



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO CLASE AB DE 30W PARA GUITARRA ELÉCTRICA**

AUTOR: MIQUEL BROCAL SÁNCHEZ

TUTOR: GUILLERMO ESCRIVÁ ESCRIVÁ

COTUTOR: SALVADOR PONCE ALCÁNTARA

**Curso Académico: 2018-19**



# RESUMEN

Este proyecto tiene como fin el estudio, diseño y realización de un amplificador de audio para guitarra eléctrica. Ha sido analizada la señal entregada por la guitarra calculando el incremento total en potencia, así como las características que debe presentar la señal final en tensión y voltaje. A partir de aquí se han diseñado las distintas etapas que debe presentar el circuito.

Paralelamente se ha hecho un estudio de los distintos efectos de sonido que los amplificadores de guitarra eléctrica suelen utilizar valorando su aplicación. Estos efectos permiten cambiar completamente tanto el timbre como otros factores del sonido de la guitarra.

Por último, cabe destacar que se ha realizado un amplificador clase AB con puente en H, potencia de 30W RMS, dos canales para la aplicación de distintos efectos y control de tonos.

# ABSTRACT

The goal of this project is the study, design and realization of an audio amplifier for electric guitar. The signal delivered by the guitar has been analyzed to calculate the total increase in power as well as the characteristics that the final signal, intensity and voltage, must have. From here, the different stages of the circuit have been designed.

At the same time, different sound effects that electric guitar amplifiers usually create have been studied. These effects are able to change both the timbre and other factors of the guitar sound.

Finally, it should be remarked the presence of an AB class amplifier with H-bridge, 30W RMS power, two channels for the application of different effects and tone control has been applied to the amplifier.



# Índice de documentos

**MEMORIA DESCRIPTIVA**

**PRESUPUESTO**

**PLANOS**





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO CLASE AB DE 30W PARA GUITARRA ELÉCTRICA**

## **MEMORIA**

AUTOR: MIQUEL BROCAL SÁNCHEZ

TUTOR: GUILLERMO ESCRIVÁ ESCRIVÁ

COTUTOR: SALVADOR PONCE ALCÁNTARA

**Curso Académico: 2018-19**



# Índice de la memoria

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Objetivos.....	7
2. LA GUITARRA ELÉCTRICA.....	8
2.1 Descripción de la Guitarra Eléctrica.....	8
2.2 Señal de la Guitarra Eléctrica.....	9
2.3 Armónicos.....	11
3. EL AMPLIFICADOR DE GUITARRA ELÉCTRICA.....	12
3.1 Esquema de un Amplificador de Guitarra Eléctrica.....	12
3.2 Efectos de Sonido.....	13
3.2.1 Descripción de los Efectos de Sonido.....	13
3.2.2 Reverberación.....	13
3.2.3 Eco.....	13
3.2.4 Distorsión.....	14
3.2.5 Overdrive.....	14
3.2.6 Fuzz.....	15
3.2.7 Flanger.....	16
3.3 Señal Auxiliar.....	17
4. DISEÑO DEL AMPLIFICADOR OBJETO DEL PROYECTO.....	18
4.1 Consideraciones Iniciales para el Diseño del Amplificador.....	18
4.1.1 Potencia.....	18
4.1.2 Esquema General del Amplificador.....	19
4.2 Altavoz.....	19
4.2.1 Requerimientos.....	19
4.2.2 Modelo.....	20
4.3 Alimentación.....	20
4.3.1 Tensión.....	20
4.3.2 Baterías.....	21
4.3.3 Led Indicador del Encendido.....	23
4.4 Etapa de Preamplificación.....	24
4.4.1 Diseño de la Etapa de Preamplificación.....	24
4.4.2 Transformación de la Señal en la Etapa de Preamplificación.....	25
4.5 Circuito de Ecuilización.....	27
4.6 Circuito de Reverberación.....	28

4.6.1 El Tanque de Reverberación .....	28
4.6.2 Ensayo del tanque de reverberación .....	30
4.6.3 Circuito de Entrada al Tanque de Reverberación.....	32
4.6.4 Circuito de Salida del Tanque de Recuperación .....	33
4.7 Etapa de Potencia .....	35
4.7.1 Procedimiento Seguido para Diseñar la Etapa de Potencia.....	35
4.7.2 Amplificadores Operacionales de Potencia.....	35
4.7.3 Sumador de Señales .....	37
4.7.4 Inversor de Fase .....	39
4.7.5 Rendimiento de la Etapa de Potencia .....	39
4.7.6 Salida Auxiliar.....	43
4.8 Protecciones.....	44
4.8.1 Protecciones Térmicas.....	44
4.8.2 Protección Frente a Sobrecargas .....	46
4.8.3 Protección Frente a Cortocircuitos.....	47
4.9 Caja.....	47
4.10 Placa de Circuito Impreso .....	48
4.10.1 Márgenes de seguridad en el Diseño de las Pistas.....	48
4.10.2 Distribución de Controles en la Placa de Circuito Impreso.....	49
4.10.3 Disposición de los Componentes en la Placa.....	50
5. IMPLEMENTACIÓN DEL AMPLIFICADOR Y RESULTADOS .....	51
5.1 Implementación del amplificador .....	51
5.1.1 Impresión y Montaje de la placa .....	51
5.1.2 Montaje de la Caja.....	52
5.2 Resultados Experimentales.....	53
5.2.1 Resultados de los primeros ensayos.....	53
5.2.2 Corrección y resultados de la etapa de preamplificación.....	53
5.2.3 Corrección y resultados de la etapa de potencia.....	55
6. CONCLUSIONES.....	56
7. BIBLIOGRAFÍA .....	57

# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1 Introducción

La guitarra eléctrica es un instrumento ampliamente difundido y utilizado en una gran variedad de géneros y estilos musicales. Esto es así gracias a la versatilidad de que les dota la misma guitarra eléctrica que dispone de varios micrófonos, potenciómetro y filtro de agudos además de contar con la versatilidad que una guitarra acústica ya tiene por sí sola.

Además, en el proceso de amplificación de la señal son aplicados numerosos efectos que pueden modificar completamente el sonido: reverberación, echo, chorus, distorsión, overdrive, fuzz... Solo por citar unos cuantos.

En el pasado estos efectos se realizaban haciendo pasar la señal por distintos aparatos, normalmente grandes y costosos, e incluso se llegaba a dañar equipos para que la señal no fuera exactamente fiel a la generada por la guitarra. Esto fue así hasta la expansión de la electrónica moderna gracias a la invención y expansión del transistor en los años 50 del siglo pasado que ha permitido la creación de cuantiosos circuitos integrados que emulan los efectos anteriormente citados de una forma más eficiente y fiable.

Aun así, muchos músicos prefieren los aparatos “clásicos” por encima de los circuitos integrados por producir un sonido más cálido. Es por esto que los amplificadores profesionales suelen disponer tanto de circuitos integrados como de válvulas de vacío para crear distorsión y otros aparatos como el tanque de reverberación. Este tipo de amplificador son los llamados “híbridos” y son muy populares.

Gracias a estas características de la guitarra y de los sistemas de amplificación resulta posible interpretar con el mismo instrumento un tema de Jazz o uno de Heavy Metal generando con dos sonidos completamente distintos. Es por eso que la guitarra, incluyendo todas sus distintas vertientes, se ha convertido en el instrumento más extendido.

## 1.2 Objetivos

El objetivo de este proyecto es el diseño y la fabricación de un amplificador destinado al ensayo y el aprendizaje de las distintas técnicas para tocar la guitarra eléctrica.

Idealmente el amplificador debe:

- Efectos de sonido.
- Ecuador.
- Entrada auxiliar.
- Salida auxiliar para cascos.
- Amplificador de señal.

## 2. LA GUITARRA ELÉCTRICA

### 2.1 Descripción de la Guitarra Eléctrica

La guitarra eléctrica es un instrumento musical de seis cuerdas y cuerpo macizo. Es una evolución de la guitarra acústica, pero se diferencia de esta en que no cuenta con caja de resonancia. Esto es así porque la guitarra eléctrica está diseñada para producir una señal que será la que mediante un sistema de audio finalmente se escuche. De esta forma el sonido que crean las cuerdas (sonido directo de la guitarra) que es muy bajo debido a la inexistencia de caja de resonancia queda tapado por el proveniente del sistema de audio.

La señal es generada por unas pastillas, las cuerdas son metálicas y al vibrar generan por inducción electromagnética una pequeña señal con la misma forma que el sonido que producen. Esto quiere decir que la señal tendrá la misma frecuencia, armónicos y timbre que el sonido producido de forma directa además de mantenerse cierta proporcionalidad entre ambas.

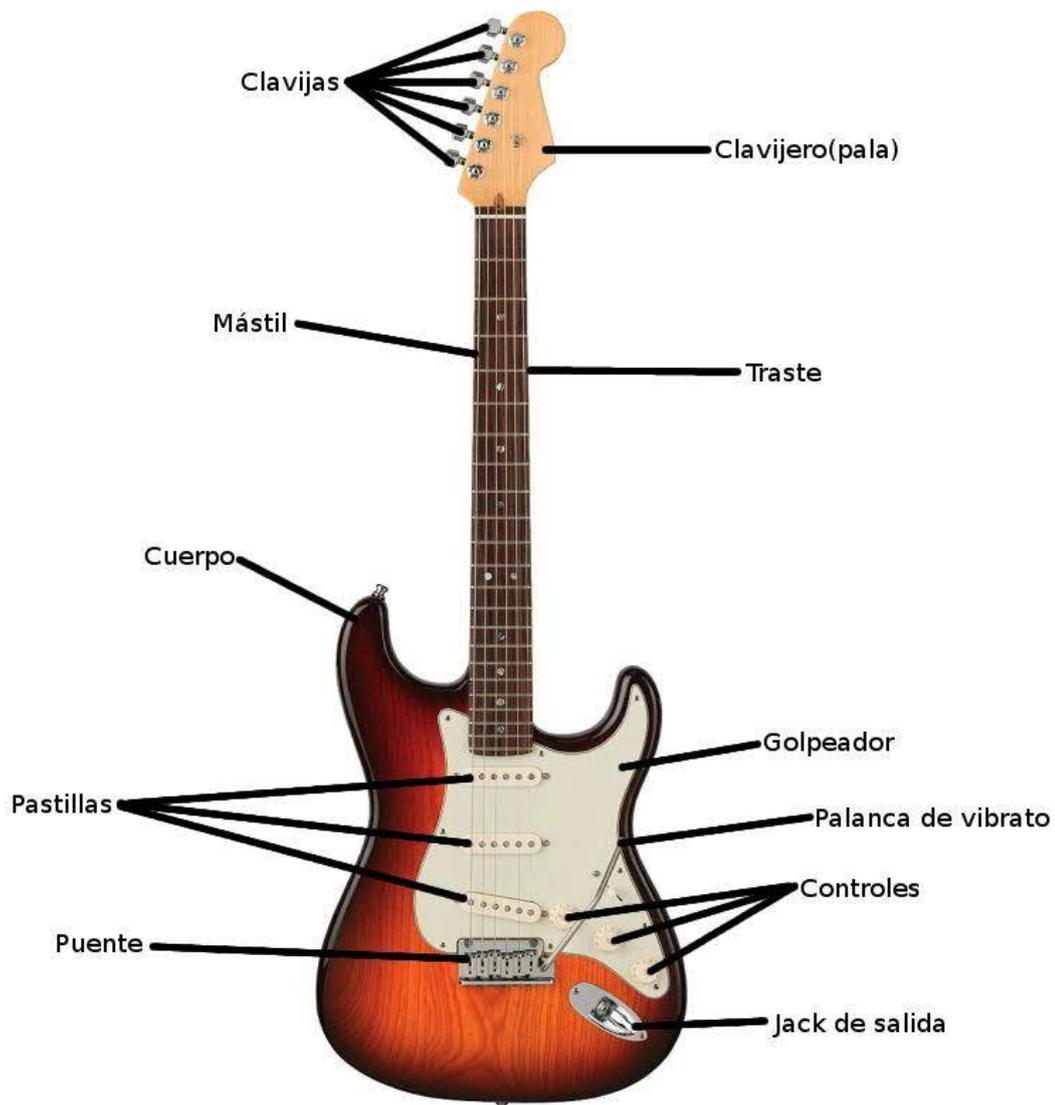


Figura 1. Partes de una guitarra eléctrica

## 2.2 Señal de la Guitarra Eléctrica

Una sola guitarra eléctrica dispone de varias pastillas colocada en distintos lugares para aumentar la variabilidad de la señal conectando las distintas pastillas a un selector que las conecta y desconecta a voluntad del intérprete. De esta forma los armónicos detectados por cada pastilla no serán los mismos. Las más cercanas al mástil percibirán más el armónico fundamental en detrimento de los que le siguen y cuanto más cercano al puente la cantidad de armónicos aumenta provocando un sonido más agudo llegando a ser estridente en algunos casos.

Si tan solo atendemos a sus notas fundamentales estas van desde el mi<sub>2</sub> (82,4 Hz) en la afinación estándar, aunque en algunos estilos de música se prefiere rebajar la afinación de esta cuerda uno o dos semitonos por lo que puede llegar a corresponder a un re<sub>2</sub> (73,4Hz). La nota más aguda de la guitarra eléctrica es un re<sub>6</sub> (1174,7 Hz) para la guitarra de 22 trastes y un mi<sub>6</sub> (1318,5 Hz) para la de 24 trastes.

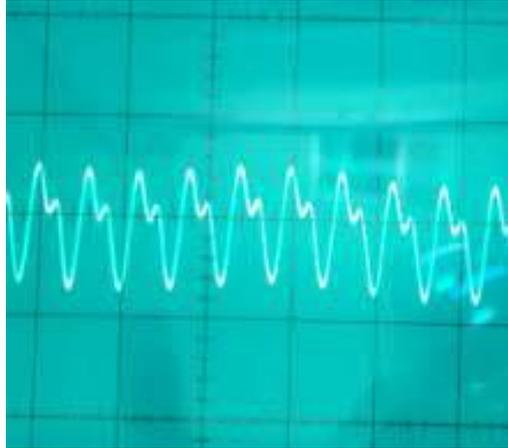
Tomando la nota más grave posible y el segundo armónico de la más aguda tendremos una horquilla de 70Hz-2600Hz, el resto de señal proveniente de la guitarra provendrán de ruido electromagnético, ruido térmico o de resonancias propias de la madera que es capaz de producir subarmónicos. Estas señales deberán ser filtradas en la etapa de entrada.

Ahora pasemos a comprobar la amplitud de la señal que dependerá de numerosos factores como la guitarra, la posición y el tipo de pastilla seleccionada, la altura y grosor de las cuerdas, la posición del potenciómetro de la guitarra (que casi siempre se pone al máximo) y de la fuerza, así como la técnica utilizada por intérprete al tocar la guitarra, el número de cuerdas tocadas, etc... Son demasiados factores para tener en cuenta en este proyecto que no trata sobre el estudio de las señales de la guitarra eléctrica, pero de todas formas necesitamos un orden de magnitud para diseñar el circuito.

Conectando la salida de una guitarra eléctrica Yamaha Pacifica 112 al osciloscopio obtenemos las siguientes señales de salida, variando las cuerdas, el traste y de la pastilla seleccionada entre otras.



Figura 2. Acorde Mi 5ª,  $V_{pp}=340mV$



*Figura 3. Mi,  $V_{pp}=60mV$*



*Figura 4. Acorde La 5ª,  $V_{pp}=500mV$*



*Figura 5. Acorde La menor,  $V_{pp}=450mV$*

La amplitud de la señal toma valores de entre 30mV hasta los 250mV de amplitud. Con estos valores es posible hacerse una idea del orden de magnitud que debe tener la amplificación de la señal que deberá ser de entre 1000 y 80. Una amplificación de 1000 resultaría excesiva pues las señales más pequeñas podrían llegar a saturar el equipo y 80 dejaría las señales más pequeñas propias del punteo de las notas más agudas de la guitarra en los llamados “solos” muy débiles. Este problema se soluciona creando dos canales para el amplificador, una de baja amplificación y otra de alta amplificación con compresión de la señal.

## 2.3 Armónicos

De las imágenes obtenidas sobre la señal producida por una sola cuerda, figura 2, que esta no es sinusoidal perfecta y que contiene armónicos. Esto es así porque la vibración total de la cuerda es la suma de su vibración fundamental más la de los distintos armónicos que se producen en esta. Estos armónicos enriquecen el sonido y son parte fundamental de las características sonoras de la guitarra.

Cada armónico es una onda estacionaria que se forma con una proporción determinada de la cuerda y de nodos. De hecho, se utilizan a estos últimos para denominar a los armónicos de tal forma que el armónico “n” tiene “n-1” nodos.

Para saber la frecuencia a la que vibra un armónico basta con saber la frecuencia de la nota fundamental y el número del armónico. La fórmula es la siguiente:

$$f = n \cdot f_0 \quad (2.3.1)$$

En la siguiente figura se representan los distintos armónicos presentes en la vibración de una cuerda:

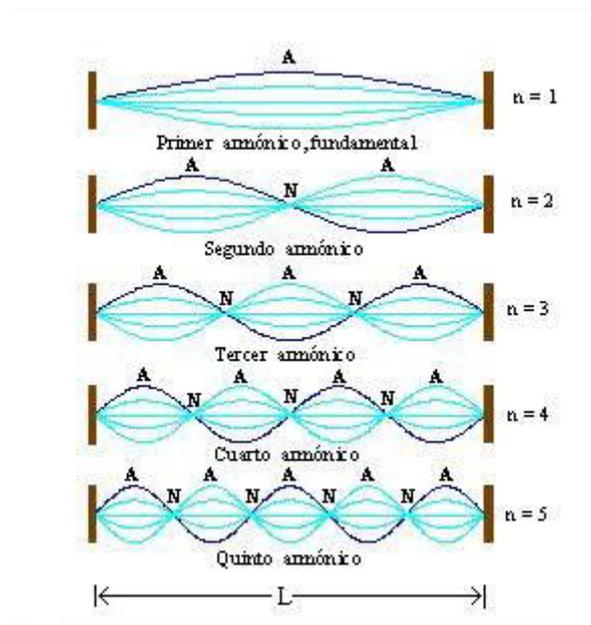


Figura 6. Armónicos presentes en la vibración de una cuerda

## 3. EL AMPLIFICADOR DE GUITARRA ELÉCTRICA

### 3.1 Esquema de un Amplificador de Guitarra Eléctrica

Normalmente el amplificador de guitarra consta de dos etapas de amplificación y un circuito de ecualización. Además, dado que estos circuitos deben alimentarse con tensión continua y la red doméstica ofrece alterna requieren de un circuito de alimentación que haga esta transformación CA/CC a no ser que funcione con baterías que no requieren este tipo de transformación.

En cuanto a la amplificación, la primera etapa corresponde a la preamplificación que se encarga de aumentar la señal de entrada hasta un nivel al que el resto del circuito pueda trabajar. En el caso de los amplificadores de guitarra esta etapa suele presentar dos canales, uno para la señal “limpia” y otro que genere distorsión.

Para filtrar o potenciar ciertas frecuencias del espectro de la señal, seguidamente viene el circuito de ecualización. Existen diferentes configuraciones para este, la más simple consiste en un filtro paso alto pasivo con una frecuencia de corte regulable, aunque es mucho más común el ecualizador activo de tres bandas. Dividiendo el espectro de frecuencia en tres mediante un filtro paso bajo para el bajo, paso banda para las frecuencias medias y paso alto para las altas, sendos potenciómetros permiten reducir o aumentar la amplitud de la parte del espectro correspondiente.

Además, los amplificadores de guitarra suelen incluir una serie de efectos más allá de la distorsión. Dependiendo de la naturaleza de los mismos o del resultado final deseado estos actúan antes o después de la etapa de ecualización. Si se trata de modificar el timbre (la forma de la onda) el efecto producirá nuevas frecuencias que deberán ser debidamente ecualizadas. Si el efecto consiste en modificar la onda a lo largo del tiempo (eco o reverberación) es recomendable que estos efectos vayan a continuación y que dispongan de sus propios filtros y controles de mezcla con la señal original. Es por esto que es recomendable que la señal llegue debidamente ecualizada.

Por último, en la etapa de potencia es donde la señal, sin sufrir ninguna distorsión, consigue la potencia necesaria para mover los altavoces correctamente. Para ello debe adaptar la señal a una impedancia de salida de pocos ohmios que es la correspondiente a un parlante que suele tomar valores como:  $4\Omega$ ,  $8\Omega$  ó  $16\Omega$ . Esto significa que, aun con tensiones no demasiado altas, de pocos voltios, el sistema debe estar preparado para entregar intensidades de varios amperios.

## **3.2 Efectos de Sonido**

### ***3.2.1 Descripción de los Efectos de Sonido***

Los efectos de la guitarra se tratan de alteraciones en la señal eléctrica que estos producen que provocan cambios en el sonido final producido en los altavoces. Estos cambios pueden producirse bien por causas físicas, como la reverberación; bien por procesadores destinados a cumplir una función específica en la señal tales como pedales, procesadores en formatos rack o equipos integrados en los amplificadores.

### ***3.2.2 Reverberación***

Consiste en una ligera permanencia del sonido una vez que la fuente original ha dejado de emitir. Se produce de manera natural en salas de mediano a gran tamaño cuando las paredes reflejan el sonido y el oyente percibe tanto el sonido directo como la reflexión justo después. Si el tiempo transcurrido entre la percepción del sonido directo y el reflejado es menor a 0,1s no será posible discernir claramente entre ambos, se produce así una difuminación del sonido final percibido. En cambio, si el tiempo transcurrido es mayor a 0,1s ya es posible distinguir el sonido directo del reflejado creando un efecto distinto denominado eco.

En cuanto a reverberación en la guitarra eléctrica existen aparatos capaces de crear artificialmente este efecto manipulando la señal. El tanque de reverberación fue el primero en crearse. Se trata de una caja metálica con un transductor eléctrico en un extremo y un fonocaptor en el otro unidos mediante un conjunto de muelles. La señal eléctrica es convertida en un impulso físico gracias al transductor en un extremo de los muelles, esto produce movimiento en los mismos. En el extremo contrario se recrea la señal eléctrica, con cierto retraso, gracias al fonocaptor. La elasticidad de los muelles resulta en un complejo patrón de movimiento que persiste durante algún tiempo, y esto da un sonido en algo similar a la reverberación natural.

Actualmente la reverberación es simulada mediante circuitos electrónicos integrados en diferentes formatos como Racks, pedales, computadoras o en el propio amplificador. Estos circuitos electrónicos permiten variar los parámetros característicos de la reverberación, así como su peso en la señal final, de forma bien sencilla. Algunos de estos parámetros son: el tono, tiempo de retardo o el "sustain" que determina el tiempo durante el cual se mantiene el sonido.

### ***3.2.3 Eco***

Este es un fenómeno acústico producido cuando una onda se refleja en una superficie de forma que el oyente percibe la señal original, o seca, primero y al reflejada después. Este efecto puede producirse en edificios particularmente grandes, así como en barrancos y acantilados. De esta forma, se produce una repetición del sonido original una o más veces con una disminución en la intensidad en cada repetición.

Los primeros efectos de eco artificiales se consiguieron mediante la manipulación de las cintas de grabación de estudio por lo tanto solo era posible conseguirlo a partir de un

sonido ya grabado. Pronto se desarrollaron aparatos capaces de grabar en cinta el sonido en directo para ser reproducido justo después. De esta forma era posible crear el efecto eco en directo.

Con el desarrollo de circuitos integrados basados en el transistor décadas más tarde fue posible crear pedales, amplificadores y mesas de mezclas capaces de crear este efecto y ajustar con precisión todos los parámetros característicos.

### **3.2.4 Distorsión**

Este efecto es la modificación en la forma de la señal cambiando así su timbre, pero no su frecuencia fundamental. De esta forma el contenido de armónicos de la señal cambia sustancialmente pudiendo enriquecer el sonido, aunque demasiada distorsión o una señal de entrada ya de por sí rica en armónicos puede llegar a saturar armónicamente el sonido final de forma que quede indistinguible el contenido armónico de la señal original. Si esto ocurre el oyente percibirá el sonido final como “ruido” resultando desagradable y nada deseable para el intérprete. Es por esto que el efecto de distorsión siempre tiene incorporado un control. Existen distintos tipos de distorsión, pero, dado que algunos tienen nombre propio como el Overdrive y el Fuzz, se conoce como distorsión, estrictamente hablando, a la producida en las válvulas de amplificación cuando estas son fuertemente saturadas.

Gracias a la distorsión, se realza el segundo y tercer armónicos. La señal se satura tanto que el armónico fundamental es difícil de distinguir y aparecen también sobrefrecuencias que suelen ser filtradas posteriormente si se quiere una distorsión que no suene demasiado sucia.

Además, se producen de forma paralela otros dos efectos que son característicos de todos los efectos de distorsión basados tanto en la saturación del sistema de amplificación como en el recorte de la señal es tanto la limitación de la señal como el aumento del “sustain”. Esto es así porque la señal de salida tendrá la misma amplitud para un amplio rango de señales de entrada. De esta forma al tocar más fuerte o al inicio de la vibración de la cuerda, cuando la señal de entrada es mayor, el sonido sufrirá una distorsión mayor y con el paso del tiempo la señal perderá distorsión, que no intensidad, hasta que finalmente pasará a su etapa final cuando, sin distorsión alguna, las cuerdas se detienen definitivamente. Este es un efecto muy deseado por los intérpretes pues ven cómo sus notas se alargan y mantienen constantes en intensidad con el tiempo.

### **3.2.5 Overdrive**

Esta es una forma de distorsión menos radical. La señal original es recortada suavemente quedando redondeada. De esta forma el segundo armónico se ve reforzado y no aparecen sobrefrecuencias que ensucien el sonido de forma extrema hasta el punto de quedar indistinguible la señal original.

Originalmente este efecto se producía saturando levemente las válvulas amplificadoras. Hoy en día este método sigue siendo considerado por muchos como el mejor, aunque ya no es el único. También puede producirse recortando la señal amplificada con diodos.

### 3.2.6 Fuzz

Este es el efecto de distorsión más sucio. Recorta la señal horizontalmente creando una gran cantidad de sobrefrecuencias que hacen que el armónico fundamental quede indistinguible. Además, produce un fondo de ruido blanco considerado por muchos desagradable.

El Fuzz fue es el efecto de distorsión utilizado en guitarra eléctrica más antiguo. Se conseguía dañando los parlantes con punzones o cuchillas. Más adelante el desarrollo de dispositivos basados en diodos y transistores consiguieron recrear este efecto sin tener que romper los altavoces. Los componentes, en este caso, son los mismos que los utilizados en el Overdrive pero dispuestos de forma distinta de forma que el recorte producido es duro, en horizontal, y no suave, es decir, redondeado.

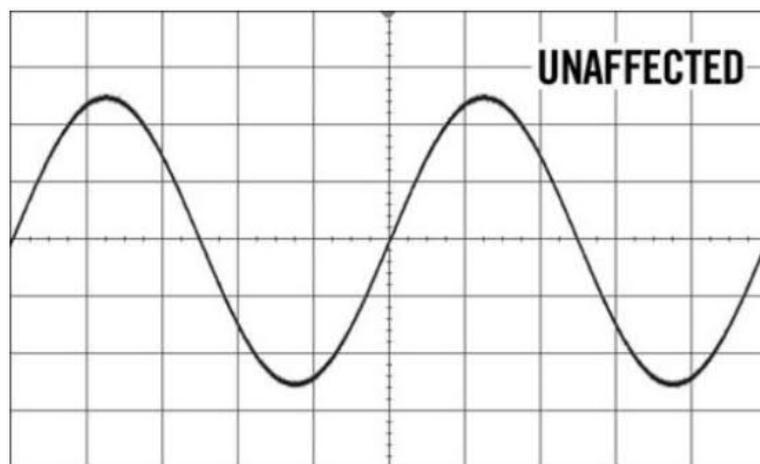


Figura 7. Onda sinusoidal sin distorsión

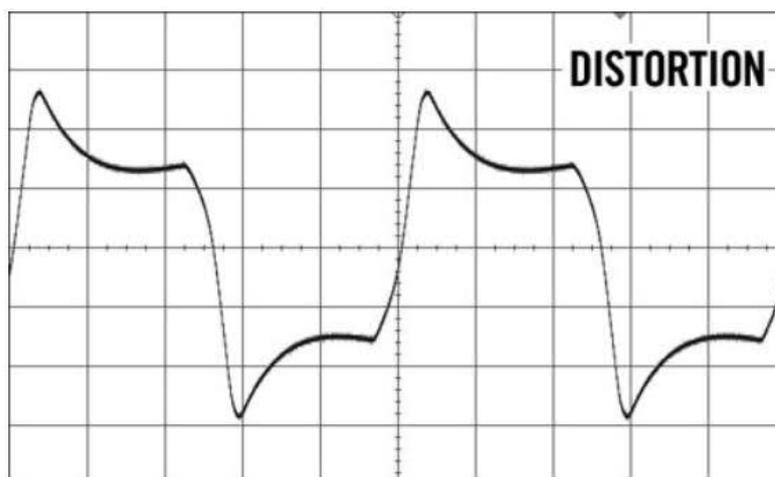


Figura 8. Onda sinusoidal distorsionada

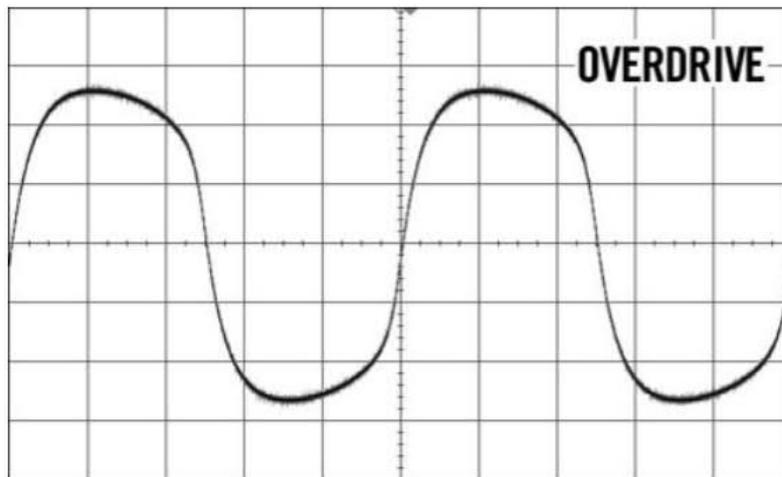


Figura 9. Onda sinusoidal con distorsión "Overdrive"

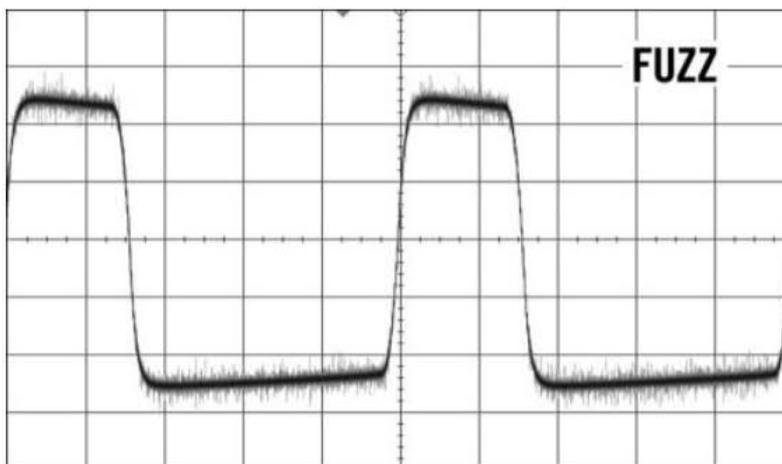


Figura 10. Onda sinusoidal con distorsión "Fuzz"

### 3.2.7 Flanger

Es un efecto de sonido por la suma de dos señales idénticas pero retardadas uno respecto a la otra un tiempo del mismo orden de magnitud que el periodo de la frecuencia fundamental de la señal, 20 ms o menos, y que varía. Al sumar dos señales de esta forma algunos armónicos se verán potenciados mientras otros serán reducidos y al variar este desfase estos armónicos afectados también lo harán dando la sensación de un movimiento en la caja de resonancia del instrumento que emite el sonido, por ejemplo, la boca en el caso de la voz.

Los primeros métodos para producir este efecto se basaban primero en grabar en cinta la pista sobre la cual se quiere aplicar este efecto. Seguidamente se utilizaban dos reproductores, en uno de los cuales se manipulaba la velocidad de reproducción, y una grabadora para volver a obtener la misma pista, pero, esta vez, con el efecto flanger.

En los años 70 con el desarrollo de la electrónica de estado sólido se crearon circuitos capaces de producir este mismo efecto. Actualmente existen circuitos integrados y softwares con control de todos los parámetros referentes al flanger: intensidad, frecuencia y retraso.

### 3.3 Señal Auxiliar

La señal auxiliar provendrá de un reproductor de música: mp3, teléfono móvil, ordenador... Dependiendo del tipo podremos encontrarnos con distintas amplitudes y formatos, es decir, algunos reproductores serán estéreos y otros monofónicos. Los reproductores de música comúnmente cuentan con un control de volumen que no hace sino modificar la amplitud de la señal. Por el contrario, los reproductores estéreos no suelen contar con control de balanceo entre ambos canales.

Para poder conocer la amplitud típica de un reproductor de música y el balance procedemos a analizar la señal producida por la aplicación "Frequency Generator" en un teléfono móvil. Comprobamos a ambos canales llega una señal idéntica en forma fase y amplitud, esta última tomando un valor de  $V_{pp} = 120mV$ .

Nuestro amplificador contará con un altavoz, es imposible que un altavoz reproduzca dos señales distintas al mismo tiempo así que será necesario convertir las dos señales en una. La opción más sencilla es tomar solo uno de los canales, esta opción no es deseable puesto que en muchas canciones hay instrumentos solo presentes en uno de los canales y estos podrían perderse. A la vista del resultado del experimento, la mejor opción queda en la suma de ambas señales con la misma preponderancia.

## 4. DISEÑO DEL AMPLIFICADOR OBJETO DEL PROYECTO

### 4.1 Consideraciones Iniciales para el Diseño del Amplificador

#### 4.1.1 Potencia

El factor más importante a la hora de diseñar o elegir amplificador de guitarra es el uso que se le va a dar. De esta forma sabremos cual es la potencia necesaria y a partir de este punto diseñar y dimensionar los circuitos. Igualmente es importante saber si es necesario que el amplificador funcione a baterías o no.

El uso de este amplificador será tanto para la práctica en casa como en una posible actuación en un local pequeño o al aire libre. Para el ensayo en casa es recomendable un amplificador de 3 WRMS ya que se trata de un lugar cerrado y donde fuertes ruidos podrían causar molestias a los vecinos. En el caso de la actuación tanto en el local como al aire libre serán necesarios unos 30 WRMS, es por esto por lo que el amplificador será con esta última potencia. Puede parecer que cambiar de 30 WRMS a 3 WRMS supone un gran cambio en la cantidad de sonido que el amplificador será capaz de producir, 10 veces más potencia conlleva especificaciones para los componentes más exigentes y un diseño completamente distinto a considerar; sin embargo, la percepción del sonido sigue una escala logarítmica por lo que se utilizan los decibelios para comparar sonidos.

De esta forma la diferencia percibida entre la intensidad sonora producida por ambos diseños será de:

$$10 * \log_{10} \frac{50}{5} = 10 \text{ dB} \quad (1)$$

Una diferencia de 10 dB no corresponde a una gran diferencia sonora en tanto el de la sensibilidad del oído se adapta al sonido que llega al oído. Esto quiere decir que al aumentar la intensidad del sonido la sensibilidad al sonido disminuye por lo que otros sonidos de otras fuentes quedan “tapados” sin que el sonido primario suene significativamente más fuerte.

Una vez sabida la potencia tenemos en cuenta si el amplificador deberá poder funcionar a baterías o no. En su uso en casa o en locales con línea eléctrica no será necesario que funcione con baterías, pero también es deseable su uso al aire libre, así como en locales que no dispongan de electricidad. El uso de baterías supone una limitación en la potencia disponible importante, así como en la duración del uso continuado del amplificador. Además, supone un encarecimiento considerable del dispositivo.

Las baterías deberán ser capaces de suministrar 30 WRMS de potencia, cifra que no supone un gran problema. Para saber la intensidad y voltaje necesarios será necesario avanzar un poco más en el proyecto.

Teniendo en cuenta estos datos, así como el estilo de música y sonido del amplificador, deberemos elegir entre amplificación con transistores o válvulas. Dado el gran consumo y las grandes tensiones necesarias para el funcionamiento de las válvulas estas parecen incompatibles con unas baterías que ya deben ser capaces de suministrar 30 WRMS al

altavoz. De esta forma la elección en este caso será de transistores. La distorsión y el sonido alcanzado será distinto, aunque este siempre se puede modificar mediante control de tonos y circuitos de distorsión.

### 4.1.2 Esquema General del Amplificador

El diseño elegido para el amplificador constará de etapa de preamplificación con dos canales, uno para el limpio y otro para distorsión. Una etapa de ecualización con tres bandas. Circuito de reverberación y por último etapa de potencia donde se conseguirán tanto la tensión como la corriente final necesarias para mover el altavoz. Además, en esta última etapa deberá disponer tanto de entrada como de salida auxiliar.

Para el circuito de reverberación será necesario disponer de un tanque de reverberación. Este reduce la señal significativamente por lo tanto será necesario que el mismo circuito recupere la señal a su valor previo. La señal de este circuito se mezclará en la etapa de potencia con la original para que sea posible disponer de ambas.

Por último, falta mencionar el circuito de alimentación que deberá suministrar la tensión y corriente a todos los circuitos. Esta deberá ser continua y cualquier irregularidad que presente o rizado acabará en la señal final así que deberá ser convenientemente analizada y filtrada.

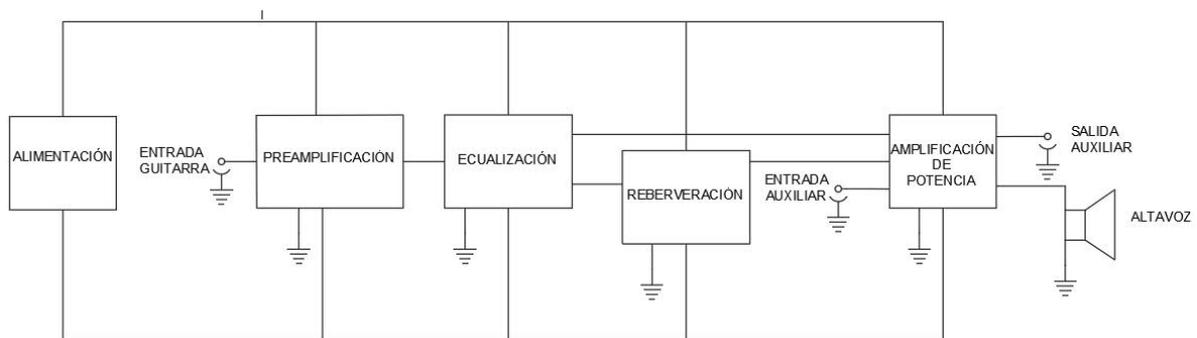


Figura 11. Esquema del amplificador

## 4.2 Altavoz

### 4.2.1 Requerimientos

El altavoz deberá ser capaz de reproducir con fidelidad frecuencias desde 82Hz hasta 1344Hz que corresponden a la nota más grave y la más aguda, respectivamente, disponible en una guitarra de 24 trastes. Además, hay que tener en cuenta que el amplificador dispondrá de una entrada auxiliar para música por lo que deberemos tener en cuenta todo el espectro sonoro percibido por los humanos 20Hz-20000Hz. Es importante tener en cuenta las frecuencias a reproducir dado que los parlantes de gran tamaño (woofer) es buen reproductor de frecuencias bajas, pero no de medias ni altas. Los de tamaño medio (drivers) reproducen medias Y los de pequeño tamaño (tweeters) altas.

Existe una clase de parlante formado a su vez por parlantes de diferentes tamaños colocados de manera coaxial, de esta forma no será necesario utilizar tres altavoces sino uno.

También es necesario tener en cuenta que la potencia absorbida por el altavoz deberá ser de al menos 30 WRMS.

#### **4.2.2 Modelo**

Teniendo en cuenta todos estos requisitos se elige el siguiente altavoz:



*Figura 12. Altavoz Pioneer TS-E2095*

Sus especificaciones son las siguientes:

- Sistema de reproducción: Coaxial de 3 vías
- Impedancia nominal: 4 Ohmios
- Máxima potencia de música: 300 W
- Potencia nominal RMS: 90 W
- Sensibilidad: 91 dB/W (1 m)
- Frecuencia de respuesta: 25-32,000 Hz
- Diámetro: 20 cm

### **4.3 Alimentación**

#### **4.3.1 Tensión**

Teniendo en cuenta la impedancia del altavoz y la potencia requerida es posible calcular la tensión de alimentación necesaria. La potencia absorbida por el altavoz será la siguiente:

$$P_{ef} = \frac{V_{ef}^2}{R_L} \quad (2)$$

La relación entre el voltaje de alimentación ( $V_{cc}$ ) y el eficaz ( $V_{ef}$ ) es la raíz de dos, de esta forma procedemos a sustituir en la ecuación:

$$P_{ef} = \frac{V_S^2}{2R_L} \quad (3)$$

Aislando el voltaje de alimentación la ecuación queda:

$$V_S = \sqrt{2R_L P_{ef}} = 15,5 V \quad (4)$$

Atendiendo que las ondas sonoras tienen carácter alterno, se tratan en perturbaciones momentáneas de la presión no de incrementos o disminución constantes, debemos tener en cuenta el ciclo negativo y doblar la tensión de alimentación. Esto quiere decir que habrá una tensión de alimentación de 15,5V y otra de -15,5V.

Esta sería la tensión de alimentación necesaria si la carga (altavoz) se conecta entre la tensión de entrada y la masa, esta no es la conexión usual para los amplificadores de audio. Para sacar mayor potencia de la misma fuente de alimentación los sistemas de audio acostumbran a conectar la carga en un puente en configuración de H. De esta forma la carga se encuentra ahora entre la tensión de salida positiva y la negativa, o lo que es lo mismo, la tensión de salida se dobla.

$$P_{ef} = \frac{\left(2 \cdot \frac{V_S}{\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} = \frac{2 \cdot V_S^2}{R_L} \quad (5)$$

$$V_S = \pm \sqrt{\frac{R_L \cdot P_{ef}}{2}} = \pm 7,75 V \quad (6)$$

Ahora procedemos a calcular la corriente máxima o pico que requerirán el altavoz:

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{2 \cdot V_S}{R_L} = 3,9 A \quad (7)$$

Esta corriente máxima se traduce en la siguiente eficaz:

$$I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 2,74 A \quad (8)$$

### 4.3.2 Baterías

Sabiendo la tensión de alimentación y la intensidad máxima podemos determinar que son necesarias dos baterías de por lo menos 7,75 V cada una y con una descarga máxima superior a 3,9 A dado que la eficiencia del circuito será inferior a la unidad. Desgraciadamente encontrar una batería así en el mercado es muy complicado. Los fabricantes normalmente no indican la intensidad o potencia máxima que pueden generar sus baterías de forma continua sin dañarlas. No sería problema si nos encontráramos con bajas intensidades de cientos de miliamperios, pero no es este el caso.

Debido a la necesidad de contar con voltajes y amperajes altos la elección se reduce a dos posibilidades: las baterías de ácido plomo y las de ion litio.

Las baterías de ácido plomo están formadas por depósitos de ácido sulfúrico dentro de los cuales se encuentran placas de plomo. Estas baterías son grandes, pesadas potentes, con bastante capacidad y de precio moderado.

Las baterías de lones de litio funcionan con sal de litio. Se trata de las baterías más ligeras y fiables que existen. Tienen poco efecto memoria y mantienen el voltaje durante gran parte de su descarga. Tiene una gran capacidad de descarga, aunque poco voltaje y como gran inconveniente tienen su alto precio.

Teniendo en cuenta que el peso en un amplificador portátil es un factor crucial las baterías de plomo quedan descartadas. Sin embargo, la elección de las baterías li-ion crea un nuevo problema, se deberá disponer de un convertidor Boost para aumentar la tensión de alimentación hasta los  $\pm 7,75V$ ..

Finalmente, las baterías escogidas son las Efest IMR 18650 de 3,7V y 3000 mAh cada una. Estas baterías son pequeñas y ligeras. Además, aunque no poseen un alto voltaje sí que pueden suministrar una gran corriente. Por contra son bastante caras así que determinar el número de baterías resulta fundamental para no sobrepasar el presupuesto.



Figura 13. Baterías Efest IMR 18650

De esta forma, con una tensión inferior la corriente demandada por el altavoz será mayor dado que el convertidor Boost sube la tensión a costa de disminuir la corriente de forma que la potencia suministrada sigue siendo la misma. La nueva tensión demandada suponiendo que se utilicen dos de de estas baterías será:

$$I_p = \frac{I_{max} \cdot V_S}{V_{CC}} = 8,17 A \quad (9)$$

En las especificaciones el fabricante establece 20 A como límite de corriente si esta es continua y 35 A si esta consiste en un pulso de corriente. Teniendo en cuenta que 10,47A será el pico de intensidad que requieren al altavoz a la que debemos de sumarle la

corriente consumida por el resto del circuito parece que tan solo con dos baterías será suficientes.

Cada batería dispone de 3000 mAh de carga por los que en total tenemos 60000 mAh. Se procede a calcular la duración de esta cuando el amplificador funciona a máxima potencia:

$$I_{ef} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} = 5,78A \quad (10)$$

$$t = \frac{Q}{I_{ef}} = 1,038 h = 1h 2min \quad (11)$$

Este tiempo parece insuficiente, se deben utilizar 4 baterías. Dispuestas en serie proporcionarán una tensión de suministro  $V_s = \pm 7,4 V$  que se parece mucho a la calculada anteriormente que era necesaria para los 30 WRMS. Se recalcula nuevamente la potencia entregada al altavoz, la corriente máxima y el tiempo de duración con la nueva tensión de alimentación:

$$P_{ef} = \frac{2V_s}{R_L} = 27,38 W_{RMS} \quad (12)$$

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{2V_s}{R_L} = 3,7 A \quad (13)$$

$$I_p = \frac{I_{max} \cdot V_s}{V_{CC}} = 3,7 A \quad (14)$$

$$t = \frac{Q}{I_{ef}} = 3,24h = 2h 14,6 min \quad (15)$$

Este tiempo es más que suficiente para un ensayo o concierto. Igualmente, siempre podrían incluirse otras cuatro baterías al circuito en paralelo a las otras cuatro duplicando la carga total y no suponiendo ningún cambio al funcionamiento del amplificador.

### 4.3.3 Led Indicador del Encendido

Para indicar que el circuito se encuentra encendido y las baterías cargadas se utiliza un diodo led. Este se encenderá cuando haya tensión de alimentación e irá apagándose conforme las baterías se queden sin carga.

El dispositivo irá conectado entre la toma positiva y negativa de las baterías. Para que el led se polarice correctamente y no llegue a quemarse es necesario conectar una resistencia en serie que rebaje la tensión entre sus patas.

Primeramente, es menester conocer las especificaciones del led. Escogemos el Kingbright WP710A10SEC/J3 que según su hoja de datos tiene las siguientes características:

$$I_F = 20 mA$$

$$V_F = 2,2 V$$

Estos son los valores recomendados de operación del led. Para calcular la resistencia se debe resolver la ecuación que nos dice la tensión entre ambos extremos del circuito:

$$V_s - (-V_s) = V_F + I_F \cdot R \rightarrow R = \frac{2V_s - V_F}{I_F} = 630 \Omega \quad (16)$$

Normalizando el valor tenemos una resistencia de  $680\Omega$ . De esta forma la corriente y la potencia consumidas en este circuito es el que sigue:

$$I_F = \frac{2V_S - V_F}{R} = 18,5 \text{ mA} \quad (17)$$

$$P = 2V_S \cdot I_F = 0,27 \text{ W} \quad (18)$$

Esto representa en torno a un uno por ciento de la potencia consumida por el altavoz cuando trabaja al máximo por lo que puede considerarse un valor despreciable en este caso.

## 4.4 Etapa de Preamplificación

### 4.4.1 Diseño de la Etapa de Preamplificación

Como ya se ha mencionado anteriormente, esta etapa es la que toma la señal directamente de la guitarra y amplifica su tensión. Para añadir versatilidad, consta de dos canales, uno limpio y el otro de distorsión para crear un efecto overdrive en la señal. Por último, un circuito de recorte que puede conectarse en cualquiera de las dos vías mencionadas anteriormente y que genere un efecto fuzz para mayor flexibilidad en el sonido.

La ganancia en tensión se produce mediante un amplificador operacional en configuración no inversora. El operacional escogido es el LM358 que al tener dos canales también nos servirá para la siguiente etapa, la ecualización.

La configuración no inversora permite ajustar a la entrada una elevada impedancia de entrada y un filtro paso banda completamente independientes de la ganancia que será ajustable mediante potenciómetros en sendos canales. Por contra, la ganancia nunca podrá ser inferior a la unidad por lo tanto reduciendo la ganancia al mínimo no se apagará la señal de entrada sino permanecerá con la misma amplitud igual. Esta característica deberá tenerse en cuenta más adelante puesto que el potenciómetro del volumen deberá ser capaz de apagar la señal completamente.

La señal de entrada según los ensayos en el laboratorio toma los siguientes valores máximos y mínimos que habrá que tener en cuenta:

$$V_i \in (30; 250)mV_p$$

$$f \in (70; 2600)Hz$$

Atendiendo a estos valores ajustamos el filtro paso banda y las ganancias de la etapa de preamplificación por lo que el circuito elegido es el siguiente:

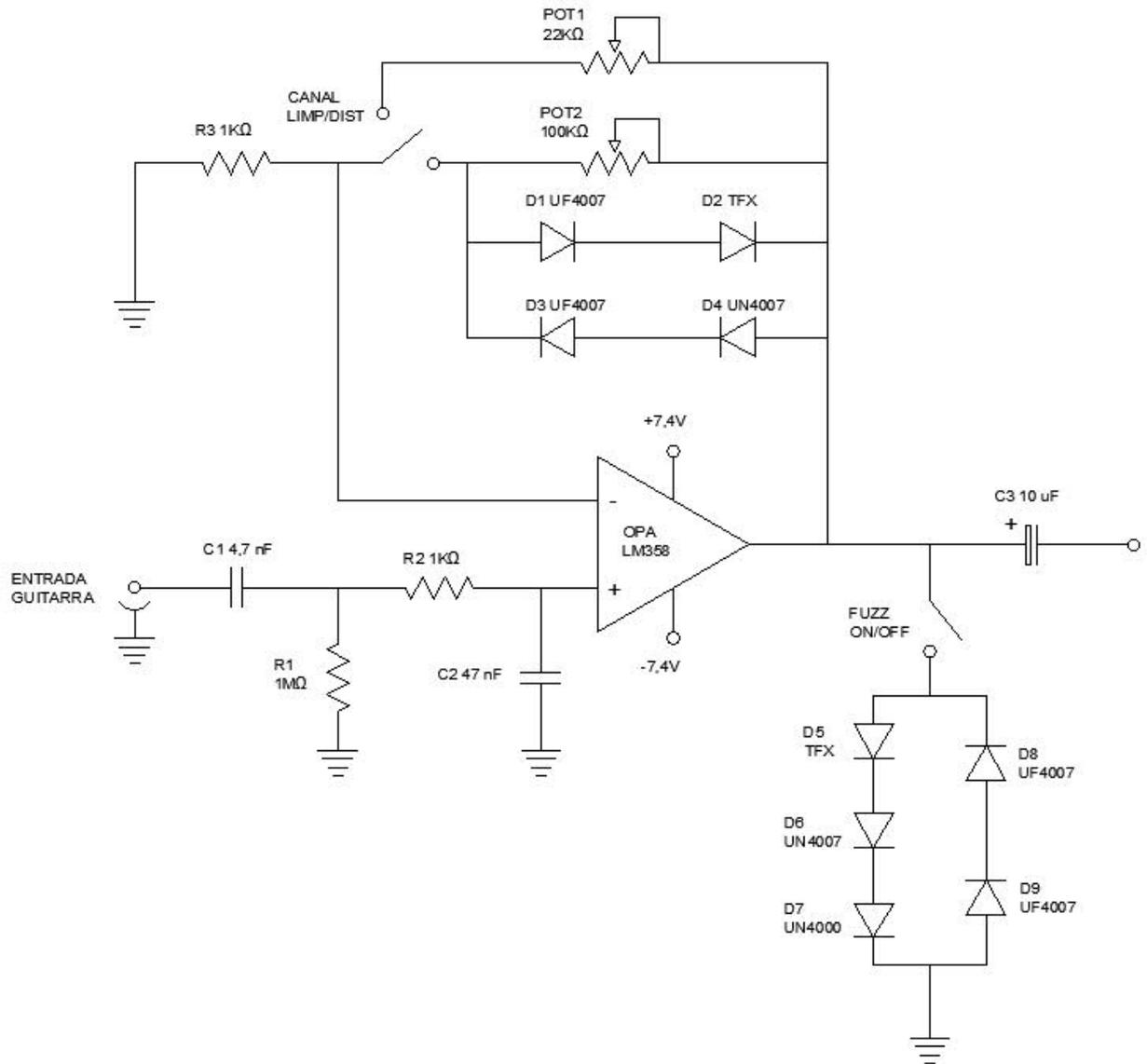


Figura 14. Etapa de preamplificación

#### 4.4.2 Transformación de la Señal en la Etapa de Preamplificación

La impedancia de entrada R1 de 1MΩ garantizará que no se pierda la señal debido a una corriente en la guitarra demasiado alta. Esta resistencia tan alta permite despreciar la resistencia interna del circuito de la guitarra y calcular su corriente cuando la señal sea máxima:

$$I_{iMAX} = \frac{V_{iMAX}}{R_i} = 0,25 \mu A \quad (19)$$

Los condensadores C1 y C2 junto con las resistencias R1 y R2 forman un filtro paso banda. Los primeros forman un filtro paso alto y previenen que se derive voltaje continuo a la guitarra. Los segundos, por el contrario, forman un filtro paso bajo y filtran el ruido

electromagnético que pueda captar el cable de la guitarra. Las frecuencias de corte son las siguientes:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = 33,9 \text{ Hz} \quad (20)$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = 3,39 \text{ KHz} \quad (21)$$

Una vez la señal llega la entrada no inversora del amplificador operacional, esta iguala el voltaje en su entrada inversora. De este punto parten dos canales seleccionables mediante el interruptor de doble vía. Además, dispone de un circuito de fuzz que recorta la señal mediante diodos y que es independiente del anterior mencionado. De esta forma este circuito dispone de cuatro configuraciones: limpio, overdrive, fuzz y overdrive+fuzz, este último seleccionando el canal distorsión y, además, conectando el circuito fuzz.

La ganancia del circuito será distinta para cada canal y, en el caso del circuito de distorsión dependerá no solo de la posición del potenciómetro, sino además de la señal de entrada puesto que los diodos dispuestos en paralelo a la resistencia conducirán en cuanto la diferencia entre la señal de entrada y salida sobrepase su tensión umbral a partir de la cual los diodos empiezan a conducir. Puesto que nos encontramos con un diodo de germanio y otro de silicio en serie sumando sus respectivas tensiones umbrales. Pasará lo mismo activando el circuito fuzz el cual recortará la señal y reducirá la ganancia.

$$G_{LIMP} = 1 + \frac{R_{LIMP}}{R_3} \in [1; 23] \quad (22)$$

$$G_{DIST} = 1 + \frac{R_{DIST}}{R_3} \in [1; 101] \text{ si } V_i * \frac{R_{DIST}}{R_3} \leq V_{D_{TOTAL}} \quad (23)$$

$$V_{D_{TOTAL}} = V_{D_S} + V_{D_G} = 0,7 + 0,3 = 1V \quad (24)$$

Se demuestra el correcto ajuste de las ganancias, en el canal limpio no debe producirse la saturación aun cuando la señal de entrada es máxima. Para el sucio debe producirse distorsión aun cuando la entrada de señal es mínima. Se procede a realizar los cálculos para el canal limpio primero:

$$V_o = G_{LIMP_{MAX}} \cdot V_{i_{max}} = 5,75 \text{ V} < 7,4V \quad (25)$$

Se comprueba que la señal no llega a saturarse.

Ahora para el canal de distorsión:

$$V_o = G_{DIST_{MAX}} * V_{i_{min}} = 3,03 \text{ V} > 1V \quad (26)$$

Se comprueba que los diodos recortarán la señal.

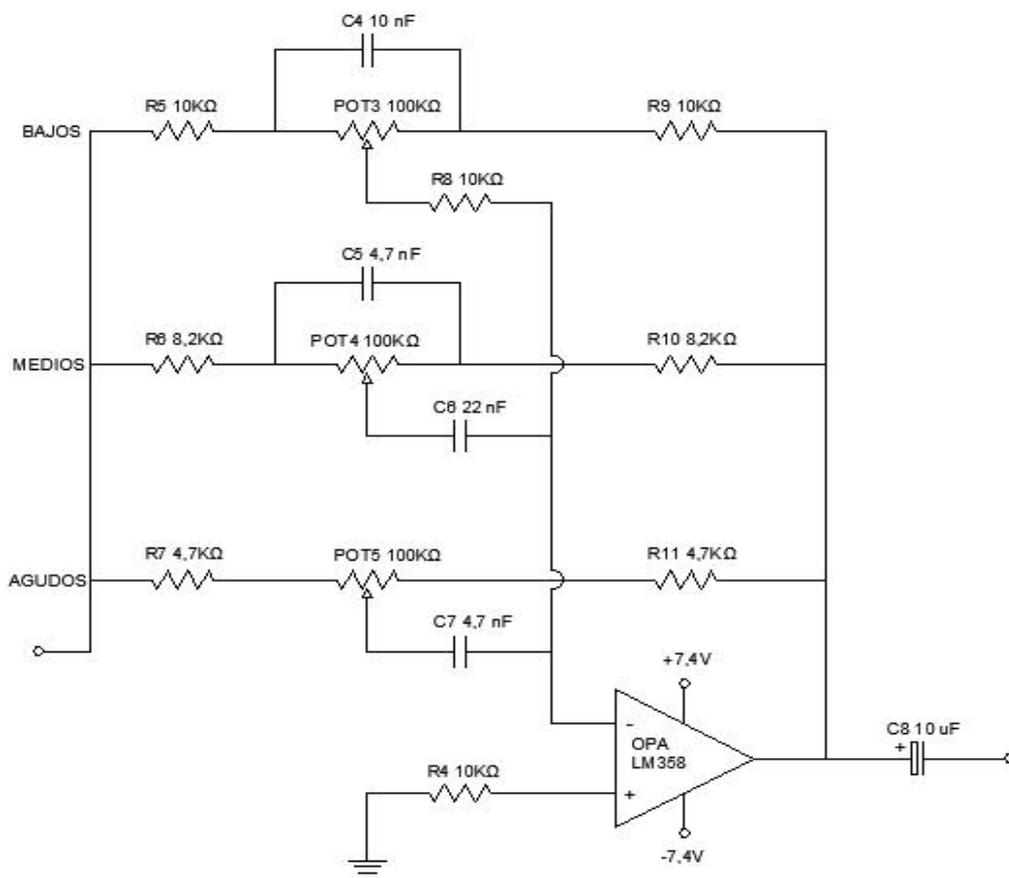
Por último, el condensador C3 filtra cualquier tensión continua provocada por el amplificador operacional o el recorte asimétrico por parte de los diodos. De esta forma se restablece la masa como tensión de referencia de cara a las siguientes etapas que podrían amplificar esta diferencia hasta llegar a los altavoces una componente de tensión continua que pudiera dañarlos.

A la salida del preamplificador irá conectado el circuito de ecualización, de esta forma podrá recortarse las sobrefrecuencias que pueda provocar el circuito de distorsión, así como modificar el timbre de la señal.

## 4.5 Circuito de Ecualización

El circuito de ecualización es el responsable de controlar los tonos de la señal por bandas cambiando el balance entre estas. De esta forma podemos conseguir un sonido más agudo, con más medio, más bajos, pero también reduciendo cualquiera de estos de ser necesario. Esto es así porque se trata de un filtro activo de tres bandas con sendos tres potenciómetros.

El circuito elegido es el siguiente:



Su funcionamiento se basa en separar la señal mediante filtros pasivos en tres distintas bandas, agudos, medios y bajos, y procede mediante el amplificador operacional a intensificar o atenuar su señal. Según la posición de cada uno de los potenciómetros será posible ajustar tanto la ganancia como la frecuencia de corte, en algunos casos, de las bandas.

Estos son los cálculos de la frecuencia de corte en las posiciones extremas para cada uno de los potenciómetros, estas posiciones son tener el pin central conectado al de la izquierda o al de la derecha:

*Banda de graves:*

$$Izq: f = \frac{1}{2\pi R_B C_4} = 160 \text{ Hz}; G = \frac{R_B + R_9}{R_5} = 11 = 20,8 \text{ dB} \quad (27) \text{ y } (28)$$

$$Der: f = \frac{1}{2\pi R_B C_4} = 160 \text{ Hz}; G = \frac{R_5}{R_9 + R_B} = \frac{1}{11} = -20,8 \text{ dB} \quad (29) \text{ y } (30)$$

*Banda de medios:*

$$Izq: f_1 = \frac{1}{2\pi R_M C_5} = 339 \text{ Hz}; f_2 = \frac{1}{2\pi R_6 C_6} = 882 \text{ Hz} \quad (31) \text{ y } (32)$$

$$G = \frac{R_{10} + R_M}{R_6} = 13,2 = 22,4 \text{ dB} \quad (33)$$

$$Der: f_1 = \frac{1}{2\pi R_M C_5} = 339 \text{ Hz}; f_2 = \frac{1}{2\pi \cdot (R_M + R_6) \cdot C_6} = 66,8 \text{ Hz} \quad (34) \text{ y } (35)$$

$$G = \frac{R_{10}}{R_6 + R_M} = \frac{1}{13,2} = -22,4 \text{ dB} \quad (36)$$

*Banda de agudos:*

$$Izq: f = \frac{1}{2\pi R_7 C_7} = 7204,8 \text{ Hz}; G = \frac{R_{11} + R_A}{R_7} = 26,6 = 28,5 \text{ dB} \quad (37) \text{ y } (38)$$

$$Der: f = \frac{1}{2\pi \cdot (R_A + R_8) \cdot C_7} = 160 \text{ Hz}; G = \frac{R_9}{R_A + R_8} = \frac{1}{26,6} = -28,5 \text{ dB} \quad (39) \text{ y } (40)$$

Todas las bandas amplificadas o atenuadas se suman a la salida del amplificador operacional. Aquí nos encontramos con el condensador C8 responsable de corregir cualquier desequilibrio en la salida provocada por el comportamiento no ideal del amplificador operacional y que el voltaje de referencia vuelva a ser el de la masa.

La salida de este circuito irá conectada al circuito de reverberación y también a la etapa de potencia final. De esta forma creamos un baipás por el que la señal puede llegar sin reverberación al altavoz pasando por la del circuito de potencia. Será esta etapa la encargada de sumar ambas señales, así como la señal auxiliar, y regular su ponderancia.

## 4.6 Circuito de Reverberación

### 4.6.1 El Tanque de Reverberación

Para conseguir el efecto de la reverberación disponemos de un tanque de muelles Accutronics 8CB3C1B. Este aparato consiste en una caja metálica, abierta por la tapa. En su interior, dos transductores, uno de entrada y otro de salida unidos mediante unos muelles, tres en el caso de este tanque en concreto. En el de entrada la señal eléctrica pasa a magnética para después convertirse en cinética. El movimiento, a través de los muelles,

pasa de un transductor a otro y en el de salida sufre la transformación inversa a señal eléctrica.

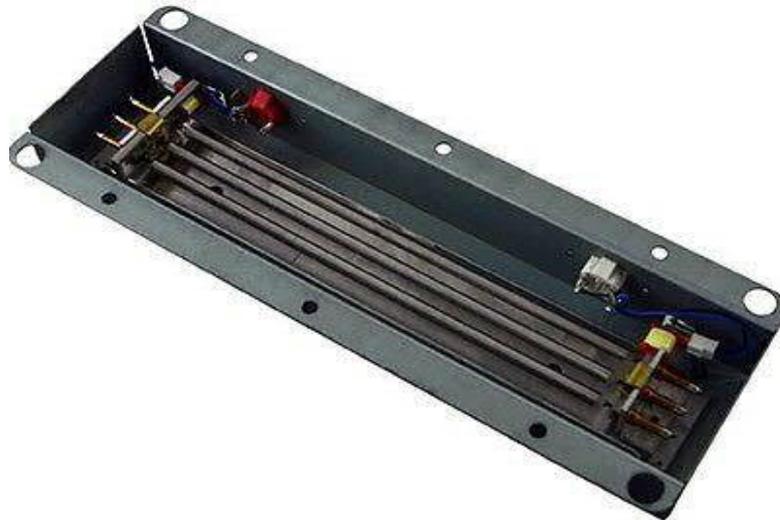


Figura 15. Tanque de reverberación Accutronics 8CB3C1B

Cada transductor consiste en un inductor, un circuito magnético y unos imanes, estos últimos van enganchados a sendos muelles. La señal entra por la toma de entrada al inductor que, rodeando este las placas del circuito magnético, transforma la señal. Los imanes en el centro del circuito magnético comenzarán a moverse entonces. Este vaivén se transmitirá por los muelles a los imanes del circuito de salida. En este se inducirá una señal magnética por su respectivo circuito que, a su vez, inducirá una señal eléctrica en el inductor de salida.

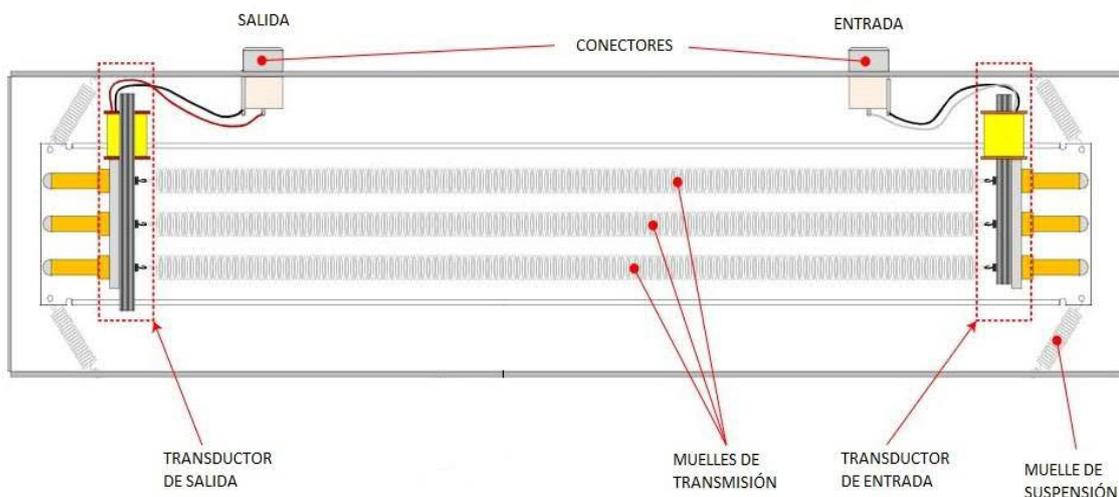


Figura 16. Esquema del tanque de reverberación

Cabe destacar que la señal de salida en el tanque no solo sufre el efecto de la reverberación, sino que, además, debido a los repetidos cambios en la forma de energía, se producen cuantiosas pérdidas de potencia. Por último, cabe considerar el hecho de que las bobinas en el tanque darán un carácter inductivo al tanque filtrando las frecuencias altas.

Hará falta diseñar un circuito de filtrado y uno de recuperación que ajuste la señal de salida a los valores y frecuencias necesarios en la etapa de potencia.

#### 4.6.2 Ensayo del tanque de reverberación

Para conocer el comportamiento del tanque se analiza la respuesta del tanque ante distintas entradas. Se realiza un ensayo en continua, aplicando voltaje tanto en la entrada como en la salida para conocer la resistencia interna.

Vin (V)	Iin (mA)	Vout (V)	Iout (mA)
6	170	6	28,7

Tabla 1. Ensayo del tanque de reverberación con corriente continua.

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = 35,3 \Omega \quad (41)$$

$$R_{out} = \frac{V_{out}}{I_{out}} = 209 \Omega \quad (42)$$

Seguidamente, el ensayo en alterna. Se aplica tensión a la entrada a distintas frecuencias y con el osciloscopio observamos la señal de salida.

	Vin (Vef)	f (Hz)	Rout (KΩ)	Iin (mAef)	Vout (mVef)
Ensayo 1	4,24	100	0	105	0
Ensayo 2	4,24	100	3,85	105	25,5
Ensayo 3	4,24	100	∞	105	63,6
Ensayo 4	4,24	1.000	0	19,2	0

Ensayo 5	4,24	1.000	3,85	19,2	10,6
Ensayo 6	4,24	1.000	$\infty$	19,2	12,7
Ensayo 7	4,24	10.000	0	2,1	0
Ensayo 8	4,24	10.000	3,85	2,1	11,3
Ensayo 9	4,24	10.000	$\infty$	2,1	84,9

Tabla 2. Ensayo del tanque de reverberación con corriente alterna

También se observa un ruido en la señal de salida conforme aumenta la impedancia de salida. Será necesario crear un filtro paso bajo para eliminarlo.

Se calcula la impedancia e inductancia de entrada en cada uno de los ensayos:

$$|\vec{Z}| = |R + j\omega L| = \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2} \rightarrow |\vec{Z}|^2 = R^2 + (2\pi fL)^2 \quad (43)$$

Aislando el término de la inductancia:

$$2\pi fL = \sqrt{Z^2 - R^2} \rightarrow L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2\pi f} \quad (44)$$

Aplicando esta fórmula a las distintas impedancias obtenidas en el ensayo para cada frecuencia:

$$Z_3 = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{4240}{105} = 40,4 \Omega \rightarrow L = 31,2 \text{ mH} \quad (45)$$

$$Z_6 = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{4240}{19,2} = 230,4 \Omega \rightarrow L = 34,7 \text{ mH} \quad (46)$$

$$Z_9 = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{4240}{2,1} = 2,02 \text{ K}\Omega \rightarrow L = 32,1 \text{ mH} \quad (47)$$

Se toma como dato definitivo y verídico para la inductancia de entrada la media de los valores resultados de los ensayos 3, 6 y 9:

$$L_{in} = \frac{L_3 + L_6 + L_9}{3} = 32,7 \text{ mH} \quad (48)$$

### 4.6.3 Circuito de Entrada al Tanque de Reverberación

El comportamiento inductivo de la bobina de entrada provocará una atenuación de las altas frecuencias. El objetivo es que la reverberación afecte a las frecuencias medias. La reverberación de las frecuencias graves produce un efecto no deseado para los amplificadores de guitarra. La reverberación de graves la encontramos entre los efectos empleados para darle a la voz un carácter tenebroso, pero en la guitarra oscurecerá el sonido demasiado.

Es por ello que se emplea un condensador en serie a la entrada del tanque de reverberación que, conjuntamente con la bobina, formará un filtro paso banda pasivo centrado en las frecuencias medias, es decir, en torno a 600Hz.

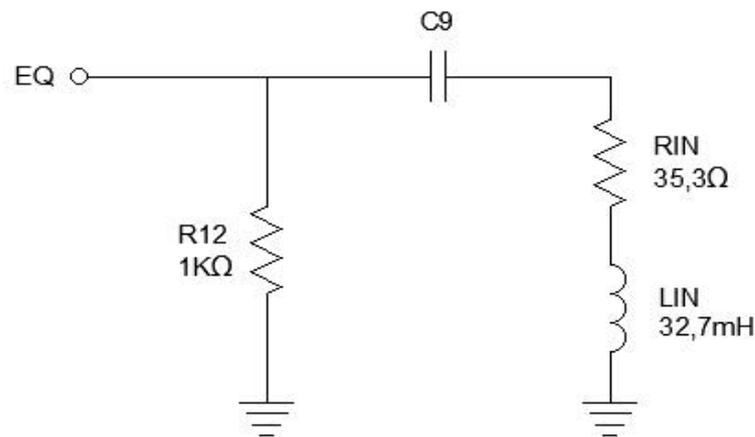


Figura 17. Circuito equivalente a la entrada del tanque

$$\vec{Z} = R + j\omega L - \frac{j}{\omega C} = R + j \frac{\omega^2 LC - 1}{\omega C} \quad (49)$$

$$\frac{\omega^2 LC - 1}{\omega C} = 0 \rightarrow \omega^2 LC - 1 = 0 \quad (50)$$

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{(2\pi f)^2 * L} = 2,15 \mu F \rightarrow NORM \rightarrow C_9 = 2,2 \mu F \quad (51)$$

Con esta capacidad la frecuencia de impedancia mínima queda:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 593 \text{ Hz} \quad (52)$$

La siguiente tabla refleja la variación de la impedancia de entrada respecto a la frecuencia. A mayor impedancia la corriente que circula por la bobina de la entrada disminuye, esto se traduce en que para la misma tensión de entrada a la salida la fuerza electromotriz inducida, o tensión, será menor.

f (Hz)	18	56	178	562	1778	5623	17783
Z ( $\Omega$ )	4065	1276	375	42	297	1048	3348

Tabla 3. Impedancia de entrada al circuito de reverberación

La variación de la admitancia respecto a la frecuencia tomando  $Y = \frac{1}{35}$  como referencia queda:

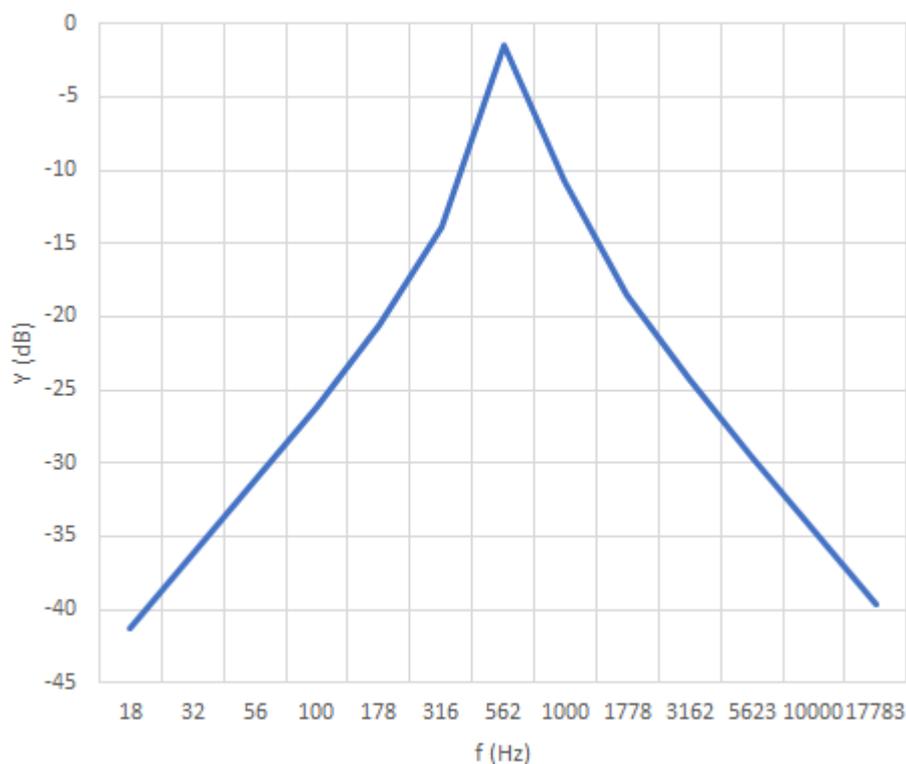


Figura 18. Admitancia de entrada al circuito de reverberación

#### 4.6.4 Circuito de Salida del Tanque de Recuperación

A continuación, se aborda la reducción de la amplitud de la señal. Se comprueba que cuanto mayor es la resistencia de salida menor es esta la reducción, de todas formas, el aumento de ruido con la resistencia de salida desaconseja.

Para ajustar la impedancia de salida colocamos una resistencia en paralelo a la salida del tanque. A continuación, mediante un circuito con un amplificador operacional en configuración no inversora retomamos los niveles de tensión previos.

La reducción de tensión depende en gran medida de la impedancia de salida. Es por eso que se realiza un ensayo donde conectamos un potenciómetro entre la entrada inversora y la salida del amplificador operacional y probamos distintos valores para el potenciómetro que corresponden a distintas ganancias del circuito.

Como característica del tanque de reverberación cabe destacar su falta de linealidad en cuanto a respuesta en frecuencia. Es decir, un pequeño cambio en la frecuencia de señal de entrada puede implicar un gran cambio en la amplitud de la señal de salida.

Esto es así porque en la salida se suman la señal de entrada con otra de la misma forma, pero cierto desfase. La señal resultante se verá incrementada o reducida en amplitud según la relación que haya entre el desfase y el periodo. Si la parte no entera de la relación es próxima a ser nula se producirá una interferencia constructiva y si es próxima a la mitad la interferencia entre ambas será destructiva y la señal se verá reducida.

Según el ensayo, la ganancia necesaria para recuperar la señal es de:

$$G = 150 = 43,5 \text{ dB}$$

Además, colocando un condensador en paralelo a la resistencia, entre la entrada negativa y la salida, podemos conseguir un filtro activo paso bajo. De esta forma se reduce el ruido creado por el tanque de reverberación.

El siguiente es el circuito elegido:

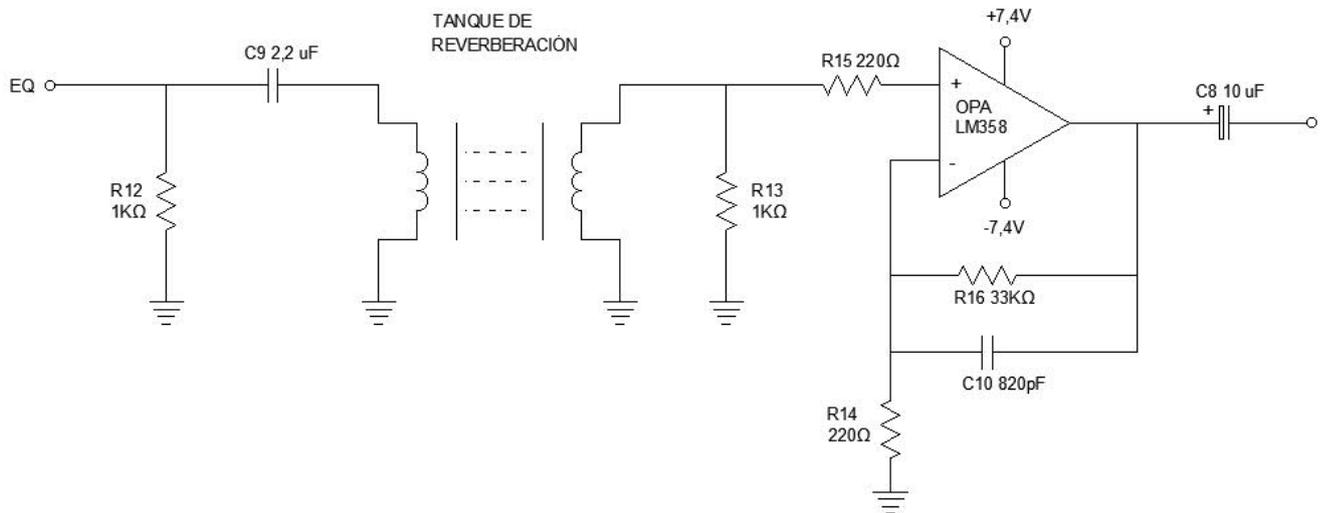


Figura 19. Circuito de reverberación

$$G = \frac{R_{16}}{R_{14}} = 150 = 43,5 \text{ dB}; f = \frac{1}{2\pi R_{16} C_{10}} = 5,88 \text{ KHz} \quad (53) \text{ y } (54)$$

Con este circuito se consigue reverberar la señal manteniendo la amplitud de esta. La salida dará a un potenciómetro conectado a la etapa de salida. El potenciómetro será el encargado de regular la cantidad de la señal reverberada que se amplifica y acaba en el altavoz.

## 4.7 Etapa de Potencia

### 4.7.1 Procedimiento Seguido para Diseñar la Etapa de Potencia

Esta etapa es la responsable de sumar todas las señales del amplificador, señales provenientes del ecualizador, circuito de reverberación y entrada auxiliar, y de amplificar su potencia dotándola del voltaje e intensidad de corriente necesarias para mover ya sea el altavoz o los auriculares. Es por esto por lo que es necesario tener en cuenta que esta etapa deberá contar con dos salidas adaptadas a dos impedancias y potencias diferentes.

La forma de proceder es diseñar toda la etapa para alimentar a los altavoces. Estos necesitan más potencia y mucha más corriente que los cascos así que serán los que dimensionarán la etapa. Seguidamente se procederá a conectar una salida para los cascos adaptada a los requerimientos de estos.

### 4.7.2 Amplificadores Operacionales de Potencia

Es fundamental que los componentes tengan las especificaciones adecuadas debido a las altas tensiones y corrientes que soportarán. Anteriormente en este mismo TFG ya se han calculado las corrientes y la tensión que necesita nuestro parlante:

$$V_s = \pm 7,4 V$$

$$I_{max} = 3,7 A$$

$$I_{ef} = 2,6 A$$

Respecto al altavoz conocemos su impedancia y su potencia máxima, aunque en este caso hemos decidido diseñar el amplificador para entregar una potencia diferente:

$$R_L = 4 \Omega$$

$$P = 30 W_{RMS}$$

Como ya se ha explicado anteriormente se utilizará una configuración en H para así sacar mayor potencia al amplificador. Es por ello por lo que será necesario diseñar el circuito para conseguir las tensiones y corrientes deseadas y añadirle otro circuito que, en paralelo, tome esta señal y la invierta. Con tal fin, se dispone de dos amplificadores operacionales de potencia OPA548, uno con un circuito de realimentación inverso.

Se comprueba que estos dispositivos cumplen con las especificaciones requeridas:

### 7.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted) <sup>(1)</sup>

	MIN	MAX	UNIT
Output current	See Figure 40		
Supply voltage, V+ to V-	60		V
Input voltage	(V-) -0.5V	(V+) + 0.5	V
Input shutdown voltage			V+
Operating temperature	-40	125	°C
Junction temperature	150		°C
T <sub>stg</sub> Storage temperature	-55	125	°C

Figura 20. Valores máximos permitidos

En la tabla mostrada en la figura podemos ver que la tensión de alimentación no excede el límite de  $\pm 30V$ . Para ver la corriente de salida máxima permitida hay que acudir a la *figura 40* de la hoja de datos que aparece a continuación:

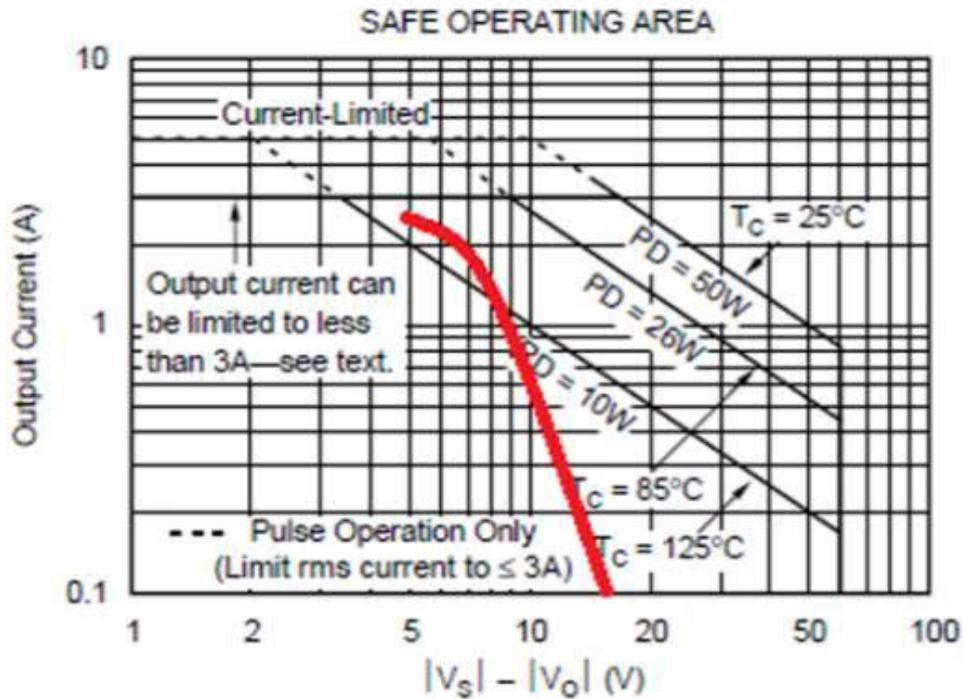


Figura 21. Corriente máxima permitida

Podemos comprobar que la máxima tensión de alimentación que resiste es de  $60(\pm 30)V$  y la corriente máxima RMS que puede proporcionar, con una tensión entre la alimentación y

la salida menor a 3V, es de 3A. Se calcula la situación límite de 3V para ver si la corriente en este caso será menor:

$$i_{RMS} = \frac{2 \cdot (V_S - 3)}{R_L} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 1,56 A \quad (55)$$

### 4.7.3 Sumador de Señales

El primer operacional (OPA1) será el encargado de sumar todas las señales de entrada a la etapa. Para ello se conecta una serie de resistencias entre cada toma de la señal y la entrada inversora del operacional. El valor de la resistencia nos dará la ponderación cada señal respecto del valor final:

$$V_o = -R_o \cdot \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots \right)$$

A mayor resistencia menor ponderación, debemos analizar la amplitud de cada señal y la importancia que deseamos que estos tengan. Primeramente, la proveniente del circuito de ecualización que queremos que sea la más importante.

La amplitud de esta señal depende de la proveniente de la guitarra, del canal seleccionado en la etapa de preamplificación y de la posición del potenciómetro correspondiente. Por último, la etapa de ecualización también puede atenuar o incrementar la señal, pero debido que el objetivo de esta etapa es balancear los armónicos y no la amplitud de la señal no tendremos esto en cuenta.

Se pretende que el circuito de su máxima potencia cuando los potenciómetros se encuentren en sus valores más altos, es decir, la ganancia sea máxima. Esto deberá ser así incluso cuando la señal de entrada sea mínima. Se calcula cual deberá ser la ganancia para que esto sea así, para ello tomamos 30mV como valor de la tensión de entrada y 23 como la ganancia en la etapa de preamplificación. El valor final deberá ser el máximo posible, 7,4V. Entonces la ganancia en la etapa de potencia debe ser:

$$V_o = G_1 \cdot G_2 \cdot V_i \rightarrow G_2 = \frac{V_o}{G_1 \cdot V_i} = 10,7 = 20,6 dB \quad (56)$$

Seguidamente, se analiza la señal proveniente del circuito de reverberación. Esta toma los mismos valores que la proveniente del ecualizado; sin embargo, no es deseable que tenga tanta preponderancia como la anterior. Para poder controlar su nivel en la señal resultante es necesario un potenciómetro conectado entre la salida del circuito de reverberación y la masa. La entrada a la etapa de potencia será el pin intermedio. De esta forma se obtiene un divisor de tensiones regulable.

Teniendo en cuenta lo anteriormente citado, la ganancia, en el caso en el que el potenciómetro se encuentre al máximo, deberá ser algo menor de 20 dB.

Por último, se atiende a la señal auxiliar. Según ensayos en el laboratorio es conocida la amplitud de esta señal que es de 60mV. También se debe tener en cuenta que esta señal es estéreo, en la salida tendremos la suma de ambos canales pues. Se calcula la ganancia necesaria para que la señal a la salida sea máxima:

$$V_o = G_{AUX} \cdot (V_{AUX-L} + V_{AUX-R}) = 2 \cdot G_{AUX} \cdot V_{AUX}$$

$$G_{AUX} = \frac{V_o}{2 \cdot V_{AUX}} = 61,7 = 35,8 \text{ dB} \quad (57)$$

Conocidas las ganancias para cada señal se calculan los valores de las resistencias. Si el potenciómetro entre la entrada negativa y la salida es de 10KΩ tan solo tendremos que dividir entre la ganancia:

$$|G| = \left| -\frac{R_2}{R_1} \right| \rightarrow R_1 = \frac{R_2}{G} \quad (58)$$

Aplicando esta fórmula a las señales antes analizadas:

$$R_{EQ} = 935 \Omega \rightarrow \text{NORM} \rightarrow R_{EQ} = 820 \Omega$$

$$R_{REV} = 1000 \Omega \rightarrow \text{NORM} \rightarrow R_{REV} = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R_{AUX} = 162 \Omega \rightarrow \text{NORM} \rightarrow R_{EQ} = 150 \Omega$$

Finalmente, el primer amplificador operacional de la etapa de potencia queda de la siguiente forma:

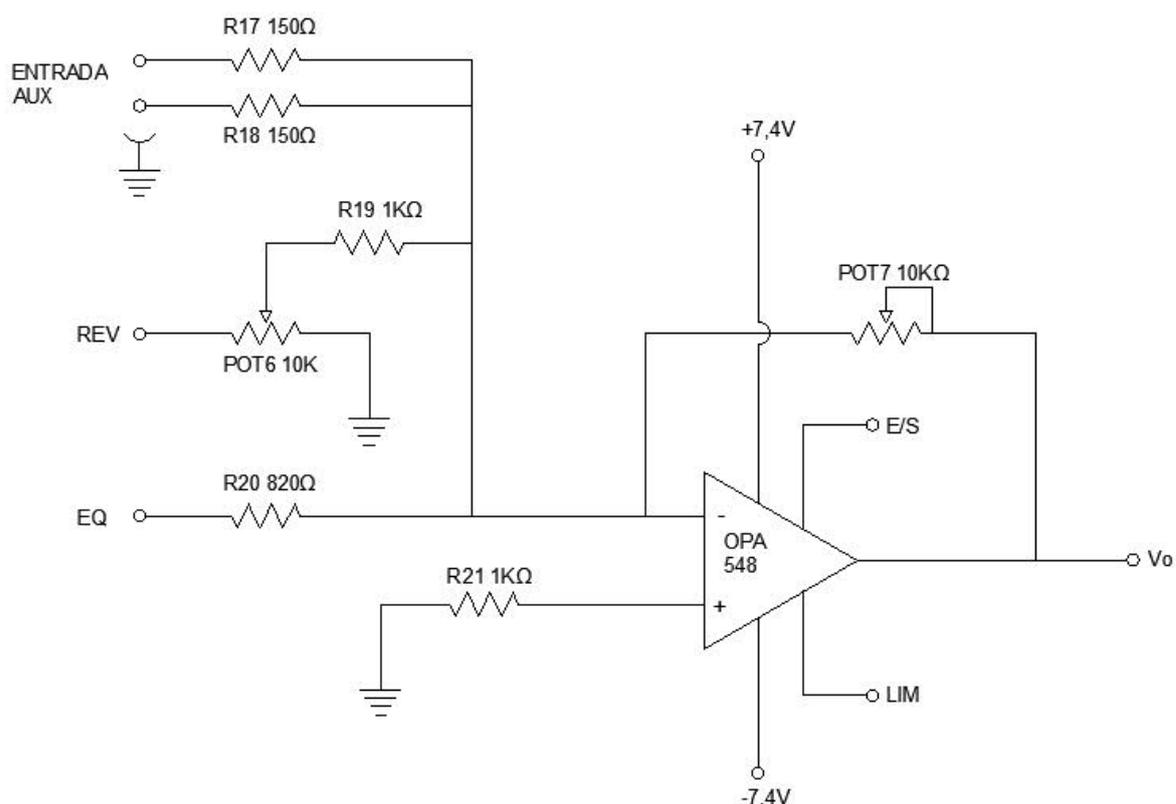


Figura 22. Circuito sumador

#### 4.7.4 Inversor de Fase

El segundo operacional (OPA2) es el encargado de tomar la señal de salida del OPA1 ( $V_o$ ) e invertirla, esto quiere decir que la salida sea  $-V_o$ . Para ello se conecta de forma inversora, realimentación negativa, con una ganancia de uno.

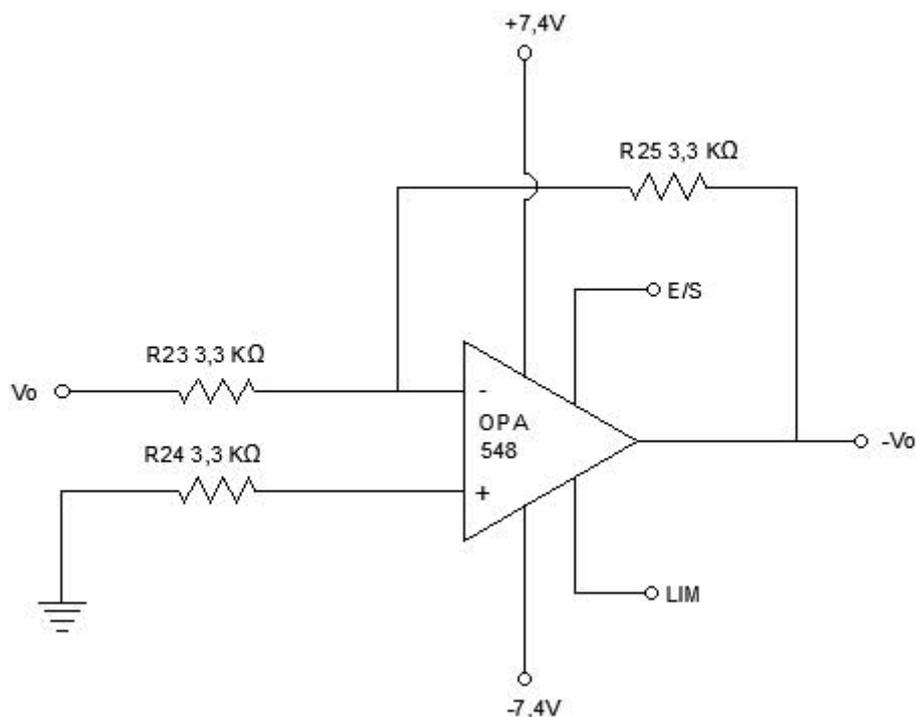


Figura 23. Circuito inversor de fase

$$G = -\frac{R_{25}}{R_{23}} = -1 \quad (59)$$

El altavoz irá conectado entre los terminales de salida de ambos operacionales y la tensión en cada borne por tanto será  $V_o$  y  $-V_o$ . La corriente que cada amplificador operacional aporte al altavoz será igual y de signo contrario, esta saldrá de uno para entrar en el otro. Esto permite comprobar que la potencia entregada, consumida y las especificaciones a cumplir son exactamente las mismas para ambos operacionales.

Por último, se debe tener en cuenta la estabilidad en la tensión de alimentación para conseguir una buena precisión en la amplificación. Por ello se conecta condensadores de 100nF entre cada toma de alimentación y masa.

#### 4.7.5 Rendimiento de la Etapa de Potencia

La mayor parte de las pérdidas producidas en el amplificador corresponden a esta última de potencia que trabaja a unos altos voltajes y corrientes muy altos. Cabe distinguir entre la potencia absorbida por la carga y la que se perderá en los amplificadores operacionales

de potencia en forma de calor. Estos cuentan con una configuración interna de amplificador AB. Esto significa que los transistores que lleva integrados permanecen cortados hasta que la señal de salida los activa. Entonces conectan la salida a la toma de la alimentación positiva, si la señal de salida también lo es, o negativa en caso contrario. El transistor absorberá la potencia necesaria para modificar la tensión desde la toma de alimentación hasta la salida. Esto significa que cuanto más se acerque el voltaje de salida al de alimentación mayor será el rendimiento.

Con esta explicación se demuestra que la potencia entregada a la carga y la disipada, en este tipo de amplificadores operacionales, dependerán de la tensión de alimentación ( $V_S$ ), de la tensión de salida ( $V_o$ ) y de la corriente de salida ( $i_o$ ) que se verá relacionada con el parámetro anterior con la impedancia de la carga ( $R_L$ ).

Se considera la señal entregada a la carga como una senoidal de la forma:

$$V_o(t) = V_p \cdot \sin(\omega t) \quad (60)$$

En esta ecuación  $V_p$  representa el valor pico de la señal que se sabe que será de como máximo la tensión de alimentación.

Dividiendo entre la impedancia de la carga obtenemos la corriente de salida:

$$i_o(t) = \frac{V_p}{R_L} \cdot \sin(\omega t) \quad (61)$$

Se procede ahora a analizar la señal la potencia media que las baterías entregarán a esta etapa. Instantáneamente, esta se define como el producto de la tensión de alimentación por la corriente. Al haber dos amplificadores operacionales trabajando simétricamente se debe tomar en consideración la diferencia de tensión entre la toma negativa y positiva de la alimentación. Para saber la potencia media durante un ciclo se integra la potencia instantánea durante un semiciclo y dividir el resultado entre el tiempo de un semiperiodo, se asume que durante el restante semiciclo la energía entregada es exactamente la misma. El cálculo es el siguiente:

$$P_E = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} 2V_S \cdot i_o(t) dt = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} V_S \cdot \frac{2V_o(t)}{R_L} dt \quad (62)$$

$$P_E = \frac{8}{TR_L} \int_0^{T/2} V_S \cdot V_o(t) dt = \frac{8}{TR_L} \int_0^{T/2} V_S V_p \cdot \sin(\omega t) dt \quad (63)$$

Atendiendo a que:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (64)$$

Al sustituir queda de la siguiente forma y se realiza la integral:

$$P_E = \frac{8}{TR_L} \int_0^{T/2} V_S V_p \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) dt \quad (65)$$

$$P_E = \frac{8V_S V_p}{TR_L} \cdot \left[ -\frac{T}{2\pi} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2}\right) + \frac{T}{2\pi} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot 0\right) \right] \quad (66)$$

$$P_E = \frac{8V_s V_P}{T R_L} \cdot \left[ -\frac{T}{2\pi} \cdot (-1) + \frac{T}{2\pi} \cdot 1 \right] = \frac{8V_s V_P}{\pi R_L} \quad (67)$$

Ahora se pasa a la potencia que absorberá la carga. En este caso, la potencia instantánea se define como la tensión entre bornes por la corriente que pasa por la carga. Al igual que en los cálculos anteriores se analiza solo un semiperiodo. Los cálculos son los siguientes:

$$P_L = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} 2V_o(t) \cdot i_o(t) dt = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} V_o(t) \cdot \frac{2V_o(t)}{R_L} dt \quad (68)$$

$$P_L = \frac{8}{T R_L} \int_0^{T/2} V_P^2 \cdot \sin^2\left(\frac{2\pi}{T} t\right) dt \quad (69)$$

Sabiendo que:

$$\sin^2 \theta = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos(2\theta) \quad (70)$$

Sustituyendo queda:

$$P_L = \frac{8V_P^2}{T R_L} \int_0^{T/2} \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos\left(\frac{4\pi}{T} t\right) dt = \frac{4V_P^2}{T R_L} \int_0^{T/2} 1 - \cos\left(\frac{4\pi}{T} t\right) dt \quad (71)$$

$$P_L = \frac{4V_P^2}{T R_L} \cdot \left[ \frac{T}{2} - 0 - \frac{T}{4\pi} \cdot \sin\left(\frac{4\pi}{T} \cdot \frac{T}{2}\right) + \frac{T}{4\pi} \cdot \sin\left(\frac{4\pi}{T} \cdot 0\right) \right] = \frac{4V_P^2}{T R_L} \cdot \left[ \frac{T}{2} \right] = \frac{2V_P^2}{R_L} \quad (72)$$

Calculada la potencia entregada y la absorbida por la carga se sabe que la energía que no vaya a la carga será disipada en los transistores. La potencia disipada será pues la diferencia entre la entregada y la absorbida:

$$P_D = P_E - P_L = \frac{8V_s V_P}{\pi R_L} - \frac{2V_P^2}{R_L} \quad (73)$$

Se representan las ecuaciones en una gráfica para hacernos una idea de su respuesta para dar señal de salida. Se puede observar como la potencia disipada máxima no se da cuando la potencia entregada es máxima como cabria esperar. Más adelante se calculará este dato para saber si serán necesarios unos disipadores de calor.

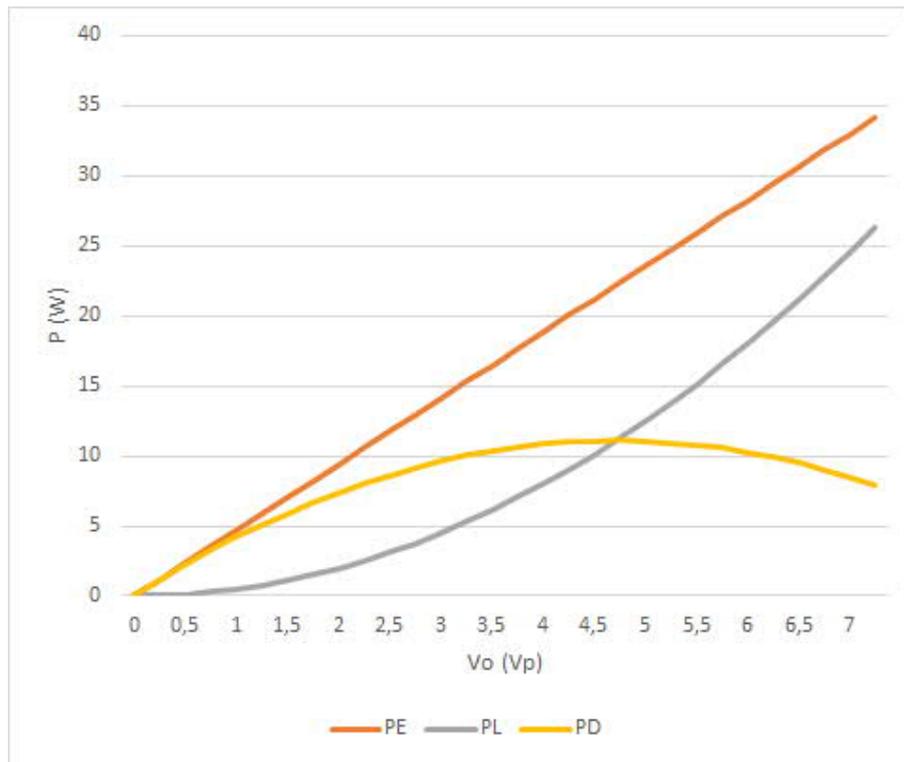


Figura 24. Potencia consumida

Finalmente, la eficiencia se define como la relación entre la potencia aprovechada por la carga y la total entregada por las fuentes de alimentación:

$$\eta = \frac{P_L}{P_E} = \frac{2V_P^2}{R_L} : \frac{8V_S V_P}{\pi R_L} = \frac{\pi V_P}{4V_S} \quad (74)$$

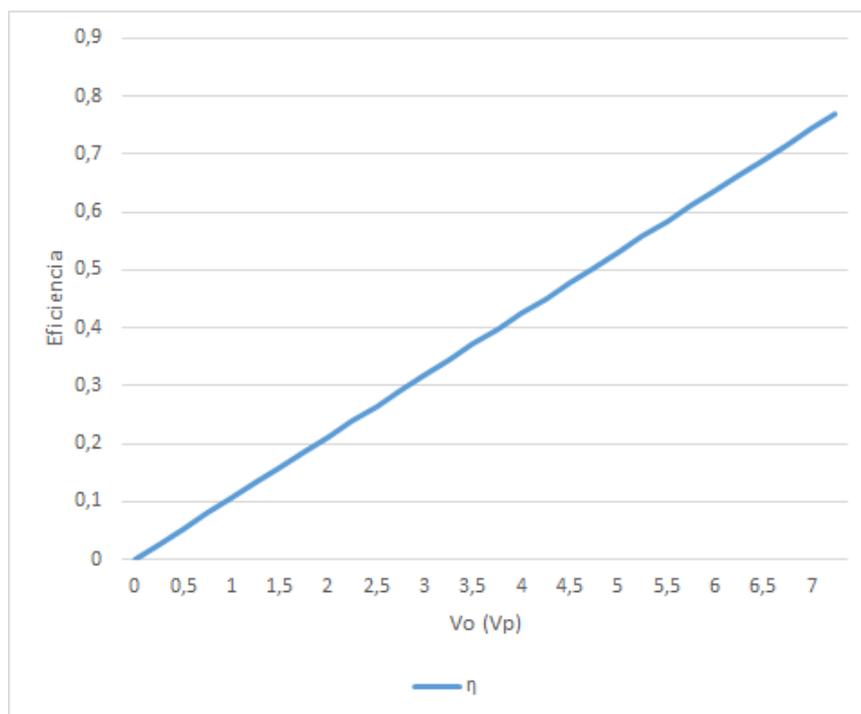


Figura 25. Rendimiento de la etapa de potencia

El rendimiento máximo se da cuando el voltaje de salida es máximo; es decir, llega a igualar la tensión de alimentación. Entonces la eficiencia será:

$$\eta = \frac{\pi V_s}{4V_s} = \frac{\pi}{4} = 0,785 \quad (75)$$

Se puede decir que el circuito tendrá una gran eficiencia para voltajes altos y que, por contra, la mayor parte de la energía consumida será disipada por los transistores cuando estos trabajan a baja potencia.

#### 4.7.6 Salida Auxiliar

Los cascos de música tienen una impedancia y potencias máximas distintas a los altavoces, es por ello que, una vez diseñado la etapa de amplificación y configurada la señal de salida de este comprobar si esta es aceptable para los cascos y acometer las modificaciones o conexiones pertinentes.

Para ello se escogen unos cascos en concreto ya que otros tendrán valores similares, los Pioneer DJ HRM-5, por ejemplo. Los valores de impedancia y de potencia máxima admisible serán pues:

$$Z = 32 \Omega$$

$$P_{max} = 1,7 W$$

Con estos valores pasamos a calcular el voltaje y la corriente que la señal a los cascos deberá tener como máximo:

$$P = \frac{V_L^2}{R_L} \rightarrow V = \sqrt{R_L \cdot P} \quad (76)$$

$$V_{max} = \sqrt{Z_{o2} \cdot P_{max}} = 7,38 V_{ef} \equiv \sqrt{2} \cdot 7,38 = 10,44 V_p \quad (77)$$

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{Z_{o2}} = 0,326 A_p \quad (78)$$

Gracias a la configuración en H de la etapa de potencia la tensión en bornes de la salida alcanza un máximo de 14,8V. Este valor es superior al indicado para los cascos por lo que la conexión de estos a la etapa de potencia deberá ser distinta a la del altavoz.

Conectando los cascos entre la toma positiva de la tensión de salida y la masa la tensión máxima que soportaría sería la que va de la tensión de alimentación positiva a la masa 7,4V. De esta forma la corriente, tensión y potencia máximas a las que se verían sometidos los cascos quedarían de la siguiente forma:

$$V_{max} = 7,4 V_p \quad (79)$$

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{Z_{o2}} = 0,231 A_p \quad (80)$$

$$P_{max} = \frac{V_{max}^2}{Z_{o2}} = 0,856 W \quad (81)$$

Estos valores están por debajo de los máximos y la potencia, aún por debajo de la máxima tiene el mismo orden de magnitud, aproximadamente la mitad, así que es aceptable.

Finalmente, se debe tener en cuenta que los auriculares pueden contar con uno o dos canales. Nuestro amplificador suma en su última etapa todas las señales que procesa quedando al final una única señal. La solución será enviar la misma señal a ambos canales de los auriculares.

## 4.8 Protecciones

### 4.8.1 Protecciones Térmicas

Dada la ineficiencia del circuito la potencia que no se traslade al altavoz se disipará en los transistores en forma de calor. Si la temperatura que alcanzan estos sobrepasa el límite para el que fueron diseñados podrían dañarse. Las especificaciones del OPA548 al respecto son las siguientes:

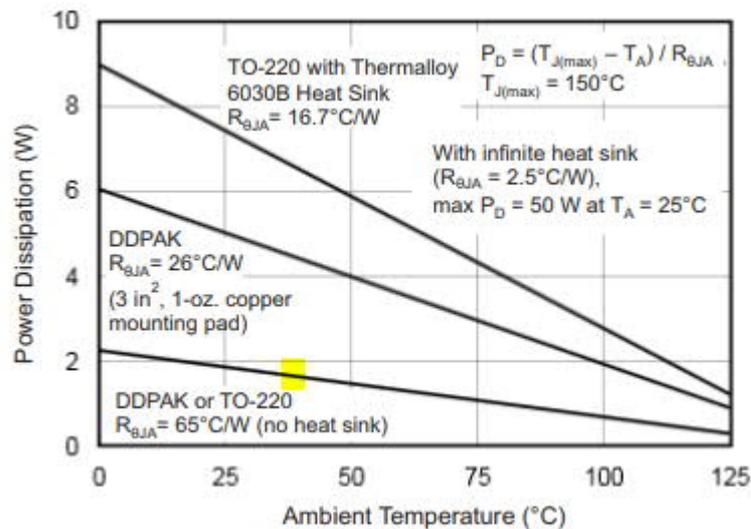


Figura 26. Disipación de calor de los OPA548

Se comprueba gracias a la gráfica que a una temperatura de unos 35°C la máxima disipación admisible llega casi a los 2W. El siguiente paso es comprobar si este valor es suficiente.

Calculada la potencia disipada total dependiente del voltaje de salida, para saber la potencia disipada en cada amplificador operacional habrá que dividir entre dos. Para calcular la resistencia térmica de los disipadores de calor es necesario calcular la potencia máxima disipada que se dará cuando la pendiente de la curva tenga valor nulo, se procede al cálculo de este punto:

$$\frac{d}{dV_P} P_D = \frac{8V_S}{\pi R_L} - \frac{4V_P}{R_L} = 0 \rightarrow V_P = \frac{2}{\pi} V_S$$

$$V_P = 4,71 V; P_D = 11,1 W \quad (82) \text{ y } (83)$$

Queda evidenciada la necesidad de unos disipadores de calor, uno por amplificador operacional. Se procede al cálculo, para ello se asume la situación más desfavorable, potencia disipada y temperatura ambiente máximas:

$$P_{D_{OA}} = \frac{P_D}{2} = 5,05 W \quad (84)$$
$$T_a = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

Según las especificaciones técnicas del OPA548 debe considerarse 125°C como la temperatura máxima de unión para garantizar que no sufra daños. La resistencia térmica de la unión al chasis es de 2 W/°C, también según especificaciones. Por último, la resistencia del chasis al disipador dependerá del tipo de unión que se utilice, (silicona, tornillo...) y del disipador. En este caso adoptará un valor de aproximadamente 1 W/°C.

Con todos estos datos se procede a calcular la resistencia térmica disipador-aire que nos permitirá escoger el disipador en cuestión:

$$R_{da} = \frac{T_u - T_a}{P_{D_{OA}}} - R_{jc} - R_{cd} = 13,8 \text{ }^\circ\text{C/W} \quad (85)$$

Finalmente, el disipador de calor escogido es el RA-T2X-64E. Con una resistividad térmica de 33,1 °C/W cumplen sobradamente con las especificaciones y se ajustan al encapsulado de los componentes.



Figura 27. Disipador de calor RA-T2X-64E

### 4.8.2 Protección Frente a Sobrecargas

Dada la naturaleza inductiva de la carga, con variaciones bruscas de la intensidad se pueden producir tensiones muy elevadas que pueden superar la tensión de alimentación y dañar las baterías o algún otro componente. Para evitar este efecto conectamos una serie de diodos entre la carga y la tensión de alimentación de tal forma que permanezcan en polarización inversa en el funcionamiento normal del circuito y permitan la corriente en cuanto la tensión entre bornes del altavoz supere la tensión de alimentación. La disposición será la siguiente:

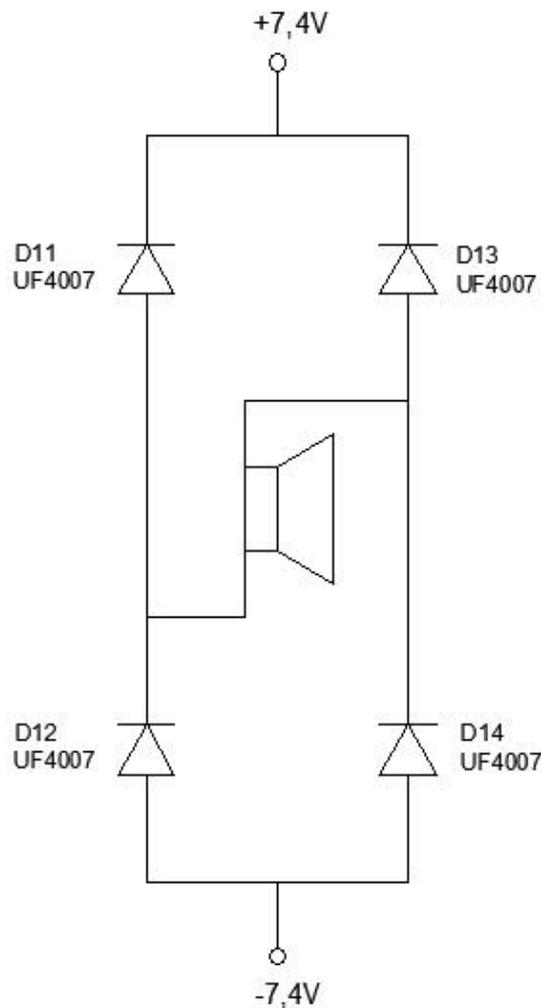


Figura 28. Circuito de protección frente a sobrecargas

Los diodos necesitan cierta tensión para polarizarse por lo que la tensión en bornes será mayor que la de alimentación. De todas, esta tensión de polarización es menor de un voltio por lo que no supone un problema.

### 4.8.3 Protección Frente a Cortocircuitos

Según el criterio de estabilidad de Nyquist un amplificador operacional puede concurrir en inestabilidad, lo que podría aumentar la tensión de salida descontroladamente y, por tanto, la corriente de salida. Para ello el OPA548 cuenta con un circuito que establece una corriente máxima a elección del usuario. Es una resistencia la que marca este límite. Sabemos cuál es la corriente máxima que queremos establecer:

$$I_{max} = 3,7 A$$

Se calcula el valor de la resistencia para establecer este límite. La fórmula la encontramos en la hoja de datos:

$$R_{CL} = \frac{(1500) \cdot (4,75)}{I_{LIM}} - 13750 = 5,5K\Omega \rightarrow NORM \rightarrow R_{CL} = 5,1K\Omega \quad (86)$$

## 4.9 Caja

Las cajas acústicas tienen una gran importancia en los sistemas de sonido afectando al resultado final del sonido producido. La vibración del altavoz crea zonas de sobrepresiones y depresiones que se transmiten por el aire, estas acaban llegando a nuestros oídos y los percibimos como sonidos. El problema con los altavoces es que, debido a la forma del cono, por su parte delantera y trasera crean la misma onda, pero inversa, cuando el altavoz se desplaza hacia adelante crea una sobrepresión en la parte delantera y una depresión en la trasera. En las regiones del espacio donde se encuentren estas ondas se podrá producir una cancelación del sonido, cortocircuito acústico.

Para interrumpir el fenómeno del cortocircuito se coloca el altavoz en una caja con un agujero en una de sus caras. La parte frontal del altavoz se dispone a ras de este agujero de forma que la trasera quede completamente encerrada. Así, las ondas de descompresión quedarán bloqueadas y no se producirá el cortocircuito acústico.

Este tipo de baffle es el denominado de caja infinita. Es el tipo más simple y el recomendado para reproducir frecuencias de medias a agudas. La eficiencia de este sistema es mucho menor para frecuencias graves que quedan apagadas. El método más simple para corregir esta situación es dotando a la caja de un tubo por el cual las ondas de baja frecuencia salgan reflejadas desde el interior de la caja. Este tubo es denominado reflector de graves.

Dado que el amplificador es de guitarra eléctrica que es un instrumento que produce ondas de frecuencia media no será necesario incorporar un reflector de bajos y se opta por el modelo de caja infinita.

La madera utilizada es la fibra de densidad media. Esta se fabrica descomponiendo residuos de madera en las fibras que la componen para ser aglutinadas utilizando cera, resina calor y presión. Es por eso que adquiere una gran densidad y estabilidad dimensional perfectas para la fabricación de equipos de sonido.

El diseño se ha hecho mediante el programa de Autodesk Inventor y los planos se encuentran anexos en este proyecto.

## 4.10 Placa de Circuito Impreso

### 4.10.1 Márgenes de seguridad en el Diseño de las Pistas

Esta placa será la encargada de sostener y conector todos los componentes electrónicos entre sí a través de su base y sus pistas conductoras respectivamente. La gran ventaja del circuito impreso frente a otras formas de conexión es que permite diseñar cualquier tipo de circuito y transferirlo a la placa de una forma rápida y precisa.

La impresión ha sido diseñada mediante el programa Eagle de Autodesk. Para ello hemos tenido en cuenta las especificaciones del circuito, corriente y voltajes máximos. esto es así porque una tensión excesiva entre dos pistas contiguas puede provocar saltos de corriente de una a otra provocando cortocircuitos. Por otra parte, una corriente excesiva puede provocar el sobrecalentamiento y consigo un daño permanente a la placa pudiendo llegar a quemarse.

Procedemos al cálculo:

$$V_{Max} = V_s - (-V_s) = 2V_s = 14,8 V \quad (87)$$

$$I_{Max} = \frac{2}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_s}{R_L} = 2,6 A \quad (88)$$

Habrá que considerar un margen de seguridad en la tensión dado que la naturaleza inductiva de algunos componentes puede producir sobretensiones. Igualmente, En el cálculo de la corriente máxima no tuvimos en cuenta el gasto energético de los componentes del circuito más allá del del altavoz.

$$V = \frac{V_{Max}}{0,8} = 18,5 V \quad (89)$$

$$I = \frac{I_{Max}}{0,8} = 3,25 A \quad (90)$$

Cabe destacar que tal corriente solo podrá darse en las pistas de potencia. Estas son las que conectan las tres salidas de las baterías (+Vs, -Vs y masa) con los amplificadores operacionales de potencia y, también, las pistas que conectan estos con el altavoz.

Teniendo un ancho de cobre de 35 micras el ancho de pista recomendado según la corriente máxima es:

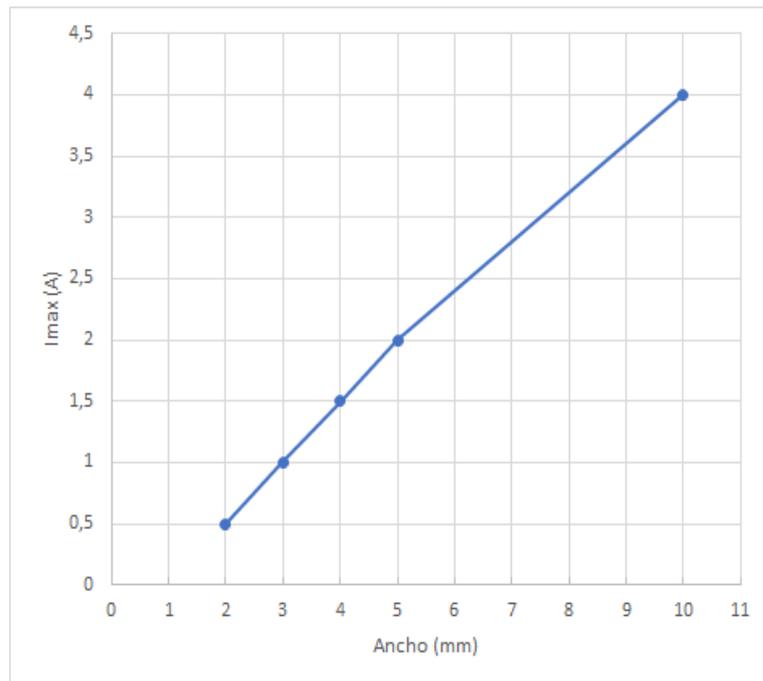


Figura 29. Disipador de calor RA-T2X-64E

La anchura necesaria en las pistas de potencia serán las siguientes:

$$x = 1 + \frac{1,5-1}{4-3} \cdot (3,25 - 3) = 1,125 \text{ mm} \quad (91)$$

Por otra parte, la distancia recomendable entre las pistas viene descrita en la siguiente tabla:

D (mm)	0,5	0,7	1	1,2	3
DDP (V)	10	50	100	180	250

Tabla 30. Disipador de calor RA-T2X-64E

Calculamos la distancia necesaria entre pistas:

$$D = 0,5 + \frac{(0,7-0,5)}{50-10} \cdot (18,5 - 10) = 0,54 \text{ mm} \quad (92)$$

#### 4.10.2 Distribución de Controles en la Placa de Circuito Impreso

Igualmente, será muy importante considerar la disposición de los potenciómetros y los interruptores. Es necesario que el usuario tenga total acceso a estos, para ello se disponen al borde frontal de la placa en el orden en el que el usuario se los encontrará. Para efectos

prácticos del diseño de la placa consideramos el mismo orden que sigue la señal por todos los circuitos y procesos, en la medida de lo posible. De izquierda a derecha la distribución es la que sigue:

Circuito de alimentación.

- Interruptor ON/OFF.
- Led ON/OFF.

Circuito de preamplificación.

- Potenciómetro del canal limpio.
- Selector de canal.
- Potenciómetro canal de distorsión.
- Interruptor del fuzz.

Circuito de ecualización.

- Potenciómetro de graves.
- Potenciómetro de medios.
- Potenciómetro de agudos.

Circuito de potencia.

- Potenciómetro de reverberación.
- Selector canal de salida.
- Potenciómetro de volumen.

#### ***4.10.3 Disposición de los Componentes en la Placa***

Se han agrupado los componentes según las etapas del circuito y las etapas están distribuidas según el paso de la señal de izquierda a derecha de la placa.

En los anexos se encuentran los planos tanto de la huella de las pistas como de la distribución de los componentes.

## 5. IMPLEMENTACIÓN DEL AMPLIFICADOR Y RESULTADOS

### 5.1 Implementación del amplificador

#### 5.1.1 Impresión y Montaje de la placa

El circuito se ha impreso a la placa mediante el método de la fresadora. Esta máquina elimina el cobre existente entre las pistas y, además, permite crear los agujeros necesarios para insertar las patas de los componentes.

Seguidamente, se sueldan los componentes a la placa de circuito impreso con estaño atendiendo a su distribución según el diseño. La impresión se sitúa en la cara inferior y los componentes se colocan en la cara superior. Los disipadores de calor se pegan a la placa utilizando cola silicona blanca.

Se descubre un error en el diseño del circuito impreso, la huella de los amplificadores operacionales no ha sido impresa en formato espejo. Esto quiere decir que colocando los amplificadores por la cara superior cada pata se conecta al pin del lado contrario al que deberían. Estos componentes se sueldan por la cara inferior y los disipadores de calor quedan entonces boca abajo.

Se modifica el diseño de la caja que anteriormente dejaba el espacio destinado a los disipadores sobre la placa. Se eleva la posición de los controles y la placa para ahora dejar ese mismo espacio justo sobre el altavoz.

Estas son imágenes del resultado final de la placa:

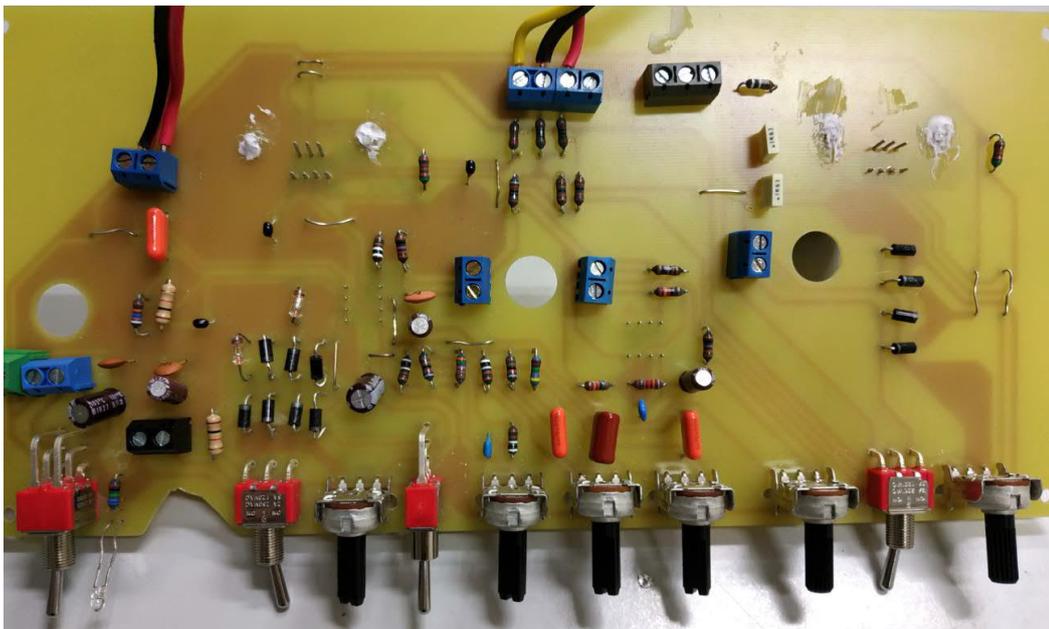
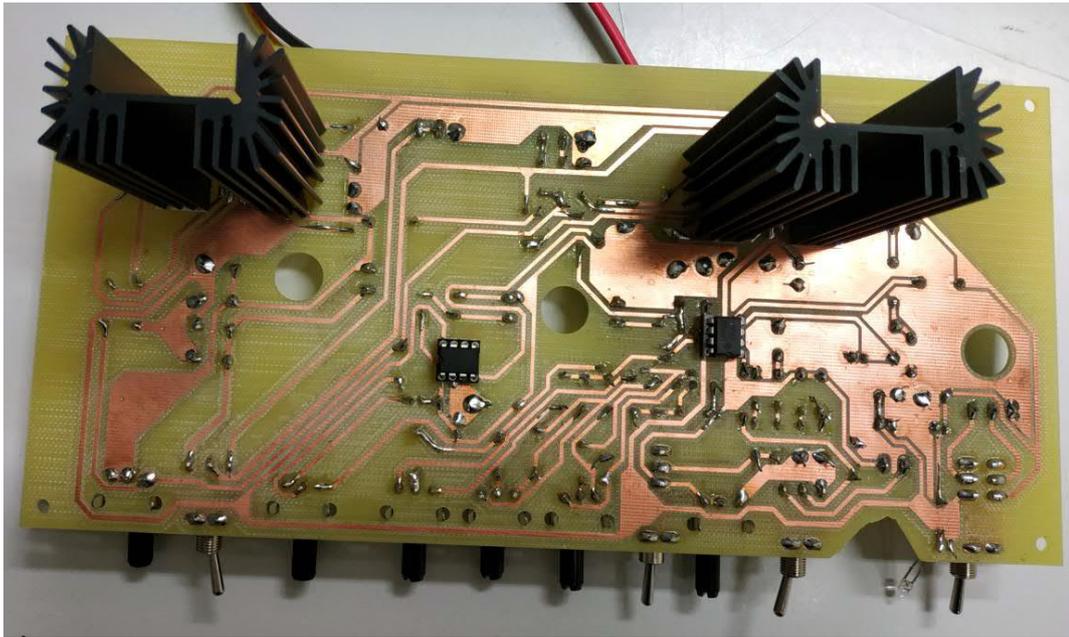


Figura 31. Cara superior de la placa



*Figura 32. Cara inferior de la placa*

### **5.1.2 Montaje de la Caja**

La unión de las piezas de madera se realiza mediante cola blanca y tornillos en cuanto a las piezas de madera. De esta forma, se consigue una unión hermética que impide la circulación de aire y la propagación de las ondas sonoras. El interior de la caja se forra de un material aislante para incrementar el aislamiento acústico.

Seguidamente, el Altavoz se sujeta mediante tuercas y la placa de circuito impreso mediante tornillos.

Por último, se sueldan los cables que unen los distintos componentes a la placa de circuito impreso: altavoz, tanque de reverberación, entrada Jack, entrada minijack y salida minijack.



*Figura 33. Amplificador de guitarra montado*

## 5.2 Resultados Experimentales

### 5.2.1 Resultados de los primeros ensayos

Montada toda la placa se procede a ver la respuesta de los distintos circuitos ante una señal de entrada sinusoidal. La placa se alimenta mediante la fuente de alimentación con tres tomas (+7,4V; -7,4V y 0V). La señal de entrada se simula con el generador de funciones a distintas amplitudes a pico, en torno 100mV, y frecuencias, entorno a 200Hz. Con el osciloscopio se compara la señal de entrada respecto a la de la salida vislumbrando cambios en la amplitud, fase, frecuencia o forma.

Se descubren los siguientes resultados inesperados que deberán ser analizados y subsanados modificando los componentes presentes en la placa:

- En la etapa de preamplificación la ganancia máxima en el canal limpio es de 2 en vez de 23 que es la calculada.
- La etapa de potencia no presenta un comportamiento lineal al modificar el potenciómetro. El volumen de sonido producido por el altavoz da un tremendo salto en pasar el nivel del potenciómetro de la mitad.

Por el contrario, el circuito de ecualización funciona correctamente. Cada potenciómetro controla sus tonos correspondientes. Se observa que el rango del potenciómetro de medios abarca también frecuencias graves y agudas, esto no supone un gran problema pudiéndose suplir modificando la posición de los otros dos controles.

### 5.2.2 Corrección y resultados de la etapa de preamplificación

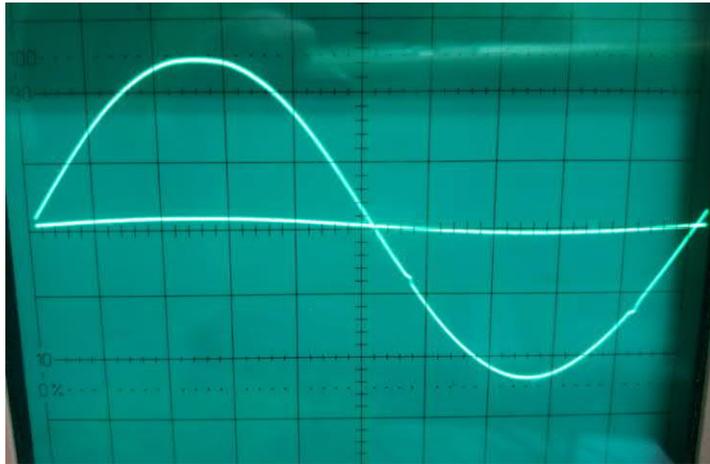
Se introduce una señal sinusoidal por la toma de la guitarra con amplitud a pico de 100mV. Con el osciloscopio se toma las tensiones en los distintos puntos de la etapa comprobando que componente da el error que reduce la ganancia a una décima parte de la esperada.

Se descubre que la caída de tensión se da en el primer condensador (C1) de 4,7nF. En su comportamiento calculado en el proceso de diseño este condensador filtraría las señales por debajo de 34Hz. Se sustituye este condensador por uno de mayor capacidad, para aumentar el rango de frecuencia a la que da paso, de 2,2uF.

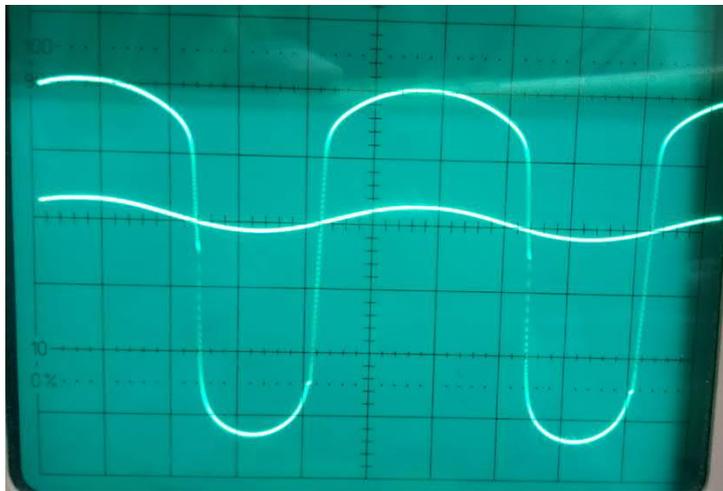
Los resultados obtenidos tras el cambio son satisfactorios. En el canal limpio la ganancia adquiere valores entre 1 y 23; además, no se produce distorsión. En el canal sucio se produce la distorsión redondeada que se esperaba. Por último, activando el circuito de recorte fuzz solamente se recorta uno de los semiciclos de la onda por lo que ha de modificarse.

Al cortocircuitar los diodos el recorte será mayor. Mediante cables se procede a cortocircuitar los diodos hasta que el recorte sea satisfactorio. Una vez encontrado el diodo sobrante (D9) se sustituye por un jumper.

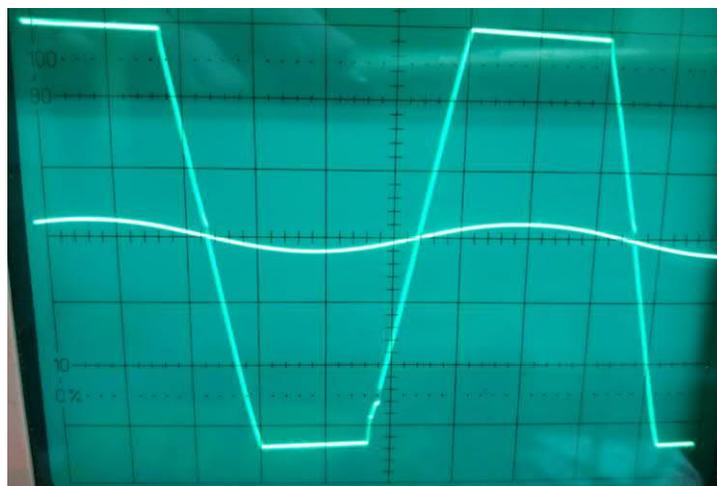
Se comprueba que tras estos cambios las formas y amplitudes de las ondas son las esperadas. Estas son las respuestas del circuito ante una entrada de 100 mVp de alrededor de 200 Hz:



*Figura 34. Respuesta del canal limpio*



*Figura 35. Respuesta del canal de distorsión*



*Figura 36. Respuesta del canal limpio con recorte fuzz*

### ***5.2.3 Corrección y resultados de la etapa de potencia***

Se detecta un error en el diseño de esta etapa. Las entradas de los amplificadores operacionales están cambiadas, la línea que debería ir a la entrada positiva va a la negativa y viceversa. Se procede a intercambiar el lugar de sus patas.

En los siguientes ensayos el amplificador sigue saturando la señal mandada al altavoz. Comprobando componente a componente se localiza el fallo en el potenciómetro de volumen, POT7. Apartado del circuito se confirma que es defectuoso.

Se sustituye por otro potenciómetro. En los ensayos que siguen se confirma el buen funcionamiento del circuito.

## 6. CONCLUSIONES

A modo de breve recopilación, al principio se planteó la construcción de un amplificador de guitarra eléctrica funcional para el ensayo del instrumento. También debía disponer de algunos efectos típicos utilizados en estos aparatos.

En primer lugar, se ha estudiado el funcionamiento de la guitarra eléctrica y de la señal que entregan. Igualmente se han estudiado los amplificadores para guitarra eléctrica y los efectos de sonido que acostumbran a tener.

Con todo este conocimiento se ha diseñado, desde cero, un amplificador de guitarra de 30W con dos clases de distorsión, ecualización, reverberación, entrada y salida auxiliares para cascos. Cabe destacar el largo proceso de los cálculos para conocer la respuesta de cada uno de los circuitos ante cada posible entrada en el amplificador.

Por último, se ha procedido al montaje y a la puesta a prueba del circuito. En esta fase se han encontrado numerosos problemas, algunos de diseño y otros defectos de fábrica. Se han analizado y encontrado la solución a cada uno de los errores.

Respecto a la experiencia obtenida gracias a la ejecución de este proyecto, también ha supuesto un gran aprendizaje tanto técnico como teórico. Los conocimientos adquiridos han sido: el funcionamiento de la guitarra eléctrica y de su amplificador, el diseño de circuitos impresos mediante Eagle, los métodos de impresión de circuitos eléctricos, como soldar componentes a una placa de circuito impreso y a montar una caja de madera. Además, la puesta en marcha ha servido para contrastar los resultados teóricos con los prácticos mostrando que no suelen encajar perfectamente y que los diseños acostumbran a presentar fallos difíciles de constatar sin la puesta en práctica del proyecto.

Este aprendizaje y el mismo proyecto no habrían sido posibles sin la guía de mi tutor Guillermo Escrivá Escrivá, mi cotutor Salvador Ponce Alcántara y el técnico de laboratorio Jesús Sandía Paredes. También debo agradecer al Instituto de Fotónica Corpuscular perteneciente a la Universidad de Valencia el haberme impreso el circuito a la placa.

Como conclusión, puede afirmarse que se han cumplido los objetivos y se han adquirido muchos conocimientos en el proceso. El resultado final del proyecto es un amplificador de guitarra operativo y con un sonido agradable y potente, desde el punto de vista del autor.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Profesor (2012). Apuntes de sistemas electrónicos. Valencia: UPV.

Profesor (2013). Apuntes de Tecnología electrónica. Valencia: UPV.

José María Drake Moyano (2005). *Modelo del amplificador operacional real*. Santander: UC  
([https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion\\_5\\_IT/IEC\\_2.pdf](https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_IT/IEC_2.pdf))

Taringa (2015). Diseña tu propia distorsión para guitarra.

([https://www.taringa.net/+hazlo\\_tu\\_mismo/disena-tu-propia-distorsion-para-guitarra\\_hj364](https://www.taringa.net/+hazlo_tu_mismo/disena-tu-propia-distorsion-para-guitarra_hj364))

La carne Magazine (2012). ¿Sabes qué potencia necesitas en tu amplificador?

(<https://lacarnemagazine.com/sabes-potencia-necesitas-amplificador/>)

Todosai (2016). Baterías – tipos y usos.

(<https://todosai.com/blog/baterias-tipos-y-usos-b50.html>)

David Negrón (2010). Efectos para guitarra eléctrica

(<https://escuelademusicamoderna.com/efectos-para-guitarra-electrica/>)

Wikipedia (2005). Wikipedia. Amplificador de Guitarra

([https://es.wikipedia.org/wiki/Amplificador\\_de\\_guitarra](https://es.wikipedia.org/wiki/Amplificador_de_guitarra))

Wikipedia (2005). Wikipedia. Guitarra Eléctrica

([https://es.wikipedia.org/wiki/Guitarra\\_el%C3%A9ctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Guitarra_el%C3%A9ctrica))

Amplified Parts (2009). Spring reverb tanks explained and compared

(<https://www.amplifiedparts.com/tech-articles/spring-reverb-tanks-explained-and-compared>)





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO CLASE AB DE 30W PARA GUITARRA ELÉCTRICA**

## **PRESUPUESTO**

AUTOR: MIQUEL BROCAL SÁNCHEZ  
TUTOR: GUILLERMO ESCRIVÁ ESCRIVÁ  
COTUTOR: SALVADOR PONCE ALCÁNTARA

**Curso Académico: 2018-19**



# Índice del presupuesto

**COMPONENTES**

**MANO DE OBRA**

**PRESUPUESTO TOTAL**



## COMPONENTES

Descripción	Precio Unitario (€/Ud)	Cantidad (Ud)	Importe €
<b>Circuito de Alimentación</b>			
Batería 3,7V IMR 18650	9,50	4	38,00
Sostenedor Baterías	3,33	2	6,66
Conector Ak500 Triple	0,50	1	0,50
Led Rojo 3mm	0,61	1	0,61
Resistencia 680Ω	0,08	1	0,08
Condensador Electrolítico 10uF	0,18	2	0,36
Condensador 100nF	0,12	2	0,24
Interruptor Vertical 6 vías	4,01	1	4,01
<b>Circuito de Preamplificación</b>			
Conector Jack Hembra Mono	0,98	1	0,98
Conector Ak500 Doble	0,45	1	0,45
Amplificador Operacional LM358	0,50	1	0,50
Potenciómetro 100KΩ	0,51	1	0,51
Potenciómetro 22KΩ	2,93	1	2,93
Resistencia 1MΩ	0,11	1	0,11
Resistencia 1KΩ	0,06	2	0,12
Condensador 4,7nF	0,43	1	0,43
Condensador 47nF	0,59	1	0,59
Condensador Electrolítico 10uF	0,18	1	0,18
Diodo UF4007	0,38	4	1,52
Diodo UN4007	0,20	3	0,60
Diodo TFX	0,64	2	1,28
Interruptor Horizontal 3 Vías	2,76	1	2,76
<b>Circuito de Ecuilibración</b>			
Potenciómetro 100KΩ	0,51	3	1,53
Resistencia 10K	0,06	4	0,24
Resistencia 8,2K	0,08	2	0,16
Resistencia 4,7K	0,06	2	0,12
Condensador 4,7nF	0,43	2	0,86
Condensador 10nF	0,14	1	0,14
Condensador 22nF	0,28	1	0,28
Condensador Electrolítico 10uF	0,18	1	0,18
<b>Circuito de Reverberación</b>			
Tanque de Reverberación 8CB3C1B	31,80	1	31,80

Conector Ak500 Doble	0,45	1	0,45
Amplificador Operacional LM358	0,50	1	0,50
Resistencia 1K $\Omega$	0,06	2	0,12
Resistencia 220 $\Omega$	0,08	2	0,16
Resistencia 33K $\Omega$	0,12	1	0,12
Condensador 820pF	0,27	1	0,27
Condensador Electrolítico 10uF	0,18	1	0,18
<b>Etapas de Potencia</b>			
Altavoz TS-E2095	99,99	1	99,99
Conector Minijack Hembra Estéreo	1,47	2	2,94
Conector Ak500 Triple	0,50	3	1,50
Conector Ak500 Doble	0,45	1	0,45
Amplificador Operacional OPA548	12,81	2	25,62
Potenciómetro 10K $\Omega$	0,65	2	1,30
Resistencia 150 $\Omega$	0,08	2	0,16
Resistencia 820 $\Omega$	0,08	1	0,08
Resistencia 1K $\Omega$	0,06	2	0,12
Resistencia 2,2K $\Omega$	0,08	3	0,24
Resistencia 5,1K $\Omega$	0,08	2	0,16
Condensador 100nF	0,12	4	0,48
Interruptor Horizontal 3 Vías	2,76	1	2,76
<b>Protección Sobrecargas</b>			
Diodo UN4007	0,20	4	0,80
<b>Caja</b>			
Tablón madera MDF 120x60x10	7,29	1	7,29
Tornillos	0,08	20	1,50
Tuercas	0,12	10	1,20
<b>Otros</b>			
Cable L1mxD1mm	1,00	4	4,00
<b>TOTAL</b>			<b>251,12</b>

## MANO DE OBRA

Descripción	Precio Unitario (€/h)	Cantidad (h)	Importe (€)
Ingeniero Técnico Industrial	40	300	12000
<b>TOTAL</b>			<b>12000</b>

## PRESUPUESTO TOTAL

Descripción	Importe (€)
Mano de Obra	12000
Componentes	251,12
<b>TOTAL</b>	<b>12251,12</b>





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO CLASE AB DE 30W PARA GUITARRA ELÉCTRICA**

## **PLANOS**

AUTOR: MIQUEL BROCAL SÁNCHEZ

TUTOR: GUILLERMO ESCRIVÁ ESCRIVÁ

COTUTOR: SALVADOR PONCE ALCÁNTARA

**Curso Académico: 2018-19**



## Índice de planos

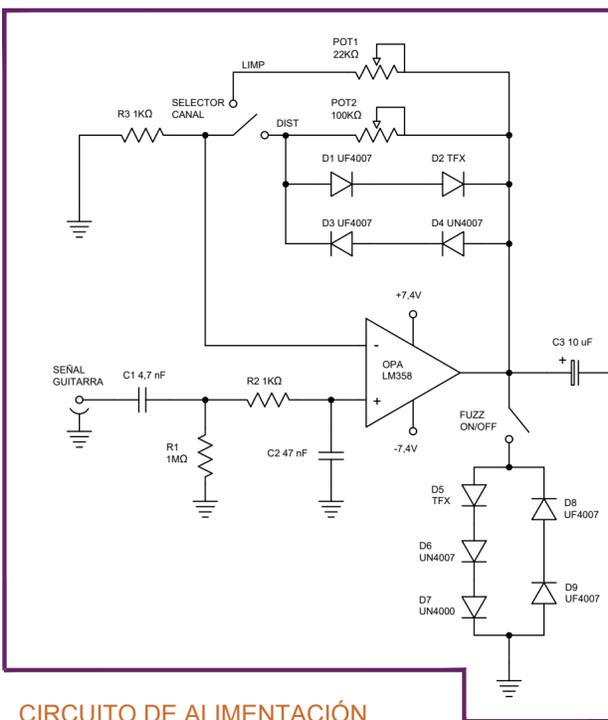
**PLANO DEL CIRCUITO**

**PLANO DE LAS PISTAS Y DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES  
EN LA PLACA DEL CIRCUITO IMPRESO**

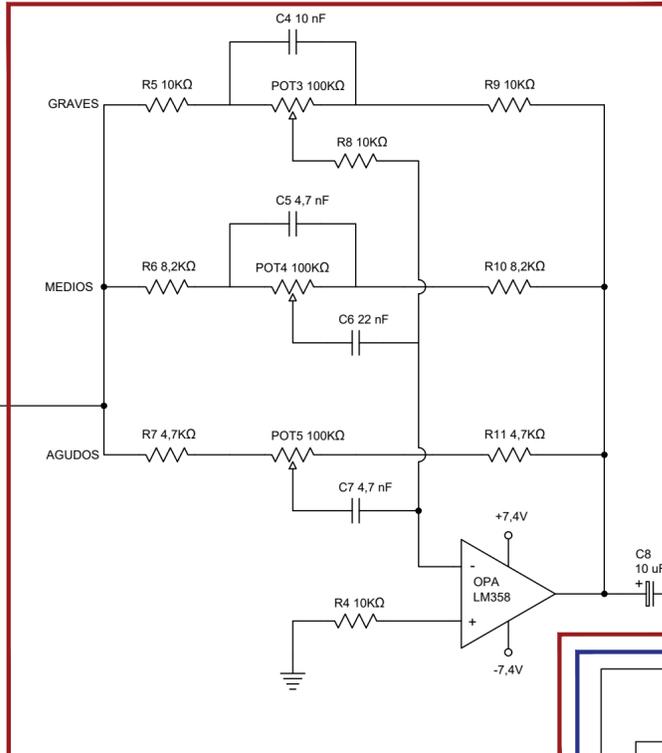
**PLANO DE LAS PARTES DE LA CAJA**



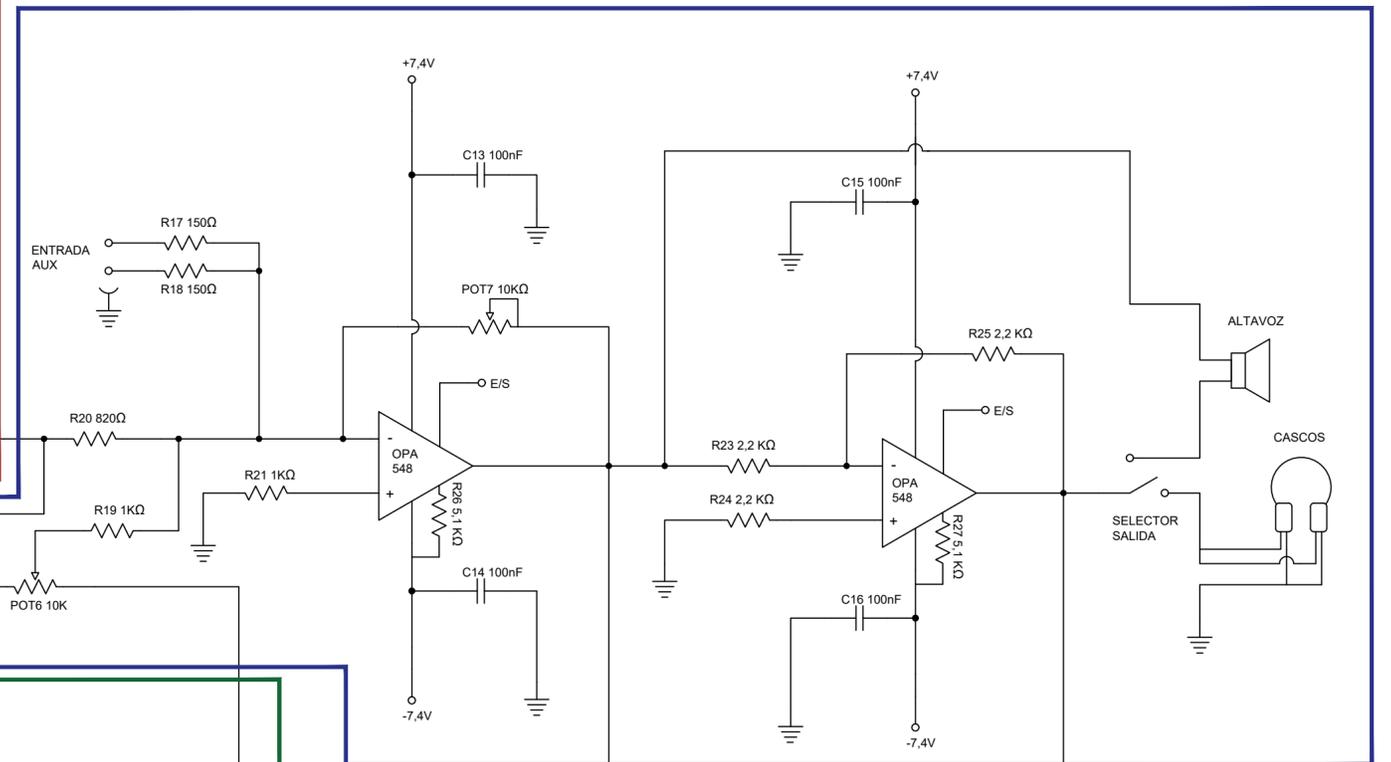
### ETAPA DE ENTRADA



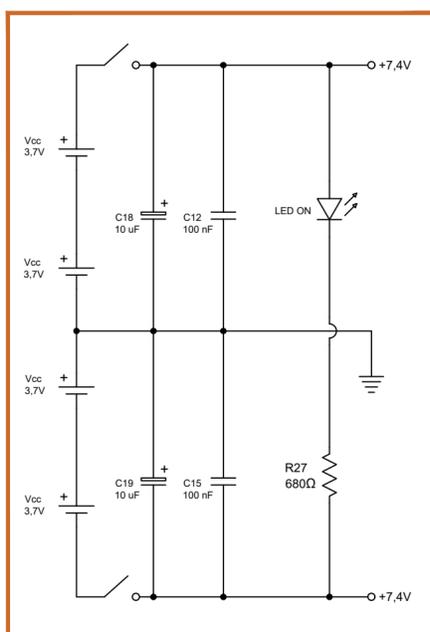
### CIRCUITO DE ECUALIZACIÓN



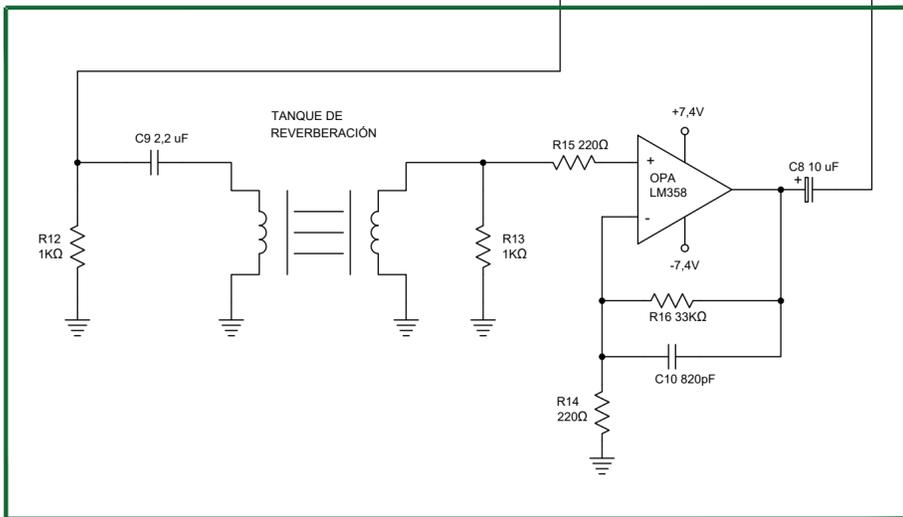
### ETAPA DE POTENCIA



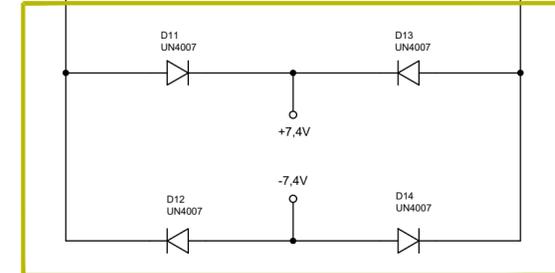
### CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN



### CIRCUITO DE REVERBERACIÓN



### PROTECCIÓN SOBRECARGAS



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Proyecto: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO PARA GUITARRA ELÉCTRICA DE 30W**

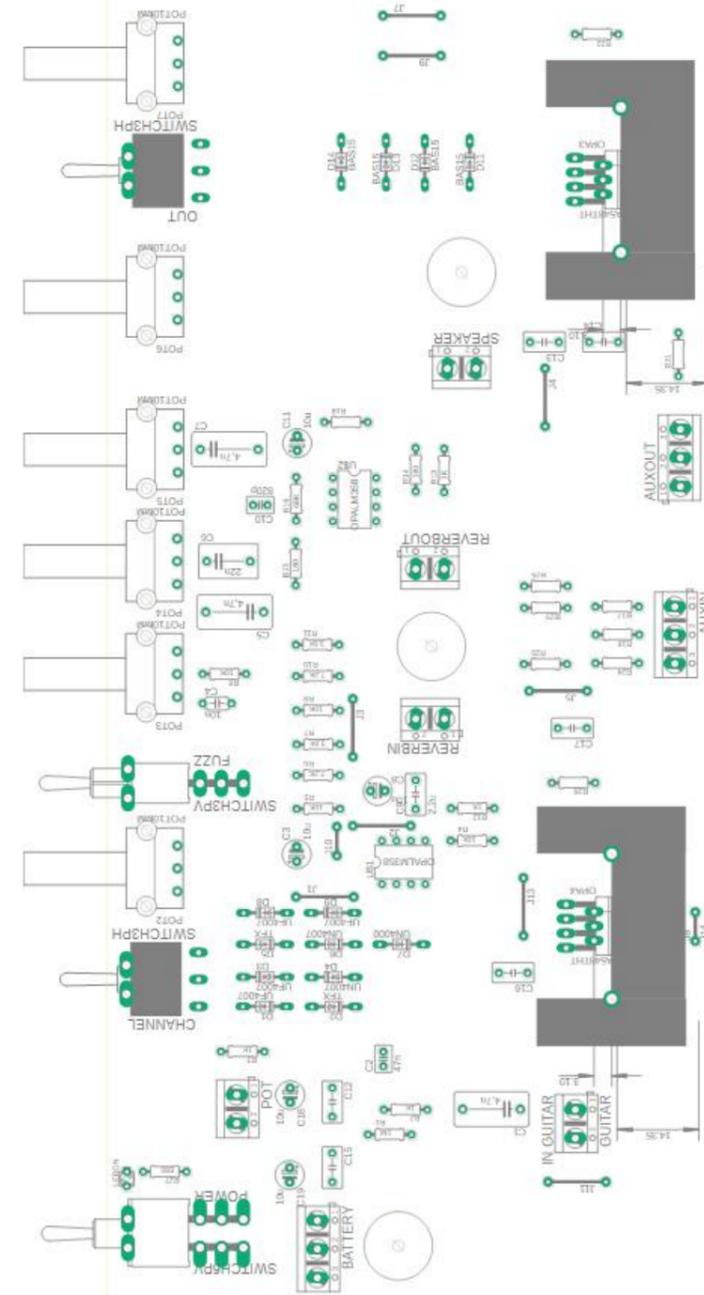
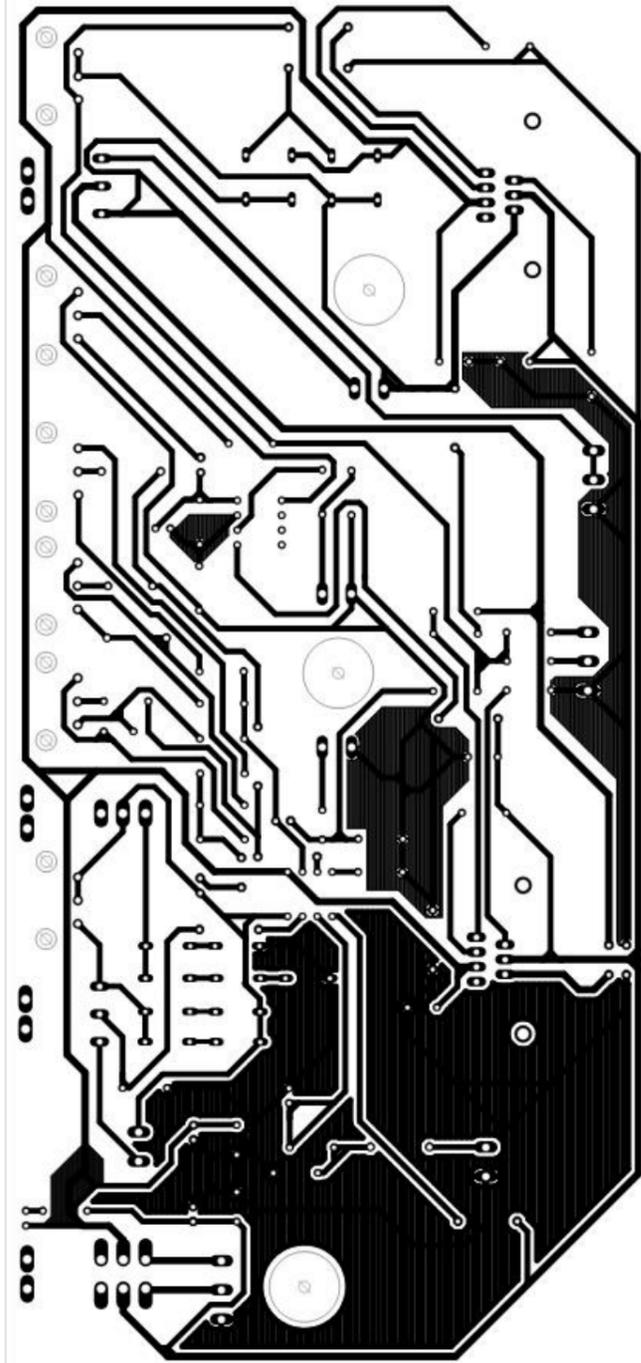
Fecha: \_\_\_\_\_ Escala: \_\_\_\_\_

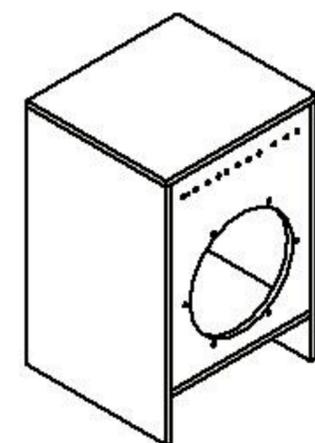
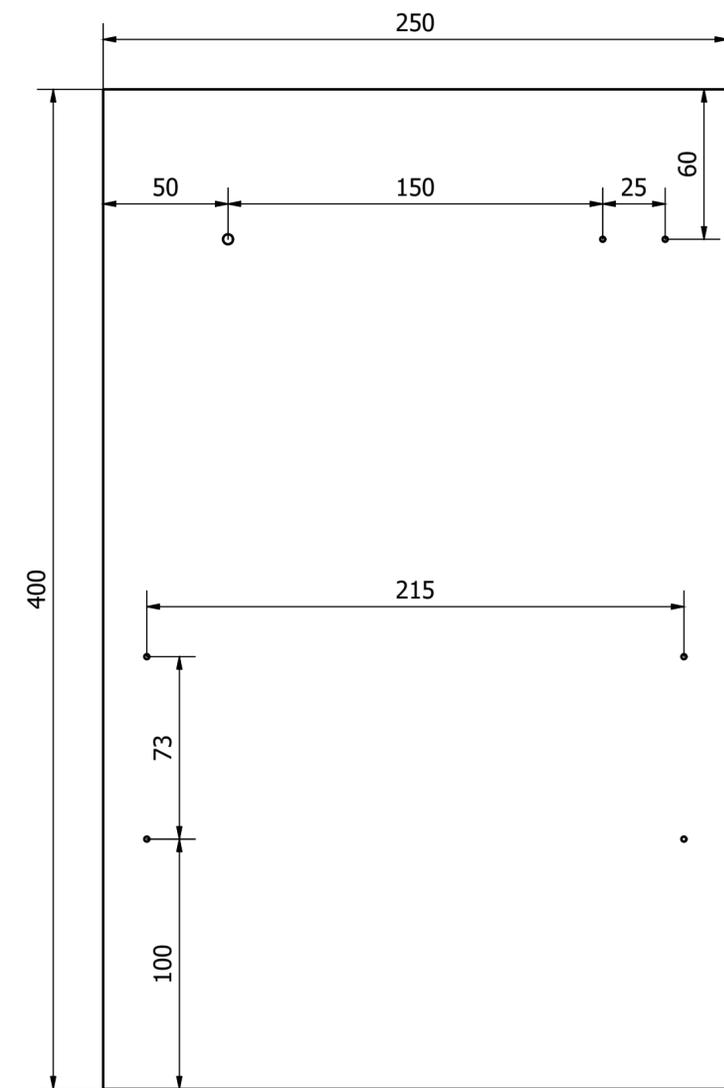
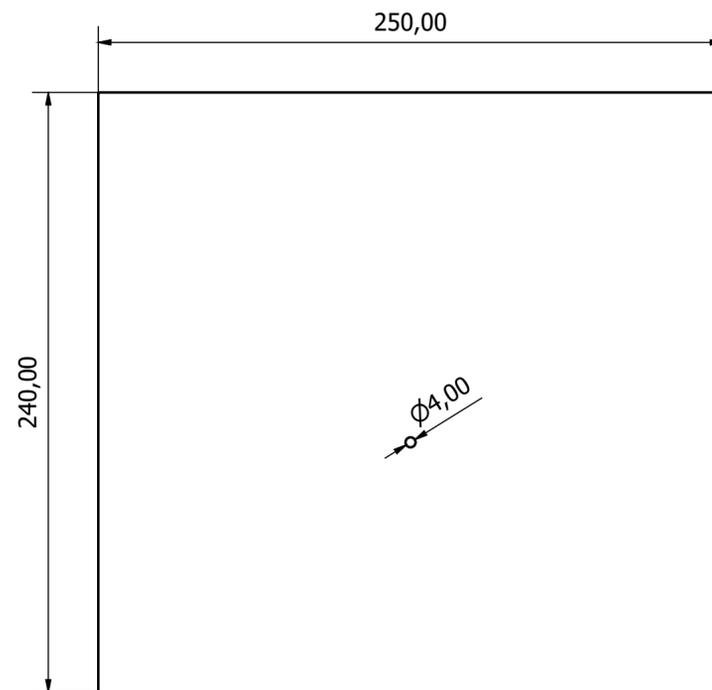
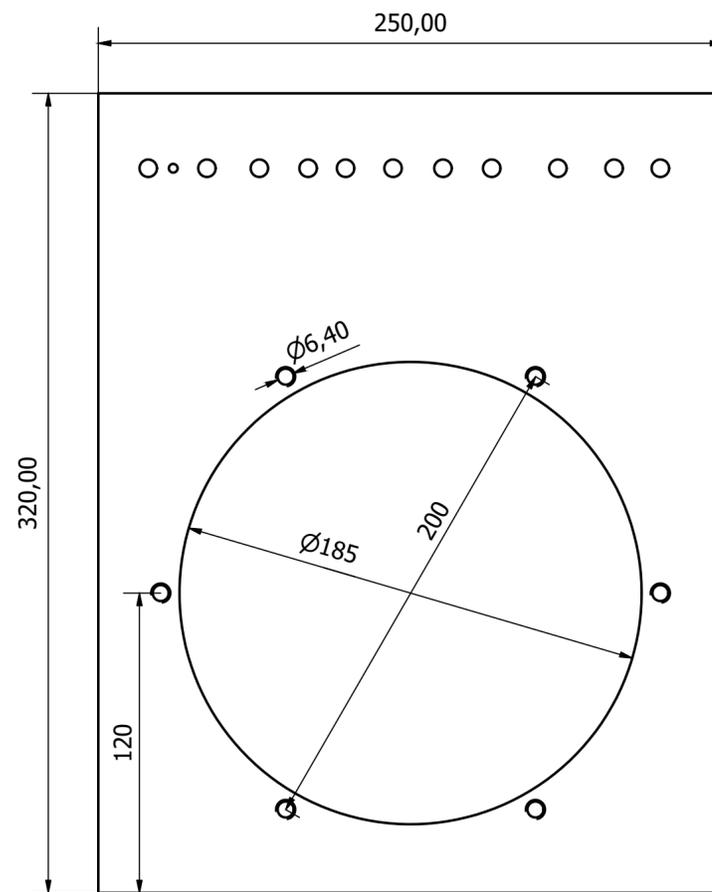
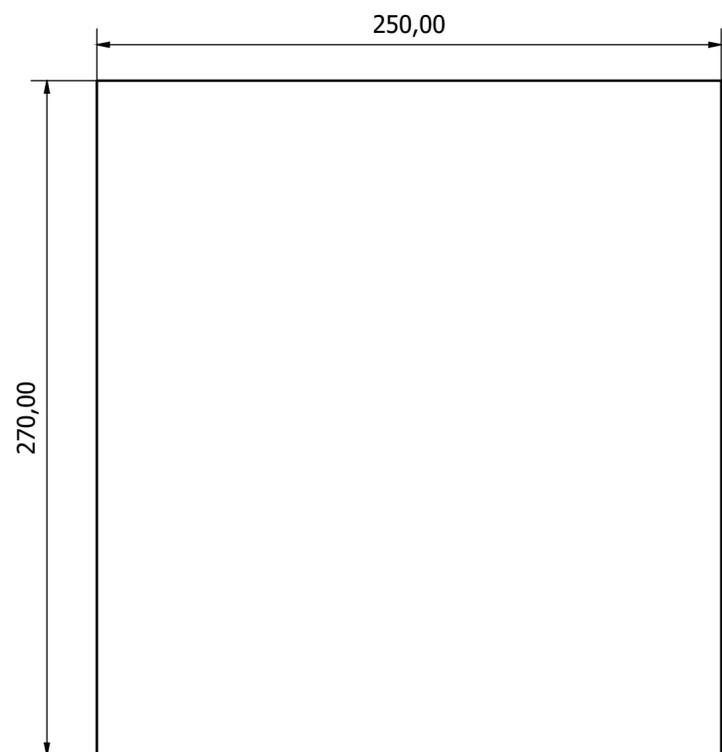
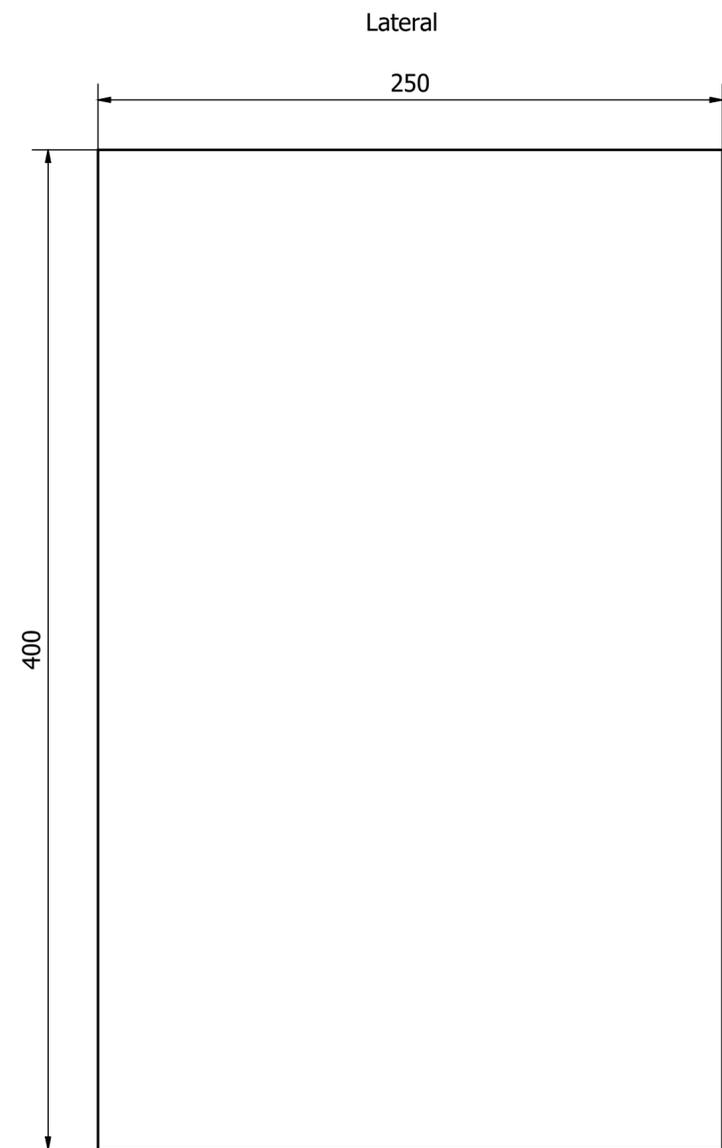
Junio 2019

Plano: \_\_\_\_\_ Nº Plano: \_\_\_\_\_

Circuito Amplificador de guitarra de 30 Wrms

Miquel Brocal Sánchez  
Autor proyecto





TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA  
TÉCNICA  
SUPERIOR  
INGENIEROS  
INDUSTRIALES  
VALENCIA

Proyecto:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN  
AMPLIFICADOR DE AUDIO CLASE AB DE 30W  
PARA GUITARRA ELÉCTRICA

Fecha:

Julio 2019

Escala:

1/2

Plano:

Caja

Nº Plano:

Miquel Brocal Sánchez  
Autor proyecto