

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

**DISEÑO Y ANALISIS DEL EFECTO DE
MODULACION DE SONIDO *CHORUS***

ANALYSIS AND DESIGN OF A CHORUS SOUND MODULATION EFFECT

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERIA EN ELECTRONICA
INDUSTRIAL Y AUTOMATICA**

Autor: Pablo Pérez Rodríguez

Tutor: Francisco Javier Díaz Rodríguez

Septiembre - 2020

RESUMEN

Este trabajo tiene la finalidad de comprender y analizar en profundidad la modulación de sonido por medios analógicos y digitales. Aunque hoy en día, los efectos de sonido digital están ganando terreno a los efectos analógicos, sigue existiendo un gran mercado con usuarios interesados en los dispositivos que introducen efectos sobre el sonido de forma analógica, ya que, la gran mayoría de músicos siempre suelen huir de los productos digitales para preservar la pureza de la señal analógica. Existe un gran número de empresas que se dedican exclusivamente a la producción de este tipo de dispositivos y también mucha demanda de dispositivos hechos a mano, también conocidos como de *boutique*.

En este trabajo se realiza un análisis y simulación de las distintas partes del circuito que producen el efecto de modulación de audio conocido como *chorus*, explicando la función de cada una de ellas. Este efecto de sonido es muy popular entre los músicos y está presente en la mayoría de canciones producidas desde la década de los ochenta hasta la actualidad, motivo por el que se ha decidido trabajar con él. Tras este análisis, se diseña y realiza la fabricación una PCB para obtener un dispositivo físico que produce este efecto y puede ser utilizado por diversos instrumentos musicales. Finalmente, se elabora un sistema en *simulink* que produce este efecto de forma digital.

ABSTRACT

This work aims to understand and analyze in depth the sound modulation by analog and digital means. Although nowadays, digital sound effects are gaining ground to analog effects, there is still a large market with users interested in devices that introduce effects on sound analogically. The vast majority of musicians always avoid digital products to preserve the purity of the analog signal. There is a large number of companies that are dedicated exclusively to the production of this type of device and also a great demand for handmade devices, also known as boutique products.

In this work, an analysis and simulation of the different parts of the circuit that produce the audio modulation effect known as chorus is presented, explaining the function of each one of them. This sound effect is very popular among musicians and is present in most of the songs produced from the eighties to the present, which is the reason why it has been chosen to work with it. After this analysis, a PCB is designed and manufactured to obtain a physical device that produces this effect and can be used by various musical instruments. Finally, a simulink system is developed that produces this effect in a digital version.

INDICE DE DOCUMENTOS

DOCUMENTO 1: MEMORIA.....	6
DOCUMENTO 2: PRESUPUESTO.....	65
DOCUMENTO 3: PLANOS	71
DOCUMENTO 4: PLIEGO DE CONDICIONES.....	77

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA

INDICE DE LA MEMORIA

1	INTRODUCCION.....	9
1.1	Objetivos.....	9
2	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA GUITARRA ELECTRICA	10
2.1	GUITARRA ELECTRICA	10
2.1.1	Pastillas	10
2.1.2	Circuito de control de tono de la guitarra.....	12
2.1.3	Pedales de efectos	13
3	ANALISIS.....	17
3.1	¿QUÉ ES UN <i>CHORUS</i> ?.....	17
3.2	FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO	18
3.3	CIRCUITO BOSS CE-2	20
3.3.1	Conmutador JFET	21
3.3.2	<i>Buffer</i> de entrada	22
3.3.3	Fuente de alimentación.....	25
3.3.4	Filtros de pre-énfasis y de-énfasis	26
3.3.5	Filtros de <i>antialiasing</i> y reconstrucción.....	31
3.3.6	Bucket Brigade Device (BBD)	36
3.3.7	LFO (Oscilador de baja frecuencia)	37
4	DISEÑO PCB.....	40
4.1	ESQUEMAS PREVIOS AL DISEÑO	40
4.2	DISEÑO CON EL SOFTWARE DE CREACION DE PCBs	41
4.2.1	Esquemático.....	41
4.2.2	Diseño de la PCB	42
5	MONTAJE.....	45
5.1	SELECCIÓN DE COMPONENTES	45
5.1.1	Resistencias	45
5.1.2	Condensadores	45
5.1.3	Circuitos integrados y transistores.	46

5.1.4	Conectores	46
5.1.5	Interruptores y control.	46
5.1.6	Otros.....	47
5.2	ENSAMBLAJE DE LOS COMPONENTES.....	47
5.2.1	Soldadura	47
5.2.2	Testeo.....	48
5.2.3	Montaje en el chasis	49
5.3	PROBLEMAS ENCONTRADOS EN EL MONTAJE	51
6	RESULTADOS.....	52
6.1	PRUEBAS EN CASA	52
6.2	PRUEBAS EN EL LABORATORIO.....	53
7	IMPLEMENTACIÓN DEL <i>CHORUS</i> DIGITAL.....	56
7.1	CONFIGURACIÓN DE SIMULINK.....	56
7.2	BLOQUES UTILIZADOS.....	57
7.3	MODELO DE <i>CHORUS</i> EN SIMULINK	60
	BIBLIOGRAFIA.....	63

1 INTRODUCCION

En este TFG se realiza el diseño, simulación y montaje de un circuito electrónico y un modelo digital con el que se implementa un efecto de modulación de sonido llamado *chorus*

1.1 Objetivos

El objetivo de este trabajo es hacer un estudio sobre la modulación de señales de audio por medio de la electrónica analógica y digital. Como aplicación se realiza un circuito analógico que modifica una señal de audio, que en este caso se genera desde una guitarra eléctrica. La señal de audio se conecta mediante una clavija de audio *jack* a la entrada del circuito, obteniéndose a la salida una señal modulada que se reproduce en el amplificador de audio. La modulación que se aplica en este trabajo sobre la señal de audio se conoce como *chorus*.

Como punto de partida, se realizan los siguientes estudios específicos:

- Estudio de bibliografía relacionada con la guitarra eléctrica y como genera señales de audio.
- Análisis y simulación del efecto *chorus*, viendo cómo se comporta cada parte del circuito y que función cumple.
- Diseño de un sistema *simulink* que consiga reproducir los resultados obtenido por el dispositivo analógico.
- Montaje del dispositivo.

2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA GUITARRA ELECTRICA

En este apartado se realiza una introducción sobre el principio de funcionamiento de una guitarra eléctrica. Se describe y analiza el mecanismo por el cual la pastilla de la guitarra transforma la vibración de la cuerda en una señal eléctrica, que posteriormente se amplifica con un amplificador para generar un sonido audible. Sobre esta señal eléctrica se pueden aplicar diferentes efectos como el que se va a usar en este trabajo.

2.1 GUITARRA ELECTRICA

La parte de la guitarra eléctrica en la que se va a fijar el estudio son las pastillas, ya que estas son las responsables de transformar la vibración de la cuerda en una señal eléctrica.

2.1.1 Pastillas

En 1924, un ingeniero de Gibson (fabricante de instrumentos) llamado Lloyd Loar desarrolló un dispositivo que era capaz de captar la vibración de las cuerdas de una viola y transformarlas en una señal eléctrica. Este sistema inicial producía una señal eléctrica demasiado débil ya que no cogía la vibración directamente de la cuerda, si no que cogía las vibraciones del cuerpo de la guitarra. Mas adelante se perfeccionó este dispositivo y se llegó a las pastillas usadas hoy en día que usan un electroimán para recoger las vibraciones de las cuerdas directamente. [1]

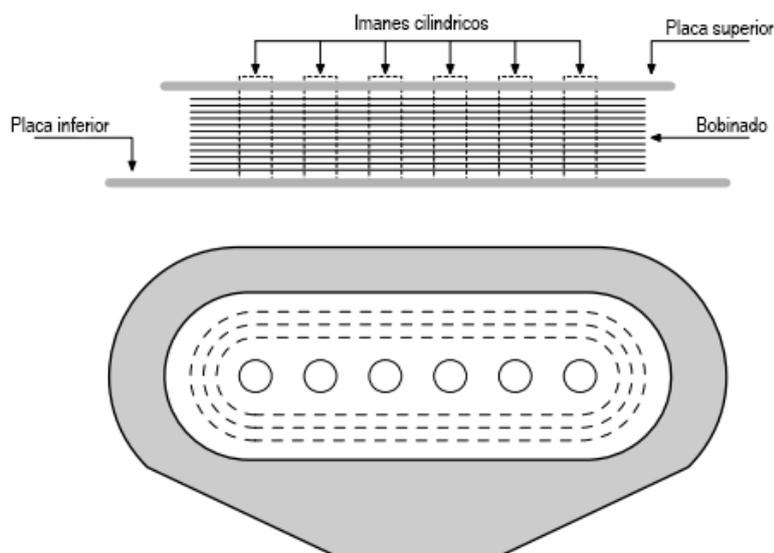


Figura 1: Esquema pastilla magnética [2]

Las pastillas magnéticas están formadas por los componentes de la Figura 1, en el cual se puede ver que hay un imán cilíndrico para coger la vibración de cada cuerda, aunque también existen otros tipos de pastillas con un solo imán y otras que cogen la vibración de las cuerdas mediante un material piezoeléctrico o pastillas ópticas que cogen la vibración de las cuerdas mediante dispositivos LED infrarrojos y fotodetectores.

Este estudio se va a centrar en las pastillas magnéticas. Estas pastillas funcionan como transductores que generan una señal eléctrica por el movimiento mecánico de la cuerda. Basado en la ley de inducción de Faraday, cuando la cuerda vibra en el campo magnético de los imanes de la pastilla, el campo magnético de los imanes fluctúa, este cambio en el flujo magnético induce una fuerza electromotriz en la bobina de la pastilla lo que causa que aparezca una corriente eléctrica por esta como se ve en la Figura 2.

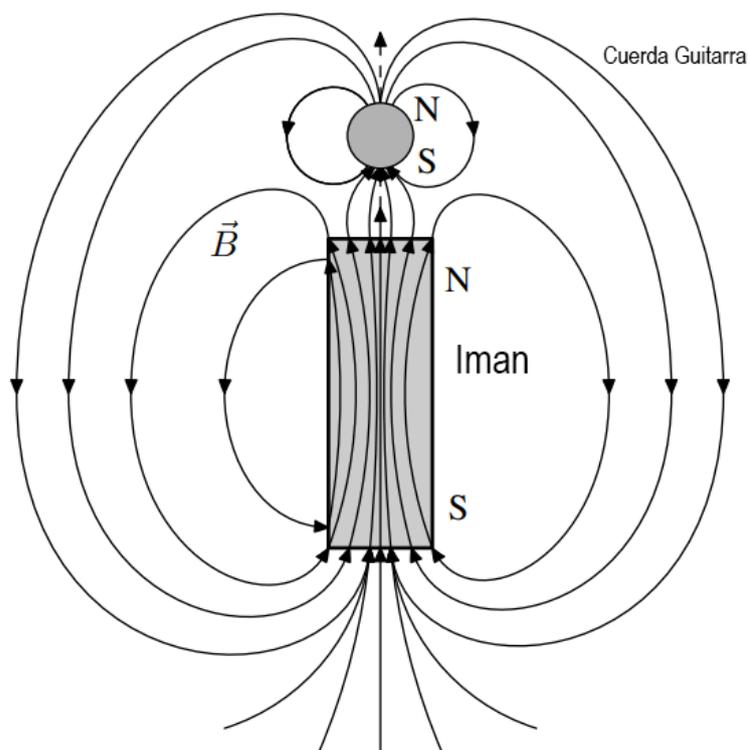


Figura 2: Esquema del campo magnético en el imán de la pastilla [2]

2.1.2 Circuito de control de tono de la guitarra

El circuito básico de generación de tono de las guitarras eléctricas se muestra en la Figura 3:

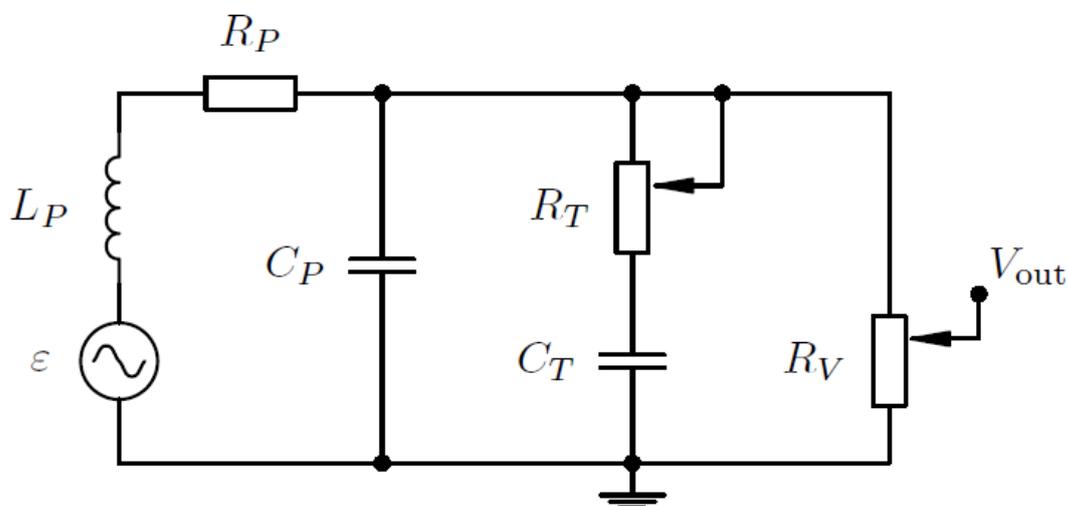


Figura 3: Circuito de tono [2]

En este circuito, las características de la pastilla magnética están definidas por la resistencia R_P , la inductancia L_P y la capacidad C_P . El circuito de tono se conecta en paralelo a la pastilla y está compuesto por un control de tono, formado por el potenciómetro R_T y una capacidad C_T y un control de volumen mediante el potenciómetro R_V , tal como se muestra en la Figura 3.

El potenciómetro de tono, R_T , controla la cantidad de corriente que se deriva a tierra a través del condensador C_T . Este condensador actúa como un filtro de alta frecuencia para la señal y, por tanto, cambia las características del sonido de la señal, haciendo que tenga más o menos presencia la parte aguda de la señal [2].

Los valores típicos para los potenciómetros de tono y volumen suelen ser de 250k Ω a 500k Ω y el valor del condensador de tono suele rondar los 0,05 μ F.

2.1.3 Pedales de efectos

Una vez se ha convertido la vibración de las cuerdas en una señal eléctrica, esta se transmite a un amplificador. Existen muchas posibilidades de modificar esa señal eléctrica para cambiar sus propiedades antes de que esta salga por el altavoz produciendo el sonido que se genera desde la guitarra. Serán los pedales de efectos los encargados de introducir modificaciones sobre la señal eléctrica amplificada. Estos dispositivos normalmente son circuitos analógicos o digitales metidos dentro de una caja metálica con diferentes potenciómetros para cambiar algunos parámetros del circuito, y un interruptor que se acciona con el pie para activar o desactivar el efecto y así poder accionarlo mientras se toca el instrumento musical.

Si se define la señal eléctrica de la guitarra en la expresión de la ecuación (1):

$$x = A\sin(2\pi ft + \phi) \tag{1}$$

Se pueden crear efectos que modulen la amplitud (A), la frecuencia (f) y la fase (ϕ) de la señal de sonido. Por tanto, existen tres grandes grupos de efectos de modulación:

2.1.3.1 Efectos de modulación de la amplitud (A)

Estos son los efectos más comunes; también son conocidos como efectos de distorsión. Su principio de funcionamiento se basa en la modificación de la amplitud de la señal, logrando, por ejemplo, que la señal se transforme en una señal cuadrada en vez de una sinusoidal. Algunos de los métodos usados para transformar la señal son los siguientes:

- Disparadores de Schmitt para disparar la señal a un valor máximo de amplitud cuando pase por un voltaje de referencia como se ve en la Figura 4

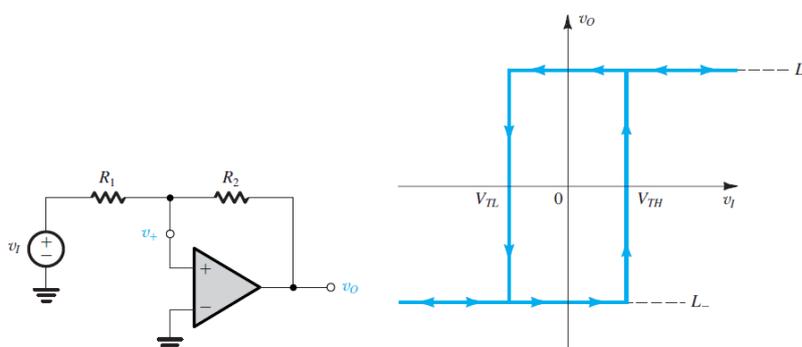


Figura 4: Disparador de Schmitt [2]

- Uso de etapas de ganancia con mucha amplificación para que la señal quede recortada (*clipping*) simétricamente o asimétricamente.
- Uso de diodos para recortar los picos de amplitud en la señal (Figura 5).

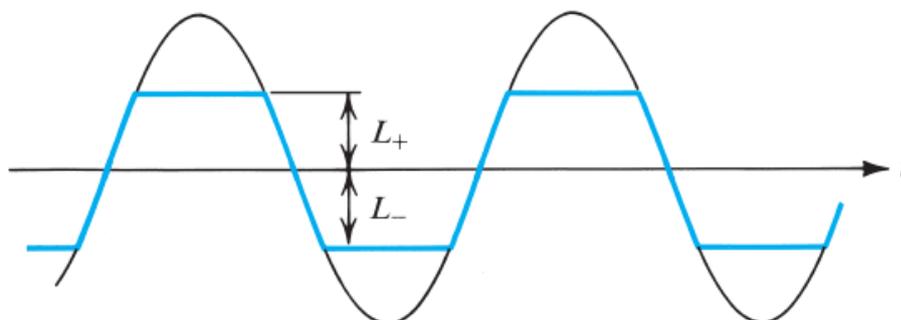


Figura 5: Recorte señal sinusoidal con diodos [2]

Dentro de los efectos de distorsión, encontramos dos tipos: los de *overdrive* que son dependientes de la amplitud de la señal de entrada, y según tenga más o menos amplitud, se genera más o menos distorsión en la señal, pasando el control de la distorsión a la persona que toca el instrumento, que dependerá de la fuerza con la que le actúe sobre las cuerdas. El otro tipo de efecto de distorsión es el básico, que distorsiona siempre la señal de la misma forma independientemente de la intensidad de la señal de entrada.

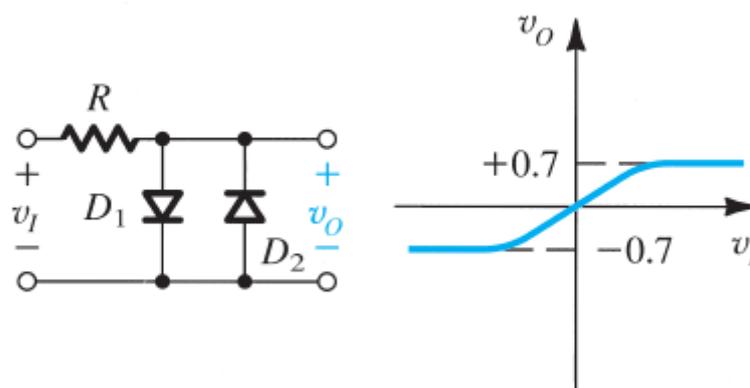


Figura 6: Circuito limitador con diodos [2]

También existen otros efectos basados en la modulación de la amplitud que no distorsionan la señal. Entre ellos se puede encontrar los tremolo, que cambian el volumen de la señal y otros efectos como los compresores.

2.1.3.2 Efectos de modulación de la frecuencia (f)

Una segunda familia de efectos son los de modulación de la frecuencia que utilizan filtros para modificar algún rango de frecuencias de la señal. Un ejemplo básico de efecto de modulación de frecuencia podría ser un ecualizador, aunque el ejemplo más característico en el mundo de la guitarra sería el pedal de Wah, que se muestra en la Figura 7.

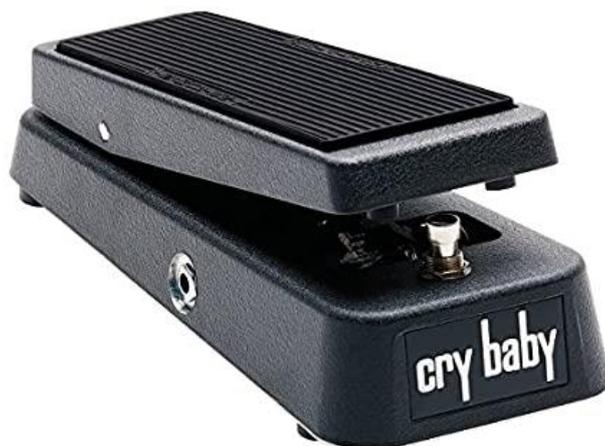


Figura 7: Pedal Wah *Cry Baby* de Dunlop[3]

Este efecto funciona aumentando la presencia de un rango de frecuencias determinado mediante el accionamiento variable de un pedal con el pie. Este pedal está conectado a un potenciómetro y hace que se pueda variar su valor con el pie.

También existen efectos que cambian la frecuencia que está sonando por otra, normalmente aumentándola o bajándola una octava. Estos efectos se llaman "*Pitch Shifters*"

2.1.3.3 Efectos de modulación de fase (ϕ)

A mediados de los setenta, empezaron a aparecer en el mercado pedales con efecto de modulación de fase como el *MXR Phase 90*. Estos pedales de efectos hacen uso de circuitos más complejos que los efectos anteriores y hasta que no se empezaron a implementar de forma digital, estaban muy limitados.

Su funcionamiento se basa en hacer pasar la señal de sonido por un conjunto de filtros pasabanda controlados por tensión, que no filtran ninguna frecuencia de la señal, pero sí modifican su fase. La señal modificada se suma a la señal original sin modificar y se lleva a la salida del efecto. Para entender más fácilmente el concepto, se puede usar un diagrama de bloques simplificado como el de la Figura 8.

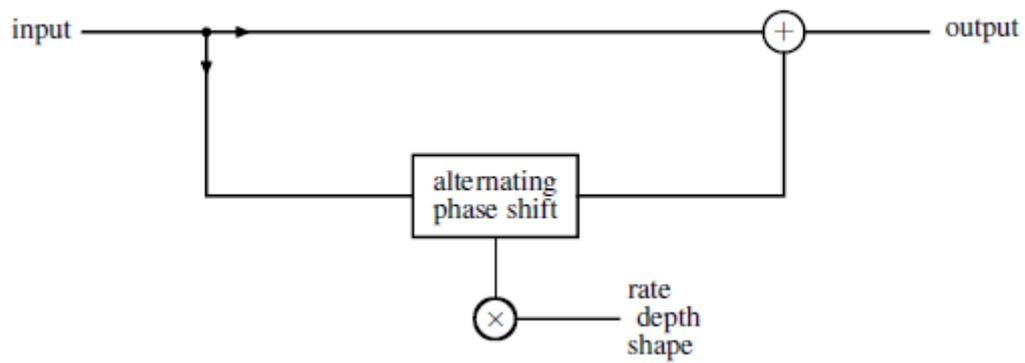


Figura 8: Diagrama de bloques de efectos de modulación de fase [1]

Este diagrama de bloques es la base para efectos como el *phaser*, *flanger* y el que es objeto de estudio de este TFG, el *chorus*.

3 ANALISIS

3.1 ¿QUÉ ES UN CHORUS?

El efecto *chorus*, recibe su nombre de los coros de orquesta. El efecto trata de simular mediante el uso de un circuito analógico o digital el efecto que producen estos coros de personas cuando todos intentan cantar la misma nota al unísono, generando un sonido muy “espacioso” y con mucha “textura”.

Este efecto se produce porque, aunque, por ejemplo, todo el coro intente cantar la nota *La*, que se le asigna una frecuencia de 440Hz, es imposible que todo el mundo la afine perfectamente. Cuando el receptor escucha todo este conjunto de voces con sus pequeñas desafinaciones, no tiene la sensación de que el coro esté desafinado, pero escucha la nota que cantan con el efecto mencionado.

La primera empresa en realizar un pedal para instrumentos musicales que reprodujese este efecto mediante el uso de un circuito analógico fue *Boss*. En 1976 lanzó el pedal *Boss Chorus CE-1* (Figura 9). Este pedal copió el circuito de *chorus* que llevaban integrados los amplificadores *Roland JC-120* y lo integraron en un dispositivo compacto y portátil.



Figura 9: BOSS CE-1 [4]

Cuando el *Boss CE-1* fue lanzado al mercado no tuvo mucho éxito por su elevado precio y tamaño, no fue hasta su segunda iteración, en 1979, cuando *Boss* lanzó al mercado el *Boss CE-2* que se consiguió la popularización del efecto y acabó siendo usado en la mayoría de las canciones populares de la década de los ochenta.

El *Boss CE-2* (Figura 10) usaba el circuito del *Boss CE-1* pero eliminaba algunas de sus funciones como la salida estéreo y la opción de ponerlo en modo *vibrato* para hacer un producto más compacto, ligero y barato. En la actualidad, este pedal ya no se fabrica, pero aun así, sigue siendo considerado como el “santo grial” de los *chorus* analógicos y es muy codiciado por los músicos, alcanzando precios muy elevados en el mercado de segunda mano.



Figura 10: BOSS CE-2 [5]

3.2 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO

El *chorus* es un efecto basado en una señal con un retardo o *delay*. Se consigue haciendo pasar la señal de audio original por un dispositivo BBD (*Bucket Brigade Device*) y mezclándola con la señal de audio sin modular. El funcionamiento del dispositivo BBD se explica más en profundidad en el apartado 0.

La señal tiene que ser filtrada antes y después de pasar por el BBD para evitar que la señal de audio se distorsione demasiado. Para ello, se usan los filtros de pre-énfasis y de-énfasis para acondicionar la señal a los parámetros requeridos por el BBD y los filtros de *antialiasing* y reconstrucción. En la Figura 11 se ve un diagrama de bloques que resume el funcionamiento del circuito.

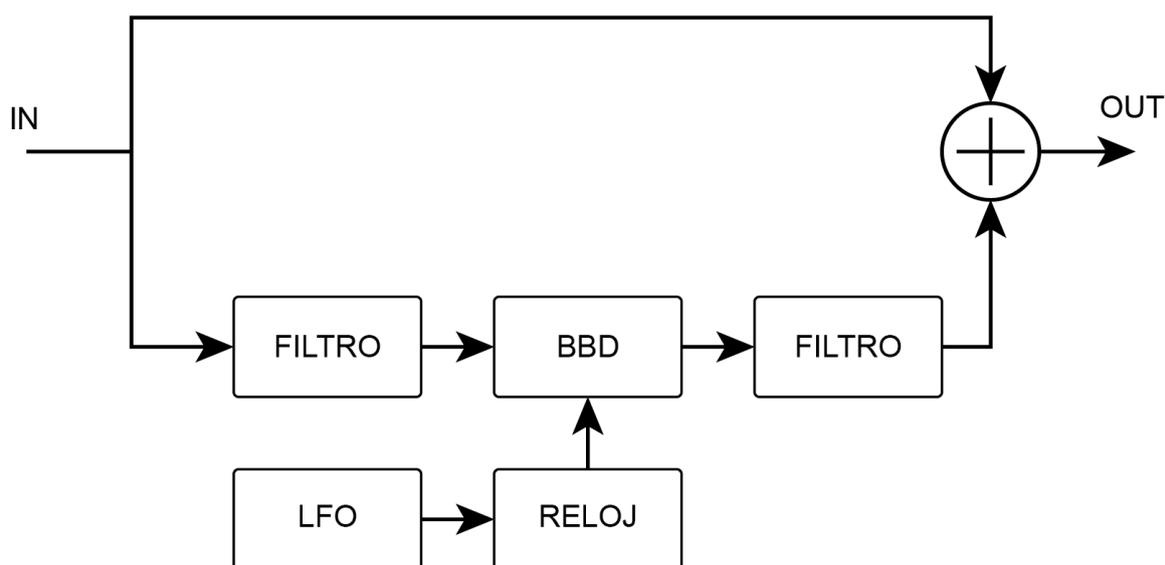


Figura 11: Esquema de funcionamiento del efecto *chorus*

La cantidad de retraso que se genera en el dispositivo BBD se controla por un oscilador de baja frecuencia que genera unos tiempos de retraso en un rango entre 5ms y 50ms. Las frecuencias de oscilación podrán llegar hasta los 20Hz para no introducir ruidos que se puedan escuchar en la señal de audio. En este caso se utiliza una señal de baja oscilación de tipo triangular que realiza el cambio en las oscilaciones más rápido que la señal sinusoidal [6].

El pedal dispone de varios controles para modificar parámetros mediante potenciómetros o interruptores. En el caso de los efectos de *chorus*, los controles más comunes son:

- **Velocidad de modulación:** Ajusta la frecuencia del filtro de baja frecuencia.
- **Delay:** Ajusta la cantidad de retraso a aplicar a la señal modulada.
- **Profundidad:** Ajusta la cantidad de modulación que se va a aplicar a la señal.
- **Mix:** Ajusta la mezcla entre la señal modulada y la señal sin modular.
- **Vibrato:** Opción que elimina la señal original y deja a la salida solo la señal modulada a la salida.

3.3 CIRCUITO BOSS CE-2

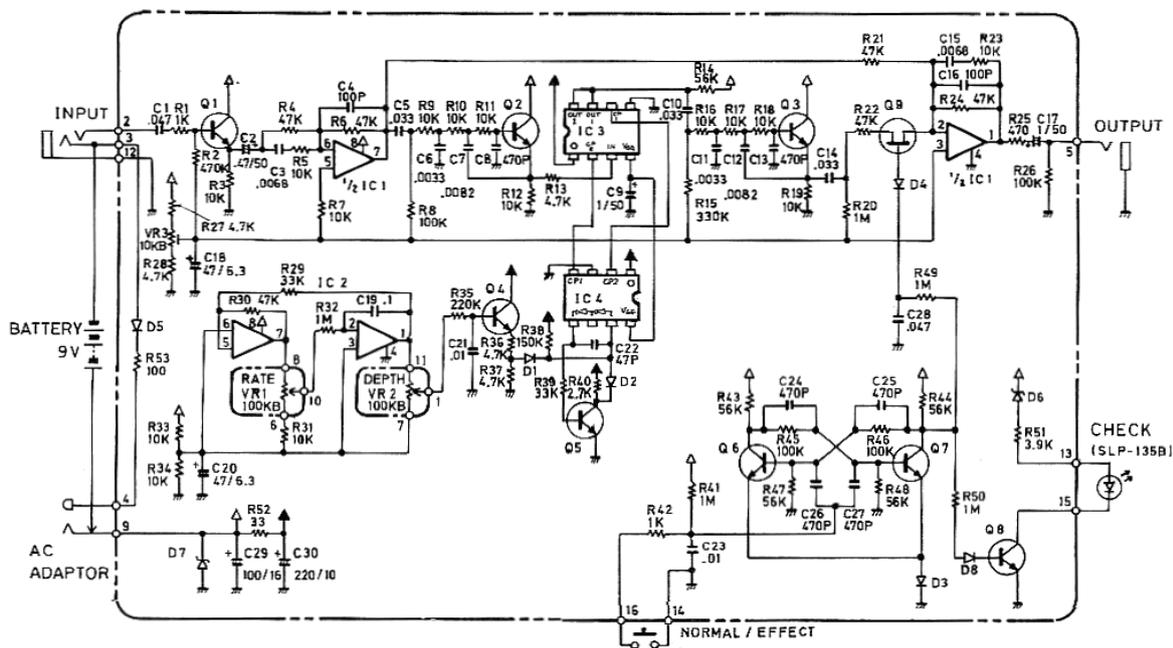


Figura 12: Esquemático original del circuito Boss CE-2 [7]

En la Figura 12 se muestra el esquema del circuito Boss CE-2 que tiene como componentes principales los circuitos integrados MN3007 y MN3101. La entrada y salida del circuito usan el amplificador operacional dual UPC4558 y el oscilador de baja frecuencia (LFO) es implementado con la ayuda del amplificador operacional TL022LP. El filtrado activo del circuito es aplicado usando etapas de filtrado *Sallen-Key*.

La respuesta del circuito se controla usando dos potenciómetros, uno para ajustar la frecuencia del oscilador de baja frecuencia, ajustando el tono del vibrato y otro para modificar la amplitud de la señal triangular del oscilador de baja frecuencia, que está relacionado con la cantidad de modulación del circuito.

En el plano 1.2 está la imagen ampliada del circuito y las diferentes partes que se van a analizar a continuación.

3.3.1 Conmutador JFET

La mayoría de pedales de la marca Boss usan esta configuración como interruptor para activar y desactivar el efecto de modulación [8].

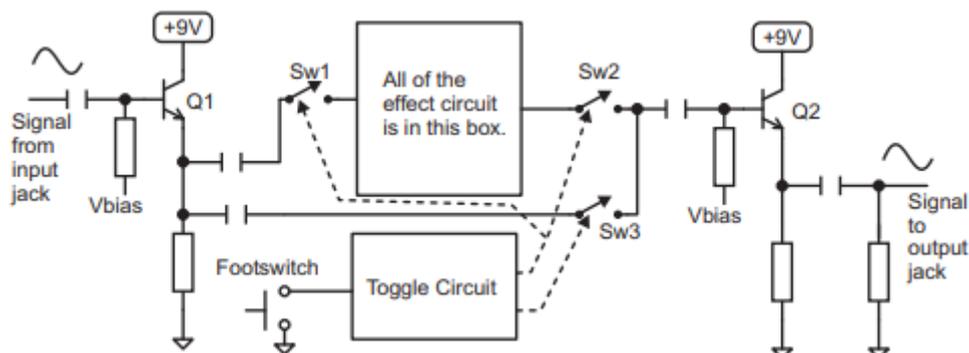


Figura 13: Esquema general de un conmutador JFET [5]

En la Figura 13 se muestra un esquema general de los componentes usados en un conmutador JFET.

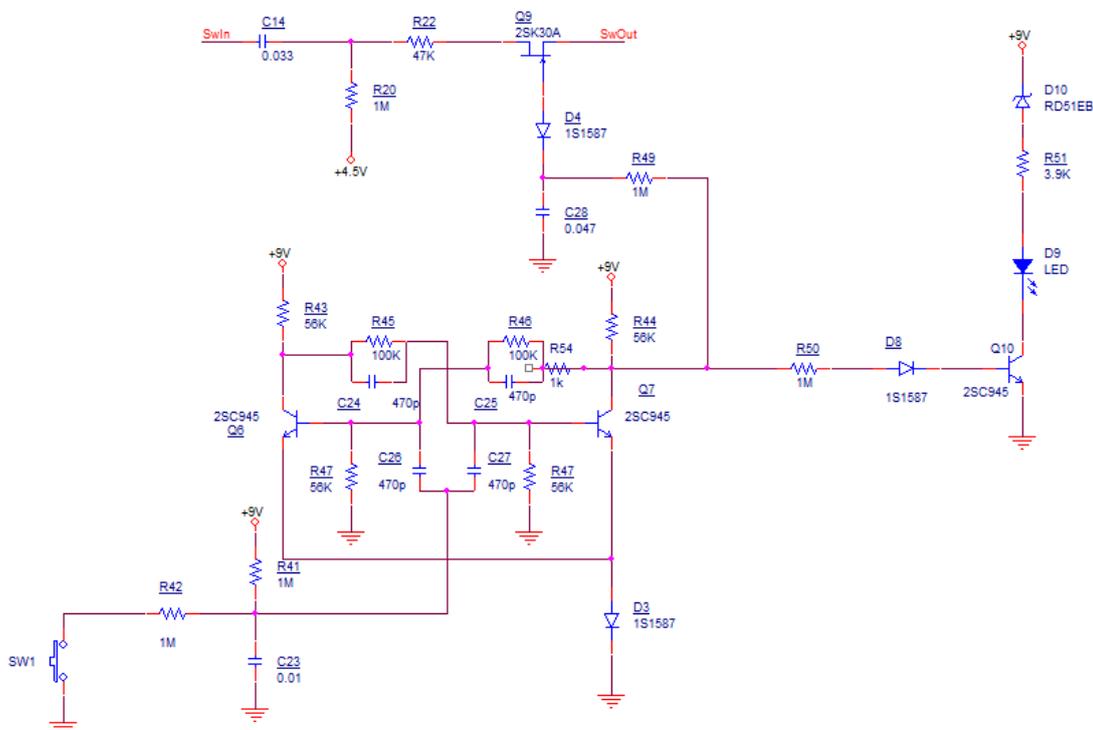


Figura 14: Esquema *PSPICE* del conmutador JFET

En la Figura 14 se muestra el esquema realizado en *PSpice* del conmutador JFET. Para la realización de este trabajo, se sustituye este conmutador JFET (Figura 14) por un interruptor 3PDT. Este interruptor no se suele utilizar en la producción en serie de pedales ya que requiere de trabajo manual para ser implementado, sin embargo, para la realización de este trabajo se opta por esta solución, ya que se va a producir una unidad y sale más rentable que el uso de todos los componentes del interruptor JFET y permite hacer la PCB final más compacta.

3.3.2 *Buffer de entrada*

En la Figura 15 se muestra el esquema del buffer de entrada del circuito, por donde entra la señal de audio. El objetivo del buffer de entrada es crear una entrada de alta impedancia para preservar la integridad de la señal de entrada y evitar pérdidas en alta frecuencia. Este buffer de entrada se implementa mediante un amplificador emisor-seguidor como el de la Figura 15.

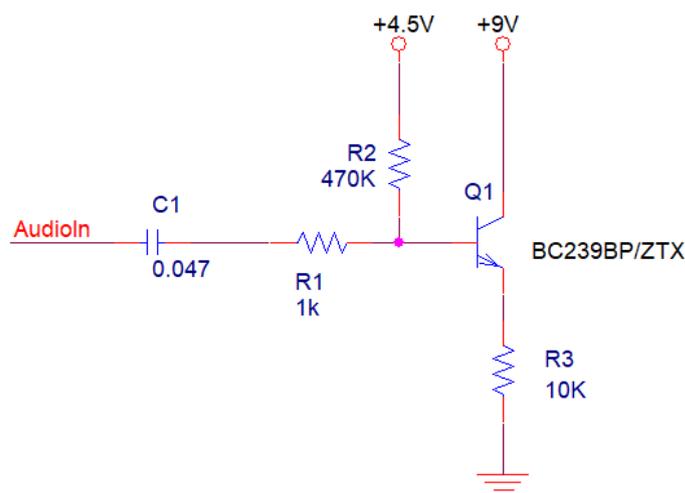


Figura 15: Esquema PSPICE del *buffer* de entrada

El uso más popular de este tipo de amplificador es usarlo como *buffer* de entrada ya que proporciona una ganancia de voltaje de valor unidad. Este valor de ganancia es independiente del valor de las resistencias como se comprueba a continuación: [2, p. 476]

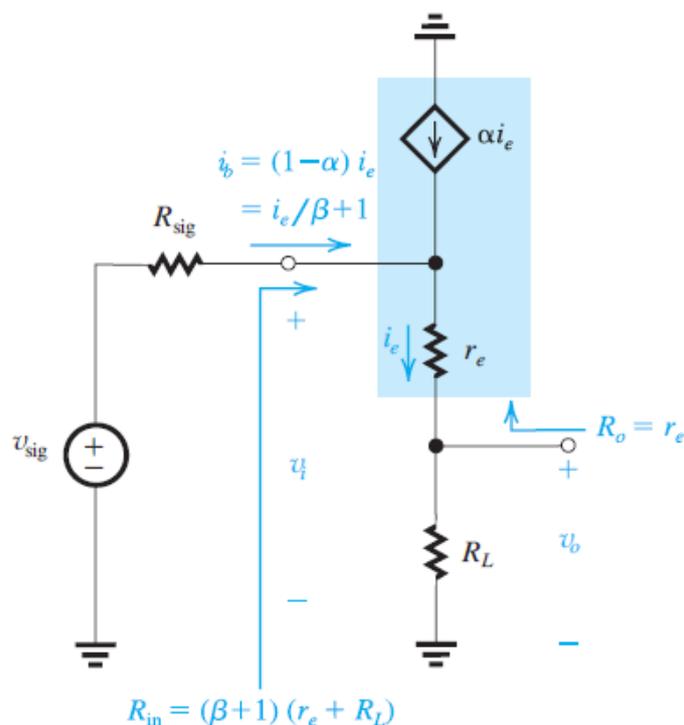


Figura 16: Modelo pequeña señal de un amplificador emisor-seguidor genérico [2]

Analizando el modelo en pequeña señal de la Figura 16, se obtiene la expresión de la ganancia (2)

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_L}{R_L + r_e} \quad (2)$$

Como en (2) R_L es mucho más grande que r_e , la ecuación se simplifica en (3)

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_L}{R_L} \approx 1 \quad (3)$$

Deduciendo que la ganancia, A_v , es de valor unidad

El transistor usado en el circuito original es el 2SC732TM. Este transistor es barato, tiene una alta ganancia ($\beta \approx 300$) y un nivel de ruido bajo, que lo hace apto para aplicaciones de audio [9].

El condensador C_1 crea un filtro paso-alto que filtra el ruido de baja frecuencia junto a las resistencias R_1 , R_2 y la impedancia de entrada del transistor. También aísla la señal de la guitarra de cualquier señal DC, que podría ser transmitida a las pastillas de la guitarra y dañarlas en caso de fallo del circuito.

3.3.2.1 Impedancia de entrada

Para calcular la impedancia de entrada, se sustituye el transistor por su modelo en pequeña señal en π (Figura 17) [2, p. 407]

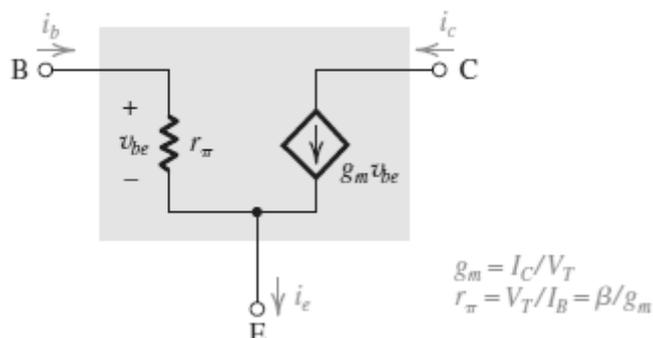


Figura 17: Modelo pequeña señal de un BJT [2]

En la Figura 18 se muestra el esquema *PSpice* en pequeña señal con los valores que se utilizan en el circuito:

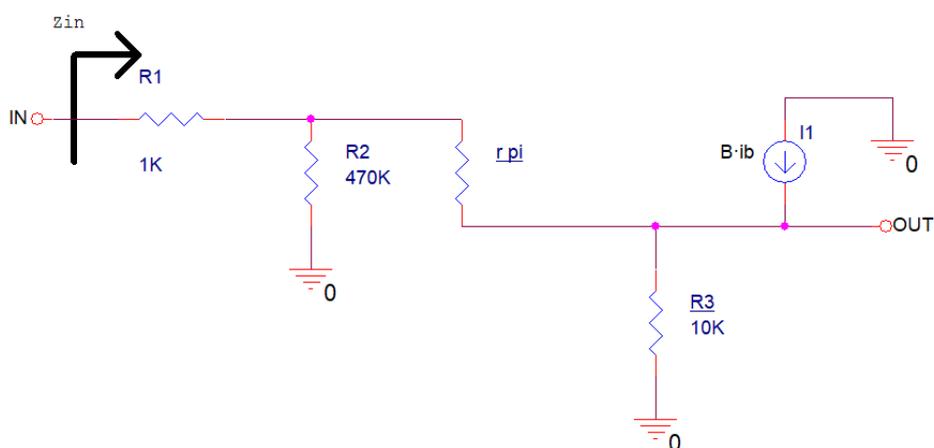


Figura 18: Modelo PSPICE del circuito con el modelo pequeña señal del BJT.

$$Z_{in} = R_1 + R_2 // [r_{\pi} + (\beta + 1) \cdot R_3] \tag{4}$$

$$Z_{in} = 1K + 470K // [r_{\pi} + (300 + 1) \cdot 10K]$$

$$Z_{in} = 407K$$

Resolviendo la ecuación (4) se calcula que la impedancia de entrada del circuito es del orden de $407K\Omega$, este valor se asemeja al de la resistencia de polarización R_2 , que se encarga de casi toda la carga a la entrada.

3.3.3 Fuente de alimentación

La etapa de alimentación, cuyo esquema se muestra en la Figura 19, proporciona la potencia eléctrica y la tensión de polarización a todo el circuito.

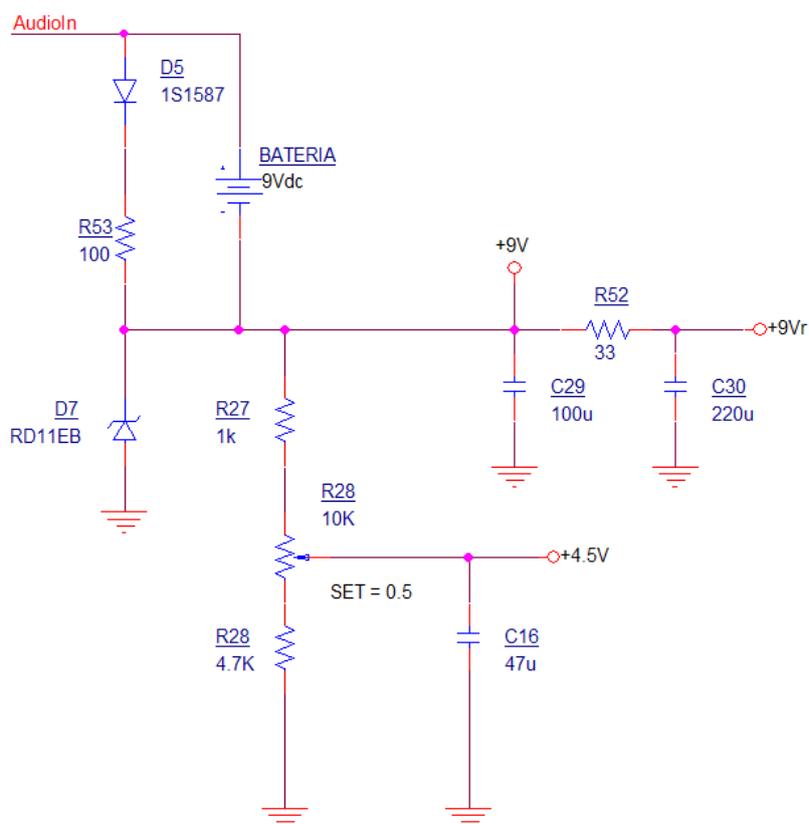


Figura 19: Modelo PSPICE de la fuente de alimentación.

El diodo D_7 protege al circuito de la utilización errónea de fuentes de alimentación con las conexiones de polaridad invertidas.

El divisor de tensión formado por las resistencias R_{27} , R_{28} y el potenciómetro ajustable da una salida de 4,5V, que se usan como voltaje de polarización en algunas etapas del circuito. El condensador C_{16} actúa como condensador de desacoplo a tierra, eliminando el componente AC de la señal para tener una señal DC más limpia. Se usa un trimmer para conseguir una salida de 4,5V a la salida del divisor de tensión ya que hay que los BBD (*Bucket Brigade Device*, explicado su funcionamiento en 0) son sensibles al voltaje que se les proporciona y tienen que recibir un valor lo más preciso posible.

El circuito formado por C_{29} , R_{52} y C_{30} es un filtro paso-bajas de segundo orden con una atenuación de -40dB/dec en la frecuencia de corte de 22Hz como se ve en la Figura 20. Esto ayuda a crear la línea +9Vr que es usada para alimentar los BBDs, eliminando los armónicos

de alta frecuencia de la señal. Es importante que estos armonicos sean eliminados ya que pueden influir negativamente en el procesamiento de la señal de los BBD.

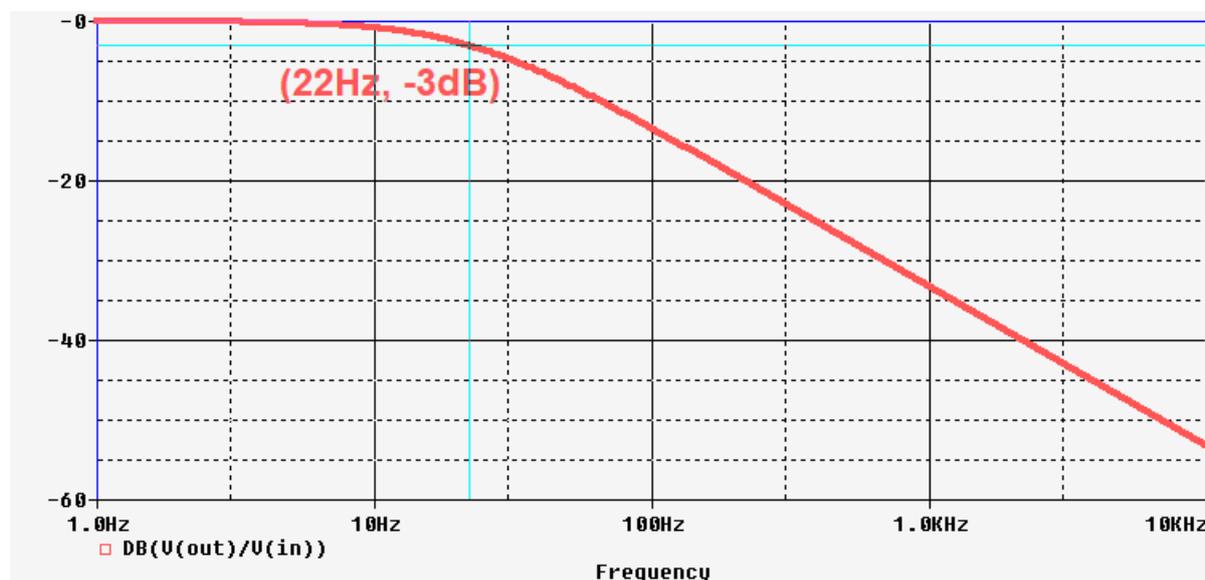


Figura 20: Bode filtro CRC de la fuente de alimentación.

3.3.4 Filtros de pre-énfasis y de-énfasis

El propósito de estos filtros es acondicionar la señal para que pueda ser procesada por el BBD. Son usados bajo la suposición de que al aplicar un filtro de aumento a los tonos agudos (pre-énfasis) y un filtro idéntico de reducción de los tonos agudos (de-énfasis) a la señal de la audio, la señal de salida tendrá el mismo equilibrio tonal que la señal [10].

Para este propósito, se usan dos filtros limitadores de primer orden en las etapas de entrada y salida, estos dos filtros crean un polo y un cero, con unas pendientes de 20dB/dec.[4]

3.3.4.1 Filtros limitadores [11]

Los filtros limitadores son filtros RC de primer orden caracterizados por una respuesta en frecuencia en dos ganancias diferentes: G_{ALTA} y G_{BAJA} entre frecuencias mucho más altas que las frecuencias de esquina.

Estos filtros son implementados con amplificadores operacionales, usando tipologías inversoras y no inversoras. A continuación se muestran varias de sus configuraciones: [12]

Filtros limitadores inversores

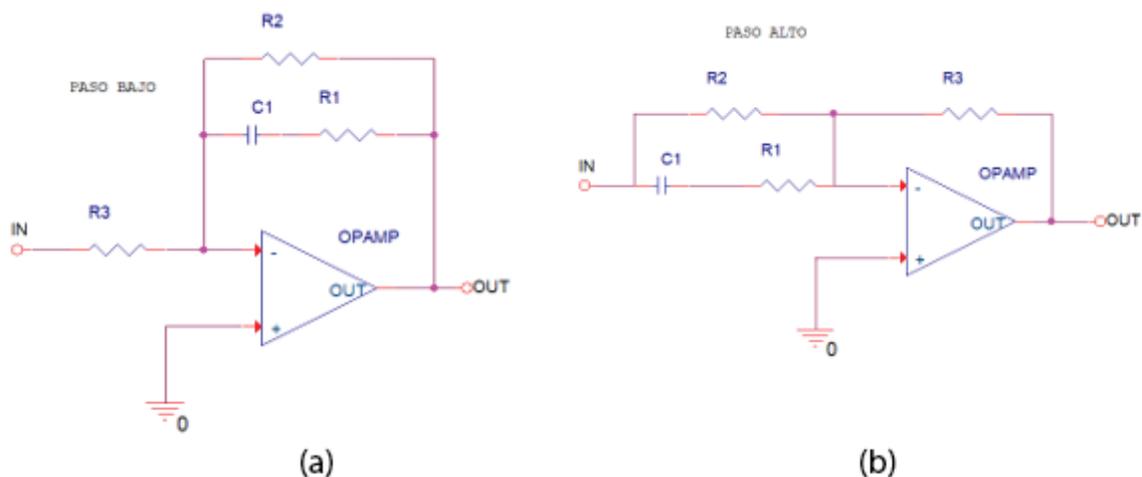


Figura 21: Filtros limitadores inversores paso-bajo (a) y paso-alto(b)

Formulas filtro paso-bajo (Figura 21 (a))

$$\begin{aligned}
 G_{BAJA} &= -\frac{R_2}{R_3} \\
 G_{ALTA} &= -\frac{R_1 // R_2}{R_3} \\
 f_{cALTA} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot R_1} \\
 f_{cBAJA} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot (R_1 + R_2)} \\
 \frac{G_{BAJA}}{G_{ALTA}} &= \frac{f_{cALTA}}{f_{cBAJA}} \quad (5)
 \end{aligned}$$

Formulas filtro paso-alto (Figura 21 (b))

$$\begin{aligned}
 G_{BAJA} &= -\frac{R_3}{R_2} \\
 G_{ALTA} &= -\frac{R_3}{R_1 // R_2} \\
 f_{cALTA} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot R_1} \\
 f_{cBAJA} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot (R_1 + R_2)} \\
 \frac{G_{BAJA}}{G_{ALTA}} &= \frac{f_{cBAJA}}{f_{cALTA}} \quad (6)
 \end{aligned}$$

Filtros limitadores no inversores:

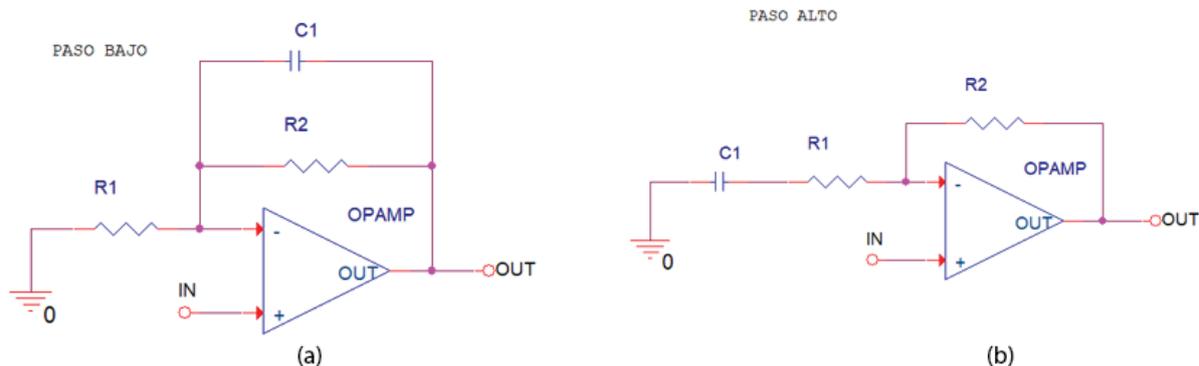


Figura 22: Filtro limitador no inversor paso-bajo (a) y paso-alto (b)

Formulas filtro paso-bajo (Figura 22 (a))

Formulas filtro paso-alto (Figura 22 (b))

$$G_{BAJA} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$G_{BAJA} = 1$$

$$G_{ALTA} = 1$$

$$G_{ALTA} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$f_{cALTA} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot R_1 // R_2}$$

$$f_{cBAJA} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot R_1}$$

$$f_{cBAJA} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot R_2}$$

$$f_{cBAJA} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot (R_1 + R_2)}$$

$$G_{BAJA} = \frac{f_{cALTO}}{f_{cBAJO}} \quad (7)$$

$$G_{ALTA} = \frac{f_{cALTA}}{f_{cBAJA}} \quad (8)$$

En el caso del circuito a analizar, se usan los de tipo inversor de la Figura 21 ya que permiten ajustar las ganancias (Ecuaciones (5) y (6)) en forma de espejo para poner unas en el filtro de pre-énfasis y otras en el filtro de de-énfasis. Es decir, que la ganancia en frecuencias altas del filtro de preénfasis sea igual que la ganancia en frecuencias altas del filtro de de-énfasis, pero con signo negativo.

3.3.4.2 Filtro de pre-énfasis

En el circuito del BOSS CE-2, el filtro de pre-énfasis está hecho con el amplificador operacional 4558, tal como se muestra en Figura 23. Está diseñado para incrementar las frecuencias altas en comparación con las frecuencias medio-bajas, para mejorar el SNR (*Signal Noise Ratio*) minimizando los efectos de la atenuación y la distorsión de la etapa de BBDs.

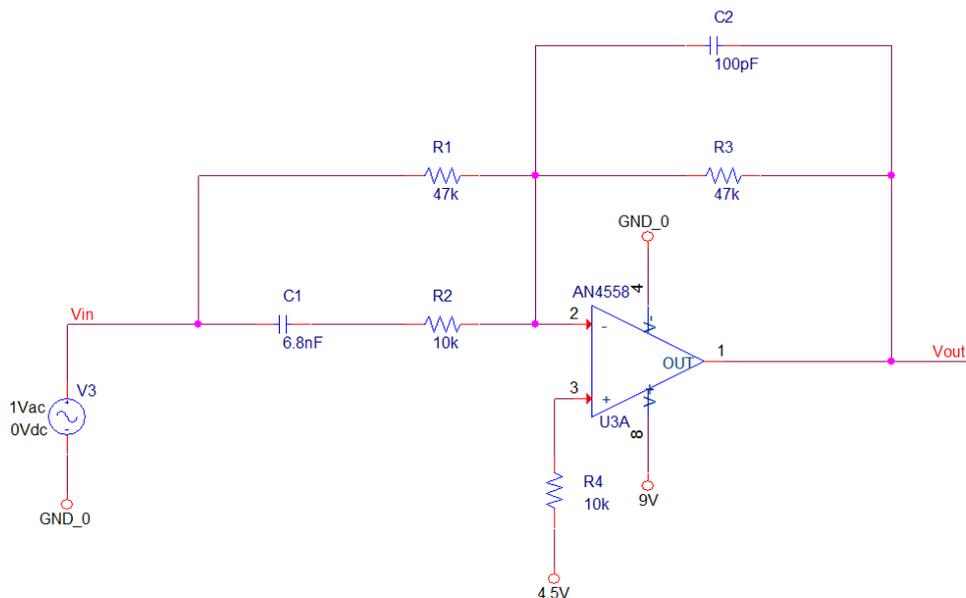


Figura 23: Modelo PSPICE filtro pre-énfasis

$$G_{BAJO} = -\frac{R_3}{R_2} = -\frac{47K}{47K} = -1(0 \text{ dB}) \tag{9}$$

$$G_{ALTO} = -\frac{R_3}{R_2 // R_1} = -\frac{47K}{47K // 10K} = -5.7(15 \text{ dB}) \tag{10}$$

$$f_{C_{BAJO}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (10K + 47K) \cdot 6,8nF} = 410Hz \tag{11}$$

$$f_{C_{ALTO}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10K \cdot 6,8nF} = 2.341KHz \tag{12}$$

En las frecuencias bajas, C_3 y C_4 son considerados circuitos abierto, dejando las resistencias R_2 y R_3 , que valen lo mismo. Esto daría una ganancia de -1 (9). Para las frecuencias altas, hay un camino paralelo por el condensador C_1 y la resistencia R_1 , lo que daría una ganancia de -5,7 (10). En la Figura 24 se puede ver el resultado de la simulación.

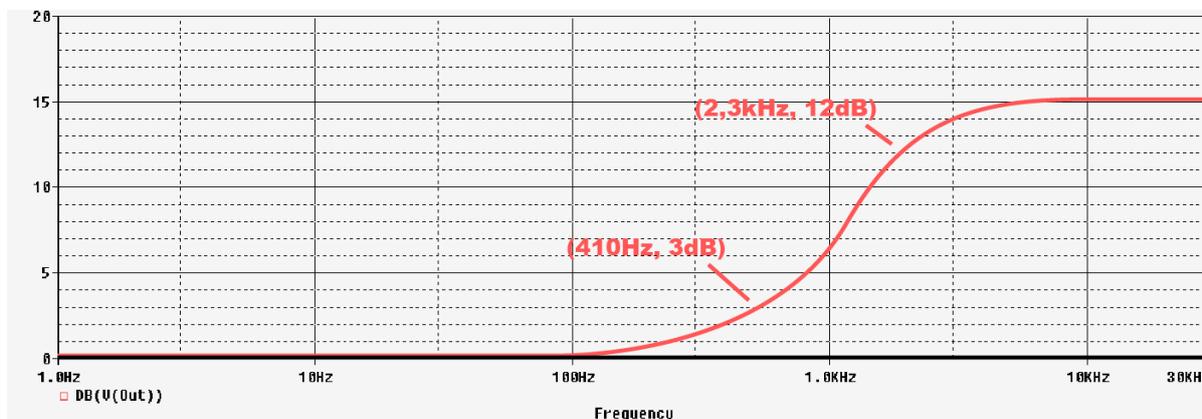


Figura 24: Bode filtro pre-énfasis

3.3.4.3 Filtro de de-énfasis

El filtro de de-énfasis, cuyo esquema aparece en la Figura 25, actúa como complemento al filtro de pre-énfasis. Se realiza con el otro operacional del circuito integrado 4558 y está diseñado para atenuar las frecuencias altas en la señal respecto a las medio-bajas, haciendo que el ruido metálico de alta frecuencia generado por el filtro de pre-énfasis desaparezca y se obtenga a la salida una señal de audio sin ruidos.

El amplificador tiene configuración de sumador. Para el caso en que $R_1=R_2=R_4=47K$, se consigue que la mezcla entre señal original y señal modulada sea del 50%.

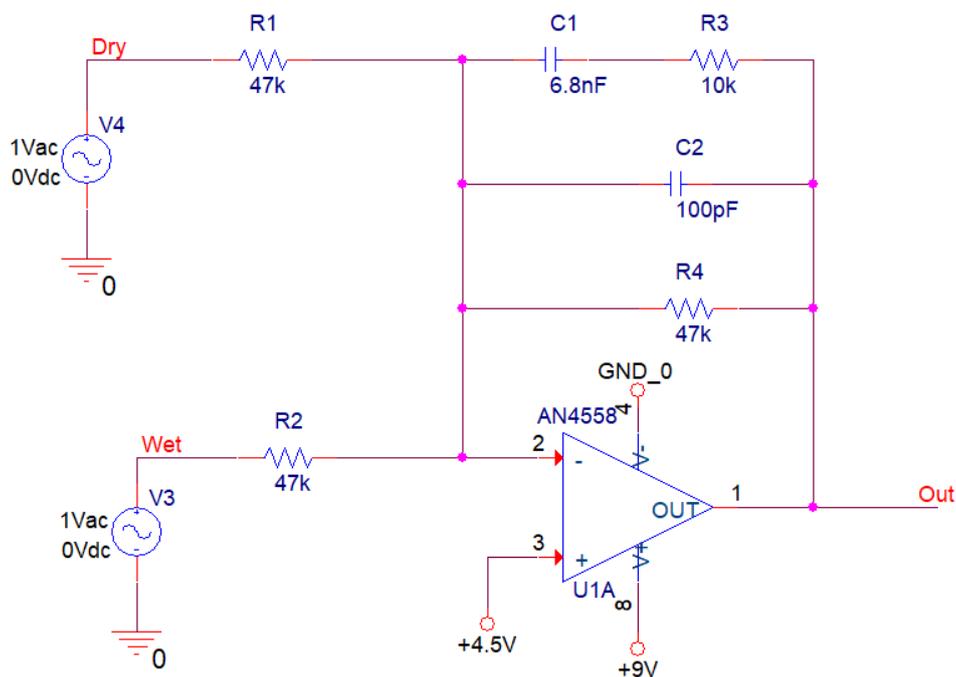


Figura 25: Modelo PSPICE filtro de-énfasis

$$G_{BAJA} = -\frac{R_4}{R_1} = -\frac{47K}{47K} = -1(0dB) \quad (13)$$

$$G_{ALTA} = -\frac{R_4 // R_3}{R_1} = -\frac{47K // 10K}{47K} = -0.17(-15dB) \quad (14)$$

$$f_{c_{ALTA}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_3 \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10K \cdot 6.8nF} = 2.341KHz \quad (15)$$

$$f_{c_{BAJA}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (R_3 + R_4) \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (10K + 47K) \cdot 6.8nF} = 410Hz \quad (16)$$

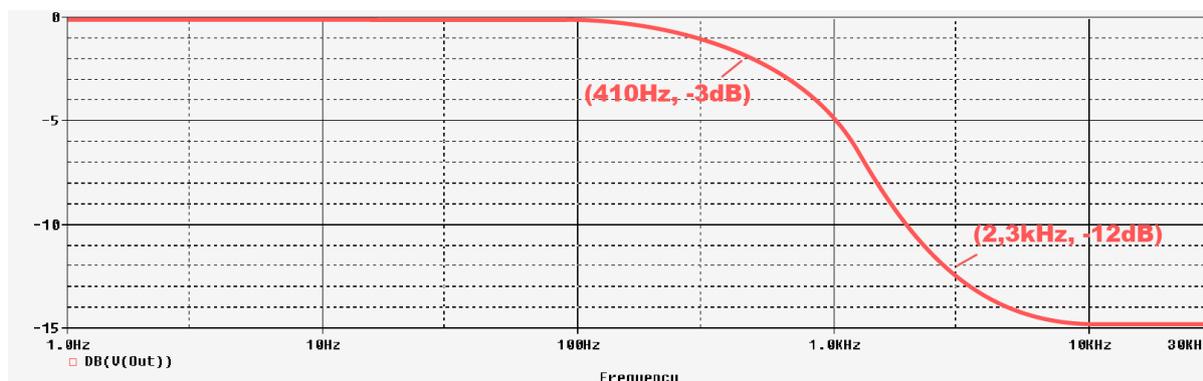


Figura 26: Bode filtro de de-énfasis

En la Figura 26 se puede ver como el filtro de de-énfasis anula el efecto del filtro de pre-énfasis, dejando la señal sin alterar.

3.3.5 Filtros de *antialiasing* y reconstrucción

El filtro *antialiasing* se utiliza como filtro paso-banda de la señal de entrada para eliminar los armónicos introducidos por el proceso de muestreo del dispositivo BBD.

El proceso inverso, llamado filtro de reconstrucción de la señal, se emplea a la salida del proceso de muestreo para asegurar que la señal que se obtiene a la salida no tenga componentes de frecuencia que estén fuera de la frecuencia de trabajo deseada.

Para el filtro de reconstrucción y el filtro *antialiasing*, se usa un filtro paso-bajo de topología Sallen-Key, que elimina las frecuencias altas no deseadas.[2, p. 1343]

La topología Sallen-Key se utiliza para crear filtros activos de segundo orden con una impedancia de entrada alta y una impedancia de salida baja. En este caso también se implementa un búfer para adaptar las impedancias entre los circuitos. Se puede realizar con un amplificador o un BJT en configuración emisor – seguidor como se observa en la Figura 27.

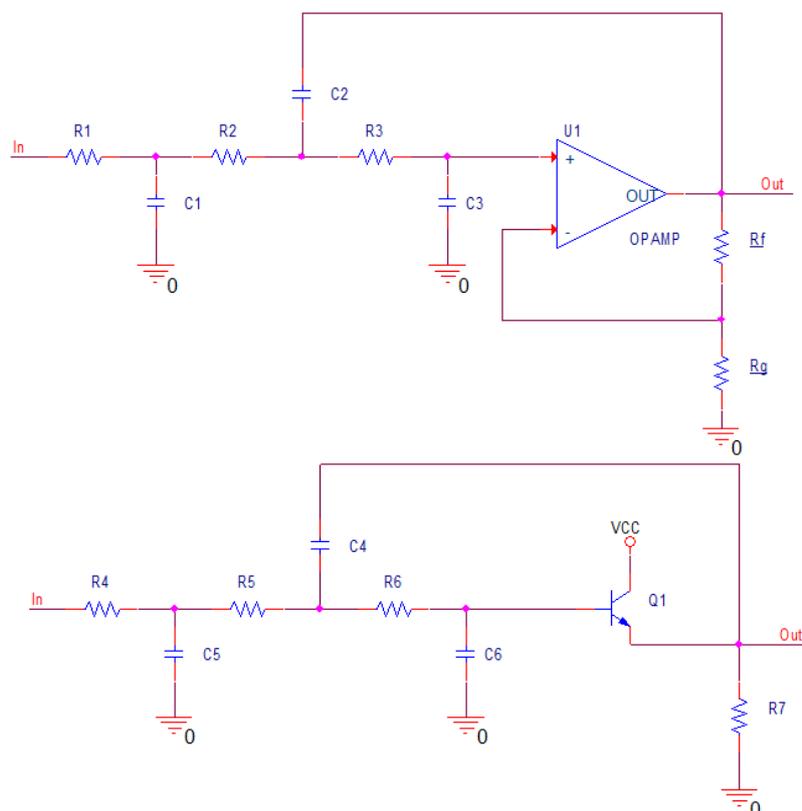


Figura 27: Filtros Sallen-Key

La configuración empleada para los circuitos con dispositivos BBD se basa en la utilización de un filtro de tercer orden, usando un filtro RC de primer orden y un filtro Sallen-Key de segundo orden.

Las ecuaciones del filtro Sallen-Key de tercer orden son las siguientes [13] [14]:

$$H(s) = \frac{\frac{R_f}{R_g} + 1}{s^3 + b_2 \cdot s^2 + b_1 \cdot s + b_0} \quad (17)$$

$$b_2 = \frac{C_1 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot \left(C_3 - C_2 \cdot \frac{R_f}{R_g} \right) + C_1 \cdot C_3 \cdot R_1 \cdot R_3 + C_2 \cdot C_3 \cdot R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3} \quad (18)$$

$$b_1 = \frac{C_1 \cdot R_1 + (R_1 + R_2) \cdot \left(C_3 - C_2 \cdot \frac{R_f}{R_g} \right) + C_3 \cdot R_3}{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3} \quad (19)$$

$$b_0 = \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3} \quad (20)$$

3.3.5.1 Filtro *antialiasing* del Boss CE-2

El filtro *antialiasing* de la Figura 28 es un filtro paso-bajo. Se coloca antes del dispositivo BBD para restringir el ancho de banda de la señal y que está cumpla los requisitos para el teorema de muestreo de *Nyquist*.

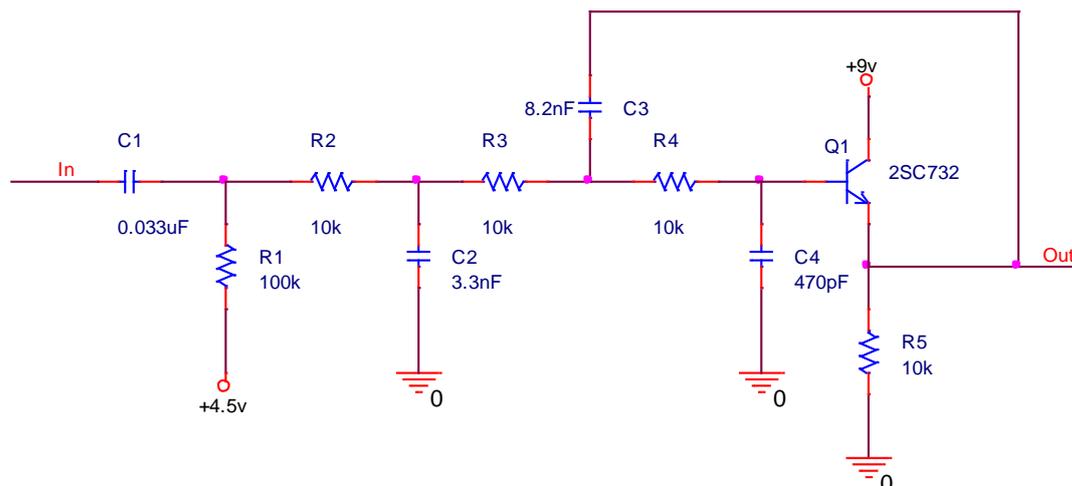


Figura 28: Modelo *PSPICE* filtro *antialiasing*

Antes del filtro *antialiasing* paso-bajo, hay otro filtro paso-alto formado por la resistencia R_1 y el condensador C_1 . Esto da una frecuencia de corte de 48Hz que limita el ancho de banda de la señal y elimina ruidos indeseados de la señal. La frecuencia de corte es calculada con la ecuación (21):

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100K \cdot 0.033uF} = 48.2 \text{ Hz} \quad (21)$$

Respuesta en frecuencia del filtro Antialiasing:

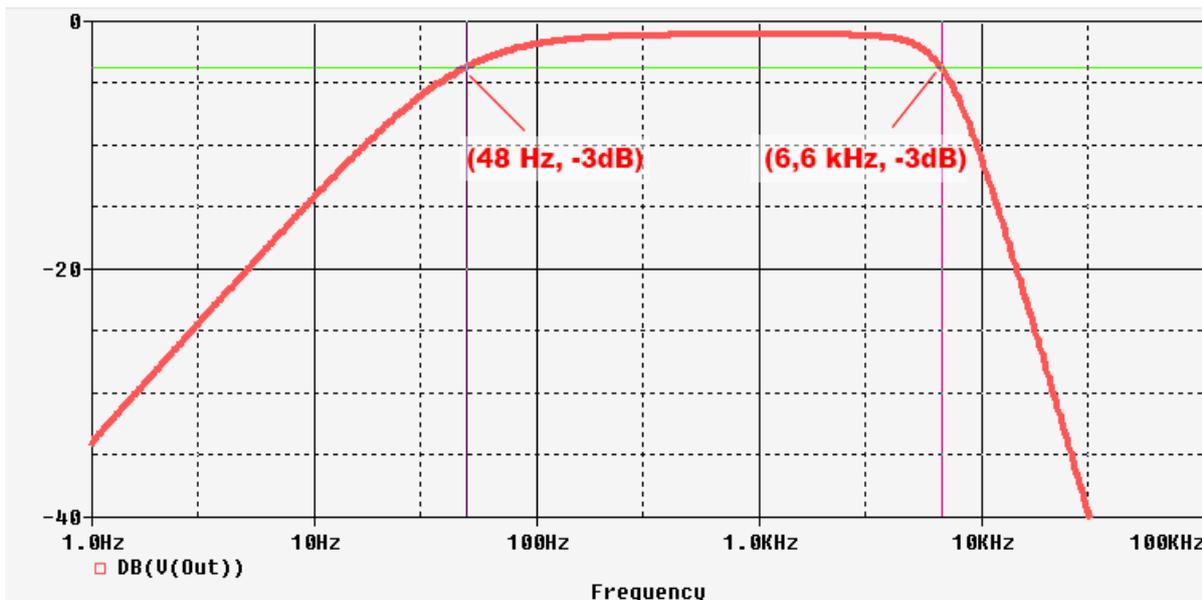


Figura 29: Bode filtro *Antialiasing*

El filtro actúa como un paso-banda, dejando pasar armónicos entre 48Hz y 6,6KHz como se ve en la Figura 29.

3.3.5.2 Filtro de reconstrucción de la señal

El filtro de reconstrucción, representado en la Figura 30, vuelve a ser un filtro paso-bajo usado para reconstruir una señal analógica a partir de una señal muestreada. La señal de salida se limita en frecuencia para eliminar el ruido del reloj del dispositivo de muestreo y para evitar el *aliasing*.

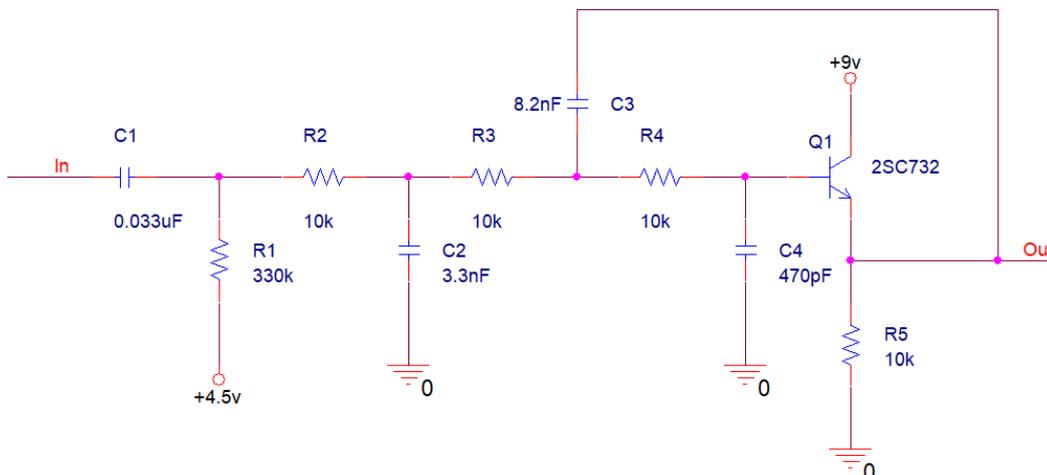


Figura 30: Modelo *PSPICE* filtro de reconstrucción de la señal

Antes del filtro *antialiasing* de paso-bajo, hay otro filtro paso-altas formado por R_1 y C_1 , que genera una frecuencia de paso a los 14,6Hz para eliminar ruidos.

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{15} \cdot C_{10}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 330K \cdot 0.033\mu F} = 14.6 \text{ Hz} \quad (22)$$

Esta frecuencia de paso a los 14,6Hz, calculada en la ecuación (22), es la única diferencia entre el filtro antes del dispositivo BBD y el de después del BBD. Esto hace que, a la salida, se dejen pasar más graves por la señal de audio.

Respuesta en frecuencia del filtro de reconstrucción

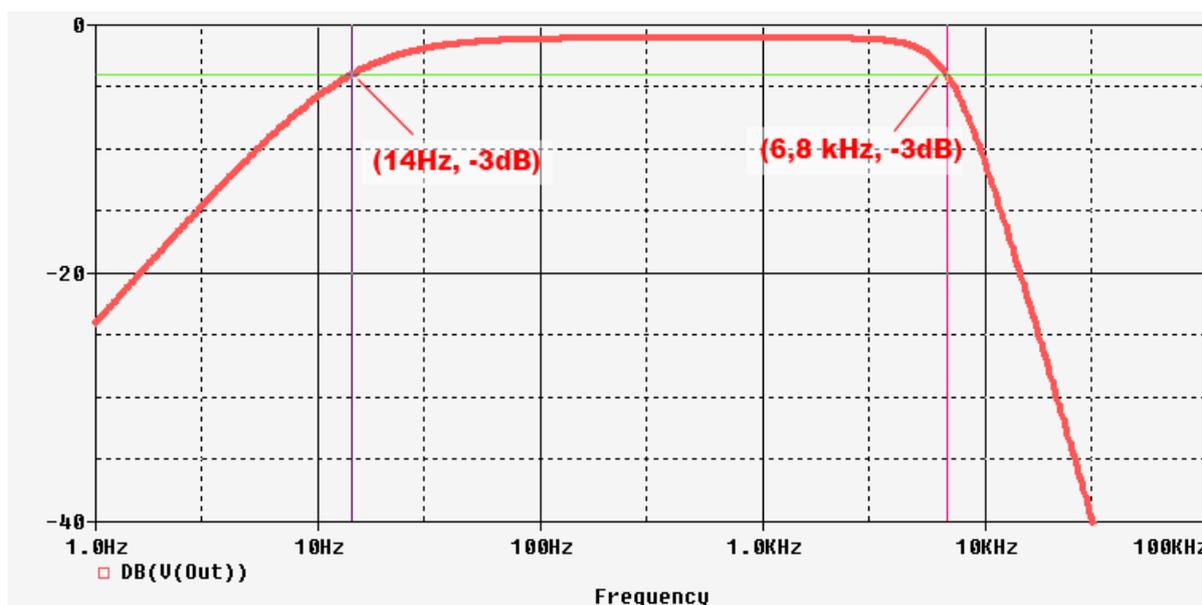


Figura 31: Bode del filtro de reconstrucción de la señal

El resultado es un filtro paso-banda, visible en el diagrama Bode de la Figura 31, que deja pasar frecuencias entre los 14.6Hz y los 6.6KHz. La frecuencia de corte de 6.6Hz es igual que en el filtro de *antialiasing* del principio ya que el circuito es el mismo.

3.3.6 Bucket Brigade Device (BBD)

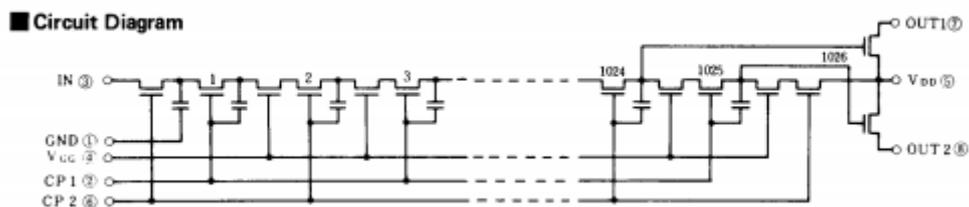


Figura 32: Esquema basico dispositivo BBD [12]

El dispositivo BBD es la parte principal del circuito y la que se encarga de generar la modulación de la señal de audio. El funcionamiento del dispositivo se basa en el uso de una cadena de condensadores. La señal analógica almacenada se desplaza a lo largo de la red de condensadores en cada pulso de reloj. El nombre viene de la técnica que usan los bomberos de ir pasándose cubos de agua uno a uno coordinadamente. En la Figura 32 se representa el esquema básico del dispositivo.

En este caso se usa el MN3007 por su buena respuesta con señales de audio. Para controlar el dispositivo BBD, se usa el circuito integrado MN3101 como generador de señal de reloj y un oscilador de baja frecuencia conectado al generador de señal de reloj para variar su frecuencia y generar una señal de *delay* variable [15].

MN3007

El MN3007 (fabricado por *Panasonic*) es un *BBD* de bajo ruido, ideal para aplicaciones de audio con 1024 etapas de *delay*. Este dispositivo es capaz de generar señales de *delay* de 5,12ms hasta 51,2ms. Para el efecto *chorus* que se quiere recrear, es necesario un *delay* que varíe de 5ms a 40ms, por lo tanto, es válido para esta aplicación.

Algunas de las características importantes a tener en cuenta son:

- S/N = 80dB
- THD = 0,5%
- Frecuencia de la señal de entrada mínima = 12KHz. [7]

MN3101

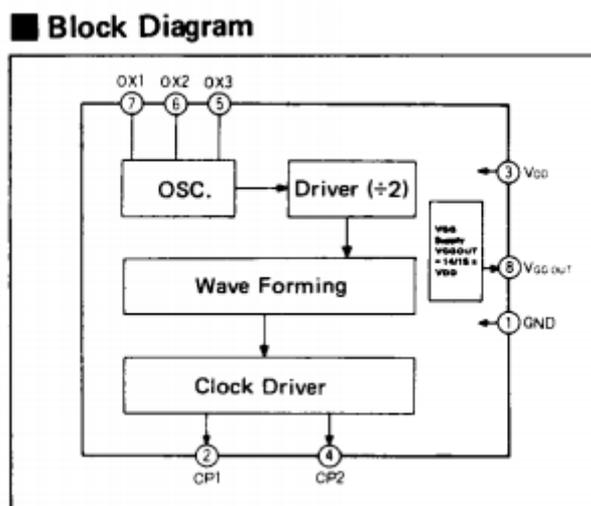


Figura 33: Esquema basico MN3101 [13]

El MN3101 (Fabricado por *Panasonic*) es un generador de señal de reloj diseñado para ser usado con los BBD de la serie MN3000. Este dispositivo incluye un reloj de dos fases cuya frecuencia es modificada por el LFO. También proporciona una tensión de polarización estable para el MN3007. En la Figura 33 se puede ver un esquema de bloques que resume el comportamiento del integrado [16]. (Circuito ampliado en 1.1)

El funcionamiento del circuito ampliado del plano 1.1, se basa en la carga y descarga del condensador C_4 , que fija su tensión inicial por la señal del LFO que pasa por el transistor Q_1 . El transistor Q_2 forma un oscilador RC con el MN3101 y el transistor Q_1 tiene configuración de emisor-seguidor y actúa como buffer para la señal generada por el LFO[2, p. 442].

3.3.7 LFO (Oscilador de baja frecuencia)

El LFO es el responsable de controlar el tiempo de *delay* variable que hace posible el efecto *chorus*, así, con cada ciclo de subida-bajada de la señal del LFO, el tiempo de *delay* de la señal baja y sube con él y, por tanto, el tono de la señal de audio retardada también cambia en proporción con él.

Para implementar el LFO, se usa un circuito integrado TL022 que incluye dos amplificadores operacionales con un consumo muy bajo de corriente, que ayuda a eliminar ruido en la fuente de alimentación. En la Figura 34 se puede ver el esquema del circuito del LFO.

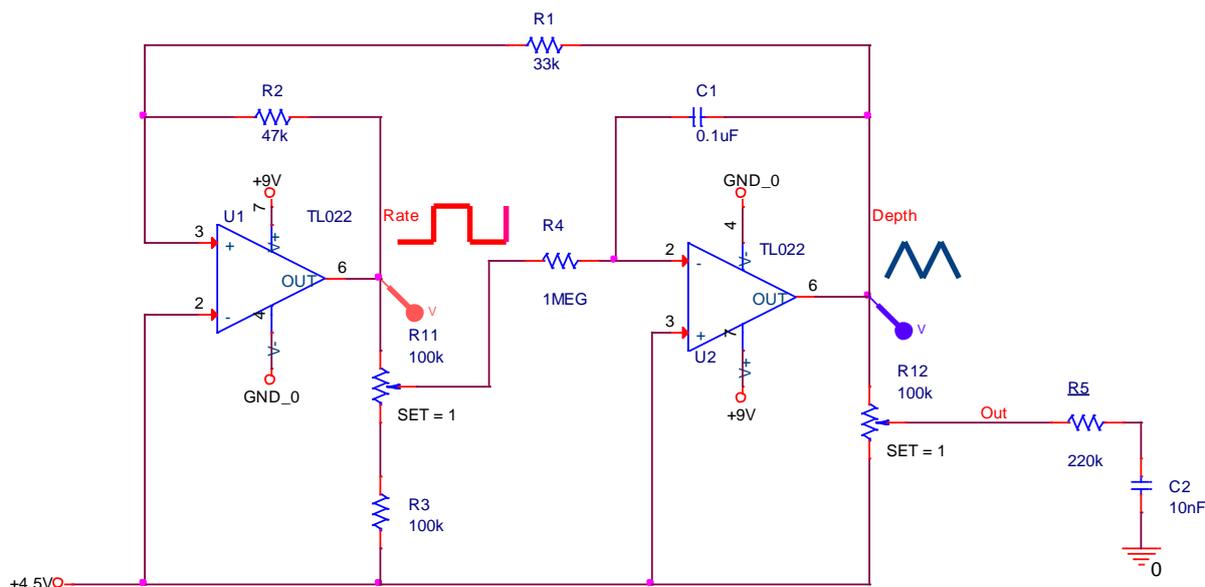


Figura 34: Modelo PSPICE del LFO

El primer operacional se usa para generar una señal rectangular y el segundo para generar una señal triangular. Este circuito permite obtener una frecuencia y amplitud de las señales variables gracias a los potenciómetros de forma sencilla. Después del segundo operacional se observa que se ha integrado un filtro RC paso-bajo, con una frecuencia de corte de 72Hz, calculada en la ecuación (23).

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 200k \cdot 10n} = 72Hz \tag{23}$$

Este filtro elimina todo el ruido a frecuencias altas que se haya podido generar.

El primer operacional tiene configuración de Disparador de *Schmitt*, cuya frecuencia de oscilación se calcula en la ecuación (24) [17, p. 446].

$$f_{osc} = \frac{R_{30}}{4 \cdot C_1 R_1 R_4} = \frac{47K}{4 \cdot 0.1\mu F \cdot 33K \cdot 1M} = 3.5Hz \tag{24}$$

En la Figura 35 se ven los resultados de la simulación del modelo. Cambiando el valor del potenciómetro R_{11} se consigue cambiar la frecuencia de la señal triangular de la salida y con el potenciómetro R_{12} , se ajusta la amplitud de la señal triangular.

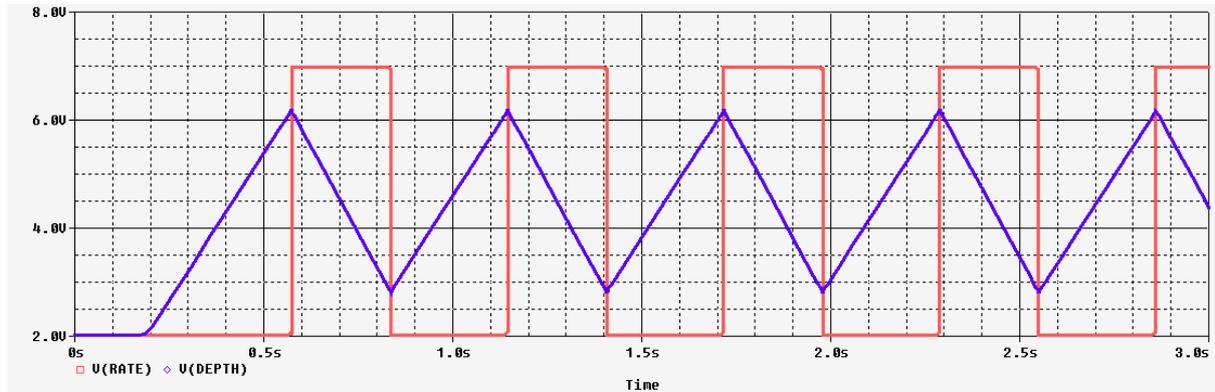


Figura 35: Señales del LFO

4 DISEÑO PCB

Una parte importante del trabajo se centra en la realización del circuito real. Para su realización se diseña una PCB (*Printed Circuit Board*) sobre la que implementa el circuito. En este apartado se describe el proceso de diseño e implementación del circuito previamente analizado.

4.1 ESQUEMAS PREVIOS AL DISEÑO

Antes de comenzar con el diseño del esquemático y colocar los componentes en la PCB, se realiza un esquema de trabajo (Figura 36) con las distintas salidas que va a tener la PCB, ya que es necesario que cuente con 3 pines para cada potenciómetro que se encuentran fuera de la PCB y también los terminales de tierra, de alimentación de 9 voltios, de entrada y de salida de audio.

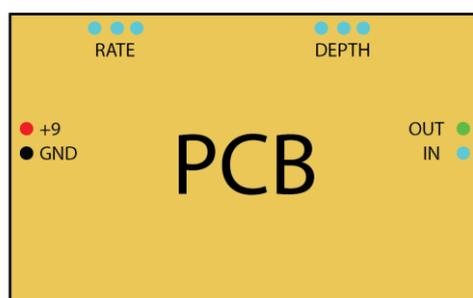


Figura 36: Esquema básico del montaje de la PCB

A continuación, en la Figura 37, se muestra el esquema del circuito con los componentes externos que tiene la placa y como se conectan a la PCB.

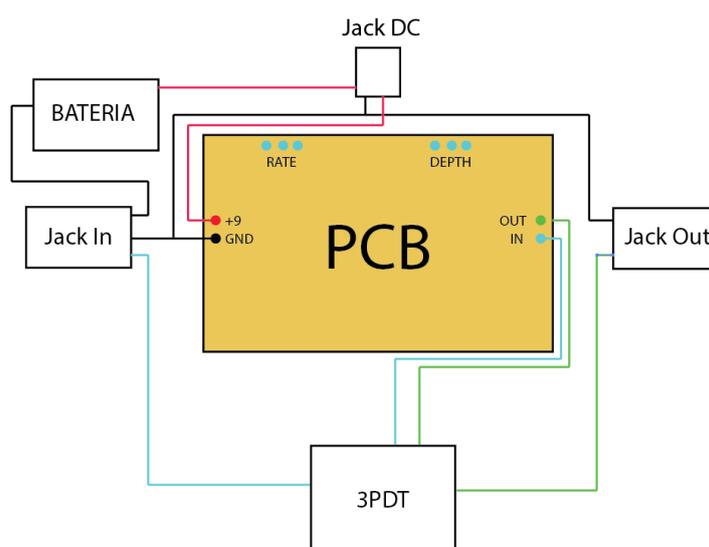


Figura 37: Esquema básico del montaje de la PCB con los componentes externos.

Se puede apreciar en la Figura 38 que el *jack* de entrada tiene 3 señales de salida. Por esta razón, se emplea un *jack* de tipo estéreo, en lugar de utilizar una conexión mono. Además, al usar una conexión en estéreo, se garantiza que el circuito de alimentación de la batería este cerrado sólo cuando hay un conector *jack* insertado en el conector, así que el pedal solo se puede encender cuando hay un conector *jack* conectado en el conector de entrada, alargando la vida útil de la batería.

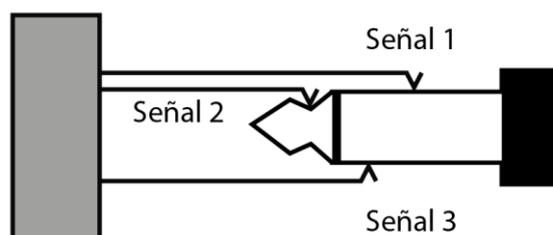


Figura 38: Esquema *jack* estéreo

En la Figura 38 se ve como la señal 1 y la señal 3 se cortocircuitan cuando un conector *jack* es introducido en el conector estéreo.

4.2 DISEÑO CON EL SOFTWARE DE CREACION DE PCBs

Para el diseño de la PCB, se va a usar el software *DesignSpark PCB 9.0*, de la empresa *RS Components* [18]. En la Figura 39 se muestra la estructura del proyecto.

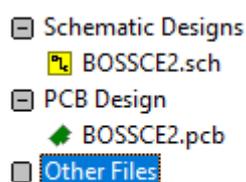


Figura 39: Estructura del proyecto en *DesignSpark*

4.2.1 Esquemático

Tras la realización del esquema previo de la Figura 37, se ha realizado el esquemático del circuito con todos sus componentes (Ampliado en). Gracias a la herramienta *Library Loader* de *SamacSys* [19], se han conseguido los archivos de librería de los componentes que no venían incluidos en las librerías por defecto de *DesignSpark*, entre los que se incluyen los circuitos integrados RC4558, TL072, MN3007, MN3101, los conectores para los

potenciómetros y el interruptor de pie 3PDT, conectado siguiendo la configuración de la Figura 50.

4.2.2 Diseño de la PCB

Una vez se han realizado los esquemáticos que se describen el apartado 4.2.1, se procede a diseñar la PCB sobre la que se alojaran.

La PCB tiene una forma rectangular con unas dimensiones de 75x60mm y se diseña a una sola cara ya que se va a fabricar mediante *CNC* (Corte por control numérico por computadora). Todas las pistas del circuito van por la cara inferior. El diseño final de la PCB se puede ver en la Figura 40, y se amplían las diferentes capas del diseño en el documento de planos (1.4).

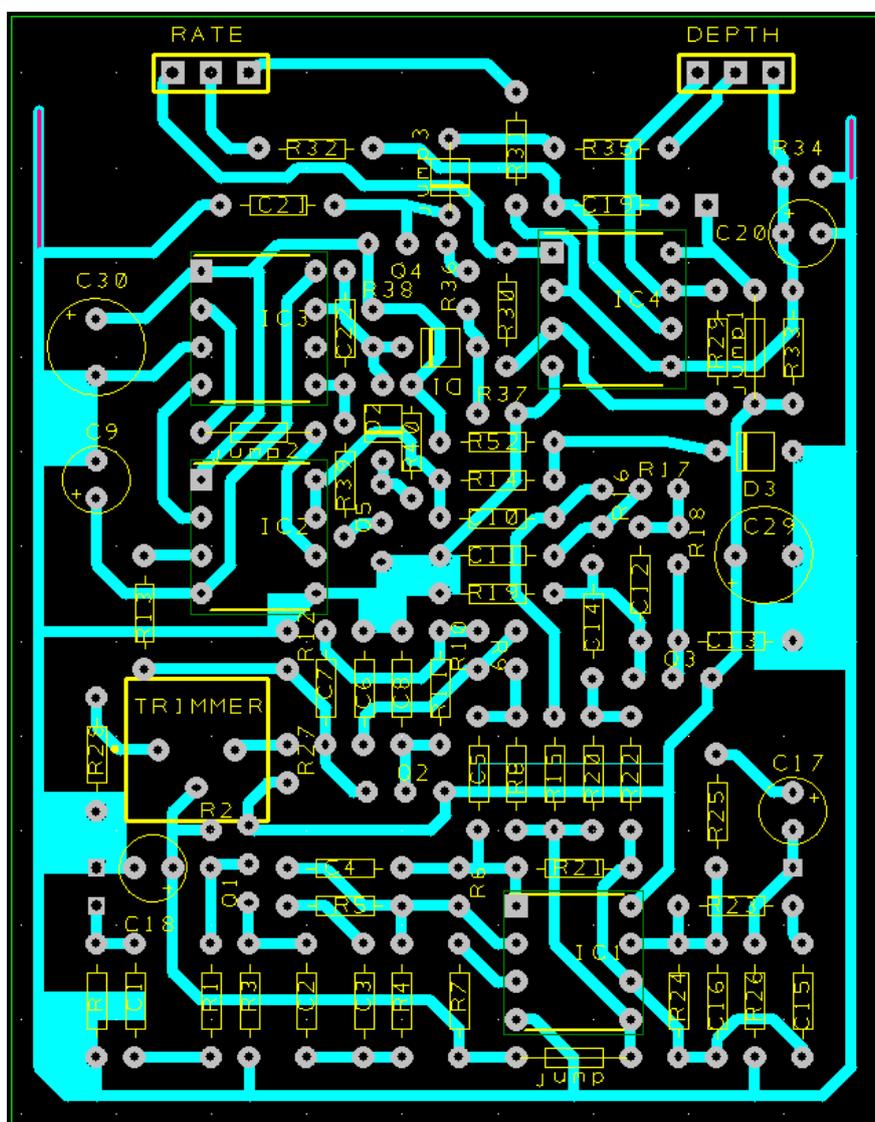


Figura 40: Capa inferior de la PCB

Todos los componentes utilizados han sido de tipo *through-hole* y no se han utilizado componentes SMD por la dificultad de soldarlos a mano. Las pistas de la PCB tienen un grosor de ~0,8mm (30 milésimas de pulgada).

Durante el diseño de la PCB, se ha empleado como criterio de diseño el hacer un diseño compacto. Para solventar las restricciones de espacio y poder colocar todos los componentes que tiene el circuito por una única cara, que facilita la soldadura de componentes y la reparación del circuito, se ha recurrido a las siguientes soluciones:

- Para ahorrar espacio, se ha optado por colocar algunas resistencias de forma vertical en vez de horizontal como las que se pueden ver en el centro de la Figura 41. Esto ha hecho posible hacer más compacto el diseño y ahorrar espacio.



Figura 41: Resistencias montadas en vertical en el circuito

- Como la PCB tiene solo una cara, se ha tenido que recurrir al uso de *jumpers* para unir algunas pistas de la PCB. Para realizar esto se han introducido símbolos de PCB de resistencias (Figura 42) que, a la hora del montaje de la PCB, se van a sustituir por un cable o una resistencia de valor 0 Ω .

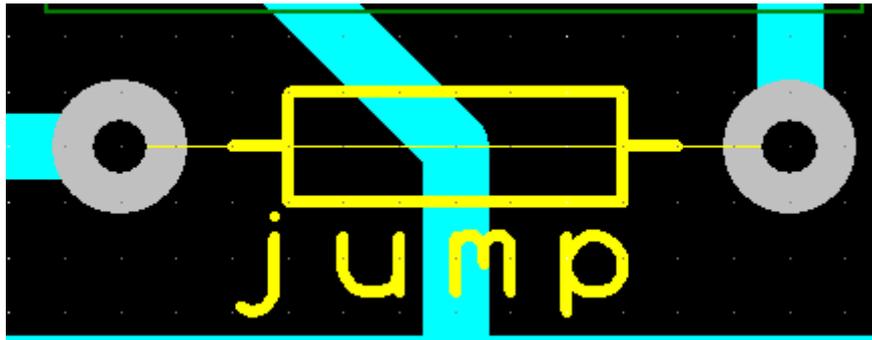


Figura 42: Jumper usada para conectar pistas

Finalmente, mediante el uso de una máquina de CNC se ha obtenido la PCB visible en la Figura 43.

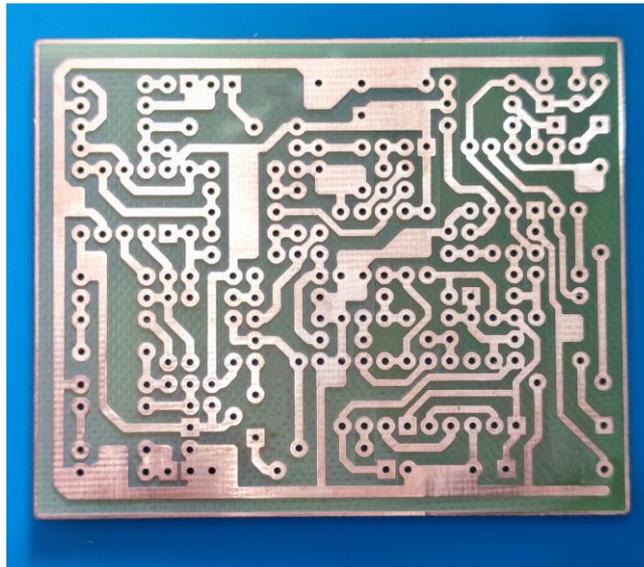


Figura 43: PCB finalizada

El siguiente paso es verificar que la placa es correcta y que no aparecen cortocircuitos entre pistas. Se ha comprobado que no hubiese continuidad entre pistas con un multímetro y en las que había cortocircuito se ha limado el exceso de cobre con un cúter.

5 MONTAJE

En este apartado se va a explicar detalladamente todos los pasos del proceso para la obtención del dispositivo físico, empezando por la selección de componentes a usar hasta acabar con el ensamblaje del dispositivo.

5.1 SELECCIÓN DE COMPONENTES

Para la selección de componentes se ha partido del esquemático original, pero eliminando el conmutador JFET. Para sustituirlo solo es necesario conectar el filtro de reconstrucción con el de de-énfasis sin pasar por el conmutador, haciendo que el circuito esté siempre activo. Para poder desactivar el efecto se ha añadido una línea que conecta la salida con la entrada por medio de un interruptor 3PDT.

También se ha añadido una resistencia $2\text{ M}\Omega$ que va de la entrada del circuito a tierra para reducir los ruidos que produce el interruptor 3PDT al ser accionado.

El proveedor utilizado ha sido *Retroamplis* [20] por la disponibilidad de todos los componentes y por su localización.

5.1.1 Resistencias

Para las resistencias se ha optado por usar resistencias metálicas de $1/4\text{W}$ de la marca *Xicon*, ya que tienen un tamaño más reducido que las resistencias de carbón y hacen posible el diseño de una PCB más compacta.

5.1.2 Condensadores

Los condensadores electrolíticos elegidos han sido la gama *Nichicon FG Audio Fine Gold* [21] (Figura 44) que pese a ser un poco más caros que los demás, dan muy buen resultado para aplicaciones relacionadas con el audio.



Figura 44: Condensador Nichicon FG Audio Fine Gold

Para el resto de los condensadores se ha optado por una mezcla entre cerámicos y de película según disponibilidad y valor de capacitancia del condensador.

5.1.3 Circuitos integrados y transistores.

Se han utilizado el TL022CP, el MN3007 y el MN3101 de los cuales ya se ha explicado su función en el análisis del circuito.

5.1.4 Conectores

Se han utilizado dos *jacks* de audio de 3,5mm de la marca *Switchcraft* por su robustez y fiabilidad y un *Jack* DC para conectar la fuente de alimentación al pedal.

5.1.5 Interruptores y control.

Para el control del efecto, se han utilizado dos potenciómetros Alpha de 100K lineales y un interruptor de pie 3PDT (Figura 45) para activar y desactivar el efecto. Mas adelante se explicará cómo funcionan los interruptores 3PDT y como se conectan para obtener *true-bypass* en el pedal.



Figura 45: Interruptor 3PDT

5.1.6 Otros

- **Chasis:** Para alojar todos los componentes y la PCB se ha utilizado una caja *Hammond 1590BB*.
- **Cables:** Se ha optado por usar cable multifilar de PVC de 0,5mm² de distintos colores y se han utilizado fundas termo retráctiles para reforzar y proteger las conexiones a los distintos componentes.
- **Zocalos:** Para conectar los ICs en la placa sin riesgo de estropearlos por la soldadura, se han usado zócalos para ICs que han sido soldados a la PCB y luego se han introducido en ellos los ICs. También se han utilizado zócalos para alojar el LED de estado ON/OFF.

5.2 ENSAMBLAJE DE LOS COMPONENTES

5.2.1 Soldadura

El primer paso para comenzar a montar el circuito es soldar los componentes a la PCB. Para ello se empieza con los componentes de menor altura, como las resistencias y se acaba con los componentes más grandes, como los condensadores electrolíticos, para hacer el montaje más sencillo.

Para la soldadura se ha usado un cable de estaño con una composición de 96% de estaño y un 4% de plata. La estación de soldadura utilizada ha sido la *YIHUA 908D* de 65W.

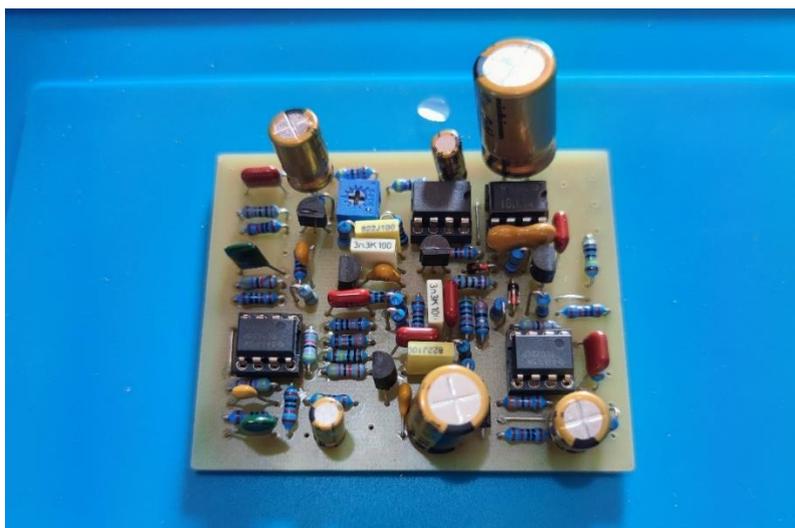


Figura 46: PCB con todos los componentes soldados.

En la Figura 46 se puede ver la PCB con todos los componentes ya soldados.

5.2.2 Testeo

Una vez finalizado todo el proceso de soldadura, se procede a probar el funcionamiento del circuito antes de ensamblarlo en el chasis final. Para esto se le ha conectado una batería a los cables de alimentación y mediante unos cables con cocodrilos se ha conectado las entradas y salidas de audio.

A continuación, se conecta a un amplificador de guitarra y se ajusta el potenciómetro variable hasta que el efecto produzca el sonido deseado. Con ayuda de un multímetro, se ha medido la tensión de polarización del BBD que se controla por el potenciómetro variable. Según las simulaciones, este tiene que estar alrededor de los 4,5V para que el efecto funcione correctamente, aunque en la práctica se ha tenido que fijar a 4,7V para eliminar distorsiones en el sonido y que la señal fuese lo más limpia posible. En la Figura 47 se puede ver como se testeó el circuito.

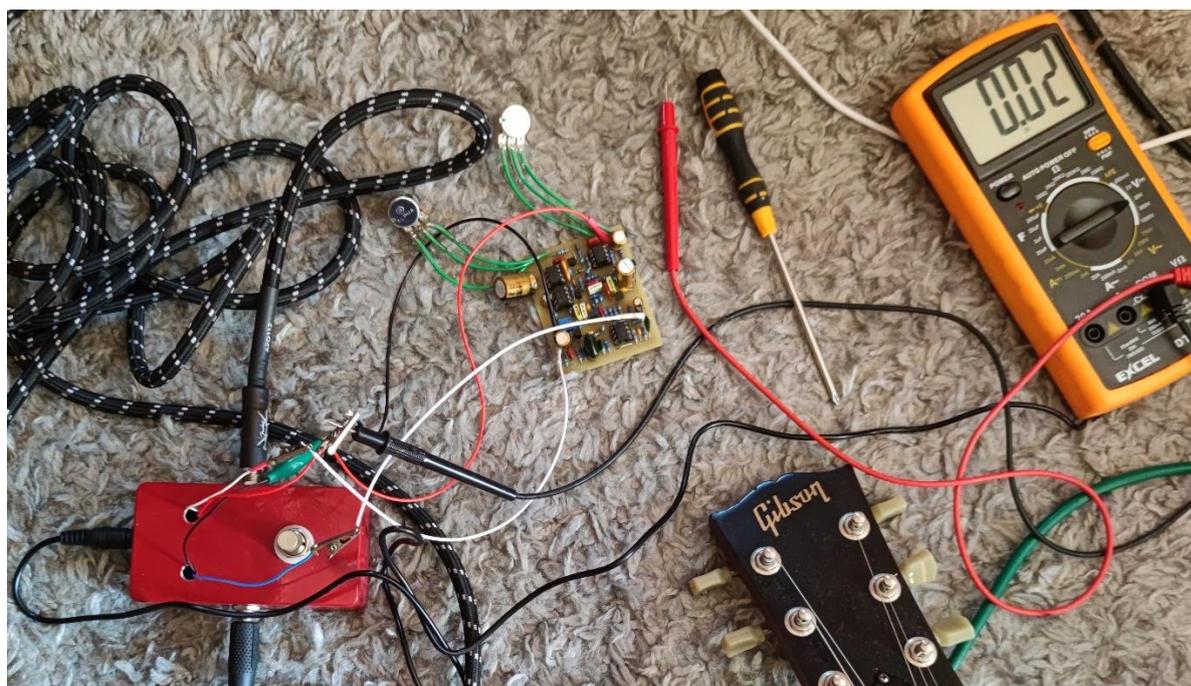


Figura 47: Testeo de la PCB

En el testeo del circuito, se ha observado que, si la tensión de polarización del BBD es demasiado baja, no se aprecia ninguna modulación en la señal de audio, sin embargo, si el voltaje de polarización es superior a los 5V, el efecto de modulación deja de ser un *chorus* y nos da una distorsión parecida a un *fuzz*, que transforma la señal sinusoidal en una señal casi cuadrada.

5.2.3 Montaje en el chasis

Cuando el circuito ha sido testeado y se ha comprobado que funciona correctamente, se procede a montar todos los componentes en el chasis como se ve en Figura 48. Previamente se la han hecho los agujeros para introducir los *jacks*, potenciómetros, interruptor 3PDT y leds y se le ha aplicado una capa de pintura azul.



Figura 48: Circuito implementado en el chasis

Quizás la parte más compleja del montaje sea entender cómo funciona el interruptor 3PDT y como hacer las conexiones para conseguir *True-Bypass*, (Es decir, que cuando el efecto este desactivado, tengamos la señal limpia de la guitarra sin que tenga que pasar por ningún buffer ni componentes.) por tanto, se va a explicar cómo funciona más detalladamente:[22]

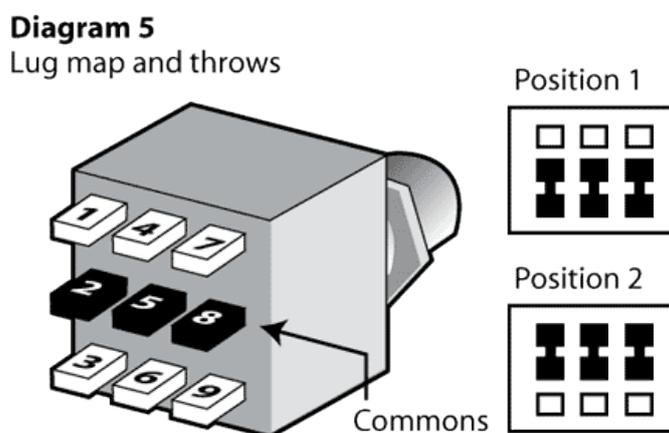


Figura 49: Esquema de funcionamiento de un interruptor 3PDT [19]

Como se ve en la Figura 49, en la posición uno la fila central de conectores estaría conectada con la fila inferior como se muestra en la figura y si el interruptor es accionado, cambiará la conexión de la fila central de conectores con la línea superior. Gracias a esto, se puede conseguir que en una de las posiciones la señal de la guitarra pase por el circuito de modulación de la señal y en la otra posición la señal de la guitarra ignore completamente el circuito y pase por el pedal sin ningún tipo de modificación consiguiendo el *True-Bypass*.

Para conseguir esto, se tendrían que hacer las conexiones de la Figura 50:

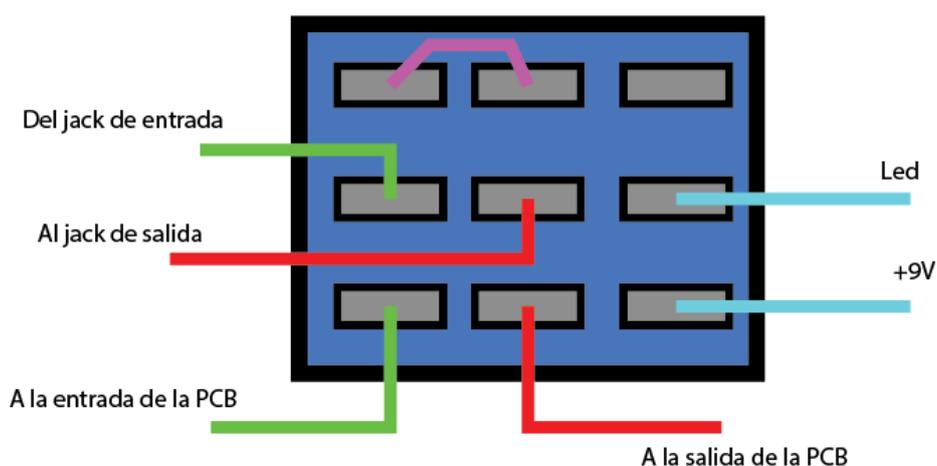


Figura 50: Esquema de conexiones del interruptor 3PDT

En la posición uno (fila central conectada con la inferior), la señal de la guitarra entra por el *Jack* de audio de entrada, pasa por el efecto de modulación y sale por el *Jack* de salida. También se enciende el led de estado para indicar que el efecto está activado. En la posición dos, el *Jack* de entrada está conectado con el de salida y por tanto, la señal pasa por el pedal sin sufrir ningún tipo de alteración.

Finalmente se han aplicado unas pegatinas para hacer el producto final más estético y se le han puesto unos embellecedores a los potenciómetros para que sea más fácil su uso como se ve en la Figura 51.



Figura 51: Dispositivo final

5.3 PROBLEMAS ENCONTRADOS EN EL MONTAJE

- **Interruptor 3PDT defectuoso:**

Una vez ensamblado el pedal, el interruptor de pie 3PDT dejó de funcionar y se tuvo que cambiar por uno nuevo. Esto supuso un laborioso trabajo de desoldar todos los cables que estaban conectados al defectuoso y volver a soldarlos al nuevo con la dificultad añadida de que los *jacks* y potenciómetros estaban ya soldados y había menos espacio para hacer la soldadura cómodamente.

- **Zumbido al probar el dispositivo con la caja ensamblada:**

Al probar el dispositivo con la caja ya cerrada y atornillada, se escuchaba de fondo un zumbido muy agudo constante que sonaba, aunque no estuviese pasando señal por el circuito. Tras varias pruebas y comprobaciones de que todos los condensadores estaban bien, se probó a utilizar una batería como fuente de alimentación en vez de conectar el pedal directamente a la red eléctrica y el ruido se eliminó por completo.

- **Cortocircuito al cerrar la caja**

Cuando se cerraba la caja y quedaba todo a presión, el efecto dejaba de funcionar por lo que, para solucionarlo, se le aplica un poco de cinta aislante en partes del circuito que hacían contacto con partes interiores del chasis.

6 RESULTADOS

Una vez ha finalizado el diseño y montaje, se procede a analizar el funcionamiento del dispositivo.

6.1 PRUEBAS EN CASA

Para comenzar, se ha utilizado *Ableton Live* (un programa de edición y producción de audio digital) para introducir en la entrada del dispositivo una señal sinusoidal de 440Hz y grabar su salida.

En la Figura 52 se ve la señal de entrada y salida del dispositivo. Como se puede apreciar, en la salida se han ido moviendo los potenciómetros del dispositivo cambiando sus parámetros.

En la parte A de la señal de salida, el potenciómetro de *Depth* está al mínimo, haciendo que la amplitud de la señal no cambie. En la parte B, se sitúan los potenciómetros de *Depth* y *Rate* en un punto medio, lo que hace que se aprecie una variación en la amplitud de la señal de salida a una frecuencia moderada. Finalmente, en la parte C, se ponen ambos potenciómetros al máximo lo que produce una modulación de amplitud a una frecuencia alta. En la Figura 53 se puede ver la señal de salida ampliada.

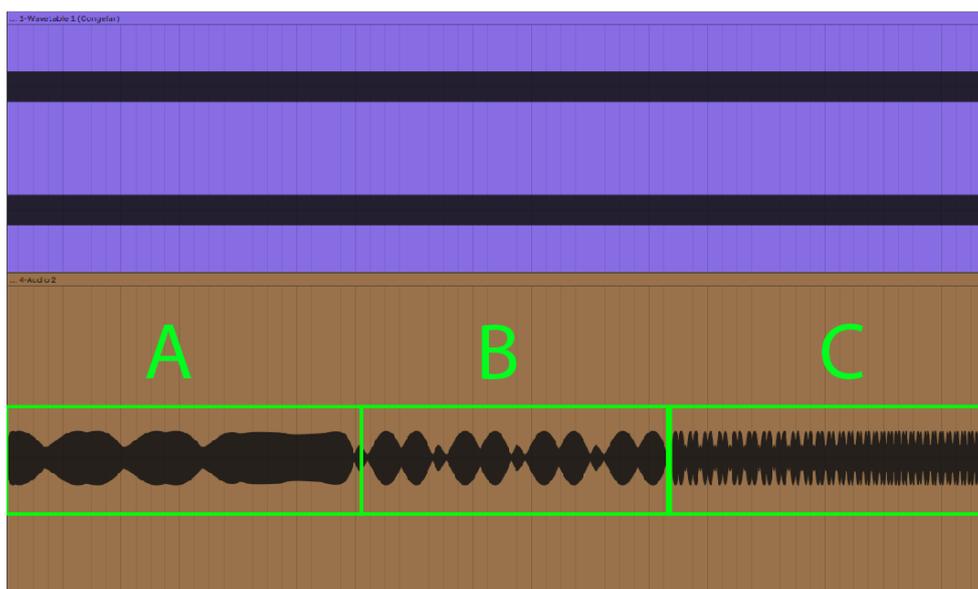


Figura 52: Señal de entrada (morado) y señal de salida (marron) del dispositivo

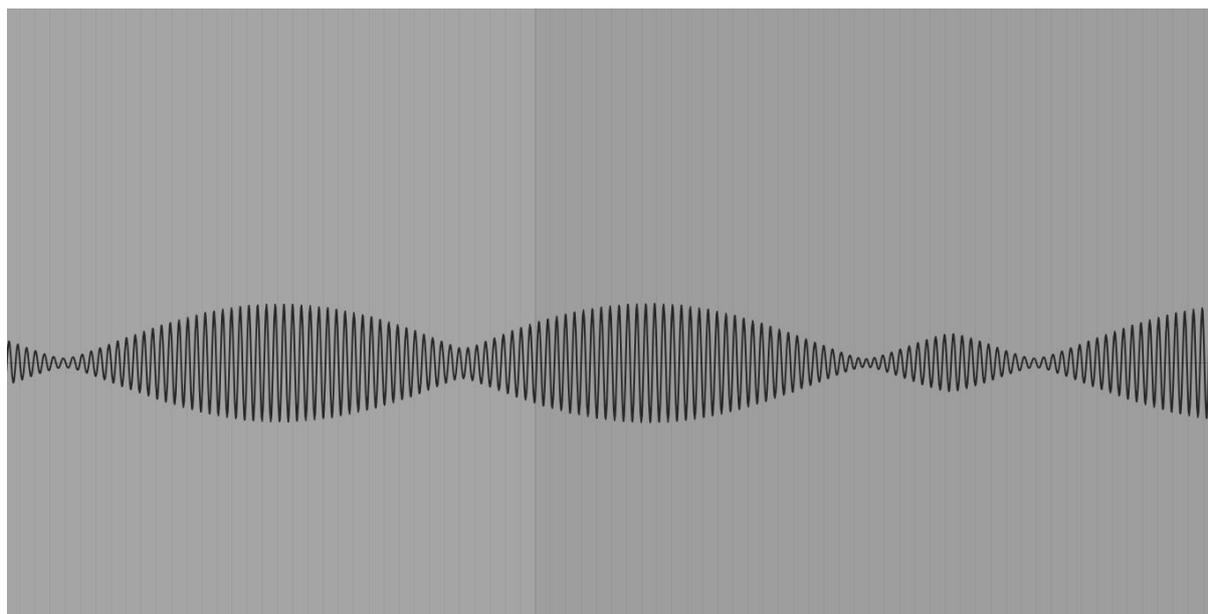


Figura 53: Señal de salida ampliada

6.2 PRUEBAS EN EL LABORATORIO

Una vez se tiene disponibilidad para acceder al laboratorio, se procede a hacer pruebas que no eran posibles realizar sin un osciloscopio.

Para empezar, se procede a verificar el funcionamiento del *LFO* responsable del funcionamiento del circuito. Para ello, se ha utilizado un osciloscopio digital y se ha conectado a las salidas del circuito de *LFO* del apartado 0. En la Figura 54 se puede ver el dispositivo conectado al osciloscopio.



Figura 54: Dispositivo conectado al osciloscopio

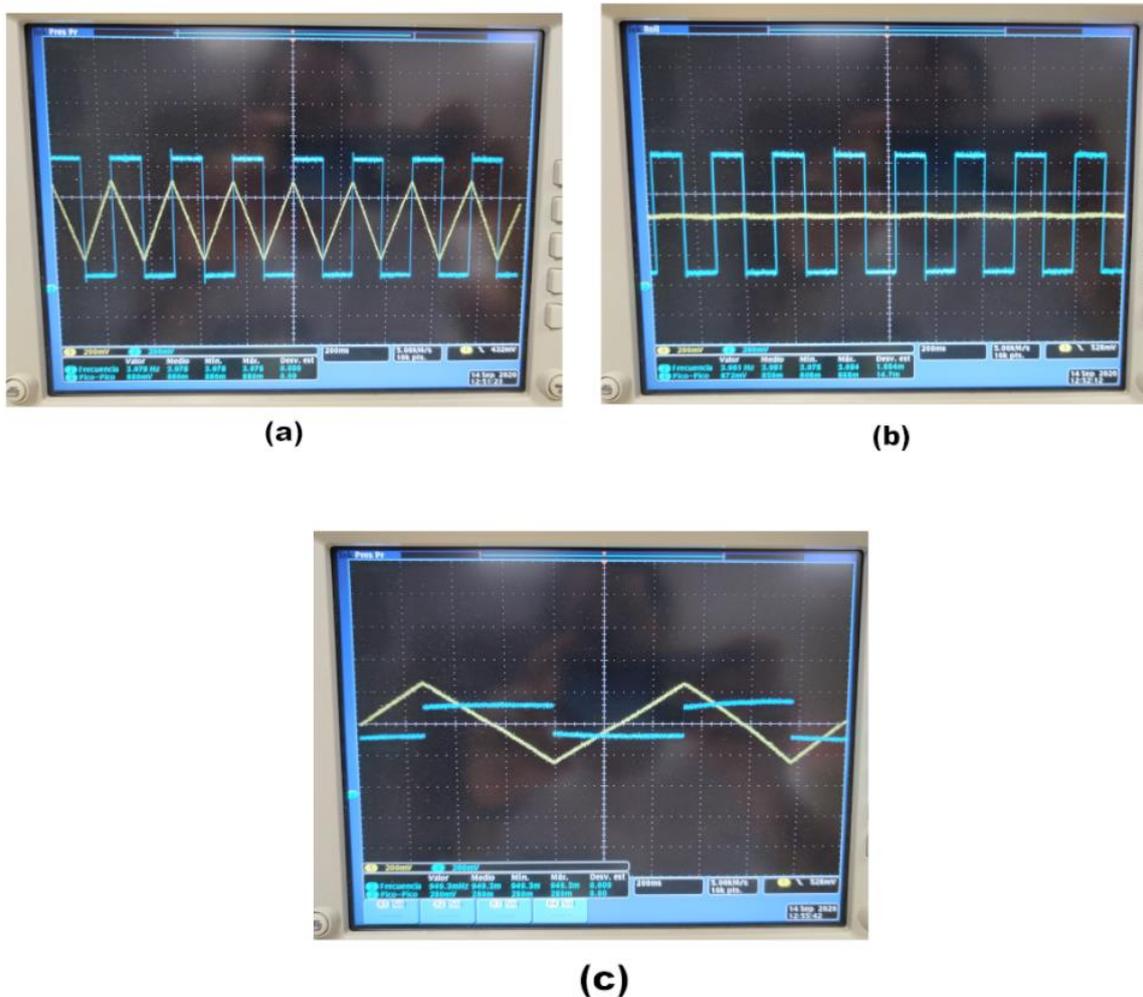


Figura 55: Datos obtenidos con el osciloscopio

En la Figura 55 se ven tres imágenes con distintas configuraciones de los potenciómetros *Depth* y *Rate*:

- En (a), los dos potenciómetros están al máximo y se obtiene la máxima modulación.
- En (b), el potenciómetro de *Depth* está al mínimo, lo que significa que la amplitud de la señal triangular de salida es nula y se vuelve casi plana plana.
- En (c), los dos potenciómetros están en un punto medio.

Finalmente, se ha introducido una señal de 440Hz y 300mV de amplitud a la entrada del dispositivo y se ha medido la señal de salida para compararla con los resultados del apartado 6.1.

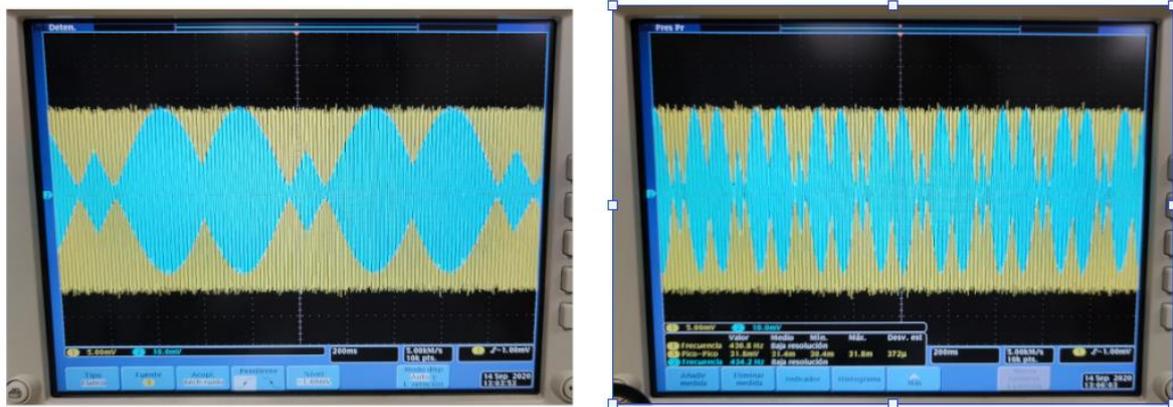


Figura 56: Señal de salida del dispositivo

Se aprecia que la señal de salida (azul) de la Figura 56 coincide con la forma de onda obtenido en la Figura 52.

7 IMPLEMENTACIÓN DEL *CHORUS* DIGITAL

Para implementar este efecto de forma digital, se va a utilizar el software *Simulink*, de *Matlab*. Esta herramienta va a permitir crear un modelo del circuito con diagramas de bloques para realizar simulaciones.

Dentro de *Simulink*, se va a usar la librería *DSP System Toolbox (Digital Signal Processing)*[23], esta librería proporciona las herramientas necesarias para trabajar con señales de audio necesarias para realizar el *chorus*.

7.1 CONFIGURACIÓN DE SIMULINK

Antes de la creación del modelo, hay que configurar los parámetros de simulación de *Simulink*. Para configurarlos, hay que acceder a la ventana *Model Settings* (ó usar el atajo de teclado Ctrl+E). Una vez abierta la ventana, se puede proceder a la configuración de los parámetros de simulación.

Como se va a trabajar con señales de audio muestreadas a una frecuencia fija, hay que cambiar el tipo de simulación de *Variable-step* a *Fixed-step* y el tipo de *Solver* a *discrete*. En la Figura 57 se puede ver como quedaría la configuración final.

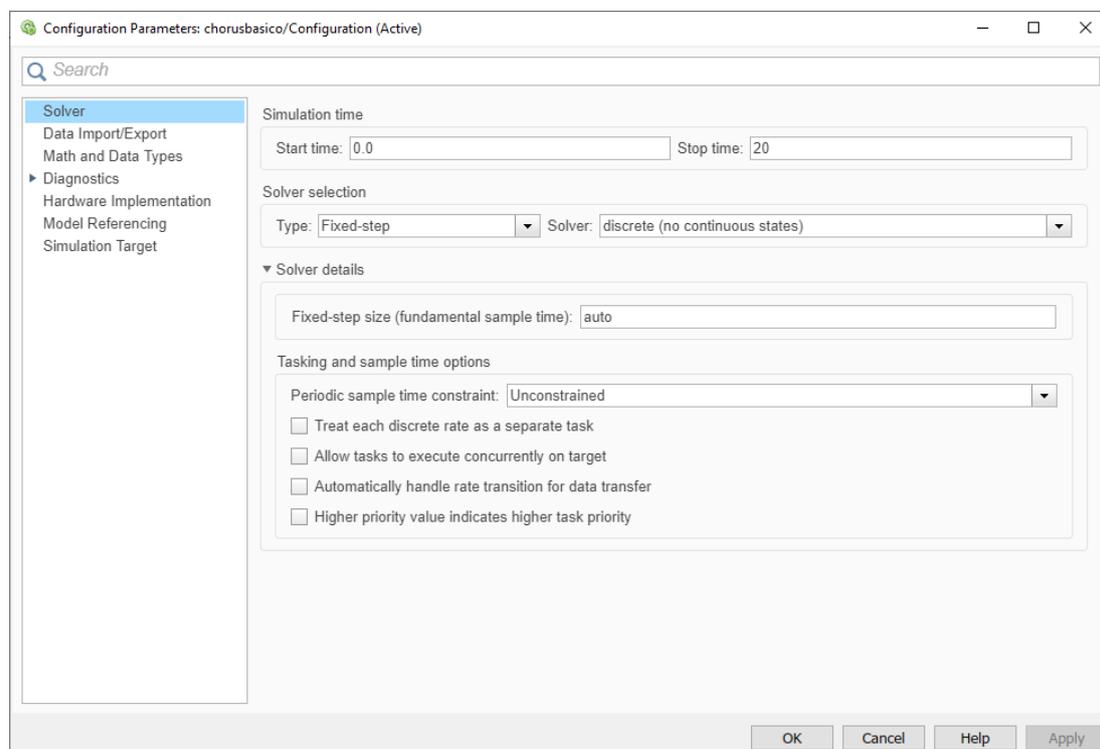


Figura 57: Ventana *Model Settings*

7.2 BLOQUES UTILIZADOS

Simulink dispone de numerosas librerías con bloques de simulación para realizar diversas tareas. Para la entrada de audio del sistema, se utiliza el bloque *From Multimedia File* [24] (Figura 58) que se encuentra en la librería *DSP System Toolbox > Sources*. Este bloque permite usar un archivo de audio en formato *.wav* como entrada del sistema. Como muestra de audio se a usado un fragmento de audio grabado con *Ableton Live* y se ha guardado en formato *.wav*.

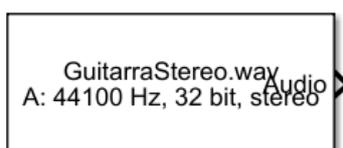


Figura 58: Bloque *From Multimedia File*

Hay que tener en cuenta la frecuencia de muestro de este fragmento de audio (44,1 kHz) ya que va a fijar la frecuencia de muestreo que va a utilizar el resto de los bloques del sistema. También hay que tener en cuenta en la configuración del bloque el número de muestras por canal de audio, que como se ve en la Figura 59, ha sido fijado a 1024 muestras.

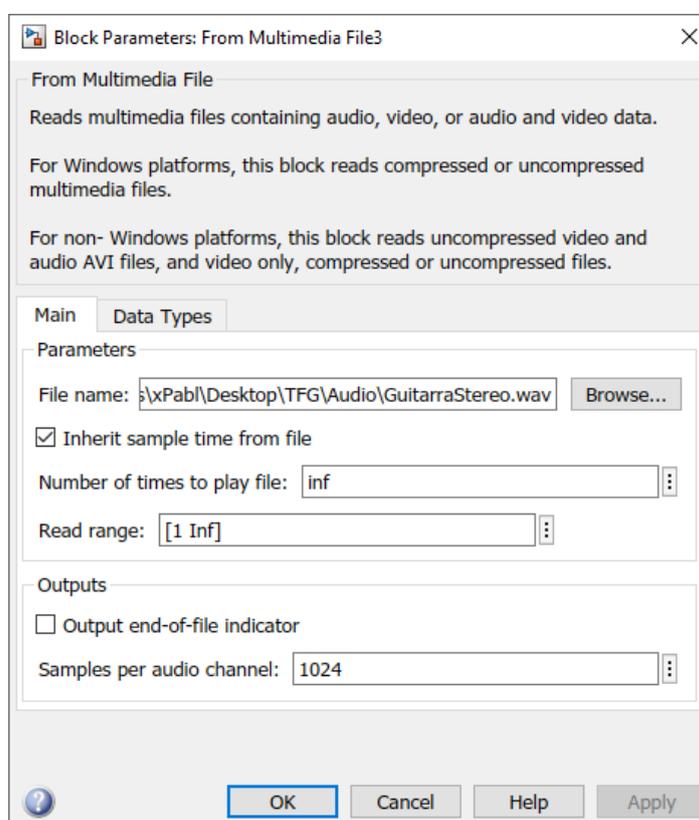


Figura 59: Panel de configuración del bloque *From Multimedia File*

Para la salida del sistema se utiliza el bloque *Audio Device Writer* [25] (Figura 60), que se encuentra en *DSP System Toolbox > Sinks*. Este bloque se encarga de reproducir muestras de audio por un dispositivo de salida. En este proyecto se ha utilizado como dispositivo de salida la tarjeta de sonido *Steinberg UR22 mkII*.



Figura 60: Bloque *Audio Device Writer*

En el panel de configuración de este bloque es necesario modificar la frecuencia de muestro para que coincida con la de la señal de entrada, como se ve en la Figura 61.

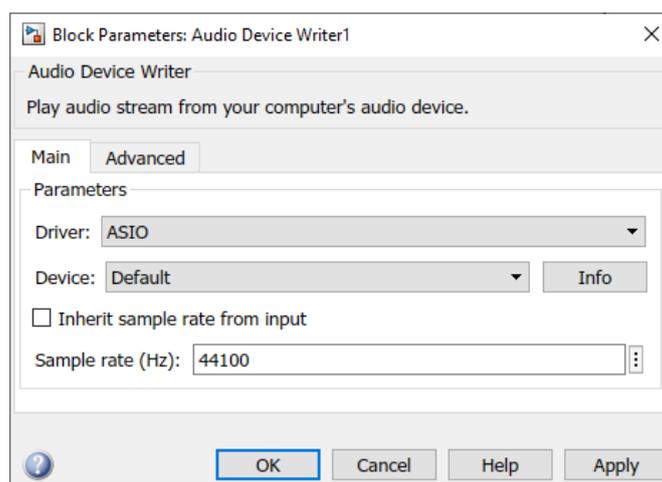


Figura 61: Panel de configuración del bloque *Audio Device Writer*

Como parte fundamental del sistema, se usa el bloque *Variable Fractional Delay* [26] (Figura 62), que se encuentra en *DSP System Toolbox > Signal Operations*. Este bloque es el encargado de generar la señal modulada de audio y hace la función equivalente a los circuitos integrado MN3101 y MN3007 del circuito analógico. Por el puerto *In* entra una señal de audio a la que se le aplica un tiempo de retraso que va variando con el tiempo. Este tiempo de retraso es controlado por el valor que entre por el puerto *Delay*.

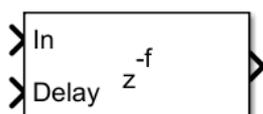


Figura 62: Bloque *Variable Fractional Delay*

En el panel de configuración (Figura 63) es importante marcar la casilla “*Disable direct feedthrough by increasing minimum possible delay by one*” para evitar que la simulación entre en bucle si añadimos lazos de realimentación.

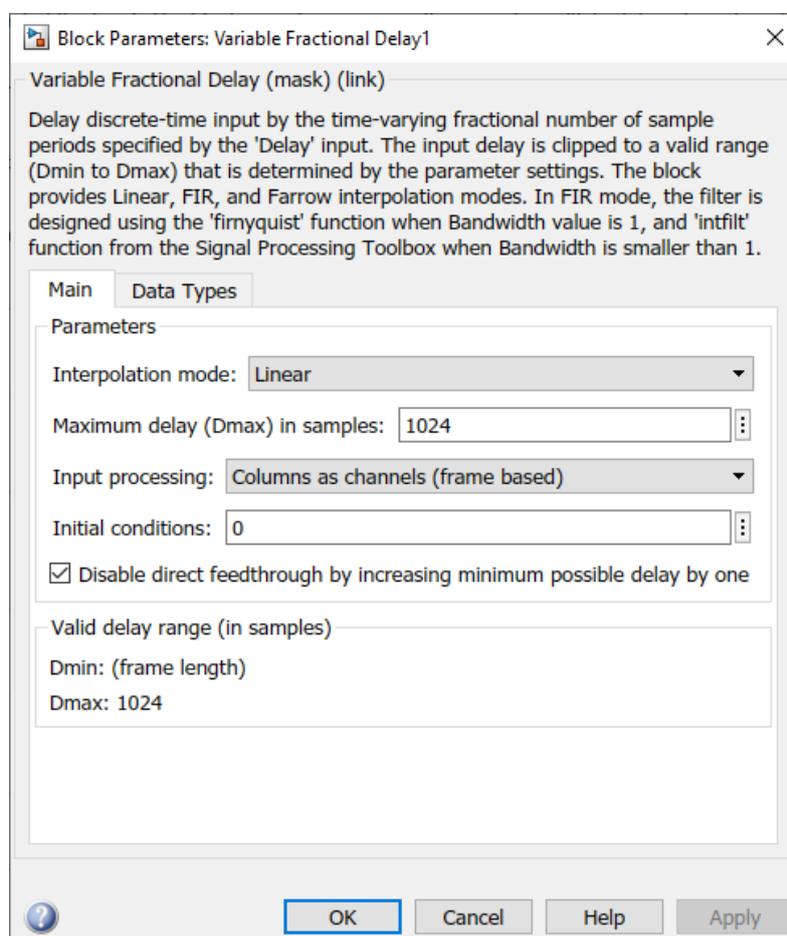


Figura 63: Panel de configuración del bloque *Variable Fractional Delay*

En la Figura 64 se muestran otros de los bloques más comunes de *simulink* que van a ser usados para la simulación.



Figura 64: Switch, generador ondas, ganancia y sumador

7.3 MODELO DE CHORUS EN SIMULINK

Partiendo del diagrama de bloques de la Figura 65 propuesta por Dattorro en [27] se procede a realizar un sistema que simule el efecto chorus en *simulink*.

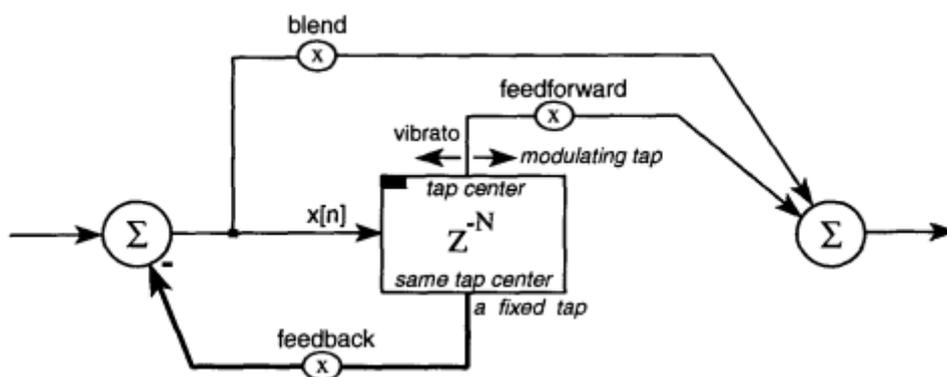


Figura 65: Diagrama de bloques chorus [24]

Ajustando los valores de retardo y ganancias de la Figura 65, se puede obtener varios efectos, como el *vibrato*, *flange*, *chorus* y *echo*. En la Figura 66 aparecen los valores del tiempo de *delay* propuestos por Dattorro.

Effect	Onset	Nominal	Range End
Vibrato ⁸³	0	Minimal	5
Flange	0	1	10
Chorus	1	5	30
Doubling	10	20	100
Echo	50	80	∞

Figura 66: Tabla de valores de *delay* propuesta por Dattorro en milisegundos [24]

Para elegir el tiempo de *delay* que hay que introducirle al bloque *Variable Fractional Delay*, se parte de la ecuación (25):

$$\text{Tiempo delay}(\tau) = \text{Periodo de muestro}(T) \cdot \text{Numero de muestras}(M) \tag{25}$$

El parámetro que hay que introducir en el bloque *Variable Fractional Delay* es el número de muestras de la ecuación (26)

$$M = \tau \cdot f_m \tag{26}$$

Por lo que se va a hacer uso de un bloque *Constant* para introducir el tiempo de *delay* requerido y un bloque de ganancia para introducir la frecuencia de muestreo como se ve en la Figura 67

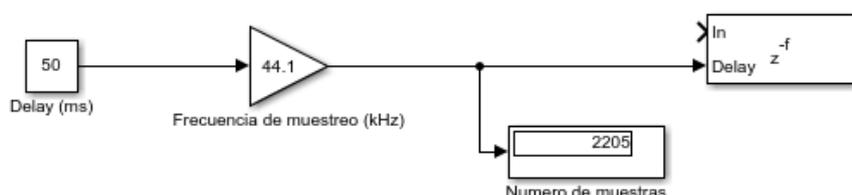


Figura 67: Configuración *Variable Fractional Delay*

Para generar un tiempo de *delay* variable se ha usado el bloque *Sine Wave* que se encuentra en *DSP System Toolbox > Sources*. Este bloque permite crear una señal variable en el tiempo que uniéndola con el tiempo de *delay* elegido previamente, permite generar un *delay* variable en el tiempo poniendo estas señales de entrada al bloque *Variable Fractional Delay*. En la Figura 68 se pueden ver que ha elegido una señal de 15Hz para simular el efecto de un *LFO*.

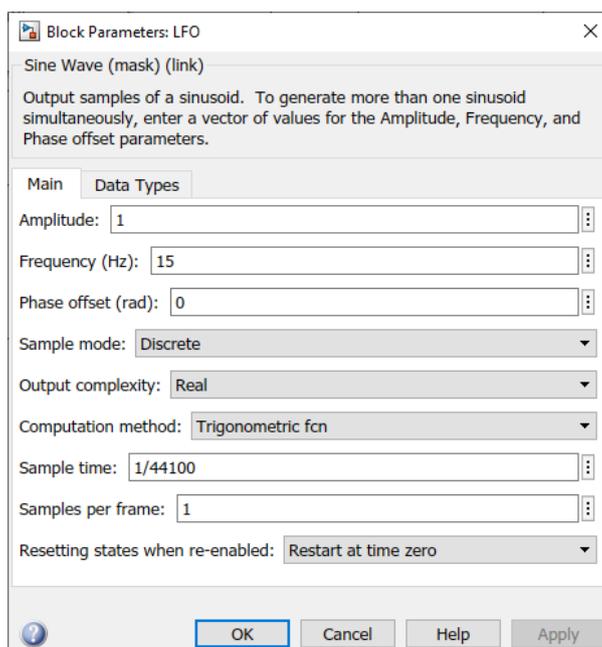


Figura 68: Configuración *Sine Wave*

Finalmente, se ha añadido un lazo de realimentación para mezclar la señal modulada con la señal limpia a la salida. También se ha añadido un *switch* al final para poder escuchar la diferencia entre la señal limpia y la modulada durante la simulación. En la Figura 69 aparece el diagrama de bloques final y en la Figura 70 se ven los resultados de la simulación utilizando un *scope* de *simulink*.

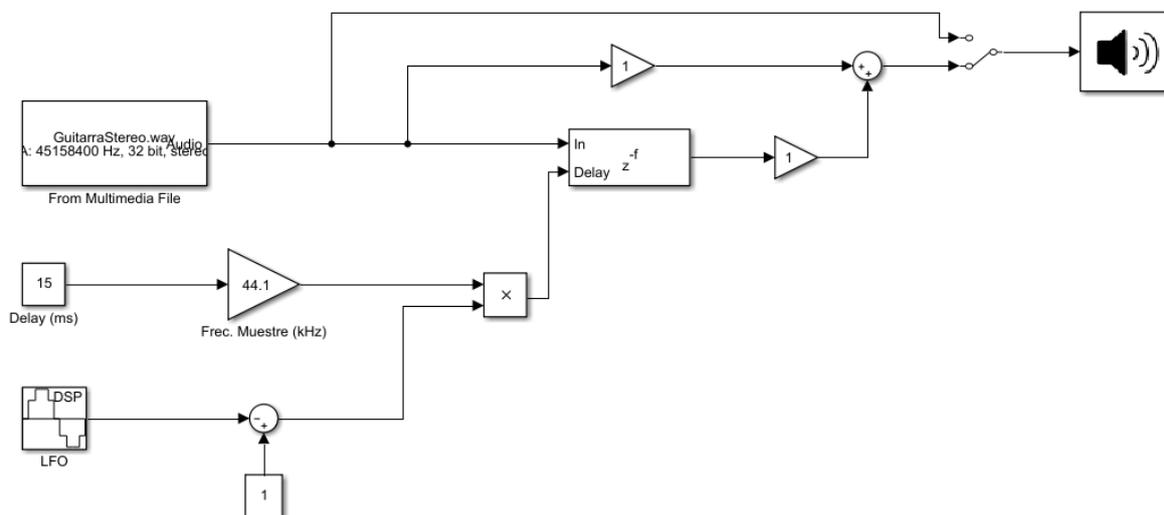


Figura 69: Modelo *chorus* en *simulink*

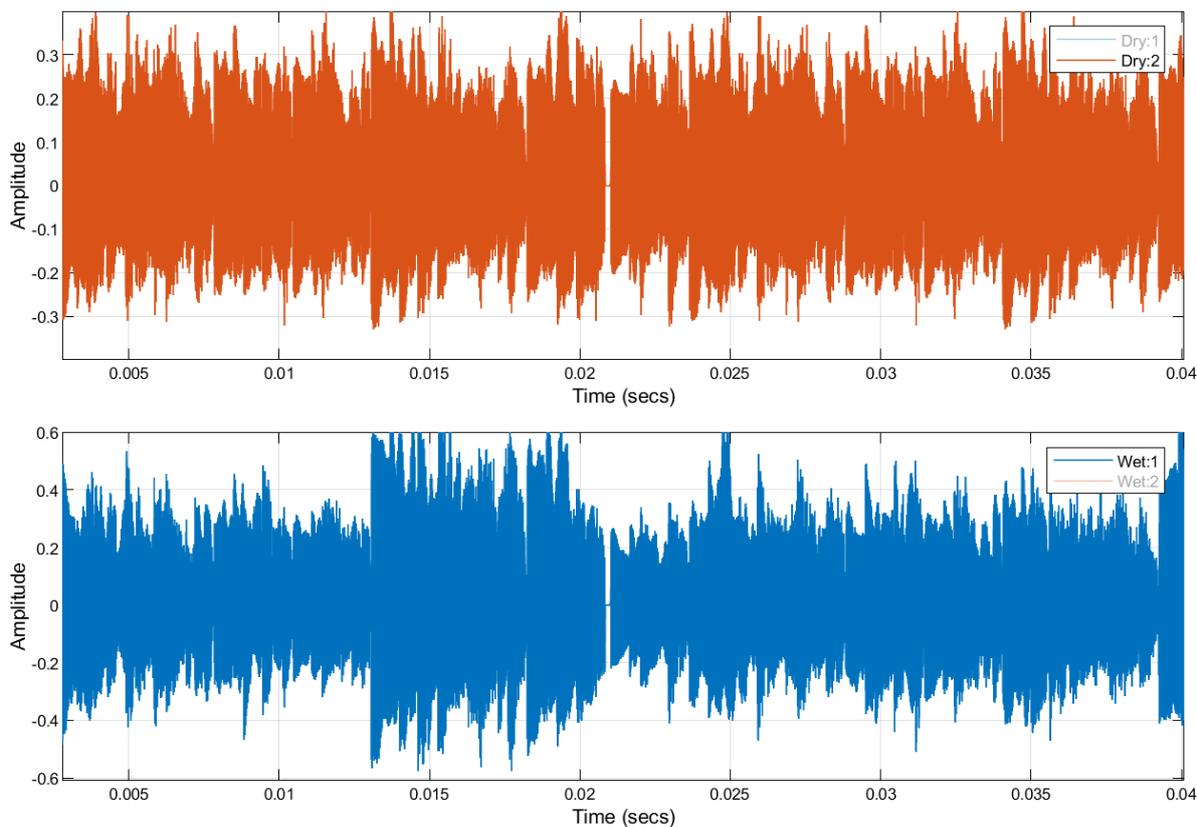


Figura 70: Señal limpia (naranja) y modulada (azul) del modelo *simulink*.

BIBLIOGRAFIA

- [1] «Historical Overview of Guitar Pickups», *Sound Matters*, feb. 17, 2011. <https://www.yoursoundmatters.com/history-development-magnetic-pickups/> (accedido may 25, 2020).
- [2] A. S. Sedra y K. C. Smith, *Microelectronic circuits*, Seventh edition. New York ; Oxford: Oxford University Press, 2015.
- [3] «CRYBABY® Q MINI 535Q AUTO-RETURN WAH», *Dunlop*. <https://www.jimdunlop.com/crybaby-q-mini-535q-auto-return-wah/> (accedido sep. 07, 2020).
- [4] Florence, «Boss CE-1 Chorus Ensemble | Boss Area». <https://bossarea.com/boss-ce-1-chorus-ensemble/> (accedido sep. 16, 2020).
- [5] B. Corporation, «BOSS - CE-2W | Chorus», *BOSS*. <https://www.boss.info/es-es/products/ce-2w/> (accedido sep. 16, 2020).
- [6] «Chorus guitar effects». https://www.hobby-hour.com/guitar/chorus_effects.php (accedido may 26, 2020).
- [7] «Boss CE-2 chorus pedal schematic diagram». <https://www.hobby-hour.com/electronics/s/boss-ce2-chorus-schematic.php> (accedido sep. 16, 2020).
- [8] «bosstech.pdf». Accedido: ago. 06, 2020. [En línea]. Disponible en: http://www.geofex.com/Article_Folders/bosstech.pdf.
- [9] «2SC732TM pdf, 2SC732TM Descripción, 2SC732TM datasheets, 2SC732TM Vista :: ALLDATASHEET »: <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/30433/TOSHIBA/2SC732TM.html> (accedido jun. 10, 2020).
- [10] «A theory/calculation question about emphasis circuits». <https://www.diystompboxes.com/smfforum/index.php?topic=64805.0;wap2> (accedido jun. 10, 2020).
- [11] «Active Filters». <http://www.linkwitzlab.com/filters.htm#5> (accedido jun. 10, 2020).
- [12] «Active Filters». <http://www.linkwitzlab.com/filters.htm#5> (accedido sep. 09, 2020).
- [13] C. Paul, «EDN - Design second- and third-order Sallen-Key filters with one op amp», *EDN*, ene. 31, 2011. <https://www.edn.com/design-second-and-third-order-sallen-key-filters-with-one-op-amp/> (accedido sep. 09, 2020).
- [14] Texas Instruments, «Analysis of the Sallen-Key Architecture». [En línea]. Disponible en: <https://www.ti.com/lit/an/sloa024b/sloa024b.pdf>.
- [15] «datasheet MN3007». <https://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/353/MN3007-pdf.php> (accedido jul. 15, 2020).

- [16] «datasheet MN3101».
<https://www.experimentalistsanonymous.com/diy/Datasheets/MN3101.pdf> (accedido jul. 16, 2020).
- [17] Ron Mancini, «Op Amps For Everyone».
https://web.mit.edu/6.101/www/reference/op_amps_everyone.pdf (accedido jul. 20, 2020).
- [18] «DesignSpark PCB Software». <https://www.rs-online.com/designspark/pcb-software> (accedido sep. 07, 2020).
- [19] «Library Loader», SamacSys. <https://www.samacsys.com/library-loader/> (accedido sep. 07, 2020).
- [20] «Retroamplis - Bienvenidos». <http://www.retroamplis.com/> (accedido sep. 07, 2020).
- [21] «e-fg.pdf». Accedido: sep. 07, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.nichicon.co.jp/english/products/pdfs/e-fg.pdf>.
- [22] «Coda Effects: 3PDT and true bypass wiring», Coda Effects. <https://www.coda-effects.com/2015/03/3pdt-and-true-bypass-wiring.html> (accedido ago. 03, 2020).
- [23] «DSP System Toolbox». <https://www.mathworks.com/products/dsp-system.html> (accedido sep. 12, 2020).
- [24] «Read video frames and audio samples from compressed multimedia file - Simulink - MathWorks España». <https://es.mathworks.com/help/vision/ref/frommultimediafile.html> (accedido sep. 14, 2020).
- [25] «Play to sound card - Simulink - MathWorks España».
<https://es.mathworks.com/help/dsp/ref/audiodevicewriter.html> (accedido sep. 14, 2020).
- [26] «Delay input by time-varying fractional number of sample periods - Simulink - MathWorks España». <https://es.mathworks.com/help/dsp/ref/variablefractionaldelay.html> (accedido sep. 14, 2020).
- [27] J. Dattorro, «Part 2: Delay-Line Modulation and Chorus», *J. Audio Eng Soc.*, vol. 45, n.º 10, p. 25, 1997.

DOCUMENTO N° 2: PRESUPUESTO

INDICE DEL PRESUPUESTO

1	PRESUPUESTO.....	67
1.1	Mano de obra directa.....	67
1.2	Materias Primas.....	67
1.3	Puesto de trabajo.....	69
1.4	Coste total	69

1 PRESUPUESTO

1.1 Mano de obra directa

Teniendo en cuenta el salario que ha sido establecido para el proyecto y la cantidad de horas trabajadas en el mismo, se muestra en la Tabla 1 los costes de mano de obra del proyecto:

Tabla 1: Costes de Mano de Obra Directa

Puesto	Salario Bruto (€/h)	Horas trabajadas (h)	Total (€)
Ingeniero	14	255,00	3.570,00 €

El coste total de la Mano de Obra Directa (MOD) del proyecto es de:

$$\text{Coste Total Mano Obra Directa} = 3.570,00\text{€}$$

1.2 Materias Primas

El coste de las materias primas se ha calculado teniendo en cuenta lo que cuesta hacer un dispositivo y lo que cuesta hacer cien, como se ve en la Tabla 2

Tabla 2: Coste materiales

		Uds	1 unidad		100 unidades	
			Precio/Ud	Coste por dispositivo	Precio/Ud	Coste por dispositivo
Resistencias	10K	15	€ 0,11	€ 1,65	€ 0,09	€ 132,00
	1K	1	€ 0,11	€ 0,11	€ 0,09	€ 8,80
	470K	1	€ 0,11	€ 0,11	€ 0,09	€ 8,80
	47K	6	€ 0,11	€ 0,66	€ 0,09	€ 52,80
	100K	2	€ 0,11	€ 0,22	€ 0,09	€ 17,60
	4.7K	5	€ 0,11	€ 0,55	€ 0,09	€ 44,00
	56K	1	€ 0,11	€ 0,11	€ 0,09	€ 8,80
	330K	1	€ 0,11	€ 0,11	€ 0,09	€ 8,80
	1M	2	€ 0,11	€ 0,22	€ 0,09	€ 17,60
	470R	1	€ 0,11	€ 0,11	€ 0,09	€ 8,80
	33K	2	€ 0,11	€ 0,22	€ 0,09	€ 17,60
	150K	1	€ 0,11	€ 0,11	€ 0,09	€ 8,80
	2.7K	1	€ 0,11	€ 0,11	€ 0,09	€ 8,80
	33R	1	€ 0,11	€ 0,11	€ 0,09	€ 8,80

Condensadores	0,47u	1	€ 0,25	€ 0,25	€ 0,20	€ 20,00
	1u	2	€ 0,26	€ 0,52	€ 0,21	€ 41,60
	47u	2	€ 0,53	€ 1,06	€ 0,42	€ 84,80
	100u	1	€ 0,85	€ 0,85	€ 0,68	€ 68,00
	220u	1	€ 1,25	€ 1,25	€ 1,00	€ 100,00
	47p	1	€ 1,24	€ 1,24	€ 0,99	€ 99,20
	470p	2	€ 0,12	€ 0,24	€ 0,10	€ 19,20
	100p	2	€ 0,12	€ 0,24	€ 0,10	€ 19,20
	0,047u	1	€ 0,15	€ 0,15	€ 0,12	€ 12,00
	0,0068u	2	€ 0,15	€ 0,30	€ 0,12	€ 24,00
	0,033u	3	€ 0,15	€ 0,45	€ 0,12	€ 36,00
	0,0033u	2	€ 0,15	€ 0,30	€ 0,12	€ 24,00
	0,0082u	2	€ 0,15	€ 0,30	€ 0,12	€ 24,00
	0,1u	1	€ 0,15	€ 0,15	€ 0,12	€ 12,00
	0,01u	1	€ 0,15	€ 0,15	€ 0,12	€ 12,00
	Transistores	2N5088	5	€ 0,25	€ 1,25	€ 0,20
Potenciómetros	100K LIN	2	€ 1,10	€ 2,20	€ 0,88	€ 176,00
	TRIM 10K	1	€ 0,28	€ 0,28	€ 0,22	€ 22,40
ICs	4558	1	€ 0,67	€ 0,67	€ 0,54	€ 53,60
	TL022	1	€ 1,75	€ 1,75	€ 1,40	€ 140,00
	MN3007	1	€ 7,95	€ 7,95	€ 6,36	€ 636,00
	MN3101	1	€ 4,50	€ 4,50	€ 3,60	€ 360,00
Diodos	1N914	2	€ 0,08	€ 0,16	€ 0,06	€ 12,80
	1N4001	1	€ 0,12	€ 0,12	€ 0,10	€ 9,60
Jack	Stereo	1	€ 2,50	€ 2,50	€ 2,00	€ 200,00
	Mono	1	€ 2,48	€ 2,48	€ 1,98	€ 198,40
	DC	1	€ 0,65	€ 0,65	€ 0,52	€ 52,00
Interruptor	3PDT	1	€ 3,95	€ 3,95	€ 3,16	€ 316,00
Chasis	1590bb	1	€ 6,95	€ 6,95	€ 5,56	€ 556,00

	1 unidad	100 unidades
Total	€ 47,26	€ 3.780,80
Total por unidad	€ 47,26	€ 36,49

Según las unidades a producir, el coste total de materias primas es:

$$\text{Coste Total Materias Primas (1 unidad)} = 47,26 \text{ €}$$

$$\text{Coste Total Materias Primas (100 unidad)} = 3.780,80 \text{ €}$$

1.3 Puesto de trabajo

Para la realización del proyecto se requiere instrumental de laboratorio con el propósito de soldar todos los componentes a la PCB, montar el chasis del dispositivo y realizar los testeos y pruebas necesarias para asegurar su funcionamiento. Todas estas herramientas hacen uso de energía eléctrica y conllevan un coste energético. Este coste es calculado en la ecuación (24):

$$Coste\ energético = 0,40 \frac{\text{€}}{h} \cdot 255\ h = 102\ \text{€}$$

Por otro lado, hay que tener en cuenta las licencias de todo el software usado en el proyecto entre los que se encuentran *Matlab*, *Office*, *Orcad Capture*, *DesignSpark PCB* o *Ableton Live*.

$$Coste\ Licencias = 2979\ \text{€}$$

Así que, sumando todos estos costes, obtenemos el coste total del puesto de trabajo:

$$Coste\ Puesto\ Trabajo = 102\text{€} + 2979\text{€} = 3081\ \text{€}$$

1.4 Coste total

Realizando la suma de los costes calculados anteriormente y presentes en la Tabla 3

Tabla 3: Costes totales

PRESUPUESTO FINAL DEL PROYECTO	
Mano de obra	3.570,00 €
Materias primas	47,26 €
Puesto de trabajo	3.081,00 €
TOTAL	6.698,26 €

Se termina con un coste total de

$$Coste\ total = 6.698,26\ \text{€}$$

DOCUMENTO N° 3: PLANOS

INDICE DE PLANOS

1	PLANOS	72
1.1	Circuito BBD y LFO ampliado	72
1.2	Esquemático Boss CE-2 con partes.....	72
1.3	Esquemático para la creación de la PCB.....	72
1.4	Cara inferior PCB.....	72

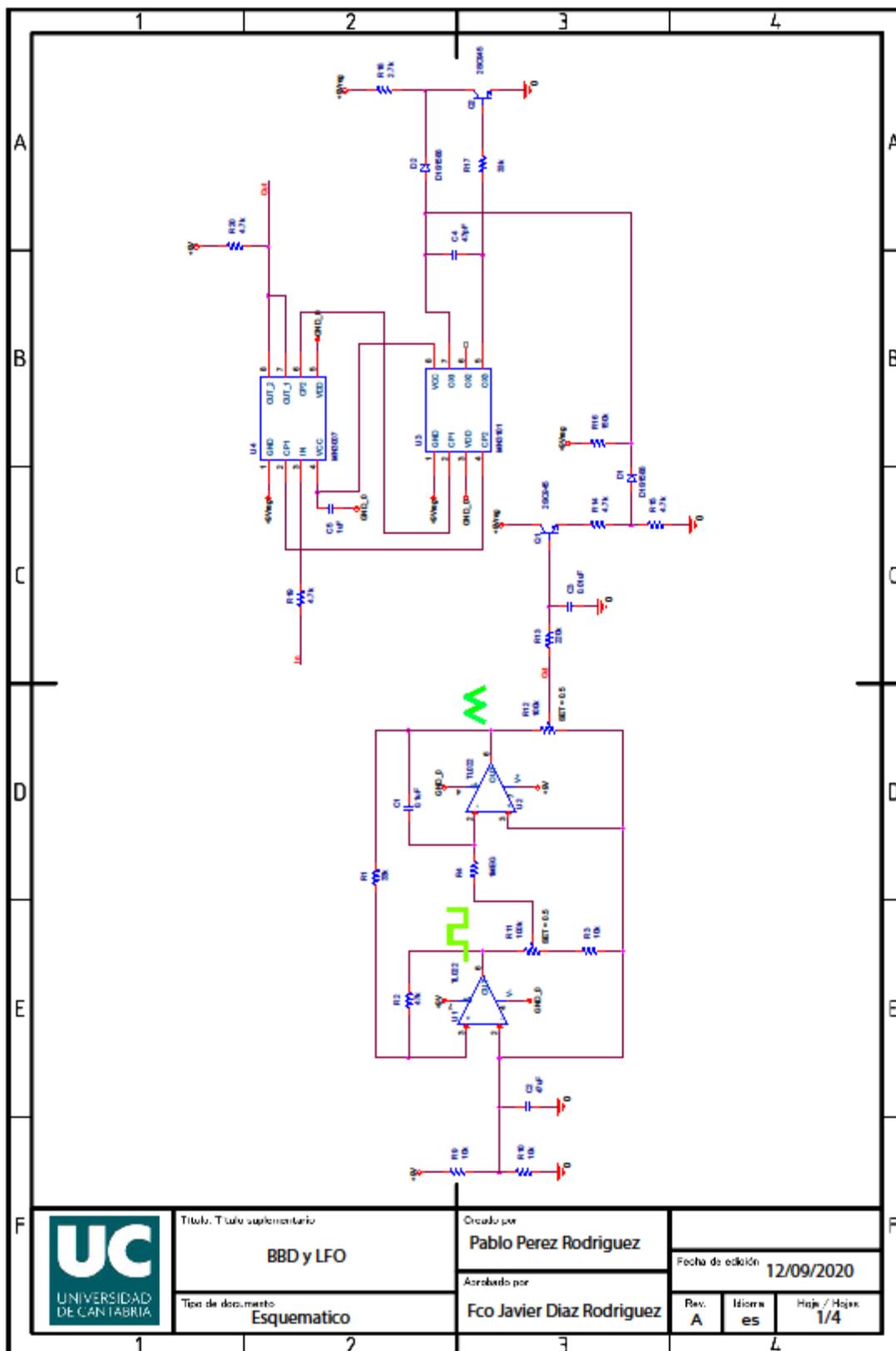
1 PLANOS

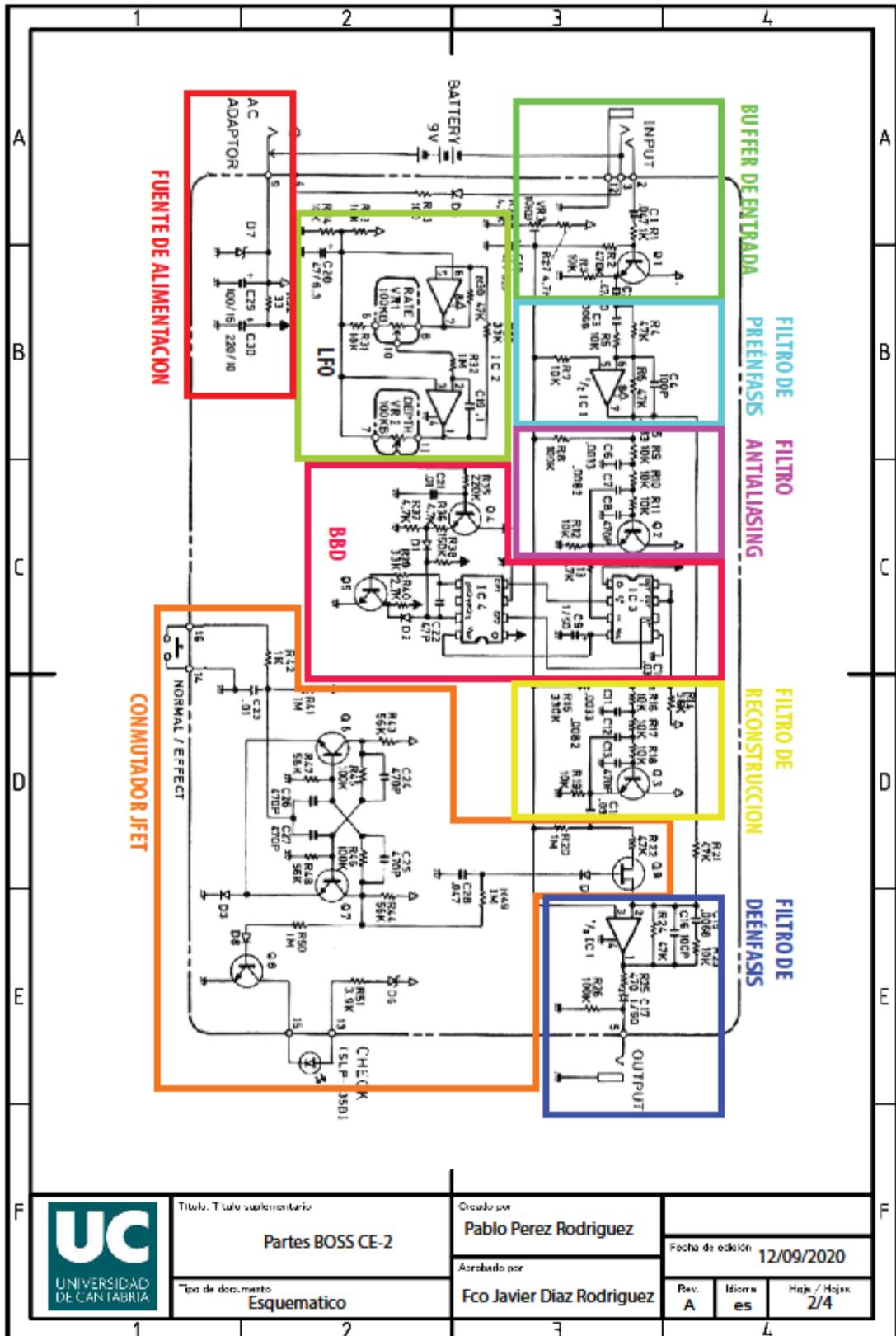
1.1 Circuito BBD y LFO ampliado

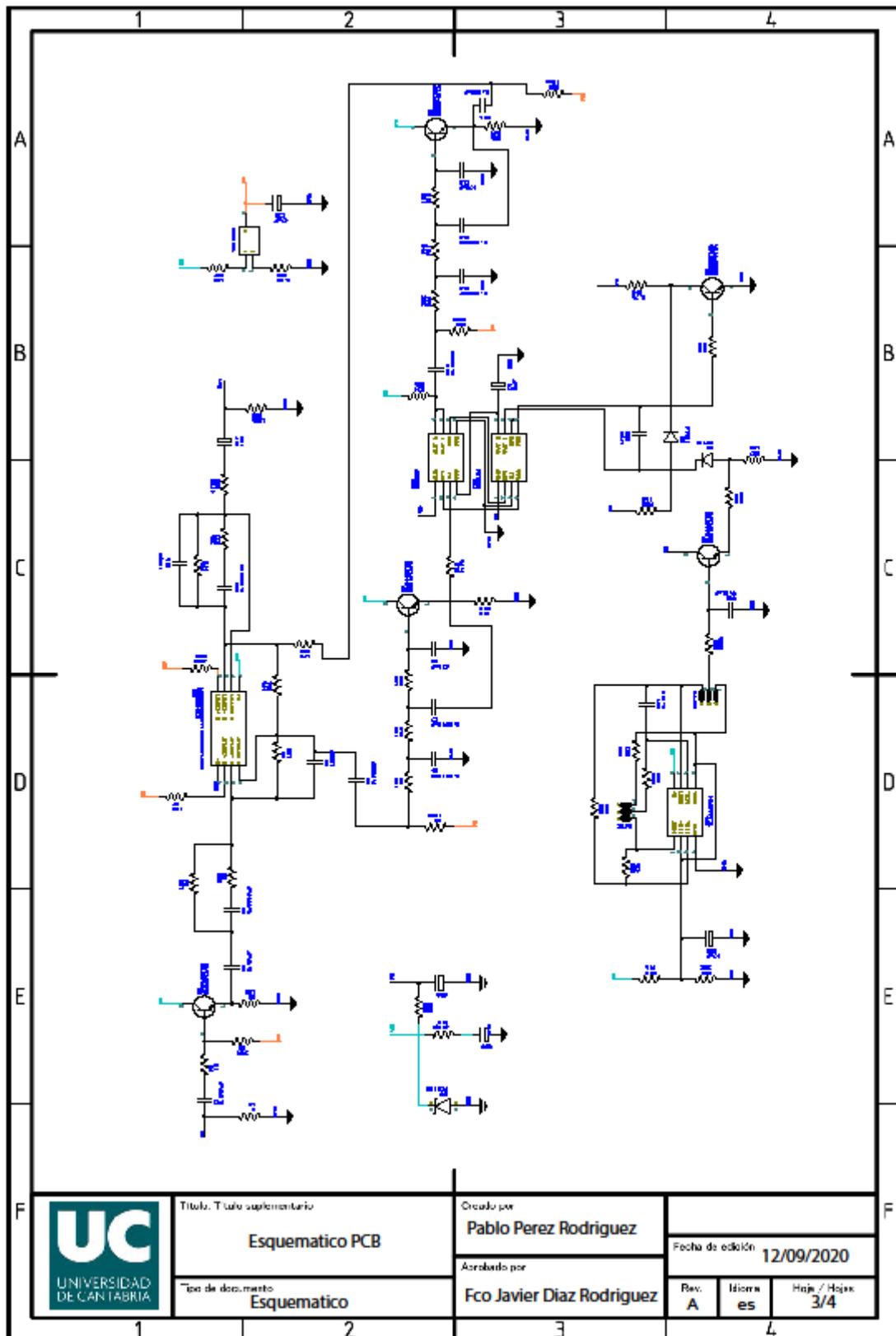
1.2 Esquemático Boss CE-2 con partes

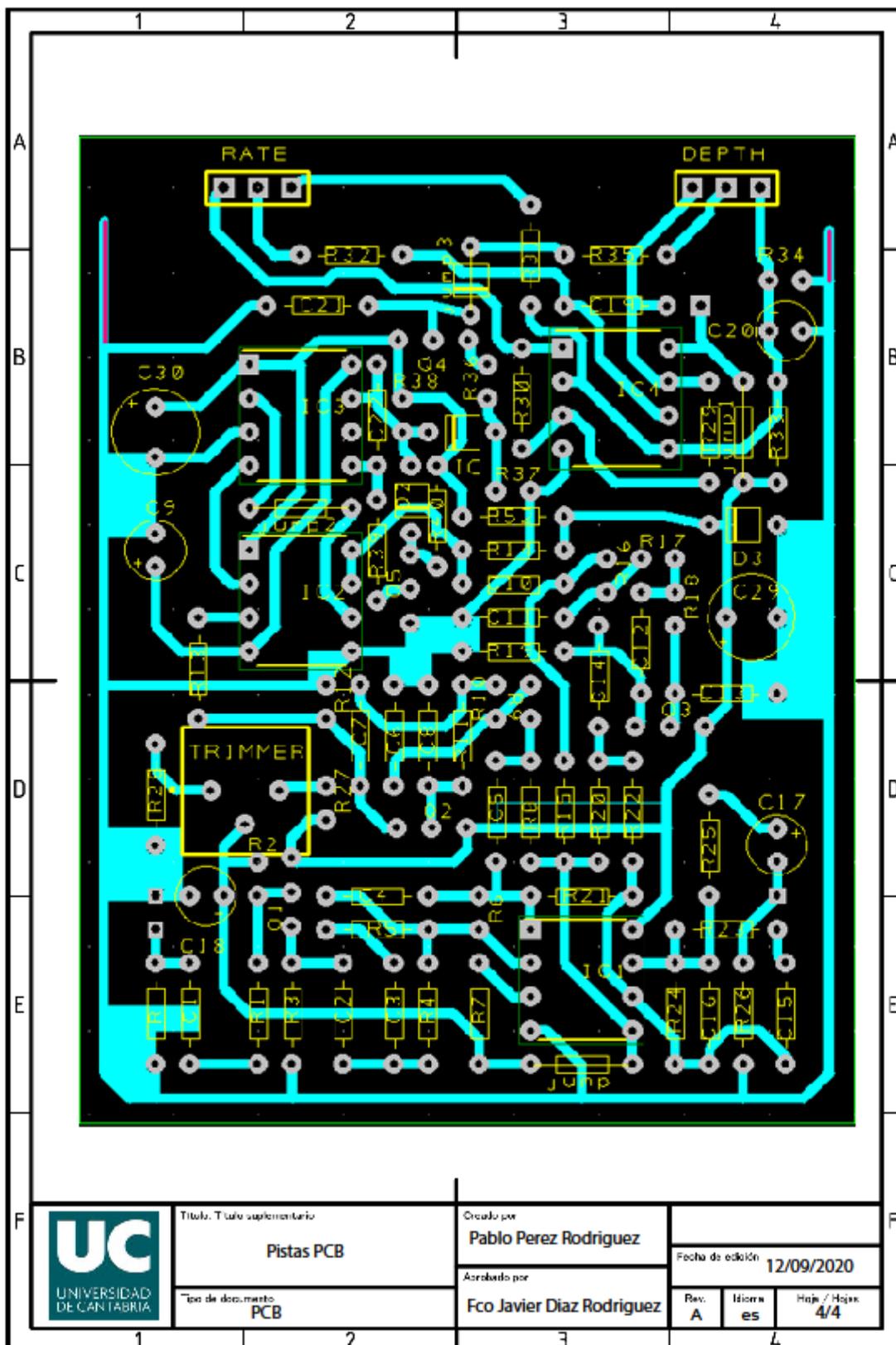
1.3 Esquemático para la creación de la PCB

1.4 Cara inferior PCB









***DOCUMENTO N° 4:
PLIEGO DE
CONDICIONES***

INDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

1	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.....	79
2	PLIEGO DE CONDICIONES ADMINISTRATIVAS.....	80
2.1	CONDICIONES GENERALES.....	80
2.2	OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES.....	80
2.3	INTERPRETACIÓN DEL PROYECTO.....	80
2.4	NORMATIVA VIGENTE.....	81
2.5	CONDICIONES LEGALES.....	83
2.5.1	Comienzo del proceso de fabricación.....	83
2.5.2	Uso del dispositivo.....	83
2.6	CONDICIONES DE SEGURIDAD Y COMPROMISOS CONTRACTUALES.....	83
2.6.1	Del personal de fabricación.....	83
2.6.2	De las empresas fabricantes de los componentes.....	83
2.6.3	Del contrato.....	84
2.6.4	Del fabricante.....	84
2.6.5	Del proyecto.....	84
2.6.6	Del presupuesto.....	85
3	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS.....	86
3.1	CONDICIONES TÉCNICAS GENERALES DEL PROYECTO.....	86
3.1.1	Mantenimiento del sistema.....	86
3.1.2	Características de la placa.....	86
3.1.3	Características de los componentes electrónicos.....	86
3.2	PRECAUCIONES DE USO.....	87
3.3	GARANTIA Y SERVICIO POST-VENTA.....	87
4	PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS.....	88
4.1	ABONO DE OBRA.....	88
4.2	PRECIOS.....	88
4.3	REVISIÓN DE PRECIOS.....	88
4.4	PENALIZACIONES.....	88

1 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

Las especificaciones de diseño que debemos de cumplir son las siguientes:

- Tensión continua de alimentación: 9 V
- Temperatura admisible en el circuito: $-10^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}\text{C}$

Principales características del dispositivo:

- Pedal de *chorus*
- Impedancia de entrada: 407 k Ω
- Intensidad nominal: 25 mA
- Fuentes de alimentación: Batería de 9V (6LR61 ó 6F55) / Adaptador AC de 9V y 1A.

2 PLIEGO DE CONDICIONES ADMINISTRATIVAS

2.1 CONDICIONES GENERALES

Este pliego tiene por objeto la ordenación con carácter general de las condiciones que han de regir en la ejecución y desarrollo del sistema tratado en este proyecto: *Diseño y análisis del efecto de modulación de sonido chorus*.

Los documentos que debe incluir el proyecto son: Portada e Índice general, Memoria, Planos, Presupuesto y Pliego de Condiciones.

De todos los documentos que aparecen en este proyecto, se deberá facilitar una copia al comprador de este con la firma de los autores; si el comprador encontrase errores en alguno de estos documentos, deberá indicarlo a la Dirección Facultativa para que se corrijan antes de dar comienzo al trabajo o proceso correspondiente de fabricación. En caso de incumplir estas prescripciones, no se podrá reclamar contra la orden de sustitución de la obra debidamente ejecutada.

2.2 OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES

Los procesos a los que se refiere el presente pliego son todos aquellos especificados en la totalidad de los documentos que contiene el presente proyecto y, con carácter excepcional, todos aquellos que la empresa realizadora tenga que llevar a cabo para conseguir terminar las actuaciones proyectadas y que se detallan en la memoria.

También serán incluidas todas aquellas acciones que, por reforma, cambios de diseño u obra, surjan durante el transcurso de las mismas y aquellas que en el momento de la redacción del proyecto se omitieron y fuesen necesarias para la correcta terminación de los sistemas detallados en los documentos de los que está compuesto este proyecto.

2.3 INTERPRETACIÓN DEL PROYECTO

Se entiende en el presente pliego, que la empresa realizadora está capacitada para la interpretación del proyecto con carácter global, o en su defecto, tiene personal a su servicio para interpretar todos los documentos de este. Todos los procesos se ejecutarán con estricta sujeción al pliego de condiciones y conforme a las directrices dadas en el proyecto.

2.4 **NORMATIVA VIGENTE**

El presente proyecto se ha realizado teniendo en cuenta con carácter global las siguientes normas y reglamentos:

- Real Decreto 1495/1986, de 26 de mayo, sobre el reglamento de seguridad en las máquinas.
- Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial, en lo referente a la calidad industrial ISO 9001.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, referente a la prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 2295/1985, de 9 de octubre de 1985, por el que se adiciona un nuevo párrafo al artículo 2 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, aprobado por Decreto 2413/1973, de 20 de septiembre.
- Real Decreto 1338/185, de 4 de julio, sobre medidas de seguridad en entidades y establecimientos públicos y privados.
- Real Decreto 485/1997, de 14 abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. Rango de Tensión continua: 200mV, 2V, 20v, 2kV.
- Real Decreto 444/1994, de 11 marzo, por el que se establece los procedimientos de evaluación de la conformidad y los requisitos de protección relativos a compatibilidad electromagnética de los equipos, sistemas e instalaciones.
- Real Decreto 1950/1995, de 1 de diciembre, por el que se modifica el Real Decreto 444/1994 , de 11 de marzo, por el que se establecen los procedimientos de evaluación de la conformidad y los requisitos de protección relativos a compatibilidad electromagnética de los equipos, sistemas e instalaciones.
- Orden de 19 de julio de 1999, de desarrollo del Real Decreto 444/1994, de 11 de marzo, por la que se publica la relación de normas españolas que transponen las normas europeas armonizadas, cuyo cumplimiento presume la conformidad con los requisitos de protección electromagnética.
- Directiva 89/336/CEE del Consejo de 3 de mayo de 1989 sobre la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros relativas a la compatibilidad electromagnética.
- Directiva 73/23/CEE del Consejo, de 19 febrero de 1973, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.

- Orden de 30 de septiembre de 1980 por la que se dispone que las normas UNE que se citan sean consideradas como de obligado cumplimiento incluyéndolas en la instrucción MI-BT-044 del Reglamento Electrotécnico de Bata Tensión.
- Orden de 5 de junio de 1982, por la que se dispone la inclusión de las Normas UNE que se relacionan en las Instrucción MIE-BT-044 del Reglamento Electrotécnico de Bata Tensión.
- Orden de 22 de noviembre de 1995, por la que se adapta al progreso técnico la instrucción complementaria MI-BT-044 del Reglamento Electrotécnico de Bata Tensión.
- Reglamento Electrotécnico de Bata Tensión.
- Normas CEPREVEN, Centro Nacional de Prevención de Daños y Pérdidas.
- Directiva RoHS referente a la restricción de sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva WEEE sobre el reciclaje de equipos eléctricos y electrónicos.
- ISO 9001 referente al sistema de gestión medioambiental.
- OHSAS 18001 referente a una serie de especificaciones sobre la salud y seguridad en el trabajo.
- UNE 157001:2001 mediante la cual se definen los criterios generales para la elaboración de proyectos.

También se tendrán en cuenta las órdenes de las Delegaciones Provinciales de Industria, así como las características que sean de obligado cumplimiento con la Legislación Eléctrica Española.

El conexionado del aparato se efectuará según las normativas y prescripciones de la compañía que realiza el contrato, del cual se responsabiliza la misma.

Será de aplicación para la realización del proyecto la última revisión actualizada y aceptada de las normativas arriba descritas. En caso de discrepancia entre las normas indicadas y cualquier parte del pliego de condiciones, se aplicará la norma más rigurosa. Se podrá aceptar cualquier otra norma o recomendación reconocida internacionalmente en el supuesto de que el cliente así lo desee.

2.5 CONDICIONES LEGALES

2.5.1 Comienzo del proceso de fabricación

El ingeniero responsable del proceso de fabricación dará las instrucciones necesarias y suficientes para la buena ejecución de este tantas veces como sea necesario para dejar comprendidas todas las ideas, de acuerdo siempre con los documentos que constituyen el proyecto.

2.5.2 Uso del dispositivo

Todo usuario tiene derecho a consultar a la empresa proyectista sobre el funcionamiento del dispositivo, entendiéndose que el usuario es responsable de los daños que pudieran derivarse por un mal uso de este, y/o por su mala conservación, falta de reparaciones o cuidados necesarios que sean obligatorios o estén reglamentados.

2.6 CONDICIONES DE SEGURIDAD Y COMPROMISOS CONTRACTUALES

2.6.1 Del personal de fabricación

Todo operario que debido a su oficio haya de intervenir en la fabricación tiene derecho a reclamar a la empresa todos aquellos elementos que, de acuerdo con la legislación vigente, garanticen su seguridad personal durante la preparación y ejecución de los trabajos que a él fueren encomendados. Es obligación por parte de la empresa realizadora del proyecto poseer dichos elementos y facilitarlos en condiciones aptas para su uso. La empresa realizadora pondrá estos extremos en conocimiento del personal que haya de intervenir en los procesos de fabricación, exigiendo a los operarios el empleo de los elementos de seguridad.

2.6.2 De las empresas fabricantes de los componentes

Las empresas fabricantes de los componentes del proyecto se comprometerán a ejecutar la fabricación de todos aquellos ajustándose, en todo caso, a las disposiciones laborales hoy vigentes, recayendo sobre ellas la responsabilidad de los daños a objetos, cosas, o personas que pudieran ocurrir si, por negligencia, impericia, o imprudencia dejaran de cumplir las condiciones que en este pliego se especifican, así como también, si evitan tomar cualquier clase de precaución que sea necesaria para la seguridad en el trabajo.

Además, tendrán la obligación de confiar a personas cualificadas todas y cada una de las partes de la fabricación, bajo vigilancia constante del encargado de esta, y el control y supervisión del Ingeniero responsable.

2.6.3 Del contrato

El contrato será firmado por la parte interesada en la fabricación del dispositivo y por la empresa fabricante, suponiendo la firma de este, de mutuo acuerdo con las cláusulas que ente ambas partes queden estipuladas. Se entiende que es nula toda la cláusula que se oponga a lo estipulado en los diversos apartados de este Pliego de Condiciones, así como también, toda cláusula que pueda generar la utilización de materiales de mala calidad o que no fueran vistos favorablemente por la Dirección Técnica.

Aquellas circunstancias no previstas en el proyecto y que supongan la modificación de los costos de fabricación, requerirá aprobación expresa del propietario intelectual del dispositivo. Cualquier modificación de los costos de fabricación deberá ser aprobada por el Director del proyecto.

La forma de pago vendrá reflejada en el contrato establecido. En caso de incumplimiento en cuanto al plazo establecido, se podrán imponen multas que en ningún caso alcanzarán el 20% del presupuesto total del costo del elemento, por lo que una vez alcanzado éste, se procederá a la resolución del contrato.

El contrato puede ser prescindido por cualquiera de las causas reconocidas como válidas en las cláusulas de este o en la legislación vigente.

2.6.4 Del fabricante

El fabricante tiene la obligación de facilitar al comprador un ejemplar completo del presente proyecto a fin de que pueda hacerse cargo de todas y cada una de las obligaciones que se especifican en este pliego.

2.6.5 Del proyecto

Los trabajos a realizar quedan especificados en los planos, anexos y memoria, así como en las condiciones técnicas, legales y contractuales.

Se entiende en este pliego, que la empresa fabricante está capacitada para la interpretación del proyecto en todas sus partes, o en su defecto, tiene personal cualificado para interpretar correctamente todos los documentos de este.

2.6.6 Del presupuesto

Se entiende en este pliego que el presupuesto base de los componentes que componen el dispositivo es el que figura en el presente proyecto debiéndose tener en cuenta la existencia de múltiples unidades de este.

3 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

3.1 CONDICIONES TÉCNICAS GENERALES DEL PROYECTO

En este apartado se especifican los requisitos técnicos mínimos que han de cumplir los elementos y componentes que constituyen el prototipo fabricado para facilitar su mantenimiento y conservación.

3.1.1 Mantenimiento del sistema

El dispositivo deberá de revisarse al menos una vez o dos anualmente mediante una breve inspección visual y testeo de los componentes, tanto internos como externos para comprobar el estado general del mismo. El personal de mantenimiento deberá interesarse por las unidades que den problemas y en caso de avería, deberá de realizar las sustituciones pertinentes.

Por otra parte, las comprobaciones en lo que al funcionamiento de las unidades respecta, las realizará el propio usuario y este deberá ponerse en contacto con el instalador en caso de detectar problemas de funcionamiento.

3.1.2 Características de la placa

Se utilizará una placa de soldadura de puntos independientes, con dos planos uno superior donde irán colocados los componentes y otro inferior dónde se procederá a la soldadura de este. Dichos planos están constituidos de resina epoxi y fibra de vidrio.

3.1.3 Características de los componentes electrónicos

Para asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo se deben respetar las características de los componentes que se especifican en planos y memoria. Estas características son de obligado cumplimiento por parte de la empresa realizadora de la fabricación del dispositivo. Cualquier cambio o sustitución de componentes deberá cumplir las equivalencias de los componentes antiguos. La empresa proyectista no se hace responsable de los cambios de los valores y características que puedan sufrir los componentes sin su previa autorización o notificación por escrito.

Durante la fabricación, se deberá tener en cuenta los posibles ajustes realizados durante el montaje. La empresa encargada de fabricar el prototipo deberá comunicar al fabricante los posibles cambios realizados en el diseño y en las características de los componentes, siempre bajo la autorización de la empresa proyectista.

Todos los componentes electrónicos empleados en la construcción del sistema están reglamentados de acuerdo con las hojas de características del fabricante y deben cumplir los requisitos indicados en lo referente a potencia, tensión y corriente.

3.2 PRECAUCIONES DE USO

Debido al carácter eléctrico y electrónico del dispositivo, deberán tenerse en cuenta las medidas de seguridad descritas a continuación:

- El dispositivo solo se empleará en las condiciones específicas y con fines para los cuales ha sido diseñado.
- El sistema deberá ser alimentado en los rangos indicados, nunca sobrepasar dichos valores.
- El usuario no deberá manipular la caja en la que fuera introducido el dispositivo. En caso de avería recurrirá a los servicios técnicos oficiales de la empresa responsable de la fabricación de este.
- Deberán evitarse golpes y acciones abrasivas que pudieran dañar el dispositivo. La garantía no cubrirá desperfectos ocasionados por choques o deterioros por un uso indebido por parte del usuario.
- Durante la manipulación del aparato resultara de vital importancia seguir las precauciones de seguridad normalmente empleadas en laboratorios de electricidad y potencia, teniendo en cuenta en todo momento la normativa vigente sobre prevención de riesgos laborales.

3.3 GARANTIA Y SERVICIO POST-VENTA

La garantía será de dos o tres años, como mínimo, a partir de la recepción del dispositivo. La garantía incluirá durante todo el periodo, la reparación y sustitución de componentes, con intervención del personal técnico.

La garantía no se aplicará en ninguno de los siguientes casos:

- Averías producidas por el mal uso del dispositivo.
- Alimentación del sistema con una tensión incorrecta a la especificada.
- Manipulación o reparación del dispositivo realizada por terceros.

No existe ninguna otra garantía o seguro diferente de lo estipulado en este documento y todas las restantes garantías, con inclusión de las garantías de comerciabilidad y aptitud para un propósito determinado, ya sean expresas o implícitas, quedan excluidas y exentas de la responsabilidad por medio del presente documento.

4 PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

4.1 ABONO DE OBRA

Deberán incluirse en el contrato las formas y plazos de pago, de manera detallada. Los pagos parciales que puedan establecerse tendrán carácter de documentos provisionales, sujetos a las certificaciones que resulten de la liquidación final, no suponiendo, dichas liquidaciones, aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Acabada la obra, se procederá a la liquidación final que se efectuará de acuerdo con los criterios establecidos en el contrato.

4.2 PRECIOS

La relación de precios de las unidades de obra el proyecto será presentada con el Contratista al formalizarse el contrato. Tras ser aceptados tendrán carácter contractual.

Además, estos precios unitarios comprenderán la ejecución total de la obra incluyendo todos los trabajos, incluidos los complementarios y los materiales, así como la parte proporcional de imposición fiscal, las cargas laborales y otros gastos repercutibles. Si se tuvieran que realizar unidades de obra no previstas en el proyecto, se fijará su precio entre el Técnico Director y el Contratista antes de iniciar la obra y se presentará al interesado para obtener su conformidad.

4.3 REVISIÓN DE PRECIOS

Si el Contratista tiene de derecho a revisión de precios deberá indicarse en el contrato, tanto el derecho como la formula a aplicar para calcular dicha revisión. Se aplicará a juicio del Técnico Directo alguno de los criterios oficiales aceptados.

4.4 PENALIZACIONES

Se podrán aplicar tablas de penalización en caso de retraso en los plazos de entrega de la obra. Las cuantías y demoras se fijarán en el contrato.