



Universidad Nacional de Tres de Febrero

INGENIERÍA DE SONIDO

Circuitos Electrónicos I

**DISEÑO DE PREAMPLIFICADOR
VALVULAR PARA GUITARRA
ELÉCTRICA, CON DISTORSIONADOR
VALVULAR Y ECUALIZADOR.**

Autores:

Bach, Franco - francobach47@gmail.com

Santantonio, Luciano - lucianosantantonio@hotmail.com

Mezzabarba, Tomás - tmezzabarba@gmail.com

Docente:

Chaihk, David - dchaikh@untref.edu.ar

Ayudantes:

Flabian, Martín - flaibanmartin@gmail.com

Barroso, Mariana - MARIANA.MBARROSO@gmail.com

Olivera, Sebastián - solivera@untref.edu.ar

7 de julio de 2023

Índice

1. Introducción	1
2. Marco Teórico	1
2.1. Cátodo Común	2
2.2. Placa Común	3
3. Procedimiento	4
4. Resultados y Análisis	7
4.1. Medición de tensiones, corrientes, niveles y ganancias	7
4.1.1. Niveles máximos	7
4.1.2. Medición de tensión	8
4.1.3. Medición de corriente	9
4.1.4. Ganancia de las etapas	9
4.2. Respuesta en frecuencia	10
5. Conclusión	12
6. Anexo	13
6.1. Polarización	13
6.1.1. 12AX7	13
6.1.2. 12AU7-A	13
6.1.3. 12AU7-B	13
6.2. Capacitores	13
6.2.1. C1	13
6.2.2. C2	14
6.2.3. C3	14
6.2.4. C4	14
6.2.5. C8	14
6.2.6. C9	14
Referencias	15

1. Introducción

En el presente informe se propone el diseño de un preamplificador valvular para guitarra eléctrica, con distorsionador valvular por corte y/o por corriente de grilla, y un ecualizador de 3 bandas (bajas, medias y altas frecuencias). Se desarrolla la elaboración y la búsqueda del producto final, y dado a la prueba experimental del circuito montado sobre protoboard, se presentan mediciones de ganancias y respuesta en frecuencia, entre otras.

2. Marco Teórico

Todo el sistema está basado en el uso de válvulas, tanto el pre amplificador, como el distorsionador, y el buffer, salvo por el ecualizador que está formado solo por elementos pasivos. Se presenta una breve teoría sobre el funcionamiento de la válvula de vacío, y las diferentes configuraciones utilizadas.

La válvula basa su funcionamiento en el efecto de emisión termoiónica. Este efecto se da en lámparas de filamento las cuales al ser utilizadas por mucho tiempo ennegrecen sectores del vidrio. Esto se produce dado a la elevada agitación térmica, que desprende electrones del filamentos hacia el medio y el desgaste por le paso del tiempo.

Si además del filamento se coloca una placa metálica dentro del vidrio se obtiene el diodo valvular más simple. La Figura 1 muestra este tipo de conexión. Si se polariza en directo la fuente atrae a la nube termoiónica generando una corriente de electrones desde el filamento hacia la placa. La placa es conocida como ánodo (a) y el filamento como cátodo (k). La corriente producida es finita, y está limitada por el número de electrones emitidos. Cuando la corriente llega a su máximo valor se da la corriente de saturación. Este comportamiento se expone en la Figura 2.

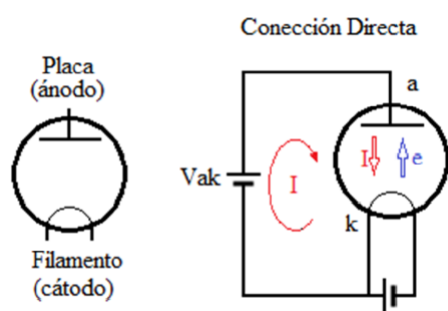


Figura 1: Simbología de un diodo valvular de caldeo directo

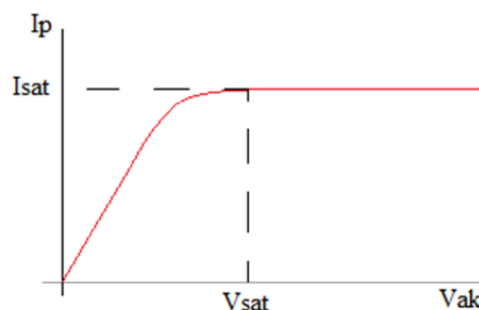


Figura 2: Curva de corriente de placa (I_P) en función de la tensión placa - cátodo

La configuración que se utiliza en este diseño es la de tríodo, que se muestra en la Figura 3, en la cual se le agrega una grilla en el medio, con el fin de poder controlar el valor de la corriente, es decir, de la cantidad de electrones que suben hacia la placa. Su principal utilidad es cuando se la polariza con una tensión más negativa que el cátodo, lo cual logra repeler más o menos electrones de acuerdo a la tensión que se aplique, debido a la formación de un campo eléctrico en la grilla. De esta forma la corriente de grilla es 0A y su tensión permite regular la corriente de placa. Al subir la tensión grilla cátodo (V_{gk}) el campo eléctrico de la grilla aumenta bloqueando más electrones. Si el campo es muy grande bloquea totalmente la nube termoiónica, produciendo una tensión V_{gk} de corte. La Figura 4 muestra distintas corrientes de placa I_p en función de la tensión placa cátodo, con distintos valores de tensión grilla. [1]

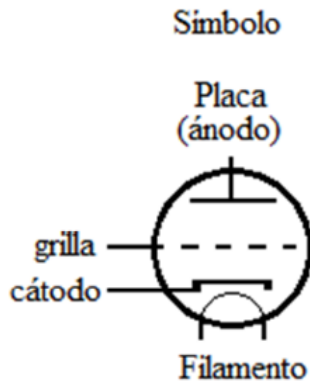


Figura 3: Simbología del triodo

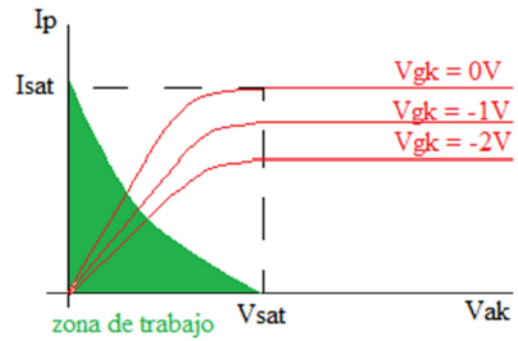


Figura 4: Curva de corriente de placa (I_P) en función de la tensión placa - cátodo, para distintos V_{gk}

Por otro lado, se polariza V_{gk} cercano a 0 V, para que cuando la amplitud pico de la señal supere estos 0 V, distorsione. Para esto, se coloca una resistencia grande en la entrada de la válvula ($\geq 500 \text{ k}\Omega$). Esta resistencia se utiliza para hacer más evidente la distorsión por corriente de grilla, la cual va a interactuar con la resistencia "ficticia" que se genera entre grilla y cátodo debido a la aparición de corriente en la grilla. Va a depender además de los valores pico a pico de la señal de entrada.

2.1 Cátodo Común

En la Figura 5 se puede observar el esquemático empleado para esta configuración, en la cual el cátodo se conecta a masa a través de un capacitor de bypass.

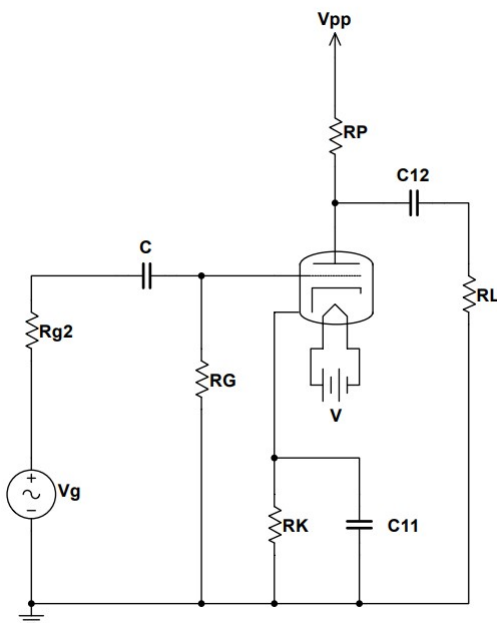


Figura 5: Esquemático - Cátodo Común

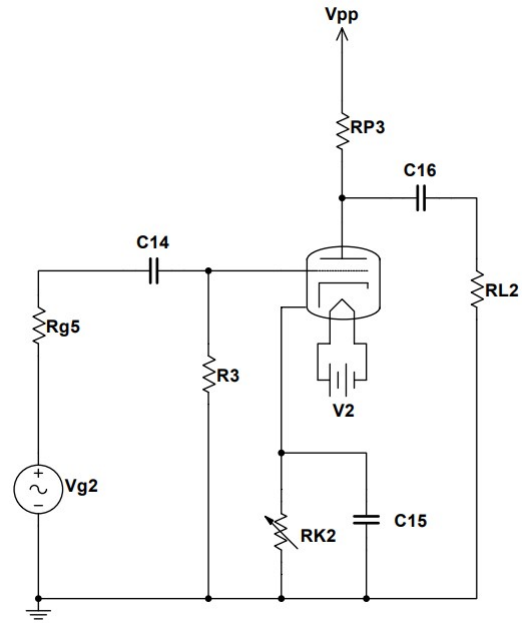


Figura 6: Esquemático - Cátodo Común Variable

Esta etapa constituye una de alta ganancia, la cual está dada por:

$$G_v = -gm(R_p // R_L // r_p) \quad (1)$$

donde gm y r_p son parámetros que proporciona el fabricante en las especificaciones de la válvula. Ambos están en función de la corriente de placa I_P .

Por otro lado, en la Figura 6 se puede observar la misma configuración pero en este caso la polarización es variable a través de un potenciómetro colocado en cátodo, el cual, variando su valor, mueve el punto Q de la recta de carga hacia los extremos, lo que permite llevar la señal a corte o saturación.

Cómo la válvula presenta una impedancia infinita en la entrada de la grilla, se tiene que las impedancias de entrada y salida de la misma respectivamente se pueden expresar como:

$$R_{ia} = R_G \quad (2)$$

$$R_{oa} = R_p // r_p \quad (3)$$

2.2 Placa Común

En la figura 7 se puede observar el esquemático empleado para esta configuración, en la cual la placa se conecta directo a la tensión de placa V_{pp} . En este caso, no se presenta una inversión de fase a la salida de válvula.

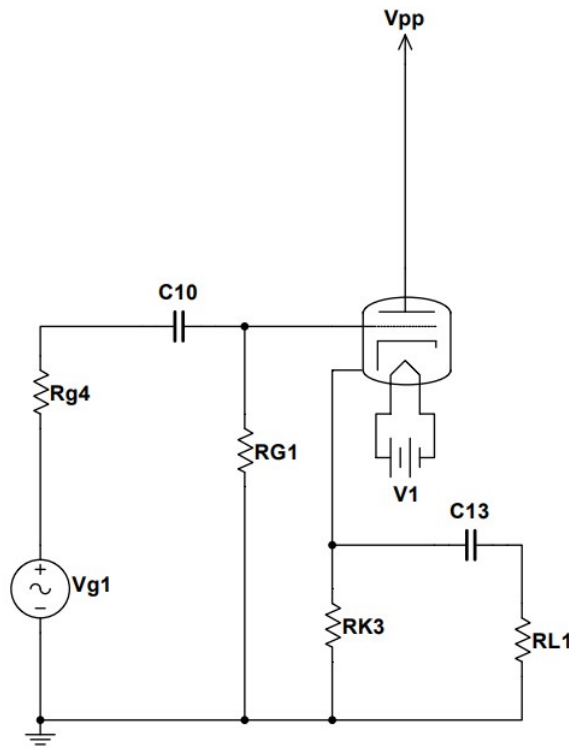


Figura 7: Esquemático - Placa Común

La ganancia de esta etapa está dada por

$$G_v = \frac{gm(R_p // R_L // r_p)}{1 + gm(R_p // R_L // r_p)} \approx 1 \quad (4)$$

Como se puede observar, es una etapa de ganancia unitaria y su principal ventaja radica en su impedancia de entrada (alta) y salida (baja) las cuales son muy útiles a la hora de acoplar etapas y garantizar que una no cargue a la otra. Las mismas están dadas respectivamente por:

$$R_{ia} = R_G \quad (5)$$

$$R_{oa} = \frac{1}{gm} // R_K \quad (6)$$

3. Procedimiento

Se comienza el proyecto elaborando un diagrama de bloque de las diferentes partes que componen al proyecto en el cual, además, se observa el flujo de la señal desde que entra al circuito hasta que sale. El mismo se muestra en la Figura 8.

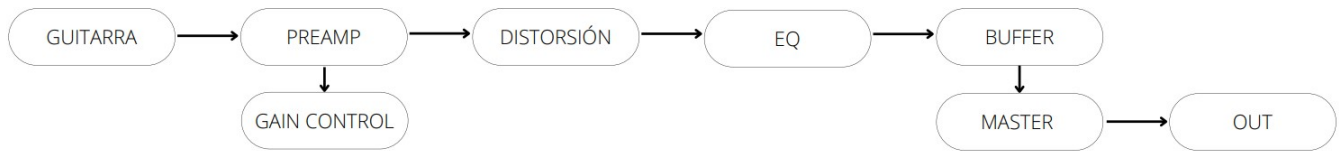


Figura 8: Diagrama de bloque

Una vez planteado el esquema se investiga y analiza distintas propuestas de productos similares en el mercado, y mediante bibliografía especializada se define el circuito que se emplea en el proyecto, el cual se muestra en la Figura 9 [2].

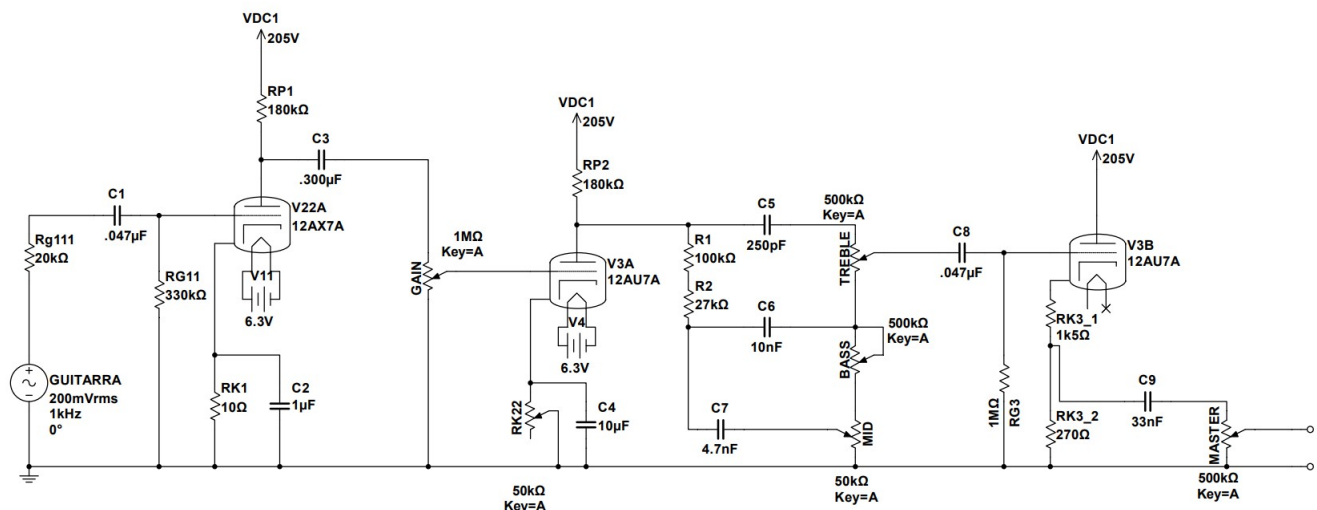


Figura 9: Esquemático del circuito diseñado

Cabe mencionar que el diseño del mismo no fue inmediato, y hubo diversos procesos de prueba, escucha y error. Además, la idea original del trabajo era agregar la opción de un compresor óptico, pero no se logró terminar a tiempo.

En el diseño del circuito se ven distintas etapas con válvulas. La primera válvula 12AX7 la cual corresponde a una topología de cátodo común, es la encargada principal de pre amplificar la señal de entrada, la cual como va a corresponder a una guitarra eléctrica podrá tomar valores aproximados entre 100 mV_{pp} hasta 1 V_{pp} . Al distorsionador tiene que llegar una señal con el mayor nivel posible para que justamente se pueda dar el efecto de distorsión por corriente de grilla, por lo cual se ubica esta etapa de alta ganancia en la primer posición de todo el diagrama/circuito. La idea original fue polarizar esta etapa con una tensión grilla cátodo más baja, aproximadamente -1 V de V_{GK} , pero cuando se probaba el circuito no cumplía con lo pensado, dado que si se quería generar distorsión en la etapa siguiente se generaba pero no en la medida deseada, por ello se utilizó un V_{GK} mayor (aproximadamente -0.5 V). Se elige la 12AX7 dado que es una válvula que proporciona mucha ganancia en comparación a otras, y es justo lo que se busca en la etapa de amplificación. Se desea una ganancia aproximada de 40 dB [3].

Respecto al distorsionador, de topología cátodo común, el cual se encuentra acoplado indirectamente a la primer válvula, busca generar distorsión por corriente de grilla y por corte a partir de la variación de ganancia a la salida de la primer etapa. La idea principal fue generar estas distorsiones a partir de un determinado nivel del potenciómetro de ganancia (aproximadamente 60 %), dado que se desea que exista la posibilidad de que salga un sonido limpio aparte del distorsionado con su color valvular correspondiente. El distorsionador se plantea con una 12AU7, la cual aportará una ganancia aproximada de 10 veces, correspondiendo a lo que se busca, dado que la etapa de máxima ganancia es la anterior. Esta etapa es pensada para polarizarla con una V_{gk} más baja a la anterior, para así alcanzar la distorsión por corte y grilla; aún teniendo en cuenta que en el ingreso va a haber señales amplificadas por la ganancia de la 12AX7. En particular, se escoge un valor de aproximadamente -4 V para que justamente se cumpla la condición planteada anteriormente de tener un margen de audio limpio antes de que el sonido se distorsione, teniendo en cuenta la alta amplificación de la primer etapa, que condiciona la señal de entrada al distorsionador. El potenciómetro de cátodo es para variar el punto Q de la válvula, lo que generará mayor o menor distorsión por corte [4]. Además, al modificar el punto Q, en particular al modificar la corriente de polarización de la válvula, también se modifica la ganancia de esta etapa debido a la variación de gm , aunque al ser pequeña esta no se modifica de forma significativa.

Luego sigue el ecualizador de 3 bandas: shelving de bajos y altos, y filtro bell de frecuencias medias. Para estos filtros se hace uso de la conocida configuración "**FMV Tone Stack**", la cual es bastante popular en amplificadores de guitarra profesionales tales como Fender, Marshall y Vox (de ahí la abreviación) [2].

Por último se tiene la tercer válvula en topología placa común desacoplada por capacitor de bypass. Se hace uso de una 12AU7, la cual funciona como buffer para adaptar las impedancias entre el ecualizador y la salida de manera que esta última no presente una carga significativa para la etapa de ecualización. Además, a la salida, hay un divisor resistivo variable, el cual atenúa la señal obtenida en las etapas previas a un nivel deseado, como por ejemplo un nivel de línea, $+4\text{ dBu}$.

En la práctica se obtuvieron problemas e irregularidades con la fuente de alta tensión, como interferencias y distorsión no deseada, por lo que se le añadió un filtro RC en la entrada, el cual se muestra en la Figura 10.

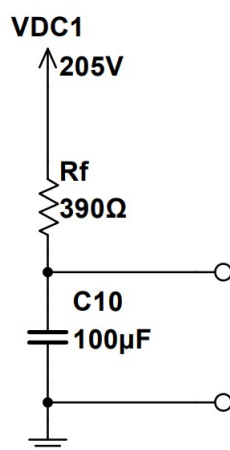


Figura 10: Filtro RC para fuente de alimentación

Otro problema que se tuvo durante todo el proceso fue el no poder realizar ni una simulación dado a la ineficiencia de los softwares utilizados (para emulación de circuitos eléctricos) a la hora de emular circuitos valvulares. Esto demandó mayor tiempo dado que muchos cálculos realizados no servían a la hora de probarlos experimentalmente y se pasó por muchas etapas de re calcular polarizaciones y distintas configuraciones.

Todo el proyecto está planteado con modelos comerciales de resistencias, capacitores y fuentes. Además, se hicieron pruebas con instrumentos, conectando un parlante con su respectivo amplificador de potencia para poder escuchar como sonaba el circuito armado físicamente.

En la Tabla 1 se presentan los valores teóricos y comerciales de los capacitores, mientras que en la Tabla 2 se presentan los valores comerciales de resistencias y potenciómetros utilizados. Cabe resaltar que en los capacitores se estaba limitado a lo que se disponía en el momento de armado y prueba del circuito. Por otra parte, no se presenta los valores teóricos de las resistencias dado que la mayoría de las mismas fueron elegidas en base a las pruebas en el laboratorio. Esto dado que originalmente se habían calculado distintas polarizaciones, pero en la prueba no cumplía con el objetivo planteado, como por ejemplo, no distorsionar. Por lo tanto, muchos valores fueron hallados en el momento corroborando que de una buena distorsión, polarización, etc.

Tabla 1: Valores de capacitores teóricos y comerciales empleados

Capacitor	Teórico [F]	Comercial [F]	Tipo
C_1	45.5 n	47 n	Cerámico
C_2	1.6 m	1 u	Electrolítico
C_3	341 n	300 n	Polyester
C_4	21 u	10 u	Electrolítico
C_5	150 p	250 p	Polyester
C_6	10 n	10 n	Cerámico
C_7	4.7 n	4.7 n	Cerámico
C_8	47.8 n	47 n	Polyester
C_9	31.8 n	33 n	Electrolítico
C_{10}	-	100 u	Electrolítico

Tabla 2: Valores de comerciales de resistencias y potenciómetros

Resistencia	Comercial [Ω]
R_{P1}	180 k
R_{P2}	180 k
R_{G1}	330 k
R_{G3}	1 M
R_{K1}	10
$P_{R_{K2}}$	50 k
R_{K3_1}	1500
R_{K3_2}	270
R_1	100 k
R_2	27 k
P_{GAIN}	1 M
P_{TREBLE}	500 k
P_{BASS}	500 k
P_{MID}	50 k
P_{MASTER}	500 k

4. Resultados y Análisis

4.1 Medición de tensiones, corrientes, niveles y ganancias

4.1.1 Niveles máximos

Algunas de las mediciones planteadas se hacen con los controles de master y gain al máximo, lo que implicará una señal con un agregado de distorsión, no obstante, se midieron los niveles de salidas máximos con y sin distorsión, utilizando una señal de entrada de 200 mV_{pp} a 1 kHz .

En las Figuras 11 y 12 se muestra la forma de onda de la señal de prueba con máximo nivel de salida sin y con distorsión, respectivamente.

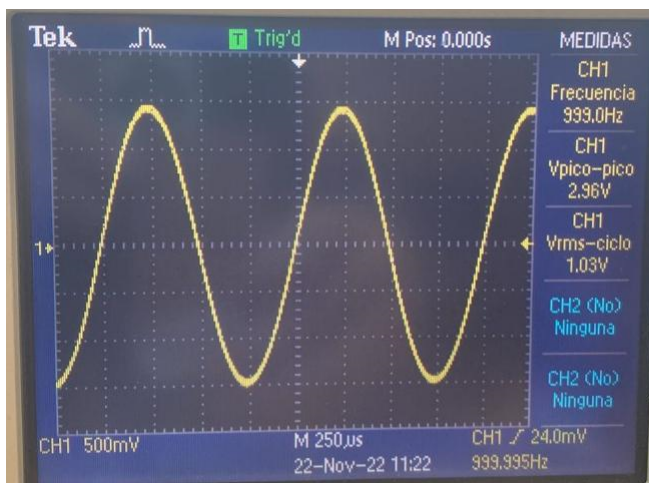


Figura 11: Máximo nivel de señal sin distorsión

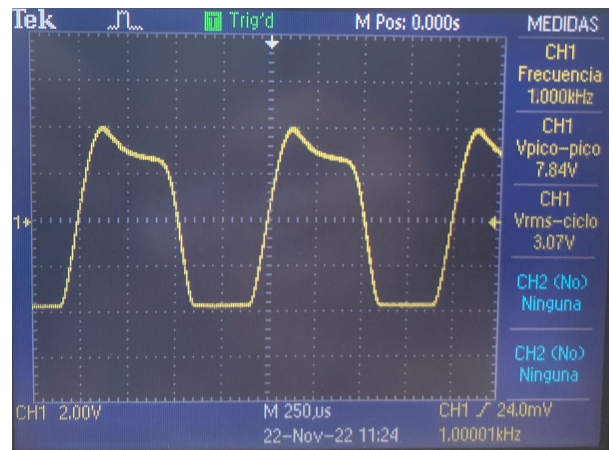


Figura 12: Máximo nivel de señal con distorsión

El pico que se observa en la señal distorsionada es dado al efecto del ecualizador.

Los valores obtenidos fueron:

$$N_{MAXs/distor} = 1,02V_{RMS} \rightarrow 1,44V_p$$

$$N_{MAXc/distor} = 3,07V_{RMS} \rightarrow 4,34V_p$$

Como se puede observar, el nivel máximo con distorsión lógicamente es mayor que el nivel máximo de señal sin distorsionar, esto se debe a que la distorsión, ya sea por corriente de grilla o por corte, dependen de la ganancia de la primer etapa valvular. Principalmente por esta razón se elige disponer de un control de master al final de la cadena del circuito, ya que de este modo, se pueden controlar los niveles independientemente del nivel de ganancia que se esté utilizando, más que nada cuando se busca un audio totalmente distorsionado. En las Figuras 13 y 14 se ven dos ejemplos de ondas distorsionadas. En la Figura 13 se ve una señal de entrada a la segunda válvula (azul) y la señal de salida del sistema (amarilla), y se puede apreciar la distorsión por corriente de grilla, invertidos en fase. Por otra parte, en la Figura 14 se aprecia la distorsión por grilla y por corte.

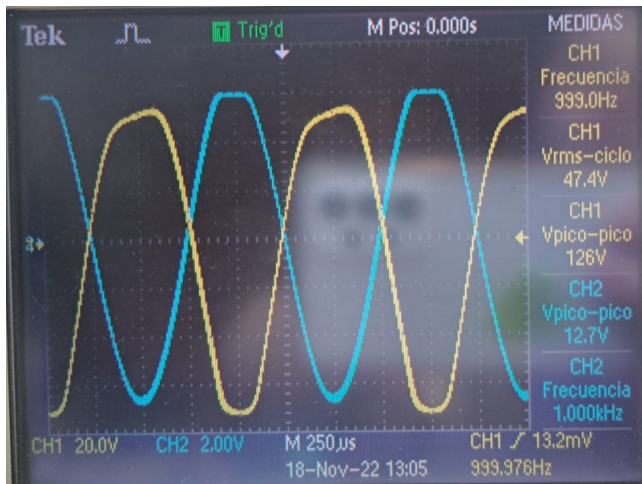


Figura 13: Distorsión por grilla

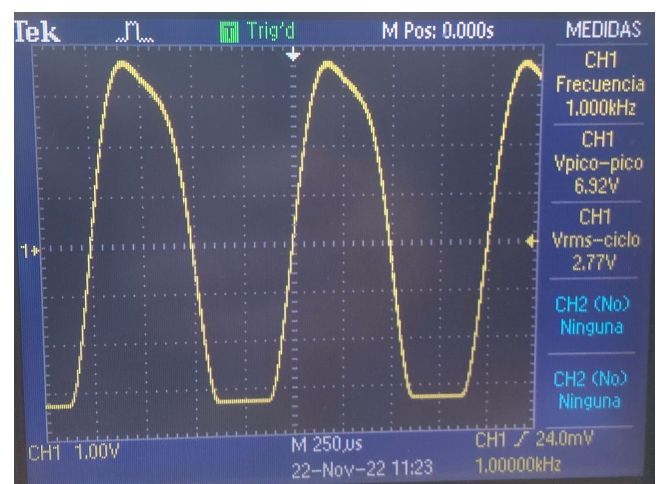


Figura 14: Distorsión por grilla y corte

4.1.2 Medición de tensión

En la Tabla 3 se muestran los valores de tensiones de polarización de las diferentes etapas valvulares, mientras que en la Figura 15 se muestra nuevamente el esquema del circuito, pero con los puntos de polarización indicados en el mismo.

Tabla 3: Valores de tensiones de polarización

	12AX7 [V]	12AU7A [V]	12AU7B [V]
V_p	72	91,2	203
V_G	0	0	0
V_{Rk}	15 m	3,98	9,9
V_{Pk}	72	88,2	193
V_{Rp}	133	110,3	-

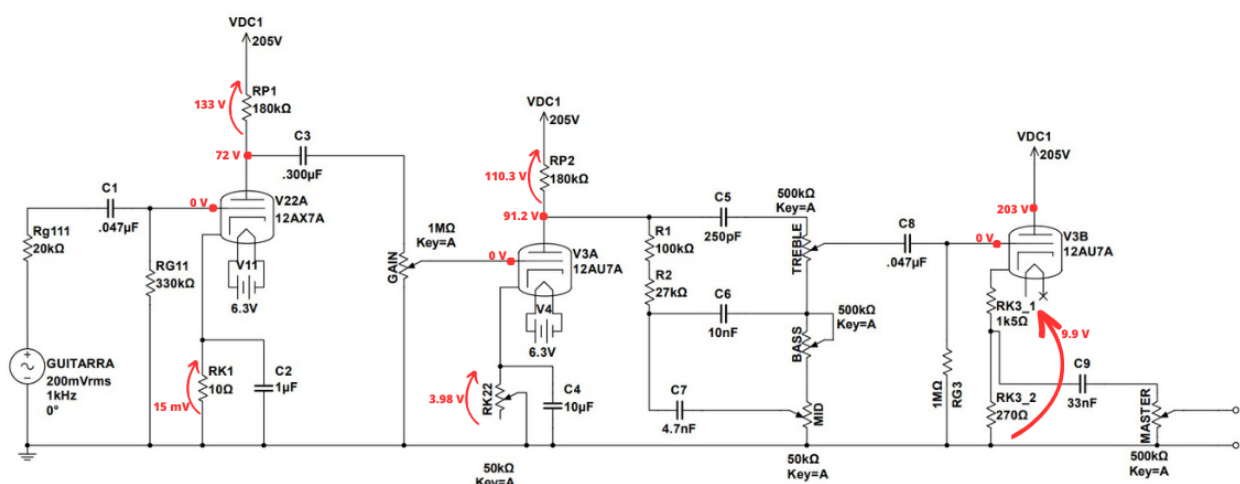


Figura 15: Esquemático del circuito diseñado con los puntos de polarización indicados

Para la primer etapa se busca una excursión lo más simétrica posible junto con una ganancia también lo más alta posible para poder generar el efecto de distorsión por corriente de grilla y por corte en la etapa siguiente. Para ello se adopta el criterio de que $V_{Rp} > V_{Pk}$ para que cuando se

contemple la carga (que en este caso será el potenciómetro de ganancia), la señal pueda excursionar simétricamente a ganancia máxima, sin generar armónicos en esta primer etapa.

Con respecto a la segunda válvula, si bien se plantea en la tabla un valor determinado de polarización, en el circuito real se cuenta con un potenciómetro cuya función es la de variar el punto Q de la válvula para poder configurar mayor distorsión por corriente de grilla, mayor distorsión por corte, o bien ambas, como es el caso adoptado. Si se desea que domine la distorsión por corte, la relación de tensiones debería cumplir $V_{Rp} < V_{Pk}$ dado que estaría limitando la excursión de salida positiva. Por otro lado, si se desea mayor distorsión por corriente de grilla, se debe acercar V_{Gk} lo más posible a 0 V, lo que se logra disminuyendo el valor de V_{Rk} ya que son inversamente proporcionales.

4.1.3 Medición de corriente

En la Tabla 4 se presentan las corrientes de polarización medidas en las tres válvulas.

Tabla 4: Valores de corrientes de polarización

	12AX7 [mA]	12AU7A [mA]	12AU7B [mA]
I_{PQ}	0,750	Mín = 0,240 / Máx = 1,08	4,25

En la segunda válvula hay dos casos posibles. Cuando la corriente es máxima se presenta resistencia mínima en R_k , entonces implica un movimiento del punto Q hacia la izquierda en la recta de carga dinámica. Esto hace variar la tensión de placa alejándola de la tensión de fuente y por lo tanto, disminuyendo la distorsión por corte, mientras que la distorsión por corriente de grilla aumenta debido a que la posición de V_{Pk} está lo suficientemente cerca de V_{Gk} como para que la señal de entrada recorte. Lo opuesto pasa para la corriente mínima.

Por otro lado, los valores obtenidos mediante mediciones, no fueron los esperados sino que fueron mucho menores a los calculados, lo cual se puede deber a las polarizaciones utilizadas, que si bien fueron calculadas previamente, a la hora de probar el circuito se eligió la mejor configuración respecto a la mejor respuesta sonora del circuito. Si bien el circuito funciona acorde a lo esperado, valores muy bajos de corriente de placa pueden producir un comportamiento impredecible en la válvula, con lo cual sería óptimo evitarlo.

4.1.4 Ganancia de las etapas

Se analizan las ganancias de las tres válvulas, el control de ganancia y el control master de volumen. Se hace uso de una señal de 200 mV_{pp} a 1 kHz con el nivel máximo de la señal sin distorsionar. Con esta señal se obtuvo:

Tensión de salida de la primer válvula, previo al control de ganancia:

$$OUT_{V1} = 13,8 V_{pp}$$

$$G_{V1} = \frac{13,8 V_{pp}}{200 \text{ mV}_{pp}} \rightarrow G_{V1} = 69 \text{ veces}$$

Para la segunda válvula, se mide la tensión de entrada y de salida previo al ecualizador. La diferencia entre las tensiones de salida de la primer válvula y entrada de la segunda válvula se da debido al valor del potenciómetro de control de ganancia al momento de la medición (con relación 0,21 veces).

$$IN_{V2} = 2,92 V_{pp}$$

$$OUT_{V2} = 30,8 V_{pp}$$

$$G_{V2} = \frac{30,8 V_{pp}}{2,92 V_{pp}} \rightarrow G_{V2} = 10,5 \text{ veces}$$

Se mide la salida al ecualizador con todos sus potenciómetros al máximo, lo cual da una tensión de salida de $15,2 V_{pp}$, por lo cual su atenuación está dada por:

$$A_t = \frac{15,2 V}{30,8 V} \rightarrow A_t = \frac{1}{2} \text{ veces} \rightarrow A_t = 6 \text{ dB}$$

La última válvula está en configuración buffer, por lo cual su ganancia es unitaria. Se mide la tensión de entrada a la misma y la señal de salida final del sistema, la cual está atenuada dada al divisor resistivo cuyo objetivo es disminuir los niveles de señales a valores comerciales (aproximadamente 4 dBu).

$$IN_{V3} = 14,7 V_{pp}$$

$$OUT = 2,98 V_{pp} \rightarrow OUT = 1,05 V_{RMS}$$

El atenuador de salida con el potenciómetro al máximo provoca una relación de 0,2 veces entre la salida de la válvula 3 y la salida del atenuador (OUT).

La Tabla 5 presenta las ganancias medidas y teóricas de las válvulas.

Tabla 5: Ganancias de las válvulas

Válvula	Ganancia teórica [veces]	Ganancia medida [veces]
12AX7	69,45	69
12AU7A	11,23	10,5
12AU7B	1	1

4.2 Respuesta en frecuencia

Para la medición de la respuesta en frecuencia se hace uso de un generador de señales y un osciloscopio para la medición, dado que tiene un ancho de banda mayor al de un multímetro. Se realiza con una señal de $200 mV_{pp}$, y se mide en bandas de tercio de octava. Se hace el mismo análisis a 4 configuraciones distintas para el ecualizador. Las mismas son:

- BASS 100 % - MIDDLE 100 % - TREBLE 100 %
- BASS 0 % - MIDDLE 50 % - TREBLE 100 %
- BASS 50 % - MIDDLE 50 % - TREBLE 50 %
- BASS 50 % - MIDDLE 100 % - TREBLE 100 %

En la Figura 16 se muestra la respuesta en frecuencia del sistema, para las cuatro configuraciones de ecualizador mencionadas.

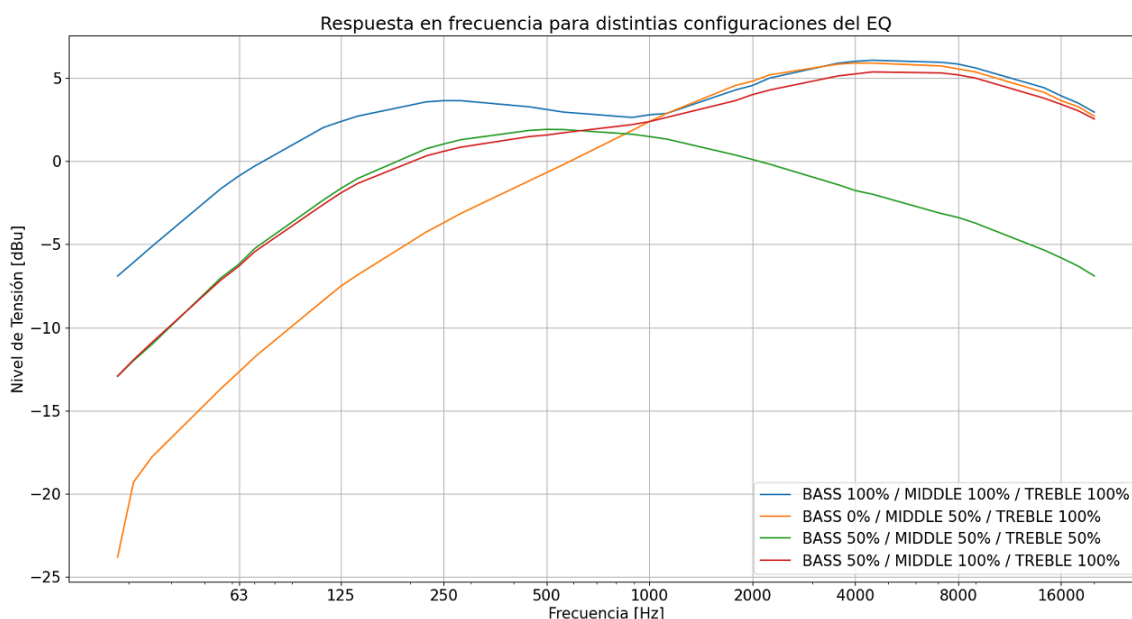


Figura 16: Respuesta en frecuencia del sistema

A partir de 1000 Hz la respuesta tiende a ser igual para las configuraciones, salvo cuando los tres potenciómetros están al 50 %. Esto puede estar influenciado al potenciómetro del treble. Es la única configuración donde su valor está por la mitad, por lo cual su ubicación puede tornarse importante si se busca más ganancia en esas bandas de frecuencias, o tener una respuesta más plana posible.

Un efecto parecido se ve con los bajos. Si se atenúa todos los graves queda una respuesta con una caída constante, lo cual se compensa bastante con dicho potenciómetro. En el caso de la curva naranja, se obtiene una respuesta con bajos muy pobre.

Además, en 1000 Hz se ve además como un mínimo local o resonancia. Esto es dado al comportamiento del ecualizador utilizado, principalmente al middle el cual genera dicho fenómeno. Cuanto menor es su valor, más pronunciada es la campana que se genera en la respuesta de 1000 Hz .

De todos modos, el ecualizador sigue el comportamiento esperado, y auditivamente se obtienen resultados aceptables, cumpliendo el propósito inicial.

5. Conclusión

Se planteó y diseñó un pre valvular para guitarra eléctrica, con distorsionador valvular que permita la distorsión por grilla, corte o ambas; y un ecualizador tres bandas. Se llevó a cabo su diseño en protoboard experimental y se probó el circuito en laboratorio. Se midieron tensiones y corrientes de polarización, niveles máximos de salida, ganancias y respuesta en frecuencia para distintas configuraciones del ecualizador. Muchos valores e ideas generales fueron desarrollándose y mejorándose mediante la prueba experimental de escuchar la respuesta del circuito conectando a una guitarra eléctrica (a la entrada) y a un parlante potenciado (a la salida). Los valores de los componentes utilizados se fueron modificando mediante pruebas tentativas hasta alcanzar un resultado óptimo desde el punto de vista teórico pero también en búsqueda de un audio particular. Resulta importante mencionar que los resultados medidos difieren de los esperados teóricamente debido al desgaste de las válvulas utilizadas (se utilizaron válvulas con muchos años de uso) y a la dispersión por fabricación.

Se obtiene un resultado acorde a lo esperado auditivamente y técnicamente, más allá de no haber sido terminado completamente como se planteó en el inicio. Respecto a la finalización de la idea inicial, se plantea para trabajo futuro la incorporación de un compresor óptico al final de la cadena de señal del producto. Además, se proyecta la elaboración del mismo en placa pcb con gabinete, lo cual tendrá como principal desafío la elaboración de la fuentes de alimentación de alta tensión.

Otro avance a futuro posible es la mejora del ecualizador, que permita un control más preciso sobre la señal, como control de ancho de banda, frecuencias de corte, frecuencia central del pasa banda de frecuencias medias, Q de los filtros, mayor cantidad de filtros, entre otros.

Por último, un análisis que podría realizarse es la influencia de la capacitancia de Miller de las tres etapas valvulares en la respuesta en frecuencia del sistema final.

6. Anexo

6.1 Polarización

Se aclara que estos cálculos se realizaron previo al armado y puesta a prueba del circuito final. Como se menciona en el informe, la realidad no se respalda con éstos y empíricamente se encontraron componentes que daban como resultado una mejor respuesta.

Como punto de partida, se escoge una tensión de alimentación de $\rightarrow V_{pp} = 205 \text{ V}$.

6.1.1 12AX7

Para la polarización de la 1er válvula se parte del punto Q.

$$\begin{cases} V_p = 72 \text{ V} \\ I_p = 750 \mu\text{A} \end{cases}$$

$$V_{R_p} = 205 \text{ V} - 72 \text{ V} = 133 \text{ V}$$

$$R_p = \frac{133 \text{ V}}{750 \mu\text{A}} = 177 \text{ k}\Omega \rightarrow \text{Valor comercial} \rightarrow R_p = 180 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Recalculando} \rightarrow V_{R_p} = 180 \text{ k}\Omega \cdot 750 \mu\text{A} = 135 \text{ V}$$

$$\text{Asumimos } V_{G_K} = -15 \text{ mV} \text{ pero por datasheet se obtiene } V_{R_K} = 500 \text{ mV} \rightarrow V_{G_K} = -500 \text{ mV}.$$

$$\text{Por lo tanto, por ley de Kirchoff} \rightarrow V_{P_K} = 69.5 \text{ V}.$$

6.1.2 12AU7-A

Se parte de una $I_p = 500 \mu\text{A}$ y $V_{G_K} = -4 \text{ V}$. De esta manera se obtiene $R_K = 8 \text{ k}\Omega \rightarrow \text{Valor comercial} \rightarrow R_K = 8200 \Omega$.

$$\text{Se asume } V_{R_p} = 135 \text{ V} \rightarrow R_p = \frac{135 \text{ V}}{500 \mu\text{A}} = 270 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Por lo tanto, por ley de Kirchoff} \rightarrow V_{P_K} = 66 \text{ V}.$$

6.1.3 12AU7-B

Para la tercer válvula, la cual actúa como buffer, se parte de querer una $V_{R_k} = 10 \text{ V}$ para así mediante divisor resistivo bajar a una tensión de salida próxima y análoga a nivel nominal (+4 dBu). De esta manera $V_{p_k} = 195 \text{ V}$. Lo cual, mediante data sheet se obtiene $I_p = 4 \text{ mA}$.

6.2 Capacitores

Para los capacitores de by pass se plantea una frecuencia de corte de 10 Hz. A continuación los valores teóricos y los utilizados en el circuito funcional con respectivos comentarios.

C_5 , C_6 , y C_7 no se calculan dado que se utilizaron los valores del filtro otorgados por la bibliografía [2].

6.2.1 C1

$$R_{C1} = R_g + R_{G1}$$

$$C1 = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \text{ Hz} \cdot 350 \text{ k}\Omega} = 45,5 \text{ nF} \rightarrow C1 = 47 \text{ nF}$$

6.2.2 C2

$$R_{C2} = R_{K1} // \frac{1}{g_{m1}}$$

$$C2 = \frac{1}{2\pi \cdot 10Hz \cdot 9,8\Omega} = 1,6mF \rightarrow C2 = 1\mu F$$

Se sabe que es un valor muy alto de capacitor, y en la prueba experimental se hizo uso de un valor muy lejano, lo cual es erróneo. Se debería haber usado un valor más cercano. De todos modos, basados en la prueba experimental en el laboratorio, el circuito sonaba acorde a lo buscado y esperado.

6.2.3 C3

$$R_{C3} = R_{P1} // (r_{P1} + R_{K1}) // P_{GAIN}$$

$$C3 = \frac{1}{2\pi \cdot 10Hz \cdot 46,6k\Omega} = 341nF \rightarrow C3 = 300nF$$

6.2.4 C4

$$R_{C4} = R_{K2} // \frac{1}{g_{m2}}$$

$$C4 = \frac{1}{2\pi \cdot 10Hz \cdot 739\Omega} = 21\mu F \rightarrow C4 = 10\mu F$$

Se utilizó 10 μF por disponibilidad en el laboratorio.

6.2.5 C8

$$R_{C8} = R_{G3} // P_{TREBLE}$$

$$C8 = \frac{1}{2\pi \cdot 10Hz \cdot 333k\Omega} = 47,8nF \rightarrow C8 = 47nF$$

6.2.6 C9

$$R_{C9} = [R_{K32} // (R_{K31} + \frac{1}{g_{m3}})] + P_{MASTER}$$

$$C8 = \frac{1}{2\pi \cdot 10Hz \cdot 500240\Omega} = 31,8nF \rightarrow C8 = 33nF$$

Referencias

1. David A. Chaik. Juan G. Cotella. *Apunte cátedra Circuitos Electrónicos 1, Ingeniería de Sonido, UNTREF*, 2019.
2. Merlin Blencowe. *Designing Tube Preamps for Guitar and Bass*, 2009.
3. *Datasheet: Válvula 12AX7*.
4. *Datasheet: Válvula 12AU7*.