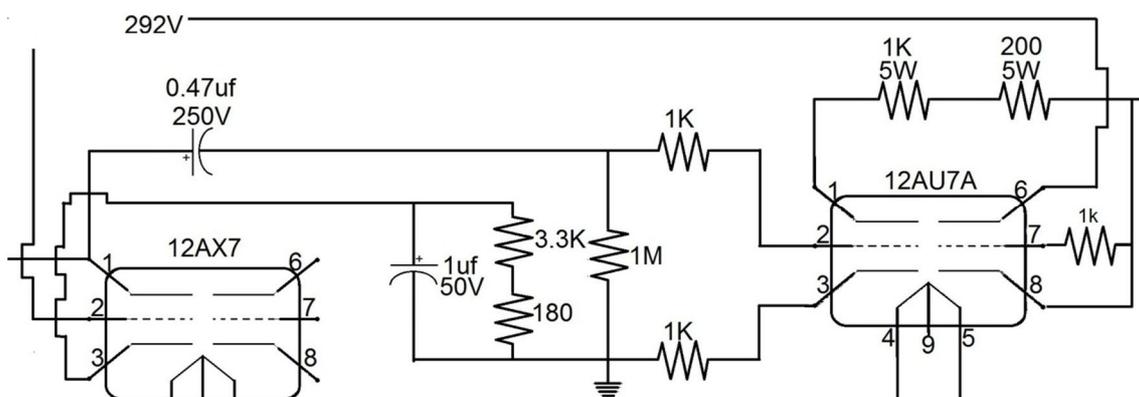
$$\therefore I_{15000} = 0,005mA$$

De lo anterior se deduce que toda la corriente se va por la resistencia menor quedando en la carga la menor parte y por tanto el diseño se estropea.

3.7.3.4 Solución al problema de corriente y uso del tubo 12AU7

Debido al problema presentado en la figura 3.30 se requiere de una mayor corriente a la salida que solvente el problema; para evitar el uso de amplificadores operacionales y hacer un trato de la señal a nivel meramente analógico se decide hacer el uso de un segundo tubo de rayos catódicos que usa un mayor nivel de corriente para amplificar la señal, el tubo elegido es el 12AU7 del cual su hoja técnica se presenta como anexo 2 de este documento, es importante recalcar que no se usó este tubo en la primera etapa pues el máximo voltaje que brindaba el transformador de entrada de micrófono alcanzaba 10 veces el voltaje de entrada, es decir, en el mayor de los casos alcanzaba valores parecidos a 3 o 4 voltios que en el caso de los tubos 12AX7 resulta óptimo para el trabajo pero en un 12AU7 es pequeño ya que se manejan voltajes de malla de 0 a -30 voltios. Entonces se procede a eliminar del diseño las últimas resistencias de 7000hms y 15kOhms; el V_{out} tiene una componente de DC que es necesario filtrar y con ese fin se implemente entre el pin 1 del tubo 12AX7 y tierra una capacitancia con una resistencia de un Mega Ohm, lo último con el fin de no quemar al capacitor. Ahora, el voltaje ya limpio de DC alcanzará entre 0 y $22V_{RMS}$ que entra dentro de lo que el tubo 12AU7 maneja y es dependiente únicamente de la señal de ingreso proveniente del 12 AX7.

Figura 3.32 Destinación de la señal entre tubos.



Fuente: Autor

Entre la resistencia de un mega y el capacitor se sitúa el polo positivo de la señal de ingreso al nuevo tubo; del otro lado de la resistencia de un Mega esta tierra, por último se coloca una resistencia de 10 mil ohmios entre el polo positivo de la señal y el pin 2 del nuevo tubo para forzar un voltaje siempre inferior al del cátodo.

Una nueva resistencia de 1KOhm se ubica desde el pin 3 del nuevo tubo a tierra con el fin de reservar el paso de un voltaje por ahí y al existir un voltaje se garantiza que sea mayor al del pin 2.

Se usa esta vez al segundo tríodo del tubo 12AU7 para tomar a través del pin 6 los 290 voltios de la fuente DC; el pin 7 se conecta al pin uno a través de una resistencia de 1KOhm y el pin 8 también al pin 1 a través de una resistencia de 1.2 KOhm; la resistencia que se dirige al pin 8 versus la resistencia que se dirige al pin 7 tiene su razón de ser en la fijación de un voltaje mayor en 7 que en 8 durante todo el proceso; por último, la salida de voltaje positiva se encuentra entre la resistencia de 1.2K Ohms y el pin 8, la referencia es tierra.

La corriente que se maneja en este proceso es muy alta y desvía su poder hacia la salida para que la carga a la señal de salida no sea un problema. La salida total esta por el orden de los 120V y de aquí mediante un divisor de voltaje se pretende obtener solamente una señal de $10V_{peak}$, y 1,22V RMS regulable para salida.

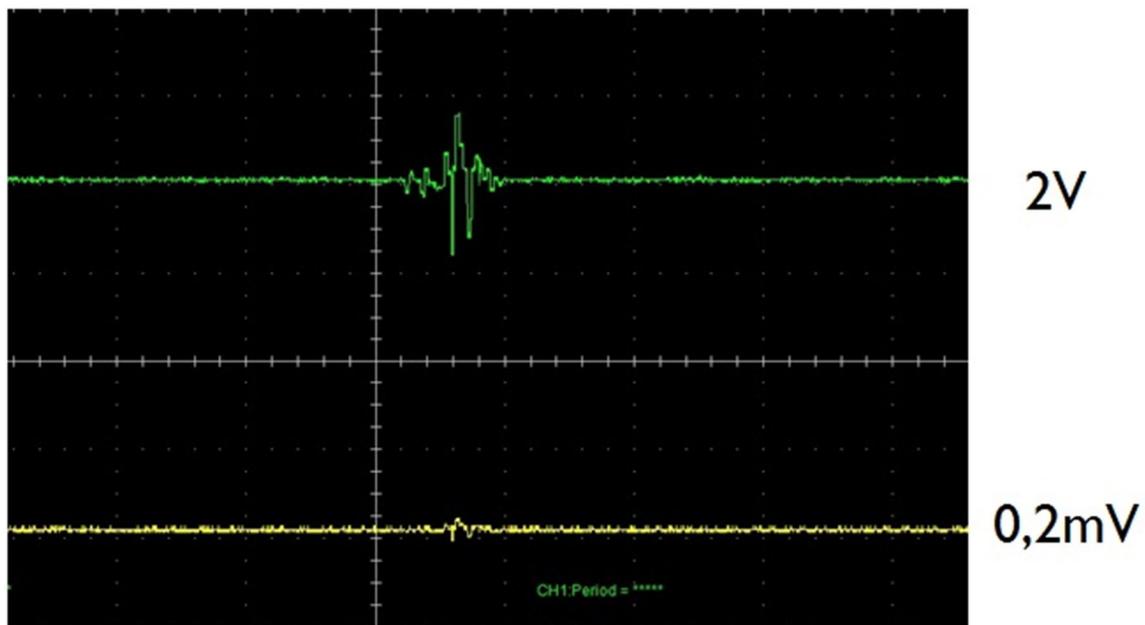
Debido al gran voltaje solamente existe una resistencia disponible en el mercado capaz de trabajar en el aspecto que queremos, una de 270KOhms y 2W que es usada de modo impositivo, a partir de esto, se concluye que el segundo elemento del divisor debe ser una resistencia de 25KOhms, de preferencia potenciómetro que permita elevar o disminuir el nivel, debido a que no existe un potenciómetro de ese valor en el mercado se decide usar en serie una resistencia de 12KOhms junto a un potenciómetro de 10kOhms con la desventaja de que no se podrá disminuir el nivel por completo.

Casi llegando al final 2 capacitores de 33uf ejercen la función de filtrar el voltaje DC. De los dos pines últimos de los capacitores uno va a al pin 2 de salida de fase y el otro al pin 3. El pin 1 de la salida balanceada es conectado a tierra, por otra parte, se obtiene una copia del pin dos para en conjunto con tierra formar una nueva señal de salida no balanceada.

Se podría ahondar en fórmulas y cálculos matemáticos de gran sofisticación para llegar a los valores teóricos equivalentes, en cambio se prefiere usar el software antes citado en este trabajo Multisim para comprobar la eficacia del diseño.

Se pasa por último a la parte práctica y a nivel eléctrico el resultado es exitoso, con el osciloscopio se toma la señal que sale directamente del micrófono y se la compara en tiempo real con la resultante amplificada obteniéndose el siguiente gráfico:

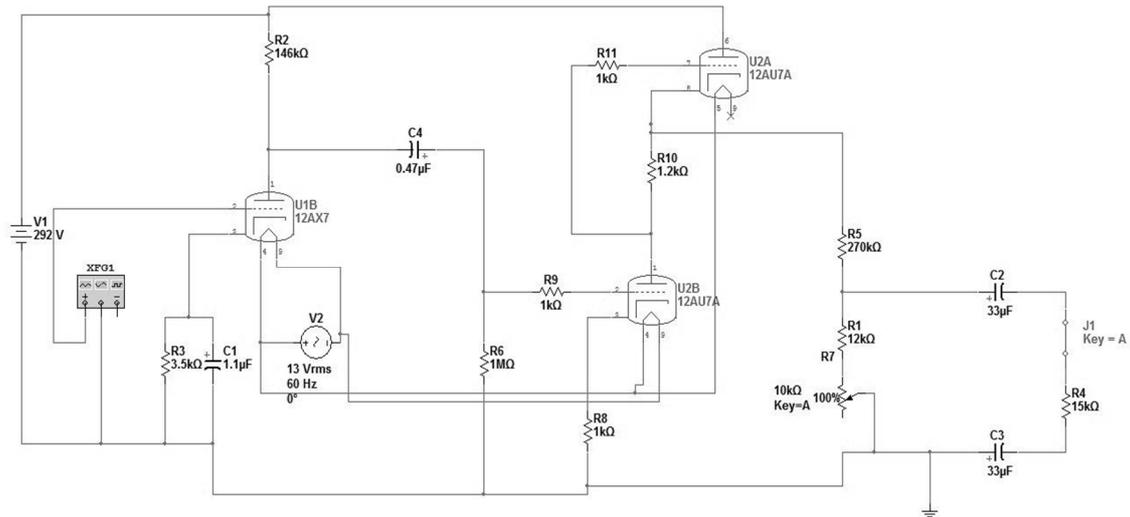
Figura 3.33 Imagen luego y antes del preamplificador.



Fuente: Autor, a través de DSO-2090.

Con estos datos se llega, por lo menos en el nivel eléctrico a lo que se buscaba en el inicio, se llega de 0,2mV a 2V, en un factor de multiplicación de 10 habiendo pasado la señal a través de los dos tubos, queda solamente la parte estética a desarrollar.

Figura 3.34 Circuito implementado en software para simulación de acuerdo a diseño tratado en el capítulo 3.



Fuente: Autor

La señal de micrófono es reemplazada por un generador de funciones y la circuitería de las fuentes es representada por fuentes de poder directas.

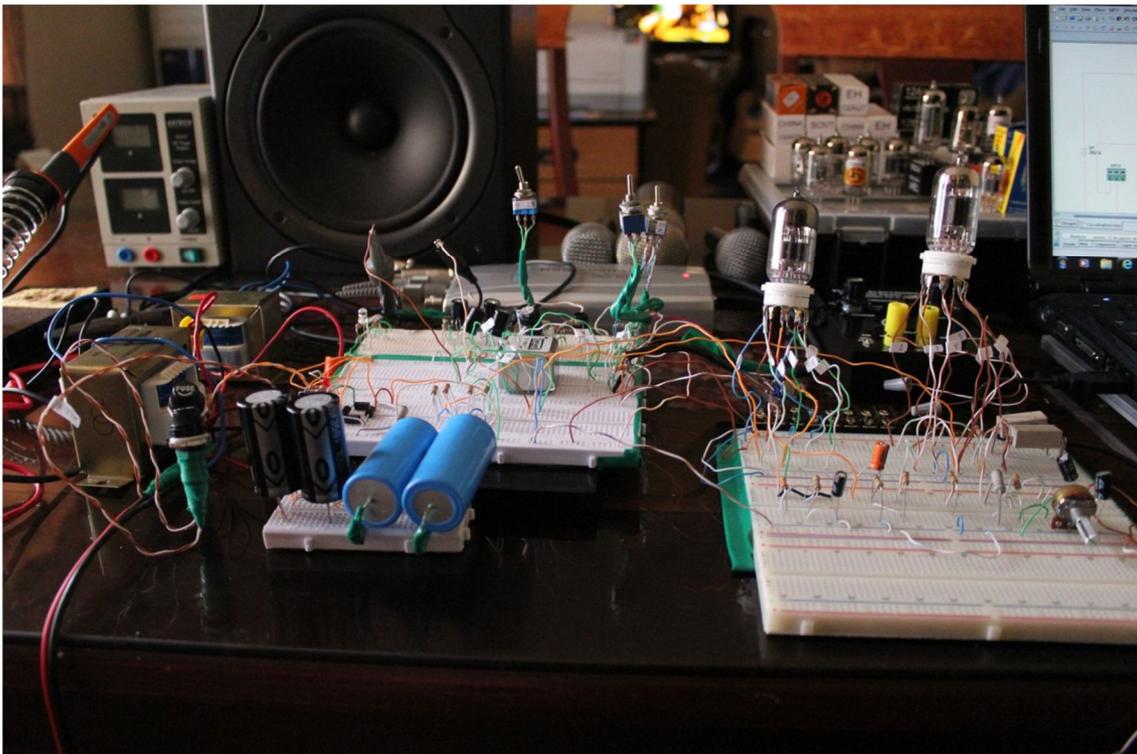
Capítulo IV. Construcción del prototipo

La construcción del dispositivo se hace en base a lo analizado y diseñado en el capítulo anterior, se realiza con seguridad, ubicando en los terminales de los componentes más delicados aislantes que eviten riesgo de electrocución.

La implementación no determina dificultad alguna, mas presenta observaciones ya que al momento de preguntar por algún material que se cree disponible en las tiendas en varios de los casos se manifiesta la falta de disponibilidad en el país.

En algunos valores de resistencia debido a la no existencia exacta en el mercado se debe adecuar el reemplazo de uno por varios en serie con el mismo valor, al no disponerse de resistores de 1% se usan los de 5% disponibles.

Figura 4.1 Foto del prototipo implementado.



Capítulo V. Evaluación

5.1 Evaluación eléctrica

La evaluación eléctrica del dispositivo se hace usando como herramienta a un osciloscopio y un multímetro en las partes que se consideran sensibles tanto de alimentación de potencia y audio como también a las resultantes luego del proceso de amplificación, la evaluación es gráfica y comparativa a la teoría manejada en el capítulo 3, de hecho parte de los gráficos son ya mostrados en este capítulo, se lista a continuación los factores a evaluar del preamplificador:

- Funcionamiento de la fuente phantom power.
- Voltaje de entrada apropiado desde el transformador de entrada hasta la grilla del tubo.
- Correcto funcionamiento de la fuente de poder para alimentación de los tubos.
- Adecuado nivel de voltaje a la salida del preamplificador, tomando en cuenta la impedancia de carga.

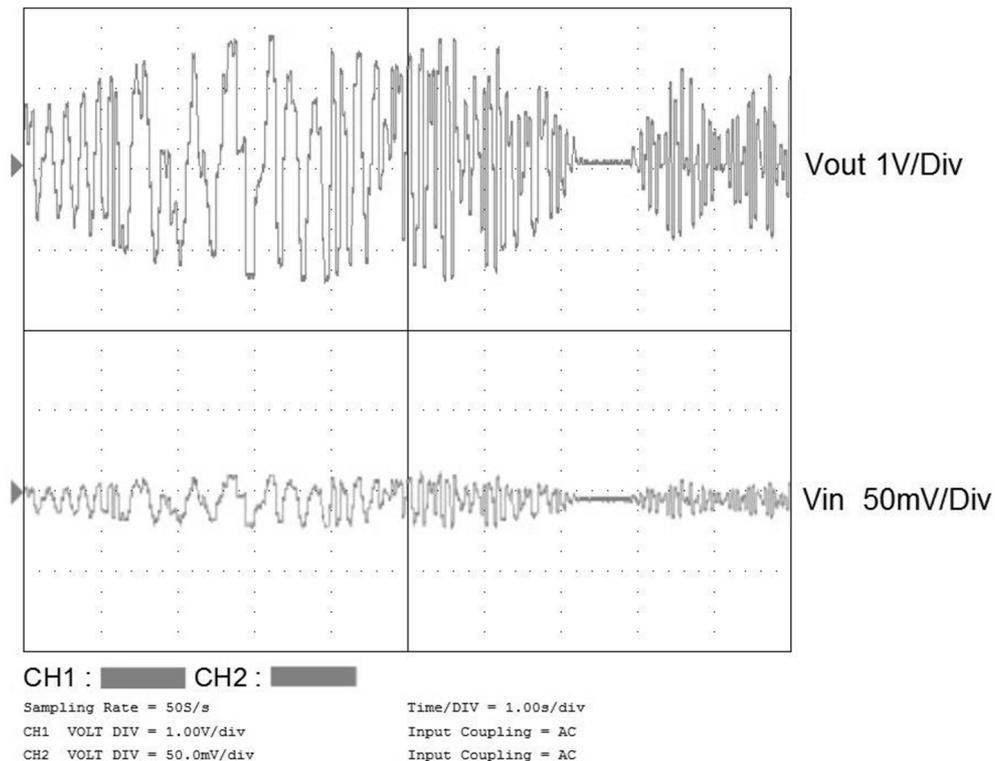
5.1.1 Evaluación a la fuente de voltaje *phantom power*

En relación a este punto su diseño fue tratado en el apartado 3.4.1, mostrando a la figura 3.7 como prueba de su funcionamiento, en conclusión se alcanzó un valor de entre 47.6 e 48.0 voltios en DC, además se conectaron los dos micrófonos, SM-86 y MXL-4000 manteniéndose valores estables y linealidad adecuada.

5.1.2 Evaluación al transformador de entrada de micrófono

Este transformador debe cumplir la función de aumentar la señal por 10 veces en promedio con el objetivo de que el voltaje salido del micrófono quede listo para que el tubo pueda recibirlo y hacer su trabajo.

Figura. 5.1 Comparación de V_{in} vs V_{out} del transformador.



Como se puede observar en el gráfico el V_{out} del transformador en efecto cumple los requisitos de multiplicar a la señal V_{in} (micrófono) por entre 10 o más veces y por tanto el diseño hasta este punto fue favorable.

5.1.3 Evaluación de la fuente de poder para direccionado de audio en los tubos.

Pese a la dificultad presentada por cuestiones de rizado de onda debido a la rectificación el problema se logra solventar y al final se obtiene una señal adecuada que no causa problemas auditivos y además a nivel eléctrico solamente deja un máximo de 0,3V de rizado sobre la alimentación de poder que no es en ninguna manera problema para la percepción sonora; esto se puede corroborar leyendo el apartado 3.7.2 y refiriéndose al gráfico 3.23.

Como se espera con una capacitancia de 320uf el rizado es mínimo ubicando al voltaje cerca a los 300 de diferencia de potencial.

5.1.4 Voltaje de salida del preamplificador

Para esta simulación se ubica en la entrada del micrófono a un locutor, hablando en forma estable y pidiéndole que hable ciertas frases de manera fuerte, a la vez que se toman los datos de forma gráfica como se puede ver en la figura 3.33, se escucha también la voz a través de los parlantes conectados a la interfaz de prototools y por tanto se comprueba el funcionamiento adecuado a nivel eléctrico pues lo esperado se cumple.

5.1.5 Evaluación de switches

Se evalúa también la reacción del diseño frente a el accionar de los switches y cada foco se enciende o se apaga de acuerdo a lo previsto, además en manera auditiva se escuchan las diferencias de PAD, el adaptador de impedancias queda sin probar por no conseguir un micrófono de impedancia menor a 100 Ohms, por último se evalúa también al inversor de voltaje pero no se nota un cambio significativo en lo auditivo, en lo eléctrico el cambio es mínimo.

5.2 Evaluación estética

Debido a problemas relacionados con tiempo de importación y pruebas del preamplificador las situaciones no se dieron para coordinar una cita con los sonidistas que irían a ser convocados, pues el tiempo no lo permitía dado que se precisa fijar una cita con al menos 3 semanas de anticipo, además de llevar material propio de evaluación como micrófonos, de todas maneras la metodología a seguir habría sido así:

- Escoger a 2 o 3 sonidistas destacados en el medio que dispongan de al menos un preamplificador de micrófonos disponible y dos micrófonos de misma marca y serie.
- Escoger a un cantante o músico para interpretar un tema frente a dos micrófonos similares, con un micrófono conectado al preamplificador motivo de esta tesis y el otro micrófono conectado al preamplificador de posesión del evaluador.
- Repetir el ejercicio anterior con micrófonos dinámicos y de condensador.
- Grabar una entrevista y transcribir los principales tópicos al documento de tesis, la entrevista deberá ir de acuerdo a los siguientes tópicos.
 - Calidad sonora con micrófonos de condensador.
 - Calidad sonora con micrófonos dinámicos.
 - Opinión sobre costo del preamplificador.
 - Recomendaciones para un próximo desarrollo.

Dos criterios notorios.

- **Sobre la calidad con micrófonos de condensador.**

El sonido del preamplificador con los micrófonos SM-86 y MXL-4000 ha sido de buena calidad, apenas en el SM-86 se ha sentido algo de ruido.
- **El sonido del preamplificador con el micrófono dinámico.**

En este sentido la actuación del preamplificador no fue buena pues persiste un ruido de fondo probablemente proveniente de origen electrónico ya que no se tienen a las resistencias de precisión más o menos uno por ciento.

Capítulo VI. Análisis económico

Para la implementación de este proyecto se requiere de una inversión de capital tanto en horas hombre como en material, a continuación una estimación.

6.1 Descripción de ítems

La realización de esta tesis implica un tiempo de trabajo a ser considerado de la siguiente manera.

Tabla 6.1 Trabajo realizado en horas hombre.

Horas hombre empleadas	Condiciones
200	Días laborables
30	Días festivos
45	Días de descanso
8	Promedio de trabajo diario

También luego de esto se incluyen los cálculos económicos hechos respecto a la tabla anterior.

- **Investigación teórica y práctica**

Se considera aquí el tiempo empleado para fines de construcción del diseño implementado sobre un prototipo, además, el tiempo invertido en la lectura y traducción de gran parte de la bibliografía, toma de apuntes y cálculos realizados para llegar a completar el diseño final.

- **Consultoría**

Durante el trabajo se acude a un especialista en normas de seguridad y recomendaciones para trabajo con alto voltaje, además, se incluye aquí el tema de transporte y logística dentro de la ciudad de Quito.

- **Simulación de datos vía informática y evaluación**

Incluye el tiempo demorado en implementar los componentes del circuito dentro del computador y evaluarlos, buscando sustitutos dentro de la simulación e intentando acercarse de manera adecuada al diseño generado en esta tesis.

- **Análisis de trabajo y mediciones durante el proceso**

Se refiere al tiempo empleado en pequeñas evaluaciones empíricas durante el proceso para determinar niveles de voltaje correctos y fuera de peligro, además el tiempo invertido en procurar una solución alternativa para las averías dadas en la parte práctica.

- **Tiempo de espera de bibliografía, materiales y tramitación para su salida de aduanas**

Dado el tema de tesis se requiere de una fuente bibliográfica adecuada, la gran parte de material bibliográfico y componentes de construcción delicados así como materiales de evaluación empleados se deben importar y debido a su origen y búsqueda detallada requieren de gran tiempo de investigación en foros sitios web y además de eso un tiempo de espera hasta su arribo a tierras ecuatorianas y atención especial para su pronta salida de aduanas.

- **Materiales con el fin de implementar y evaluar el circuito**

Se considera aquí a materiales externos al diseño mismo del circuito que se necesitan para poder abastecer al prototipo ya sea de DC, AC, a manera de previsiones razonables.

- **Componentes del circuito definitivo**

En esta parte se evalúa únicamente a los materiales montados en el prototipo definitivo.

- **Material de papelería**

Gastos varios en papel para impresión, materiales de oficina, esferográficos, etc.

Tabla 6.2 Detalle económico de componentes del proyecto.

Descripción	Horas empleadas	Valor unitario	Valor Total
Investigación teórica y práctica.	175	8	1400
Consultoría	10	8	80
Simulación de datos vía informática y evaluación	25	8	200
Análisis de trabajo y mediciones durante el proceso	25	8	200
Tiempo de espera de bibliografía, materiales y tramitación para su salida de aduanas.	40	8	320
Materiales con el fin de implementar y evaluar el circuito.	Varios detallados en un cuadro posterior	1	1000
Componentes del circuito definitivo.	Detallados en el apartado 6.3	1	171.75
Bibliografía adquirida	Varios	1	600
Total			3971.5

6.2 Detalle de componentes comprados con fines de implementación y evaluación del prototipo

Tabla 6.3 Costo de material extra para implementación.

Elemento	Característica	Cantidad	Precio
Fuente DC	18V a 3A	1	250
Osciloscopio Digital	DSO-2090	1	300
Kit de capacitancias varias	1pF-1000uF	2	40
Kit de resistores varios	1-1MOhms	3	60
Cautín	45W	1	20
Tubos para repuesto	12AX7	9	135
Tubos para repuesto	12AU7	1	15
Material electrónico en general	Leds, diodos, etc.	1	65
Software de análisis sonoro	NPS, dB, etc	1	89
Amplificadores operacionales de alta velocidad	Mayor a 3 Mhz	10	25
Total			1000

6.3 Detalle de componentes del circuito final

Tabla 6.4 Detalle de costos de componentes en el prototipo final.

Elemento	Característica	Cantidad	Precio
Enchufe	2 puntas	1	0,80
Transformador 2A	13.6V 125V	1	5,50
Transformador 3A	13.6V 125V	1	5,50
Transformador de audio	1 4 5 8	1	65
Resistencia	2.7K	1	0,03
Resistencia	8.2K	2	0,06
Resistencia	2.2K	1	0,03
Resistencia	68K	1	0,03
Resistencia	3.9K	2	0,06
Resistencia	100	3	0,09
Resistencia	120K	1	0,03
Resistencia	22K	1	0,03
Resistencia	5K	1	0,03
Resistencia	6.8	2	0,06
Resistencia	620	2	0,06
Resistencia	3.3K	1	0,03
Resistencia	180	2	0,06
Resistencia	1K	3	0,09
Resistencia	1K 5W	1	0,03
Resistencia	200 5W	1	0,03

Resistencia	270K 2W	1	0,03
Resistencia	12K	1	0,03
Resistencia	6.8	2	0,06
Resistencia	220	1	0,03
Potenciómetro	10K	2	0,50
Diodo	2A350V	4	4
Diodo	1N4148	5	0,60
Diodo Zener	47V 85C47	1	0,40
Led Rojo		2	0,20
Led Azul		1	0,10
Capacitor	33uf 50V	7	0,50
Capacitor	33uf 160V	1	1,50
Capacitor	100uf 350V	2	9,60
Capacitor	60 uf 450V	2	9,60
Capacitor	0.47uf 250V	1	1,50
Capacitor	1uf 50V	1	0,50
Tubo	12AX7	1	15
Entrada de micrófono		1	3,50
Salida balanceada		1	3,50
Salida desbalanceada		1	2,50
Fusible	0,5 amp	1	0,05
Switch		1	0,60
Switch de 3 pines		1	0,35
Switch de 6 pines		3	1,05
Protoboards		6	30
Cables varios de interconexión		50	1,50
Soquets de tubos		2	7,00
Total			171,75

De implementarse en una caja metálica se eliminaría el costo de los Protoboards pero se aumentaría el precio de los PCB y el ensamble; es decir el costo requería un incremento de 20 dólares respecto al prototipo; pero su tiempo de armado sería mayor.

6.4 Consideraciones sobre el análisis económico

Dadas las circunstancias los costos de Investigación teórica y práctica, además la simulación de datos y también el análisis de trabajo no son considerados como un costo para fines prácticos ya que son parte de la responsabilidad del tesista; entonces el costo definitivo es de 2171 dólares.

Capítulo VII. Proyecciones del proyecto

El tema de los tubos de rayos catódicos no es nuevo y por lo tanto exista ya gran cantidad de empresas dedicadas a su desarrollo fuera del país pero en el tema de audio existen apenas laboratorios técnicos que reemplazan piezas y partes de ahí, el diseño de circuitería totalmente análoga y de bajo costo es una gran oportunidad pues el audio de los tubos es considerado atractivo para buena parte del contexto musical, en materia de avances para posterior se podría hacer lo siguiente:

- Construcción de un preamplificador de tubos para micrófono de dos canales, basta una copia exacta del circuito y la adición de un transformador más de entrada junto otro tubo 12AU7A para tener un nuevo canal.
- Diseño y construcción de un efecto de reverberación con tubos, con la idea básica de crear realimentación de la salida de audio de un tubo a otro y sumar esta circuitería al preamplificador.
- Diseño y construcción de un amplificador de potencia con tubos, para lo cual se requeriría del uso de tubos que trabajen a mayor corriente y utilizando la misma lógica y teoría de esta tesis se pueden diseñar aparatos que amplifiquen en potencia.
- Optimización del sonido de preamplificadores de tubos, evaluando sobre este prototipo a nivel de espectro con distintas marcas de tubos 12AX7 escogiendo de manera auditiva la mejor opción y adecuando el circuito a cada modelo en espacial.
- Diseño y construcción de un preamplificador de tubos para niveles de línea de hogar, se puede crear un preamplificador en base a la teoría expuesta en este trabajo con el fin de mejorar el sonido y conexiones para niveles de casa como un home theater, TV, equipos de sonido, etc.

- Estudio de las diferencias auditivas y eléctricas entre un preamplificador de tubos versus uno de amplificador operacional, comparando sus espectros, la seguridad de su implementación, el rendimiento, costos y calidez sonora.
- Creación de una guía de mantenimiento para dispositivos de audio hechos en base a tubos, manifestando la importancia de la seguridad y explicando de manera más digerible los procesos que se deben seguir para dar un buen mantenimiento al equipo y modificar ciertas partes de circuitería básica.
- Diseño y construcción de efectos de distorsión con tecnología de tubos, con la idea de aprovechar la capacidad de los tubos de amplificar, llevando la potencia de cada modelo a su límite y a través de circuitería dar estética a la distorsión generada por la saturación del tubo.
- Diseño de una consola de audio para estudio de grabación con tecnología de tubos, a través de la implementación de varios de preamplificación capaces de manejar señal de micrófono y de línea, adicionando además circuitos para mezcla de señales y sumadores con varias opciones de salida.
- Diseño y construcción de probadores de tubo, de tal manera que tenga sockets fijos en los cuales se pueden intercambiar válvulas y evaluar las características de cada uno de manera que a nivel experimental se puedan obtener datos característicos de cada modelo de tubo en especial.

Capítulo VIII. Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

- Se comprueba que es posible la construcción de un preamplificador de tubos para micrófono a un costo inferior a 800 dólares y que sería posible la construcción de hasta cuatro preamplificadores con ese valor.
- La calidad de sonido del preamplificador en los dos micrófonos de condensador que se tuvieron es adecuada mientras, en el micrófono dinámico dejó algunas dudas.
- Se consiguió diseñar y construir un preamplificador con tecnología de tubos para micrófono; este trabajo sirve como primer referente sobre el tema en cuestión de audio pues se asume que hace ya varios años el desarrollo de diseño y creación de un dispositivos de válvulas en el Ecuador ha sido dejado de lado, ya que en el proceso no se encontró algún dispositivo hecho en el país con el que se pueda hacer referencia.
- El objetivo de realizar un análisis extenso sobre tecnología de tubos para construir un preamplificador se consiguió pues pese a lo difícil de conseguir la bibliografía se llega a contar con material de importantes autores. Ningún libro en específico sobre tubos para audio se encontró en idioma español, de ahí, el diseño que se realiza en el capítulo 3 es una pauta para el entendimiento de referencia de funcionamiento de un tubo para audio.
- Cada parte del diseño es realizada en base a los requerimientos que se decidió eran oportunos en base a la teoría estudiada y el diseño cuenta con los principales estándares de un preamplificador de tubos como son la capacidad de recepción de un micrófono de condensador con *phantom power*, salida de línea de alrededor de 2 Vrms comprobada a través de osciloscopio, impedancia de entrada de 1.4kOhms que alcanza

a ser alrededor de 7 a 10 veces más la impedancia promedio de salida de un micrófono, PAD atenuador, inversor de polaridad y adaptador de impedancias de entrada.

- El *phantom power*, logra estabilidad por un tiempo extenso en alrededor de 48V y lo mismo ha sucedido con el voltaje de alimentación DC de alimentación para los tubos sin que esto demande peligro o recalentamiento más allá de lo normal.
- La evaluación estética no ha sido posible por cuestiones de tiempo de la manera que se quería llevar a cabo, apenas se hizo una evaluación por parte del autor concluyendo que el preamplificador suena bien con micrófonos de condensador, mientras con el micrófono de bobina móvil la calidad disminuyó.
- El trabajo con circuitos de tubos para audio es de gran peligrosidad pues puede alcanzar niveles de voltaje y corriente letales, de ahí que es preciso tener gran precaución, leer de manera dedicada cada parte de teoría y atender sin omisión a los diagramas diseñados; el momento de la construcción y prueba se debe también tener una situación adecuada de concentración y disposición al trabajo ya que cualquier falla por distracción o estrés que puedan afectar a una pequeña conexión puede ser motivo cuando menos de ruido en la señal de salida y en un caso grave una explosión de elementos como capacitores de alta reserva que pueden afectar la integridad del ser humano que diseña, de ahí se concluye que para el momento de armar el circuito se debe tener conciencia absoluta de lo que se hace y una condición adecuada con el espacio requerido para hacerlo.
- Los medios de tecnología disponibles en la actualidad son de gran ayuda a la ingeniería pues los cálculos que se debieran realizar en ciertas partes del circuito implicarían un gran tiempo de cálculo de integración y diferenciación, además en cuanto a espectro el uso de

transformadas que serían por si solas un gran capítulo de esta tesis, así usar simuladores confiables ayudan a optimizar el tiempo y diseñar circuitos y aparatos con mayor rapidez, evitando daños en los elementos sensibles.

8.2 Recomendaciones

- Cuando se realizan trabajos e investigaciones dependientes de fuentes bibliográficas, y en general materiales lejanas al medio usual de trabajo, es necesario tener una experiencia previa en el tema pues esperar tres meses para la obtención de libros y luego un tiempo similar para la llegada de componentes no permiten equilibrar el trabajo sino a medida de la llegada de los materiales invertir un esfuerzo enorme en ciertos momentos y en otros depender únicamente de la llegada de un material, por lo tanto se recomienda a un futuro tesista en un tema similar al tratado aquí recurrir al tutor de este trabajo o al realizador para una ayuda en estimación de tiempos, costos y ayuda en cierta bibliografía.
- El tema de esta tesis implica una gran cantidad de contenido electrónico con finalidades de construir un aparato de servicio al audio, de ahí que se halla importante que los contenidos de electrónica dictados en la carrera de Ingeniería en Sonido y Acústica en la Universidad de Las Américas sean específicos para audio pudiéndose proponer temas objetivos como amplificadores, filtros, tecnología de tubos, mantenimiento y normas de seguridad de aparatos electrónicos de audio de tal manera que el ingeniero tenga la posibilidad de manipular sus diseños e instruir a otros sobre las seguridades a tener, a más de ser capaz de relacionar las consecuencias sonoras de la manipulación de un elemento desde su principio eléctrico hasta su consecuencia en el oído de una persona normal.
- El hecho de tener que comprar algunos materiales y componentes fuera del país y esperar gran tiempo para su llegada requiere de una inversión de dinero, de aquí recomendaría que la Universidad implemente un plan o acuerdo con aduanas para que sus estudiantes adquieran elementos con

fines totalmente científicos sin impuestos ya que por parte de la revisión fiscal se creyó en varios de los casos una adquisición con fines comerciales aumentando los costos. Debemos como estudiantes e instituciones de enseñanza superior promover leyes que permitan la libre importación de componentes con fines científicos.

- Es una buena idea a futuro que la Universidad permita la manipulación interna de aparatos como consolas, amplificadores y preamplificadores además de una asignatura que ayude a la lectura e interpretación de diagramas desde lo gráfico a lo funcional, ya que en el momento del trabajo y diseño hay ciertas figuras y componentes de diseño que asociados denotan por sí mismos su función en el circuito y economizan tiempo en el caso de necesitarse un análisis mayor de un aparato, buscar un sistema con un responsable por los componentes de manera que los de mayor sensibilidad sean revisados siempre bajo supervisión y los de fácil manejo a disponibilidad de cada estudiante dentro de las instalaciones.

Capítulo IX. Bibliografía

9.1 Libros

- ALEXANDER, Sadiku, Fundamentos de Circuitos Electricos, Mc Graw Hill, 3ra edición, España, 2004.
- BALLOU, Glen, Handbook For Sound Engineers, Howard W. Sams & Co, primera edición, tercera impresión, Estados Unidos, 1988.
- BOYLESTAD, Robert, Electrónica: Teoría de Circuitos, Prentice-Hall Latinoamericana, 5ta Edición, México, 1994.
- HERBERT, Reich ,Principles of electron tubes, Audio Amateur Press, first reprint, United States of America, 1995.
- JONES, Morgan, Building Valve Amplifiers, Newnes, 1ra edición, Elsevier, Breinigsville, 2010.
- JONES, Morgan, Audio Valve Amplifiers, Newnes, 1ra edición, Elsevier, Breinigsville, 2010.
- KIBBETT, Boysen, All New Electronics Self-Teaching Guide, Wiley, 3ra edition, United States of América, 2008.
- MIYARA, Federico, Acústica y Sistemas de Sonido, UNR, 3ra edición, Rosario, 2003.
- PHILCO, Corporation, Vacuum Tube and Semiconductor Fundamnetals, Philco, Sixth Printing, United States of América, 1966.
- PITTMAN, Aspen, The Tube Amp Book, Backbeat Books, 1ra edición, China, 2004.
- THOMAS, Mitchell, How To Service Your Own Tube AMP, Media Concepts, first printing/ revised edition, United States of America, 1991.
- ZUR LINDE, Rinle Audio Valve Amplifiers, Elektor Electronics, 4th Edition, Netherlands by Wilco, Amersfoort, 1995.
- ZOTTOLA, Tino, Vacuum Tube Guitar And Bass Amplifier Theory, The Bold Strummer, New York, 1995.

9.2 Artículos y notas técnicas

- PÉREZ, Pedro. El decibel artículo informativo, Argentina.
URL: www.frm.utn.edu.ar/medidase2/varios/dB.pdf.
Última revisión: 2011-10-26.
- COPENHAGUE, Frank. Generadores de alta tensión – Parte 2.
URL: www.cientificosaficionados.com/tbo/mat/mat.htm.
Última revisión: 2011-10-26.
- Ley de Ohm y potencia eléctrica
URL: http://www.unicrom.com/Tut_leyohm_potencia.asp
Última revisión: 2011-10-26.
- Mic, Line and Instrument Level – What's the Difference?, 2010.
URL: <http://recordmixandmaster.com/2010-02-mic-line-and-instrument-level-whats-the-difference>
Última revisión: 2011-10-26.
- Do-It-Yourself G9 Tube Microphone preamplifier, Gyralf Audio, 2007.
URL: www.gyraf.dk/gy_pd/g9/g9pd.htm
Última revisión: 2011-10-26.
- JONES, Rob, Microphones, preamps and impedance.
URL: [www.microphone-data.com/media/filestore /.../Mic%20imp edance-10.pdf](http://www.microphone-data.com/media/filestore/.../Mic%20imp%20edance-10.pdf)
Última revisión: 2011-10-26.
- HARDY, Jhon, Mic Pre-amp Evaluation Methodology, 1988.
URL: www.johnhardyco.com/pdf/MicPreampEval.pdf
Última revisión: 2011-10-26.
- LA GROU, Jhon, Mic Pre-amp Design,
URL: <http://www.mil-media.com/preamps.html>
Última revisión: 2011-10-26.
- HEBERTH, Gary, Designing Mic Preamps, 2010
URL: www.thatcorp.com/datashts/AES129_Designing_Mic_Preamps.pdf
Última revisión: 2011-10-26.
- A Bibliography of "Must Have" Tube Electronics Books
URL: www.aikenamps.com/Bibliography.html

Última revisión: 2011-10-26.

- Tube amplifiers site guide

URL: http://www.worldtubeaudio.com/directory/categories/kategorie_2.htm
Última revisión: 2011-10-26.

- All About Pads

URL: www.uneeda-audio.com/pads/
Última revisión: 2011-10-26.

- BOHN, Dennis, Selecting Mic Preamps, 2001.

URL: <http://www.rane.com/note148.html>
Última revisión: 2011-10-26.

- WOLFE, Jane, dB: What is a decibel?

URL: <http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/dB.htm>
Última revisión: 2011-10-26

9.3 Página web

- Magic Sound and Music Estudio

URL: http://www.ms-m.biz/index_es.html
Última revisión: 2011-10-26.

- Graba Estudio

URL: <http://grabaestudio.com/>
Última revisión: 2011-10-26.

- Ozland Estudios

URL: <http://www.ozlandstudios.com/>
Última revisión: 2011-10-26.

- IEC Norms

URL: http://www.iec.ch/cgi-bin/procgi.pl/www/iecwww.p?wwwlang=e&wwwprog=pro-det.p &pro_gdb=db1&He=IEC&Pu=61_938&Pa=&Se=&Am=&Fr=&TR=&Ed=2
Última revisión: 2011-10-26.

- AVID, Rack 003

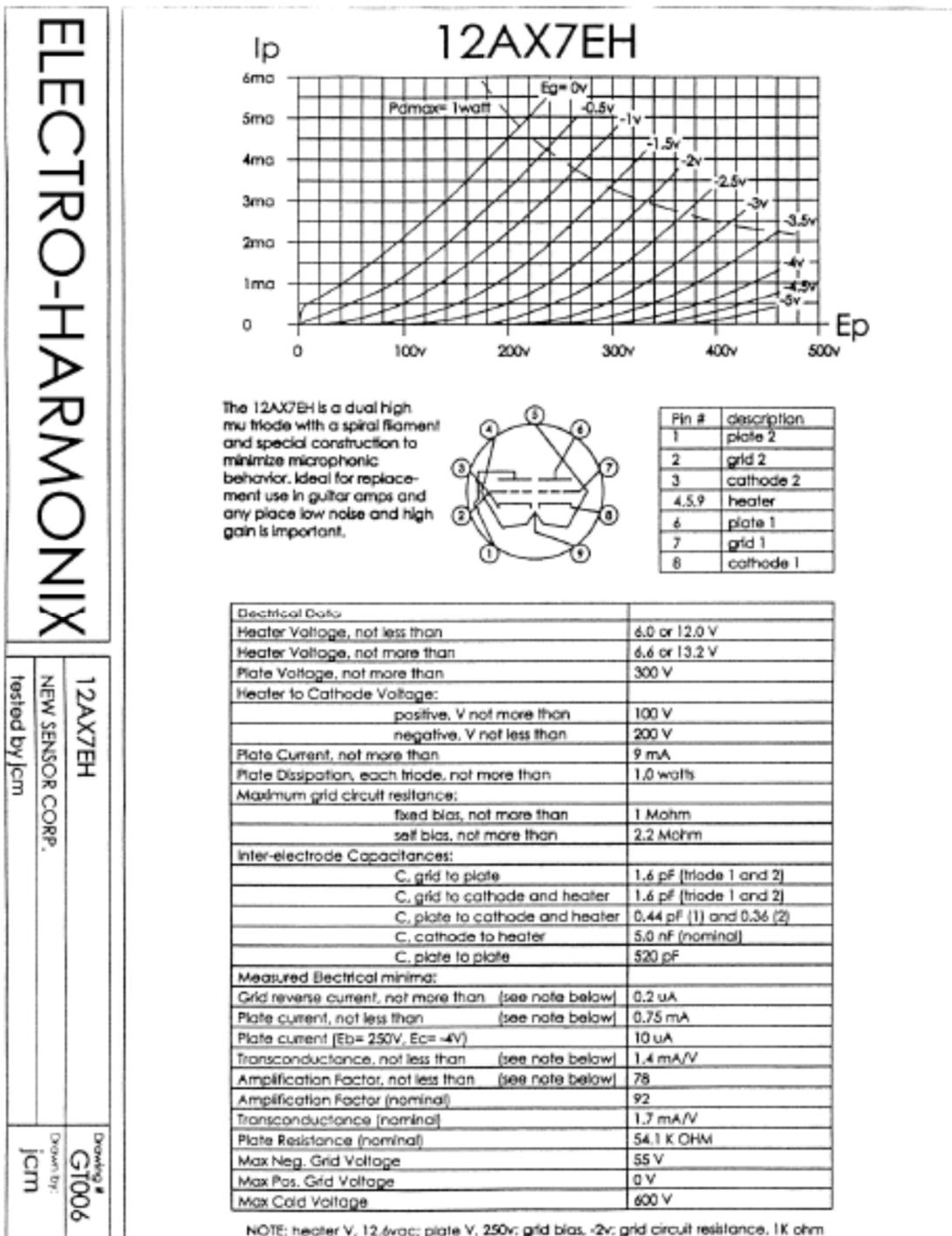
URL: <http://www.avid.com/US/products/003-Rack>
Última revisión: 2011-10-26.

9.4 Imágenes y gráficos

- Representación gráfica del átomo.
<http://electronicaradical.blogspot.com/2010/12/principios-de-la-electronica.html>
- Ley de Kirchhoff para Corriente
<http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/fisica2/4.5.htm>
- Ley de Kirchhoff para voltaje
<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001601/cap02/Cap2tem2.html>
- Curvas de reactancia
<http://www.learn-about-electronics.com/inductive-reactance.html>, traducido.
- Representación típica del diodo donde el ánodo es el polo de entrada de la corriente positiva y el cátodo su punto de salida.
<http://www.hardmodding.net/smf/electronica-aplicada/vumetro-para-los-bajos-de-las-musicas!/>
- Corriente DC, A. Circuito Abierto B. Circuito Cerrado
<http://www.learn-about-electronics.com/dc-current.html>, traducido
- Onda Senoidal Peak to Peak
<http://www.learn-about-electronics.com/ac-current.html>
- Disposición de un sujetador.
Electrónica y Teoría de Circuitos, Robert Boylestad, pag. 83.
- Respuesta de frecuencia de un micrófono
<http://www.cameraman.es/noticia/1702/>
- Partes del sistema de transducción del micrófono mecánico
Handbook for Sound Engineers, pag 19. Traducido.
- Elementos de un micrófono de condensador
Tomado de: The Record Figura 2.36
- Partes del tubo de vacío
Fuente: <http://www.justinholton.com/hotrod/tubes.html>, traducido.
ing Engineer's Handbook

Capítulo X. Anexos

Anexo 1
Hoja técnica del tubo 12AX7

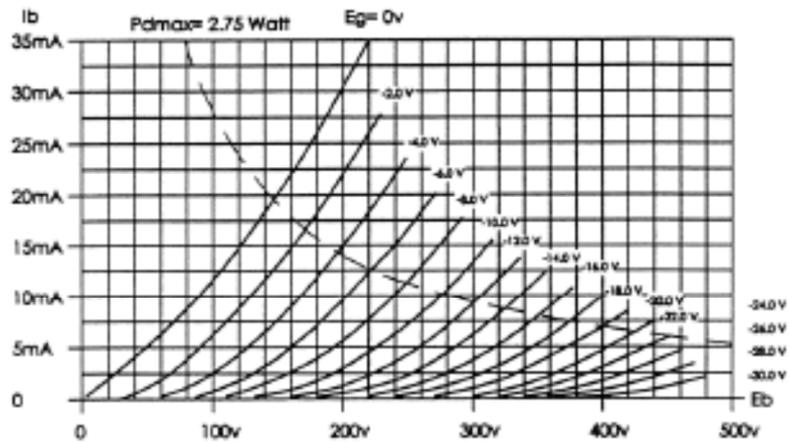


Anexo 2

Hoja técnica del tubo 12AU7A

ELECTRO-HARMONIX

12AU7EH



Pin #	description
1	plate 2
2	grid 2
3	cathode 2
4,5,9	heater
6	plate 1
7	grid 1
8	cathode 1

Electrical Data

Heater Current (nominal)	0.3 A/0.15 A (parallel/series)
Heater Voltage, not less than	6.0 or 12.0 V
Heater Voltage, not more than	6.6 or 13.2 V
Plate Voltage, not more than	330 V
Heater to Cathode Voltage:	
positive, V not more than	100 V
negative, V not less than	200 V
Heater Warmup Time	12 seconds
Plate Current, not more than	22 mA
Plate Dissipation, each triode, not more than	2.75 Watts
Maximum grid circuit resistance:	
fixed bias, not more than	1 Mohm
self bias, not more than	2.2 Mohm
Inter-electrode Capacitances:	
C, grid to plate	1.8 pF
C, grid to cathode and heater	2.0 pF
C, plate to cathode and heater	1.5 pF
C, cathode to heater	5.0 nF (nominal)
C, plate to plate	500 pF
Measured Electrical minima:	
Grid reverse current, not more than (see note below)	0.5 uA
Plate current, not less than (see note below)	8 mA
Plate current (Eb= 250V, Ec= -18V)	10 uA
Transconductance, not less than (see note below)	2.2 mA/V
Amplification Factor, not less than (see note below)	15
Amplification Factor (nominal)	17
Plate Resistance (nominal)	7.5K Ohms

NOTE: heater V, 12.6vac; plate V, 250v; grid bias, -8.5v; grid circuit resistance, 1K ohm

12AU7EH
NEW SENSOR CORP.
tested by jcm

Drawing #
GT009
Drawn by:
jcm

Anexo 3

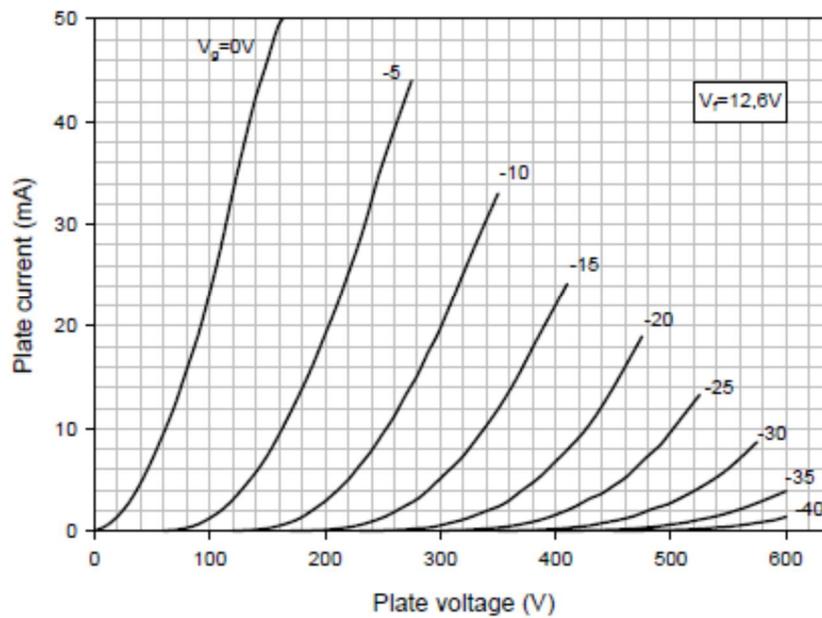
Hoja técnica del tubo 12BH7

12BH7

Page 4 of 4

Average cathode current (each section)			20	20	(mA)
Peak cathode current				70	(mA)
Grid circuit resistance	fixed bias		0,25		(M Ω)
	cathode bias		1	2,2	

Average plate characteristics 12BH7 (each section)



Anexo 4

Tabla de cálculo de voltajes máximos.

Sensitivity		Maximum Sound Pressure Level (Max SPL) @ 1 kHz															
mV/PA	dBu	120	122	124	126	128	130	132	134	136	138	140	142	144	146	148	150
2	-52	-26	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4
4	-46	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
6	-42	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14
8	-40	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16
10	-38	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
12	-36	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
14	-35	-9	-7	-5	-3	-1	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
16	-34	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
18	-33	-7	-5	-3	-1	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
20	-32	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
22	-31	-5	-3	-1	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
24	-30	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
26	-29	-3	-1	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27
28	-29	-3	-1	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27
30	-28	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
32	-28	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
34	-27	-1	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29
36	-27	-1	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29
38	-26	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
40	-26	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
42	-25	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
44	-25	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
46	-25	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
48	-24	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
50	-24	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32

Anexo 5

Tabla de valores de V_{out} del 12AX7

V_{IN}	V_M	V_{OUT}	$I_A(mA)$
-3.2	-3.3	285.28	0
-3.1	-3.26	282.98	0.056
-3	-3.21	280.62	0.056
-2.9	-3.16	278.22	0.056
-2.8	-3.11	275.79	0.113
-2.7	-3.06	273.33	0.113
-2.6	-3.01	270.85	0.113
-2.5	-2.96	268.35	0.170
-2.4	-2.92	265.85	0.170
-2.3	-2.87	263.31	0.170
-2.2	-2.82	260.77	0.170
-2.1	-2.77	258.22	0.227
-1.8	-2.6	250.50	0.255
-1.6	-2.54	245.31	0.312
-1.4	-2.45	240.09	0.341
-1.2	-2.35	234.85	0.369
-1.0	-2.26	229.58	0.397
-0.8	-2.17	224.30	0.454
-0.7	-2.13	221.65	0.454
-0.6	-2.08	218.99	0.48
-0.5	-2.04	216.33	0.51
-0.4	-1.99	213.67	0.51
-0.3	-1.95	211.01	0.54
-0.25	-1.92	209.67	0.56
-0.2	-1.90	208.34	0.56
-0.15	-1.88	207.00	0.56

-0.1	-1.86	205.66	0.56
-0.075	-1.85	204.99	0.59
-0.05	-1.83	204.32	0.59
-0.025	-1.82	203.65	0.59
0	-1.81	203.0	0.59
0.025	-1.80	202.32	0.59
0.05	-1.79	201.65	0.59
0.075	-1.78	200.98	0.59
0.1	-1.77	200.31	0.625
0.15	-1.74	198.96	0.625
0.2	-1.72	197.62	0.625
0.25	-1.70	196.28	0.625
0.3	-1.68	194.94	0.653
0.5	-1.59	189.56	0.682
0.8	-1.45	181.46	0.73
1	-1.37	176.06	0.76
4.143	-	0	1.378

Anexo 6

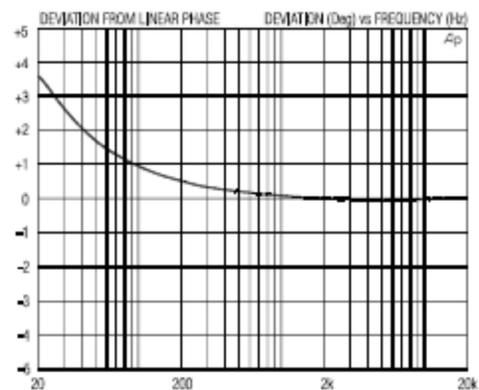
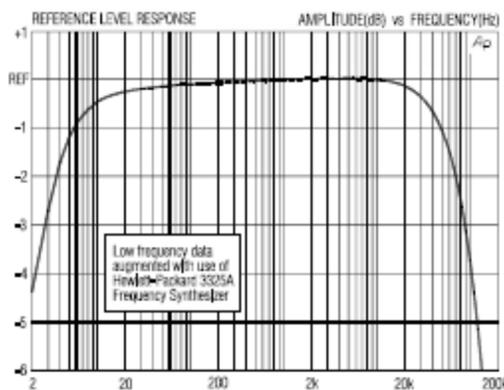
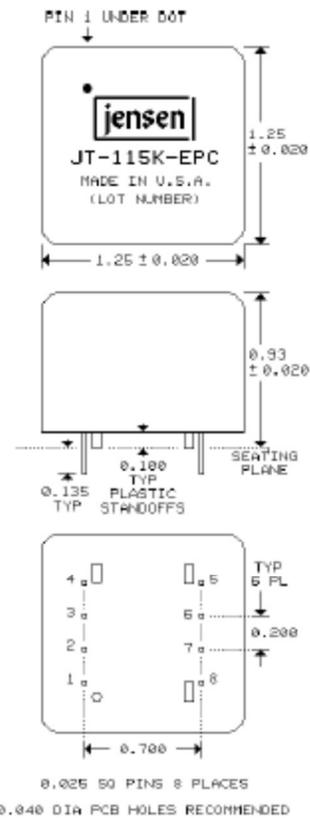
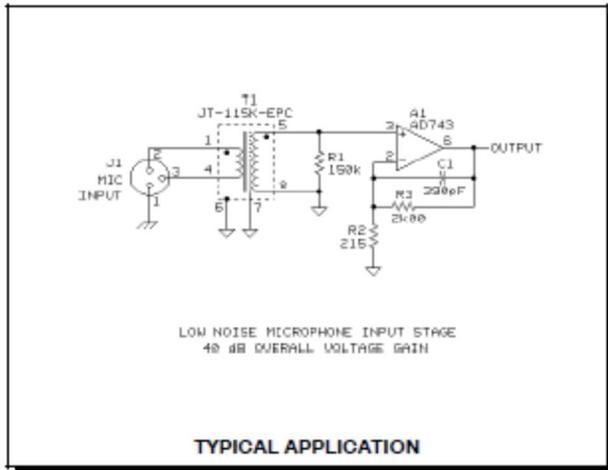
Hoja técnica del transformador JT-115K-EPC

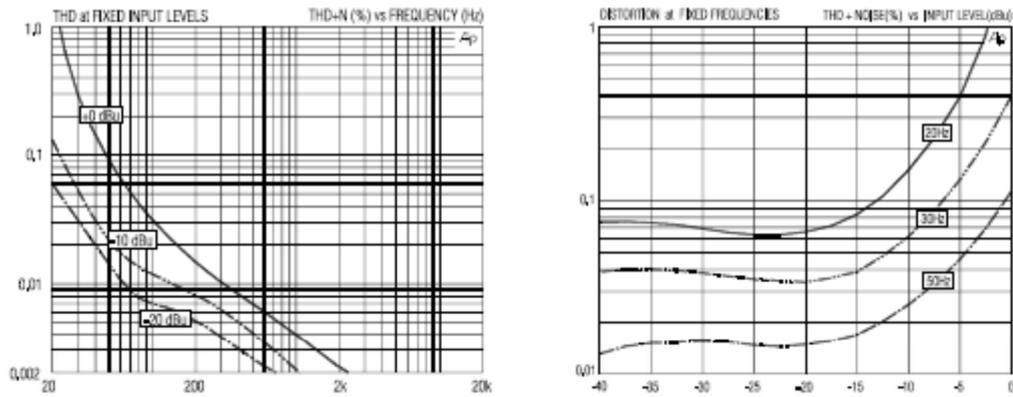


MICROPHONE INPUT TRANSFORMER
1:10 STEP-UP FOR HIGH IMPEDANCE AMPLIFIERS

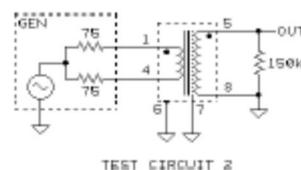
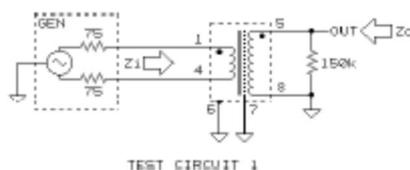
- Ideal for FET or vacuum tube input amplifiers
- Wide bandwidth: -3 dB at 2.5 Hz and 90 kHz
- 20 dB of voltage gain with Noise Figure of only 1.5 dB
- Input impedance of 1.4 kΩ for loading loss of 0.9 dB
- High common-mode rejection: 110 dB at 60 Hz

This transformer is designed for highest practical step-up ratio. Its secondary source impedance makes it ideal for use with low noise FET or vacuum tube input amplifiers. The primary is fully balanced and its leads may be reversed to invert polarity, if required. A 30 dB magnetic shield package is standard.




JT-115K-E SPECIFICATIONS (all levels are input unless noted)

PARAMETER	CONDITIONS	MINIMUM	TYPICAL	MAXIMUM
Input impedance, Z_i	1 kHz, -20 dBu, test circuit 1	1.23 k Ω	1.40 k Ω	1.47 k Ω
Voltage gain	1 kHz, -20 dBu, test circuit 1	19.65 dB	19.75 dB	19.85 dB
Magnitude response, ref 1 kHz	20 Hz, -20 dBu, test circuit 1	-0.50 dB	-0.26 dB	± 0.0 dB
	20 kHz, -20 dBu, test circuit 1	-0.25 dB	-0.13 dB	+0.1 dB
Deviation from linear phase (DLP)	20 Hz to 20 kHz, -20 dBu, test circuit 1		+3.5/-0*	$\pm 5.0^*$
Distortion (THD)	1 kHz, -20 dBu, test circuit 1		0.001%	
	20 Hz, -20 dBu, test circuit 1		0.065%	0.15%
Maximum 20 Hz input level	1% THD, test circuit 1	-4 dBu	-2.5 dBu	
Common-mode rejection ratio (CMRR) 150 Ω balanced source	60 Hz, test circuit 2		110 dB	
	3 kHz, test circuit 2	70 dB	78 dB	
Output impedance, Z_o	1 kHz, test circuit 1		17.0 k Ω	
DC resistances	primary (RED to BRN)		19.7 Ω	
	secondary (VEL to ORG)		2465 Ω	
Capacitances @ 1 kHz	primary to shield and case		475 pF	
	secondary to shield and case		205 pF	
Turns ratio		1:9.95	1:10.00	1:10.05
Temperature range	operation or storage	0° C		70° C
Breakdown voltage (see IMPORTANT NOTE below)	primary or secondary to shield and case, 60 Hz, 1 minute test duration	250 V RMS		



All minimum and maximum specifications are guaranteed. Unless noted otherwise, all specifications apply at 25°C. Specifications subject to change without notice. All information herein is believed to be accurate and reliable, however no responsibility is assumed for its use nor for any infringements of patents which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Jensen Transformers, Inc.

Anexo 7

Codificación de colores de las resistencias

<p>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> <p>0 Negro</p> <p>1 Marrón</p> <p>2 Rojo</p> <p>3 Naranja</p> <p>4 Amarillo</p> <p>5 Verde</p> <p>6 Azul</p> <p>7 Púrpura</p> <p>8 Gris</p> <p>9 Blanco</p> <p>±1% Marrón</p> <p>±2% Rojo</p> <p>±5% Dorado</p> <p>±10% Plateado</p>	<p>fe</p> <p>±1%</p> <p>±2%</p> <p>±5%</p> <p>±10%</p> <p>1.5K</p> <p>0 X1</p> <p>1 1 X10</p> <p>2 2 X100</p> <p>3 3 X1000</p> <p>4 4 X10000</p> <p>5 5 X100000</p> <p>6 6 X1000000</p> <p>7 7 ÷10</p> <p>8 8 ÷100</p> <p>9 9</p>	<p>±1%</p> <p>±2%</p> <p>±5%</p> <p>±10%</p> <p>15K</p> <p>0 0 X1</p> <p>1 1 1 X10</p> <p>2 2 2 X100</p> <p>3 3 3 X1000</p> <p>4 4 4 X10000</p> <p>5 5 5 ÷10</p> <p>6 6 6 ÷100</p> <p>7 7 7</p> <p>8 8 8</p> <p>9 9 9</p>	<p>±1%</p> <p>±2%</p> <p>±5%</p> <p>±10%</p> <p>100</p> <p>25</p> <p>10</p> <p>1</p> <p>50</p> <p>15</p> <p>5</p> <p>620K</p> <p>0 0 X1</p> <p>1 1 1 X10</p> <p>2 2 2 X100</p> <p>3 3 3 X1000</p> <p>4 4 4 X10000</p> <p>5 5 5 ÷10</p> <p>6 6 6 ÷100</p> <p>7 7 7</p> <p>8 8 8</p> <p>9 9 9</p>
<p>Código de Colores</p>	<p>Resistencias de 4 Bandas</p>	<p>Resistencias de 5 Bandas</p>	<p>Resistencias de 6 Bandas</p>

