

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PEDALES DE GUITARRA ELÉCTRICA PARA AFINACIÓN, DISTORSIÓN Y DELAY

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y CONTROL**

CHRISTIAN ADRIÁN BALCÁZAR BUSTAMANTE

christian.balcazar@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. ANDRÉS FERNANDO CELA ROSERO MSc

andres.cela@epn.edu.ec

Quito, 20 de noviembre del 2019

AVAL

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Christian Adrián Balcázar Bustamante, bajo mi supervisión.

ING. ANDRÉS FERNANDO CELA ROSERO, MSc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Christian Adrián Balcázar Bustamante, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejo constancia de que la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.

CHRISTIAN ADRIÁN BALCÁZAR BUSTAMANTE

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico primeramente a mis padres, los cuales siempre han estado conmigo en espíritu pese a la distancia, que siempre se han preocupado por mi bienestar a diario, a mi papi Leonardo, que me ayudó usando sus habilidades para la mecánica en este trabajo y a mi mami Tania, que siempre me levantaba el ánimo sin importar lo difícil de una situación.

A mis hermanos Ricky, Mateo, Danny y Linda, que no lo dicen regularmente, pero sé que siempre están pendientes de mí y que somos más parecidos de lo que creemos.

A mis abuelitos papi Feli, mami Madi y mamá Carmela, que me han apoyado tanto emocional como económicamente, y que siempre he contado con ellos para conversar sobre mis días en la universidad.

A mi tío Cesar, tía Belén, Tía Martha y Javi, que han sido el vínculo familiar lejos de casa que me ha mantenido ligeramente feliz en los momentos de nostalgia. Y mis primos también, por que no.

A mis amigos de colegio, con los que muchos fines de semana nos reuníamos para cocinar o pasear por la ciudad, y, que de igual manera, me recordaban siempre el vínculo con mi hogar. Gracias Juan, Jaque y Jaime. Y a Marcelo, a pesar de que vivías en otra ciudad.

A todos a quienes conocí desde el primer día que pise el ICB, Javier, que me enseñó como moverme mejor por Quito, a Juan V y a Daniel, compañeros de carrera y de equipo siempre que se podía, a GeorGINIO que siempre veía las cosas desde otra perspectiva, a Juan P que me ayudaba a resolver todo con calma, a Andy que ha sido el mejor amigo que he tenido en mucho tiempo, a Telmo, que fue mi instructor de laboratorio y ahora es uno de mis grandes amigos y que gracias a sus consejos académicos, llegué tan lejos, y a Belén, que me ha levantado el ánimo más veces de las que puedo recordar, y que siempre ha sabido levantarme el autoestima cada vez que perdía la fe en mí mismo.

Finalmente, si tu nombre no está aquí, ten por seguro que las prisas no me dejaron recordarlo, pero te aseguro que no estaría aquí si no te hubiese conocido.

AGRADECIMIENTO

Primeramente quiero agradecer a Dios...

A mis padres Leonardo y Tania, quienes me apoyaron en todo desde mi primer día en este mundo.

A mi tío César, tía Martha y sus familias, que han sido una conexión con mi familia a pesar de estar tan lejos de mi hogar.

A Lucho y al Ingeniero Julio, por brindarme apoyo moral, recomendaciones y perspectivas diferentes, que me permitieron mejorar el trabajo realizado.

Al Ingeniero Andrés Cela, por ser mi guía durante la elaboración de este proyecto, por mostrarme todas las pautas y directrices necesarias para ejecutar y finalizar el proyecto de titulación éxito.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.2. ALCANCE	2
1.3. MARCO TEÓRICO.....	3
1.4. AFINACIÓN DE GUITARRAS	6
1.5. EFECTO DE DISTORSIÓN.....	9
1.6. EFECTO DELAY	10
1.7. ADITAMENTOS PARA TODOS LOS PEDALES	10
2. METODOLOGÍA.....	14
2.1. DISTORSIÓN	14
2.2. DELAY.....	28
2.3. AFINADOR.....	35
2.4. CONSIDERACIONES GENERALES PARA DISEÑO DE PCB.....	42
2.5. PLACA DE DISTORSIÓN	43
2.6. PLACA DE DELAY	45
2.7. PLACA DE AFINADOR	46
2.8. DISEÑO DE CAJAS METÁLICAS.....	48
2.9. PLACAS ELABORADAS DE CADA PEDAL	52
2.10. CAJA DE ALUMINIO PARA PEDALES.....	56
2.11. PERFORACIÓN DE CAJAS PARA CADA PEDAL	57
2.12. ENSAMBLAJE DE PLACA Y CAJA.....	58
2.13. PEDALES ENSAMBLADOS CON MÁSCARAS PERSONALIZADAS	
59	
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61

3.1. Pruebas de Distorsión	61
3.2. Pruebas de Delay	63
3.3. Pruebas de Afinador.....	64
3.4. Pruebas con guitarristas profesionales.....	66
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
4.1. CONCLUSIONES.....	67
4.2. RECOMENDACIONES	68
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	72

RESUMEN

La escena musical actual utiliza varios elementos electrónicos con el fin de poner los instrumentos a punto para ser entonados, mejorar el sonido producido o modificarlo para obtener un estilo único. Centrándose en las guitarras eléctricas, estas requieren de un amplificador conectado a su puerto de salida para apreciar su sonido. Sin embargo, a lo largo de los años, los guitarristas profesionales han encontrado el sonido natural amplificado como algo muy simple, por lo que muchos de ellos utilizan pedales que otorgan cierto efecto al sonido de la guitarra a su salida.

Con este antecedente, en el presente trabajo se busca implementar un pedal de afinación digital, un pedal de efecto de distorsión y un pedal de efecto delay para guitarra eléctrica, cada uno con sus respectivos controles, fuentes y carcasas. El pedal de afinación usará circuitería para acondicionar la señal procedente de la guitarra, y el tratamiento para obtener su frecuencia lo realizará un sistema embebido de 32 bits STM32. Los pedales de distorsión y delay serán analógicos, para mantener la calidad del sonido.

Este trabajo se concibió para proveer al mercado de estos equipos, a un precio accesible para cada individuo, con una calidad de funcionamiento igual a los equipos de marcas reconocidas a nivel mundial.

PALABRAS CLAVE: distorsión, delay, afinación, diseño, STM32

ABSTRACT

The current music scene uses several electronic elements in order to tune an instrument, improve the produced sound or modify it to obtain a unique style. Focusing on electric guitars, these ones require an amplifier connected to its output port to appreciate its sound. However, over the years, professional guitarists have found the amplified natural sound as something very simple, many of them use pedals that give some effect to the sound of the guitar when it comes out.

Following this background, the present work seeks to implement a digital tuning pedal, a distortion effect pedal and a delay effect pedal for electric guitar, each with its respective controls, power sources and cases. The tuning pedal will use electronic circuits to measure the signal coming from the guitar, and obtain its frequency will be performed by a 32-bit STM32 embedded system. The distortion and delay pedals will be analog, to maintain sound quality.

This work was conceived to provide the market this equipment, at an affordable price, with a performance equal to the equipment of brands recognized worldwide.

KEYWORDS: distortion, delay, tuner, design, STM32

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo, la electrónica ha tenido varios usos en la música, tanto para compartirla como para modificarla. El sonido de las guitarras eléctricas es el que más se modifica, tanto en estudios como en escena, con el fin de lograr sonidos únicos que distingan a cada artista o para que guitarristas amateur puedan imitar el sonido que los inspiró a tocar el instrumento.

En cuanto a la afinación de este instrumento, las guitarras eléctricas cuentan ya con un sistema que transforma la frecuencia de vibración de las cuerdas a frecuencia eléctrica, la cual se puede medir y mostrar al usuario, asistiéndole para que llegue a la frecuencia de cada nota musical establecida. [1]

El efecto de distorsión consiste en tomar la señal proveniente de la guitarra y recortarla en sus picos superiores e inferiores. De esta manera, al llevar esta nueva señal al amplificador de sonido, tiene un sonido y características distintas. [1]

El efecto delay consiste en almacenar el sonido proveniente de la guitarra y reproducirlo tiempo después de la señal original. Este efecto se puede lograr tanto analógica como digitalmente, siendo la primera la que cuenta con sonido más fiel al original, pudiendo incluso reproducirlo en un bucle para crear una pista. Tanto el tiempo como número de repeticiones se puede modificar manualmente, mediante las perillas del pedal. [1]

Con este proyecto se busca aplicar los conocimientos obtenidos en la carrera, para desarrollar estos pedales con una calidad igual a la que tienen equipos de marcas comerciales, pero que resulten más económicos, de tal manera que una mayor cantidad de personas puedan adquirirlos.

1.1. OBJETIVOS

El objetivo general de este Estudio Técnico es: Diseñar e implementar pedales de guitarra eléctrica, para afinación, distorsión y delay.

Los objetivos específicos de este Estudio Técnico son:

- Realizar una síntesis del funcionamiento y uso de los pedales para afinación, distorsión y delay.
- Diseñar los circuitos electrónicos para los pedales de distorsión y delay, y el sistema electrónico para el pedal de afinación.
- Diseñar las placas electrónicas y la carcasa de los pedales de afinación, distorsión y delay.
- Implementar los pedales con sus respectivas entradas y salidas de audio, puerto de alimentación, botones de activación y circuitos electrónicos.
- Realizar pruebas de funcionamiento de los pedales, con instrumentos electrónicos de medición y presentar además la opinión de guitarristas profesionales.

1.2. ALCANCE

- Se realizará una síntesis sobre los pedales de guitarras disponibles en el mercado, correspondiente a las funciones de afinación, efecto de distorsión y efecto de delay. Para cada uno de los usos nombrados, se realizará el análisis de dos marcas comerciales.
- Se diseñarán los circuitos electrónicos para efectos de distorsión y delay, tomando como referencia otros fabricantes. Además, se diseñará el sistema de afinación, que será capaz de medir y mostrar en una interfaz gráfica la nota musical actual de la cuerda pulsada, además de la nota natural más cercana. El procesamiento lo realizará un microcontrolador de 32 bits. Además, el usuario debe ser capaz de seleccionar si desea afinación estándar o afinación con La 432.
- Se diseñará en software especializado las placas electrónicas y las carcasas de los pedales de afinación, distorsión y delay.
- Se implementará cada pedal con todas sus características: entrada y salida de audio, conexión para alimentación, botones y placas electrónicas.

- Una vez ensamblados los prototipos, se realizarán pruebas del funcionamiento, usando tanto equipo de medición electrónico, comparación con equipos similares, y la ayuda de guitarristas profesionales que avalen el desempeño de los pedales.

1.3. MARCO TEÓRICO

Una guitarra es un instrumento musical de cuerda, el cual está compuesto por una caja de resonancia en forma de ocho, un mástil largo con trastes, y generalmente seis cuerdas [2], las cuales deben ser pulsadas con una mano y estiradas con la otra mano.

Uno de sus instrumentos derivados es la guitarra eléctrica, la cual en lugar de tener una caja de resonancia, tiene un equipo electrónico, el cual recoge y amplifica la vibración de las cuerdas.

En ambos casos, la frecuencia del sonido generado dependerá de dos cosas: de la longitud de la cuerda y de la masa de la misma. Resumiendo, mientras más corta sea la cuerda, la frecuencia será mayor, lo cual resulta en un sonido más agudo, y mientras más larga sea, la frecuencia será menor, resultando en un sonido grave. Además las cuerdas con menos masa dan una frecuencia más aguda y lo propio para las que poseen más masa, pero nos centraremos más en la longitud de la cuerda.

1.3.1. Frecuencia del sonido de la cuerda

Teóricamente, la frecuencia del sonido producido por la cuerda se puede calcular con la ecuación de Mersenne [3]:

$$f = \frac{v}{2L} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (1.1)$$

En este caso, L representa la longitud de la cuerda, v la velocidad de propagación, T la tensión de la cuerda, y μ la densidad lineal de la cuerda.

Se puede notar que mientras más larga la cuerda, la frecuencia será más baja y viceversa. Otro factor a tomar en cuenta es la tensión de la cuerda, la cual en una guitarra convencional se puede modificar mediante las clavijas al final del mástil de la guitarra, lo cual es importante para la etapa de afinación de este trabajo.

1.3.2. Señal producida por una guitarra eléctrica

A diferencia de una guitarra clásica, las guitarras eléctricas cuentan con dispositivos que se usan para transformar la vibración de las cuerdas a una señal eléctrica. Por lo mismo, estas no cuentan con una caja de resonancia para amplificar el sonido, por lo que su uso se ve limitado y depende siempre de un amplificador de sonido.

Incrustados en el cuerpo de una guitarra eléctrica, se encuentran unos dispositivos llamados pastillas, los cuales recogen la vibración y la convierten a una señal eléctrica. Normalmente, se usan seis de estas pastillas (una por cada cuerda) para mejorar el desempeño de la conversión.

Dentro del cuerpo de la guitarra, estas pastillas se las enrolla con alambre de cobre, el cual forma una bobina sensible al cambio de frecuencia generado por la cuerda, la cual debe ser metálica en una guitarra eléctrica. [4]



Figura 1.1. Pastillas de guitarra eléctrica

Dicho cambio de frecuencia en la cuerda metálica produce un cambio en la frecuencia en la señal entregada por la bobina, y tomando en cuenta que la frecuencia eléctrica es igual a la frecuencia de vibración de la cuerda que produce el sonido, podemos usar la frecuencia de la señal para modificar el sonido entregado.

1.3.3. Cancelación de ruido

En la actualidad, las guitarras eléctricas tienen instaladas dos o más series de pastillas, las cuales tienen por nombre pastillas “humbucking” [4]. Estas recogen la

misma señal de la cuerda, pero una de ellas la recoge invertida. De esta manera, juntando ambas señales, se cancela el ruido existente, como se muestra en la figura 1.2. Sin embargo, esta cancelación no suele ser perfecta, por lo que también existen otros equipos dedicados a suprimir el ruido proveniente de la guitarra eléctrica.

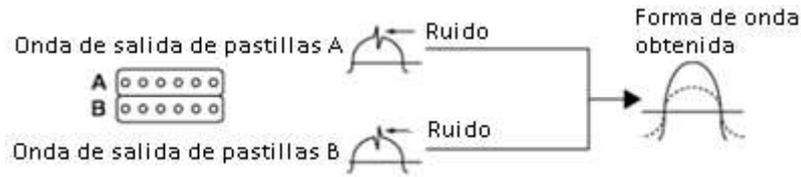


Figura 1.2. Cancelación de ruido con pastillas humbucking

1.3.4. Frecuencia de notas en una guitarra

Usando las clavijas al final de mástil de la guitarra, se puede ajustar la tensión de cada cuerda, lo cual da una frecuencia distinta para distintos niveles de ajuste. Cada cuerda debe tener una cantidad determinada de tensión, y el usuario debe ajustarla en función de la frecuencia de la cuerda, en un proceso conocido como afinación.

Se puede afinar cada cuerda en la guitarra con la frecuencia que se desee, pero en la actualidad, se tienen frecuencias definidas para cada nota y se debe afinar cada cuerda a una nota en específico. Tomemos el caso de la afinación “EADGBE”, también conocida como afinación “estándar”. [5]

La Tabla 1.1, indica la frecuencia que debe tener cada cuerda, empezando por la cuerda E (Mi) más delgada (también llamada prima) hasta la cuerda E más gruesa (sexta) [5]. Para efectuar la comprobación de que la frecuencia es correcta, se debe medir la frecuencia de cada cuerda al ser pulsada, aunque mucho músicos son capaces de lograr afinar una guitarra simplemente escuchándola.

Tabla 1.1. Frecuencias de cada cuerda para afinación estándar

Nota	Frecuencia [Hz]
E	329.63
B	246.94
G	196
D	146.83
A	110
E	82.41

1.3.5. Diferencias entre afinación 440 o 432

Muchos músicos en el mundo han mostrado su preferencia por afinar sus instrumentos usando de base la nota A (La), pero con una frecuencia de 432 Hz, en lugar de los 440 habituales. Las frecuencias de cada cuerda de guitarra se derivan directamente de esta nota A, sea 440 o 432, y presentan ligeros cambios en la frecuencia obtenida para cada cuerda.

La preferencia de cada frecuencia depende del usuario y la diferencia auditiva suele ser muy poco apreciable para personas con oído poco entrenado. La Tabla 1.2, muestra cada nota de cada cuerda, pero con ambas frecuencias para cada caso. [6]

Tabla 1.2. Frecuencias de cada cuerda para afinación estándar en A 440 y 432

Nota	Frecuencia [Hz]	Frecuencia [Hz]
	A 440	A 432
E4	329.63	323.63
B3	246.94	242.45
G3	196	192.43
D3	146.83	144.16
A2	110	108
E2	82.41	80.91

Asimismo, la tabla puede extenderse con las demás notas no estándar y sus respectivas frecuencias de cada modo de afinación. Esto será abordado más adelante, en el apartado de diseño del sistema electrónico para la afinación.

1.4. AFINACIÓN DE GUITARRAS

El proceso para afinar una guitarra se resume en girar las clavijas para cambiar la tensión que se aplica a cada cuerda, teniendo en cuenta que entre más tensión se le aplique, aumentará su frecuencia (sonido más agudo) y lo propio en caso de que se le aplique menos tensión. La figura 1.3 muestra el clavijero de una guitarra eléctrica,

junto con sus 6 clavijas correspondientes a cada cuerda y su respectiva nota en afinación estándar.



Figura 1.3. Clavijas de una guitarra eléctrica con sus respectivas notas

Tanto las guitarras clásicas como guitarras eléctricas se pueden afinar de la misma manera, ya que incluso estas últimas pueden generar sonido aunque este sea muy débil. Muchos equipos comerciales usan un micrófono para determinar la frecuencia del sonido y por ende, de la cuerda.

Este dispositivo suele contar con ayuda visual que indica si se debe ajustar o soltar la clavija para llegar a la frecuencia correcta. La figura 1.4 muestra un afinador de pinza, el cuál se suele acoplar al clavijero mostrado en la figura 1.3, el cual usa un micrófono incorporado para realizar la detección de la frecuencia de la cuerda.



Figura 1.4. Afinador de guitarra de pinza

Sin embargo, al usar un micrófono como sensor, este puede ser invadido por sonidos no deseados del ambiente, lo cual interfiere con la fidelidad del dispositivo y puede dar mediciones erróneas. [7]

Para estos casos donde el ruido ambiente no puede ser eliminado, existen los pedales de afinación, los cuales detectan la frecuencia de la señal eléctrica enviada por la guitarra. Esto se logra mediante una conexión con cable desde la guitarra al pedal, lo cual permite afinar la guitarra de forma precisa, sin importar el ruido en el ambiente que esté presente en ese momento.

En la figura 1.5 se puede observar un pedal afinador de la marca Boss, el cual cuenta con puertos de entrada y salida.



Figura 1.5. Afinador de guitarra de conexión con cable marca Boss

El presente trabajo toma como idea principal la de este último modelo de afinador, ya que es el más confiable y funciona mejor ante ruido.

Ya que la señal requiere de tratamiento digital para ser analizada, se requiere de una tarjeta embebida que cuente con un oscilador de un valor no menor a 8 MHz. Además, se requiere que la pantalla cambie con dinamismo, al mostrar la ayuda visual al momento de afinar el instrumento.

La tarjeta STM 32 Arduino fue la escogida para esta aplicación, ya que cuenta con un oscilador de 72 MHz, lo cual la vuelve muy rápida con los cálculos y en tiempos de operación. Además, cuenta con un convertidor análogo-digital de 12 bits, en comparación a los modelos de Arduino como el Nano o Uno que solo llega a 10 bits. Su tamaño reducido también lo hace idóneo, ya que el encapsulado del producto en su presentación final debe ser pequeño, como los modelos comerciales. [8]

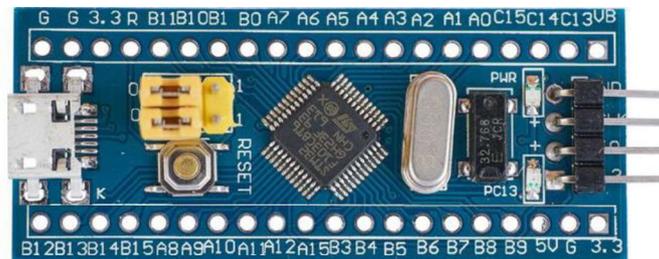


Figura 1.6. STM32 Arduino "Blue pill"

1.5. EFECTO DE DISTORSIÓN

La distorsión es un efecto bastante popular alrededor del mundo y ha sido usado por algunos de los guitarristas más famosos de todos los tiempos. Consiste en la alteración de la forma original de la onda proveniente de la guitarra

En los años 50, la distorsión del sonido se lograba subiendo al máximo el volumen del amplificador que se conectaba a la guitarra. Ya que en ese tiempo se usaban amplificadores de tubos de vacío, dicho tubo se sobrecargaba y deformaba la onda, resultando en la distorsión.

Con la ayuda de transistores y amplificadores operacionales, se puede conseguir una distorsión de mejor calidad, ya sea aplicando una gran ganancia que sobrepase los límites de la polarización del circuito o limitando la señal de entrada con arreglos de diodos.



Figura 1.7. Pedal de Distorsión marca Boss

La figura 1.7 muestra el modelo DS-1X de Boss, el cual es un pedal de distorsión que usa el método de Hard Clipping o corte fuerte. Dicho método de recorte usa diodos de conmutación rápida, posteriores a una etapa de amplificación. Esta última, además de usarse para manejar la señal de mejor manera, también se usa como control de la cantidad de distorsión entregada por el pedal. La figura 1.8 muestra la diferencia entre la señal normal proveniente de la guitarra, la señal distorsionada mediante el método de corte fuerte y el método de corte suave, este último siendo el precursor del efecto de distorsión, llamado Overdrive. [9]

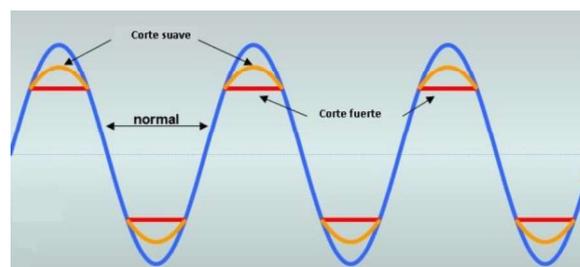


Figura 1.8. Onda normal (azul), distorsión (rojo) y Overdrive (naranja).

Como resultado de distorsionar la señal con el método de corte fuerte, se obtiene un sonido más fuerte y distinto al natural producido por la guitarra, mientras que mantiene un nivel adecuado, para que el amplificador no se vea en riesgo al subir demasiado el volumen.

1.6. EFECTO DELAY

El efecto delay consiste en tomar la señal entrante de la guitarra, grabarla y reproducirla después de la original. Se diferencia de otros efectos similares como el reverb, ya que se trata de mantener la señal lo más parecida a la original. [9] [10]



Figura 1.9. Pedal de delay marca Boss

Este efecto se puede lograr de varias maneras, existiendo chips especiales manufacturados para esta aplicación, como el PT2399, un procesador de eco, usado en muchos sistemas de audio y en varios pedales de delay comerciales. [11]



Figura 1.10. Procesador de eco PT2399

1.7. ADITAMENTOS PARA TODOS LOS PEDALES

A pesar de tener funciones muy distintas entre sí, todos los circuitos cuentan con varios accesorios, los cuales son constantes en todo pedal comercial.

1.7.1. Jacks especiales para PCB

Como dice su nombre, estos jacks pueden soldarse a la placa electrónica, por lo que se evita usar un Jack normal que necesite de cableado para sus funciones. Además, a diferencia de los conectores normales, este se sujeta tanto a la placa como a la carcasa del pedal, haciéndolo más robusto. Este Jack viene en versiones monoaurales para un canal de audio y versiones estéreo para dos canales de audio.

La señal de una guitarra eléctrica suele viajar en cables monoaurales, aunque no existe problema si usamos un Jack estéreo, siempre que no conectemos el segundo puerto.



Figura 1.11. Jack estéreo de ¼' para PCB

1.7.2. Switch de pie con true bypass

Los pedales comerciales suelen tener este switch especial, que cambia entre aplicar el efecto o enviar la señal pura. Estos pulsadores son especialmente fabricados para ser pulsados con la planta del pie y cuentan con 9 pines de conexión en su parte inferior. [12]



Figura 1.12. Switch de pie 3pdt con true bypass

En cuanto a lo que se refiere a “true bypass”, quiere decir que si el pedal está en modo de señal pura, este botón puede cablearse para enviar dicha señal directamente al amplificador, manteniendo su estado original.

Los pines de en medio funcionan como común en cada modo, mientras que los pines superiores conmutarán con los del medio si se presiona al botón, y si se lo presiona de nuevo, los pines inferiores serán los que conmuten con los pines centrales.

Tomando esto en cuenta, se tiene un diagrama que muestra la conexión más común que tienen estos botones en los pedales comerciales.

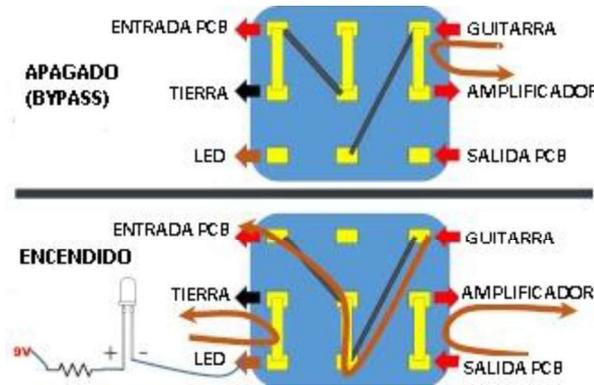


Figura 1.13. Cableado para true bypass

Se puede ver que cuando está desactivado el efecto, la señal entra por la derecha y sale por el mismo lado. Además, el led indicador se mantendrá apagado, y al circuito impreso no recibirá la señal. Mientras que cuando se activa el efecto, el led se encenderá y el cableado permitirá el paso de la señal de la guitarra hacia el circuito impreso, y también su envío hacia el amplificador de sonido.

Cabe señalar que dicho cableado también puede ser realizado en el propio circuito impreso, lo cual le da más solidez a todo el conjunto, ya que el 3PDT también puede ser atornillado a la carcasa del pedal.

1.7.3. Toma de fuente para PCB

Ya que los equipos deben funcionar todos en serie y alimentados en teoría por una misma fuente, la toma o Jack debe ser apropiada para pueda conectarse con cualquier fuente de 2.5 mm, que son las que usan los pedales comerciales



Figura 1.14. Jack 2.5 mm PCB para fuente

En la figura, se puede ver un modelo de Jack que puede ser soldado a la placa del pedal, evitando así, una vez más, que el aditamento tenga que ser cableado a la placa.

Un recurso para pruebas bastante útil, es el llamado Splitter, usado comúnmente por músicos para energizar sus pedales con una sola fuente de alimentación. Dicho accesorio cuenta con una entrada y varias salidas que llevan los 9 voltios DC a cada dispositivo. Sin embargo, se debe cuidar que la fuente usada sea capaz de suplir la corriente que cada dispositivo utiliza.



Figura 1.15. Splitter de 5 vías para fuentes de 9 Voltios DC

2. METODOLOGÍA

2.1. DISTORSIÓN

Como se había establecido en su introducción, el efecto de distorsión se puede lograr con circuitería que sea capaz de recortar la onda de la guitarra, tanto en la parte positiva como en la negativa. Se pueden usar amplificadores operacionales y transistores para amplificar la señal recibida, hasta el punto en que estos dispositivos se saturen.

Como alternativa se pueden usar los mismos circuitos integrados para amplificar la señal de entrada en un rango que contemple el funcionamiento óptimo del amplificador operacional, y luego usar diodos para recortar la señal. Se debe tomar en cuenta que el recorte se dará en el voltaje de polarización de dichos diodos. [10]

2.1.1. Métodos para crear distorsión

Existen varios métodos para crear la distorsión, empezando por el ya mencionado en el capítulo 1, de sobrecargar los tubos de vacío. Asimismo, se pueden sobrecargar los transistores, llegando al límite de su rango de amplificación. Esto suele crear una distorsión bastante difusa, como la vista en varios pedales basados en el circuito Fuzz Face [13]. Esto suele usarse más en pedales de efecto Overdrive, ya que su sonido se asemeja más al sonido generado por la distorsión creada por tubos de vacío.

Por otro lado, se puede usar diodos en antiparalelo, lo cual corta la señal de entrada en los voltajes de polarización de dichos diodos. Por lo tanto, se suele colocar los mismos diodos, para el corte sea simétrico. Si usamos diodos, tenemos las opciones de corte suave y corte fuerte, y sus respectivos circuitos se muestran en la figura 2.1. [14]

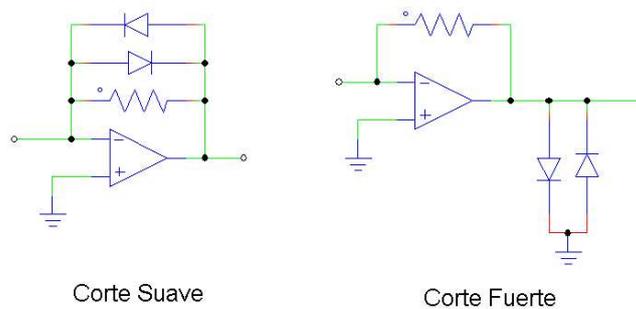


Figura 2.1. Circuitos para corte suave y fuerte

El primer método hace referencia a una conexión de los diodos en el camino de realimentación de un transistor o de un amplificador operacional. Este suele proveer de un sonido parecido al efecto Overdrive, por lo que no se usará en este trabajo.

El método de corte fuerte, consiste en conectar los diodos a la salida de la amplificación y luego a tierra, lo cual corta los picos de la señal de manera más agresiva. En un osciloscopio se puede ver estos bordes más cuadrados, y genera el sonido típico de distorsión. Esto lo hace el método escogido para el diseño del circuito, ya que se aleja del sonido típico de Overdrive, que no es el objetivo de este trabajo.

2.1.2. Métodos para amplificar una señal.

Para esta sección, se puede disponer tanto de transistores como de amplificadores operacionales. Se realizarán diseños y pruebas con ambos dispositivos para escoger el que entregue un efecto más marcado sobre la señal de entrada.

2.1.2.1. Amplificación usando un amplificador operacional

Con un amplificador operacional se puede trabajar en modo inversor y no inversor, configuraciones elegidas que no afectan a la aplicación, y se puede aplicar filtros activos que eliminan ruido proveniente de los componentes de una guitarra.

Para que el equipo diseñado pueda trabajar en conjunto con otros, se debe procurar que la referencia de los voltajes sea la misma en todo momento. Esto supone que no se debe implementar una fuente bipolar en base a una fuente de determinado voltaje, ya que cambiaría la referencia y el equipo solo podría operar sin acoplarse a otros.

Para solucionar esto, se usa el concepto de Bias, el cual permite polarizar el circuito integrado con una sola fuente. Conceptualmente, bias se describe como las características de estado estable de un circuito electrónico, mientras este no recibe señal de entrada. Para el caso del amplificador operacional, se requiere que el voltaje de salida tenga una componente de voltaje DC, conocido como Offset. Se podría decir que, en este caso, bias viene a ser el voltaje DC usado para el offset. [15]

Como se puede ver en la figura 2.2, se ha polarizado el integrado con la fuente unipolar y se ha dividido su voltaje a la mitad, el cual es sumado a la señal de entrada de la guitarra. Esto crea un offset, el cual se eleva más allá de los cero voltios de polarización del integrado, y puede ser modificado con el valor del resistor R4. Esto

permite operar al amplificador operacional con una fuente unipolar, y le permite funcionar en cadena con otros equipos.

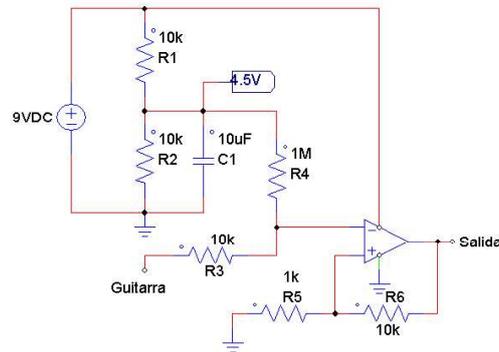


Figura 2.2. Amplificador sumador no inversor con Biasing

Para escoger el circuito integrado apropiado para la aplicación, se determinó que se necesita de un encapsulado que contenga dos amplificadores, debido a que existen varios modelos disponibles que comparten tanto entradas como salidas, por lo que es más sencillo probar varios en la práctica y usar el que tenga mejor desempeño.

Para aplicaciones de audio, existen varios integrados que tienen mejoras para manejar el ruido o mejoras en su salida. Se escogió el modelo OPA2134 mostrado en la figura 2.3, que tiene dos amplificadores operacionales y está diseñado para aplicaciones de audio [16]. Este dispositivo cuenta con entradas True FET, lo que provee de mejor calidad de sonido y velocidad de operación, y no cuentan con los problemas comunes de este tipo de entradas, como la inversión de fase y sobrecarga, que suele causar problemas en FET, MOSFET y amplificadores operacionales que tengan este tipo de entradas.

De igual manera, su amplio rango de voltajes de polarización permite que se trabaje con fuentes de 9 voltios DC, valor comúnmente usado por pedales comerciales.



Figura 2.3. Amplificador operacional de audio OPA2134

2.1.2.2. Amplificación usando un transistor

Un transistor bipolar de juntura se posee varias configuraciones para diseñar un amplificador. Sin embargo, todos los diseños que se puedan elaborar, dependerán del

valor de ganancia de corriente emisor común, conocido como h_{fe} o como β del transistor. Cada modelo de transistor tiene un valor distinto e incluso tienen valores distintos entre transistores del mismo modelo.

Otra alternativa para un diseño se basa en tener una realimentación negativa del colector a la base. Como se observa en la figura 2.4, este requiere de dos resistores que aseguran un valor inicial de voltaje DC en la base del transistor. [17]

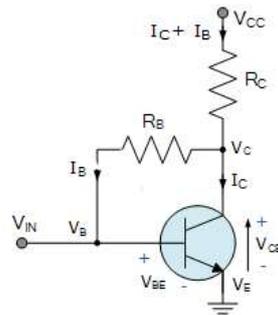


Figura 2.4. Transistor con realimentación de colector.

La configuración propuesta mantiene al transistor siempre en región activa sin importar el valor de beta. Los valores de resistencia en la base y en el colector se encargan de posicionar el punto Q que se muestra en la figura 2.5. [18]

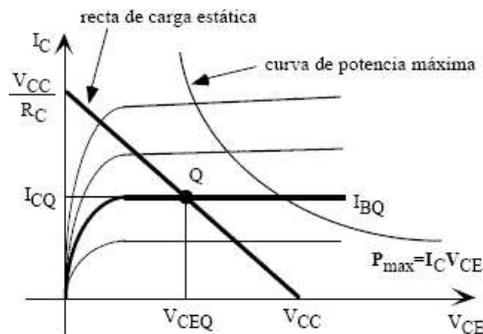


Figura 2.5. Punto de trabajo Q de un transistor

Al tener la base y el colector interconectados mediante una resistencia, la base será sensible a cambios en la corriente del colector. Si dicha corriente se incrementa, el voltaje del colector bajará, por lo que bajará el voltaje DC en la base. Esto a su vez reducirá automáticamente la corriente del colector para mantener la posición del punto Q. Esto provee de gran estabilidad al circuito, y no depende del voltaje de polarización como si lo hacen otros circuitos.

De la misma manera, si existe cambio de carga del circuito, al estar conectada al colector, causará que exista cambio de corriente en el colector y por ende, haya realimentación en la base, que llevará la corriente del colector a valores normales.

Para el diseño de este circuito, se debe trabajar con los voltajes en cada elemento de la figura 2.4, de manera que se tiene la siguiente ecuación:

$$V_{CC} - (I_C + I_B)R_C - I_B R_B - V_{BE} = 0 \quad (2.1)$$

El procedimiento debe resultar en una ecuación que defina a la corriente del colector en función de todo los demás valores. Hay que tomar en cuenta que el valor de I_C se lo suele definir como β por el valor de la corriente de la base, por lo que se empezó por definir esta última corriente y luego multiplicaremos por β para obtener la ecuación deseada. Aplicando esto a la ecuación 2.1 tenemos que:

$$V_{CC} - (\beta I_B + I_B)R_C - I_B R_B - V_{BE} = 0 \quad (2.2)$$

Como se puede ver en la ecuación 2.3, se puede obtener la ecuación para la corriente de la base, que queda así:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(\beta + 1)R_C + R_B} \quad (2.3)$$

Al reemplazar $I_B = I_C/\beta$, obtenemos la ecuación 2.4:

$$I_C = \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE})}{(\beta + 1)R_C + R_B} \quad (2.4)$$

Existen dos consideraciones para realizar el diseño y estas son que $\beta + 1 \approx \beta$ y que el valor de βR_C sea mucho mayor que R_B . Haciendo estos cambios se obtiene la ecuación final:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C} \quad (2.5)$$

Esto demuestra que esta configuración no depende del valor de β , por lo que mantiene el punto Q ante cambios de transistores y también de la temperatura. Por otra parte, también se debe asegurar la relación $\beta R_c \gg R_B$, aunque podemos usar esto como criterio de diseño. [17]

De acuerdo al datasheet provisto por el fabricante [19], el valor de β típico del transistor BC548C tiene un valor de 420. Si tomamos un valor de resistencia comercial de 10k Ω para R_c , tenemos que el valor de R_B debe ser mucho menor que 4.2 M Ω , con lo que una décima parte de ese valor puede cumplir esa relación, con R_B igual a 420 k Ω .

Sin embargo, al aumentar este valor, se puede conseguir que la amplificación de la señal de entrada se incremente, lo que resulta en más distorsión. Tomando esto en cuenta, se coloca una resistencia de valor 680k Ω .

2.1.3. Perillas de control

La mayoría de pedales de distorsión comerciales cuentan con 3 controles, los cuales son: volumen, cantidad de distorsión o "Drive" y tono. El control de volumen ajusta la cantidad de señal que sale hacia el amplificador, mientras que el control Drive ajusta la cantidad de distorsión que se aplica a la señal de la guitarra, y el control de tono ajusta el tono del sonido valga la redundancia, lo cual se suele hacer con un filtro pasabajos ajustable o con algún otro método.

2.1.3.1. Control de distorsión en un amplificador operacional

La figura 2.6 muestra cómo se controla la distorsión mediante la ganancia del amplificador operacional. Consiste en variar el valor de resistencia que se encuentra en el lazo de realimentación del amplificador operacional, según la ecuación 2.6.

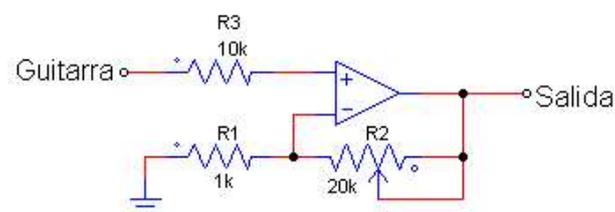


Figura 2.6. Control Drive variando resistencia de realimentación

$$Ganancia = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (2.6)$$

Se debe tomar en cuenta de que si se desea aplicar un filtro activo usando el mismo amplificador operacional, cambiar este valor de resistencia R2 también cambiará la frecuencia de corte de dicho filtro, lo cual no es muy aconsejable.

La figura 2.7 muestra tanto la entrada como la salida del circuito y se puede observar el cambio de amplitud de la señal.

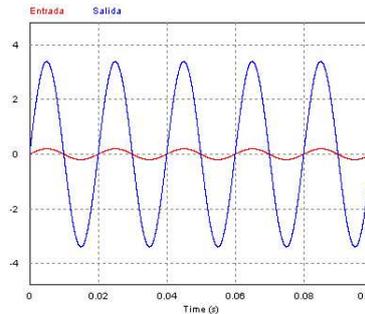


Figura 2.7. Forma de onda de entrada (rojo) y amplificada (azul)

2.1.3.2. Control de distorsión en un transistor

En este caso, ya que se mantendrá fija la ganancia de la señal de entrada, se puede ajustar la cantidad de señal amplificada que pasa a la sección de corte de señal. La señal empezará a distorsionarse en el momento que los picos de la misma iguallen el voltaje de polarización de los diodos utilizados.

En la figura 2.8 se puede observar el circuito usado para amplificar la señal y su respectivo control de distorsión.

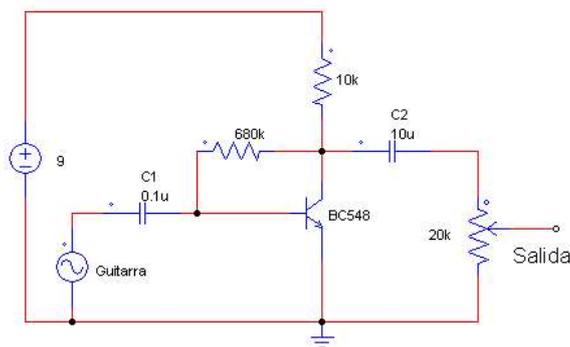


Figura 2.8. Circuito de distorsión con transistor y control de distorsión

El capacitor C1 es escogido teniendo en cuenta que un valor bajo de capacitancia cortará frecuencias más bajas, con lo que una mayor cantidad de sonido grave será atenuado. Esto hará que el sonido final distorsionado tenga más estridencia, cosa que atrae a muchos usuarios.

Para el control de distorsión, los valores tanto del potenciómetro como del capacitor C2 son escogidos tomando en cuenta que forman un filtro pasa altos y su frecuencia de corte no debe interferir al paso de la señal de la guitarra. Esto dicta que el resultado de la ecuación 2.7 debe ser menor a los 60 Hz, aunque un resultado más bajo viene siendo más apropiado, ya que hay que tomar en cuenta la respuesta en frecuencia en forma de pendiente que tiene un filtro.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.7)$$

Usando los valores mostrados en la figura 2.8, se obtiene una frecuencia de 0.79 Hz, lo cual asegura que el control de la distorsión no va a afectar al paso de la señal amplificada

2.1.3.3. Control de volumen

La figura 2.9 muestra el control de volumen que tienen la mayoría de diseños comerciales de distorsión. Mediante el potenciómetro, se controla la cantidad de señal que va hacia el amplificador de sonido. El capacitor de la figura filtra la componente DC añadida en el proceso de Biasing, la cual puede ser perjudicial para el amplificador de sonido.

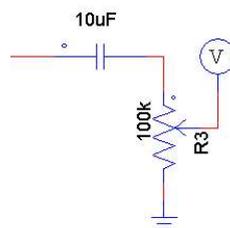


Figura 2.9. Control de volumen con potenciómetro

El valor del capacitor que corta la componente DC no debe afectar el paso de la señal de la guitarra, ya que junto con el potenciómetro de control de volumen forman un filtro pasa altos, similar al caso presentado en el control de distorsión para un circuito que usa un transistor. De igual manera, el diseño del control se realiza con la ecuación 2.7.

Tomando esto en cuenta, el capacitor debe ser de un valor alto para que no interfiera con el mínimo de frecuencia que entrega una guitarra eléctrica, que llega a ser de 60 Hz. Tomando esto en cuenta, se puede usar un valor de 10µF, que junto con el valor

total del potenciómetro de 100 k Ohmios, resulta una frecuencia de corte de 0.1591 Hz, lo que permitirá a la señal de la guitarra pasar sin contratiempos.

La figura 2.10 muestra el nivel de la señal de salida en azul, con un ajuste del potenciómetro del 50%.

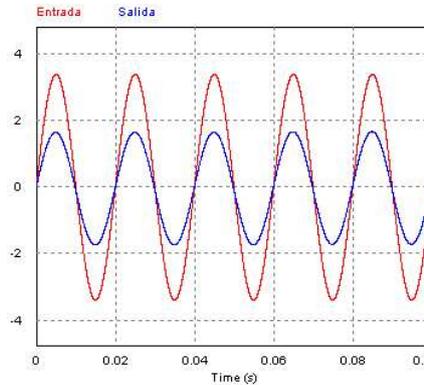


Figura 2.10. Señales antes (rojo) y después (azul) del control de volumen.

2.1.3.4. Control de tono

En cuanto a lo que se refiere al control de tono, se tienen varias opciones, las cuales basan su funcionamiento en filtros pasivos variables mediante un potenciómetro.

La figura 2.11 muestra un control de tono basado en modificar la frecuencia de corte del filtro pasabajos mediante el potenciómetro. Se lo suele usar en circuitos en que él no es necesario tener tanto control sobre el tono. Usando la ecuación 2.6, se sabe que el filtro dejará pasar todas las frecuencias si el potenciómetro se encuentra en su mínimo.

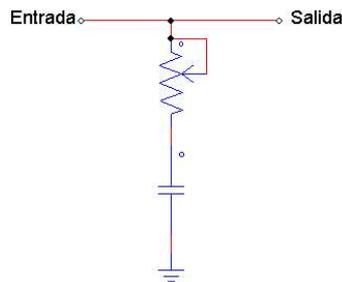


Figura 2.11. Filtro pasabajos variable como control de Tono

Entonces, se debe diseñar el filtro basados en el valor máximo del potenciómetro y el valor máximo de frecuencia que se obtiene al tocar una guitarra. Refiriéndonos a la tabla 1.2, vemos que la frecuencia más alta de una cuerda es de 329.63 Hz, correspondiente a la primera cuerda en afinación La 440. Sin embargo, al momento de

tocar una o más cuerdas, las componentes de señal de distinta frecuencia pueden ocasionar que el valor de frecuencia total aumente.

De acuerdo con The Physics Classroom [20], la frecuencia de una guitarra afinada puede llegar desde 80 Hz hasta los 1200 Hz, y sus armónicos tendrán componentes de energía en los múltiplos de esas frecuencias. Por lo tanto, la frecuencia mínima que debe tener un control de tono con filtro pasabajos debe ser de un valor cercano a 1200 Hz.

Si tomamos en cuenta un valor máximo de resistencia de un potenciómetro de 100kΩ, el valor del capacitor queda como se muestra en la ecuación 2.8.

$$C = \frac{1}{2\pi \times 100k \times 1200} = 1.32nF \quad (2.8)$$

Si se usa un valor comercial de capacitancia de 1 nF, la frecuencia de corte queda en 1591.54 Hz, el cual es un valor aceptable.

Esta última frecuencia aumenta conforme se manipula la perilla del potenciómetro, lo que causa que menos armónicos sean rechazados y el sonido percibido cambia. Además, con esta forma de controlar el tono, se puede elaborar un filtro rechaza banda que permita quitar un rango de frecuencias fijo y que a la vez pueda controlar la cantidad magnitud de tanto frecuencias altas como bajas que van hacia el amplificador de sonido

La figura 2.12 muestra un circuito de control de tono con las características descritas anteriormente, diseñado tomando en cuenta la ecuación 2.2 y el valor de 1200 Hz descrito anteriormente como la frecuencia de corte para el filtro pasa altos. Para dejar la banda de rechazo lo más simétrica posible, se diseñará el filtro pasabajos con una frecuencia de corte aproximada de 400 Hz, lo que deja una banda de rechazo de aproximadamente 400 Hz.

Usando valores de resistencia comerciales de 47kΩ para el filtro pasaaltos y 33kΩ para el filtro pasabajos, los valores de capacitancia se muestran en las ecuaciones 2.9 y 2.10, respectivamente

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \times 47k \times 1200} = 2.82nF \quad (2.9)$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \times 33k \times 400} = 12.05nF \quad (2.10)$$

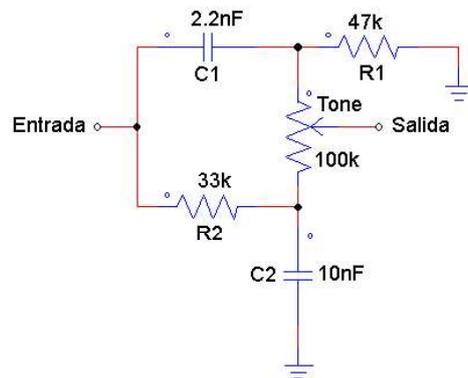


Figura 2.12. Control de Tono usado en pedales Big Muff

Usando valores comerciales de capacitores, podemos dejar los valores de C_1 igual a $2.2 nF$ y C_2 igual a $10nF$, lo que modifica las frecuencias corte en alto a 1539.21 y corte en bajo a $482.28Hz$, lo cual sigue estando en un rango apropiado para la aplicación.

2.1.4. Diodos para el corte de señal

Como se estableció antes, se usará el modo de corte fuerte o “Hard Clipping” para generar la distorsión, cuyo circuito se muestra en la figura 2.13.

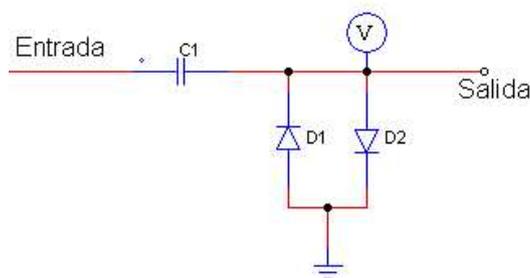


Figura 2.13. Circuito para el corte fuerte o “Hard Clipping”

El capacitor C_1 de la figura es el mismo mostrado en la figura 2.9, y colocar el control de volumen antes o después de la etapa de corte no tiene ninguna consecuencia. En

la figura 2.14 se puede ver como la señal amplificada de la guitarra es recortada, lo que produce el característico sonido de la distorsión.

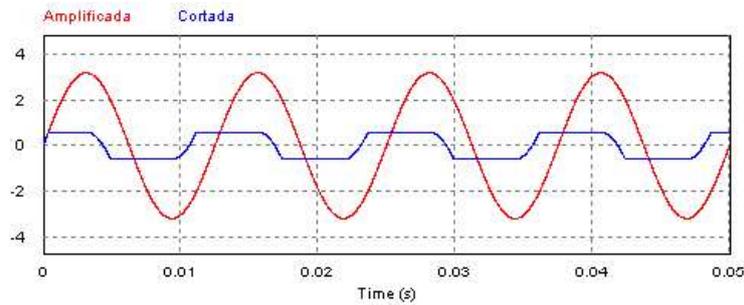


Figura 2.14. Forma de onda de la señal antes (rojo) y después (azul) de ser recortada

Dependiendo del voltaje de polarización de los diodos que se usen en el circuito, el corte de la señal se realizará en ese voltaje.

La selección de dichos diodos puede variar según los requerimientos de corriente y voltaje, pero más importante es escoger diodos que sean capaces de reaccionar ante cambios de señal rápidos y de señales muy pequeñas, características que son típicas de señales provenientes de guitarras eléctricas.



Figura 2.15. Diodo rápido de señal pequeña 1N914

En la figura 2.15 se puede apreciar el diodo 1N914, que es un diodo rápido de señal pequeña, que corta la señal en 0.62 voltios. Su desempeño en el circuito diseñado fue mejor que con cualquier otro rectificador de silicio usado. [21]

2.1.5. Diseño de etapa de filtrado

Como se estableció en las consideraciones especiales, se podía usar el segundo amplificador operacional dentro del circuito integrado para diseñar un filtro activo. Al diseñar un filtro pasabajos, se reduce la presencia del ruido en la señal de salida.

Se usará el circuito de la figura 2.16 y se considerará que los valores de los resistores R1 y R2 son iguales entre sí, además de que los valores de C1 y C2 también serán iguales. Esto último para simplificar el cálculo.

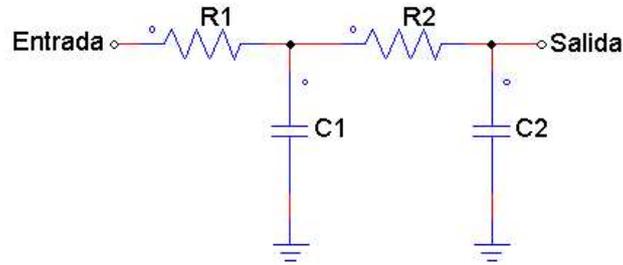


Figura 2.16. Filtro pasivo pasa bajos

La razón para usar un filtro de 2do orden es tener una pendiente de -40dB/dec en la frecuencia de corte. Se considera que la frecuencia más alta que se puede tolerar es de aproximadamente 30 kHz [20], contando los armónicos que tiene la señal de una guitarra eléctrica.

Con esto en consideración, se usa la ecuación para el cálculo de la frecuencia de corte de un filtro de segundo orden pasivo, la cual se muestra en la ecuación 2.11.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.11)$$

Pero, al tener en consideración que ambas resistencias y capacitores tienen el mismo valor, y despejando la capacitancia, nos queda la ecuación 2.12:

$$C = \frac{1}{2\pi R f_c} \quad (2.12)$$

Usando valores de resistencias comerciales de 15 kΩ y la frecuencia de diseño de 30 kHz, se obtiene un valor de capacitancia de 353 pF, pero se usará un valor comercial de 330 pF, con el que obtenemos una frecuencia de corte de aproximadamente 32 kHz, lo cual es apropiado para el diseño.

Tomando un valor de $15\text{ k}\Omega$ para R_1 y R_2 , el valor tanto de C_1 como de C_2 queda en 330 pF usando valores comerciales. El diseño del filtro se puede ver en la figura 2.17.

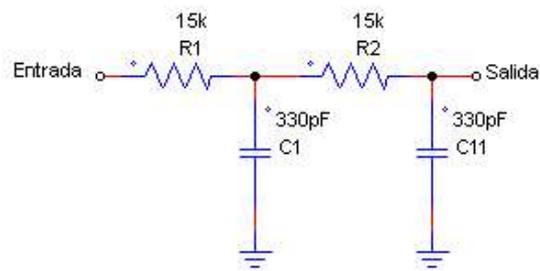


Figura 2.17. Filtro pasabajos pasivo de segundo orden

2.1.6. Diseño completo de circuito de distorsión

En la figura 2.18 se puede observar a aplicación de cada uno de los apartados revisados hasta ahora usando el amplificador operacional,

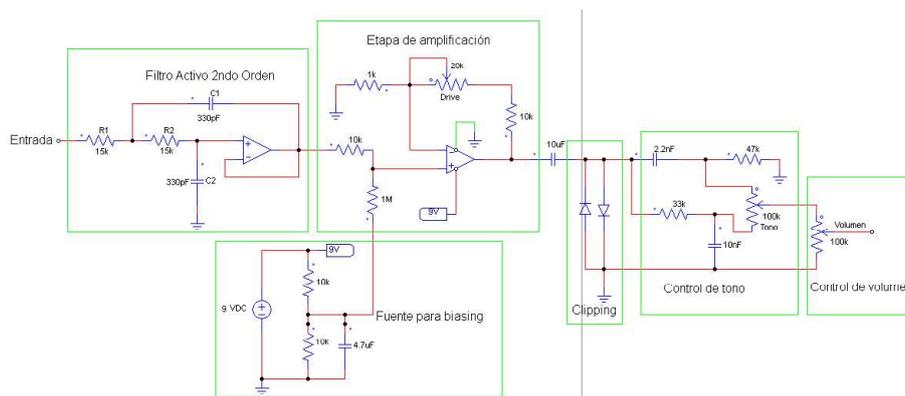


Figura 2.18. Diseño completo de circuito de distorsión con amplificador operacional

En la figura 2.19 se observa el circuito de distorsión usando un transistor bipolar de juntura NPN con todas sus partes previamente revisadas.

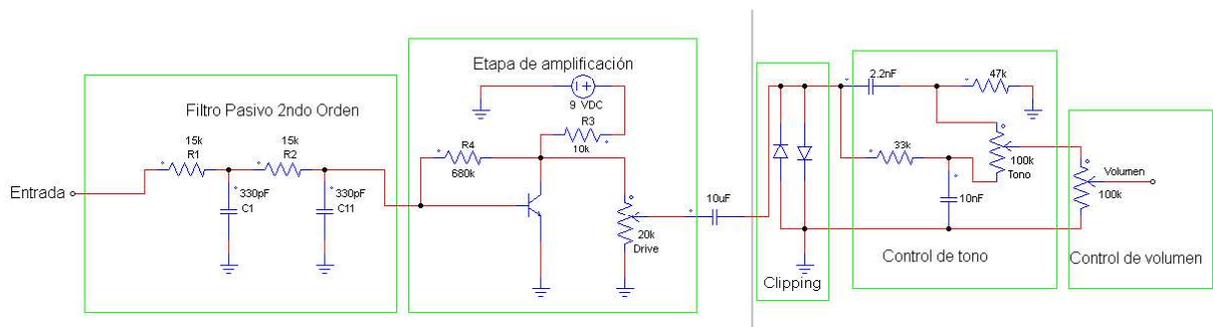


Figura 2.19. Diseño completo de circuito de distorsión con un transistor NPN

2.2. DELAY

El efecto Delay en aplicaciones de audio consiste en tomar la señal de entrada, aplicarle un retraso de tiempo definido por el usuario y reproducirlo una o varias veces, según la configuración del equipo [9]. La figura 2.20 muestra en diagrama de bloques el funcionamiento de un pedal de delay digital. La señal audible resultante se asemeja a lo que se conoce popularmente como eco. Sin embargo, no se debe confundir el efecto delay y el efecto “Echo”, siendo este último una subaplicación del primer efecto. [22]

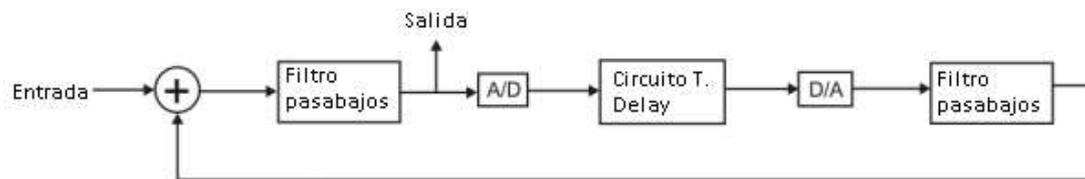


Figura 2.20. Diagrama de bloques de un pedal de delay

El diseño del circuito para el efecto delay se basa en el chip PT2399, el cual es un procesador diseñado para este efecto y el efecto Echo. Su funcionamiento se basa en convertir la señal de entrada de analógico a digital, almacenar las muestras en su memoria interna de 44 Kb, dejar que pase el tiempo de delay, devolverlo a su estado analógico y añadirlo a la señal original.

Según los documentos provistos por el fabricante Princeton Technology, la estructura interna del chip es la mostrada en la figura 2.21.

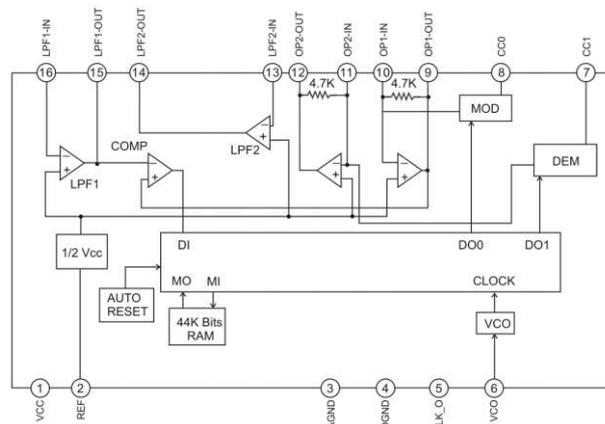


Figura 2.21. Estructura interna del circuito integrado PT2399

Sin embargo, en otros documentos, se detalla más a fondo la estructura interna del chip, y gracias a esto se puede ver que cuenta con 6 amplificadores operacionales y una fuente de energía interna, como se observa en la figura 2.22. [11]

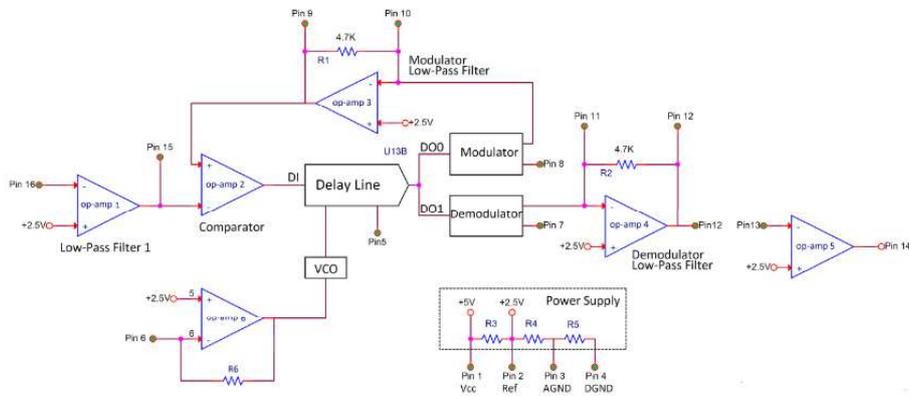


Figura 2.22. Estructura interna más detallada del circuito integrado PT2399

2.2.1. Fuente de alimentación

A pesar de que los pedales comerciales se alimentan con una fuente de 9 voltios, este chip debe ser energizado con 5 voltios DC, por lo que requiere de una rectificación que mantenga el voltaje lo más estable posible.

Esta operación lo puede realizar el integrado LM7805, sin olvidar sus capacitores tanto en la entrada como en la salida, para mantener el voltaje sin rizado. Dichos 5 V tienen que ser conectados al pin 1 del chip, llamado Vcc.

La configuración del regulador se puede observar en la figura 2.23.

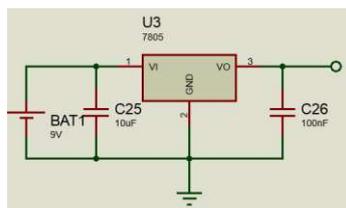


Figura 2.23. Fuente de 5 voltios para el PT2399

El pin 2, llamado REF, es la referencia de 2.5 voltios DC, que funge como la referencia para el convertidor A/D. La estructura interna del integrado cuenta con resistencias de 6 mil ohmios que dividen el voltaje a la mitad. La conexión de este pin suele hacerse con un capacitor hacia tierra, de un valor aproximado de 47 uF.

El pin 3 tiene conexión interna al 2 mediante una resistencia de 6 mil ohmios, garantizando la mitad del voltaje par la referencia antes mencionada. Por lo mismo, este pin debe ser aterrizado junto con el pin 4.

El pin 5 no se utilizará, ya que muestra una onda cuadrada, la cual cambia de acuerdo a la cantidad de tiempo que se retrasa la repetición de la señal. Por lo mismo, no tiene valor de uso en este proyecto.

El pin 6 se lo conoce como Oscilador Controlado por Voltaje, VCO por sus siglas en inglés. Este pin cuenta con un voltaje constante de 2.5 voltios, y mediante resistencias variables podemos cambiar este voltaje. [11]

La documentación da un valor de tiempo de delay de acuerdo al valor de la resistencia conectada a este pin, además de una medida de la Distorsión Armónica Total de la onda resultante.

Tabla 2.1. Tiempo de Delay y THD en base a la resistencia conectada al pin 6

R	27.6K	21.3K	17.2K	14.3K	12.1K	10.5K	9.2K	8.2K
fck	2.0M	2.5M	3.0M	3.5M	4.0M	4.5M	5.0M	5.5M
td	342ms	273ms	228ms	196ms	171ms	151ms	136.6ms	124.1ms
THD	1.0%	0.8%	0.63%	0.53%	0.46%	0.41%	0.36%	0.33%

R	7.2K	6.4K	5.8K	5.4K	4.9K	4.5K	4K	3.4K
fck	6.0M	6.5M	7.0M	7.5M	8.0M	8.5M	9.0M	10M
td	113.7ms	104.3ms	97.1ms	92.2ms	86.3ms	81ms	75.9ms	68.1ms
THD	0.29%	0.27%	0.25%	0.25%	0.23%	0.22%	0.21%	0.19%

R	2.8K	2.4K	2K	1.67K	1.47K	1.28K	1.08K	894
fck	11M	12M	13M	14M	15M	16M	17M	18M
td	61.6ms	56.6ms	52.3ms	48.1ms	45.8ms	43ms	40.6ms	38.5ms
THD	0.18%	0.16%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.14%	0.14%

R	723	519	288	0.5
fck	19M	20M	21M	22M
td	36.6ms	34.4ms	32.6ms	31.3ms
THD	0.14%	0.13%	0.13%	0.13%

Se puede observar que la distorsión armónica total aumenta mientras mayor sea el tiempo de retraso y por ende, mientras mayor sea el valor de la resistencia conectada al pin 6. Teóricamente, se puede incluso conseguir un tiempo de retraso hasta segundo, pero por lo establecido, la calidad del sonido bajaría enormemente.

La forma de controlar el tiempo de delay se resume en un potenciómetro y una resistencia constante que limite el tiempo mínimo. El valor máximo de resistencia del potenciómetro debe ser seleccionado de acuerdo a cuanto tiempo de retraso deseemos para nuestra aplicación.

La conexión se puede ver en la figura 2.24.

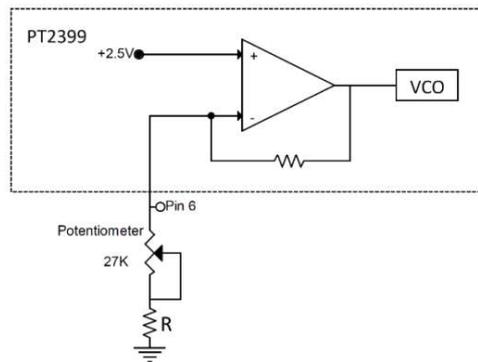


Figura 2.24. Control de tiempo de Delay mediante potenciómetro

2.2.2. Entradas del PT2399

La etapa de entrada del chip cuenta con 3 amplificadores operacionales internos, aunque solo se puede acceder al terminal inversor y a la salida de cada amplificador. Para el primer caso, como se ve en la figura 2.25, se realiza una configuración de filtro/sumador de realimentación múltiple. [23]

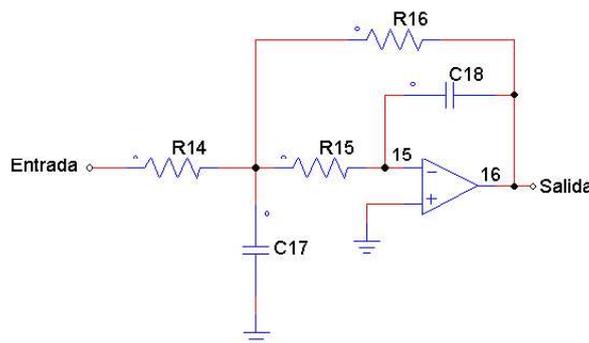


Figura 2.25. Filtro sumador de realimentación múltiple

El cálculo de valores de capacitores y resistencias sigue la ecuación de la frecuencia de corte para un filtro de primer orden, pero también requiere de especificar el factor de calidad Q para algunos cálculos adicionales. En este caso, se usará un factor de calidad de 0.707, especificado para un filtro Butterworth ideal.

Usando la ecuación 2.11., se puede calcular los valores de cada elemento, tomando en cuenta una frecuencia de corte de 8 kHz, un valor apropiado para el chip usado y a aplicación. También se puede asignar valores comerciales de resistencia a R2 y R3, de 10 kΩ y 15 kΩ respectivamente. Asimismo, podemos tomar un valor para C1 de 3.9 nF, lo cual deja solo el cálculo de C2, el cual toma un valor de aproximadamente 0.56 nF.

Los pines 8, 9 y 10 trabajan juntos como parte de la etapa de modulación de la señal. Esta etapa se encarga de retrasar la señal por unos pocos milisegundos, mucho menor tiempo al propio delay como efecto, y luego los lleva a la línea de delay, el cual lleva la señal a la siguiente etapa, la salida. El pin 8 se aterriza usando un capacitor de 100 nF, según especificaciones del datasheet, y los pines 9 y 10 se conectan entre sí con un capacitor, de tal manera que forma un filtro pasabajos con un resistor interno de 4,7 k Ω . Su valor puede ser escogido por el usuario, pero implementamos con un de 100 nF.

2.2.3. Salidas del PT2399

Las salidas cuentan con una estructura similar a las entradas, pero cuenta con un demodulador, que devuelve a la señal modulada a su estado original. Al igual que el modulador, se debe conectar un pin a tierra usando un capacitor, en este caso es el pin 7, y también se usa un valor de 100 nF.

Al igual que con el modulador, este también cuenta con un filtro pasabajos, configurado mediante un capacitor en los pines 11 y 12, y su respectiva resistencia interna de 4,7 k Ω .

Asimismo, a la salida de la etapa anterior, existe un filtro de realimentación múltiple [23], que se puede observar en la figura 2.26, y sus cálculos se realizan de la misma manera que el ya explicado anteriormente.

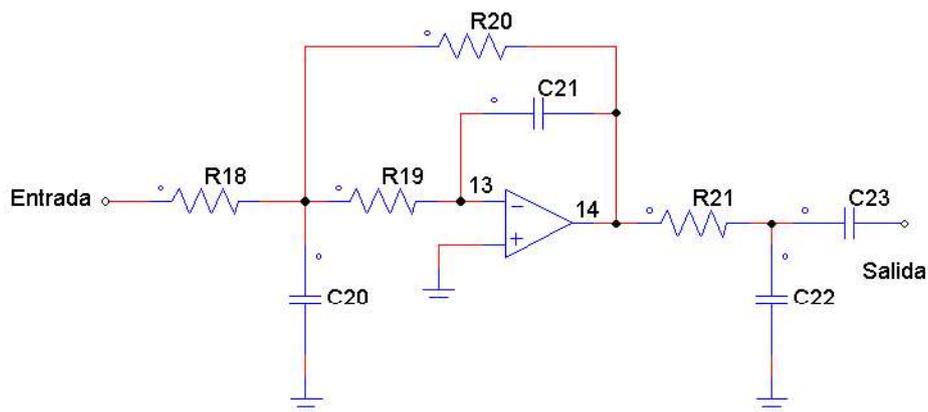


Figura 2.26. Filtro sumador de realimentación múltiple para la salida del chip

El resistor $R7$ viene del pin 12 usado en el filtro pasabajos anterior. Se pueden usar los mismos valores calculados con anterioridad, ya que es la misma configuración y la misma frecuencia de corte del filtro anterior.

La figura 2.27 muestra el circuito completo de delay, que aplica todos los conceptos explicados y agrega filtros extra, con el fin de eliminar todo el ruido posible.

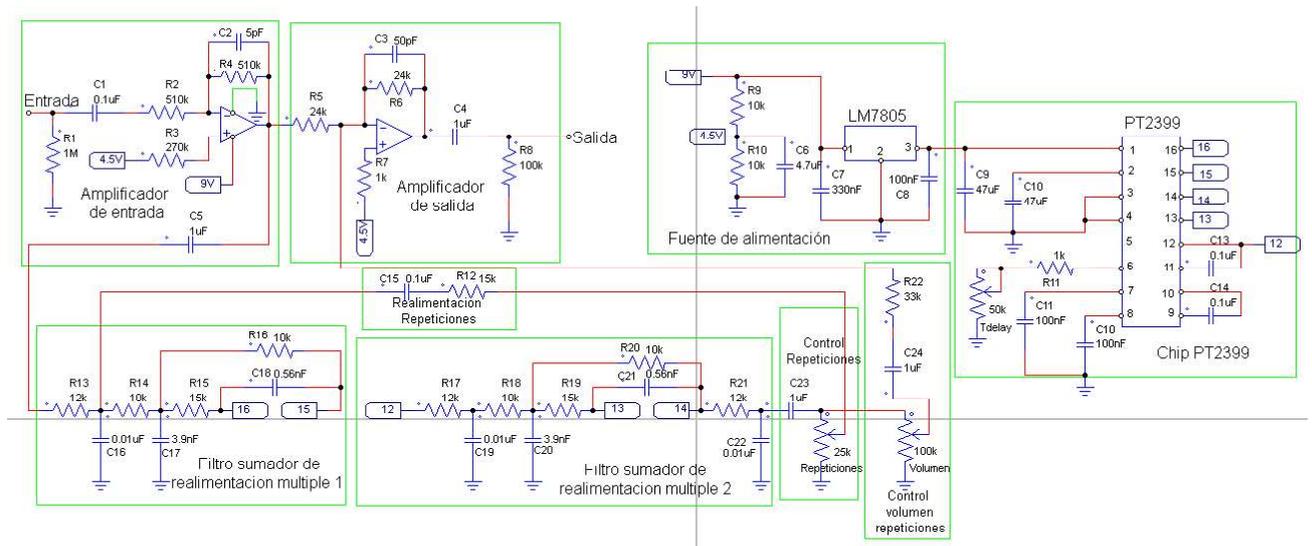


Figura 2.27. Circuito completo para efecto Delay

La etapa *Amplificador de entrada* posee un filtro pasa altos que corta toda señal continua que pueda estar presente. Este filtro está formado por el capacitor C1 y el resistor R2, que da una frecuencia de corte de 3.12 Hz. Después, está la parte de Biasing, que usa el mismo concepto visto en el diseño del circuito de distorsión con amplificador operacional. En adición, este cuenta con un filtro pasabajos formado por el capacitor C2 y el resistor R4, que da una frecuencia de corte de 62.41 kHz, que corta el ruido de alta frecuencia y armónicos no deseados. El resistor también define la ganancia unitaria del amplificador operacional, con respecto a la señal de entrada.

La etapa *Amplificador de salida* se encarga de realizar la suma de señales vista en la figura 2.20. De la misma manera que en la entrada, cuenta con Biasing para no recortar la señal a nivel de 0 V. Este amplificador operacional está configurado para sumar la señal de la entrada con una señal proveniente de otra parte del circuito, siendo esta última las repeticiones añadidas. También posee un filtro pasa bajos formado por C3 y R4, que cuenta con una frecuencia de corte más elevada, de un valor de 132.62 kHz. Finalmente, el capacitor C4 y el resistor R8 forman un filtro pasa altos de frecuencia de corte de 1.59 Hz, que evita que pase una componente continua hacia el amplificador de sonido.

La etapa *Fuente de alimentación* regula los 9 V de entrada a 5 V, requeridos por el chip PT2399 para su correcto funcionamiento. Además, provee de 4.5 V necesarios

para el proceso de Biasing de los amplificadores operacionales de las etapas de entrada y salida.

La etapa *Chip PT2399* muestra la configuración que necesita el circuito integrado para funcionar correctamente. Además, cuenta con el control de tiempo de retraso del sonido, el cual fue diseñado con un potenciómetro de 50 k Ω para tener más tiempo de retraso del mostrado en la tabla 2.1. El resto de elementos fueron seleccionados de acuerdo a las especificaciones de funcionamiento dadas por el fabricante, Princeton Technologies, en el datasheet del circuito integrado. [11]

Las etapas *Filtro sumador de realimentación múltiple 1 y 2* cuentan con el mismo diseño descrito en para la figura 2.16, razón por la cual cuentan con los mismos valores de resistencia y capacitores. En adición, ambas etapas cuentan con un filtro pasa bajos formado por el resistor R13 y el capacitor C16 para la etapa 1, y R17 y C19 para la etapa 2. Los resistores tienen un valor de 12 k Ω y los capacitores un valor de 0.01 μ F, cuya frecuencia de corte da un valor de 1326,29 Hz. Este filtro se permite tener una frecuencia de corte más baja que los demás, ya que para este punto todas las frecuencias más altas la han sido filtradas. Sin embargo, la etapa 2 cuenta con un filtro pasabajos a su salida, formado por R21 y C22, que cuenta con los mismos valores descritos anteriormente. [23]

La etapa *Control de repeticiones* realimenta parte de la señal hacia la etapa de *Filtro Sumador de realimentación múltiple 1*, referido desde ahora como FSRM1, la cual se encarga de cambiar el número de repeticiones que se añaden a la señal de origen. Trabaja junto con la etapa *Realimentación de repeticiones*, la cual posee el resistor R12 de 15 k Ω que controla la ganancia que tiene este lazo con respecto a la etapa FSRM1, concretamente con los resistores R14 y R16. Aquí se puede ver la ventaja de realizar esta configuración de filtro, ya que nos permite realizar la suma de la señal de entrada del FSRM1 y la salida del FSRM2, lo que resulta en tener la capacidad de controlar cuantas repeticiones se adicionan. Finalmente, la selección del potenciómetro se realiza en base a que, junto con el capacitor C23 de 1 μ F, forma un filtro pasa altos, por lo que con un valor de 25 k Ω entrega una frecuencia de corte de 6.36 Hz, que deja pasar toda la señal y no permite el paso de componentes de corriente continua.

Para finalizar, la etapa *Control de volumen de repeticiones* envía una cantidad ajustable de la señal de las repeticiones hacia la etapa *Amplificador de salida*. En esta última, se suma a la señal original y se envía al amplificador de sonido, donde se

podrá apreciar el sonido. La suma y amplificación de la señal de origen y sus repeticiones se rige por la ecuación 2.13.

$$V_{salida} = \frac{1}{R_6} (R_5 V_{origen} + R_{22} V_{repeticiones}) \quad (2.13)$$

Con los valores de R5 y R6 siendo iguales a 24 kΩ y R22 siendo 33 kΩ, se garantiza que las repeticiones tendrán siempre menor volumen que la señal original.

2.3. AFINADOR

El pedal afinador requiere que la señal de la guitarra sea modificada para ser aceptada por la tarjeta STM32F103. Por lo tanto, se requiere que el nivel de voltaje de la señal no exceda los 3.3 voltios que admite sus puertos de entrada [7]. Sin embargo, la programación usada solo requiere que se mantenga la frecuencia de la señal.

Esto último permite que la señal pueda ser transformada a un tren de pulsos que mantenga la frecuencia de la onda inicial de cada cuerda, donde la frecuencia será el inverso de la suma del tiempo en alto y el tiempo en bajo. También se implementa un filtro pasabajos mediante programación, que evita que los valores de frecuencia del ruido se muestren en pantalla.

2.3.1. Circuito de acondicionamiento

Usando el mismo esquema de amplificador con Bias de la figura 2.2, se puede elevar el voltaje de la señal de entrada para evitar el corte en 0 V, al estar usando una fuente unipolar. Se debe tomar en cuenta que no todas las cuerdas tendrán una señal eléctrica con la misma amplitud, y que esta irá decreciendo según la masa de la cuerda. Entonces, se sabe que la primera cuerda, correspondiente a E4, tendrá la amplitud más baja entre todas las cuerdas en la guitarra.

En la figura 2.28 se puede ver la primera etapa que corresponde a la amplificación, que usa un circuito amplificador no inversor con acoplado en AC. Esto para que solamente la señal AC sea amplificada y el valor del offset aplicado sea constante.

El diseño se realiza tomando en cuenta la baja amplitud que tiene la primera cuerda, que tiene un valor aproximado de 60 mV. Una ganancia de 20 llevaría a la señal hasta

una amplitud de 1.2 V, valor el cual ya es más apropiado para trabajar en las etapas posteriores.

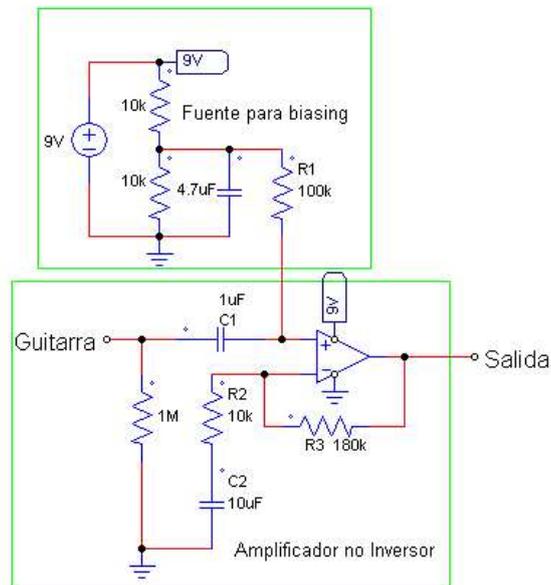


Figura 2.28. Circuito amplificador con acoplado en AC

Sin embargo, al tratar con la ecuación 2.14 y valores comerciales de resistencia, debemos usar 180 k Ω y 10 k Ω para alcanzar una ganancia de 19. Este valor es aceptable y deja la amplitud en 1.14 V.

$$V_{salida} = \left(\frac{R_3}{R_2} + 1 \right) V_{entrada} \quad (2.14)$$

Además, se debe usar la ecuación 2.15 para obtener los valores de R1, C1 y C2, los cuales permiten el paso del offset sin que sea amplificado y actúan como filtros pasa altos.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \quad (2.15)$$

Tomando en cuenta el valor de R2 de 10 k Ω y una frecuencia de corte de 1.5 Hz, el valor que toma C2 es de 10.61 uF, valor que se modifica a 10 uF para usar un capacitor comercial.

De la misma manera, si consideramos a R1 como 100 k Ω y la nueva frecuencia de corte de 1.59 Hz, que toma en cuenta R2 y C2, el capacitor C1 toma un valor de 1uF.

En la figura 2.29 se puede observar las señales de entrada y dos salidas de distinta amplitud. Se puede ver que las dos señales de salida tienen el mismo offset.

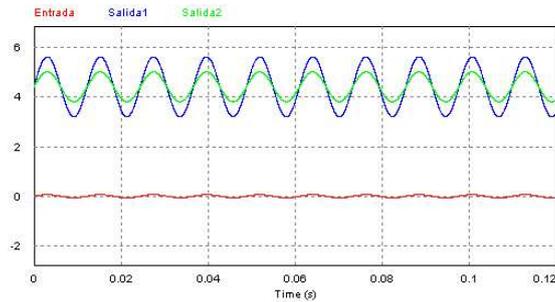


Figura 2.29. Señal de entrada (rojo) y salidas amplificadas con offset (azul y verde)

La segunda parte del circuito de acondicionamiento es un comparador simple, que usa como voltaje de referencia el mismo voltaje de bias que usa el amplificador no inversor, de valor 4.5 V. El comparador se muestra en la figura 2.30.

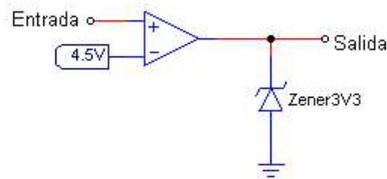


Figura 2.30. Comparador simple con referencia de 4.5V

El comparador funciona de tal forma que se obtiene a su salida el voltaje de alimentación, si el voltaje en la entrada es mayor a la referencia de 4,5 V, y obtendremos cero voltios en el caso contrario.

El zener mostrado en la figura 2.30 sirve como protección para evitar que las entradas de la tarjeta STM32F103C reciban más voltaje del que pueden soportar. La salida de este circuito se puede ver en la figura 2.31.

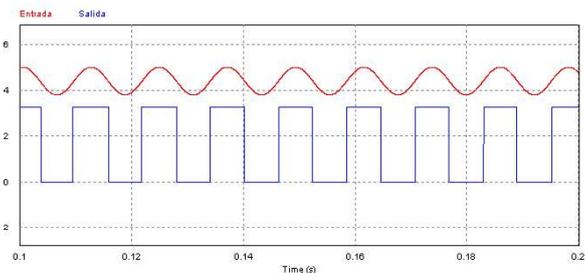


Figura 2.31. Señal de entrada con offset (rojo) y salida comparada (azul)

La salida de este circuito muestra una señal PWM, cuya frecuencia sigue siendo la misma que la ingresada, lo cual se medirá para comparar con las frecuencias de cada nota musical dentro de la tarjeta embebida.

2.3.2. Alimentación de la tarjeta STM32F103

La STM32F103C puede alimentarse con 5 voltios, por lo que se debe bajar el voltaje de entrada de 9 voltios. Para regular este voltaje, usaremos el regulador de voltaje LM317, el cual puede configurarse para entregar varios voltajes, según la figura 2.32 y la ecuación 2.16, provistos por el fabricante. [24]

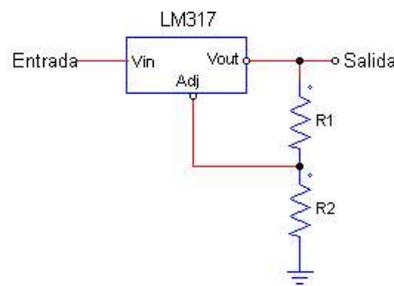


Figura 2.32. Configuración para el regulador LM317

$$V_o = 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (2.16)$$

Con R1 de valor 330Ω y R2 de valor 1000Ω , se obtiene un voltaje de 5.03 V. La ventaja de usar este regulador de voltaje, es su corriente de salida, que llega hasta 1.5 A, lo que nos ayudará a alimentar todos los accesorios que tiene este circuito.

Una consideración que debe hacerse al trabajar con esta tarjeta, es que no se puede usar esta alimentación y el cable USB para programar al mismo tiempo, ya que no cuenta con protecciones para estos casos. Se debe usar solo uno a la vez.

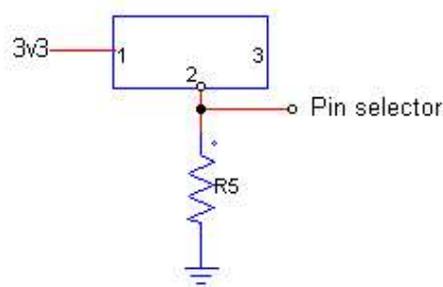


Figura 2.33. Selector de funciones

Además de la fuente, la figura 2.33 muestra como conectar un interruptor de selección a la tarjeta. Se de utilizar como fuente su voltaje interno de 3.3 voltios, ya que ese será el nivel alto que maneja la tarjeta. Este selector se usará para cambiar entre funciones de afinado con La 440 y 432, según el usuario desee.

2.3.3. Implementación de la pantalla gráfica

Se optó por una pantalla TFT LCD con procesador ILI9341, mostrada en la figura 2.34, que cuenta con transferencia de datos SPI, y cuenta con librerías compatibles con la STM32F103C. [25]

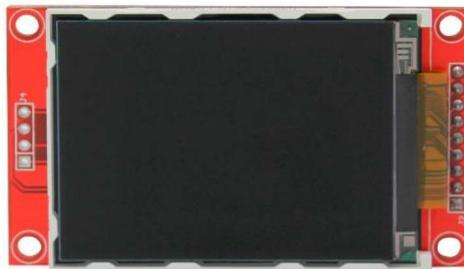


Figura 2.34. TFT LCD 240 x 320 pixeles

En esta pantalla puede configurarse el color de fondo, la rotación de la pantalla y el tamaño de la fuente de las letras que se muestran en pantalla.

2.3.4. Programación de la tarjeta

En cualquier afinador comercial, la detección de frecuencia es la base de todas las demás funciones que posee el equipo. Se programó un detector de frecuencia que usa funciones compatibles con la tarjeta STM32F103C y que se pueden ejecutar en Arduino IDE.

Las funciones permiten usar las señales provenientes del circuito ya descrito y detectar de forma exitosa y muy precisa la frecuencia de la onda. Este sistema fue probado con una guitarra eléctrica y comparada con el afinador Guitar Tuna, disponible para teléfonos inteligentes.

La función usada normalmente suele usarse para medir, mediante cálculos posteriores, la relación de trabajo de una señal PWM de frecuencia constante, al leer solo el tiempo en alto mediante el comando HIGH, pero también puede medir el tiempo

en bajo con el comando LOW, haciendo que se pueda medir las frecuencias que puede entregar cualquier guitarra eléctrica.

Como resultado, la función entrega una cantidad en microsegundos, cantidad la cual, luego de invertir y multiplicar por un millón, entrega la frecuencia ingresada por el puerto. Estas cantidades pueden ser declaradas como double, para tener una frecuencia con dos decimales, que ayude a apreciar mejor el cambio de frecuencia al mover las clavijas.

Sin embargo, esta línea de comando puede devolver las frecuencias del ruido que existan incluso cuando no se está pulsando una cuerda, por lo que la detección de frecuencia variaría en todo momento. Para solucionar este problema, se implementó un lazo condicional que ejecutará el programa solo si se cumple la condición.

Lo siguiente a programar es la discriminación de cuerdas mediante la frecuencia medida. Estas tienen unos valores ya enlistados en la tabla 1.1, y se puede asignar un rango en base al valor de frecuencia de afinación estándar. Esto último porque este es el valor más alto de una nota que puede tomar cada cuerda. Los valores restantes de la misma cuerda siempre son de una frecuencia menor a la estándar.

Se programaron dos condiciones para detectar la cuerda y la nota cercana de la misma. El primer condicional abarca todas las notas que puede tomar la sexta cuerda, como describe la tabla 2.2 en su última parte, mientras que el segundo condicional se centra en un rango de frecuencias alrededor de la nota E2.

El rango elegido de 5 Hz fue escogido para mostrar una ayuda visual en forma de flecha, el cual se mueve a la izquierda si la frecuencia está muy baja o a la derecha si esta está muy alta. En caso de salirse de este rango de frecuencias, el programa detecta que el usuario ha cambiado de nota para afinar y muestra el cambio en la pantalla. El código completo se puede observar en el Anexo A.

La tabla 2.2 también muestra las frecuencias de cada cuerda con sus notas más usadas por músicos profesionales. Esto, junto la línea final de la figura anterior, muestra el porqué de escoger adecuadamente el rango de frecuencias para cada cuerda, ya que después de eso, vendría la programación de cada nota en su respectivo rango, y luego repetir el proceso para cada cuerda de la guitarra. [26]

Tabla 2.2. Frecuencias de cada nota de cada cuerda en modo La 440.

Estándar	½ step down	1 step down o Drop D	Drop C
E4=329,63	E4b=311,13	D4=293	-
B3=246,94	B3b=233,08	A3=220	-
G3=196	G3b=185	F3=174	-
D3=146,83	D3b=138,59	C3=130	-
A2=110	A2b=103,83	G2=98	-
E2=82,41	E2b=77,78	D2=73	C2=65,41

La tabla 2.2 puede modificarse con los respectivos valores para afinación en modo La 432, cuyas frecuencias quedan como se muestra en la tabla 2.2. [26]

Tabla 2.3. Frecuencias de cada nota de cada cuerda en modo La 432.

Esándar	½ step down	1 step down o Drop D	Drop C
E4=323,63	E4b=305,46	D4=287,66	-
B3=242,44	B3b=228,83	A3=216	-
G3=192,43	G3b=181,63	F3=170,83	-
D3=144,15	D3b=136	C3=127,6	-
A2=108	A2b=102	G2=96,21	-
E2=80,91	E2b=76,36	D2=71,67	C2=64,21

Comparando ambas tablas, se puede observar que existe una relación entre las frecuencias de La440 y La432. Esta se obtiene al dividir una frecuencia de una tabla para su contraparte en la otra tabla. El resultado es constante y puede ser usado

mediante el interruptor selector de la figura 2.33 para cambiar un factor en los condicionales de cada nota.

Esto permite ahorrar líneas de código, cambiando el factor f según la posición del interruptor de selección. La ecuación 2.17 muestra un ejemplo de cómo calcular el valor de f , de manera que se use en el código. Los valores de frecuencia usados corresponden a E2 en 432 y 440.

$$f = \frac{80.91}{82.41} = 0.9817 \quad (2.17)$$

2.4. CONSIDERACIONES GENERALES PARA DISEÑO DE PCB

Para la realización del diseño de las placas electrónicas de cada pedal, se tomarán en cuenta las normas establecidas por la Comisión Electrotécnica Internacional o IEC por sus siglas en inglés. Dichas normas fueron extraídas del compilado EIEC 52-102, que detallan los requisitos que deben cumplir las placas que no posean orificios metalizados. [27]

2.4.1. Tamaño de los conductores

Esta medida suele definirse en función de la corriente que fuese a circular por las pistas conductoras. Además, para aplicaciones de más corriente, también depende del incremento de temperatura durante la operación, el espesor del cobre presente en la placa y de la resistencia que presente dicha pista.

Para los casos presentados en este proyecto, la corriente consumida no supera los 150 mA, y sus componentes no presentan un cambio significativo en su temperatura. Esto ayuda a definir el ancho de las pistas solamente basado en la corriente circulante, para lo cual se toma como base a la norma ya mencionada y al Track Mode de Ares del software Proteus. Para garantizar una conducción óptima tanto de alimentación como de señal AC producida por la guitarra, se diseñó las placas con un grosor de T30, correspondiente a 0.508 mm, el cuál puede soportar una corriente de hasta 700 mA, con lo que estaremos seguros de no causar daño a las pistas conductoras e cada una de las placas.

2.4.2. Distancia mínima entre pistas conductoras

Las herramientas disponibles en Ares de Proteus permiten definir la separación entre las pistas conductoras y la malla de tierra en un valor definido. Este valor no debe ser

inferior a los 0.508 mm, aunque varios autores definen a la separación de un valor igual al ancho de las pistas conductoras. Para el presente proyecto, se mantendrá la separación de 0.508 mm, al no tener pistas de un ancho superior a ese valor. Dicho valor también se mantendrá entre las pistas y los bordes de la placa.

2.4.3. Ángulo de trazado de pistas conductoras

Con el fin de evitar el efecto de arco eléctrico provocado por conductores con ángulos muy pronunciados, el ángulo de las pistas en una curva no debe ser inferior a los 90 grados.

Otras consideraciones que se deben tener en cuenta hacen referencia a la posición de los elementos en la placa, que siempre deben estar paralelos a los bordes de la misma.

2.5. PLACA DE DISTORSIÓN

La placa diseñada incluye todos los elementos mostrados en la parte de diseño del circuito de distorsión usando un transistor. Las medidas de esta placa deberán ser las mismas que la parte inferior interna de las cajas usadas para su encapsulamiento, por lo que sus medidas deberán ser ajustadas a dichas cajas.

Además, hay que tomar en cuenta que varios de los componentes, como el botón 3PDT, los jacks estéreo y el jack de alimentación DC sobresaldrán, ya sea de la placa o de la caja de encapsulado. Por esta razón, la placa no requiere de tornillos de aseguramiento a la caja, ya que los propios elementos aseguran la caja mediante sus tuercas.

La posición en el extremo superior de la placa del jack de alimentación DC se debe a dos razones. La primera siendo que los pedales de marcas comerciales cuentan con la alimentación en la parte superior de su carcasa, y si se quiere que estos equipos puedan ser utilizados de manera sencilla junto a otros, se debe seguir esta directriz. La segunda razón es porque permite colocar una malla de tierra en el contorno de la placa, lo que permite diseñar la placa con menos líneas de tierra.

Sin embargo, las normas establecidas para el diseño de placas establecen que también se use una malla de voltaje de alimentación, pero en este diseño no se la utiliza, ya que los únicos elementos que requieren de una alimentación positiva son el transistor y el led piloto que indica si el efecto está activado o desactivado, el cual también sobresale de la carcasa y debe ser colocado en una posición superior. El botón 3PDT debe ser colocado en la parte inferior centrado para facilitar su operación,

mientras que los jacks estéreo deben estar uno a cada lado, aunque esto último no es una regla estricta de fabricación de pedales para guitarra. La ubicación que tendrán todos los elementos en la placa se puede observar en la figura 2.35.

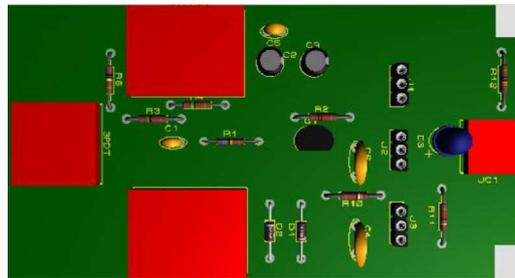


Figura 2.35. Distribución de componentes de la placa de distorsión

Tomando en cuenta que el diseño presentado para el efecto de distorsión no consume una corriente mayor a 150 mA, se puede usar un ancho de pista conductora de 0.25 mm según las normas. Sin embargo, como se estableció antes, se usará una tamaño de pista de 0.508 mm, correspondiente a T30 del software Proteus. Esto ayudará a mejorar la conducción, para evitar que se atenue la señal de la guitarra, y que el circuito entregue el máximo efecto de distorsión posible.

El diseño de la placa no puede superar los 9 cm de altura y los 6 cm de ancho, ya que esas son las medidas que tienen los pedales comerciales que tienen el mismo efecto y características de operación.

Para realizar el diseño de la placa, es necesario construir en el software los modelos de varios elementos, como los jack estéreo especiales para PCB, el jack DC de alimentación y el botón 3PDT. Esto asegura que todos los elementos soldados a la placa y que proveen de sujeción de la misma a la carcasa puedan entrar sin problemas. El diseño final de la placa de distorsión puede verse en la figura 2.36.

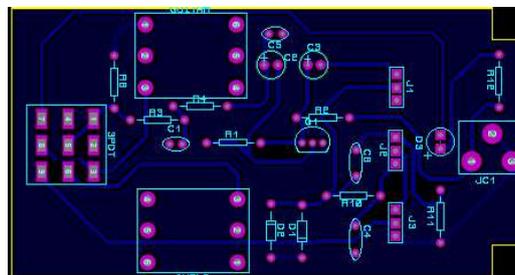


Figura 2.36. Diseño de placa de distorsión

Los conectores J1, J2 y J3 representan a los potenciómetros de control del circuito, los cuales controlan la cantidad de distorsión aplicada (Drive-J1), el tono de la señal (Tone-J2) y el volumen de salida de la señal (Level-J3).

2.6. PLACA DE DELAY

La placa diseñada incluye todos los elementos mostrados en la parte de diseño del circuito de delay. Las medidas de dicha placa serán de 9x6 cm, al igual que la placa de distorsión, para usar un modelo igual de encapsulado en este pedal.

Sin embargo, al ser una placa que usa más elementos, se debe reemplazar los jacks Estéreo de PCB por unos jacks convencionales atornillados al encapsulado solamente, sin estar soldados a la placa. A pesar de esto, el botón 3PDT sigue estando sujeto tanto a la placa como al encapsulado, lo cual sostiene la placa con su tuerca sin necesidad de tornillos adicionales.

En este caso, también se coloca una malla de tierra, pero no una de voltaje positivo, por falta de espacio. Sin embargo, esto no llega a ser un problema para la aplicación presente. De la misma manera, el led piloto de la placa debe ser colocado en la parte superior de la placa y el botón 3PDT en la parte inferior, para que se pueda presionar con facilidad. Los elementos como el chip PT2399 y el amplificador operacional OPA2134 serán colocados con un zócalo, para poder ser reemplazados en caso de fallas o mantenimientos.

El regulador 7805 será colocado cerca al chip PT2399 que se alimenta con su salida de 5 V, para evitar que el regulador entregue más corriente debido a la longitud de sus pistas. La ubicación de todos los elementos del circuito se pueden observar en la figura 2.37.



Figura 2.37. Distribución de componentes de la placa de delay

El diseño de las pistas se realiza con la misma medida de 0.508 mm correspondiente a la medida T30 de Proteus. En este caso, los elementos creados de forma

personalizada solo son el botón 3PDT y el jack de alimentación DC. El diseño de la placa final se puede observar en la figura 2.38.

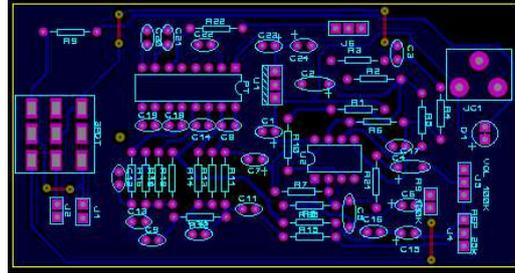


Figura 2.38. Diseño de placa de delay

Los elementos J1 y J2 que se encuentran a la derecha del botón 3PDT corresponden a los terminales de entrada y salida de los jacks estéreo respectivamente, los cuales deben ser cableados y asegurados a la caja del pedal.

2.7. PLACA DE AFINADOR

La placa diseñada incluye todos los elementos mostrados en la parte de diseño del circuito de afinación. Las medidas de dicha placa serán las mismas utilizadas en las placas anteriores.

Esta placa presenta al microcontrolador STM32F103C, el cual posee 40 pines en su estructura. Esto resulta en que elemento puede utilizar mucho espacio y dificultar el trazado de las pistas conductoras para los demás elementos. Para solucionar este problemas, se implementaron dos alternativas.

La primera consiste en realizar una placa de doble lado, en la que en su parte superior se trazarán pistas que complementan a las pistas de la parte inferior. En la parte inferior se sueldan los elementos de manera normal y se realiza el trazado de más pistas. La segunda alternativa consiste en no soldar ni perforar espacios para varios de los pines de la STM32F103C. Se debe tomar en cuenta que los pines no conectados no deben tener funciones asignadas para la aplicación, y que tampoco se debe dejar al microcontrolador sin anclaje a la placa. Con estas consideraciones, se puede colocar el microcontrolador sin problemas.

En adición a los elementos creados de forma personalizada ya cubiertos con anterioridad, se crea uno extra que corresponde al interruptor de selección de modo de

2.8. DISEÑO DE CAJAS METÁLICAS

Actualmente, se puede conseguir en el mercado varios modelos de cajas que pueden albergar las placas electrónicas previamente diseñadas. Sin embargo, se tomará en cuenta un tamaño similar a los pedales de las marcas MXR y una estructura de aluminio, para menor peso y posibilidad de modificación a nuestras necesidades.

La figura 2.41 muestra al pedal “distortion +” de la marca MXR, que posee unas dimensiones de 11 cm de largo, 5.9 cm de ancho y 3 cm de alto sin contar la altura de las perillas de control [28]. Estas serán las medidas que usaremos para diseñar la carcasa de nuestros pedales.



Figura 2.41. Pedal distortion + de MXR para referencia de tamaño

Cabe resaltar que el diseño de la caja en general se lo realizará solo una vez, y a partir de la caja completa, se adecúa la caja para cada pedal, con sus respectivas perforaciones.

Usando la aplicación web de AutoCAD, se realizó un modelo 3D de la caja que se necesita para las aplicaciones, a partir de las medidas ya listadas anteriormente. Además, se requiere que la caja pueda ser abierta por la parte de abajo, por lo que se incluyó una sección de la misma que se puede retirar mediante tornillos.

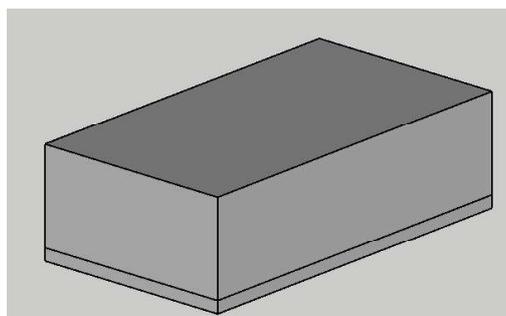


Figura 2.42. Modelo general de caja para pedales

La figura 2.42 muestra dicho modelo de la caja, en el que se puede apreciar su forma de prisma rectangular y la sección inferior que hace de tapa de la caja.

Este será el modelo en el que haremos las modificaciones para cada pedal, por lo que se puede tener tres cajas de iguales características, pero con modificaciones personalizadas a cada una.

2.8.1. Cajas para Distorsión y Delay

Al tener la misma cantidad de elementos que sobresalen de las cajas, siendo estos el led piloto, el botón 3PDT, los jacks estéreo y los 3 potenciómetros de control, se puede diseñar sus perforaciones de la misma manera y en las mismas posiciones. Los diámetros fueron medidos a partir de los potenciómetros, del diámetro del led y del diámetro del botón 3PDT.

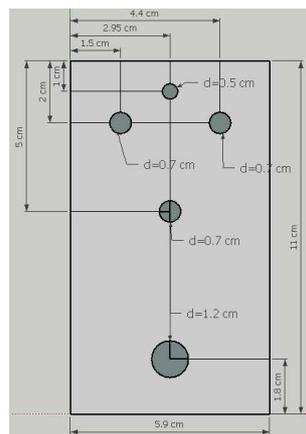


Figura 2.43. Modificación de cara frontal para pedales de distorsión y delay.

La figura 2.43 muestra las medidas necesarias para modificar la caja, basándose en las posiciones de los elementos encontrados en la figura 2.41.

El diseño mostrado incluye también el diámetro de los agujeros en donde van los elementos, para que sea posible escoger una broca del tamaño adecuado.

Para los agujeros correspondientes a los jacks estéreo, se midió la distancia desde la base de la placa diseñada para la distorsión y se aplicó dicha medida en el modelo. Para el modelo de la caja para el delay, se usó la misma medida, ya que esta placa no cuenta con jacks estéreo de PCB. Se toma en cuenta solo la distancia desde la pieza principal de la caja. La tapa de la caja no es tomada en cuenta.

Las medidas, tanto del lado izquierdo como el derecho se muestran en la figura 2.44.

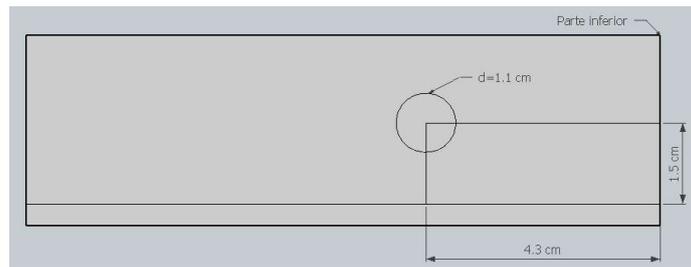


Figura 2.44. Modificación de cara lateral para pedales de distorsión y delay

Siendo el jack DC de forma cuadrada, la perforación en la caja debe tener la misma forma. Las medidas que tiene se midieron a partir de la placa y de las dimensiones del jack DC. Dichas medidas pueden observarse en la figura 2.45.

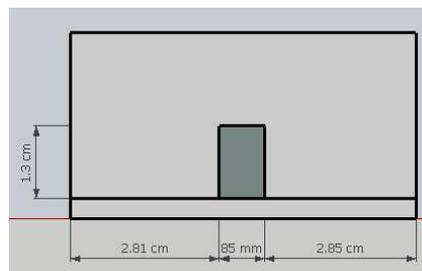


Figura 2.45. Modificación de cara superior para pedales de distorsión y delay

2.8.2. Caja para afinador

Las modificaciones de la caja para la placa de afinación requieren de un gran agujero de forma rectangular en el centro de la cara frontal. Este está destinado a la pantalla gráfica del equipo. Además, también requiere de dos agujeros circulares, uno para el botón 3PDT y otro para el interruptor de selección.

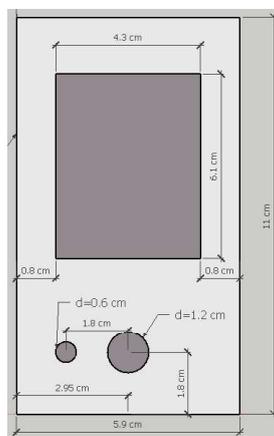


Figura 2.46. Modificación de cara frontal para pedal de afinación

Las medidas de estas modificaciones se obtuvieron a partir de la placa diseñada para el afinador y de las dimensiones de la pantalla gráfica. Estas medidas puede observarse en la figura 2.46.

Al tener los jacks estéreo en distintas posiciones con respecto a la cara superior de la caja, es preciso tener sus medidas exactas, para que al realizar la modificación, estos puedan entrar en la caja sin problemas.

La figura 2.47 muestra la ubicación medida de cada jack, en la cara izquierda y derecha de la caja. En la figura se puede apreciar que sus distancias son distintas, pero que la altura con respecto a la base es la misma en ambos casos. Esto es porque al estar en la misma placa comparten la altura a la que se elevan.

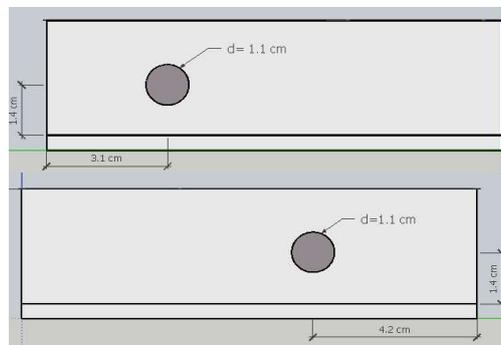


Figura 2.47. Modificación de cara izquierda y derecha para pedal de afinación

La perforación para el jack DC de esta placa es la misma que se muestra en la figura 2.45, con las mismas medidas y posición.

2.8.3. Diseño de máscara de pedales

Luego de mantener una reunión con los directores y auspiciantes del proyecto, se decidió que cada pedal necesita de un diseño de máscara personalizado. Cada máscara mantendrá un tema de animales, a excepción del pedal de afinación, ya que este presenta una gran pantalla que no deja mucho espacio para el diseño. En este último se usará un patrón de hojas de colores rojo, beige y negro. Para representar la perfección en las cuerdas de una guitarra que debe dejar el uso de un afinador, se usará el nombre de “Crazy Diamond”, haciendo referencia a la brillantez que reflejan los diamantes.

Para la imagen del pedal de delay, se resolvió usar un murciélago, que usa ondas ultrasónicas que se repiten varias veces para orientarse. Esto representa a la

característica de reproducir la señal una o varias veces que realiza el efecto delay. Para el nombre se hace referencia al sonar usado por delfines, que fue otro animal considerado para la portada, y al primer diseño de circuito de efecto de delay, el cual aplicaba 4 repeticiones y luego cortaba el sonido. Como consecuencia de estos conceptos, el nombre que se usará para este pedal es “D4C / Sonar”.

Finalmente, para emular la agresividad y la fuerza del efecto de distorsión se decidió incorporar una leona, debido a que estas felinas son conocidas como cazadoras feroces e implacables. El nombre usado será “Killer Queen”, que hace referencia a su popular apodo de Reinas de la selva.

En la figura 2.48 se pueden observar las 3 máscaras diseñadas, con sus respectivos nombres, imágenes e indicadores de cada pedal.



Figura 2.48. Máscaras para pedal de Delay, Distorsión y Afinador

2.9. PLACAS ELABORADAS DE CADA PEDAL

Las placas previamente diseñadas se realizaron en baquelita de fibra de vidrio y cuentan con varias añadidos para mejorar su desempeño y su durabilidad. Estos son el uso de estañado líquido en frío para mejorar la conductividad de las pistas conductoras y la aplicación de pintura antisoldante. Esta última brinda a la placa electrónica una protección contra agentes que provocan la corrosión de las pistas conductoras, además de agregar un acabado elegante y del color que se elija para la pintura, en este caso, azul.

La pintura antisoldante requiere ser aplicada después de la aplicación del estaño líquido, y ser secada con luz ultravioleta, o, en su defecto, a la luz del sol.

Como precaución al momento de ponerla a secar, se debe colocar una superficie transparente sobre la placa pintada y señalar con marcador de tinta indeleble los lugares donde no queremos que se seque la pintura. Dichos lugares suelen ser las perforaciones de cada elemento.

2.9.1. Placa de distorsión

La placa de distorsión elaborada en base al diseño previamente presentado puede observarse en la figura 2.49. Esta versión de distorsión es la que irá dentro de su respectiva caja y es la versión final que será presentada. Se pueden apreciar los agujeros rectangulares que alojarán a los pines del botón 3PDT.



Figura 2.49. Reverso de la placa de Distorsión

También se puede ver la coloración azul dada por la pintura antisoldante que, como se estableció anteriormente, le da un acabado más elegante y comercial, además de proteger las pistas conductoras de la corrosión.

La figura 2.50 muestra todos los elementos colocados en la placa de distorsión elaborada. Se pueden ver los jacks estéreo de color negro a cada lado, el botón 3PDT, el jack de fuente DC y los potenciómetros de control, que son las piezas que sobresalen de la caja.



Figura 2.50. Placa terminada de Distorsión

2.9.2. Placa de Delay

La elaboración de la placa de Delay se llevó a cabo bajo los mismos parámetros de la placa de Distorsión, pero con los respectivos cambios que se establecieron en la parte del diseño de la misma. El más notable de estos cambios es el uso de jacks monoaurales atornillados a la caja, por lo que estos no forman parte de la placa electrónica, pero se ven cuando el pedal está completamente ensamblado. La figura 2.51 muestra el reverso de la placa electrónica de Delay, y se puede observar la aplicación de la pintura antisoldante.

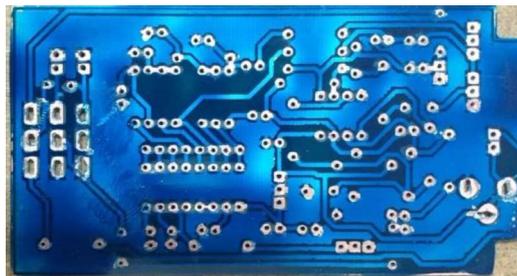


Figura 2.51. Reverso de la placa de Delay

La figura 2.52 muestra la placa de Delay con todos sus elementos soldados. En dicha imagen se puede observar el botón 3PDT, los potenciómetros de control y el chip PT2399, componente esencial en este diseño. Debido a su alta importancia, este chip no fue soldado a la placa, sino que se usó un zócalo de 16 pines, sobre el cual va colocado el chip. Esto permite su reemplazo en caso de avería por causas externas al diseño del circuito.



Figura 2.52. Placa terminada de Delay

Adicionalmente, la disposición de los elementos al lado izquierdo y derecho de la placa permite que los jacks atornillados en la caja puedan ser cableados y que no toquen a los elementos.

2.9.3. Placa de Afinador

La placa de afinador es la única en el grupo que fue hecha a doble lado, dado el requerimiento de espacio y el gran tamaño de elementos como el microcontrolador STM32F103C. En la figura 2.53 se puede observar que se aplicó pintura antisoldante en ambas caras de la placa. También se puede observar las perforaciones para el botón 3PDT, los jacks estéreo y un zócalo de 40 pines, donde irá ubicado el microcontrolador.



Figura 2.53. Parte frontal y reverso de la placa de Afinador

La figura 2.54 muestra la placa de Afinador con todos sus elementos soldados. Como se había dicho anteriormente, el microcontrolador fue colocado en su zócalo, al igual que el amplificador operación OPA2134. Además, se colocó un espadín hembra de 10 entradas, el cual servirá como anclaje de la pantalla. Esto permite que la pantalla pueda ser retirada en caso de mantenimiento del resto de la placa, además de que le permite ganar altura dentro de la caja, para que la pantalla sobresalga de la caja.

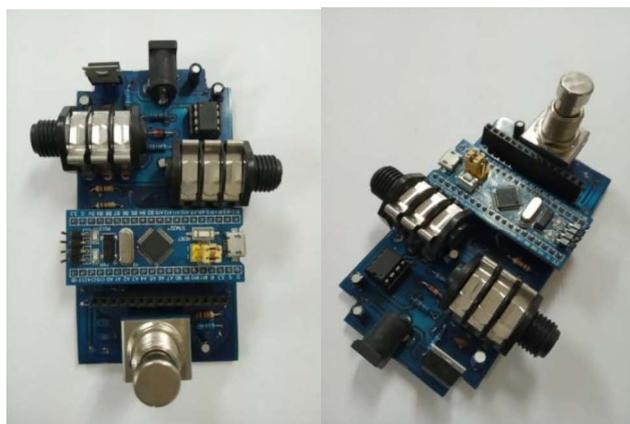


Figura 2.54. Placa terminada de Afinador

En la figura 2.55 se puede observar como la altura de la pantalla colocada está al nivel del botón 3PDT, por lo que se asegura que tiene la elevación suficiente para sobresalir de la caja.



Figura 2.55. Placa de Afinador con pantalla colocada

2.10. CAJA DE ALUMINIO PARA PEDALES

Las cajas que se usarán para los 3 pedales comparten las siguientes características:

- Sus medidas son 115 x 65 x 35 cm. La parte interior de la tapa cuenta con una división marcada en los bordes de la misma, que sirve para delimitar el sitio donde se asienta la placa electrónica y que no sufra daños por parte del resto de la caja.
- La caja se cierra usando 4 tornillos, uno por cada esquina.
- El material de fabricación es aluminio y su superficie es lisa y limpia. Esto las hace ideales para ser perforadas y que puedan ser pintadas de forma personalizada. También se puede aplicarle grabados personalizados o cubiertas impresas a color.

La figura 2.56 muestra la caja que se perforará y personalizará para cada pedal



Figura 2.56. Caja de aluminio para pedales

2.11. PERFORACIÓN DE CAJAS PARA CADA PEDAL

Con las medidas explicadas con anterioridad, se procede a realizar las perforaciones de las cajas para sus respectivas placas electrónicas.

Las cajas que se requieren para los pedales de distorsión y delay pueden observarse en la figura 2.57. Se pueden apreciar los agujeros para los potenciómetros de control, el led piloto y el botón 3PDT.



Figura 2.57. Caja de aluminio perforada para pedales de distorsión y delay

La personalización de la caja para el afinador resulta un poco más extensa, ya que requiere de un agujero de forma triangular con las medidas ya especificadas anteriormente. Esta modificación se la realizó con una sierra caladora fija, que permitía hacer cortes en línea recta muy precisos.

La figura 2.58 muestra la caja con todas sus modificaciones, donde se puede apreciar el agujero rectangular de la pantalla gráfica, el agujero superior para la fuente, y los agujeros circulares al frente y a los lados para los botones y los jacks de entrada y salida.



Figura 2.58. Caja de aluminio perforada para pedal de afinación

2.12. ENSAMBLAJE DE PLACA Y CAJA

Las placas electrónicas fueron acopladas y aseguradas a sus respectivas cajas mediante las tuercas de sus elementos. Como se había establecido, esto evita tener que asegurar la placa a la caja con tornillos de sujeción, lo que significaría tener que realizar más perforaciones en el cuerpo de la caja. La figura 2.59 muestra la caja correspondiente a la placa de Distorsión, y se puede observar como los potenciómetros de control están asegurados firmemente a la caja.



Figura 2.59. Placa de Distorsión acoplada en su caja

De la misma manera, el botón 3PDT debe ser asegurado, y se debe tomar la precaución de usar una contratuerca en el interior de la caja, para mejorar la firmeza del equipo. También se puede observar como los jacks estéreo de entrada y salida están ajustados, lo cual evita que la placa al interior se mueva cuando se introduzcan los cables de entrada y salida.

La figura 2.60 muestra la caja de la placa de Delay, la cual presenta la misma distribución de elementos de la caja anterior.



Figura 2.60. Placa de Delay acoplada en su caja

Se puede apreciar que los potenciómetros han sido cubiertos con perillas de plástico, similares a las que se encuentran en pedales profesionales. De igual manera, se debe asegurar todas las tuercas de potenciómetros, botón 3PDT y jacks estéreo.

La figura 2.61 muestra el pedal afinador ensamblado con todos sus componentes. Se puede observar que la pantalla encaja perfectamente en el agujero rectangular cortado en medio de la caja, y que el botón 3PDT, el selector de funciones a su izquierda y los jacks estéreo también están asegurados firmemente a la caja.



Figura 2.61. Placa de Afinador acoplada en su caja

Se puede observar que parte de la circuitería de la pantalla esta descubierta, pero ese detalle fue una consideración de diseño para el agujero rectangular, ya que se necesitaba que toda la pieza del contorno de la pantalla encaje en la superficie. El sobrante no deseado de la pantalla será cubierto por su portada personalizada.

2.13. PEDALES ENSAMBLADOS CON MÁSCARAS PERSONALIZADAS

Las máscaras de cada pedal fueron impresas como sticers encapsulados, lo cual le da un acabado brillante y que resalta el color de los diseños, además de ofrecer un grado de protección con su burbuja, para que el diseño dentro no sufra daños.

En la figura 2.62 se puede apreciar a cada uno de los pedales, armados en su respectiva caja y con el diseño de máscara para cada uno en su cara frontal.

Además, para los pedales Killer Queen y D4C/Sonar se colocaron sus perillas para el control de los efectos sobre los potenciómetros.



Figura 2.62. Pedales armados y con su respectiva máscara

Se puede observar que los diseños encajaron en la parte frontal de la caja y, en el caso de Crazy Diamond, que el sticker cubrió la parte de la pantalla que no era de interés, como se explicó en la sección de Ensamblaje.

El manual de cada pedal y sus características se puede consultar en el Anexo B.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas de funcionamiento de los pedales de Distorsión y Delay se las realizaron usando el programa Reaper, el cual cuenta con un período de prueba de 60 días. Esto permite usarlo sin necesidad de adquirir una licencia.

Dicho programa es un software que permite grabar, mezclar y comparar sonidos que sean captados por el micrófono de la computadora. Para mejorar la calidad de la grabación, se usó también la tarjeta de sonido USB mostrada en la figura 3.1, que cuenta con un canal para salida de audio y otro para entrada.



Figura 3.1. Tarjeta de sonido USB 3D Sound

Sin embargo, al ingresar la señal de la guitarra o de un pedal de efecto cualquiera, se corre el riesgo de que los niveles de voltaje que ingresan sean demasiado altos para la tarjeta de sonido y esta termine averiándose. Con el fin de evitar este problema, se usa un amplificador Marshall MG15 como el mostrado en la figura 3.2, el cual cuenta con una salida de 3.5mm y los niveles de voltaje apropiados para ser ingresados a la computadora. Dicha salida se puede llevar mediante un cable de audio auxiliar al puerto de entrada de micrófono de la tarjeta de sonido USB.



Figura 3.2. Amplificador Marshall MG15

3.1. Pruebas de Distorsión

Usando el equipo detallado anteriormente, se realizaron pruebas que buscan demostrar que el equipo diseñado puede igualar el desempeño de un equipo fabricado

comercialmente. Para comparar los resultados obtenidos, se implementará un efecto de distorsión usando el pedal comercial Korg AX1500G, mostrado en la figura 3.3.



Figura 3.3. Pedal Korg AX1500

La figura 3.4 muestra la señal grabada de la guitarra bajo 3 efectos. El primero muestra la señal pura, el segundo muestra una distorsión creada por el pedal Korg, y la tercera muestra la distorsión creada por el pedal implementado “Killer Queen”.

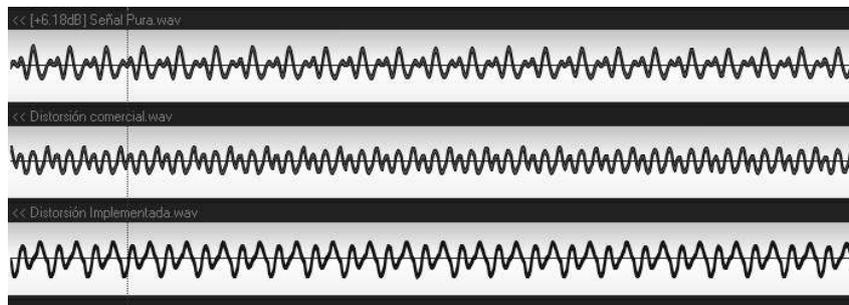


Figura 3.4. Señal pura, señal de distorsión comercial y señal de Killer Queen

Se puede observar que la señal de entrada es recortada tanto por arriba como por abajo, lo que causa el tan distinguible sonido de distorsión. También se puede notar que la distorsión de Killer Queen presenta cambios más pronunciados, que se traducen en un sonido mucho más seco y fuerte.

La tabla 3.1 muestra una comparación de precios de venta del pedal Killer Queen y el pedal DS-1, un pedal de distorsión similar.

Tabla 3.1. Comparación de precios entre Killer Queen y DS-1 de Boss

Pedal	Precio (Dólares)
Killer Queen	64.99
DS-1	80

Se puede observar que el precio de Killer Queen es competitivo en el mercado, y las pruebas muestran que puede hacer lo mismo que el pedal comercial, sin reducción en sus características.

El detalle de los precios puede verse en el Anexo C.

3.2. Pruebas de Delay

De la misma manera, las pruebas para el pedal de Delay toman como referencia la señal que entrega el pedal Korg configurado para efecto delay.

La figura 3.5 muestra la señal pura de la guitarra, el efecto delay producido por el pedal implementado D4C/Sonar y el delay producido por el pedal Korg. La figura incluye marcas de tiempo que muestran el momento en el que se produce el efecto.

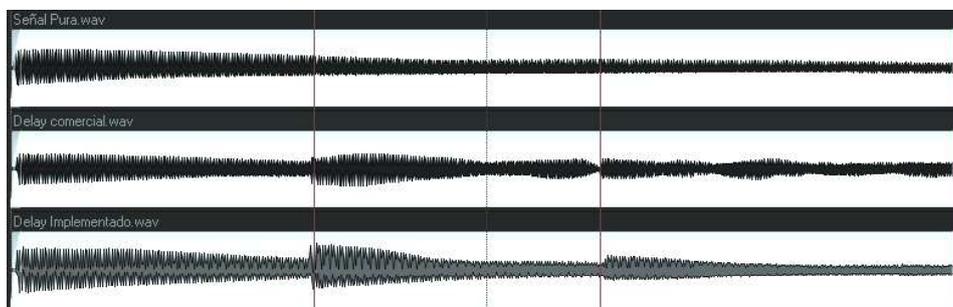


Figura 3.5. Señal pura, señal de delay comercial y señal de D4C/Sonar

Se puede observar que, después de pasado el tiempo configurado para la repetición, la señal procesada se añade a la original, haciendo que suba la amplitud de la señal. Este proceso se repetirá dependiendo de la cantidad de repeticiones que hayamos configurado mediante el potenciómetro de repeticiones del pedal.

La prueba muestra que el pedal implementado es capaz de producir el efecto Delay y mantener el tiempo configurado entre repeticiones. Adicionalmente, la tabla 3.2 compara el precio de D4C/Sonar y el precio de DM2w, un pedal de delay de características similares.

Tabla 3.2. Comparación de precios entre D4C/Sonar y DM2w de Boss

Pedal	Precio (Dólares)
D4C/Sonar	87.99
DM2w	149.98

Se puede ver que el pedal cuenta con un precio competitivo, y sus pruebas demostraron que puede igualar el desempeño del pedal comercial mencionado.

Se puede observar el detalle de todos sus elementos en el Anexo C.

3.3. Pruebas de Afinador

Las pruebas del afinador se realizarán en comparación a la popular aplicación Guitar Tuna, la cual está disponible en la tienda de Google Play Store de forma gratuita. Se buscará que el pedal afinador obtenga el mismo resultado que la aplicación, tanto en modo La 440 y La 432, ya que se puede configurar la aplicación para funcionar en estas dos frecuencias.

Las aplicaciones de afinación, tanto de teléfonos inteligentes como de pedales profesionales, dejan un pequeño margen de error, y consideran que la cuerda se encuentra afinada mientras esté en un rango adecuado. Dicho rango también fue imitado en la programación del microcontrolador STM32F103C y abarca 1.5 Hz, tanto hacia arriba de la frecuencia objetivo como hacia abajo.

En la figura 3.6 se observan todas las pruebas realizadas para el modo de afinación La 440. Se puede observar como la aplicación móvil tiene el rango de tolerancia programado, ya que no es necesario que el indicador esté completamente alineado en el centro para que se considere que la cuerda esta afinada.

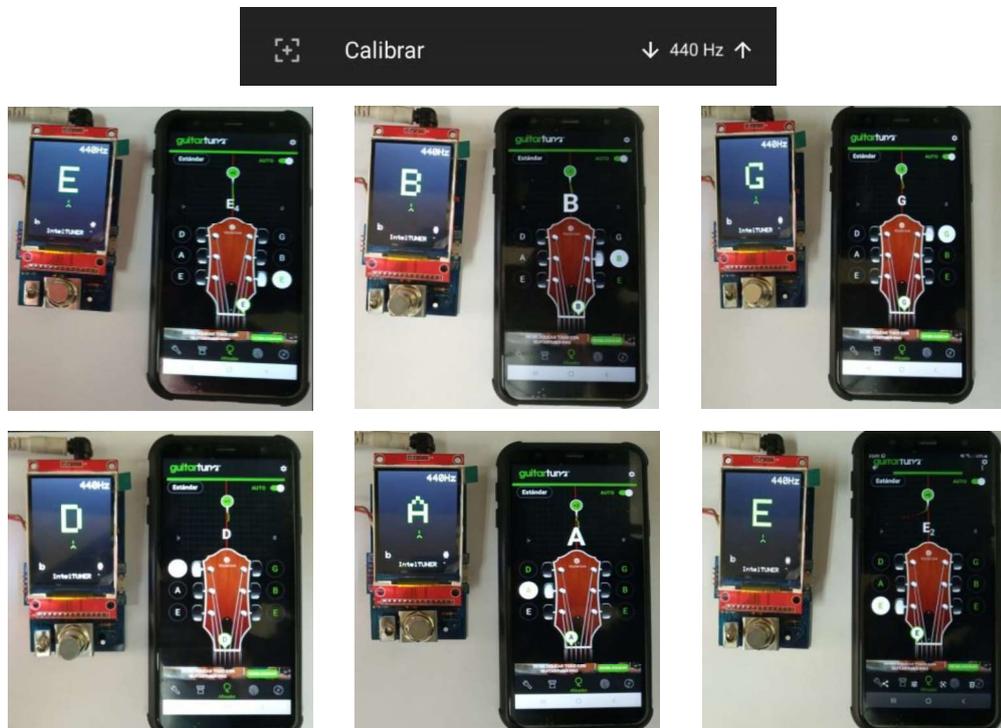


Figura 3.6. Pruebas de afinador en modo La 440

La pantalla del afinador muestra el mismo resultado que la aplicación, y esta pudo ofrecer un resultado más constante sobre una guitarra eléctrica, ya que estaba conectado con cable, y no sufría de interferencia por el ruido ambiental.

De la misma manera, se realizaron pruebas del afinador en su modo de La 432, y sus resultados pueden ser observados en la figura 3.7.



Figura 3.7. Pruebas de afinador en modo La 432

Al igual que en las pruebas anteriores, se puede observar que el afinador implementado logra obtener el mismo resultado que la aplicación móvil, con la misma ventaja de no ser afectado por el ruido ambiental.

Las pruebas realizadas demuestran que el pedal es capaz de afinar el instrumento de manera precisa y comparable a la de afinadores de gran uso en todo el mundo. Su rápido cambio de frecuencia base de afinación mediante el interruptor también resulta útil, ya que no requiere de abrir un menú y navegar por el mismo para seleccionarlo, solo requiere del simple movimiento del interruptor.

La tabla 3.3 muestra una comparación entre el precio de Crazy Diamond y el pedal afinador Polytune 3, de similares características.

Tabla 3.3. Comparación de precios entre Crazy Diamond y Polytune 3.

Pedal	Precio
Crazy Diamond	111.99
Polytune 3	149.99

El precio resulta ser competitivo en el mercado, y el detalle de los elementos se puede observar en el Anexo C.

3.4. Pruebas con guitarristas profesionales

Cada pedal fue probado por dos guitarristas profesionales, los cuales, luego de usarlos a su gusto, llenaron una encuesta de satisfacción, que incluía preguntas sobre la funcionalidad de los pedales.

Los profesionales calificaron como buena o superior las características del pedal de distorsión, refiriéndose al control de Drive, Tono y Volumen de salida. También calificaron como buenas las prestaciones del pedal de delay, siendo estas el tiempo de retraso, el volumen de las repeticiones y la cantidad de estas. Finalmente, expresaron que la precisión del pedal afinador fue buena y con su oído experto fueron capaces de confirmar la nota que se estaba afinando era la correcta.

Sin embargo, hubo una ligera disconformidad con el apartado estético de los pedales, el cual se debe a que en el momento de las prueba, los pedales no se encontraban pintados y con su respectiva máscara.

En general, las encuestas arrojaron buenos resultados y demostraron que los pedales implementados pueden llegar a competir con los pedales existentes en el mercado.

Las encuestas realizadas por los guitarristas profesionales se pueden observar en el Anexo D.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- El funcionamiento de un pedal de afinación requiere de un circuito de acondicionamiento y de un microcontrolador que procese la señal de cada cuerda. Esto necesita de componentes electrónicos diseñados para trabajar con señales de acústicas, y son usados por músicos para afinar guitarras sin importar el ruido ambiental.
- El pedal de distorsión aplica un recorte de la señal original de la guitarra, lo que le brinda el efecto de sonido característico al ser introducido en un amplificador de audio, mientras que un pedal de delay se basa en tomar la señal ingresada de la guitarra y sumarla después de un determinado tiempo, usando un lazo de realimentación.
- El pedal de distorsión se diseñó en base a recortar la señal de la guitarra en su parte superior e inferior. Esto se cumplió en base a una serie de etapas especificadas de la siguiente manera: filtro pasabajos, amplificación, recorte de señal, control de tono y control de volumen.
- El efecto delay requiere repetir la señal de entrada después de un determinado tiempo, por lo tanto, para este pedal se diseñó una etapa de offset que permite trabajar con fuente unipolar, una etapa de suma que adiciona las repeticiones, y un chip PT2399, encargado de retrasar la señal el tiempo determinado.
- El sistema electrónico para afinación requiere de un procesamiento de la señal de la guitarra, por lo tanto, cuenta con un circuito de acondicionamiento para la señal de entrada, un microcontrolador que la procesa y una pantalla que muestra los resultados. Permite al usuario afinar una guitarra en base a la frecuencia de La 440 o en La 432, que suele ser preferida por algunos usuarios.
- Las placas electrónicas de cada circuito necesitan ser del tamaño adecuado para su caja, por lo que fueron diseñadas para tener un tamaño específico y en base a normas de diseño EIEC 52-102, que norma en ángulo de las pistas, el grosor de las mismas, la distribución de los componentes y la malla de tierra para ofrecer cierto grado de protección contra las EMI.
- Se realizó el montaje de las placas dentro de las cajas, las cuales constaban con botones, perillas, y las entradas y salidas de audio, adicionalmente los pedales constan de una máscara personalizada en su cara frontal, que describen las funciones de las pedaleras.

- Las pruebas de cada pedal fueron realizadas por dos guitarristas profesionales. Los dos probaron cada aspecto los pedales y afirmaron que el funcionamiento de cada uno era apropiado y que lograba igualar a equipos similares de marcas reconocidas.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se debe utilizar una fuente de voltaje de 9 V para energizar los pedales, y en caso de utilizar una fuente para dos o más pedales, verificar que la corriente entregada por la fuente sea suficiente para todos los pedales conectados. Los valores de consumo de corriente se pueden observar en el Anexo 1.
- El desempeño de los pedales puede verse afectado por factores como la calidad de la energía suministrada por la fuente, en caso de usarse fuentes demasiado baratas. Otro factor determinante es la calidad de la electrónica interna de la guitarra del usuario, los cables que esté usando y el amplificador.
- Los pedales implementados pueden ser usados con guitarras electroclásicas, electroacústicas y con bajos eléctricos. En el caso del pedal afinador, no se podrá usar con bajos de 5 cuerdas en adelante, ya que la programación no contempla el rango de frecuencias de las cuerdas superiores a la cuarta.
- El pedal de distorsión puede ser modificado en aplicaciones futuras, ya sea usando un tipo de corte de señal más suave, se puede crear un efecto Overdrive, mientras que con una etapa de amplificación extra, se logra una distorsión para Heavy Metal.
- El pedal de delay puede ser modificado para lograr más tiempo de retraso, a costa de calidad de sonido. De la misma manera, se puede conseguir el efecto Echo, realizando otra modificación al circuito del chip PT2399.
- De la misma manera, el pedal afinador puede ser programado para que reconozca todas las notas de cada traste, a costo de que no se podrá reconocer la cuerda pulsada automáticamente por su valor de frecuencia.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Jackson, "For Beginners - Full List of Guitar Pedals & Effects", *Spartan Music*, 2019. [Online]. Available: <https://spartanmusic.co.uk/blogs/smblog/12134577-for-beginners-full-list-of-guitar-pedals-effects>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [2] S. Prim, "Guitar Anatomy - Understanding the Different Parts of the Guitar", *Liberty Park Music*, 2019. [Online]. Available: <https://www.libertyparkmusic.com/the-anatomy-of-guitar/>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [3] R. Berg, "Mersenne's laws | physics", *Encyclopedia Britannica*, 2019. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/Mersennes-laws>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [4] "The Structure of the Electric Guitar : What are pickups? - Musical Instrument Guide - Yamaha Corporation", *Yamaha.com*, 2019. [Online]. Available: https://www.yamaha.com/en/musical_instrument_guide/electric_guitar/mechanism/mechanism002.html. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [5] K. Thakrar, "Standard Guitar Tuning | How to Tune a Guitar for Beginners + Hz Tips", *Open Mic UK*, 2019. [Online]. Available: <https://www.openmicuk.co.uk/advice/standard-guitar-tuning/>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [6] J. Marian, "The "432 Hz vs. 440 Hz" conspiracy theory", *Jakubmarian.com*, 2019. [Online]. Available: <https://jakubmarian.com/the-432-hz-vs-440-hz-conspiracy-theory/>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [7] M. S. Stanojević and M. R. Bjelić, "Digital guitar tuner," 2011 19th Telecommunications Forum (TELFOR) Proceedings of Papers, Belgrade, 2011, pp. 1574-1577. doi: 10.1109/TELFOR.2011.6143860
- [8] "STM32F103C8 - STMicroelectronics", *STMicroelectronics*, 2019. [Online]. Available: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [9] "GM Arts - Guitar Effects", *Gmarts.org*, 2019. [Online]. Available: <http://www.gmarts.org/index.php?go=221>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [10] R. Paiva, S. Angelo, J. Pakarinen and V. Valimaki, "Emulation of Operational Amplifiers and Diodes in Audio Distortion Circuits", *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS—II: EXPRESS BRIEFS*,, no. 59, p. 690, 2012.
- [11] G. Warnstedt, "ElectroSmash - PT2399 Analysis", *Electrosmash.com*, 2019. [Online]. Available: <https://www.electrosmash.com/pt2399-analysis>. [Accessed: 16- Nov- 2019].

- [12] "3PDT Stomp Switch Instructions | stewmac.com", *Stewmac.com*, 2019. [Online]. Available: https://www.stewmac.com/How-To/Online_Resources/Learn_About_Guitar_Pickups_and_Electronics_and_Wiring/3PDT_Stomp_Switch_Instructions.html. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [13] D. Clark, "ElectroSmash - Fuzz Face Analysis", *Electrosmash.com*, 2019. [Online]. Available: <https://www.electrosmash.com/fuzz-face>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [14] R. Salminen, "Design Your Own Distortion | General Guitar Gadgets", *Generalguitargadgets.com*, 2019. [Online]. Available: <http://www.generalguitargadgets.com/how-to-build-it/technical-help/articles/design-distortion/>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [15] "Single-Supply Op Amp Design Techniques." Texas Instruments, 2001. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/sloa030a/sloa030a.pdf/>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [16] "OPAx134 SoundPlus™ High Performance Audio Operational Amplifiers", <http://www.ti.com/>, 2019. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa2134.pdf>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [17] "Transistor Biasing", <https://www.electronics-tutorials.ws/>, 2019. [Online]. Available: <https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/transistor-biasing.html>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [18] "Punto de trabajo Q y recta de carga estática de un transistor - Electrónica Unicrom", *Electrónica Unicrom*, 2019. [Online]. Available: <https://unicrom.com/punto-trabajo-q-recta-carga-estatica-transistor/>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [19] "BC548 BC548A BC548B BC548C", *Philohome.com*, 2019. [Online]. Available: <http://www.philohome.com/sensors/gp2d12/gp2d12-datasheets/bc548.pdf>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [20] "The Physics of Sound and Music", *Physicsclassroom.com*, 2019. [Online]. Available: <https://www.physicsclassroom.com/class/sound/Lesson-4/Fundamental-Frequency-and-Harmonics>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [21] "Small Signal Fast Switching Diodes", *Vishay.com*, 2019. [Online]. Available: <https://www.vishay.com/docs/85622/1n914.pdf>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [22] S. Yao, "Audio Effect Units in Mobile Devices for Electric Musical Instruments", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 159239-159250, 2019. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8888258&isnumber=8600701>.
- [23] "Multiple Feedback Low-pass Filter Design Tool", *Sim.okawa-denshi.jp*, 2019. [Online]. Available: <http://sim.okawa-denshi.jp/en/OPtazyuLowkeisan.htm>. [Accessed: 16- Nov- 2019].

- [24] "LM317 3-Terminal Adjustable Regulator", *http://www.ti.com/*, 2019. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/slvs044x/slvs044x.pdf>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [25] "2.4inch SPI Module ILI9341 SKU:MSP2402 - LCD wiki", *Lcdwiki.com*, 2019. [Online]. Available: http://www.lcdwiki.com/2.4inch_SPI_Module_ILI9341_SKU:MSP2402. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [26] "Frequencies of Musical Notes, A4 = 440 Hz", *Pages.mtu.edu*, 2019. [Online]. Available: <https://pages.mtu.edu/~suits/notefreqs.html>. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [27] J. González Contreras, "Normas en el Diseño de Circuitos Impresos", *Academia.edu*, 2019. [Online]. Available: https://www.academia.edu/26378111/Normas_en_el_Dise%C3%B1o_de_Circuitos_Impresos_-_Jordi_Fabi%C3%A1n_Gonz%C3%A1lez_Contreras. [Accessed: 16- Nov- 2019].
- [28] "DISTORTION+", *Jimdunlop.com*, 2019. [Online]. Available: <https://www.jimdunlop.com/product/m104-7-10137-00655-3.do>. [Accessed: 16- Nov- 2019].


```

x=(63/(2.78*f))*(frec-75*f);
color();
tft.print("E");
tft.setCursor(155, 140);
tft.setTextSize(3);
tft.print("b");
}

else if (frec<75*f &&
frec>70*f){ //D2

x=(63/(3*f))*(frec-70*f);
color();
tft.print("D ");
}

else if (frec<70*f &&
frec>60*f){ //C2

x=(63/(5.41*f))*(frec-60*f);
color();
tft.print("C ");
}

else if (frec<115*f &&
frec>95*f){ //Rango 5ta

if (frec<115*f && frec>107*f){
//A2

x=(63/(3*f))*(frec-107*f);
color();
tft.print("A ");
}

else if (frec<107*f &&
frec>100*f){ //A2b

x=(63/(2.78*f))*(frec-75*f);
color();
tft.print("E");
tft.setCursor(155, 140);
tft.setTextSize(3);
tft.print("b");
}

else if (frec<100*f &&
frec>95*f){ //G2

x=(63/(3*f))*(frec-95*f);
color();
tft.print("G ");
}

else if (frec<155*f &&
frec>125*f){ //4ta

if (frec<152*f &&
frec>142*f){ //D3

x=(63/(4.83*f))*(frec-142*f);
color();
tft.print("D ");
}

else if (frec<142*f &&
frec>134*f){ //D3b

x=(63/(4.59*f))*(frec-134*f);
color();
tft.print("D");
tft.setCursor(160, 130);
tft.setTextSize(3);
tft.print("b");
}

else if (frec<142*f &&
frec>125*f){ //C3

x=(63/(3.83*f))*(frec-100*f);
color();
tft.print("A");
tft.setCursor(155, 140);
tft.setTextSize(3);
tft.print("b");
}

else if (frec<200*f &&
frec>165*f){ //3era

if (frec<200*f && frec>190*f){
//G3

x=(63/(6*f))*(frec-190*f);
color();
tft.print("G ");
}

else if (frec<190*f &&
frec>180*f){ //G3b

x=(63/(5*f))*(frec-180*f);
color();
tft.print("G");
tft.setCursor(160, 130);
tft.setTextSize(3);
tft.print("b");
}

else if (frec<180*f &&
frec>170*f){ //F3

x=(63/(4*f))*(frec-170*f);
color();
tft.print("F ");
}
}

```

```

else if (frec<335*f &&
frec>286*f){ //1era
}

}

else if (frec<250*f &&
frec>210*f){ //2nda

if (frec<250*f && frec>237*f){
//B3

x=(63/(9.94*f))*(frec-237*f);
color();
tft.print("B ");

}

else if (frec<237*f &&
frec>227*f){ //B3b

x=(63/(6*f))*(frec-227*f);
color();
tft.print("B");
tft.setCursor(160, 130);
tft.setTextSize(3);
tft.print("b");

}

else if (frec<227*f &&
frec>217*f){ //A3

x=(63/(3*f))*(frec-217*f);
color();
tft.print("A ");

}

}

else if (frec<335*f &&
frec>286*f){ //1era

if (frec<335*f && frec>320*f){
//E4

x=(63/(9.63*f))*(frec-320*f);
color();
tft.print("E ");

}

else if (frec<320 &&
frec>302){ //E4b

x=(63/(9.13*f))*(frec-302*f);
color();
tft.print("E");
tft.setCursor(160, 130);
tft.setTextSize(3);
tft.print("b");

}

else if (frec<302*f &&
frec>286*f){ //D4

x=(63/(7*f))*(frec-286*f);
color();
tft.print("D ");

}

}

}

else {
tft.print(" ");

}

void color()
{
//central
if (x>71 && x<85){
x1=63;

tft.setTextColor(ILI9341_GREEN
, ILI9341_BLACK);

tft.setTextSize(3);
tft.setCursor(x1, 205);
tft.print(" ^ ");

}

//hacia arriba
else if (x>85 && x<99){
x1=77;

tft.setTextColor(ILI9341_ORANG
E, ILI9341_BLACK);

tft.setTextSize(3);
tft.setCursor(x1, 205);
tft.print(" ^ ");

}

else if (x>99 && x<113){
x1=91;

tft.setTextColor(ILI9341_ORANG
E, ILI9341_BLACK);

tft.setTextSize(3);
tft.setCursor(x1, 205);
}
}

```

```

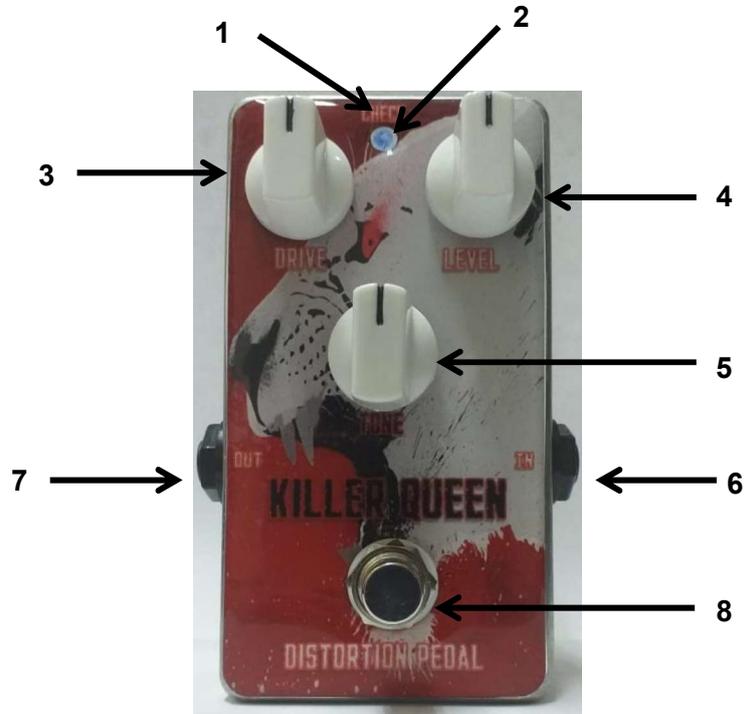
tft.print(" ^ ");
}
else if (x>113 && x<127){
    x1=106;
tft.setTextColor(IL19341_RED,
IL19341_BLACK);
    tft.setTextSize(3);
tft.setCursor(x1, 205);
tft.print(" ^ ");
}
//hacia abajo
else if (x<71 && x>57){
    x1=49;
tft.setTextColor(IL19341_ORANG
E, IL19341_BLACK);
    tft.setTextSize(3);
tft.setCursor(x1, 205);
tft.print(" ^ ");
}
else if (x<43 && x>29){
    x1=21;
tft.setTextColor(IL19341_RED,
IL19341_BLACK);
    tft.setTextSize(3);
tft.setCursor(x1, 205);
tft.print(" ^ ");
}
tft.setTextSize(12);
tft.setCursor(90, 80);
}
}

```

ANEXO B

Manuales de usuario para cada pedal

Pedal de distorsión “Killer Queen”



1: Ingreso de fuente DC de 9V. Corriente de trabajo de 15 mA.

2: Led indicador de encendido. Si el efecto está activo, el led brillará en color rojo.

3: Perilla de control de cantidad de distorsión. Gira en sentido horario para aumentar la distorsión.

4: Perilla de control de volumen de salida. Gira en sentido horario para incrementar el nivel del efecto.

5: Perilla de control de tono de sonido. Gira en sentido antihorario para tener sonidos agudos y en sentido horario para sonidos graves.

6: Puerto de entrada. Conecta un cable hacia la guitarra o desde la salida de otro pedal.

7: Puerto de salida. Conecta un cable hacia el amplificador o a la entrada de otro pedal.

8: Botón de activado. Presiónalo para activar el efecto o para usar el true bypass.

Pedal de Delay "D4C/Sonar"



1: Ingreso de fuente DC de 9V. Corriente de trabajo de 25 mA.

2: Led indicador de encendido. Si el efecto esta activo, el led brillará en color rojo.

3: Perilla de control de tiempo de repetición. Gira en sentido horario para incrementar el tiempo.

4: Perilla de control de cantidad de repeticiones. Gira en sentido horario para incrementar las repeticiones.

5: Perilla de control de volumen de repeticiones. Úsalo para mezclar el sonido original con sus repeticiones.

6: Puerto de entrada. Conecta un cable hacia la guitarra o desde la salida de otro pedal.

7: Puerto de salida. Conecta un cable hacia el amplificador o a la entrada de otro pedal.

8: Botón de activado. Presiónalo para activar el efecto o para usar el true bypass.

Pedal de Afinación “Crazy Diamond”



1: Ingreso de fuente DC de 9V. Corriente de trabajo de 145 mA.

2: Pantalla TFTLCD. Tendrás a la vista indicadores para afinar tu guitarra y el modo de operación.

3: Puerto de entrada. Conecta un cable hacia la guitarra o desde la salida de otro pedal.

4: Puerto de salida. Conecta un cable hacia el amplificador o a la entrada de otro pedal.

5: Control de modo de afinación entre La 440 y La 432.

6: Botón de activado. Presiónalo para activar encender el afinador o para usar el true bypass.

Se recomienda pulsar cada cuerda varias veces para obtener un mejor resultado y usar cuerdas en buen estado.

ANEXO C

Detalle de costos.

Killer Queen

Elemento	Costo (dólares)
Led rojo 5 mm	0.09
Resistencias ¼ W: 330, 39k, 1M, 47k, 10k, 2x15k, 680k	0.24
Capacitores electrolíticos: 10uF, 0.1uF	0.20
Capacitores cerámicos: 2x330pF, 10 nF, 22nF	0.32
Potenciómetros: 20k, 2x100k	1.95
BC548	0.10
Impresión láser	2.25
Baquelita	0.90
Botón 3PDT	10.50
Caja de aluminio	10
Perforaciones	10
Perillas	4
Portada	3
Pintura	5
Jacks estéreo	1
Total	49.55
PVP	64.99+ IVA (al por mayor)

D4C/Sonar

Elemento	Costo (dólares)
Led rojo 5 mm	0.09
Resistencias ¼ W: 8x12k, 2x1k, 2.7k, 15k, 3x24k, 33k, 47k, 100k, 270k, 2x510k, 1M, 2x10k, 330	0.72
Capacitores electrolíticos: 5x 47uF, 4x1uF	0.90
Capacitores cerámicos: 7x100nF, 4x10nF, 1nF, 2x33nF, 560pF, 50pF, 5pF	1.36
Potenciómetros: 20k, 50k, 100k	1.95
Zócalos: 16 pin, 8 pin	0.30
PT2399	5
OPA2134	11.11
LM7805	0.52
Baquelita	0.95
Impresión láser	2.25
Botón 3PDT	10.50
Caja de aluminio	10
Perforaciones	10
Perillas	4
Portada	3
Pintura	5
Jacks estéreo	1
Total	67.65
PVP	87.99+ IVA (al por mayor)

Crazy Diamond

Elemento	Costo (dólares)
Resistencias ¼ W: 5x10k, 5.6k, 1M, 270, 820, 180k, 100k,	0.33
Capacitores electrolíticos: 0.1uF, 1uF, 2x4,7uF, 3,3uF, 2x10uF	0.70
TFT LCD ili9341 2.4in	15
Zócalos: 40 pin, 8 pin	0.30
STM32F103C	8.95
OPA2134	11.11
LM317	0.95
Baquelita doble lado	1.85
Impresión láser	2.25
Botón 3PDT	10.50
Caja de aluminio	10
Perforaciones	15
Portada	3
Pintura	5
Jacks estéreo	1
Total	85.94
PVP	111.99+ IVA (al por mayor)

ANEXO D

Aval de guitarristas profesionales.

- Edison Sumo

Datos Personales

Nombre: Edison Xavier
Apellidos: Sumo Andrade
Cedula De Identidad: 172176894-1
Estado Civil: Soltero
Fecha De Nacimiento: 26 De Septiembre De 1993
Dirección Domiciliara: La Forestal
Teléfono: 3120576 / 0995037220



Estudios Realizados:

Instrucción Primaria: Escuela "José María Velasco Ibarra"
Instrucción Secundaria: Colegio "Nacional Experimental Amazonas"
Instrucción De Tercer Nivel: Estudiante De Sexto Semestre En La Facultad De Artes En La "Universidad Central Del Ecuador"

Cursos Realizados:

Musicarte: Programas De Estudio Y Formación Artística
Especialidad Guitarra Eléctrica

Experiencia Laboral:

Capacitación Musical: Tiempo: 6 Meses
Lugar: "Iglesia Evangélica Apostólica
Del Nombre De Jesús"
Ocupación: Docente De Música

Universidad Central
Del Ecuador
Tiempo: 5 Meses
Lugar: Facultad De Psicología
Ocupación: Practicante De Docencia En Artes
Plásticas

- Francisco Acosta

Francisco Acosta (Guitarrista líder, productor musical, arreglista, compositor)

Fecha de nacimiento: 6 de mayo del 1987



En el año 2007 inicia su gusto por su instrumento y la música, participando y conformando varias bandas iniciales de rock en la ciudad. A los 18 años decide estudiar y dedicarse formalmente a la música, sus estudios los realiza en un instituto de música en el Valle de los Chillos, lugar donde reside actualmente. Posteriormente desarrolla su técnica y estudios de manera personal y con varias tutorías de guitarra eléctrica. Al culminar sus estudios musicales, decide estudiar producción musical en la Universidad de las Américas, complementando aún más su conocimiento, con la finalidad de realizar sus propias producciones y servicios musicales, a bandas y artistas locales. Asistió a los seminarios de "Producción musical, Industria Fonográfica y refuerzo sonoro", también a varios seminarios y clínicas de guitarra eléctrica, en la misma universidad. Asistió a los talleres de calibración y mantenimiento de guitarra a cargo de "Fénix Guitar School" y "UIO Guitars".

Ha venido desempeñando como instructor musical en varias instituciones, academias de Quito y Valle de los Chillos. Trabaja medio tiempo como profesor particular de música, ha colaborado en varios proyectos musicales, tanto en la parte de producción, como en la parte musical, como es en la banda Odica metal Ecuador, en la cual participó en la grabación y composición de todos sus solos de guitarra dentro del álbum. También participó en la producción del primer sencillo de la artista "Angie Jaramillo " en el cual hizo toda la parte de arreglos musicales y guitarras. Actualmente se encuentra en la producción de su primer sencillo de solista que saldrá para inicios del 2020. Cuenta con su propio canal de YouTube en el cual se puede ver algunas producciones en vídeo, las cuales las realiza el mismo, desde su propio home studio. En las producciones podemos ver la versatilidad musical, al intérprete temas de rock progresivo, metal, djent hasta jazz.