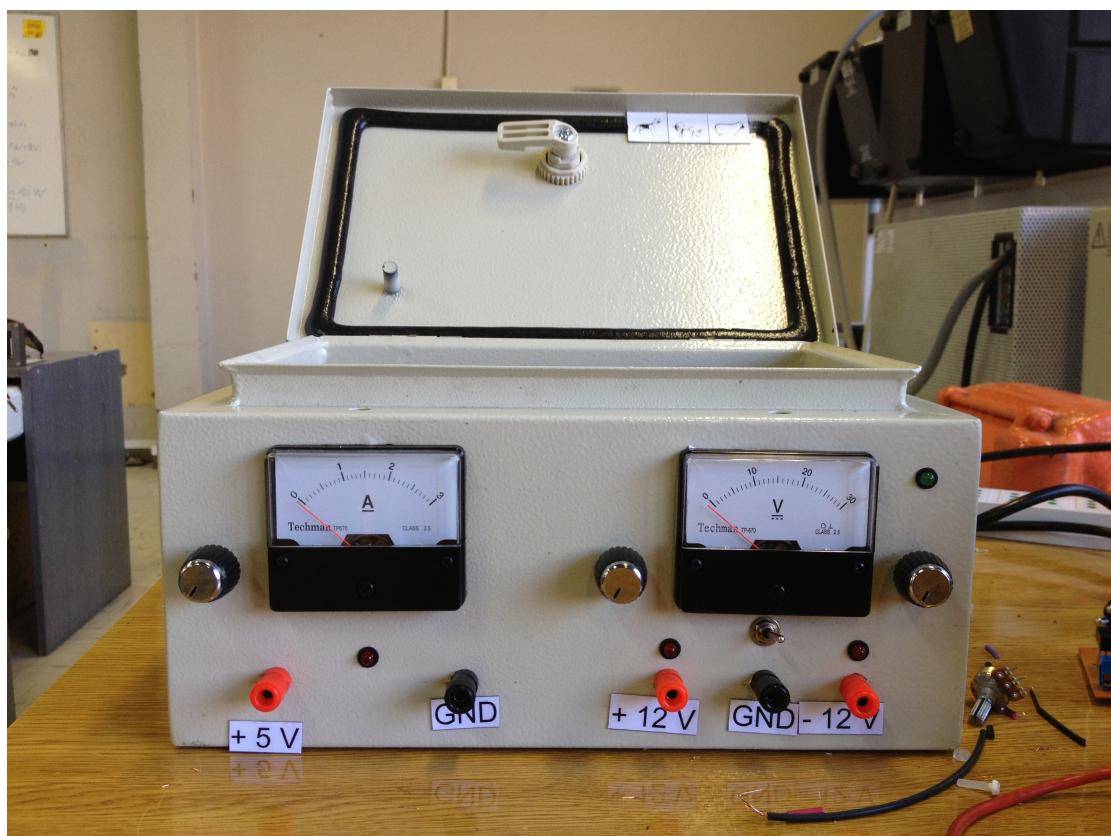


Informe: Fuente de poder



Grupo: 12
Integrantes: Guillermo Montecinos
Aarón Montoya
Profesores: Ricardo Tepper
Vladimir Marianov
Fecha: viernes 13 septiembre 2013

Índice

Introducción.....	3
Diseño de la fuente de poder DC	4
Alimentación y transformación de tensión.....	4
Etapa rectificadora	5
Etapa de +5 V	7
Etapa de $\pm 12 \text{ V}_{\text{DC}}$	9
Bloque de limitación de corriente.....	9
Bloque regulador de tensión	10
Dimensionamiento de fusibles.....	12
Montaje final.....	13
Resultados.....	16
Curva de carga, fuente de +5V	16
Curva de carga, fuente de +12V	16
Curva de carga, fuente de - 12V	17
Conclusiones	18
Bibliografía.....	Error! Bookmark not defined.

Introducción

Durante el transcurso del curso IEE2913 Diseño Eléctrico se le pide a los alumnos implementar una fuente de poder, que cumpla con las especificaciones detalladas a continuación.

Tres salidas de voltaje con:

- Salida de $+5 \text{ V}_{\text{DC}}$ fijos, con una precisión de 50 mV. La limitación de corriente máxima debe ser de 1 A ajustable.
- Salida de $+12 \text{ V}_{\text{DC}}$ ajustable, con una precisión de 50 mV. La limitación de corriente máxima debe ser de 500 mA fija.
- Salida de $-12 \text{ V}_{\text{DC}}$ ajustable, con una precisión de 50 mV. La limitación de corriente máxima es de 500 mA fija.

Además, se pide que la regulación de carga sea menor o igual al 1% a 100 mA y que la regulación de línea sea menor o igual a los 50 mV/V, con una alimentación de $220 \text{ V}_{\text{AC}}$, $\pm 10\%$. Finalmente, se debe incluir un LED que indique cuando se produce limitación de corriente, un LED de encendido, fusibles de protección, chasis conectado a tierra, conectores de banana y disipación adecuada.

El presente informe documenta el trabajo de diseño y construcción de la fuente de poder realizada por el grupo 12, integrado por los alumnos Guillermo Montecinos y Aarón Montoya. Se incluyen los esquemáticos realizados en computador, los cálculos realizados de dimensionamiento de componentes y los resultados de las mediciones realizadas para comprobar la precisión de la alimentación entregada.

Diseño de la fuente de poder DC

Alimentación y transformación de tensión

La fuente de poder fue diseñada para ser alimentada directamente desde una toma de corriente de pared de 50 Hz y 220 V_{RMS}, tal como es en Chile. El cable de alimentación de la fuente es interrumpido por un *switch* de encendido y apagado, que se ubica en la parte posterior de la caja, tal como se muestra a continuación.

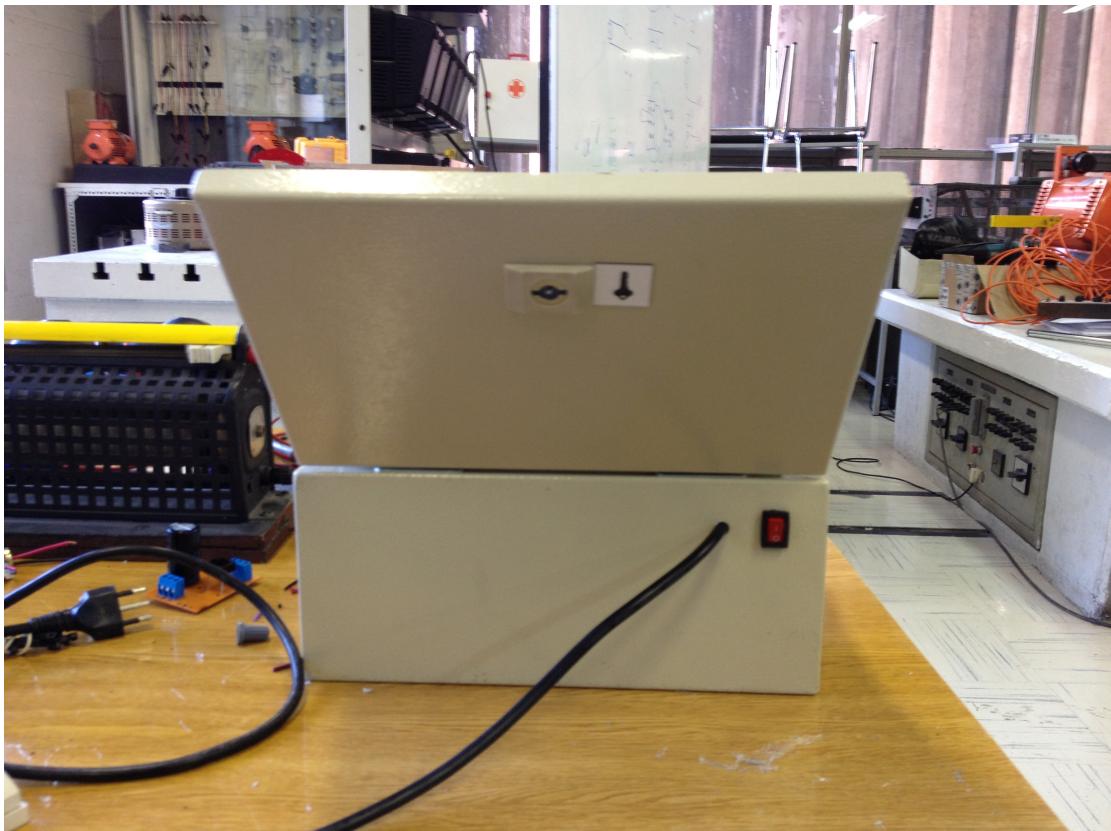


Figura XX: *switch* de encendido y cable de alimentación visibles

La tensión de la red es disminuida mediante un transformador con derivación central, cuya relación de transformación es 1:6, logrando una onda con magnitud pico de $\pm 25.9 \text{ Vp}$. Este transformador en particular fue utilizado debido a que cumplía con entregar una razón de transformación razonable, además de una capacidad de corriente suficiente (3 A) para el correcto funcionamiento del resto de las etapas. Además, su disponibilidad era inmediata, al ser donado por alumnos de diseño eléctrico del semestre anterior.

La salida de esta etapa de transformación de voltaje, consistente en los terminales positivo y negativos del transformador además de la tierra, se usa como entrada a la siguiente etapa, que se encarga de la rectificación de la tensión.

Etapa rectificadora

La etapa de rectificación fue diseñada para recibir como entrada las terminales de baja tensión del transformador y para que como salida se obtuvieran tensiones continuas de + 25 V y - 25 V, además de la tierra. Para esto, se hizo uso de un puente de diodos y un filtro capacitivo para eliminar el *ripple* y mejorar la rectificación.

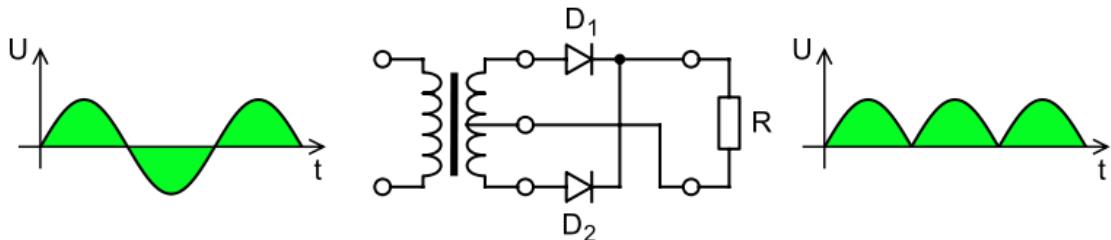


Figura XX: operación de transformador con derivación central y rectificador.

Fuente: Wikipedia.

Esta etapa también hace uso del circuito integrado LM7812, con el objeto de obtener una tensión constante a su salida de + 12 V, la cual fue utilizada para alimentar al ventilador. El circuito diseñado en el software Proteus se muestra a continuación.

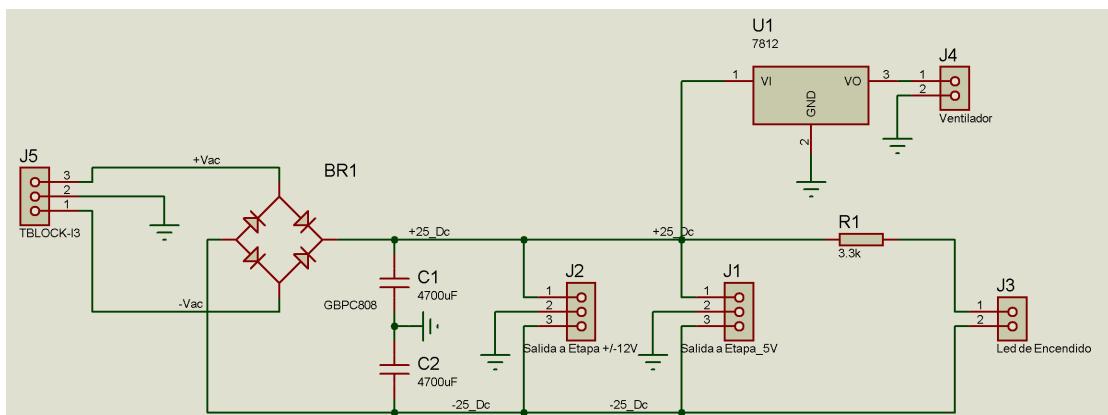


Figura XX: esquemático etapa rectificadora

A la izquierda, se aprecia la entrada, proveniente desde la etapa de transformación de voltaje, seguida por el puente de diodos y los capacitores. Posteriormente se encuentran las salidas, que alimentarán a las etapas de + 5 V y de ± 12 V y también el chip LM7812, para alimentar al ventilador. Finalmente, se incluye el LED de encendido de la fuente, protegido por una resistencia, que también permite la descarga de los capacitores tras apagar la fuente, lo que se aprecia al ir disminuyendo la intensidad del diodo, hasta apagarse por completo tras la descarga total de los capacitores.

Esta etapa posee cinco conectores tipo T-block: uno para la entrada y cuatro para las distintas salidas a las etapas de + 5 V, de ± 12 V y para la alimentación del LED de encendido y del ventilador. Los tres primeros conectores presentan tres terminales (+, Gnd, -), mientras que los últimos dos presentan sólo dos (+, Gnd).

La implementación de este circuito fue hecha en una placa de cobre independiente, que contó con un puente de diodos KBPC606 y dos capacitores electrolíticos de $4700 \mu F$ con capacidad de 50 V, para eliminar el *ripple* de la señal en la parte positiva y negativa, respectivamente. Los capacitores fueron dimensionados con tensión máxima de 50 V debido a que la tensión DC a la salida del puente de diodos es muy cercana a 25 V, correspondiente al nivel máximo de los condensadores anteriores en orden de magnitud. Por motivos de seguridad se prefirió usar los de 50 V, para así no sobrepasar la tensión máxima en los capacitores en ningún caso. El nodo de conexión de los capacitores corresponde a las salidas DC de la etapa, rotuladas como $+ 25 V_{DC}$ y $- 25 V_{DC}$ en el esquemático. Estas dos señales, junto con la tierra de señal obtenida desde la derivación central del transformador, constituyen los voltajes base sobre los que trabajarán las dos etapas siguientes de la fuente: la que brinda + 5 V fijos con regulación de corriente ajustable entre 0 A y 1 A y la que entrega entre 0 V y ± 12 V ajustables con regulación de corriente fija en 500 mA.

Finalmente, es importante destacar que por motivos de seguridad, la tierra de señal fue conectada a la tierra de la red domiciliaria, a través del terminal central del cable de alimentación de la fuente. Como el chasis de la fuente de poder no era de material conductor, no se conectó la tierra a ella.

Etapa de + 5 V

La etapa de + 5 V_{DC} está compuesta por dos bloques conectados en serie: el primero es un regulador de corriente con ajustable entre 0 A y 1 A, mientras que el segundo corresponde a un regulador de tensión a + 5 V_{DC} ±10%, según lo pedido. A continuación se presenta el esquemático de esta etapa diseñada en el software Proteus.

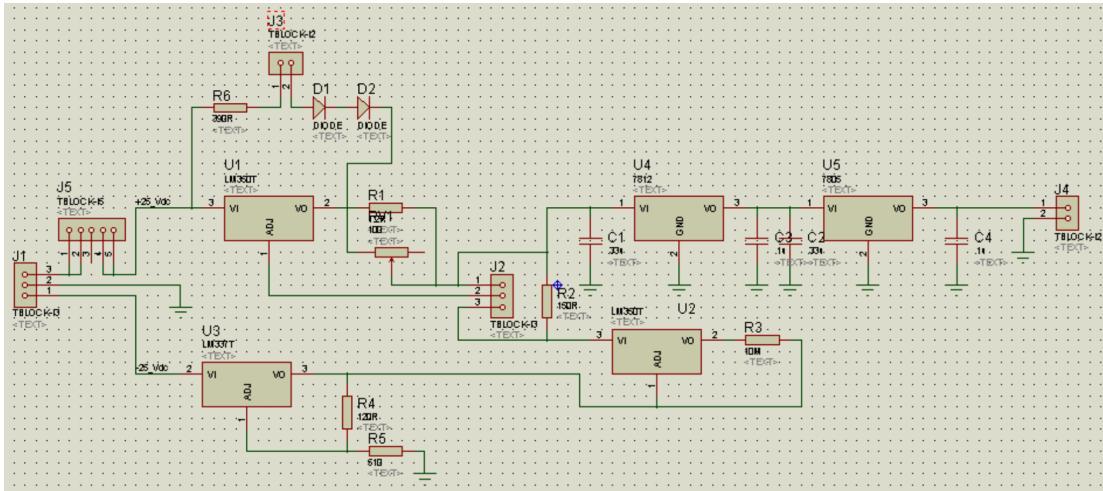


Figura XX: esquemático de la etapa de + 5 V

En la parte izquierda se observa el T-block, al cual se conecta la salida de la etapa de rectificación. El otro T-block es dónde se encuentra el fusible instalado para esta etapa, dimensionado para 1 A.

Posteriormente, se encuentra la sección de limitación de corriente. Fue implementada con la ayuda del chip LM350T, muy similar en funcionamiento al LM117, del cual se extrajo la siguiente configuración de su datasheet.

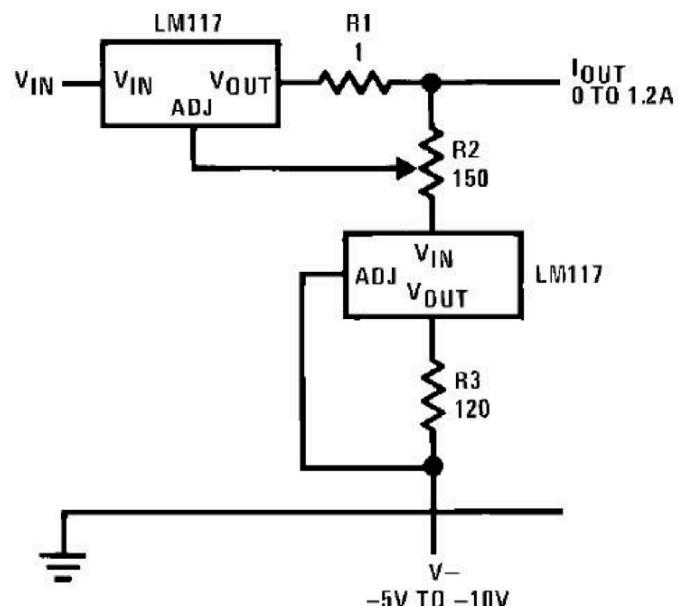


Figura XX: configuración limitadora de corriente

Esta configuración se vale de la capacidad del chip LM350T de saturar la diferencia de tensión entre dos de sus terminales (V_{out} y $Adjust$) a un valor cercano a 1.25 V. Como el valor de la resistencia de $1\ \Omega$ debe ser muy exacto, se usó una resistencia de pequeña en paralelo con un potenciómetro multivuelta para poder calibrar bien esta resistencia y lograr el valor deseado de $1.25\ \Omega$, que es el deseado para poder limitar la corriente en un máximo de 1 A. Esta resistencia fue cerámica, para asegurarse de no tener problemas de disipación de potencia en ella.

Para lograr el potenciómetro, se hizo un procedimiento similar, valiéndonos de una resistencia de $150\ \Omega$ en paralelo con un potenciómetro de perilla, el cual es montado posteriormente en el panel posterior de la fuente. Para realizar esta conexión se usó un T-block, el cual aparece en el esquemático.

En torno a este primer chip LM350T, se encuentra el diodo de sobrecorriente de esta etapa, protegido por una resistencia y polarizado con dos diodos Zener, para alcanzar el voltaje correcto. El conector T-block que se aprecia es el que conecta la placa con el LED montado en el panel frontal de la fuente.

El segundo chip LM350T usado, tiene que ser alimentado por el pin de $Adjust$ con un voltaje entre -5 V y -10 V para su correcto funcionamiento. La implementación elegida fue usar el chip dual, que trabaja con tensiones negativas, como fuente de voltaje. Este LM337T fue configurado con la resistencia de $120\ \Omega$ sugerida y además una de $510\ \Omega$ a tierra, con lo que se obtuvo una tensión de - 6.6 V, lo que cumple con lo requerido para la implementación de la configuración.

El siguiente bloque funcional de este etapa corresponde a la regulación de voltaje. Fue implementado con integrados pertenecientes a la familia LM78XX. Para ello se utilizaron dos etapas de caída de tensión, la primera de + 25V_{DC} a + 12V_{DC}, y la segunda de + 12V_{DC} a + 5V_{DC}. La razón de la disminución escalonada de tensión corresponde a que ante un cortocircuito, la caída de voltaje en este bloque puede llegar a ser de 25 V con una corriente máxima posible de 1A, por lo que la potencia disipada máxima puede ser de 25W. Si se hubiera ocupado solo el circuito integrado LM7805, este hubiera tenido que soportar toda esta disipación de potencia, exponiéndose a posibles fallas. Es por esto que nuestra configuración utilizada fuerza a que la potencia disipada se reparta entre los dos integrados: el integrado LM7812 podría disipar hasta 13W ante una falla, mientras que el LM7805 sólo podría disipar hasta 8W. Cada uno de los integrados posee un disipador pequeño, a pesar de que las potencias disipadas sean distintas, ya que son de una magnitud comparable. El correcto funcionamiento fue comprobada al probarse el circuito en protoboard, alcanzando temperaturas razonablemente bajas y parecidas ambos integrados.

Los capacitores conectados a la entrada y salida de los integrados LM78XX cumplen una función únicamente de estabilidad del proceso, y sus dimensiones fueron obtenidas de las hojas de datos disponibles en internet.

Etapa de $\pm 12 \text{ V}_{\text{DC}}$

La etapa de $\pm 12 \text{ V}_{\text{DC}}$ es la encargada de entregar, a través de dos salidas, un voltaje variable entre 0 y $\pm 12 \text{ V}_{\text{DC}}$, con una limitación de corriente fija en $|0.5| \text{ A}$. Esta etapa se puede entender como dos sub etapas independientes (una para la fuente positiva y la otra para la fuente negativa), las cuales fueron construidas en forma de espejo y en la misma placa, para mayor simplicidad.

Al igual que en la etapa de $+ 5\text{V}_{\text{DC}}$, cada etapa está constituida por un bloque de limitación de corriente que alimenta el bloque de regulación de voltaje. Para hacer más claro el análisis, explicaremos el únicamente funcionamiento de los bloques de la etapa positiva, ya que la etapa negativa opera de manera análoga.



Figura XX: placa montada de etapa $\pm 12 \text{ V}$

Bloque de limitación de corriente

Para limitar la corriente en 0.5A utilizamos un integrado LM317, similar al LM350T usado en la etapa de $+5\text{V}$. La característica principal de este componente, es que al ser polarizado por el circuito externo, su configuración logra saturar la diferencia de potencial entre los pines V_{adj} y V_{out} , de manera de imponer una tensión máxima cercana a 1.2 V . Esta característica es utilizada, al igual que en la etapa anterior, para imponer una corriente máxima de salida mediante la realimentación de dichas patas con una resistencia de 2.4Ω , de modo de lograr que $I = \frac{1.2\text{V}}{2.4\Omega} = 0.5\text{A}$.

Para lograr que la saturación fuera exacta en el punto de operación requerido, y considerando que la potencia disipada por dicha resistencia es un poco más que

1/4W, construimos el resistor de $2.4\ \Omega$ utilizando tres elementos de $10\ \Omega$ en paralelo, más un potenciómetro de $100\ \Omega$ para lograr la precisión requerida, calibrándolo tras la instalación en la placa.

Adicionalmente, el LED de sobrecorriente fue polarizado mediante otro LM317 realimentado con una resistencia de $500\ \Omega$ (en el caso positivo, dos en paralelo de $1\ k\Omega$), que opera cuando el LM317 limitador es exigido más allá de su nivel de limitación. Al operar este integrado, entrega la corriente suficiente para que el LED conduzca sin aportar corriente adicional, de modo que a la salida del circuito solo se puede alimentar con un máximo de $500\ mA$.

La parte negativa del circuito fue implementada siguiendo la misma lógica, con la salvedad de que los integrados LM317 fueron reemplazados por LM337, que están diseñados para operar bajo tensiones negativas.

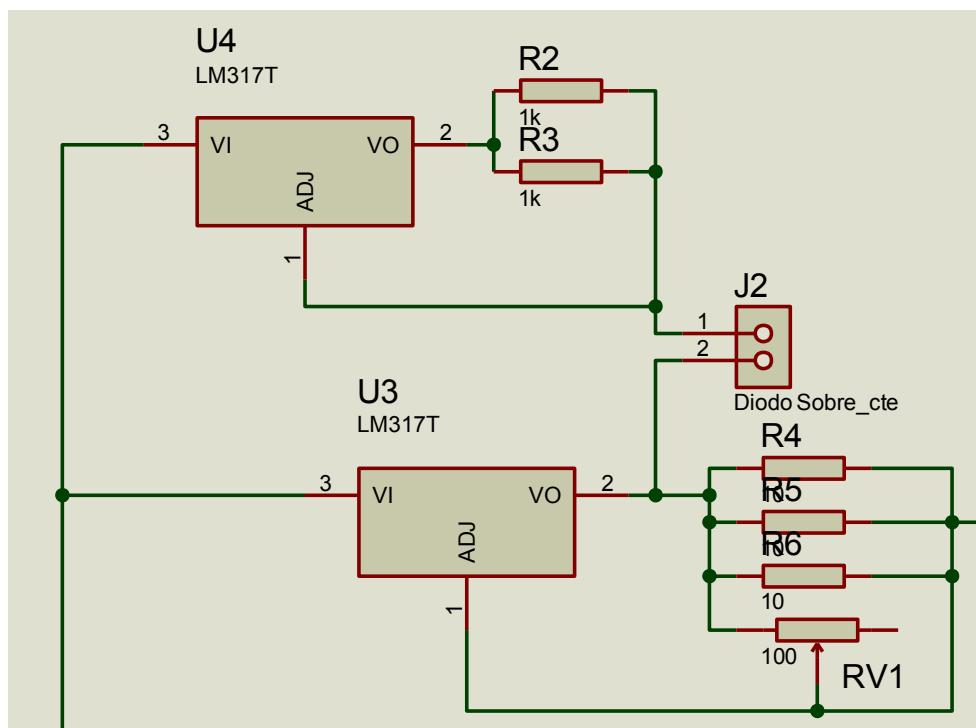


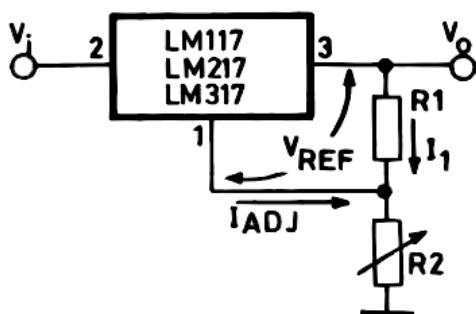
Figura XX: Bloque limitador de corriente, parte positiva.

Bloque regulador de tensión

La regulación de tensión entre $0 - 12V$ en la carga, se implementó utilizando otro integrado LM317, con una configuración obtenida a partir del *datasheet* del componente, que se puede apreciar en la figura siguiente.

La tensión de salida, corresponde a un divisor de tensión de V_{ref} entre la proporción de R_1 y R_2 según la siguiente ecuación:

$$V_o = V_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



donde $V_{ref} \approx 1.2V$. De esta manera podemos suponer que cuando $R_2 = 0$, $V_o = V_{ref}$. Para solucionar dicho problema buscamos imponer un voltaje de $-V_{ref}$ en la conexión inferior de R_2 , el que logramos implementar utilizando un integrado LM337 alimentado desde la rama de $-25V_{DC}$, que al ser saturado entrega $V_{ref} = -1.2V$. Este integrado recibe una señal de $-12V$ por motivos de disipación, la que es estabilizada mediante un LM7912.

Al igual que en el caso anterior, la lógica de la parte negativa de esta etapa corresponde a una inversión de los componentes.

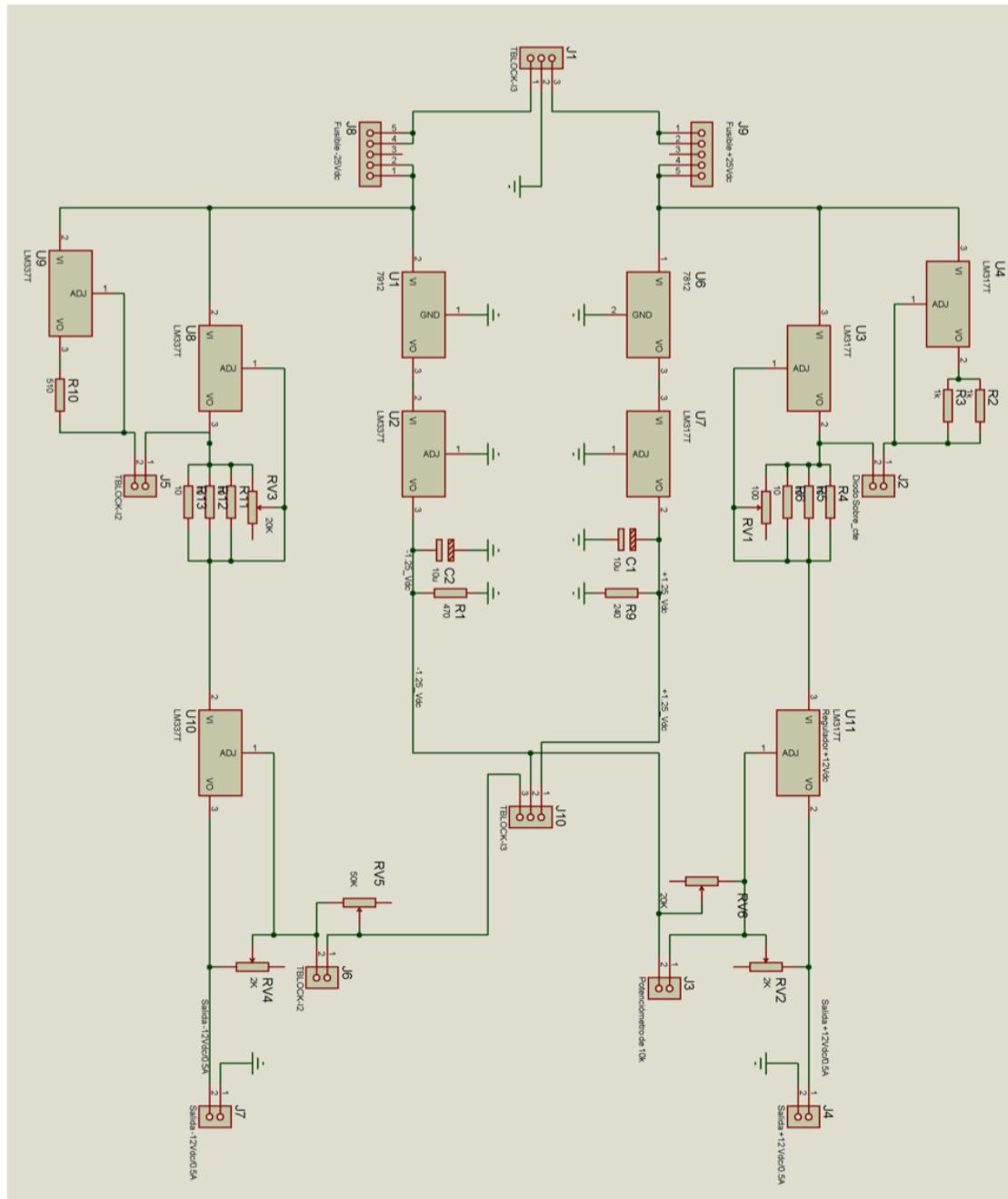


Figura XX: esquemático completo de etapa $\pm 12V$

Dimensionamiento de fusibles

Como se puede apreciar en los esquemáticos de cada etapa, los fusibles de seguridad fueron ubicados en las alimentaciones de $\pm 25V_{DC}$ respectivas de cada placa, de manera de proteger al circuito ante cortocircuitos, excepto en la rama de $-25V_{DC}$ que alimenta a la etapa de $+5V$, ya que su única función es polarizar el bloque regulador de corriente. De esta manera, el criterio utilizado fue el siguiente:

- Etapa de $+5V$:

La caída de tensión en el bloque de regulación será siempre de $1V$ (aprox), con una corriente máxima de $1A$, por lo que su consumo de potencia será de $1W$ en un caso extremo. Por otro lado, si la entrada promedio al bloque regulador corresponde a $24V$, a la salida habrán $23V$, provocando que ante una falla de corto circuito en la salida la caída en el bloque estabilizador de tensión sean $23V$ a $1A$, es decir, consumiendo $23W$. De esta manera, la potencia máxima consumida por el circuito serán $24W$, los que ante una tensión de $24V$ a la entrada de la etapa consumirán una corriente de $1A$. Luego el fusible fue dimensionado para $I_{máx} = 1A$.

- Etapa de $\pm 12V$:

La lógica utilizada fue similar, ante una falla la caída de tensión en el bloque limitador de corriente será de $1V$ a una corriente máxima de $0.5A$, por lo que la potencia máxima consumida será de $0.5W$. Luego, en el bloque de regulación de tensión, la máxima caída de tensión será de los mismos $23V$ con una corriente máxima de $0.5A$, lo que consumiría una potencia de $11.5W$. Luego, la potencia total máxima consumida por la etapa ante una falla sería de $12W$, la que bajo una tensión de $24V$ define que $I_{máx} = 0.5A$.

Montaje final

La fuente de poder construida consta de tres placas de cobre, que corresponden a:

- Etapa rectificadora
- Etapa de + 5 V
- Etapas de +12 V y - 12 V

Estas placas fueron montadas en una caja metálica de panel eléctrico adaptada. Adicionalmente a las placas se instaló el transformador, el que fue apoyado al fondo de la caja de manera de otorgar robustez mecánica, y el ventilador antes mencionado, para el cual se abrió un orificio especial cubierto con una rejilla de seguridad para computadores. Además se perforaron 16 orificios al extremo opuesto de la caja, de modo de permitir un flujo de aire capaz de refrigerar los componentes.

Los LEDs de sobrecorriente y el de encendido fueron instalados con su respectivo porta-LED en el panel principal, el que además cuenta con un voltímetro que censa la tensión de la etapa $\pm 12V$ y un amperímetro que mide la corriente de salida de la etapa de +5V.

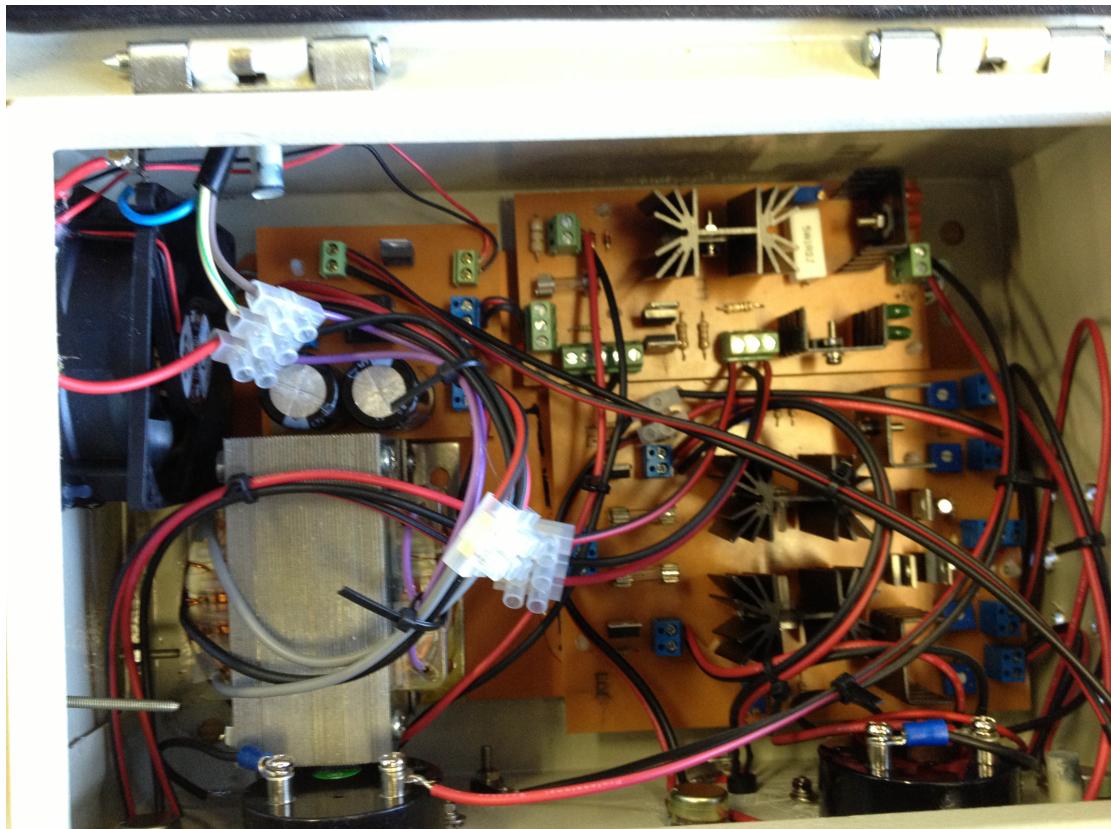


Figura XX: interior de fuente, con placas, transformador y ventilador montados



Figura XX: ventilador instalado con rejilla

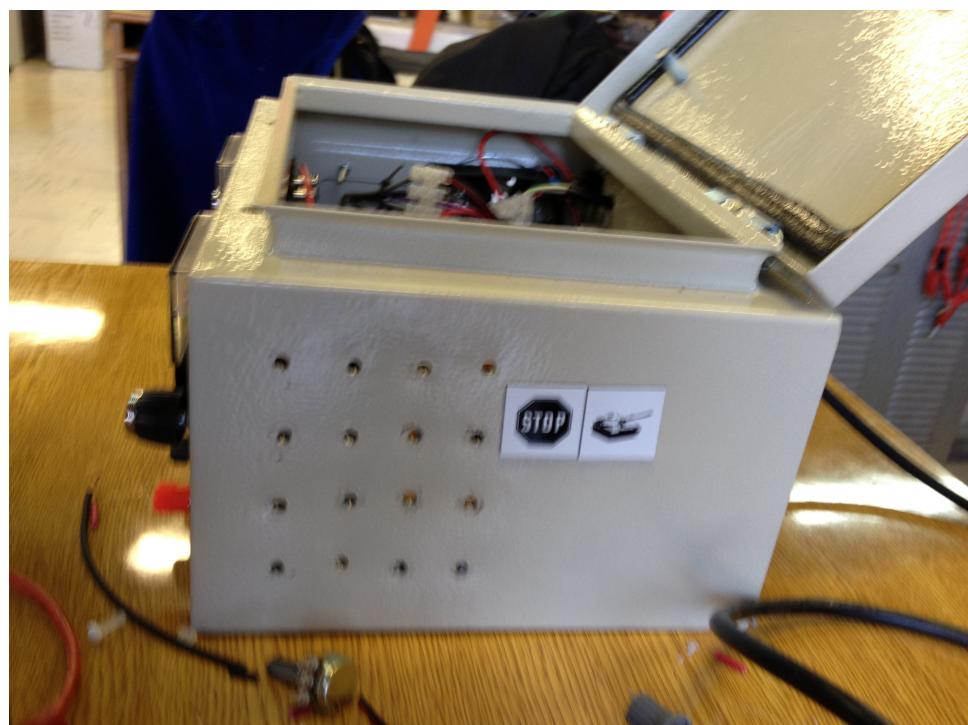


Figura XX: orificios para mejor circulación de aire

Dimensionamiento térmico

Antes del ruteo de cada una de las placas, se armaron en protoboard, para poder comprobar su correcto funcionamiento. Las pruebas fueron satisfactorias y permitieron también comprobar los cálculos sobre disipación de calor, al medir la temperatura de los integrados tras entrar en operación. Esto permitió la toma de decisiones de cuáles circuitos integrados proteger con disipadores de mucha superficie y cuáles con disipadores más pequeños. Independiente del tamaño, todos los disipadores fueron instalados con su correspondiente mica y tornillo con aislación, para no conectar eléctricamente el chip y así prevenir fallas al cablear las placas por contactos no deseados.

En particular, en la etapa de + 5 V, tres circuitos integrados presentan disipador:

- El LM350T encargado de limitar la corriente, con un disipador grande.
- El LM7812 encargado de disminuir la tensión hasta + 12 V, con un disipador pequeño.
- El LM7805 encargado de disminuir la tensión hasta + 5 V, con un disipador pequeño.

Como las potencias disipadas son similares en los dos últimos chips, se valieron del mismo tipo de disipador pequeño.

Por otro lado, en la placa que contiene las etapas de +12 V y - 12 V, cuatro circuitos integrados presentan disipador:

- El LM317T encargado de limitar corriente en 500 mA en la etapa de +12V, con un disipador grande.
- El LM337T encargado de limitar corriente en 500 mA en la etapa de -12V, con un disipador grande.
- El LM317T encargado de la regulación de tensión en la etapa de +12V, con un disipador pequeño.
- El LM337T encargado de la regulación de tensión en la etapa de -12V, con un disipador pequeño.

Por los dos primeros chips la circulación de corriente es un poco mayor y la caída de tensión también es mayor que en los dos últimos, lo que justifica el uso de los disipadores de mayor superficie.

Resultados

Las curvas de carga de la fuente de poder fueron realizadas con instrumentación del Laboratorio de Máquinas Eléctricas del DIE, y las mediciones de corriente y tensión fueron realizadas en paralelo mientras se variaba la carga alimentada por la fuente, la que consistió en un reóstato de $120\ \Omega$. Los resultados fueron los siguientes:

Curva de carga, fuente de +5V

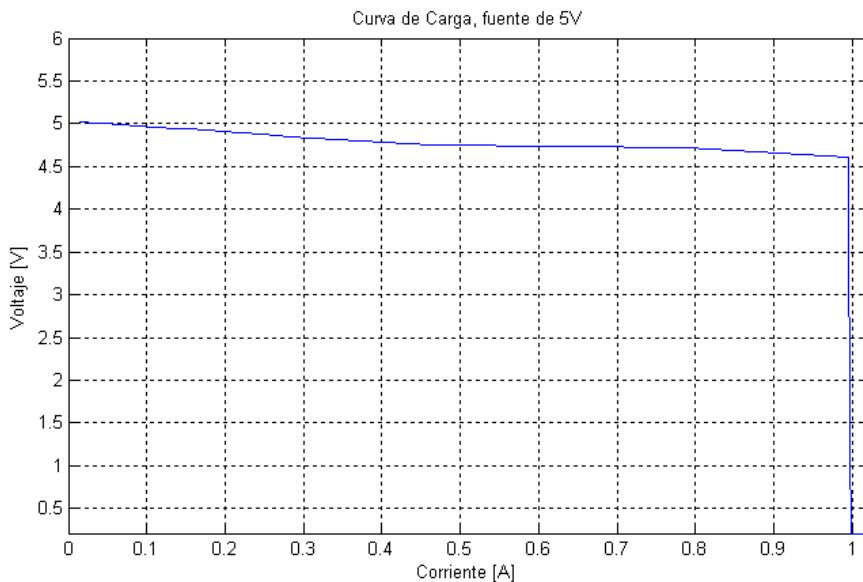


Figura XX: curva de carga de etapa de + 5 V_{DC}

Curva de carga, fuente de +12V

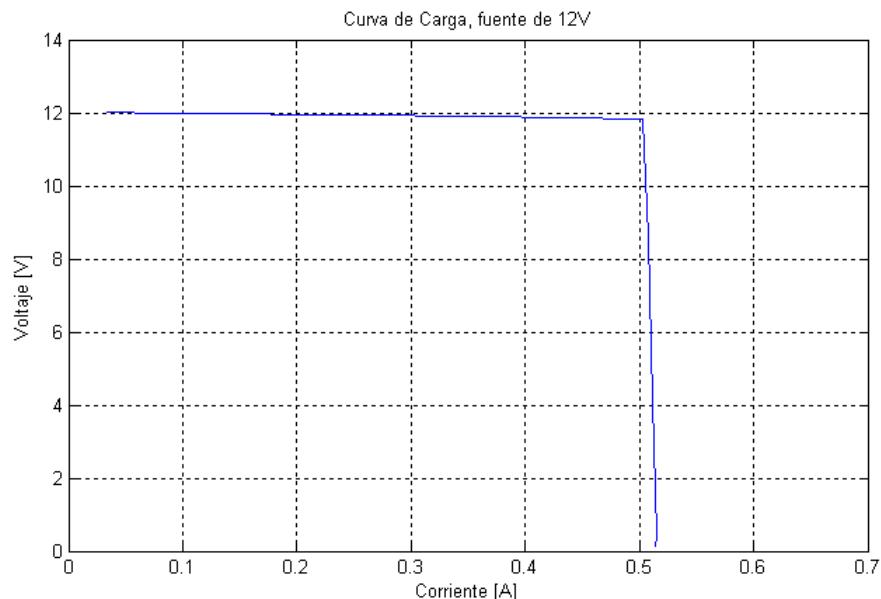


Figura XX: curva de carga de etapa de + 12 V_{DC}

Curva de carga, fuente de $-12V$

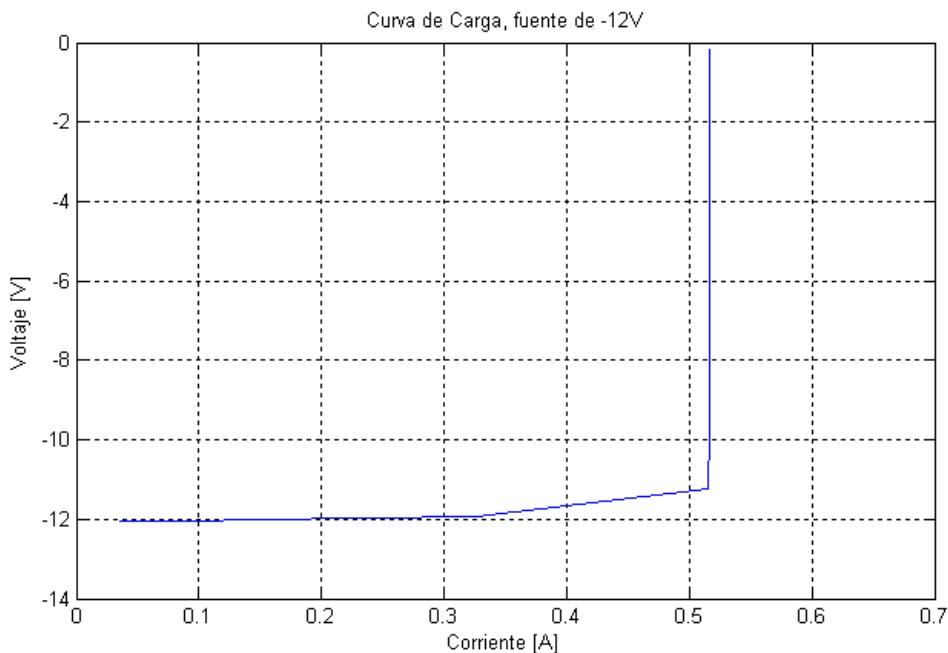


Figura XX: curva de carga de etapa de $-12 V_{DC}$

Como se puede apreciar en las gráficas anteriores, la respuesta de la fuente ante variaciones de carga se presenta bastante estable, sobre todo en la etapa de $\pm 12V$, específicamente en la parte de tensión positiva. Por otro lado, la limitación de corriente no se produce exactamente en los $500 mA$, sino que en un valor un poco mayor, cercano a los $515 mA$. Además, la fuente de $+ 5 V$ presenta una caída en la tensión un poco más pronunciada entre 5 y $4.6V$, pero la limitación de corriente en $1 A$ es muy precisa.

Conclusiones

El diseño y construcción de la fuente de poder pedida nos puso a prueba como ingenieros y como equipo de trabajo. Contamos inicialmente con un set de especificaciones conciso y un plazo acotado, tal como en los proyectos a los que nos tendremos que enfrentar en nuestra vida profesional.

Creemos que el diseño *top-down* que hicimos de la fuente fue el adecuado, ya que nos permitió separar en bloques bien definidos cada sección del proyecto y poder así atacar mejor cada problema. También la planificación fue fundamental, ya que en paralelo al diseño computacional, organizamos la compra de materiales y fuimos probando cada parte en protoboard, para así validar lo diseñado antes de rtear las placas de cobre.

Trabajamos todas las mañanas de lunes a viernes en el laboratorio docente, lo que nos permitió el intercambio de ideas y materiales con otros grupos, lo que fue fundamental también para nuestro desempeño.

Los problemas que tuvimos que resolver para llevar a cabo la fuente de poder fueron múltiples, abarcando desde el diseño mismo de la fuente, hasta la elección de componentes para implementar el diseño, la búsqueda de lugares de compra de materiales, además de desafíos mecánicos como soldar, montar placas y hacer perforaciones con taladro.

Tras hacer las pruebas finales a la fuente, nos declaramos muy conformes con los resultados, ya que fuimos capaces de lograr todas las especificaciones requeridas por el proyecto, incluyendo detalles como el uso de portaLEDs y

Gracias a este proyecto hemos confirmado la relevancia de la comunicación en el equipo de trabajo, de la planificación del tiempo, del orden y la seguridad en el espacio de trabajo. También tuvimos que desarrollar la capacidad para anteponerse a problemas, pensando qué secciones podrían fallar y teniendo que encontrar una solución, como en el caso de ciertas resistencias que debían ser muy exactas o que no estaban disponibles en el mercado, dificultades que fuimos capaces de superar exitosamente.