

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Diseño de un amplificador valvular con control inalámbrico.

Trabajo Fin de Grado

Diego Bailos Aguirre

Javier Goicoechea Fernández

Pamplona, noviembre 2017



Agradecimientos:

Son muchas las personas que me han ayudado de una u otra forma durante la realización de este proyecto. Especialmente, me gustaría agradecer a mi amigo el Dr. Santiago García toda su ayuda, no sólo con este proyecto, sino por su apoyo durante todos los años de carrera universitaria. Agradecer al técnico Jorge Babiano su ayuda desinteresada, así como todos los consejos que me ha ofrecido y que, sin duda, han hecho posible la construcción del amplificador. Por último, y no menos importante, al profesor Javier Goicoechea por tutorizar mi proyecto y ayudarme en la construcción este y de otros tantos.

También quiero agradecer a mi familia y amigos los ánimos prestados durante la realización del trabajo, por horas de escucharme hablando de temas particularmente poco interesantes para ellos pretendiendo estar realmente interesados en lo que les contaba.

Índice

1.	Introducción	7
2.	Planteamiento del proyecto	9
3.	Contexto tecnológico y objetivos	11
3.1.	Tecnologías de resistencias de control	11
3.2.	Objetivos del proyecto.	14
4.	PARTE 1: Diseño y construcción del amplificador	16
4.1.	Control de la resistencia basado en un LDR	16
4.2.	Diseño del circuito y PCB del circuito digital	23
4.3.	Construcción del amplificador.....	29
4.3.1.	Fuente de alimentación.....	29
4.3.2.	Etapas de salida	30
4.3.3.	Transformador de tensión de alimentación.....	31
4.3.4.	Transformador de salida:	32
4.3.5.	Chasis.....	35
4.3.6.	Placa del amplificador	36
4.3.7.	Modificaciones del diseño original del amplificador.....	38
4.4.	Desarrollo del firmware del microcontrolador	40
4.5.	Pruebas y mejoras	42
5.	PARTE 2: Diseño y construcción del footswitch	43
5.1.	Diseño del circuito esquemático	43
5.2.	Diseño mecánico del dispositivo	51
5.3.	Diseño del PCB.....	52
5.4.	Construcción.....	53
5.5.	Programación de los microcontroladores.....	53
5.5.1.	PIC16f88	54

5.5.2. PIC16F1939.....	55
5.6. Conclusiones y líneas futuras	59
6. Bibliografía.....	¡Error! Marcador no definido.
7. ANEXOS.....	63

1. Introducción

La válvula termoiónica permitió el desarrollo de la electrónica y las comunicaciones en la primera mitad del siglo XX. La mayoría de las válvulas electrónicas están basadas en la propiedad que tienen los metales en caliente de liberar electrones desde su superficie (Efecto Edison). [1]

En la actualidad, este componente ha quedado completamente en desuso siendo sustituido por transistores de silicio mucho más pequeños, eficientes y sencillos de utilizar. A diferencia de las válvulas, el transistor se compone de varios substratos de material semiconductor dopado con cargas positivas o negativas que permiten su fabricación en tamaños muy reducidos.

A pesar de sus múltiples ventajas, el transistor de silicio necesita superar una tensión de conducción directa (forward voltage) que provoca la aparición de la distorsión de cruce en señales que fluctúan entre voltajes positivos y negativos.

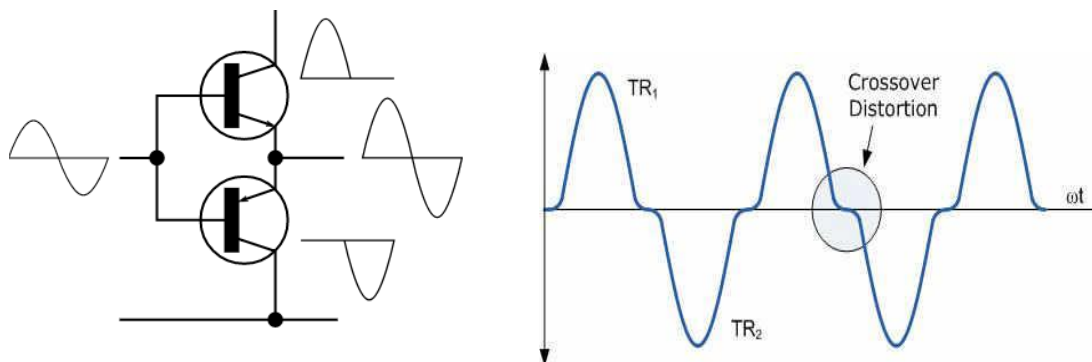


Figura. 1: "Izq. Se muestra una etapa de salida Push-pull. Dcha. Señal de salida donde se puede ver la distorsión de cruce" [2]

Las válvulas no tienen este problema, es por ello que todavía se siguen utilizando para la construcción de equipos analógicos de audio Hi-Fi y amplificadores de guitarra. No obstante, existen arquitecturas de amplificadores lineales basadas en transistores que solucionan el problema de la distorsión de cruce por cero y se puede alcanzar una gran calidad de audio con distorsiones realmente bajas con rendimientos mucho mejores.

Por otro lado, los sistemas digitales se han desarrollado muchísimo en los últimos años dando la posibilidad de almacenar una gran cantidad de datos en memorias no volátiles,

transmisiones inalámbricas más robustas, automatización con sistemas microcontrolados capaces de trabajar a altas frecuencias, etc.

Sin embargo, en algunos amplificadores de guitarra, se aprovecha la distorsión de las válvulas, rica en armónicos pares (más agradables al oído humano), para crear diferentes efectos de sonido. Los defensores de esta tecnología aseguran obtener un sonido más “cálido” y de mejor calidad que lo que se ha conseguido con transistores. Además, las válvulas no presentan algunos de los ruidos $1/f$ típicos en los semiconductores. Por estos motivos aún conservan una grandísima parte de la cuota de mercado en el segmento de los amplificadores de audio, especialmente para guitarra eléctrica.

2. Planteamiento del proyecto

En el presente proyecto se detalla el proceso de diseño y construcción de un amplificador de guitarra de alta ganancia con tecnología valvular gobernado de forma remota mediante un pedal de control (*footswitch*) comunicado por bluetooth. Uno de los retos del proyecto es no emplear ningún elemento semiconductor en la implementación del amplificador de audio para preservar la esencia del amplificador valvular.

Es necesario hacer notar que no existen en el mercado amplificadores similares, es decir, amplificadores totalmente valvulares con un control puramente digital. Aunque sí existen amplificadores con controles digitales, todos los que se conoce están basados en transistores y no en válvulas de vacío. El sistema propuesto en el presente proyecto supone un verdadero salto, ya que permite un control digital desde el pedal o cualquier otro dispositivo capaz de comunicar mediante bluetooth, y al mismo tiempo conserva el núcleo totalmente basado en válvulas termiónicas sin ningún componente semiconductor.

El proyecto se dividirá en dos partes:

- Diseño y construcción del amplificador controlado por bluetooth.
- Diseño y construcción de un pedal de control (*footswitch*) para gobernar el amplificador que tenga la posibilidad de comunicarse por bluetooth.

Los amplificadores valvulares están compuestos en su totalidad por componentes pasivos como resistencias, condensadores, inductancias y transformadores. La señal de audio no pasa, en ningún momento, a través de ningún semiconductor; así se preserva la esencia del diseño valvular del amplificador, que es uno de los aspectos que los hacen realmente atractivos en el mundo de la guitarra.

Es habitual encontrar, en los diseños de amplificadores de guitarra, un filtro de tres etapas para poder ecualizar el sonido (Treble, Middle, Bass), un control de volumen, uno de ganancia, etc. Cada uno de ellos es regulado por una resistencia variable o potenciómetro manual ubicado generalmente en el panel frontal del amplificador. También es habitual encontrar interruptores (*switches*) para conmutar diferentes partes del circuito. Estos *switches* pueden ser manuales o pulsadores de pie para que sea más fácil el control del sonido mientras se toca la guitarra.

Por otro lado, para lograr una comunicación remota, automatización y memorizado de efectos, se hace estrictamente necesario disponer de un circuito digital microcontrolado que lea las señales recibidas y mande las ordenes de control al circuito del amplificador.

Primera parte del proyecto: esta consistirá en el diseño e implementación de un circuito digital capaz de controlar una serie de elementos resistivos que sustituyan a los tradicionales potenciómetros manuales, y unos relés que sustituyan a los switch. A esto se le añadirá un microcontrolador y un módulo bluetooth que lo hagan capaz de recibir datos desde otros dispositivos, procesarlos y modificar los parámetros del amplificador de forma remota.

Este circuito se usará para la construcción de un amplificador real compuesto por un preamplificador de alta ganancia de dos canales y una etapa de potencia de 50w. Se comprobará su correcto funcionamiento enviando las ordenes de control desde un Smartphone.

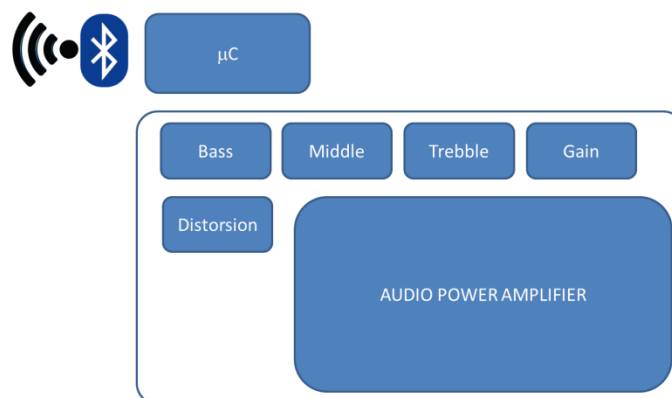


Figura. 2: “Diagrama de funcionamiento del amplificador con control digital”

Para conmutar entre los canales del amplificador es necesario un pulsador de pie o footswitch que permitan al músico conmutar entre ellos sin necesidad de utilizar las manos. Estos dispositivos suelen conectarse mediante un cable de unos 5 metros directamente al amplificador.

Segunda parte del proyecto: se diseñará una pedalera donde irán ubicados los pulsadores de pie, varios encoders o potenciómetros infinitos, además de una serie de indicadores luminosos led. Este circuito dispondrá también de un sistema microcontrolado, una memoria EEPROM y un dispositivo bluetooth capaz de conectarse con el amplificador y transmitirle las ordenes de control.

Se montará dentro de una carcasa de metal que permitirá al usuario disponer de un control absoluto sobre el amplificador sin necesidad de tener un cable conectado entre la pedalera y el amplificador.

3. Contexto tecnológico y objetivos

3.1. Tecnologías de resistencias de control

Existen en la actualidad una infinidad de componentes integrados con diversas funcionalidades cada vez más complejas y de tamaños muy reducidos. Entre ellos se encuentran los **potenciómetros digitales**; estos componentes son elementos resistivos discretos que pueden variar su resistencia entre tres de sus terminales.

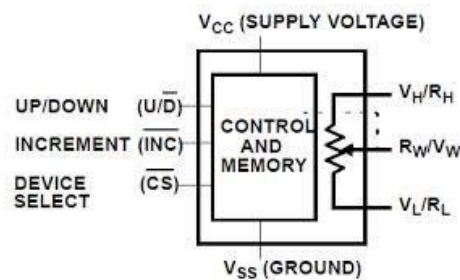


Figura. 3: "Símbolo esquemático de un potenciómetro digital" [3]

Esencialmente, estos componentes disponen en su interior de un array de resistencias conectadas en serie y entre los terminales V_H y V_L y en cada uno de los nodos se encuentra un transistor que conecta al terminal R_w (wiper). Eso permite variar la resistencia a voluntad de forma discreta simplemente encendiendo o apagando dichos transistores.

Los valores comerciales de estos potenciómetros son poco variados y se dispone de resistencias de hasta 100k como máximo.

El principal problema es que este componente no puede introducirse directamente dentro del circuito porque los transistores internos determinarían la calidad final de la señal de salida. Además, el esquema del amplificador utiliza potenciómetros de valores de hasta 1Mohm.

También existe en el mercado un tipo de **potenciómetro motorizado** que permite controlar la posición del dispositivo mediante un sistema electrónico. Este componente es relativamente lento debido a las inercias mecánicas además de ser caro y aparatoso.

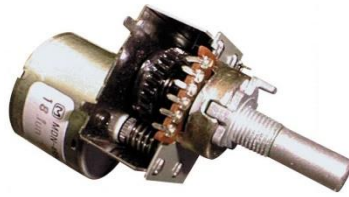


Figura. 4: “Potenciómetro motorizado”

El **LDR** de sus siglas en inglés (Light Dependent Resistor) es una resistencia que varía su valor dependiendo de la luz que incide sobre él. Los valores pueden oscilar entre unos pocos ohmios cuando está altamente iluminado hasta varios megaohmios en la oscuridad. Están fabricados a partir de materiales con estructura cristalina como el sulfuro de cadmio y seleniuro de cadmio aprovechando sus propiedades fotoconductoras.

En muchos amplificadores a válvulas se utilizan optoacopladores fotorresistivos, formados por un led y un LDR, como una alternativa a los relés tradicionales para la conmutación entre canales. Esto reduce ruidos y “chasquidos” al conmutar los distintos canales del amplificador porque la transición no se hace mediante un contacto mecánico.

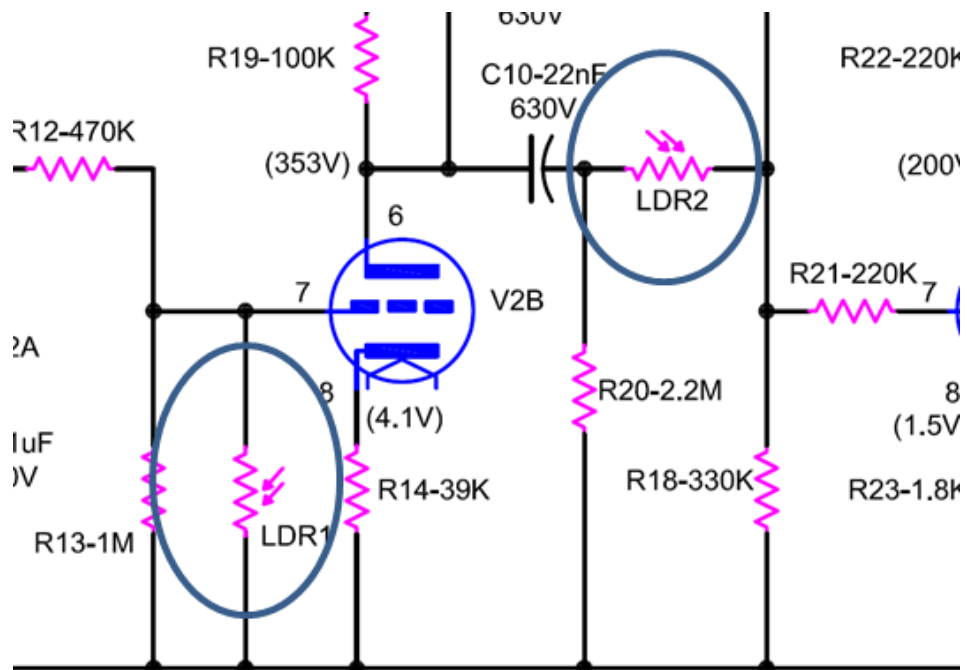


Figura. 5: “Uso de fotorresistencia para conmutar entre diferentes canales del amplificador”

Los LDR tienen algunos problemas asociados porque la resistencia, en función de la corriente del led, no varía de forma lineal, cayendo rápidamente alrededor de los 40K tan pronto como el led comienza a iluminar. Por otro lado, la resistencia de la celda es muy variable entre dispositivos diferentes y aumenta de forma directa con la temperatura, esto hace que cambie su valor todo el tiempo.

Es por esto que, a pesar de tener unas buenas características para la presente aplicación, presenta una serie de inconvenientes que impiden introducirlo directamente en un circuito que necesita unos valores estables de resistencias comprendidas entre 250K y 1M. [4]

3.2. Objetivos del proyecto.

Tomando como punto de partida el esquema de un amplificador valvular de alta ganancia se pretenden sustituir los tradicionales controles manuales por un circuito digital que permita variar, de forma automática, los parámetros del amplificador tales como el control de tono, ecualización, ganancia, volumen, etc.

Para controlar este amplificador, se diseñará también un dispositivo inalámbrico con pulsadores de pie o "footswitch" que permitirá modificar de forma remota todos los controles del amplificador que originalmente se hacía mediante potenciómetros manuales. Dispondrá también de una memoria EEPROM no volátil que permita almacenar diferentes configuraciones incluso después de apagado el dispositivo.

Dado que no es cometido de este proyecto el diseño del propio circuito amplificador, se utilizará el esquema de un amplificador comercial al que se le realizaran algunas modificaciones, pero se intentará ser lo más fiel posible al diseño original.

El esquema elegido es una copia del amplificador de la marca **SOLDANO**, en concreto su modelo SLO (Super Lead Overdrive). Este modelo ha sido construido por una comunidad de "Makers" que, a partir del amplificador original, realizaron una copia idéntica del diseño de la placa de circuito impreso (*Printed Circuit Board, PCB*) y publicaron una extensa cantidad de información acerca de la construcción, problemas y soluciones. Así pues, el amplificador está ampliamente comprobado y se puede centrar el proyecto en el diseño del circuito de control digital.

Esta primera etapa del proyecto es bastante amplia por lo que se ha dividido también en varias fases:

- Desarrollo y diseño de un circuito para estabilizar la resistencia de un LDR
- Diseño del circuito y PCB del circuito digital
- Construcción del amplificador
- Desarrollo del firmware del microcontrolador
- Pruebas y mejoras

En la segunda etapa del proyecto se discutirá el diseño del circuito digital encargado de controlar el amplificador de forma remota (Footswitch):

- Diseño del circuito esquemático

- Diseño mecánico del dispositivo
- Diseño del pcb
- Construcción
- Firmware de los microcontroladores
- Pruebas y mejoras

4. PARTE 1: Diseño y construcción del amplificador

No existen en el mercado amplificadores similares, si bien los hay con controles digitales, estos están basados en transistores, resultando un circuito más sencillo y barato.

Después de haberse construido varios amplificadores a válvulas copiando otros esquemas, se planteó la posibilidad de introducir un control digital que permitiera almacenar diferentes configuraciones de sonido y lo hicieran más cómodo de utilizar; todo ello sin renunciar a la calidad del sonido que ofrecen las válvulas. Conseguir controlar un amplificador a válvulas mediante un microcontrolador abre las puertas a una infinidad de opciones como memorizar configuraciones, tener control inalámbrico, automatización, control MIDI, ...

4.1. Control de la resistencia basado en un LDR

De entre todos los sistemas posibles estudiados para la realización de este proyecto se eligió utilizar fotorresistencias “LDR” para sustituir los potenciómetros originales. Estos componentes tienen una respuesta más rápida y, al mismo tiempo, son los que menos perturbarían el diseño original y, por lo tanto, la calidad final del sonido.

Como planteamiento inicial, se intentó conectar el optoacoplador “LDR+Led” directamente a un DAC e intentar controlar la resistencia del LDR directamente variando la tensión de alimentación del led. Rápidamente se descartó esta idea porque, los problemas asociados a las propiedades inherentes de las fotorresistencias, hacían imposible establecer una resistencia fija en función de una señal de salida establecida del convertidor digital-analógico.

Tomando como referencia el documento “PROGRAMABLE CONTROLS FOR VACUM TUBE PREAMPLIFIER”, patente de 1993 de la prestigiosa marca de amplificadores de guitarra “Mesa Boogie” en el que se detalla el funcionamiento de un circuito utilizado para estabilizar la resistencia de un LDR, se expone a continuación la solución adoptada por la marca (traducido del original).

“Con el fin de lograr valores de resistencia altos en el sistema, se plantea un esquema donde se añade al LDR un lazo de realimentación negativa con un amplificador diferencial que incorpora un condensador en el lazo. De tal manera que la constante de tiempo RC tiene el efecto de bajar la ganancia en el dominio del tiempo de tal manera que la acción del amplificador diferencial que alimenta el led

compense el retardo inherente a la respuesta de la célula fotosensible ante condiciones de luz variables.

Esto tiene el efecto deseado de crear una resistencia sustancialmente estable sobre una amplia gama de valores de alta resistencia mientras que, de otra manera, el resultado sería una resistencia de celda que varía constantemente a medida que se ilumina el LDR demasiado (compensación excesiva por la alta resistencia en estado de oscuridad) luego permanecería iluminado demasiado tiempo debido al retardo de la respuesta de la célula a las variaciones de luz, entonces se apagaría la fuente de luz cuando la resistencia fuera demasiado baja provocando una corriente inversa desde el amplificador diferencial.”

La figura 6 muestra un diagrama de realización del diseño anteriormente mencionado en el que se muestra un único optoacoplador LDR funcionando como una resistencia variable junto a los medios para modificar y estabilizar su resistencia.

La figura 7 muestra el diagrama de implementación de dos optoacopladores LDR funcionando como un potenciómetro ajustable de tal forma que se mantiene una resistencia total constante entre los extremos. Nótese que la red de resistencias R1-R17 más los dos multiplexores simula el funcionamiento de un potenciómetro.

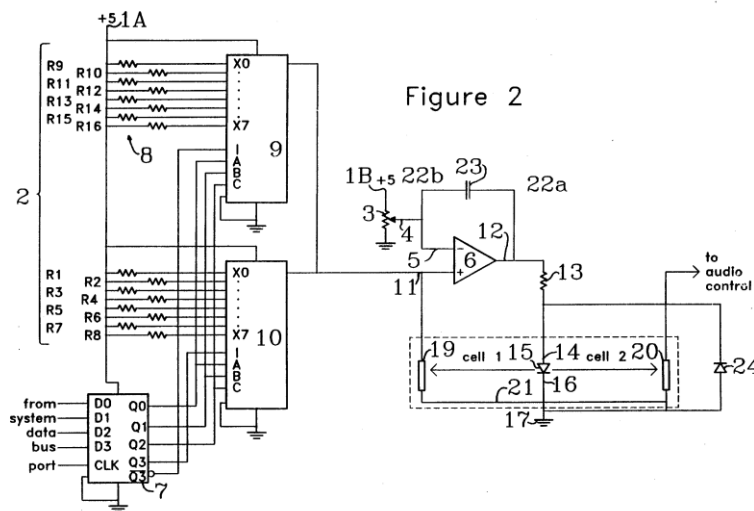


Figura 6: “Circuito para estabilizar la resistencia de un LDR” [4]

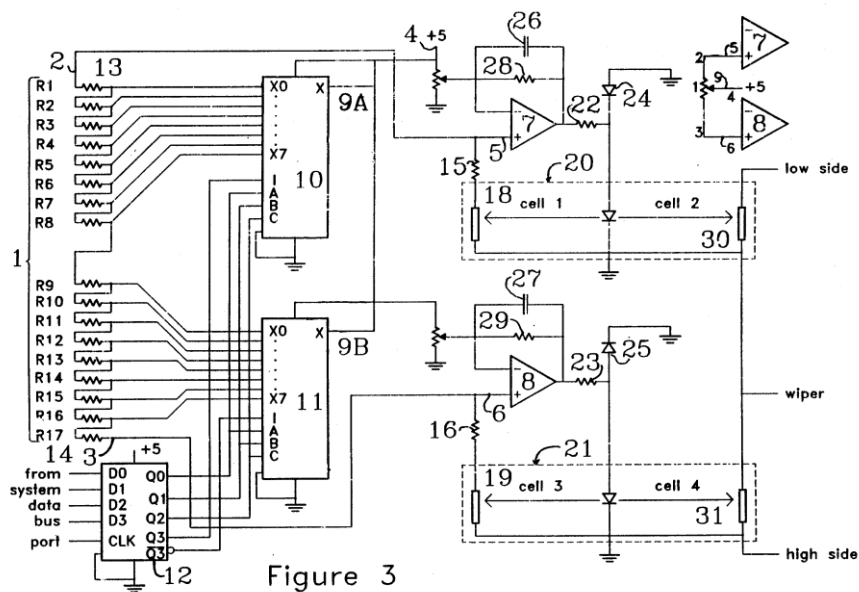


Figure 3

Figura 7: "Circuito para estabilizar dos LDR complementarios para funcionar como potenciómetro" [4]

En la figura 6 se muestra la implementación funcional del circuito. Una fuente de 5v alimenta la escalera de resistencias de referencia mientras que la misma fuente de 5v alimenta un potenciómetro de ajuste (*trimmer*). Este potenciómetro da un voltaje de referencia de 2,5v (la mitad del voltaje de alimentación) en su terminal ajustable que está conectado en el terminal inversor de un amplificador operacional (amplificador diferencial). Pequeños ajustes en este potenciómetro permiten compensar las imprecisiones de tal forma que las dos celdas LDR lleguen a tener una misma resistencia precisa. Con el sistema digital se controlan los multiplexores que permiten seleccionar la resistencia de referencia con una precisión de 16 incrementos. Esto permite variar la resistencia de entrada del terminal no inversor del amplificador diferencial. La salida de dicho amplificador se conecta a través de una resistencia limitadora de corriente al ánodo del led del optoacoplador cuyo cátodo está directamente conectado a tierra. Este led es el encargado de proporcionar la luz a dos células fotorresistivas LDR.

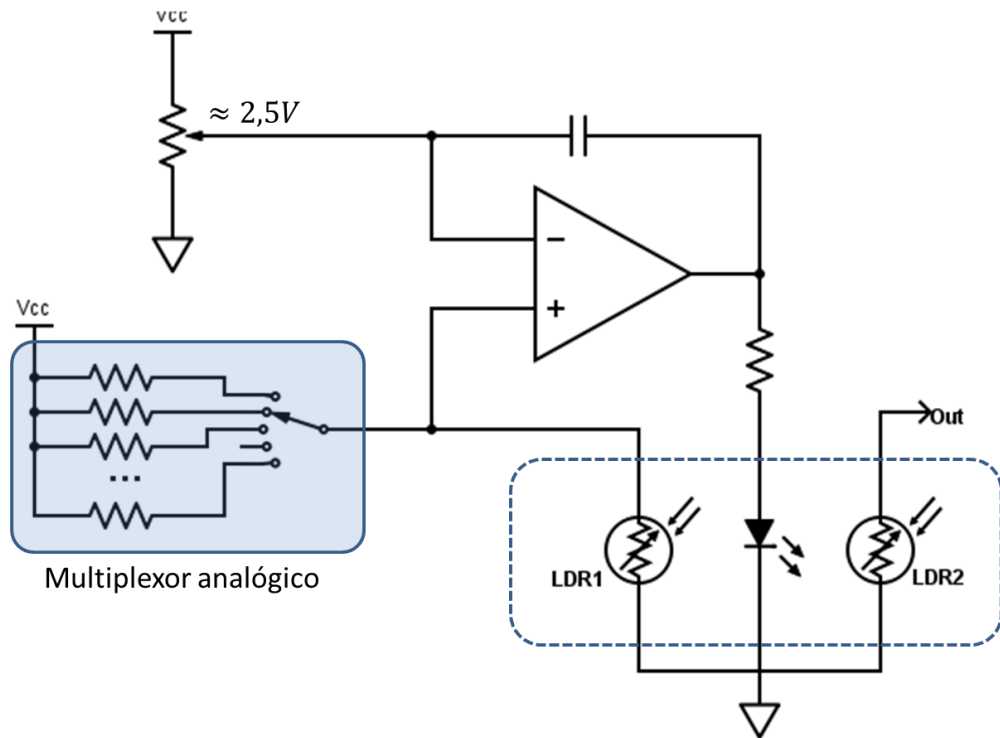


Figura 8: “Implementación esquemática del circuito de estabilización. Se asume que ambos LDR tienen la misma resistencia.”

En el optoacoplador formado por el led y las dos fotorresistencias se puede asumir que los dos valores de resistencia serán siempre iguales debido a que ambos están expuestos a la misma fuente de luz. Del mismo modo se puede suponer que la temperatura de las dos celdas LDR es similar.

Por lo tanto, la acción del amplificador operacional sobre el led será la de imponer una resistencia del LDR igual a la resistencia de referencia establecida con el multiplexor para conseguir que el voltaje en el terminal no inversor sea igual a los 2,5v del terminal inversor. Cuando la resistencia de referencia sea igual a la resistencia del LDR, entonces y solo entonces, la tensión aplicada a ambos terminales, serán iguales. Además, ante cualquier variación, la acción del amplificador operacional será para corregir el desvío en la resistencia. Así pues, se consigue tener una resistencia en la salida del optoacoplador igual a la resistencia de referencia seleccionada con el multiplexor. Esto hace posible variar de forma digital el control habitualmente realizado mediante un simple potenciómetro sin introducir semiconductores en el circuito del amplificador.

En referencia a la figura 7, una pareja de optoacopladores resistivos, son usados para implementar un potenciómetro completo. A pesar de tener cada uno su propio amplificador diferencial para estabilizar la resistencia del LDR, ambos siguen la referencia del mismo array de resistencias. Con esto se consigue simular un potenciómetro discreto controlado digitalmente que, para implementarlo sobre el circuito, necesita 16 resistencias además de dos multiplexores. Actualmente existen circuitos integrados como el AD52445 (potenciómetro digital) que cumplen el mismo cometido en un solo encapsulado mucho más pequeño y sencillo de manejar.

En el mercado existen varios fabricantes de optoacopladores (Vactrol, Silonex, ...) pero es complicado encontrar, a día de hoy, optoacopladores con dos fotorresistencias en un único encapsulado. Es por ello que se tuvo que fabricar manualmente dichos optoacopladores para su implementación práctica en el circuito. Para su construcción se utilizaron led's blancos de alto brillo y dos fotorresistencias, todo ello envuelto en cinta aislante negra.

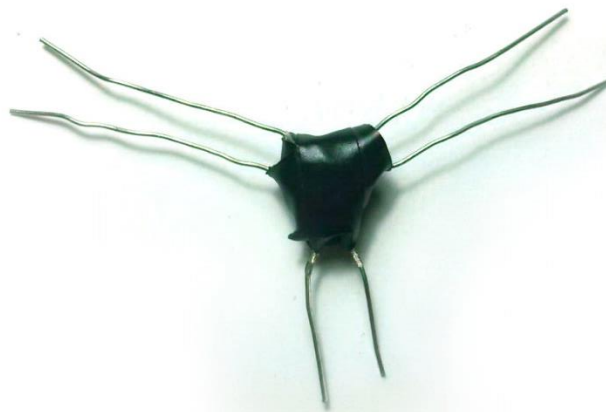


Figura 9: "Optoacoplador de fabricación casera utilizado en el circuito"

Nótese que, en el esquema original, la suma de resistencia total del array de resistencias conectado a los multiplexores y utilizado como referencia es de aproximadamente 1Mohm. Este es el mismo valor que la resistencia deseada en los terminales de salida del LDR. Así se consigue en la entrada no inversora del amplificador operacional funcione con una tensión de 2,5v y el circuito queda estabilizado.

A continuación, se muestra un esquema simplificado del funcionamiento del circuito donde se sustituye el complejo circuito digital, formado por los multiplexores y resistencias, por un simple potenciómetro.

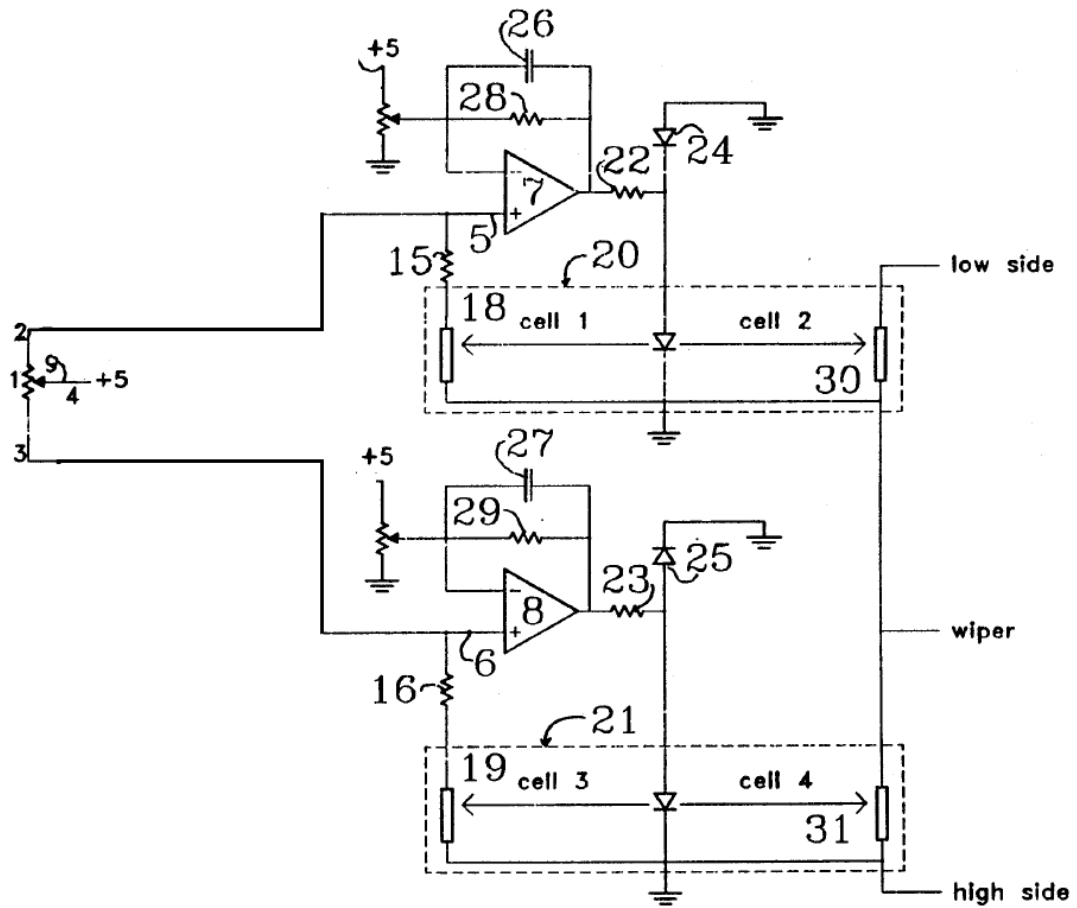


Figura 10: “Implementación del circuito con un potenciómetro simple como referencia. Esta fue la forma definitiva en la que se implementó el circuito”

El circuito original utilizaba un complejo sistema formado por dos multiplexores analógicos y 16 resistencias para establecer la referencia del sistema. Este diseño data de 1993 y entonces no existían potenciómetros integrados con una interface digital. El potenciómetro (9) utilizado es un circuito integrado AD5245 de 100k. [3] Este dispositivo dispone de una interface de comunicación I2C con una resolución de 8 bits y memoria volátil.

En este punto del desarrollo se encontró que la diferencia de resistencias del potenciómetro digital (100k) y la resistencia deseada (1M) era demasiado alta, y es por esto que se hace necesario una tensión en la entrada no inversora demasiado cercana a los 5v. Esto obliga a forzar el trimmer a su extremo donde se pierde precisión.

Regulando con el trimmer el voltaje de la entrada inversora se consiguen valores de resistencia en el LDR próximos al valor deseado, pero el ajuste no es preciso porque se está llevando al límite.

Para solucionar este problema se añadieron las resistencias R15 y R16 que permiten descompensar el divisor resistivo y permitiendo un ajuste más preciso.

Nótese que el valor máximo de resistencia a la salida puede ser regulado fácilmente ahora por el trimmer que ajusta el voltaje de la entrada inversora cambiando la tensión de referencia de la entrada no inversora. Así se puede obtener una resistencia de cualquier valor a la salida del circuito (optoacopladores) que varíe entre su valor máximo y cero ohmios. Esto permitió obtener los diferentes valores (250K, 500K, 1M) utilizando el mismo circuito para todos ellos.

A continuación, se muestra un gráfico obtenido de forma experimental en el que se ve en azul la resistencia de salida frente a los valores digitales 0-255.

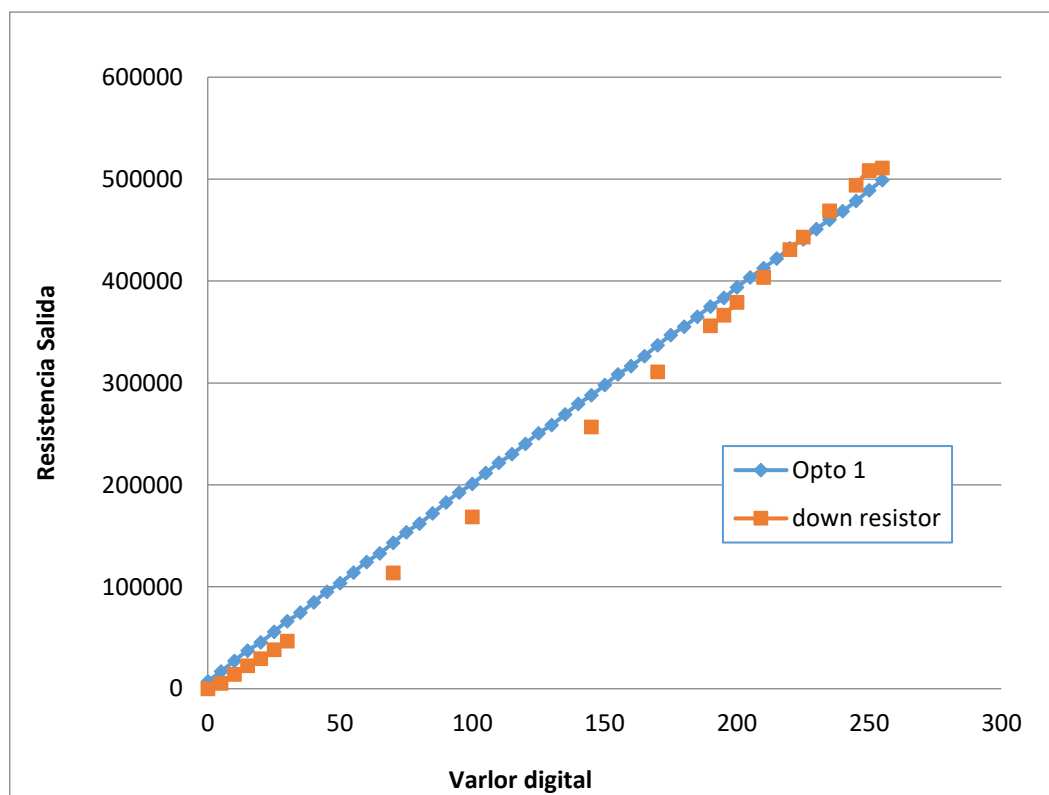


Figura 11: “En este caso la resistencia de salida estaba ajustada para una resistencia máxima de 500K. Como se puede ver, la respuesta es totalmente lineal”

Cabe destacar que la importancia de este diseño no radica en el uso de optoacopladores para “aislar” el circuito digital del analógico; esto es sólo una ventaja añadida. Lo que realmente se consigue es un dispositivo puramente resistivo y estable (sin el uso de transistores) que puede ser controlado por un microcontrolador.

Así se consigue evitar la distorsión de cruce al sustituir los potenciómetros originales del amplificador por este pequeño circuito.

4.2. Diseño del circuito y PCB del circuito digital

El diseño original del amplificador que se va a construir consta de dos PCBs. Una pequeña que contiene los componentes de la fuente de alimentación, y otra más grande donde se encuentran los componentes del circuito preamplificador de alta ganancia y la etapa de potencia. Por otro lado, encontramos los potenciómetros manuales situados en el panel frontal del amplificador y cableados directamente a la tarjeta principal.

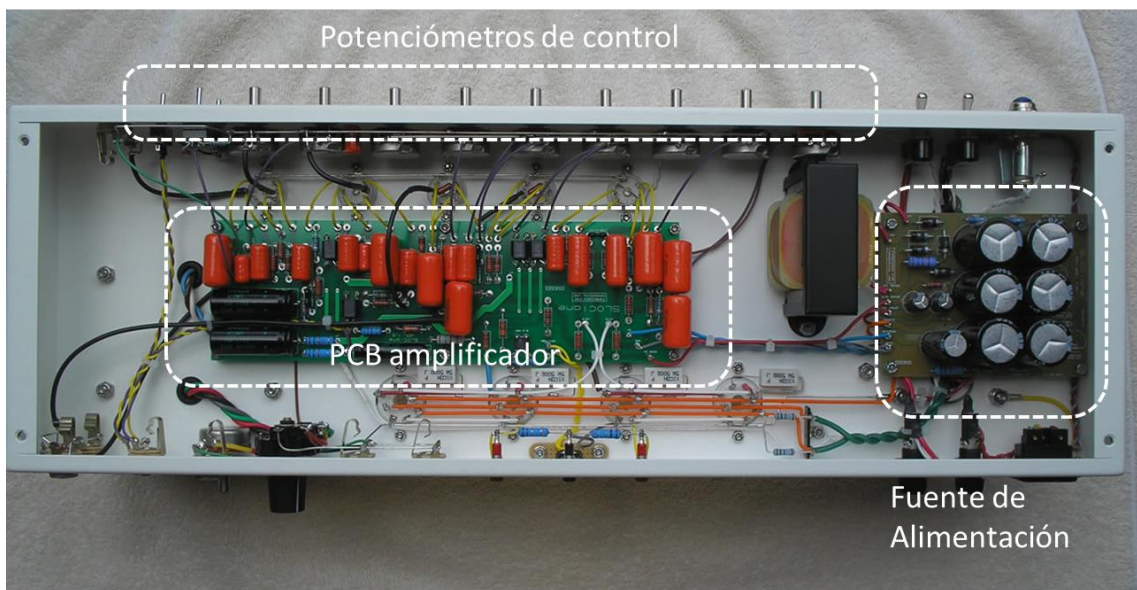


Figura 12: “Fotografía de amplificador original donde puede verse la disposición de todos los componentes”

En el diseño del presente proyecto fueron eliminados todos los potenciómetros manuales y sustituidos por los potenciómetros digitales diseñados en el apartado anterior. El nuevo circuito consta de varios componentes y sería imposible cablearlos directamente sobre la pcb principal. Por esto se diseñó una nueva pcb para montar siete circuitos idénticos (uno por cada potenciómetro que se quería sustituir), dos relés, un microcontrolador “Arduino micro” y un módulo bluetooth HC-05 que funcionaría con rol de maestro en la comunicación.

Un Arduino nano será el encargado de recibir los datos a través del módulo bluetooth y comunicación UART. Este mismo microcontrolador controlará dos relés a través de sus salidas digitales. La comunicación con los 8 potenciómetros digitales AD5245 se realiza a través del bus

I²C utilizando las líneas SDA y SCL con sus resistencias pull-up. Para poder conectar 8 componentes iguales al mismo bus I²C es necesario utilizar un pin de “enable” en cada uno de los AD5245 para seleccionar qué chip se desea leer o escribir dado que todos disponen del mismo “nombre” para la comunicación. Para esto se utilizaron los pines 5-13 como salidas digitales, activando sólo una de ellas antes de escribir el dato en el bus I²C.

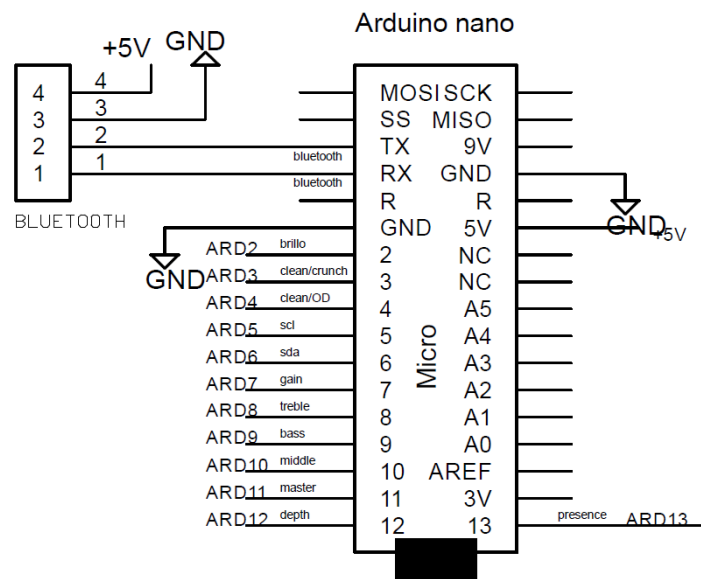


Figura 13: “Esquema del microcontrolador Arduino donde se pueden ver los pines que controlan cada potenciómetro digital AD5245”

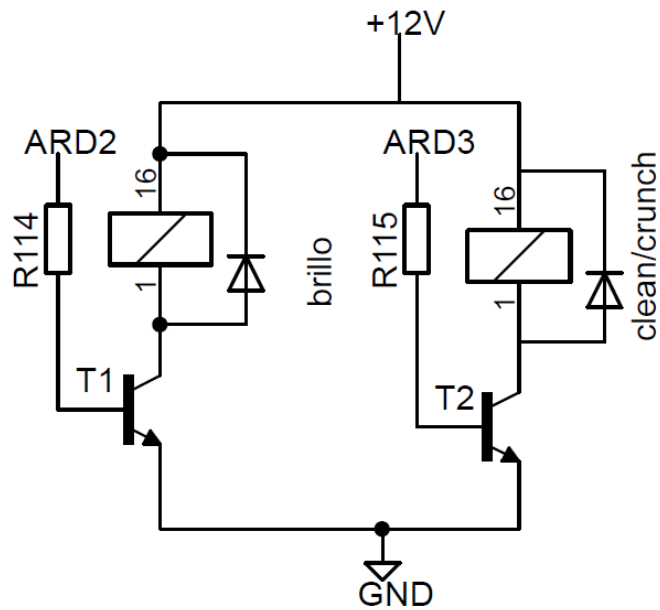


Figura 14: “Para sustituir los switches manuales que incorpora el amplificador se colocaron dos relés en la nueva pcb.”

6 Master Vol

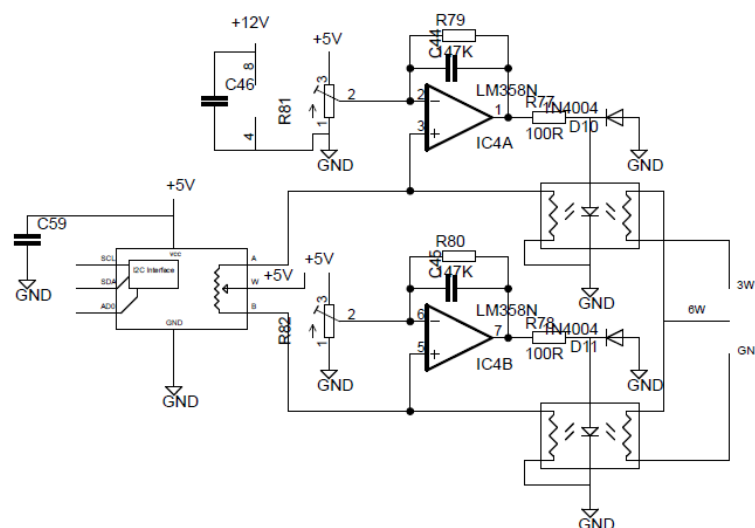


Figura 15: “Se copió este circuito para sustituir a cada uno de los potenciómetros manuales originales del amplificador.”

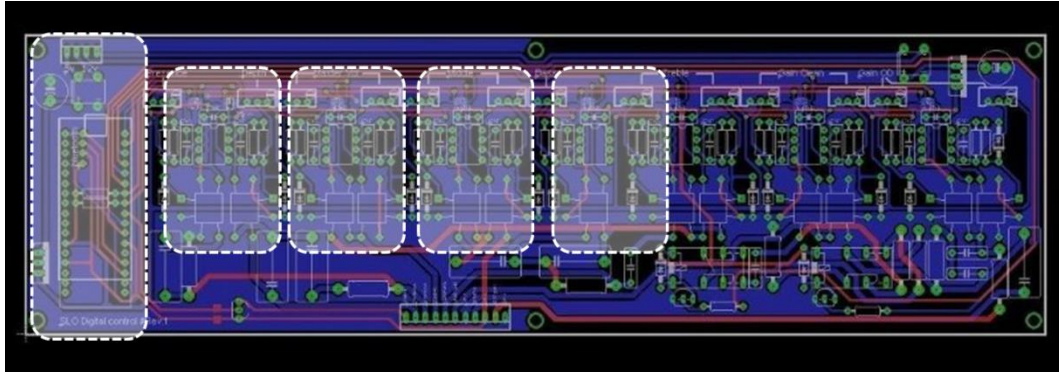


Figura 16: “El Arduino junto a los relés y los circuitos diseñados para sustituir los potenciómetros se montaron en una PCB de dos capas.”

Se utilizó el software “Eagle Cad Soft” para diseñar una pcb de forma y tamaño idénticos a la tarjeta principal para poder colocarlas mecánicamente una sobre la otra. De esta forma se conseguía un diseño más limpio. Se colocaron también, en esta nueva pcb, los condensadores y resistencias del circuito de tonos original.

Los voltajes +12v y +5v necesarios para alimentar la nueva pcb son provistos por uno de los bobinados secundarios del transformador de potencia. La tensión se rectifica y se filtra para alimentar los diferentes circuitos integrados y los optoacopladores.

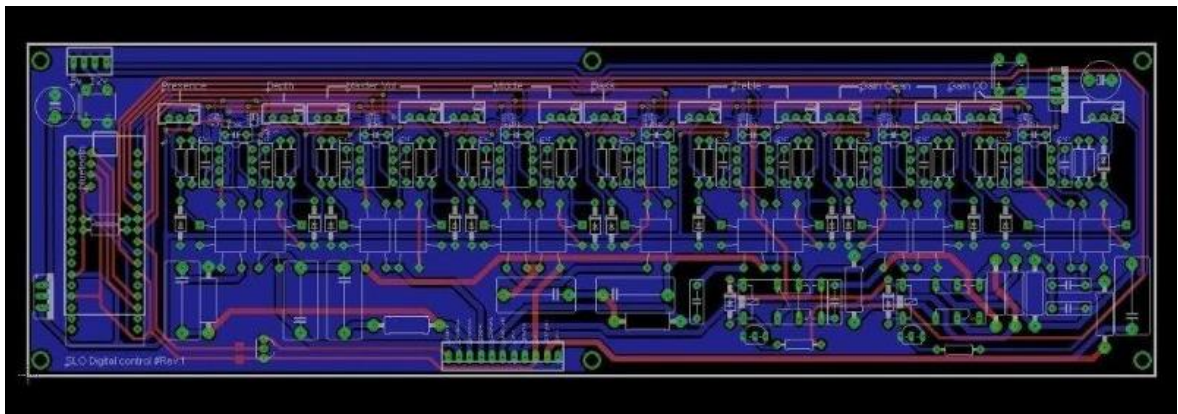


Figura 17: “Diseño del Layout para el pcb de control digital”

La PCB consta de dos capas (Top & Bottom). Los componentes del circuito digital están ubicados en la mitad superior mientras que los componentes “originales” del amplificador para el circuito de tonos, relés, ... se encuentran en la mitad inferior de la tarjeta. Debido a la complejidad de la tarjeta se optó por enviar los archivos gerber para fabricarla en una empresa profesional. En el anexo 1 se pueden encontrar tanto el circuito esquemático como el Layout a escala real de este circuito.

En este primer prototipo se cometieron varios fallos.

- Los planos de tierra del circuito digital y analógico no están separados. Afortunadamente se pudo cortar fácilmente la continuidad entre estos dos planos para evitar posibles ruidos de alta frecuencia.
- Faltan las resistencias pull up del bus I2C. Estas se montaron directamente sobre los pines del Arduino.
- El conector del módulo bluetooth para la comunicación UART no tiene invertidos los pines Rx y Tx, por lo que se tuvo que hacer un cable entre la PCB y el módulo bluetooth para poder conectarlo apropiadamente.
- Las fuentes de alimentación +12v y +5v tienen un filtrado muy escaso, esto introducía mucho ruido en el amplificador especialmente en el canal de alta ganancia. Se cambió la fuente de alimentación para intentar paliar este problema.

A continuación, se muestran algunas fotos de la tarjeta durante el proceso de montaje.

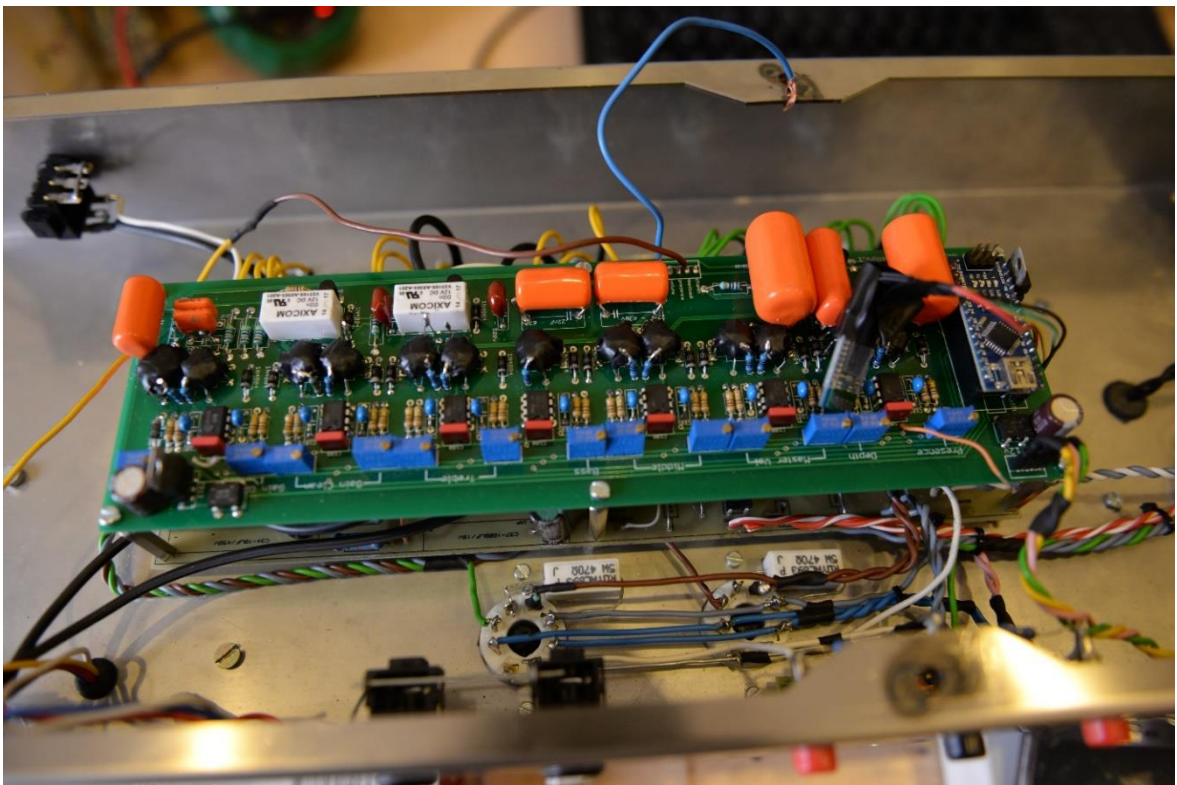


Figura 18 “PCB del circuito digital montada en el amplificador durante las pruebas iniciales.”

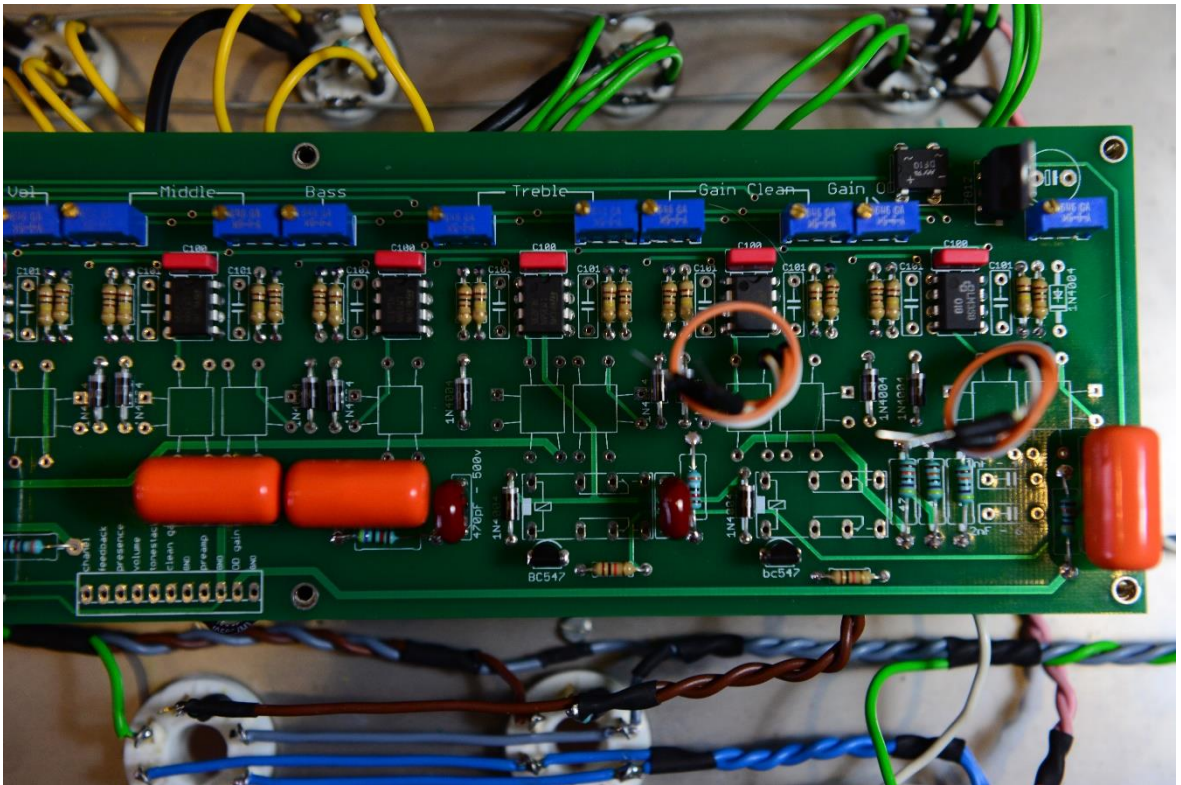


Figura 19: “Foto en detalle de la PCB de control digital donde se puede ver el footprint de los optoacopladores y los relés todavía sin montar.”

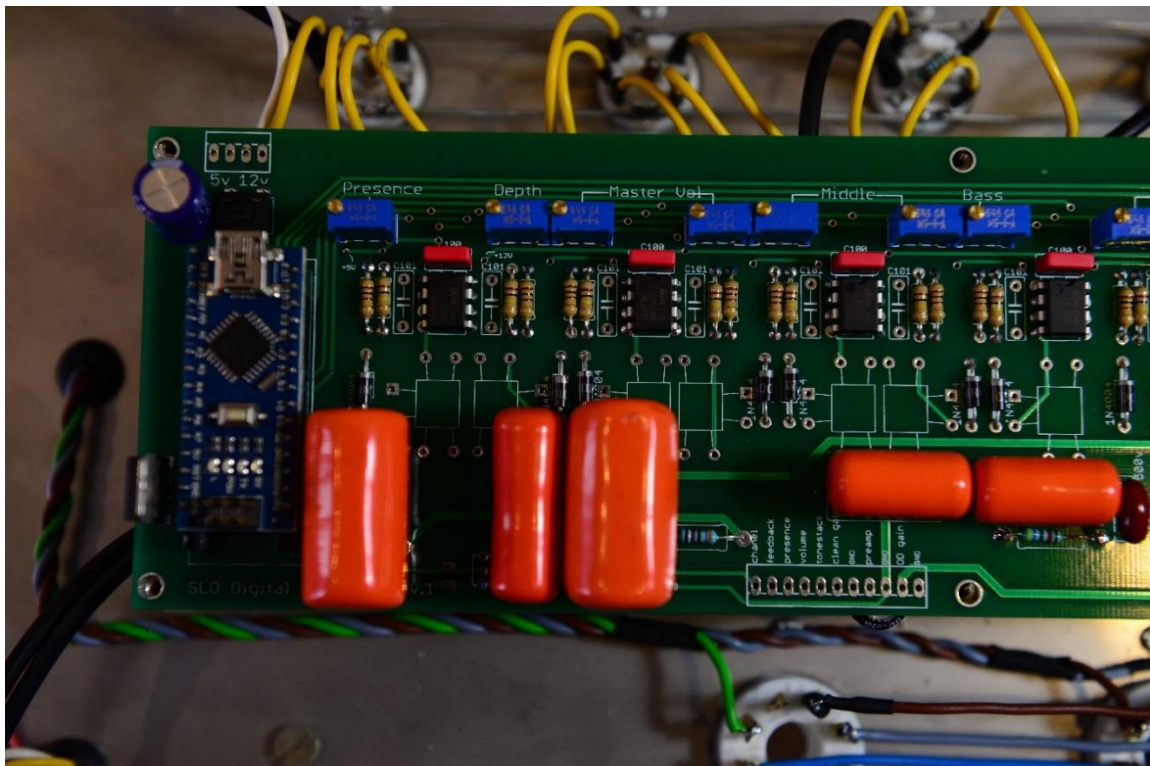


Figura 20: “Foto en detalle donde se puede ver el Arduino Nano encargado de controlar el sistema digital del amplificador.”

4.3. Construcción del amplificador

4.3.1. Fuente de alimentación

Como ya se dijo al principio, no es propósito de este proyecto el diseño del amplificador por lo que, como punto de partida, se utilizó el esquema de un amplificador **"Soldano SLO"** que ya se había construido anteriormente y estaba completamente probado. Este esquema puede verse en el "Anexo 2" al final del proyecto.

Si bien el proceso de construcción es relativamente sencillo, algunos componentes son difíciles de conseguir o son demasiado caros. Además, se ha de tener especial cuidado en el cableado del mismo porque, al ser un circuito de alta ganancia, es extremadamente sensible al ruido.

Como puede verse en la figura 8, el amplificador dispone de una fuente de alimentación lineal clásica que utiliza un **transformador de tensión** con una etapa de rectificación y filtrado para alimentar con tensión continua a las válvulas (498v) a los filamentos calefactores de las válvulas (6,3v) una tensión de bias negativa para polarizar los pentodos de la etapa de potencia (50v) y la alimentación de los optoacopladores utilizados para el cambio de canal (6,3v). A todo esto, se añadieron dos bobinados secundarios independientes de 5v y 12v para alimentar la nueva pcb digital.

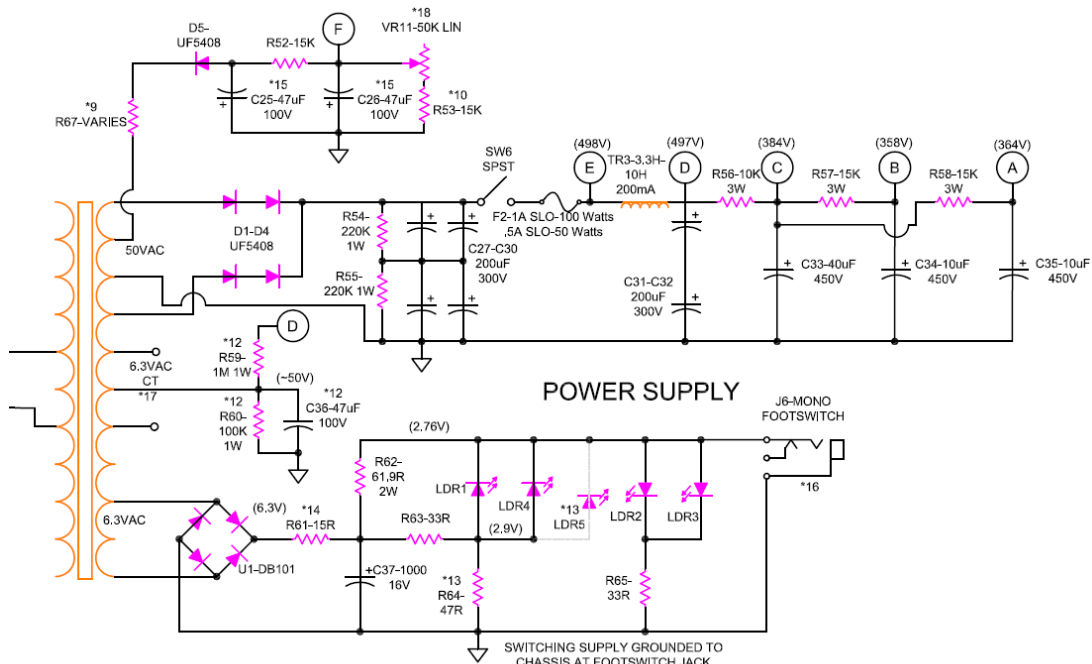


Figura21: "Fuente de alimentación del amplificador"

núcleo y los bobinados se hicieron siguiendo las notas publicadas por un usuario en el foro “Guitarramanía”. [5]

4.3.3. Transformador de tensión de alimentación

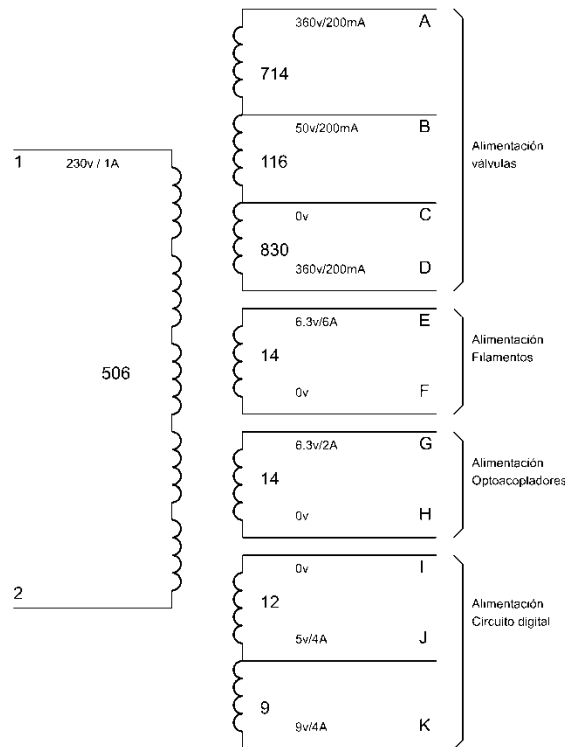


Figura 23: “Esquema transformador de potencia”

Este transformador se construye de forma ordenada comenzando por el bobinado primario, que se conectará a una red monofásica de 230V/50Hz. En segundo lugar, se arrollan los bobinados secundarios que transforman la tensión de la red a los voltajes requeridos por el circuito. La construcción, si bien es relativamente sencilla, requiere ser cuidadoso y ordenado al arrollar el hilo de cobre esmaltado para no tener problemas de espacio en el carrete sobre el que se bobina todo. Es muy importante también un buen aislamiento entre bobinados capaz de aguantar una relativa alta temperatura; se utilizó para ello papel parafinado.

En el esquema encontramos las características del transformador que tendrá un bobinado primario de 230V/1A, un secundario simétrico de 360V/220mA con un tap central de 0V y otro de 50 para la tensión de BIAS, un secundario de 6,3V/6A para alimentar los filamentos, otro de 6,3V/2A para alimentar los optoacopladores del cambio de canal y por último se añade también un secundario de 5v y 9v/4A que alimentará la PCB del circuito digital.

A continuación, se muestran los cálculos obtenidos y un esquema del mismo.

Potencia total = 215W		Sección del núcleo: 19.61cm ²	
P ₁ = 506	506	∅ = 0.7mm	220v
S ₁ = 1660	714+116+830	∅ = 0.3mm	360/50/0/360v
S ₂ = 14	14	∅ = 1.63mm	6.3v
S ₃ = 14	14	∅ = 0.9mm	6.3v
S ₄ = 21	12+9	∅ = 1.3mm	0/5/9v

Donde P y S son el número de vueltas del primario y secundarios respectivamente y ∅ es el diámetro del hilo necesario en función de la corriente de salida.

4.3.4. Transformador de salida:

El transformador de salida es algo más complicado de construir. A pesar de que consta sólo de un bobinado primario y tres secundarios, este transformador se monta en una etapa de potencia clase A/B en configuración Push-Pull donde, cada una de las válvulas 6L6 GC, amplifica el semiciclo positivo y negativo de la señal de forma independiente. Esto hace necesario dividir el primario del transformador en, al menos, dos bobinados idénticos con un tap central que se conectará a la fuente de alimentación como muestra el esquema. Además, los tres bobinados secundarios se arrollan intercalados con el bobinado primario para conseguir una mejor respuesta del transformador. Estos bobinados tienen que soportar una mayor corriente y por lo tanto necesitan un diámetro mayor. Para reducir la inductancia parásita, los bobinados secundarios se hicieron con dos hilos en paralelo en vez de usar un hilo de mayor sección.

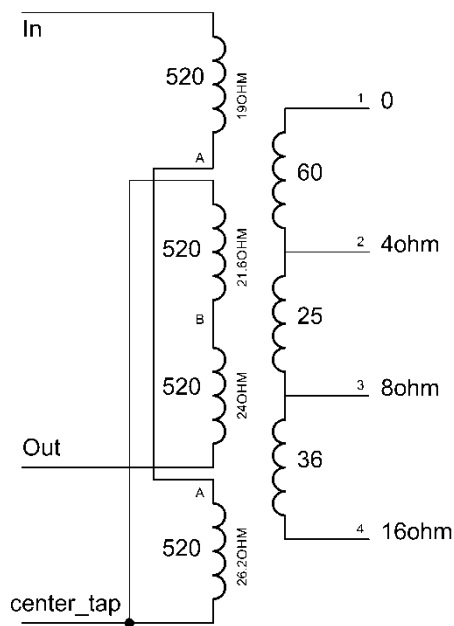


Figura 24: “Esquema transformador de salida”

Todo esto da como resultado un bobinado primario dividido en 4 bobinados y 3 secundarios conectados en serie y bobinados de forma alterna con el primario. A continuación, se muestran los cálculos obtenidos y un esquema aclarativo de cómo es construido.

Sección del núcleo: 12.8cm²

$N_1 = 2080$	4 x 520	$\varnothing = 0.25\text{mm}$	4.4K
$N_2 = 60$	K = 34.64	$\varnothing = 1.3\text{mm}$	4 Ω
$N_3 = 25$	K = 24.5	$\varnothing = 1.1\text{mm}$	8 Ω
$N_4 = 36$	K = 17.3	$\varnothing = 0.9\text{mm}$	16 Ω

Dónde N_x es el número de vueltas, K es la relación de transformación y \varnothing es el diámetro del hilo necesario en función de la corriente de salida.

Nótese que la conexión de los 4 bobinados del primario se hace de tal forma que la resistencia total entre el tap central y los extremos (In y Out) es aproximadamente la misma. Cuando se empieza a bobinar, el carrete está todavía vacío y la longitud de hilo necesario por cada vuelta es algo más corta que la longitud necesaria por cada vuelta cuando se está acabando de bobinar. Si se conectaran las bobinas siguiendo el orden natural, la resistencia de ambas mitades sería distinta y la salida estaría descompensada.

La resistencia medida en cada uno de los bobinados primarios da como resultado:

$$(19\Omega + 26.2\Omega) \approx (21.6\Omega + 24\Omega)$$

Para la fabricación de los transformadores se utilizó una bobinadora casera construida con un viejo destornillador eléctrico y una calculadora conectada a un sensor para contar el número de vueltas. Esta sencilla herramienta facilitó notablemente el trabajo.

Durante la construcción es necesario bobinar el hilo de forma ordenada para no tener problemas de espacio. Asegurar bien el aislamiento entre bobinados es importante también, se utiliza papel parafinado (papel de horno) resistente a la temperatura, cinta de carroceros y barniz.

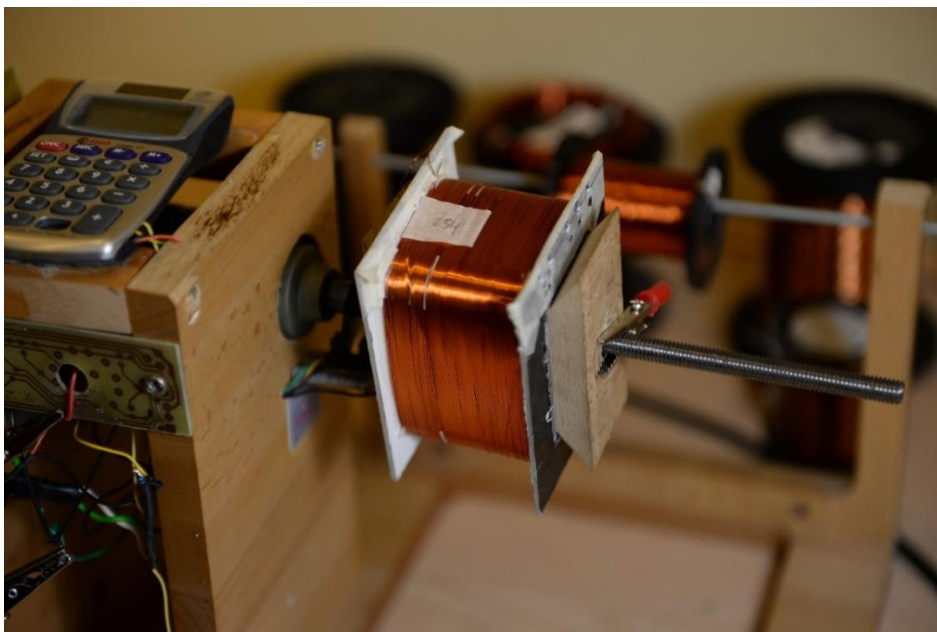


Figura 25: “Proceso de bobinado manual de uno de los transformadores.”

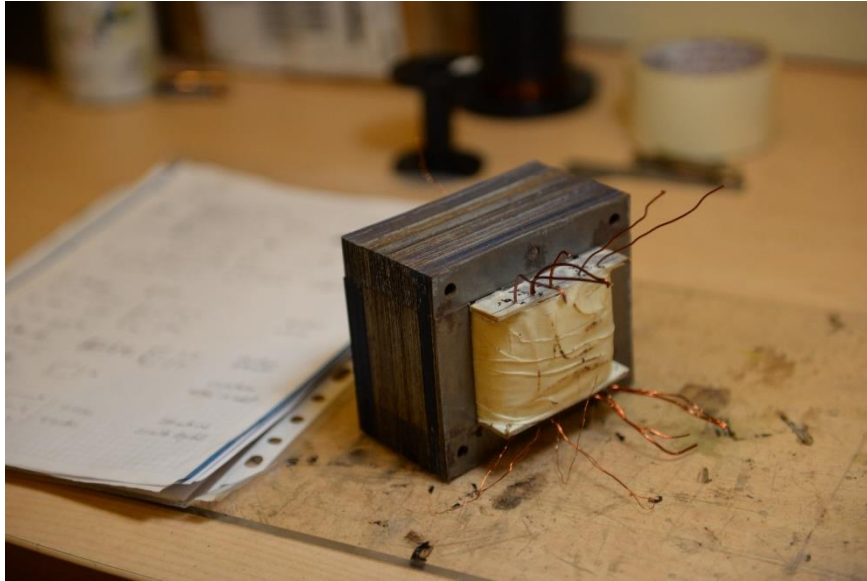


Figura 26: “transformador terminado de bobinar.”

4.3.5. Chasis

El chasis encargado de dar soporte a los transformadores, válvulas y PCB's se diseñó a medida en Autocad para cortar por láser en acero inoxidable de 1,5mm y plegarlo posteriormente. La ubicación de los componentes se hizo siguiendo los planos del amplificador original. Nótese que los transformadores de potencia y de salida están separados y girados 90º uno respecto del otro para evitar ruidos por inducción en la medida de lo posible.

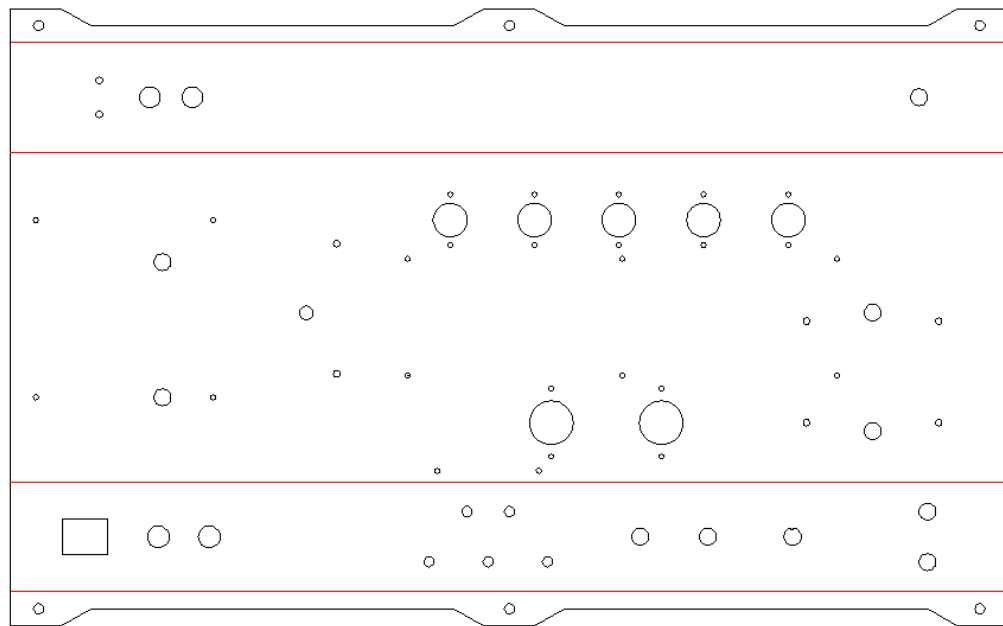


Figura 27: "Diseño CAD del chasis"

El chasis metálico con todos los componentes se aloja a su vez en un cajón de madera cubierto con tolex y con esquinas metálicas que lo protegen de los golpes. En la parte superior se ubica un asa para facilitar el transporte y en la parte baja se encuentran las cuatro patas de goma. Así pues, queda terminado todo lo que sería el trabajo mecánico del amplificador.

4.3.6. Placa del amplificador

En cuanto a la electrónica, las dos PCB's originales del amplificador están diseñadas a una sola cara y con pistas relativamente gruesas por lo que no es complicada su fabricación mediante métodos caseros. Aunque el diseño de estas dos tarjetas se puede descargar directamente de la red, para la pcb de la fuente de alimentación se tuvo que rediseñar para adaptar los footprints de algunos condensadores al tamaño adecuado.

En un primer momento se construyeron las placas siguiendo el diseño original, pero, con idea de facilitar el trabajo a la hora de hacer modificaciones durante el desarrollo del proyecto, se fabricaron dos nuevas placas "en espejo" dejando la cara de cobre en la parte superior. De esta manera se hacía mucho más sencillo cambiar las resistencias y condensadores por otros de diferentes valores sin necesidad de desmontar las placas del chasis.

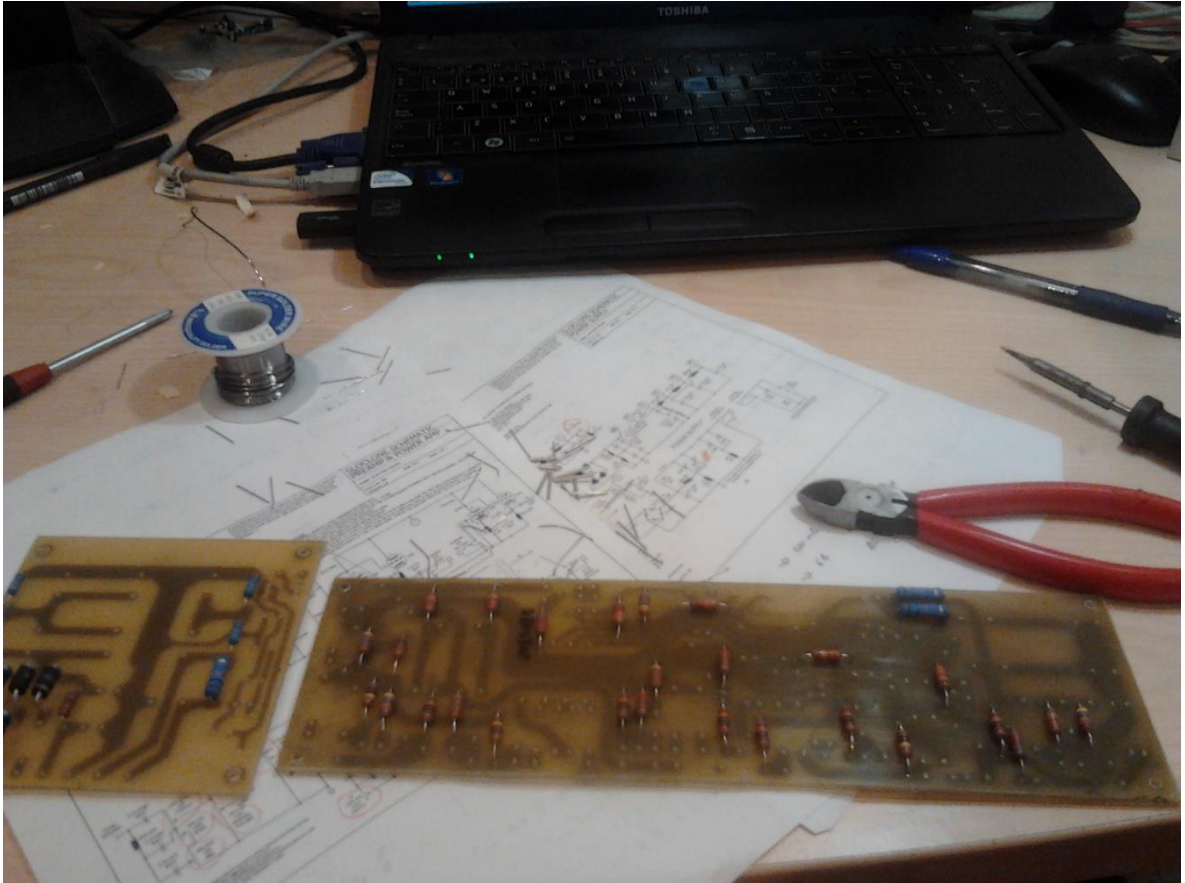


Figura 28: "Montaje de las PCB's del amplificador."

El cableado se hizo siguiendo fotos del amplificador original tratando de mantenerlo lo más limpio posible y evitar así posibles ruidos. Es importante en estos circuitos ser particularmente cuidadoso y cablear las masas en estrella conectando todas en un mismo punto.

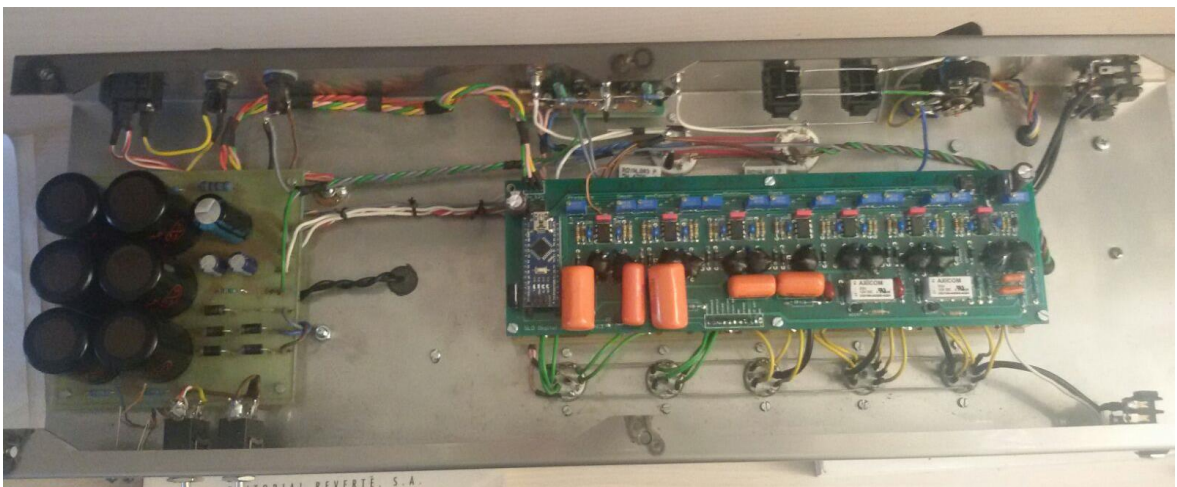


Figura 29: "Montaje final del amplificador construido."

4.3.7. Modificaciones del diseño original del amplificador

La configuración refiere al número y a la disposición de las válvulas. Los términos comunes para describir configuraciones de válvulas de salida son “**single-ended**”, “**Push-pull**”, “**paralelo**”. La “clase de operación” describe cómo las válvulas (en cualquier configuración) se polarizan para operar. Encontramos clases de tipo A, B, A/B. Hay incluso una clase C que se ha utilizado para la transmisión de radio en alta potencia, no para audio. [6]

A pesar de que se intentó ser lo más fiel posible al circuito original, finalmente se optó por añadir una modificación al circuito de polarización (*bias*) para poder utilizar válvulas sin emparejar en la etapa de potencia.

Esta etapa del amplificador está compuesta por una válvula ECC83, triodo doble funcionando como inversora de fase para separar el semiciclo positivo y negativo de la señal de audio, y dos válvulas 6L6CG conformando un amplificador clase AB en configuración *Push-Pull*. Para su correcto funcionamiento, las válvulas de potencia en reposo deben tener una corriente continua de polarización o *bias* (aproximadamente 30mA). Esta corriente se fija a partir de un circuito de la fuente de alimentación que provee una tensión negativa de -50v a la válvula y que se puede regular mediante un potenciómetro, o *trimmer*, manualmente para ajustar la corriente de forma muy precisa.

Generalmente, este tipo de amplificadores necesita montar válvulas emparejadas. Esto es porque un único circuito de bias regula todas las válvulas. Si bien no es difícil encontrar válvulas emparejadas a la venta, estas son algo más caras.

Por esto se decidió modificar dicho circuito de Bias para dar un ajuste independiente a cada válvula permitiendo un ajuste más preciso sin necesidad de utilizar válvulas emparejadas.

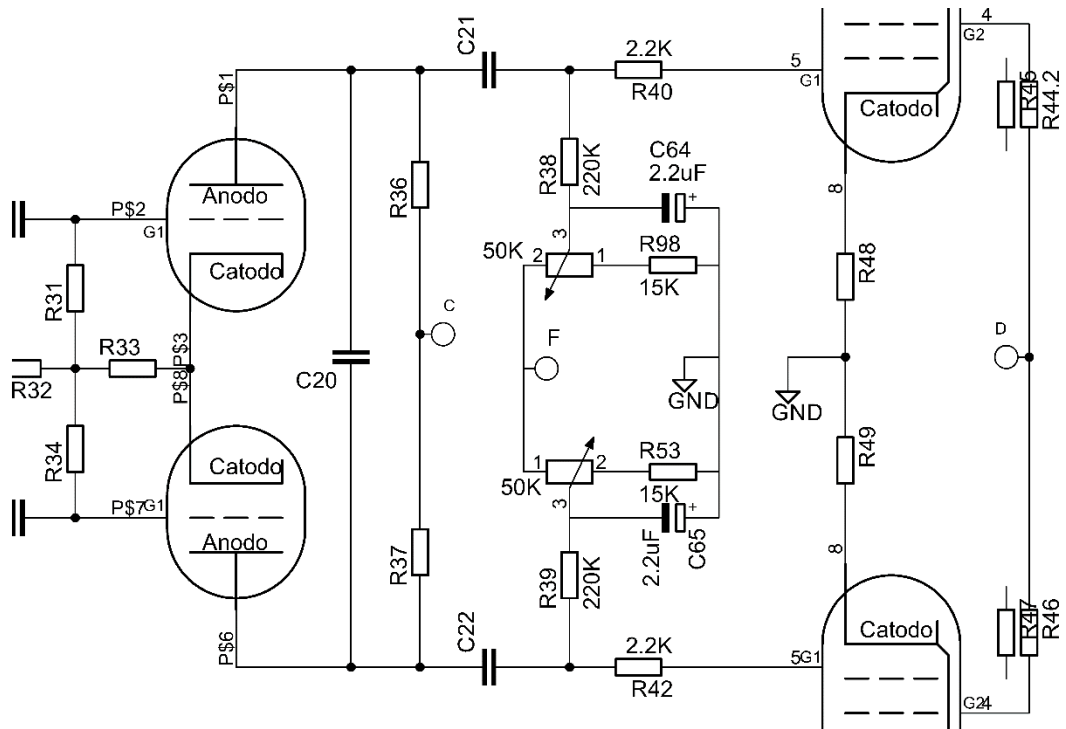


Figura 30: "Circuito modificado de BIAS"

En la figura 14 se ve la forma de implementar dicha modificación de manera sencilla. Se diseñó una pequeña pcb (fig15) que alojaría los trimmer de ajuste fijados en el panel trasero del chasis con las resistencias del divisor resistivo. Es necesario ajustar estas resistencias una vez montado el amplificado para obtener un rango de voltaje entre -45v y -55v en el pin 5 de cada una de las válvulas de potencia. De no hacerlo se podrían llegar a quemar las válvulas de potencia.

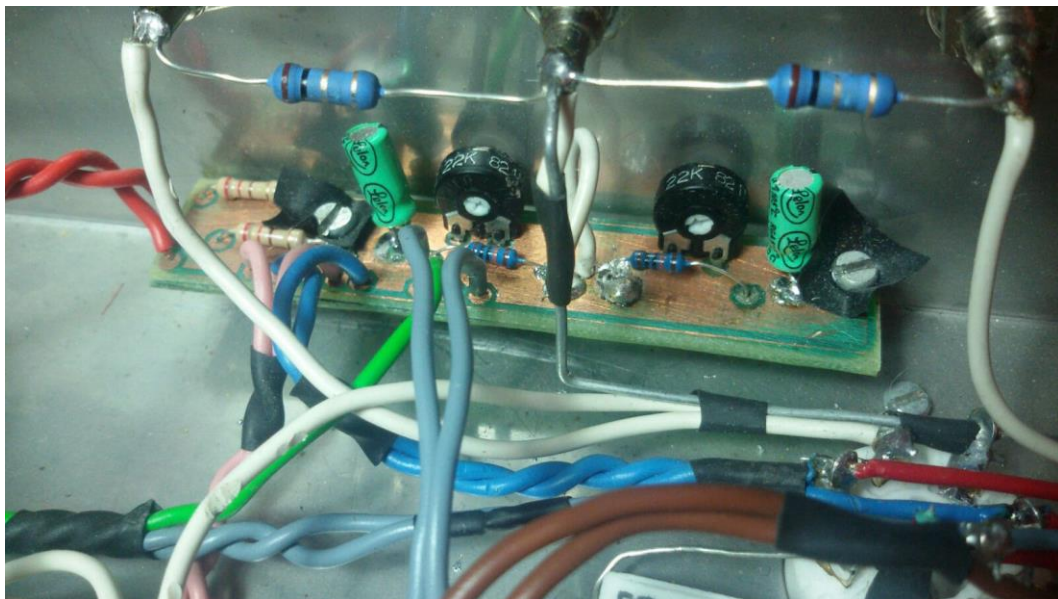


Figura 31: "Pcb diseñada con el circuito modificado para BIAS independiente"

4.4. Desarrollo del firmware del microcontrolador

Para el desarrollo del firmware en esta parte se utilizó el entorno de programación propio de Arduino. El firmware de control del amplificador es bastante sencillo; una trama de datos es recibida por el módulo bluetooth y este la transmite al Arduino por el puerto serie, el firmware se encarga de decodificar estas tramas y enviar los comandos necesarios para controlar los dos relés que controlan el cambio de canal. Por otro lado, también se utiliza la librería “wire” para la comunicación I²C con los potenciómetros digitales.

El código típico de Arduino diferencia tres partes diferentes:

- Declaración de variables globales, definiciones y funciones.
- Void setup: donde se definen los puertos de entrada y salida.
- Void loop: donde se escribe el programa principal.

Los potenciómetros digitales utilizados tienen una memoria interna volátil, esto significa que se pierden los datos después de un reset. Lo primero que hace el microcontrolador es escribir todos los potenciómetros a cero al iniciar el sistema. A continuación, se lee continuamente el puerto UART, cuando un nuevo comando es recibido se utiliza una función switch para interpretar qué variable se desea modificar (volumen, bass, Middle, ...), después se escribe el potenciómetro digital correspondiente a través del bus I²C o bien se cambia el estado del pin de salida si lo que se quiere hacer es conmutar los relés.

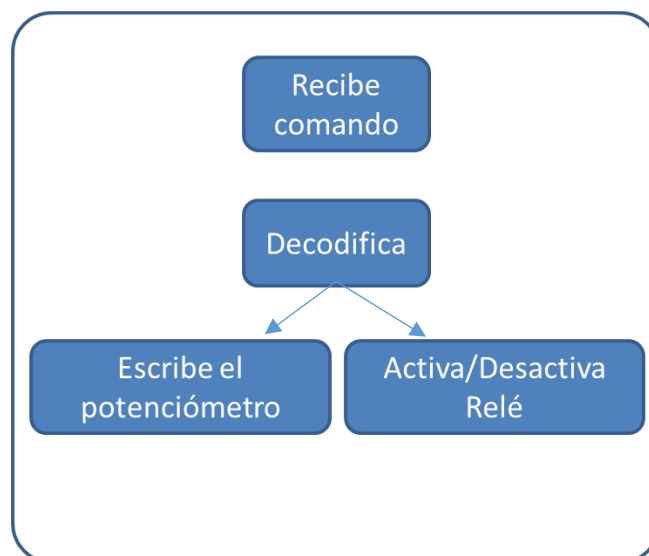


Figura 32: “Diagrama de bloques del funcionamiento del firmware”

Para simplificar el código se han utilizado tres funciones:

- ***void escribeOptoAcoplador(int val)*** Esta función transmite el dato “val” a través del puerto I²C. Cada potenciómetro digital tiene un pin para activarlo en estado lógico alto por lo que previamente se tiene que haber puesto en estado lógico alto el correspondiente pin de Arduino que active el potenciómetro al que se desea enviar el dato.
- ***void leeme(int total,int avail)*** Esta función guarda los datos recibidos por UART en un array de 20 posiciones utilizado como buffer de entrada que luego se leerá desde el código principal para interpretar la información recibida.
- ***int leeNumero(char *lee)*** Esta función convierte los números de tipo ASCII a un valor de tipo “int” que será el que se envíe a través del bus I²C

4.5. Pruebas y mejoras

Una vez finalizado el montaje completo del amplificador se procedió a realizar la puesta en marcha del mismo.

En un primer momento se tuvieron bastantes problemas con la etapa de potencia. Las resistencias del nuevo circuito de bias estaban mal dimensionadas, dando una tensión de -20v en el pin 5 de las válvulas de potencia, esta tensión no era lo suficientemente negativa lo que provocaba que una corriente excesiva circulara por las válvulas en reposo llegando a calentarlas demasiado.

Por otro lado, el transformador de salida se quemó durante las pruebas iniciales. Al desmontarlo se observó que, el aislamiento entre los bobinados no había quedado bien cubierto. Al alimentar el transformador con 498v de tensión, el esmalte de poliuretano que cubre el hilo de cobre no resistió al campo eléctrico y saltó un arco que quemó el bobinado primario y lo dejó en cortocircuito.

Se volvió a rebobinar el transformador entero, siendo esta vez más meticuloso con el aislamiento entre bobinados. Así mismo, se recalcularon las resistencias del circuito de bias para ajustar la tensión de polarización a unos valores normales.

Una vez solucionados estos problemas, se puso en marcha el amplificador y se testeó que todo el control inalámbrico funcionara correctamente. Como ya se comentó en el diseño del PCB del control digital, los planos de masa no se diseñaron para separar el circuito digital del analógico. El mal diseño de esta PCB da como resultado que se introduzca ruido audible de alta frecuencia a la salida del amplificador durante la transmisión de los datos.

Para solucionar este problema se desoldaron todos los componentes conectados a la masa del circuito digital para aislarla y conectarla en puntos distintos. De esa forma desapareció el ruido audible de alta frecuencia. En un futuro diseño esto se tendrá en cuenta desde un principio.

Además, se detectó una oscilación de alta frecuencia (200KHz) cuando el volumen se lleva a cero. Esta oscilación desaparece tan pronto como el volumen se incrementa un poco. Todavía no se ha dado con el origen de esta.

Para las pruebas se utilizó un smartphone que enviaba los comandos a través del módulo bluetooth mediante los cuales se controlaban los sonidos y el volumen del amplificador.

5. PARTE 2: Diseño y construcción del footswitch

Una vez construido el amplificador se hacía necesario un dispositivo a medida que permitiera al usuario controlar todos los parámetros a voluntad. Así pues, se contempló la posibilidad de diseñar un footswitch que dispusiera todos los controles necesarios y que sustituyera a los potenciómetros originales del amplificador, así como unos pulsadores de pie que permitieran al músico realizar cambios en los sonidos sin necesidad de utilizar las manos.

De esta manera, no sólo se conseguiría controlar el amplificador de forma remota, sino que, además, se podrían programar y almacenar diferentes configuraciones dando la posibilidad al músico de cambiar entre diferentes sonidos previamente almacenados.

5.1. Diseño del circuito esquemático

En el anexo 3 se puede encontrar el circuito esquemático completo utilizado en el diseño de este dispositivo.

Siete encoders incrementales son leídos por un microcontrolador, cada uno rodeado por un anillo de 16 leds que serviría a modo de indicador luminoso. Los switch que conmutan el canal limpio, Crunch, Overdrive y Brillo, se sustituyen por tres pulsadores manuales cada uno con un led indicador. A todo esto, se añadieron seis pulsadores de pie con sus correspondientes indicadores led.

En la figura 32 se muestra la disposición de los diferentes elementos.

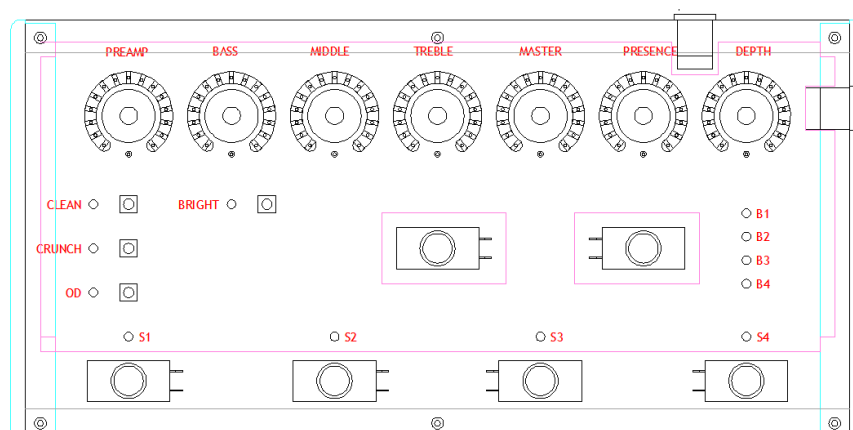


Figura 33: “Diseño en CAD del Footswitch controlador”

Se utilizaron 4 microcontroladores pic16f88, cada uno leería dos encoders y controlaría sus correspondientes anillos luminosos. Por otro lado, un microcontrolador “maestro” pic16f1939, de 40 pines, sería encargado de recibir y transmitir datos a los demás microcontroladores mediante comunicación I2C, detectar si alguno de los pulsadores es accionado, prender o apagar los leds de los pulsadores y transmitir la información mediante una comunicación serial a través de un módulo bluetooth.

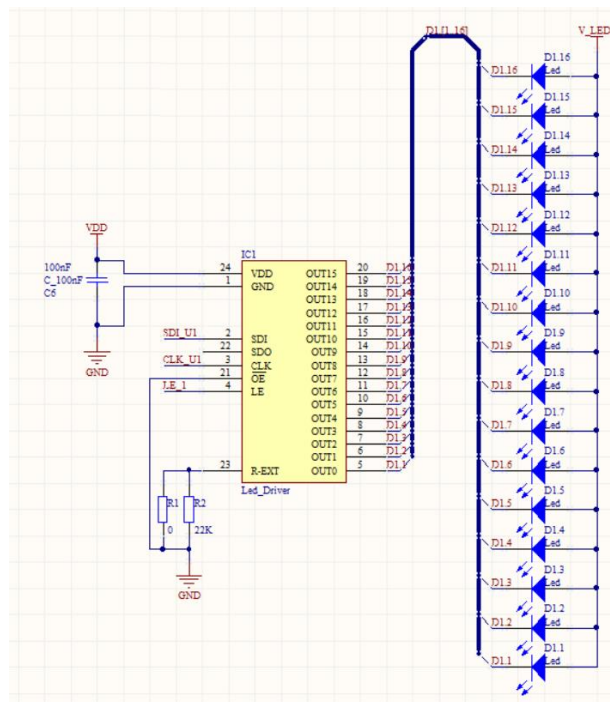


Figura 34: “Driver leds”

Para el control de los leds, se utilizó un circuito integrado TLC5925 (IC1). Este chip tiene varios drivers internos y es capaz de controlar 16 leds ajustando su intensidad mediante una resistencia externa R1 y R2. El control se hace mediante una comunicación serial de tipo síncrono (SDI & SCL) que almacena los últimos 16 bits recibidos en un registro de desplazamiento. Estos activan o desactivan las salidas del chip cuando el latch LE se pone en estado lógico alto. De esta forma se consigue optimizar los pines del microcontrolador al mismo tiempo que se tiene un mayor control de la luminosidad de los leds.

Cada TLC5925 trabaja como “sumidero” de corriente. Los ánodos de los 16 leds se conectan 3.3v proporcionados por un regulador de tensión TC1262-3.3VDB capaz de suministrar 500mA.

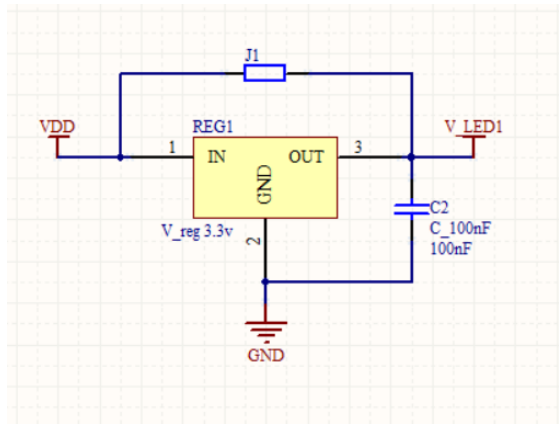


Figura 35: “Regulador 3,3v”

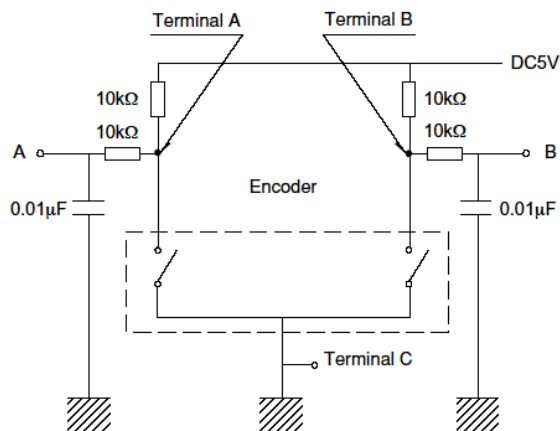


Figura 36: “conexión de encoder mecánico y señal de salida”

Por otro lado, se utilizaron encoders incrementales EC11 de tipo mecánico (no optoacoplados). Estos dispositivos incorporan dos switches desfasados entre sí que generan dos señales cuadradas desfasadas 180° mediante las cuales se puede determinar el sentido del giro.

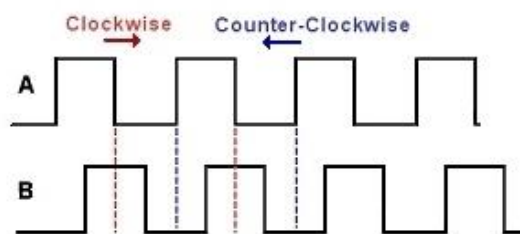


Figura 37: “Señal típica de un encoder incremental.”

Al funcionar con contactos mecánicos, este dispositivo es susceptible de introducir ruido por rebotes al microcontrolador, dando como resultado posibles lecturas erróneas. Para evitar este

problema, se diseñó un circuito de acondicionamiento formado por un filtro de paso bajo RC de primer orden y dos Schmitt-trigger. Así se consiguió obtener dos señales cuadradas perfectas libres de ruido.

En la figura 37 se puede ver el circuito completo utilizado para acondicionar las señales de salida del encoder y el switch incorporado. Dos resistencias pull-up (R7 y R8) junto con los switch del encoder determinan el estado lógico de salida. Dos filtros de paso bajo formados por las resistencias (R9 y R10) junto con los condensadores (C9 y C10) eliminan el ruido producido por los rebotes, pero introducen un retraso en la rampa de subida y de bajada de la señal. Por último, dos trigger Schmitt corrigen el retraso del filtro dando como resultado una señal cuadrada con flancos de subida y de bajada más rápidos.

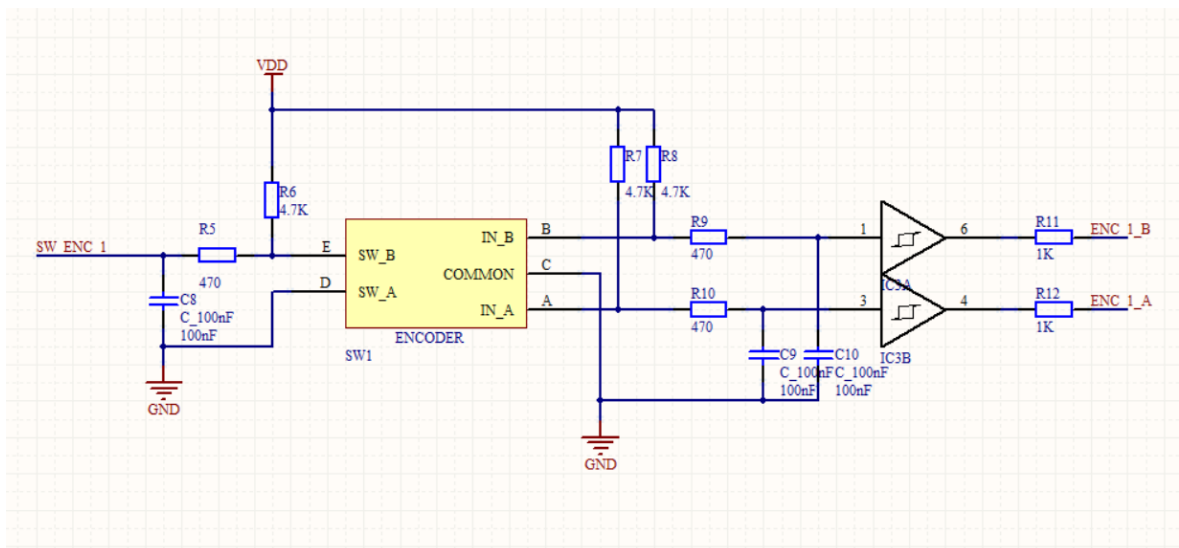


Figura 38: "conexión y acondicionamiento de un encoder"

Todos los pulsadores están provistos de un filtro de paso bajo que elimina el ruido producido por los rebotes mecánicos.

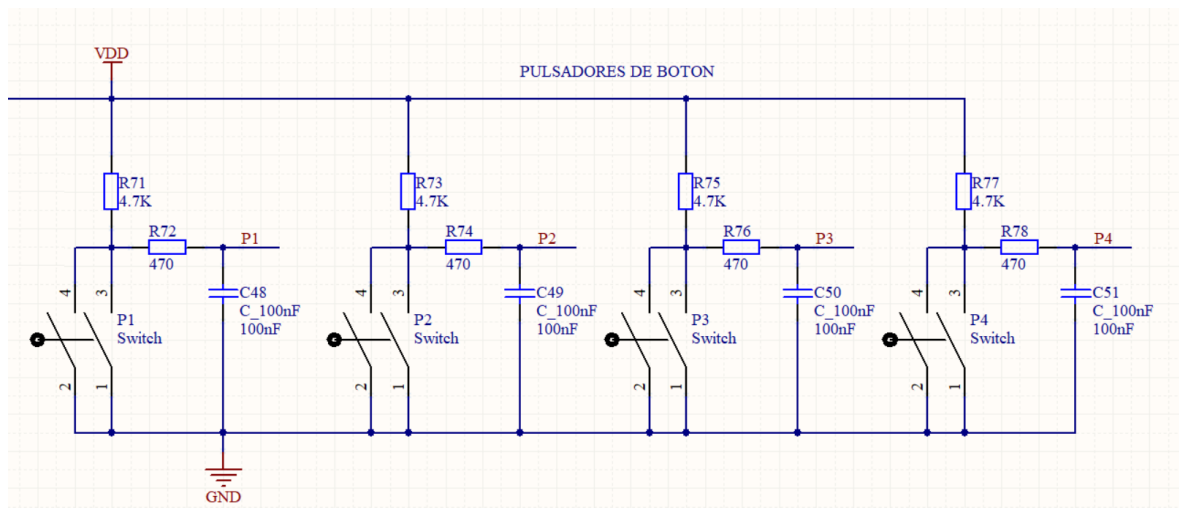


Figura 39: “conexión de cuatro pulsadores de botón con acondicionamiento”

Conectado al puerto de comunicación UART del pic16f1939, se puede encontrar un módulo bluetooth HC-05. Este módulo comercial, funciona como esclavo y establece una comunicación serial “transparente” entre el emisor y el receptor.

Es habitual encontrar este dispositivo montado sobre una pcb provista de su propio circuito acondicionador y un conector molex que facilita su conexión en placas ariston de prototipado.

Con el objetivo de reducir el tamaño final del dispositivo que se estaba diseñando, se decidió implementar el circuito de acondicionamiento del bluetooth (regulador de tensión, resistencias, switches, ...) directamente sobre la pcb principal, evitando de esta forma usar conectores innecesarios.

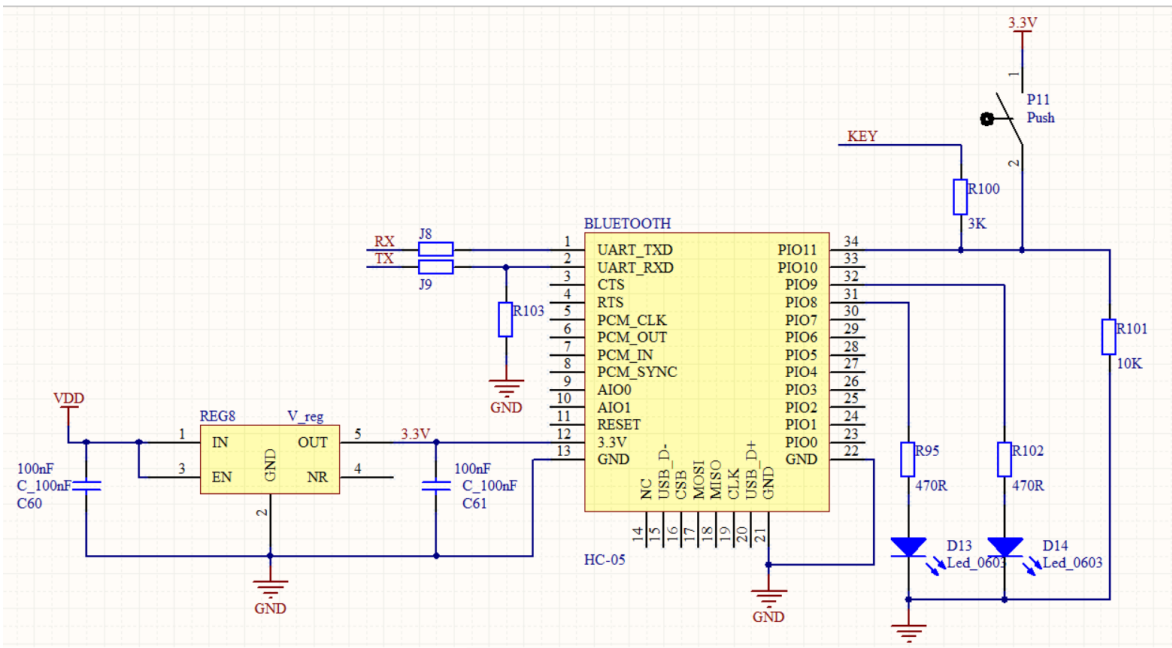


Figura 40: “módulo bluetooth”

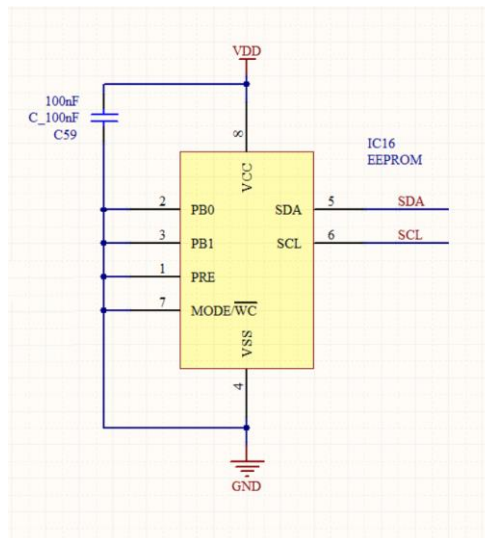


Figura 41: “memoria EEPROM”

Para el almacenamiento permanente de las diferentes configuraciones (volumen, tono, canal, ...) se utilizó una memoria EEPROM 24c256. Este dispositivo provee una memoria no volátil capaz de almacenar 256 bytes en cuatro bancos diferentes. La comunicación con el microcontrolador se hace mediante el estándar serial síncrono I2C.

En la memoria se tendrían que poder almacenar 16 efectos diferentes cada uno de los cuales tendría la información de todos los parámetros controlables del amplificador. Esto es 8 bytes por

cada efecto daban como resultado 128 bytes de espacio necesario. Dejando el resto de memoria libre para almacenar otro tipo de información.

Por último, para proveer de energía suficiente a todo el circuito, se implementó un convertidor dc/dc de tipo Buck capaz de dar 3,5A de corriente manteniendo una tensión estable y constante de 5 voltios independiente mente de la tensión de entrada.

El diseño de la fuente de alimentación está basado en el integrado LT3680 de Linear Technology, este pequeño chip incorpora los switches de potencia y lazos de control. Esto simplifica enormemente el diseño del circuito siendo necesario únicamente una bobina (L1) y un condensador (C68) de filtrado a la salida. La tensión de salida es ajustada proveyendo un voltaje de feedback mediante el divisor resistivo formado por R98 y R99

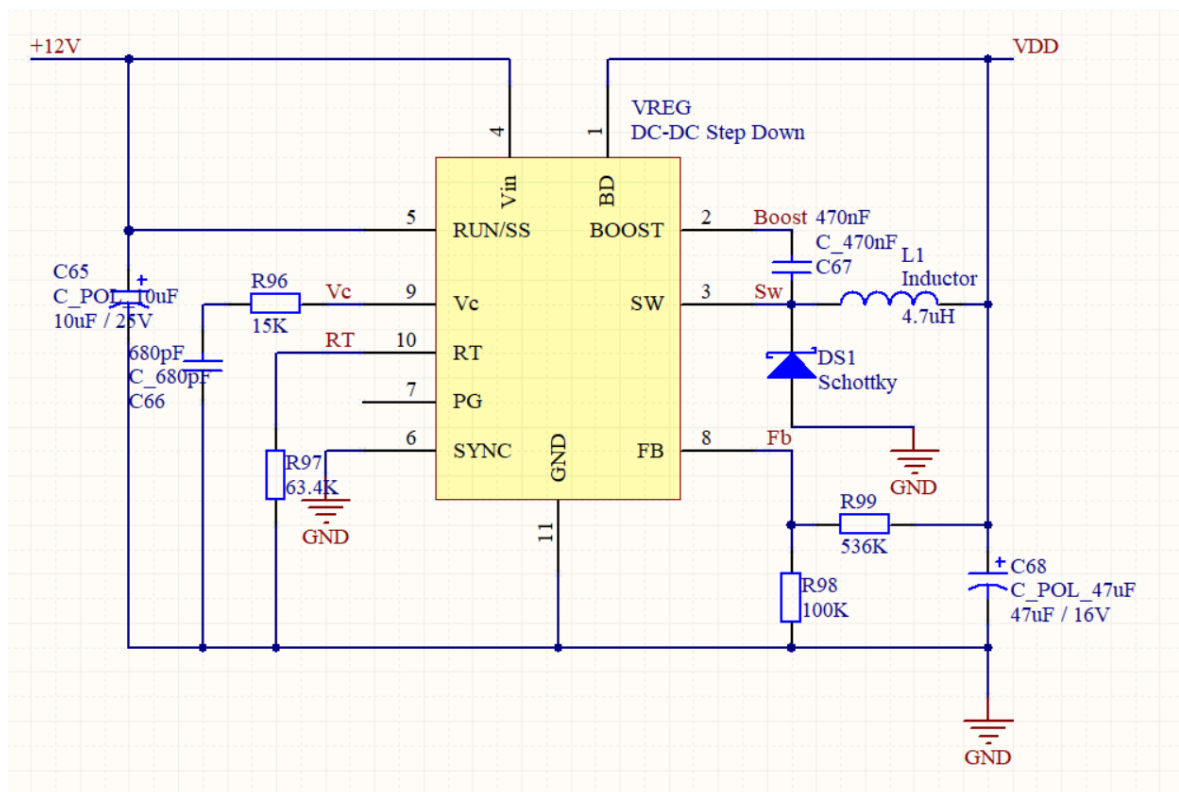


Figura 42: “fuente de alimentación regulada”

Una vez terminado el proyecto se vio que hubiera sido más sencillo utilizar un único microcontrolador que controlara todos los encoders utilizando la interrupción por cambio de estado. Esto ahorraría tiempo, espacio y simplificaría la escritura del firmware.

Por otro lado, en un principio se calculó una corriente de entre 2 y 3 amperios necesaria para alimentar todo el circuito debido al consumo de todos los leds. Por este motivo se descartó la

opción de utilizar un regulador típico como pudiera ser un 7805 que alimentara los circuitos integrados. En lugar de eso se implementó una fuente conmutada regulada de 5 voltios de salida y 25 vatios.

Esto también se considera un fallo porque cada uno de los drivers tiene su propio regulador de 3,3 voltios ligeramente sobredimensionado que podría haber tomado la tensión de 9 o 12v directamente. Por lo que el consumo de corriente de la tensión de 5v quedaría muy reducido al alimentar únicamente los circuitos integrados dando como resultado una tensión de alimentación más estable.



Figura 43: “Vista cara Top de la pcb del footswitch con los componentes”

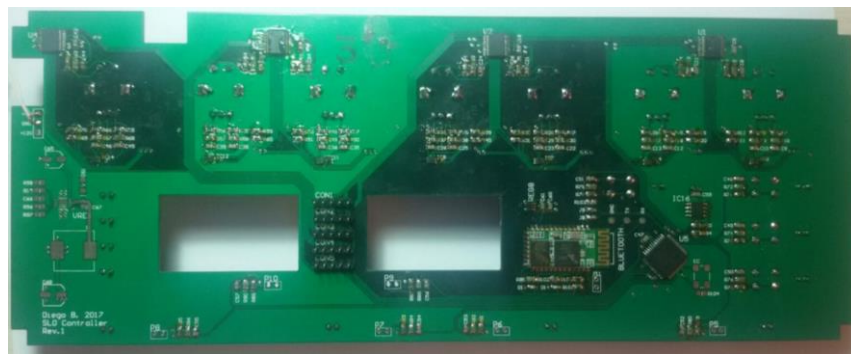


Figura 44: “Vista cara Bottom de la pcb del footswitch con los componentes”

5.2. Diseño mecánico del dispositivo

Como producto final se buscaba un diseño minimalista, de tamaño compacto, tan fino como fuera posible y fácil de transportar, pero al mismo tiempo dejando los pulsadores de pie lo suficiente mente separados como para no tener problemas al accionarlos. Todo esto siguiendo el diseño típico de otros footswitch comerciales.

El chasis se diseñó para ser cortado por láser y plegado en chapa de 1mm de espesor. Dos tapas laterales de plástico serían impresas en 3D y una pegatina (faceplate) con toda la serigrafía le daría el acabado final.

La altura total quedó determinada por los pulsadores de pie, que desafortunadamente tienen un tamaño exageradamente grande. Dando como resultado el diseño final.

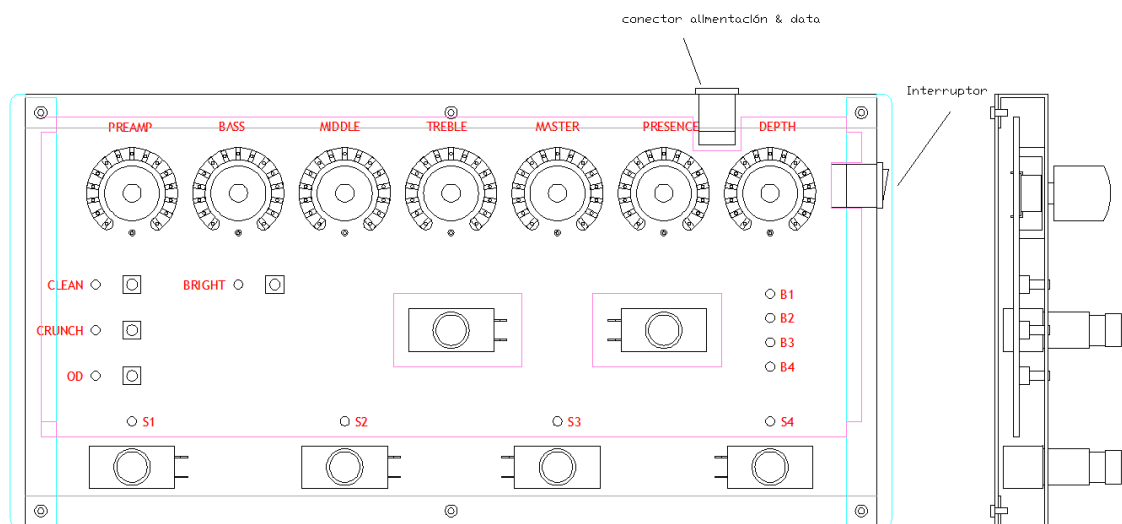


Figura 45: “Diseño en CAD del dispositivo Footswitch”

Los anillos luminosos están formados por 16 leds SMD con footprint 1206 y, en el centro del anillo, se ubica el encoder incremental.

5.3. Diseño del PCB

A diferencia de la PCB del amplificador, en la que se utilizaron principalmente componentes “through hole”, en el diseño de la nueva PCB se utilizaron componentes de montaje superficial. Estos componentes son de tamaño mucho más reducido y más complicados de soldar, pero dan un acabado mucho más profesional y limpio. El software utilizado para este diseño fue “Altium Designer”.

Esta segunda PCB, se mandó a fabricar a partir de los gerber lo que permitió hacer un diseño de cuatro capas dónde las dos capas internas serían planos de alimentación (+5v) y tierra (Gnd). Las pistas de cobre se podían trazar con una anchura mucho menor permitiendo ajustar el diseño a las medidas propuestas en el diseño mecánico.

A partir del esquema, y utilizando como modelo los planos de Autocad con el diseño mecánico, se emplazaron los encoders con sus correspondientes anillos de leds, los switch y los conectores que servirían para conectar los pulsadores de pie mediante un cable lo más corto posible.

Una vez planteados los componentes que tenían una posición específica dentro del diseño se procedió a ubicar el resto de componentes tales como resistencias, condensadores y los diferentes circuitos integrados.

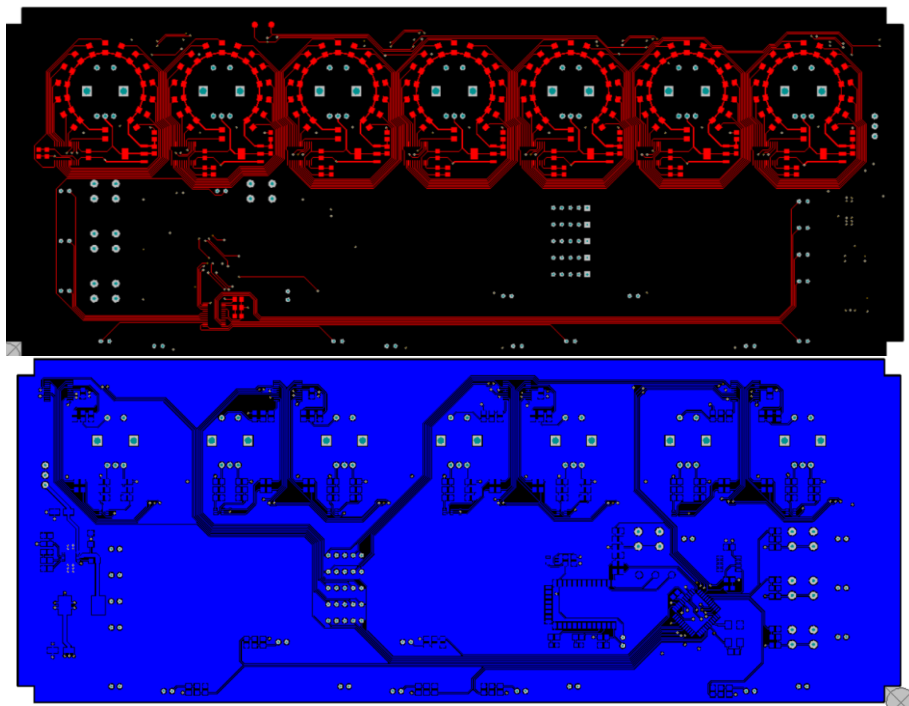


Figura 46: “Diseño del Layout del Footswitch”

Dado que el circuito no trabaja con altas frecuencias, no se tendrían problemas de crosstalk, jitter, ... Por lo que no se tuvo ninguna consideración en el enrutado de la pcb más que hacerla lo más simple y limpia posible. Evitando, en la medida de lo posible, el uso de micro vías.

El diseño del pcb se podría haber hecho de un tamaño mucho más reducido, pero, dada la necesidad de separar los pulsadores de pie entre sí, finalmente se obtuvo un tamaño exageradamente grande en el que la mayor parte quedó vacío.

El montaje de los diferentes componentes fue bastante sencillo, utilizando flux como ayuda para la soldadura, un estañador y unas pinzas de precisión.

El circuito integrado LT3680 que incorporaba la fuente de alimentación tiene un pad térmico en la parte inferior para ayudar a disipar el calor generado en las conmutaciones. Dado el reducido tamaño de este dispositivo se hizo necesario el uso de un soldador de aire caliente para asegurar una correcta colocación del componente.

5.4. Construcción

Partiendo de un diseño muy pensado, la construcción del footswitch fue bastante sencilla. Todos los componentes se soldaron a mano y se comprobó uno por uno su correcto funcionamiento.

Por otro lado, se cortó por láser un prototipo de chasis en policarbonato. El chasis definitivo estaba pensado para cortar en acero de 1mm y ser plegado posteriormente pero no se pudo hacer por falta de tiempo; por lo que el dispositivo que se muestra es solo un prototipo provisional.

5.5. Programación de los microcontroladores

Una vez montado y comprobado que todos los componentes del circuito funcionaban correctamente, solo restaba programar los 5 microcontroladores que harían funcionar el circuito.

Como 4 de los microcontroladores que incluye el diseño son exactamente iguales, el firmware para estos sería el mismo, cambiando únicamente la dirección de esclavo para la comunicación I2C, mientras que, para el microcontrolador principal, se programaría un código diferente.

El entorno de programación elegido para esta tarea fue MPLABX de la marca microchip junto con el programador PICKIT3 y el código se escribió en lenguaje C.

5.5.1. PIC16f88

Este pic dispone de un oscilador interno de 8MHz que se aprovechó para evitar utilizar un cristal externo dado que no se requería demasiada precisión en el reloj.

Como en la comunicación I2C, sólo uno de los dispositivos puede funcionar como maestro, se utilizó un pin auxiliar a modo de flag. De esta manera, cuando el pic16f88 quisiera enviar datos por el bus I2C, solo tendría que poner el flag en estado lógico alto y esperar a ser leído por el microcontrolador maestro.

En el bucle principal se lee continuamente el estado de los pines conectados a los encoders. Si uno de los encoders es accionado el pic automáticamente cambia el display de leds actualizándolo al nuevo valor dado por el encoder. Acto seguido pone el estado lógico alto el flag para avisar al maestro que un nuevo dato está listo para ser leído.

La comunicación I2C del dispositivo esclavo se controla desde la interrupción. Así pues, tan pronto como el maestro genera la condición de inicio de comunicación en el bus, el programa salta a la interrupción y se ejecutan las subrutinas.

Este pic está programado para recibir datos y cambiar el estado de los displays. Esto es necesario cuando se lee un nuevo efecto desde la memoria EEPROM y se desea mostrar los nuevos valores de cada variable (volumen, tonos, ...).

Por último, si uno de los switch incorporados en los encoders es pulsado durante más de 1s, se envía una orden al microcontrolador principal para indicar que el valor actual ha de ser almacenado en la memoria EEPROM. Para controlar el tiempo que se mantiene pulsado dicho switch se utiliza el TMR0.

5.5.2. PIC16F1939

Este microcontrolador es el encargado de leer todos los pulsadores de botón y los pulsadores de pie, así como de leer y escribir la memoria EEPROM y transmitir los datos al amplificador mediante comunicación UART a través del módulo bluetooth HC-05.

El cuerpo del programa principal se divide en tres modos de operación diferentes.

Modo Bloqueado:

En este modo espera a conectarse con el amplificador antes de empezar a enviar cualquier dato. Tan pronto como la comunicación bluetooth es establecida, se manda una instrucción desde el amplificador para cambiar al modo de operación normal.

Modo Master:

Este modo permite al usuario almacenar datos directamente en la memoria EEPROM a través del puerto serie, cambiar el nombre del dispositivo y hacer un reset total que limpia los bancos de la memoria EEPROM.

Modo Normal:

En este modo de operación el pic16f1913 realiza todas las tareas de lectura de los switches y comunicación con los diferentes dispositivos periféricos.

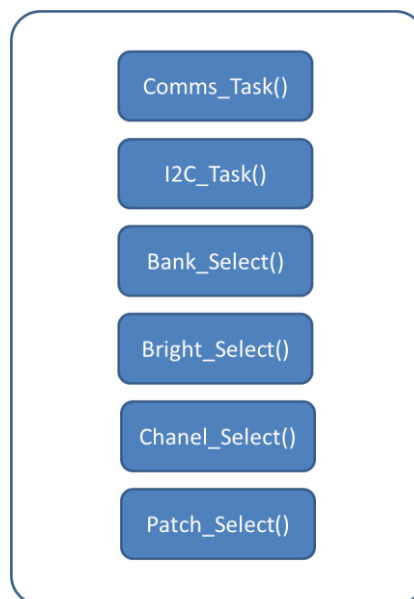


Figura 47: “Diagrama de bloques “main loop” para el Firmware del PIC16F1939 en modo normal de funcionamiento”

***Comms_Task();**

Esta rutina controla el proceso de comunicaciones de entrada UART. Para la comunicación serial se utiliza array de 100 posiciones a modo de buffer circular controlado por un puntero para los valores de entrada y un puntero para los valores de salida.

Un signo de exclamación “!” avisa del inicio de un nuevo comando. Los comandos recibidos se almacenan en un array auxiliar hasta que se pulsa la tecla “enter”.

Una vez recibido un comando del tipo: ! _ _ ... _ \n\r(enter). Se accede a una subrutina que interpreta el comando y actúa en consecuencia. De esta manera se pueden conmutar entre los diferentes modos de operación. Si se introduce la contraseña y se entra en el modo maestro se pueden almacenar diferentes efectos preconfigurados mediante comunicación serial de forma sencilla.

Las comunicaciones de salida no tienen una función específica. Utilizando la instrucción “printf” se da formato a los valores de salida para ser enviados dependiendo de qué pulsador se ha accionado.

***I2C_Task();**

Esta función es la encargada de las comunicaciones de entrada del bus I2C. El pic 16f1939 es el maestro en la comunicación y, por lo tanto, el que decide cuando quiere leer los pic esclavos. Comprueba continuamente cuando uno de los pines utilizados como “flag” se pone en estado lógico alto. El pic maestro entonces inicia la subrutina de lectura y actualiza los datos de la variable leída. A diferencia de los pic esclavos, esta subrutina no es controlada en la función de interrupción.

***Bank_Select();**

El footswitch tiene la capacidad de guardar cuatro efectos diferentes en 4 bancos distintos. Esto da un total de 16 efectos diferentes. Esta subrutina lee los pulsadores Up y Down que son los encargados de cambiar de banco. Cuando uno de los pulsadores es accionado se cambia la variable y se cambia el display para indicar en qué banco se encuentra.

***Bright_Select();**

Esta subrutina es encargada de leer el estado del pulsador de control de brillo. Este control actúa como flip flop cambiando el estado entre encendido y apagado. Se envían los datos por UART después de cada cambio de estado, se enciende o apaga el led y si el pulsador se

mantiene más de 1 segundo pulsado, se almacena el estado actual en la correspondiente posición de la memoria EEPROM. Para detectar el tiempo de pulsación se utiliza el TMR0.

***Chanel_Select();**

El amplificador original dispone de dos canales: Canal limpio y Overdrive o saturado. El canal limpio a su vez se puede saturar dando una distorsión más ligera llamada Crunch. Estos tres modos de operación eran controlados por dos switch manuales ubicados en el frontal del amplificador o mediante un footswitch conectado con un cable.

En la presente subrutina se leen los tres pulsadores ubicados a la izquierda del dispositivo (Clean, Crunch, Overdrive). Estos pulsadores son los correspondientes a los tres modos de operación. Cuando uno de ellos es pulsado se enciende el led indicador y se envía la información por bluetooth que provoca el encendido o a pagado de dos relés encargados de sustituir los switch originales.

Igual que en la función de brillo, si se mantiene pulsado un pulsador más de 1 segundo, el canal seleccionado se almacena en la posición de memoria correspondiente. De esta manera se pueden configurar los diferentes efectos.

***Patch_Select();**

Cada uno de los bancos tiene cuatro posiciones diferentes (A, B, C y D). Estos son seleccionados con los cuatro pulsadores de pie situados en la parte inferior del dispositivo. Estos pulsadores permiten seleccionar entre los cuatro efectos del banco.

Cuando uno de estos pulsadores es accionado se lee la memoria EEPROM para extraer todos los parámetros almacenados correspondientes al efecto correspondiente a esa posición de banco y efecto. Una vez extraída esa información se envía por bluetooth para cambiar el sonido del amplificador y se mandan los nuevos valores por I2C para actualizar los displays indicadores de los encoders. De esta forma, sin necesidad de mover los encoders, un nuevo efecto ha sido cambiado y el amplificador ha cambiado su sonido, volumen, ...

Si se cambia algún encoder y alguno de los parámetros es modificado (pero NO se mantiene pulsado el encoder más de 1 segundo) al volver al mismo efecto se recupera el sonido original sin las modificaciones. Sin embargo, si se cambian uno o varios parámetros de un efecto, y el pulsador de selección de efecto se mantiene pulsado más de 1 segundo. Todos los nuevos parámetros son almacenados en la memoria EEPROM y el efecto queda de esa manera actualizado.

Nótese que cuando se conmuta entre los diferentes efectos, los anillos luminosos encienden todos los leds hasta el punto en el que se encuentra el encoder. Si el encoder se cambia, todos los leds se apagan y solo uno se mantiene encendido para indicar la posición del encoder. De esta manera se puede saber si ese parámetro ha sido modificado o no. Al guardar en la memoria EEPROM los displays vuelven a encender todos los leds para indicar que el efecto es el guardado en la memoria.

5.5.3. Configuración de los módulos bluetooth.

En la comunicación entre el amplificador y el footswitch se han utilizado dos módulos bluetooth HC-05. Estos módulos tienen un alcance aproximado de unos 10m y pueden trabajar tanto como esclavos como maestros.

Para establecer una comunicación entre ellos es necesario configurar uno como Esclavo y otro como Maestro. Esto hace que cualquier dispositivo se pueda conectar al módulo HC-05 que trabaja como esclavo, pero el maestro únicamente se conectará al módulo cuya dirección tenga almacenada en memoria. Por lo que estará buscando constantemente dicho dispositivo y se conectará a él tan pronto como lo encuentre disponible.

Una vez enlazados entre sí los dos bluetooth se establece una comunicación serial “transparente” entre los dos microcontroladores a los que están conectados. Por lo que se puede trabajar con ellos como si estuvieran conectados mediante un cable.

La configuración inicial de estos módulos se realiza enviando una serie de comandos AT. Con estos comandos se puede cambiar el nombre del módulo, contraseñas, modo de funcionamiento, etc. Para realizar esta configuración se conectó el módulo a un Arduino Mega y enviando directamente los comandos a través del monitor serial.

A continuación, se enumeran algunos de los comandos AT que se utilizaron [7].

AT+ROLE	Permite establecer su rol como maestro o como esclavo.
AT+CMODE	Permite configurar el módulo para que se conecte al dispositivo más cercano sin importar la dirección
AT+PSWD	Permite cambiar el password de conexión.
AT+NAME	Permite cambiar el nombre del dispositivo.

5.6. Conclusiones y líneas futuras

La programación de este dispositivo fue bastante laboriosa. Si bien, en el diseño electrónico se buscaba la máxima simplicidad para facilitar el trabajo de programación. El hecho de utilizar 5 pic diferentes comunicados mediante I2C dio bastantes problemas en la etapa de desarrollo. Eso se hizo así porque la lectura de los encoders no se hacía mediante una interrupción por cambio de estado, sino que se hacía leyendo continuamente los pines, eso mantenía el micro ocupado constantemente sin poder realizar más tareas.

En un posible segundo diseño se implementaría todo en un único microcontrolador con más pines que tuviera varios pines de entrada capaces de interrumpir por cambio de estado para controlar el movimiento de los encoders. Esto facilitará notablemente la programación y el diseño del pcb.

Por otro lado, se considera fallo de diseño la fuente de alimentación utilizada. En un principio se dimensionó la fuente para ser capaz de abastecer a la totalidad de los leds, que sumando todas las corrientes daban un total de cerca de 2 amperios, a partir de la tensión de 5 voltios, que a su vez alimenta al microcontrolador. Más tarde se añadió un regulador de 3,3v a cada anillo de leds y al módulo bluetooth pero no se utilizó ningún regulador de 5 voltios para la memoria EEPROM y lo que es más importante, para los microcontroladores. Esto hace que la tensión de 5 voltios pueda desestabilizarse en un momento dado por el consumo de todos los leds provocando un mal funcionamiento de los microcontroladores.

En nuevos diseños se contempla la posibilidad de alimentar directamente con 9 voltios de corriente continua el circuito y añadir un regulador dc/dc de 5 voltios que controle la tensión solamente de los microcontroladores para hacerla, de esa manera, más estable y evitar posibles malfuncionamientos.

En cuanto a las líneas de desarrollo. Queda para un futuro la posibilidad de implementar una comunicación MIDI que permita controlar el amplificador directamente desde el DAW (software informático). También se contempla la posibilidad de utilizar un faceplate fabricado con una pegatina prefabricada que incorpore los switch de cambio de canal y brillo, lo que haría un diseño más limpio y atractivo.

6. Resumen final

Finalmente se consiguió hacer funcionar el conjunto completo Amplificador + Footswitch de forma exitosa.

- Se consiguió estabilizar la resistencia de un LDR en valores altos de resistencia.
- Se diseñó una PCB de dos capas con componentes con tecnología de agujero pasante. En esta fase del proyecto se aprendió a encargar PCB's profesionales en empresas reales enviando los archivos en formato gerber.
- Se rebobinaron los transformadores de potencia y de salida reutilizando viejos transformadores recogidos de la chatarra.
- Se montaron todos los componentes en el amplificador y se cablearon todas las PCB's entre sí siendo especialmente cuidadoso al conectar las masas del circuito.
- Se consiguió controlar todos los parámetros del amplificador enviando comandos desde un smartphone a través del bluetooth.
- Se diseñó un controlador dotado de varios indicadores luminosos, pulsadores y encoders incrementales además de una memoria EEPROM y un módulo bluetooth.
- Se implementó este circuito sobre una PCB de cuatro capas trabajando en este caso con tecnología SMD.
- Se programaron los 5 microcontroladores del Footswitch utilizando diferentes sistemas de comunicación (I²C, SPI, UART).
- Finalmente se conectó el footswitch con el amplificador y se comprobó que los controles del Footswitch funcionaran correctamente modificando los parámetros del amplificador y se realizaron diferentes pruebas de sonido.

Este ha sido, con diferencia, el proyecto más ambicioso al que el autor se ha enfrentado hasta la fecha en solitario. Se ha tardado aproximadamente 3 años y medio en completarlo desde que se empezó a estudiar los sistemas alternativos a los potenciómetros clásicos de control con la idea de construir un amplificador programable. Sin duda ha sido un reto constante y se ha aprendido mucho en cada una de las etapas del proyecto, tanto teoría electrónica, diseño de PCB's y técnicas de fabricación como en programación de microcontroladores y diferentes comunicaciones. En el propio proyecto se puede ver la evolución en el aprendizaje desde la primera PCB de dos capas con componentes through hole y Arduino hasta la segunda PCB de 4 capas con tecnología SMD con un esquema mucho más elaborado y microcontroladores PIC.

Por otra parte, ha sido un proyecto muy completo dado que se han tenido en cuenta varios aspectos vistos a lo largo de la carrera en diferentes asignaturas:

- Diseño de electrónica básica con amplificadores operacionales.
- Diseño de máquinas eléctricas para los transformadores.
- Diseño mecánico para el chasis.
- Diseño digital para los encoders, registros de desplazamiento, ...
- Diseño de PCB's para las dos nuevas tarjetas necesarias para el proyecto.
- Programación de microcontroladores.



Figura 48: “Construcción final del amplificador montado en su cajón de madera”



Figura 49: “Construcción del prototipo para el footswitch”

7. Bibliografía

[1] <https://goo.gl/Y5k9tC>

[2] <https://goo.gl/uQDhy4>

[3] Analog Devices, “256-Position I²C- Compatible Digital Potenciometer”
AD5245 Datasheet

[4] A. Van Riezenm, “Programable controls for vacuum tube preamplifier”,
US 5 208 548, 4-may-1993

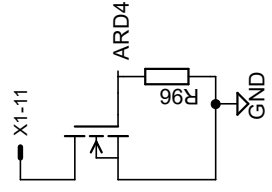
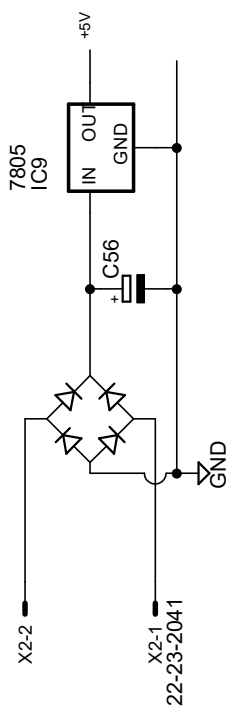
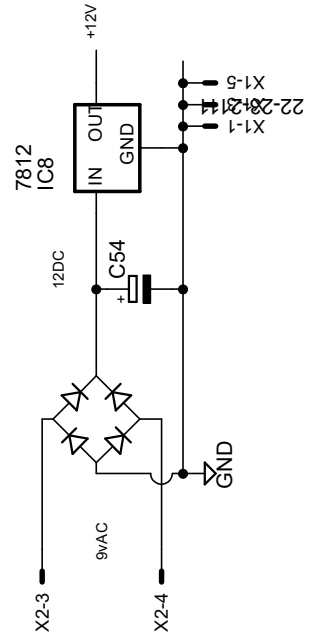
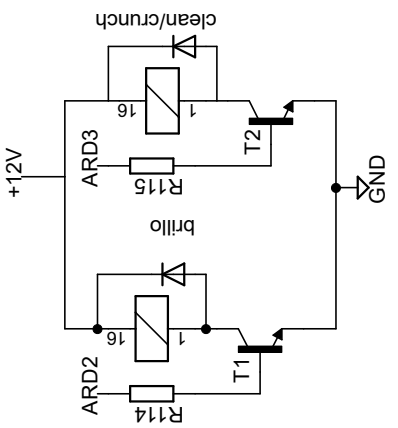
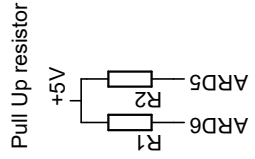
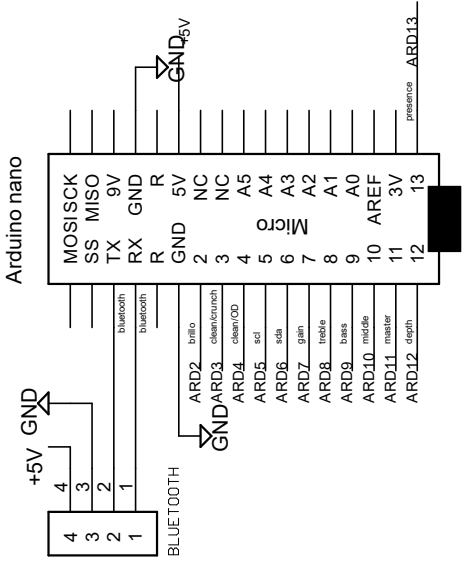
[5] <https://goo.gl/UtJvMa>

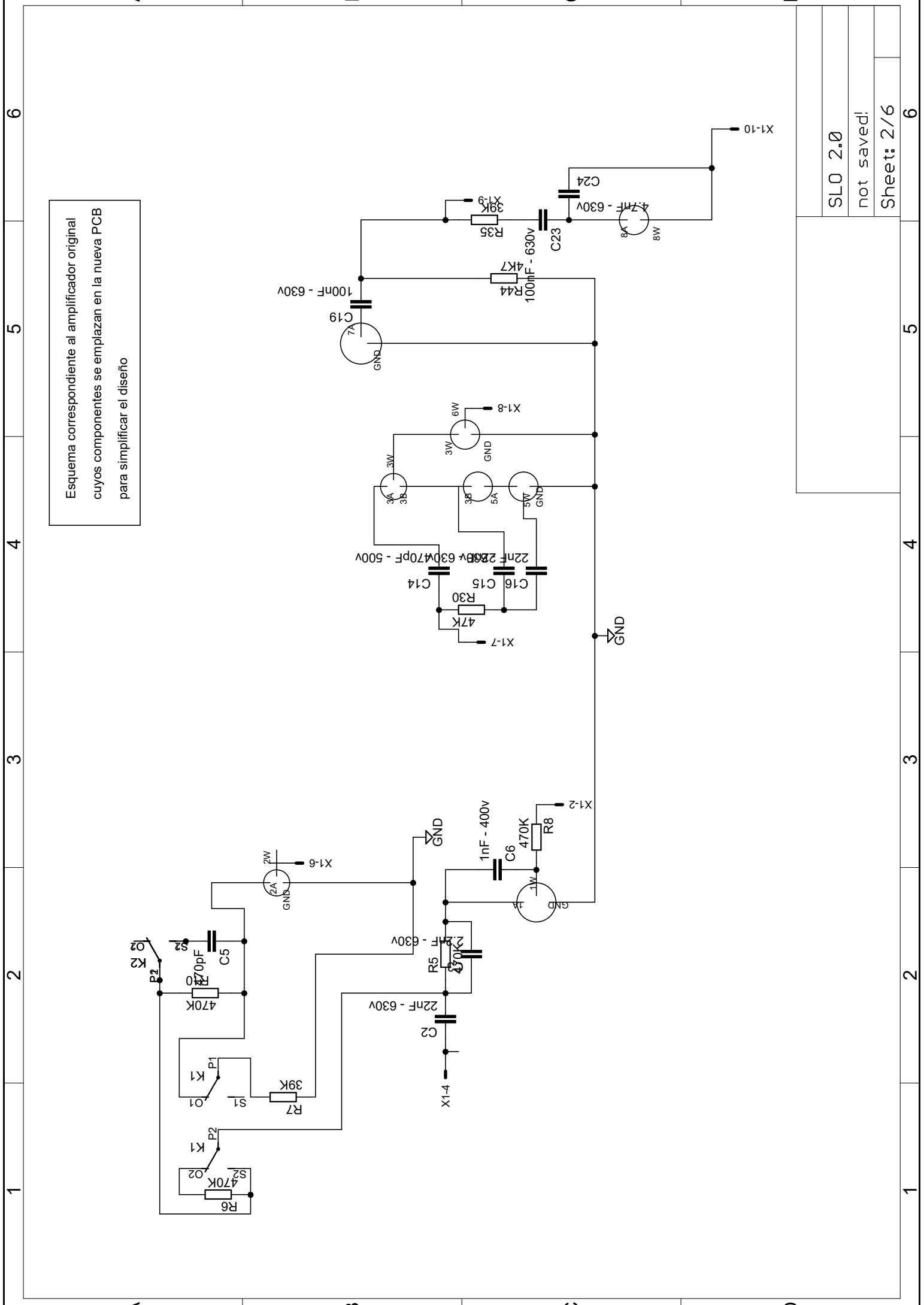
[6] R. Smith, D. Gaetano, “Clase A, Expuesta y Explicada”.

[7] HC Serial Bluetooth Products, “User Instructional Manual”

8. ANEXOS

8.1. Esquema digital & PCB

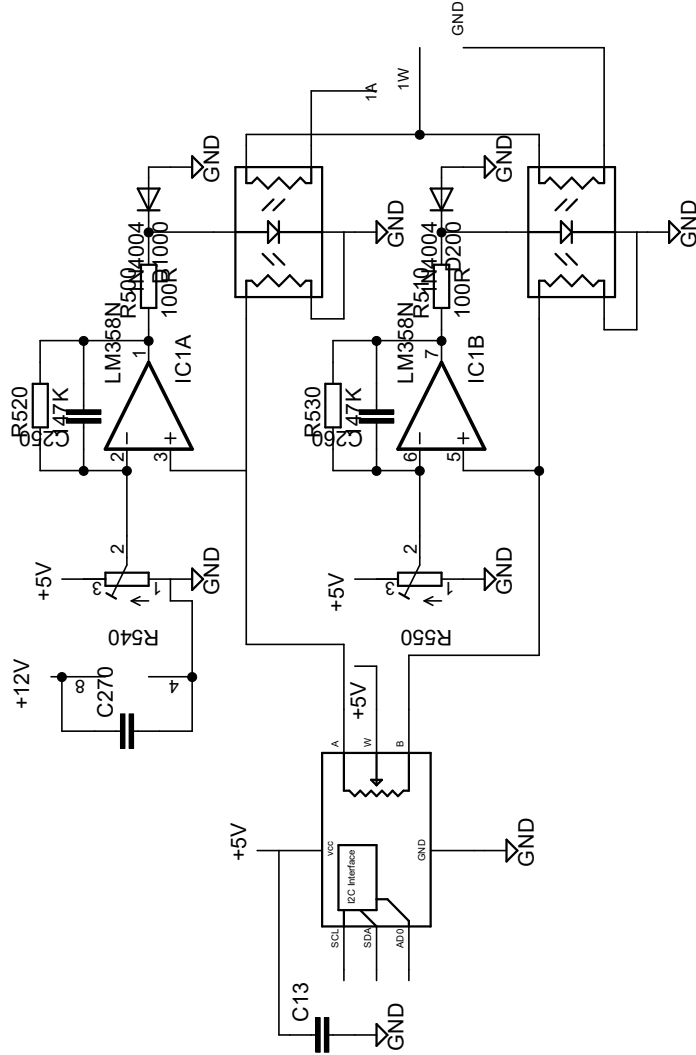




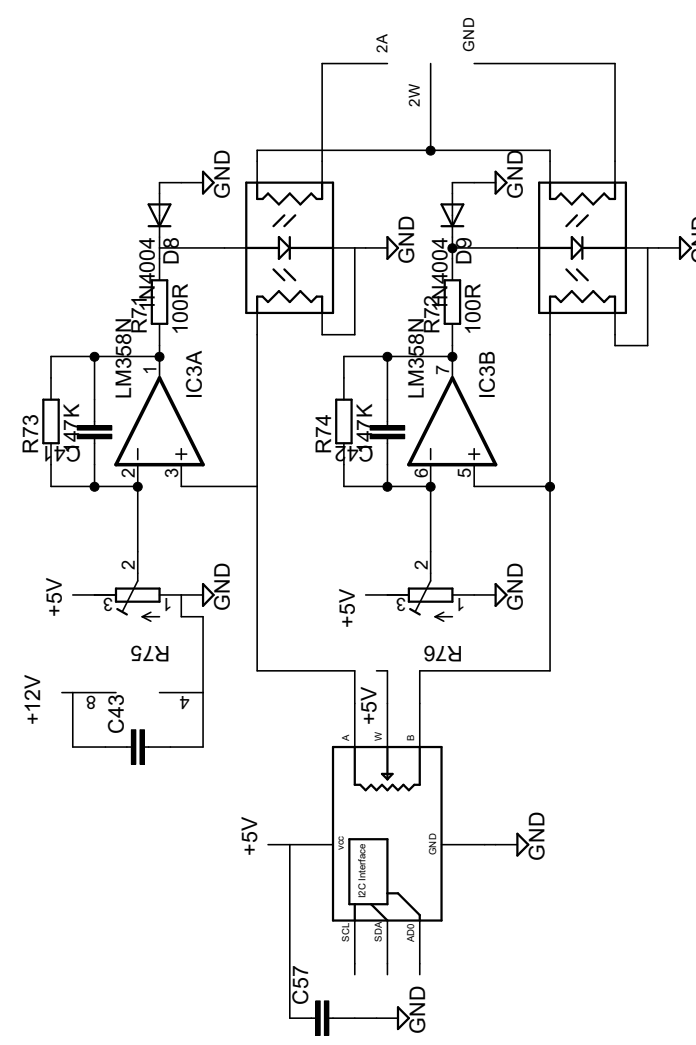
Esquema correspondiente al amplificador original
 cuyos componentes se emplazan en la nueva PCB
 para simplificar el diseño

SLO 2.0	6
not saved!	6
Sheet: 2/6	6

1 Gain OD



2 Gain Clean



A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

A

B

C

D

6

5

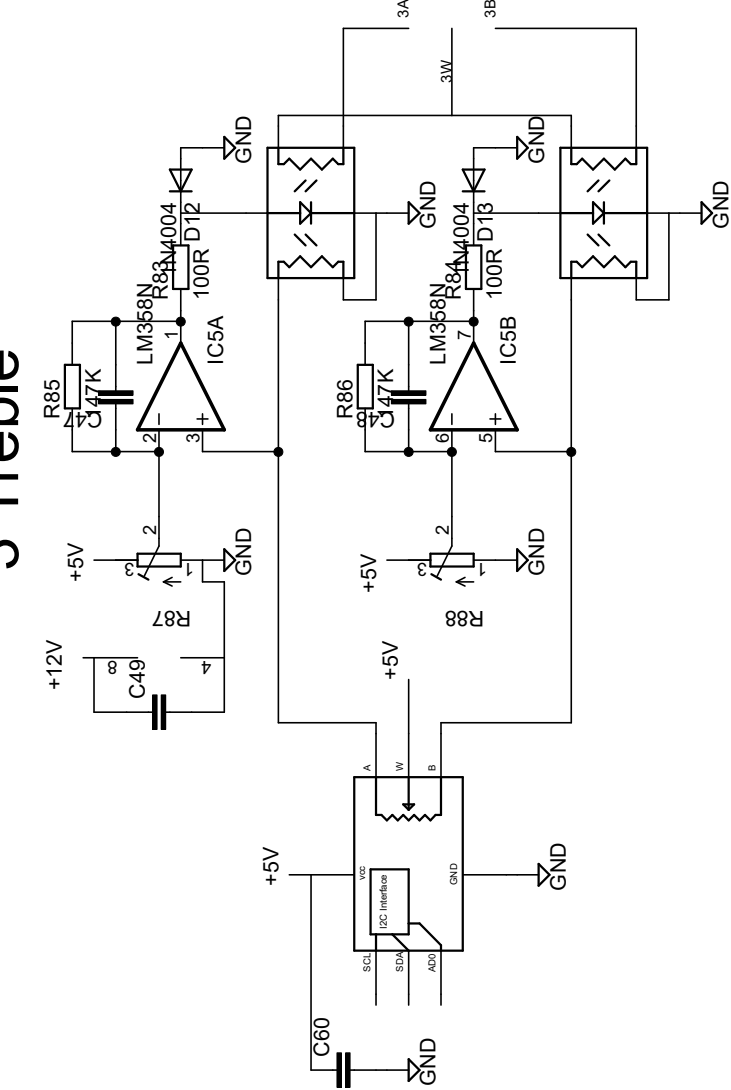
4

3

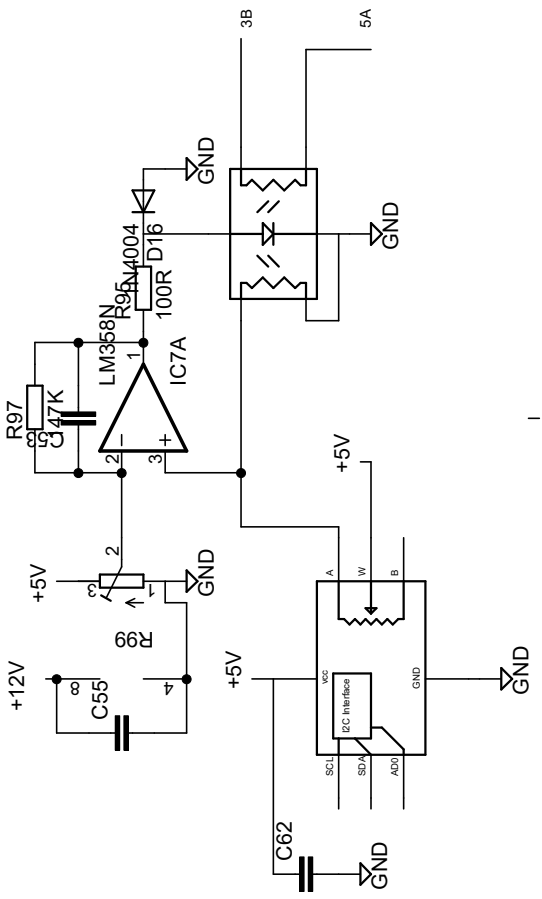
2

1

3 Treble



4 Bass



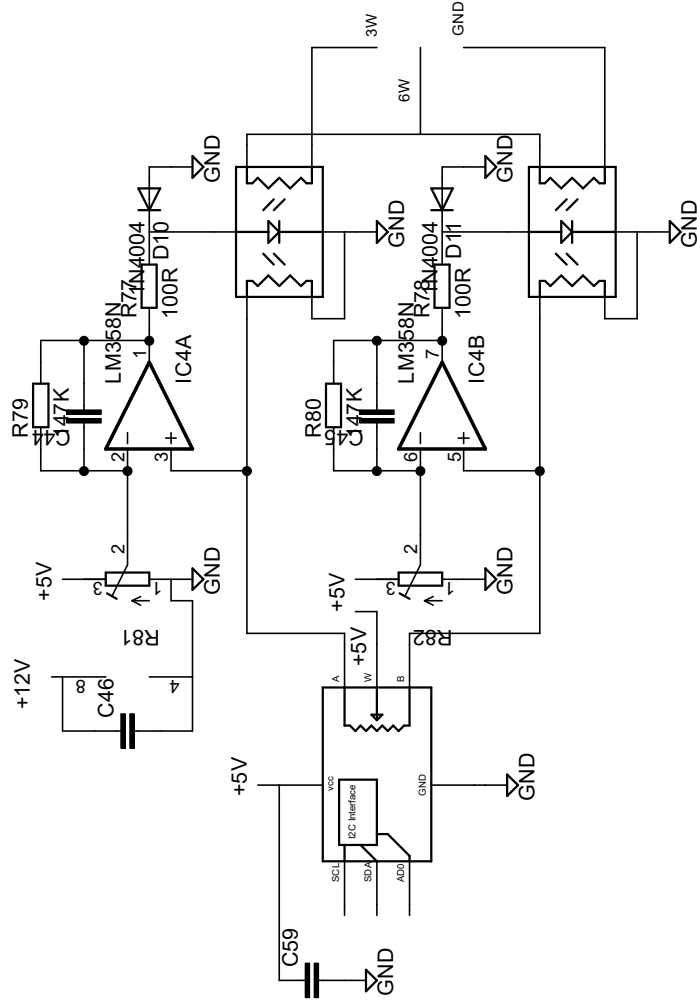
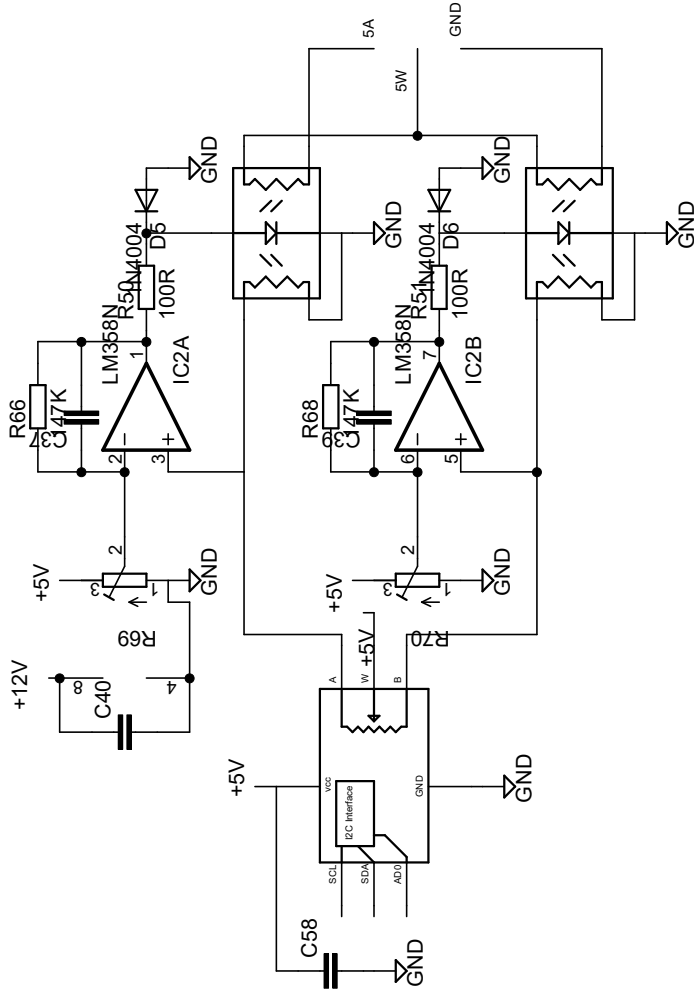
SLO 2.0

not saved!

Sheet: 4/6

5 Middle

6 Master Vol



A

B

C

D

1

2

3

4

5

6

A

B

C

D

1

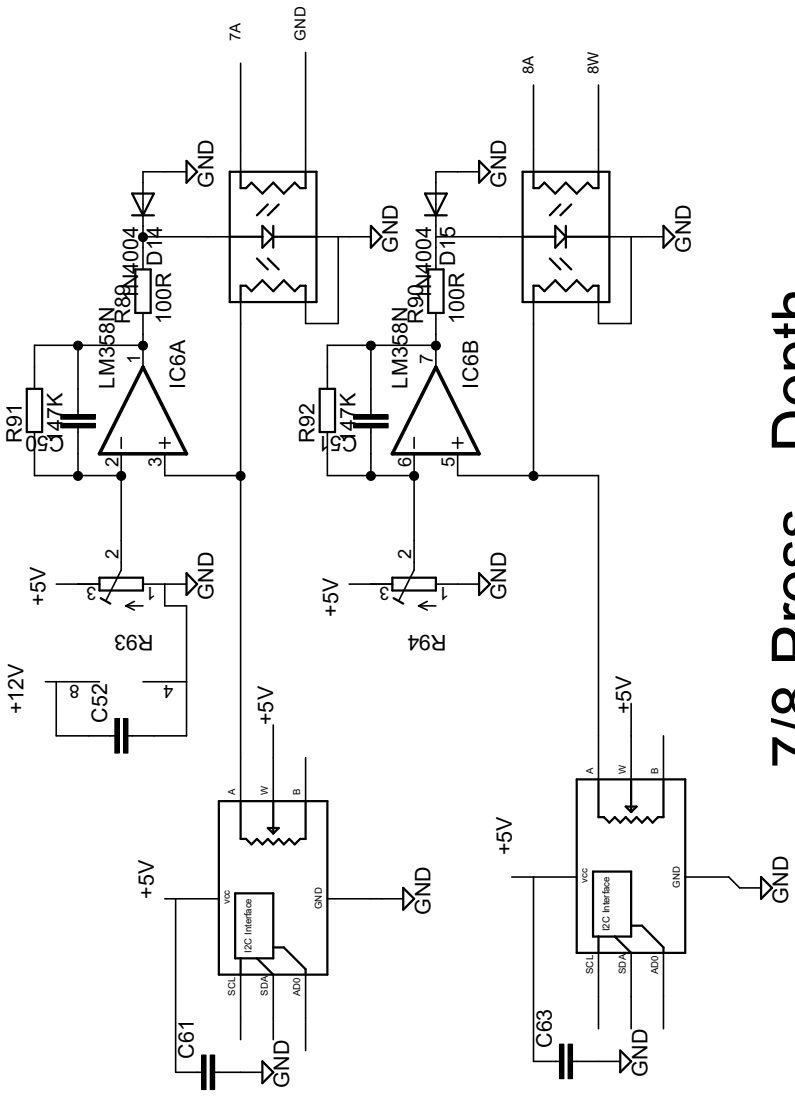
2

3

4

5

6



7/8 Press - Depth

SLO 2.0					
not saved!					
Sheet: 6/6					

8.2. Esquema del amplificador

ABSOLUTELY NO CLAIMS OR WARRANTIES OF ANY KIND ARE EXPRESSED OR IMPLIED AS TO THE ACCURACY OR SUITABILITY OF THIS DIAGRAM FOR ANY PURPOSE WHATSOEVER. THE USER OF THIS INFORMATION ACCEPTS ALL RESPONSIBILITY FOR THE CONSEQUENCES OF ITS USE.

© 2005-PRESENT SLOCLONE FORUMS. ANY DISTRIBUTION WITHOUT EXPRESSED WRITTEN CONSENT IS PROHIBITED. THE SLOCLONE FORUMS ARE IN NO WAY AFFILIATED WITH SOLDANO CUSTOM AMPLIFICATION®, MICHAEL SOLDANO JR., OR SUPER LEAD 100 OVERDRIVE™.

SLOCLONE SCHEMATIC PREAMP & POWER AMP

Design: SLOCLONE FORUMS

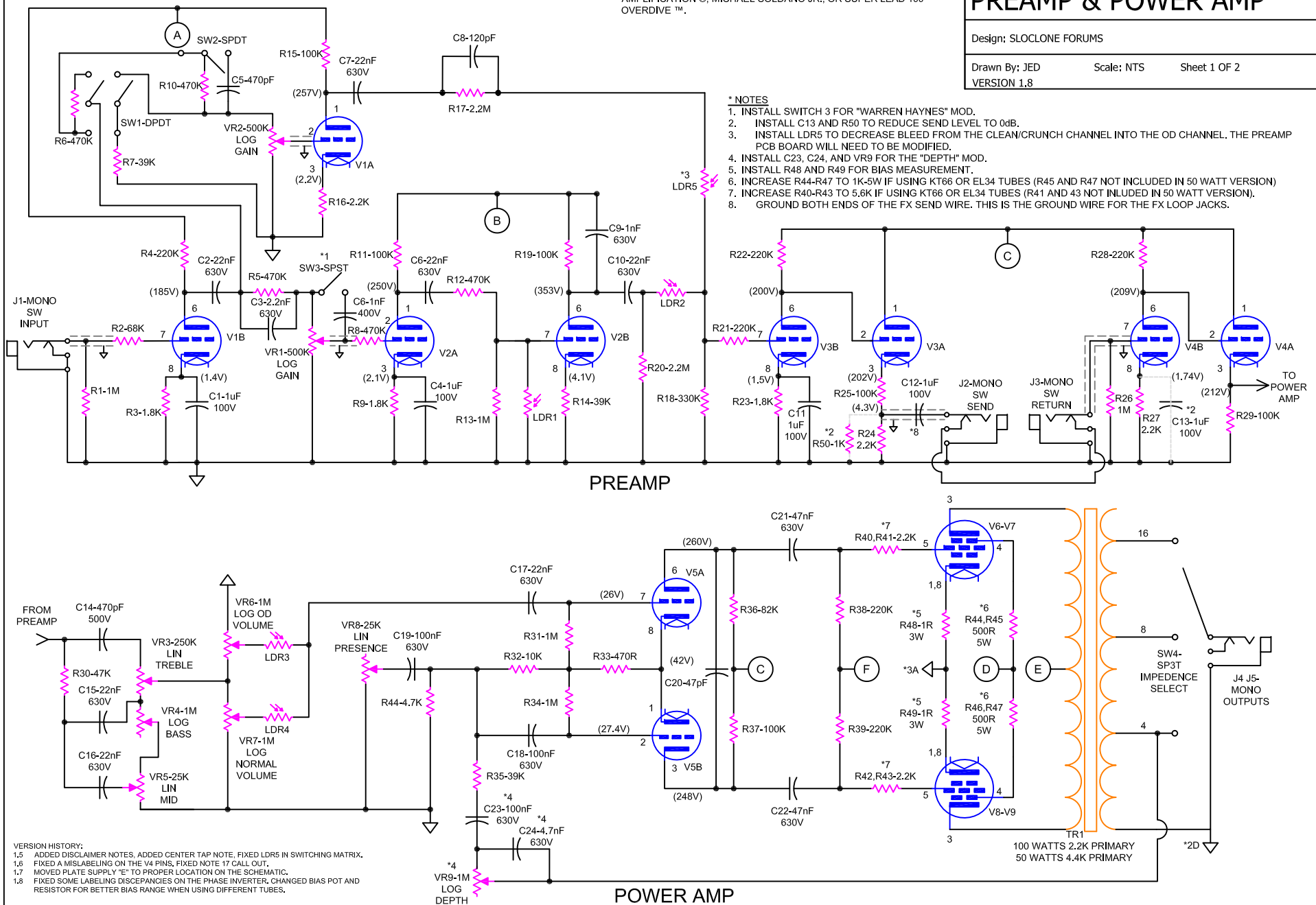
Drawn By: JED
VERSION 1.8

Scale: NTS

Sheet 1 OF 2

*** NOTES**

1. INSTALL SWITCH 3 FOR "WARREN HAYNES" MOD.
2. INSTALL C13 AND R50 TO REDUCE SEND LEVEL TO 0dB.
3. INSTALL LDR5 TO DECREASE BLEED FROM THE CLEAN/CRUNCH CHANNEL INTO THE OD CHANNEL. THE PREAMP PCB BOARD WILL NEED TO BE MODIFIED.
4. INSTALL C23, C24, AND VR9 FOR THE "DEPTH" MOD.
5. INSTALL R48 AND R49 FOR BIAS MEASUREMENT.
6. INCREASE R44-R47 TO 1K-5W IF USING KT66 OR EL34 TUBES (R45 AND R47 NOT INCLUDED IN 50 WATT VERSION)
7. INCREASE R40-R43 TO 5.6K IF USING KT66 OR EL34 TUBES (R41 AND 43 NOT INCLUDED IN 50 WATT VERSION).
8. GROUND BOTH ENDS OF THE FX SEND WIRE. THIS IS THE GROUND WIRE FOR THE FX LOOP JACKS.



PREAMP

POWER AMP

VERSION HISTORY:
 1.5 ADDED DISCLAIMER NOTES, ADDED CENTER TAP NOTE, FIXED LDR5 IN SWITCHING MATRIX.
 1.6 FIXED A MISLABELING ON THE V4 PINS, FIXED NOTE 17 CALL OUT.
 1.7 MOVED PLATE SUPPLY "E" TO PROPER LOCATION ON THE SCHEMATIC.
 1.8 FIXED SOME LABELING DISCREPANCIES ON THE PHASE INVERTER, CHANGED BIAS POT AND RESISTOR FOR BETTER BIAS RANGE WHEN USING DIFFERENT TUBES.

ABSOLUTELY NO CLAIMS OR WARRANTIES OF ANY KIND ARE EXPRESSED OR IMPLIED AS TO THE ACCURACY OR SUITABILITY OF THIS DIAGRAM FOR ANY PURPOSE WHATSOEVER. THE USER OF THIS INFORMATION ACCEPTS ALL RESPONSIBILITY FOR THE CONSEQUENCES OF ITS USE.

© 2005-PRESENT SLOCLONE FORUMS. ANY DISTRIBUTION WITHOUT EXPRESSED WRITTEN CONSENT IS PROHIBITED. THE SLOCLONE FORUMS ARE IN NO WAY AFFILIATED WITH SOLDANO CUSTOM AMPLIFICATION®, MICHAEL SOLDANO JR., OR SUPER LEAD 100 OVERDIVE™.

SLOCLONE SCHEMATIC POWER SUPPLY

Design: SLOCLONE FORUMS

Drawn By: JED

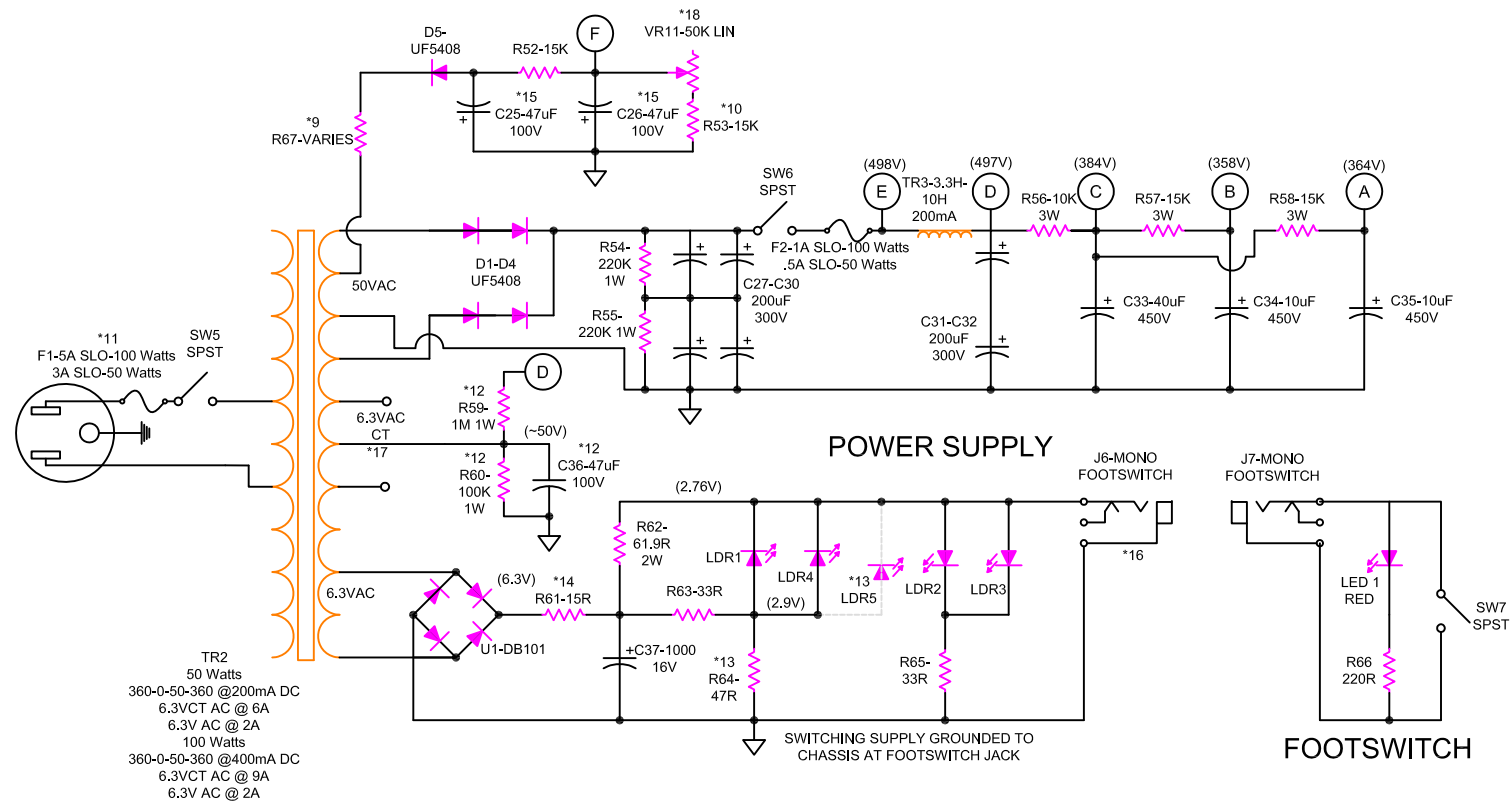
Scale: NTS

Sheet 2 OF 2

VERSION 1.8

* NOTES

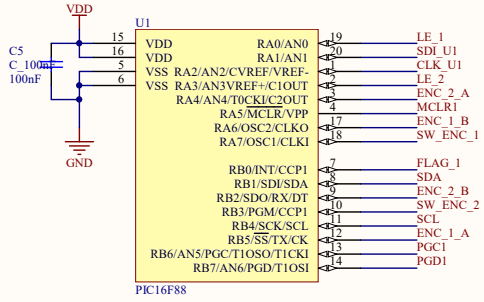
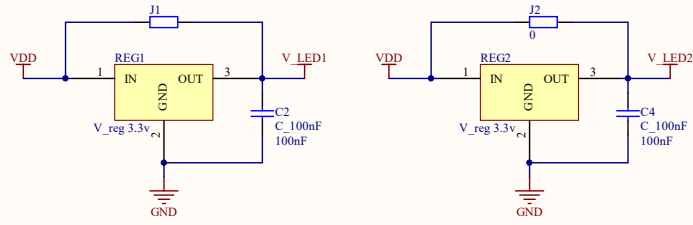
9. IF TAKING FROM THE HV TAP MAKE R67 220K 1W. OTHERWISE, ADJUST TO MAKE IDLE CURRENT BETWEEN 20mA AND 45mA.
10. R53 MAY ALSO BE ADJUSTED TO GET CORRECT IDLE CURRENT. 56K IN THE ORIGINAL.
11. IF USING 220V-240V MAINS LOWER F1 TO 2.5A SLO OR 1.5A SLO DEPENDING ON DESIRED WATTAGE.
12. ADD R59, R60, AND C36 FOR AN ELEVATED DC HEATER REFERENCE IN ORDER TO REDUCE HUM OTHERWISE GROUND CENTER TAP OR 100 OHM RESISTORS TO MAIN GROUND BUSS.
13. REDUCE R64 TO 33R IF ADDING LDR5. SEE ALSO NOTE 3 SHEET 1 OF 2.
14. REDUCE R61 TO 5R OR REMOVE IT IF USING A 5V TAP.
15. 10uF/100V IN THE ORIGINAL SLO-100.
16. SWITCHING SUPPLY IS GROUNDED TO CHASSIS AT FOOTSWITCH JACK.
17. IF PT DOES NOT HAVE A CENTER TAP USE TWO-100R 1 WATT RESISTORS AS A *FAUX CENTER TAP.
18. 25K IN THE ORIGINAL.



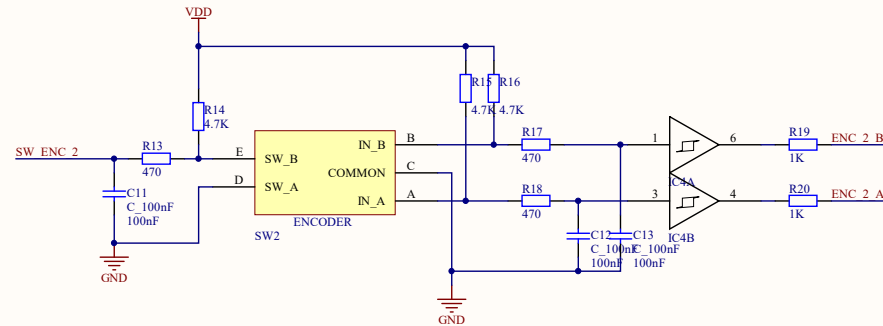
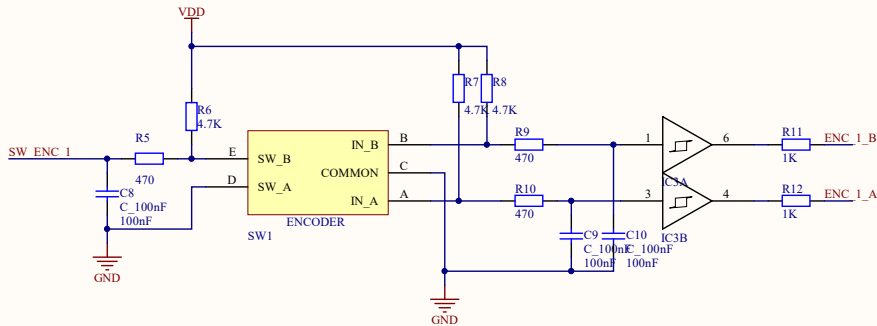
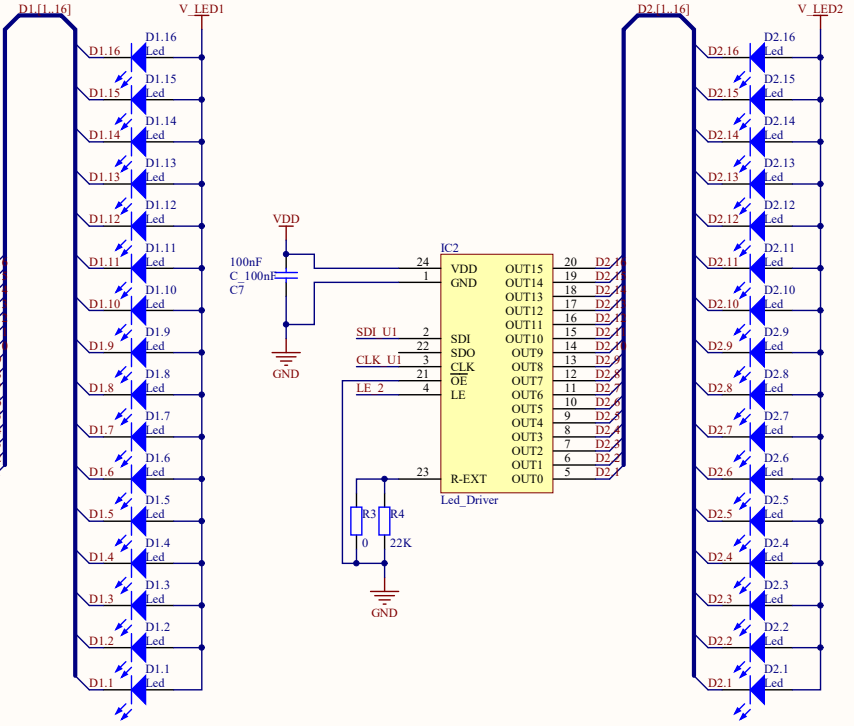
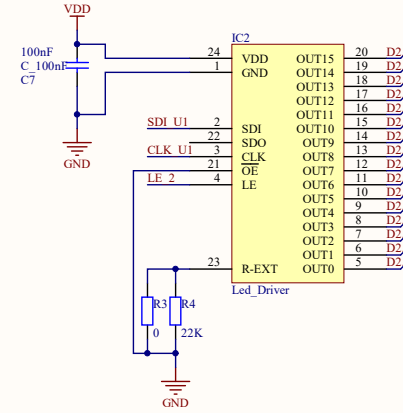
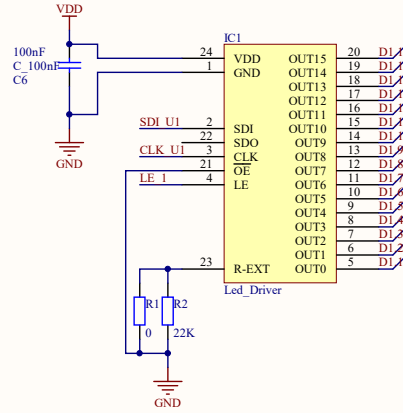
VERSION HISTORY:

- 1.5 ADDED DISCLAIMER NOTES, ADDED CENTER TAP NOTE, FIXED LDR5 IN SWITCHING MATRIX.
- 1.6 FIXED A MISLABELING ON THE V4 PINS, FIXED NOTE 17 CALL OUT.
- 1.7 MOVED PLATE SUPPLY "E" TO PROPER LOCATION ON THE SCHEMATIC.
- 1.8 FIXED SOME LABELING DISCREPANCIES ON THE PHASE INVERTER, CHANGED BIAS POT AND RESISTOR FOR BETTER BIAS RANGE WHEN USING DIFFERENT TUBES.

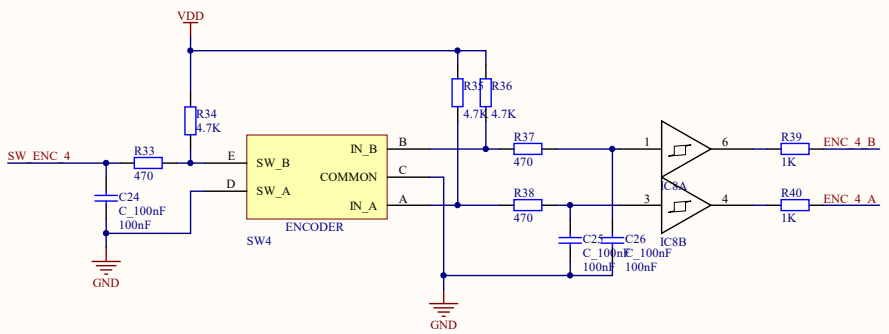
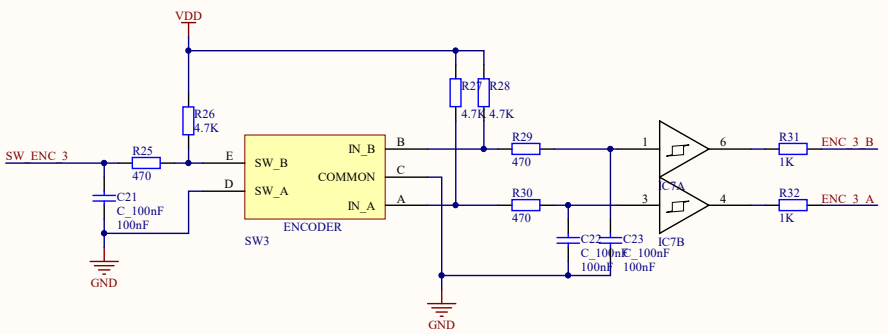
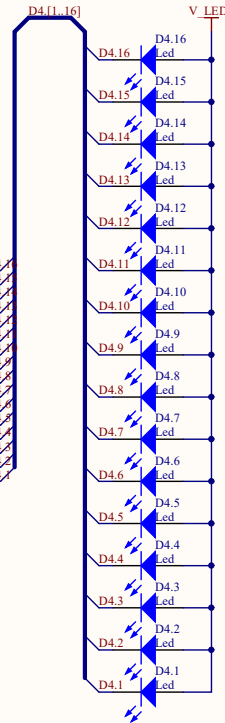
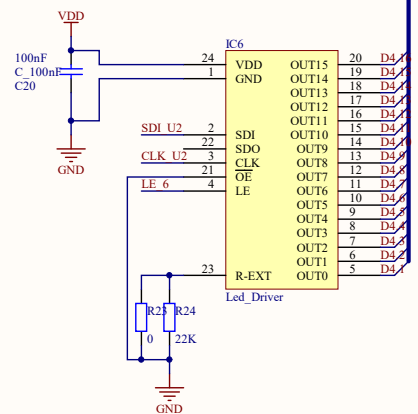
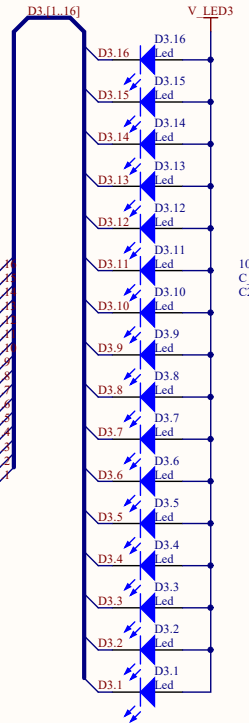
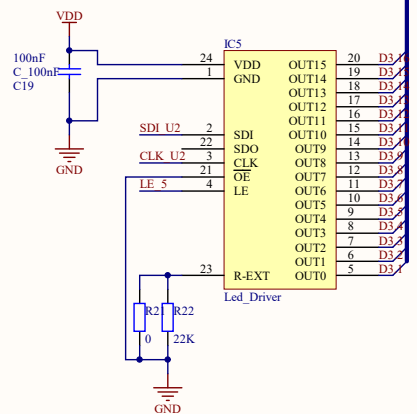
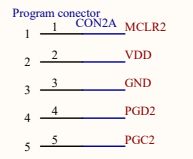
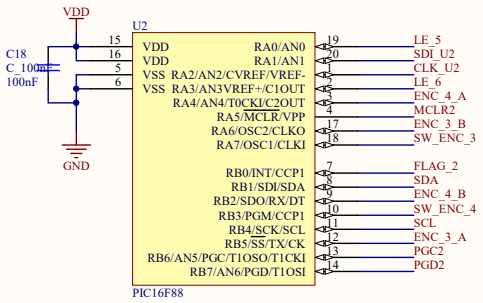
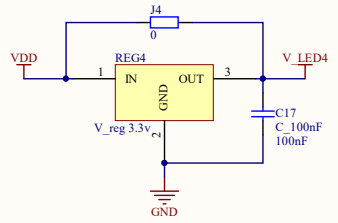
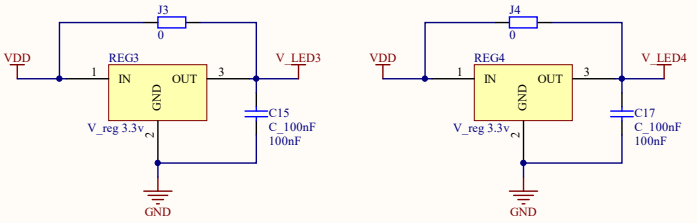
8.3. Esquema del footswitch



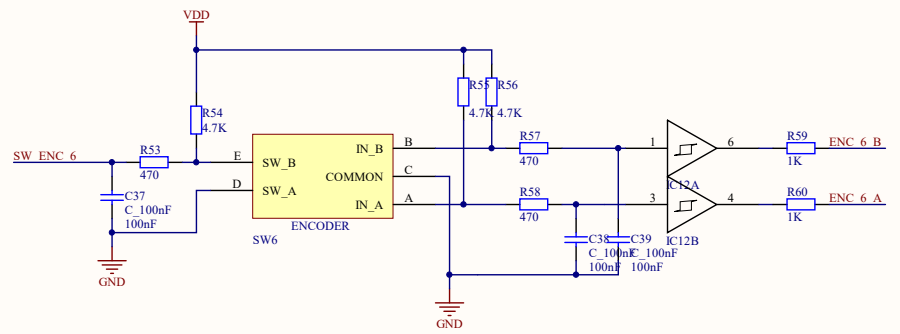
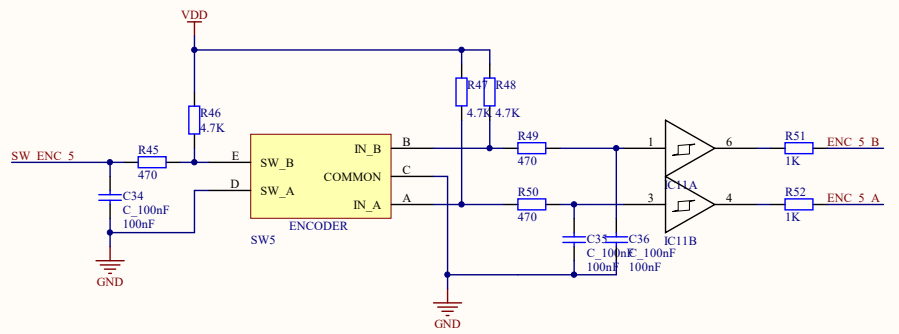
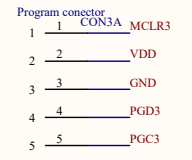
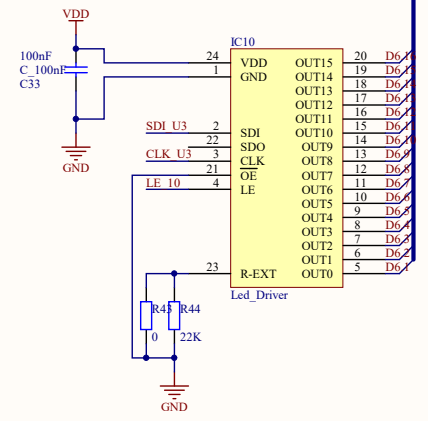
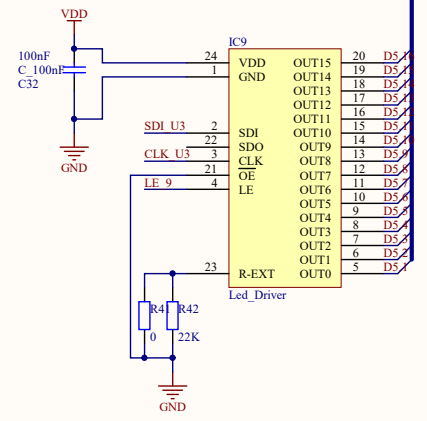
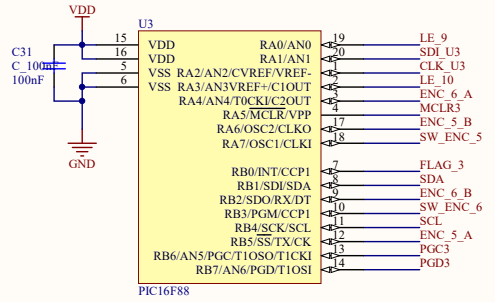
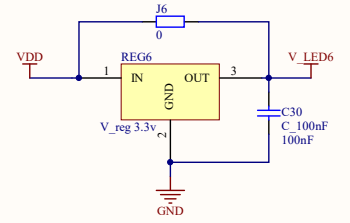
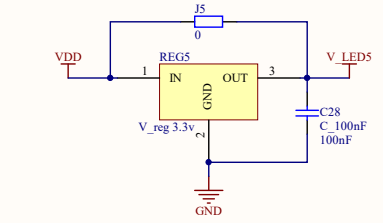
- Program connector
CON1A
- 1 MCLR1
 - 2 VDD
 - 3 GND
 - 4 PGD1
 - 5 PGC1



Title		
Size	Number	Revision
A3		
Date:	17/10/2017	Sheet of
File:	C:\Asus WebStorage\...\Sheet1.SchDoc	Drawn By:

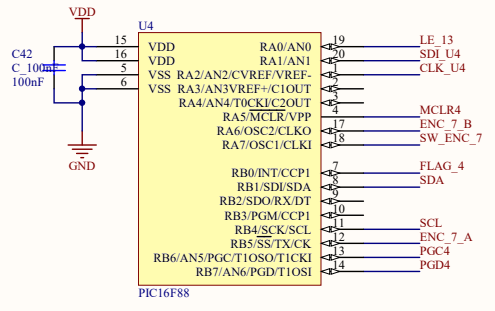
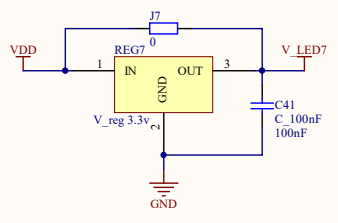


Title		
Size	Number	Revision
A3		
Date:	17/10/2017	Sheet of
File:	C:\Asus WebStorage\...\Sheet2.SchDoc	Drawn By:

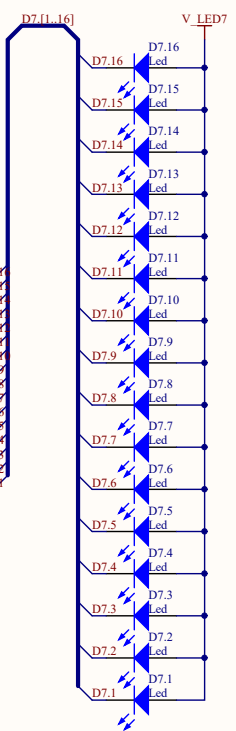
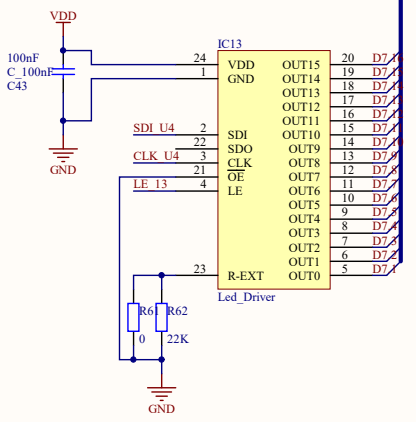


Title		
Size	Number	Revision
A3		
Date:	17/10/2017	Sheet of
File:	C:\Asus WebStorage\...\Sheet3.SchDoc	Drawn By:

A

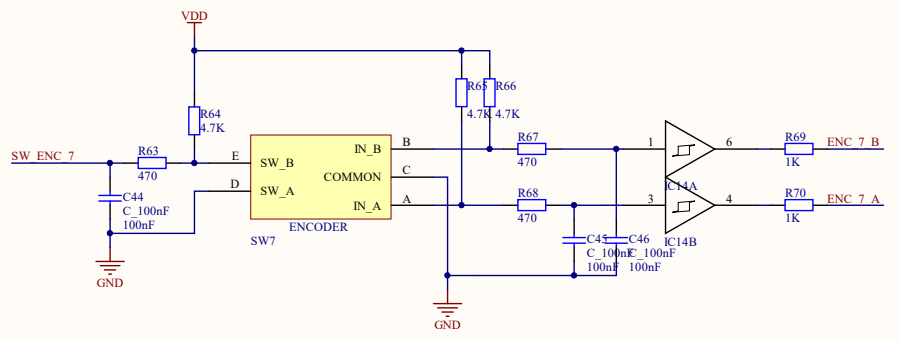


- Program connector
- 1 CON4A MCLR4
 - 2 VDD
 - 3 GND
 - 4 PGD4
 - 5 PGC4



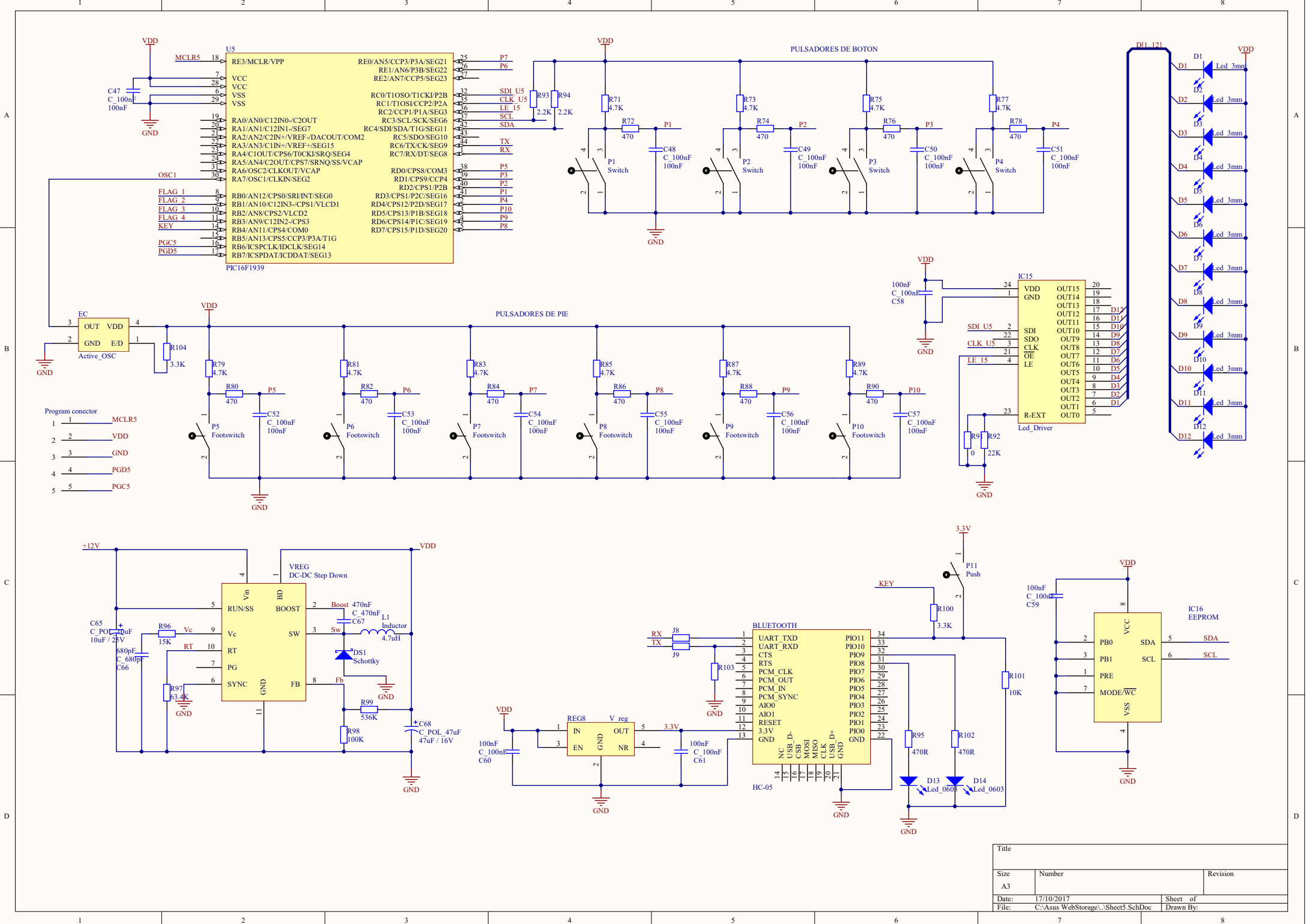
B

C

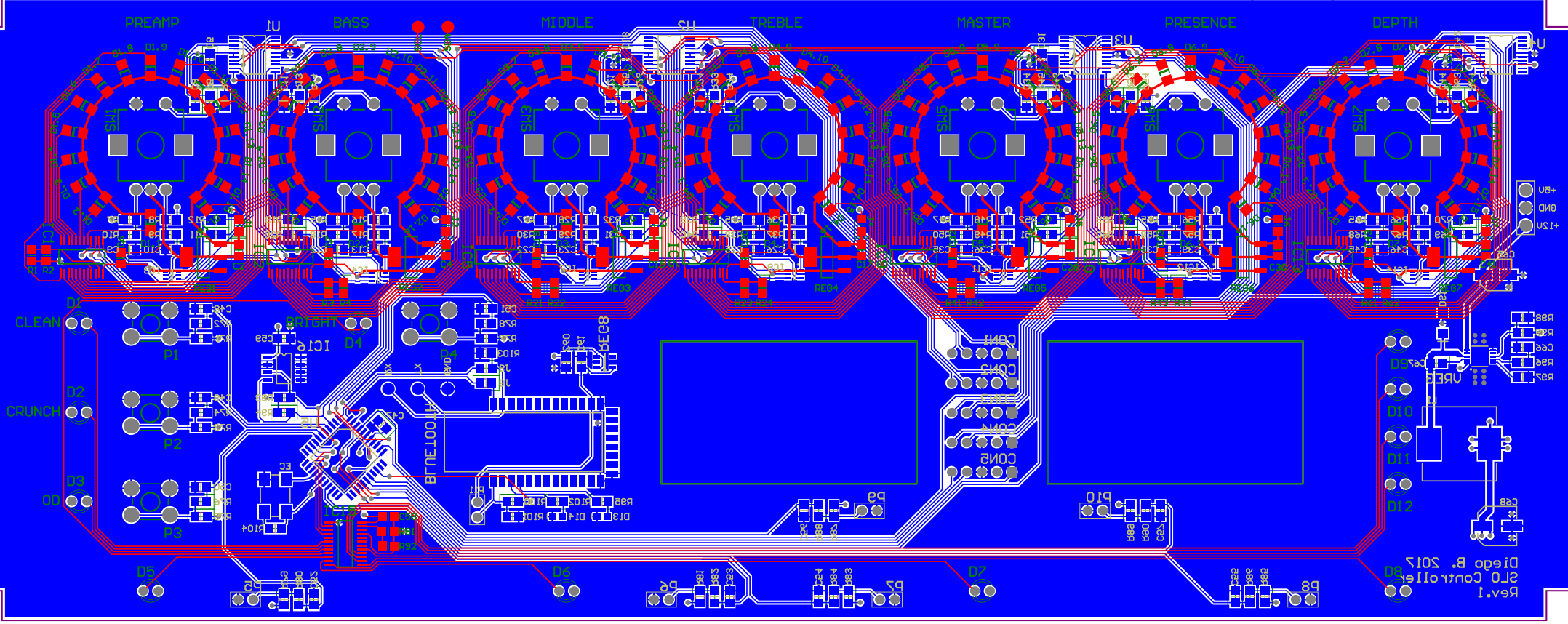


D

Title		
Size A3	Number	Revision
Date: 17/10/2017	Sheet of	
File: C:\Asus WebStorage\...\Sheet4.SchDoc	Drawn By:	



Title		
Size	Number	Revision
A3		
Date:	17/10/2017	Sheet of
File:	C:\Asus WebStorage\...\Sheet5.SchDoc	Drawn By:



CLEAN
CRUNCH
D1
D2
D3
D4
D5

DEAMP LU BASS MIDDLE TREBLE MASTER PRESENCE DEPTH

Rev.1
SL0 Controller