

Fuente de alimentación digital de 1,3 a 30 V

Adrián Ricardo Brancolino, Ismael Martínez Rincón

Tercer curso de Ingeniería Técnica Industrial, Especialidad en Electrónica Industrial

adrian@brancolino.com

martinezrincon@gmail.com

Resumen – Con este estudio se pretende implementar una fuente de laboratorio capaz de manejar tensión y corriente, necesarias para el desarrollo de gran número de aplicaciones, utilizando conocimientos adquiridos en las asignaturas: informática industrial, instrumentación electrónica y técnicas analógicas.

I. INTRODUCCIÓN

Como paso previo a cualquier diseño o actuación, se deben fijar una serie de condiciones imprescindibles para llevar a cabo el diseño, en este caso, estas premisas serán las siguientes:

Bajo coste, utilizar el mínimo de componentes posible, máxima aplicación de conocimientos y ejemplos de posibles situaciones.

Los objetivos que se pretenden alcanzar son: Tensión regulable con resolución de 0.1 V, selección de corriente máxima permitida, ajustes mediante menú de todos los parámetros de calibración, protección por sobre temperatura de los elementos de potencia y mantener el terminal negativo en común entre la entrada y salida del circuito.

II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El estudio se basa en combinar el uso de un microcontrolador, su correspondiente código y un circuito externo que pueda cumplir con las consignas establecidas.

La ventaja de combinar microcontrolador y circuito radica en que, si fuera un circuito totalmente analógico, (sin el uso de un microcontrolador), se deberían tener varias resistencias ajustables para poder calibrar, por ejemplo, que el voltímetro esté leyendo el valor correcto.

Lo mismo sucede para el amperímetro, se desea que el amplificador (que se verá más adelante), gane exactamente lo que se necesita.

Se evitarán los saltos de tensión, ya que éstos implican una puesta en marcha complicada y costosa, tanto en componentes como en trabajo. Se compensarán mediante un potenciómetro, que será el encargado de seleccionar la tensión de salida, etc.

Para lograr este objetivo, se utilizarán las entradas analógicas del PIC18F1320 como entradas de señal y la combinación de un filtro junto a la salida PWM como salida analógica.

III. DIAGRAMA DE BLOQUES

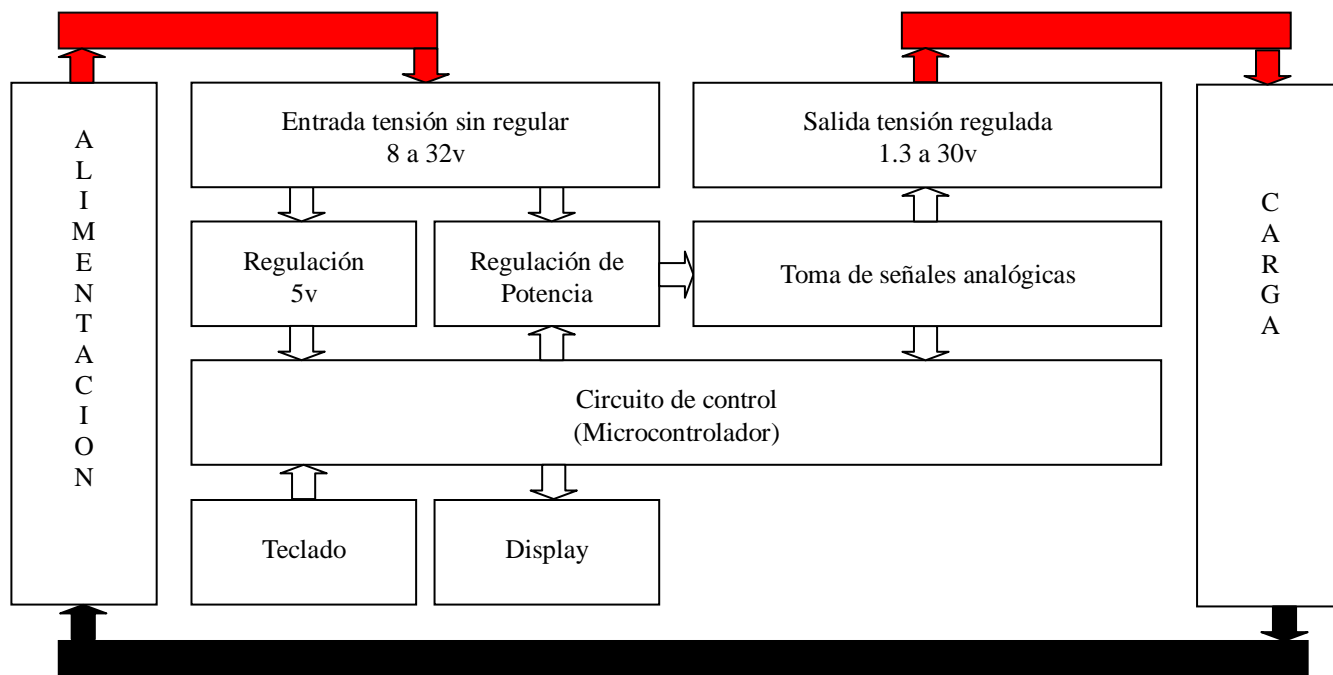


Fig. 1 Diagrama de bloques de la instalación

El diagrama consta de las siguientes partes: regulación de tensión a 5 V para el circuito lógico, regulación de potencia serie para la salida de la fuente, toma y acondicionamiento de señales analógicas, procesamiento y conversión de señal digital a analógica, además de visualización de valores y teclado de usuario.

IV. ETAPAS

A. Etapa de regulación

En la etapa de regulación de potencia se utilizará un regulador de tensión ajustable LM317, de tres terminales y capaz de suministrar más de 1,5 A en un rango de 1,2 hasta 37 V. Además, en su diseño se incluirá una protección por cortocircuito y otra por sobretensión.

Para su empleo solo se necesitarán dos resistencias externas, con las que se conseguirá un único valor de salida.

$$V_{out} = 1,25 * (1 + \frac{R2}{R1}) \text{ [Volts]}$$

En este caso, se intentarán conseguir distintos valores de tensión en la salida, y se tendrá que ir cambiando el valor de R2/R1 dependiendo de la tensión deseada. Para ello se reemplaza el divisor de tensión R2/R1 por un potenciómetro digital, utilizando la salida con modulación por ancho de pulso (pulse width modulation: PWM), disponible en el PIC18F1320.

Los parámetros fundamentales del PWM son el periodo (T) y el ciclo de trabajo (D). El ciclo de trabajo indica el tiempo que la función vale "1" respecto al tiempo total (periodo). La figura 2 muestra tres ciclos de trabajo distintos. Se observa que el periodo del PWM se mantiene constante, lo que cambia es el tiempo en que la señal se mantiene a uno respecto al periodo total.

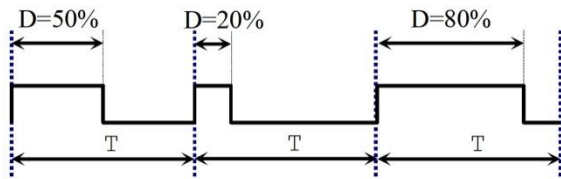


Fig. 2. Señal PWM con el ciclo de trabajo cambiado

Si a un filtro pasa bajas se le pasa una señal PWM con una frecuencia de corte lo suficientemente pequeña, en su salida se obtiene un valor de tensión continua, correspondiente a la integral de la señal PWM, es decir, su valor medio.

Si se cambia el ciclo de trabajo de la señal PWM inicial, cambiará el valor medio. Si se deja pasar un tiempo, se obtiene la tensión continua deseada a la salida.

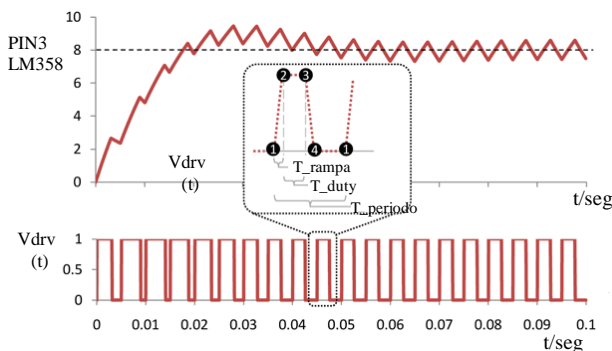


Fig. 3. Señal obtenida después de pasar el PWM por el filtro pasa-baja

En la figura 3 se puede ver la salida del filtro pasa-bajas, donde ya está integrada la señal PWM. Se observa que tiene un pequeño rizado, que se debe al

tiempo de carga y descarga del filtro.

Para minimizarlo, se debe aumentar al máximo la frecuencia del PWM, en nuestro caso, se utilizará una frecuencia de 40 KHz, ya que es la mayor que permite este pic, con una resolución de 10 bits.

El cálculo del filtro generalmente no es crítico, éste debe comportarse como un integrador, y esto sucede cuando su constante de tiempo es bastante mayor que la frecuencia de carga y descarga a la que lo somete el PWM. Visto como un filtro pasa-bajas, se puede afirmar que su frecuencia de corte debe ser mucho menor que la frecuencia de la señal de PWM.



Fig. 4 Diagrama de bode del filtro aplicado al PWM

Si se cambia el ciclo de trabajo de la señal PWM a lo largo del tiempo, con una frecuencia menor que la de corte del filtro integrador, se obtienen las variaciones del valor medio a la salida del filtro, o sea, la señal equivalente al divisor R2/R1.

Como esta señal estará acotada por el valor máximo y mínimo de tensión del PWM, en el caso que se trata coincide con la alimentación del micro, que es de 5 Volts, por tanto, se deduce que:

$$\text{Si } D = 100 \% \Rightarrow 5V \sim \text{Si } D = 0 \% \Rightarrow 0V$$

En el desarrollo de esta fuente se precisa que el PWM alcance un límite de 32 V para la regulación y (32-1.25) V para la salida, en lugar de los 5 V.

Para conseguirlo, se utilizará un amplificador operacional que deberá ganar, como mínimo 32/5 veces, para mantener la máxima resolución de los 10 bits.

En el caso que nos trata se ha elegido la configuración no inversor, donde su ganancia está dada por la relación:

$$V_{out} = V_{in} (1 + \frac{R6}{R5})$$

$$Ganancia = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{32}{5} \Rightarrow \frac{32}{5} = 1 + \frac{5400}{1000} \Rightarrow$$

se verifican los valores escogidos

En este caso la relación es exacta, pero si no lo fuera, ya que no existen infinitos valores comerciales de resistencias, únicamente se debe aproximar lo máximo posible, dado que después se tiene la opción de corrección mediante el programa del microcontrolador.

Llegado a este punto, se consigue una relación entre el valor del D (duty del PWM) y la tensión de salida.

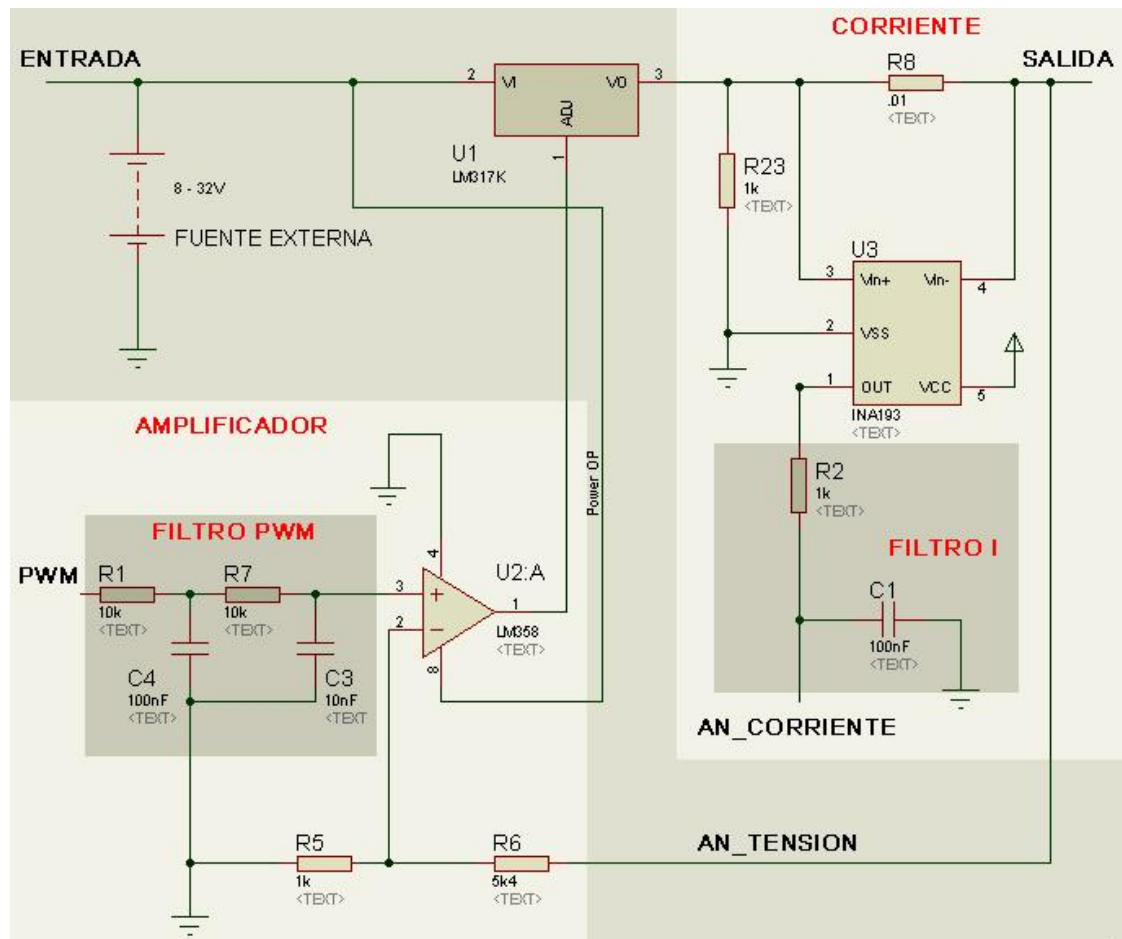


Figura 5: Esquemático, bloques regulación de potencia, PWM y toma de señales.

B. Etapa de toma de señales analógicas

Se ha elegido mantener el terminal negativo en común, por lo que no se puede intercalar una resistencia en serie en este lado del circuito. Se ubicará sobre el terminal positivo, en la parte superior, justo antes de la salida.

La función de esta resistencia será poder determinar la corriente que circula, mediante de la medición de una tensión, en este caso, la caída de tensión sobre la resistencia, que, evidentemente, será un valor conocido.

Según ley de Kirchhoff: $U = R \cdot I$

Si $R = \text{cte}$ y conocido, ya tenemos la relación

Con estos datos se puede utilizar el convertor analógico para medir esta tensión, únicamente hay un problema, los niveles máximos permitidos en la entrada del microcontrolador no pueden superar 5 V. Por la consigna de la fuente podremos tener tensiones de hasta 30 V, lo que nos obliga a limitar esta tensión.

Para contrarrestar este hecho, se ha elegido el modelo de circuito integrado INA193, (su configuración interna se puede ver en la figura 6). Se puede apreciar que es un amplificador trabajando en modo diferencial, donde su salida está limitada por la tensión de alimentación del propio circuito, en nuestro caso, de 5 V.

A la salida del circuito integrado se ha acoplado a su salida un filtro compuesto por R2 y C1., esto se hace para evitar perturbaciones que pudieran causar un error del nivel de corriente entregada.

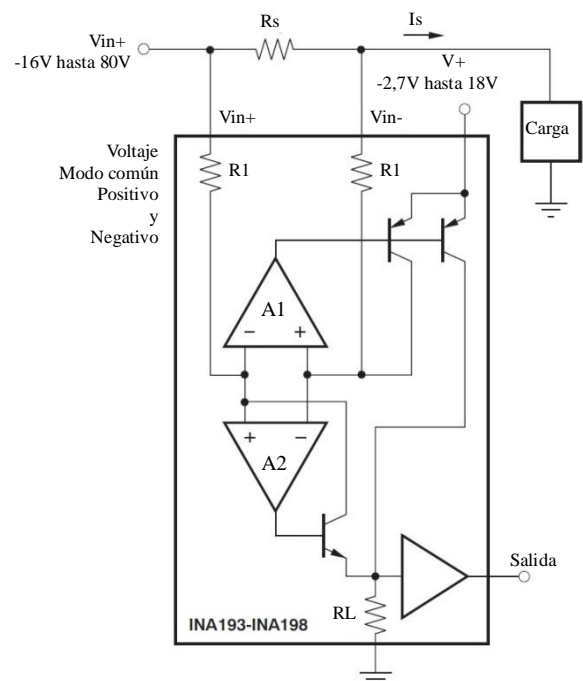


Figura 6: Esquemático del INA193 (current shunt monitor)

C. Etapa de protección por aumento de temperatura

Para esta etapa se necesita un termistor NTC. Un termistor es un sensor resistivo de temperatura.

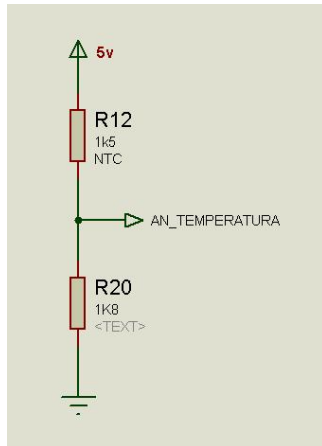


Figura 7: Esquemático divisor de tensión con el NTC

Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura. El término termistor proviene de Thermally Sensitive Resistor.

$$R_{NTC} = R_0 * e^{\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}}$$

Donde:

- * R_{ntc} es la resistencia del termistor NTC a la temperatura T (K)
- * β es la temperatura característica del material, entre 2000 K y 5000 K (dato)
- * R_0 es la resistencia del termistor NTC a la temperatura de referencia (K) (dato)

Como en el circuito se creará un divisor resistivo, se debe calcular la temperatura en función de la variación de tensión en la entrada analógica (figura 7), por lo tanto, agrupando y despejando la temperatura, se obtiene lo siguiente:

$$T[^\circ C] = \frac{(T_0 + 273) * \beta}{\beta + (T_0 + 273) * \log\left(\frac{R_{20}}{R_0} * \left(\frac{1023}{AN_{TEMPERATURA}} - 1\right)\right)} - 273$$

De esta manera, se consigue la forma de conocer la temperatura en función del valor de la entrada analógica.

D. Etapa de alimentación interna de 5 V

Para este proceso se necesitará un estabilizador de tensión fija a 5 V serie, concretamente un 7805 (figura 8)

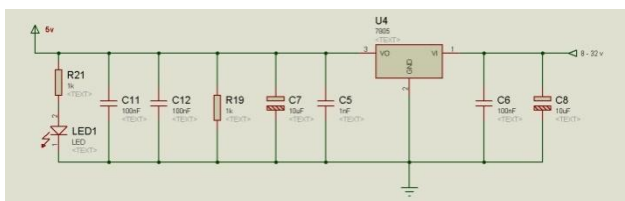


Figura 8: circuito la fuente de alimentación del microcontrolador 5 V

Habitualmente, este circuito integrado requiere de únicamente dos condensadores, uno en la entrada y otro en la salida, para su correcto funcionamiento.

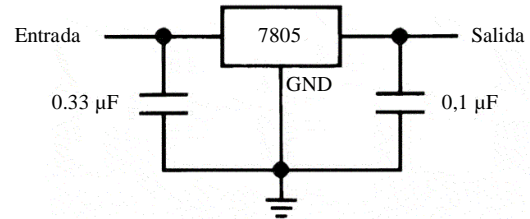


Figura 9: Conexión típica del 7805.

En el esquemático propuesto hay muchos más condensadores, el motivo es que se encuentran situados en distintas partes del recorrido de la línea de alimentación de 5 V. De esta manera, se evita (se reduce) el posible ruido que pueda provocar la carga, posibles interferencias electromagnéticas, etc.

Una posible mejora sería reemplazar el 7805 por un regulador "Switching", combinado con un diodo "Schottky", y un inductor. Esta combinación reduce de forma notable la disipación de temperatura, dado que la eficiencia puede llegar hasta el 95 %

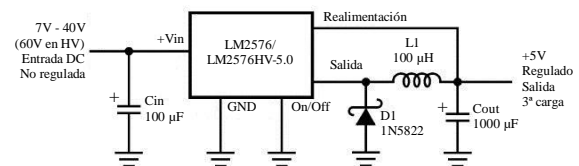


Figura 10: esquema regulador Switching con LM2576.

E. Etapa de teclado

Esta etapa desarrolla la interacción del usuario con la placa, se utilizarán cuatro pulsadores, dos para cambiar los menús y dos para cambiar el valor del ítem seleccionado. Como la cantidad de patas de entradas/salidas del micro es limitada, se ha propuesto la siguiente solución, utilizando una única entrada para los cuatro:

En la figura 11 se puede ver que, en estado de reposo, (sin apretar ningún botón) la tensión de salida (AN_TECLADO) será de 0 V. Si se aprieta algún botón, se crea un divisor resistivo que responderá a la siguiente tabla:

SW1	SW2	SW3	SW4	AN-TECLADO	Valor en 10 bits
OFF	OFF	OFF	OFF	0 V	0
ON	OFF	OFF	OFF	5 V	1024
OFF	ON	OFF	OFF	2,5 V	512
OFF	OFF	ON	OFF	1,66 V	341
OFF	OFF	OFF	ON	1,25 V	256

De esta manera, y únicamente usando cuatro resistencias iguales, junto con unas preguntas sobre el nivel de entrada en el código fuente, se puede saber que tecla se ha pulsado.

Se puede ver en detalle a continuación:

$$\begin{aligned}
 AN_TECLADO &= \frac{R18 * 5V}{R18 + R17} & (SW2:ON) \\
 &= \frac{R18 * 5V}{R18 + R17} & (SW3:ON) \\
 &= \frac{R18 * 5V}{R18 + R17 + R16 + R15} & (SW4:ON)
 \end{aligned}$$

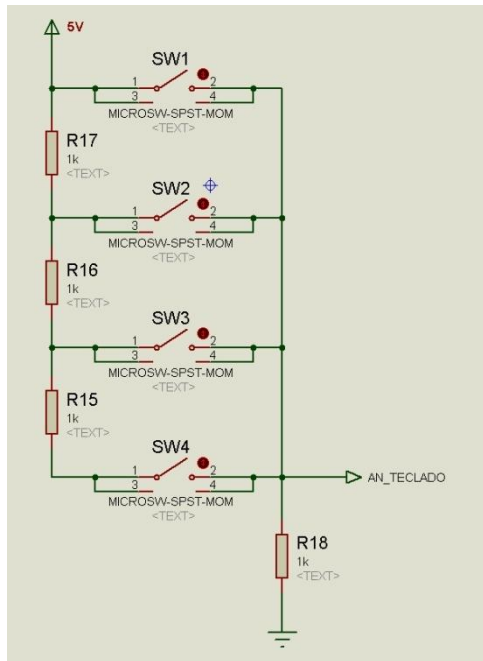


Figura 11: Esquemático del teclado

F. Etapa de display

Para esta etapa se utiliza un modelo de display de la marca Displaytech Ltd, de 2 líneas y 16 caracteres por línea. Es un dispositivo con lógica integrada donde únicamente se deben enviar los códigos de los caracteres junto a la posición.

Para enviar los códigos se utilizará una librería que escribirá la información que se desea mostrar, utilizando un simple printf (LCD_PUTC, " Mensaje ").

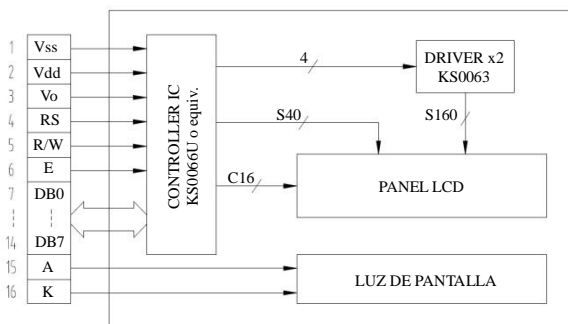


Figura 12: diagrama de bloques y conexionado del modulo LCD (Display)

G. Etapa de micro controlador

Esta es la etapa en la que, tal y como se observa en la figura 13, se incluyen las conexiones del cristal, el bus de programación, el LCD, las entradas analógicas y la salida del PWM.

Habitualmente, los microcontroladores de microchip tienen la opción de generar su señal de reloj

de forma interna hasta 8 MHz.

Como en el caso que se trata se pretende mostrar el uso del PWM para generar señales, se necesitará una señal de reloj lo más elevada posible. Por este motivo se implementará el uso de un cristal externo de 10 MHz, que el PLL (phase lock loop) interno elevará hasta 40 MHz.

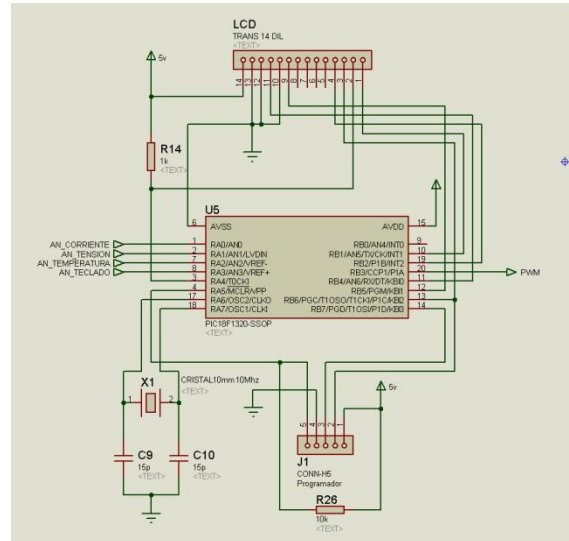


Figura 13: esquemático del micro controlador junto a las entradas y salidas.

Se añadirá un bus de programación que utiliza en pin-out del programador WINPIC800, compatible con cualquier otro programado de la firma comercial Microchip.

H. Etapa de protección y corte de salida.

Se puede agregar al diseño la opción de activar o desactivar la salida de la fuente, por medio de un relé, el cual se activa cuando el PIN9 (RB0) está en "1" (5V) (figura 14). También se incluirá una protección EMI (Electromagnetic interference), que es un filtro electrónico que atenúa el campo electromagnético generado por la carga, especialmente cuando ésta son motores de corriente continua.

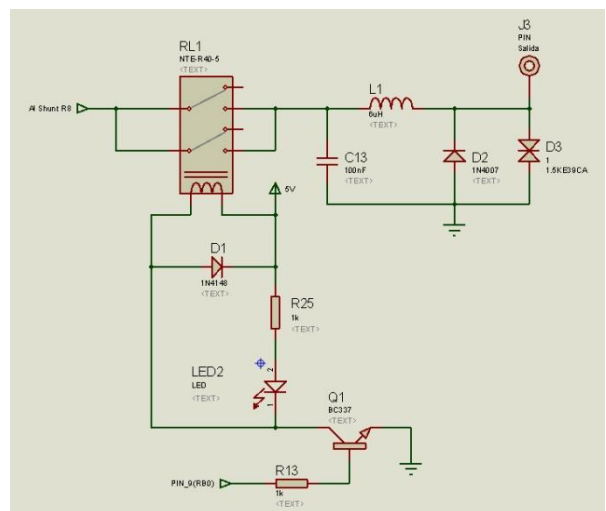


Figura 14: esquemático del relé de salidas y protección EMI

I. Entrada y salida de datos vía RS-232.

Otra posibilidad que ofrece este diseño, es poder controlar remotamente los parámetros de tensión, corriente y accionamiento del relé de salida a través de un ordenador. De esta manera se puede automatizar la variación de tensión, por ejemplo, desde LabView®, para un proceso de calibración o respuesta frecuencial de un diseño.

Para lograrlo, se debe añadir un módulo UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) por Bluetooth (figura 15) o simplemente, un adaptador de niveles (figura 16). Para el protocolo de comunicación se ha implementado la siguiente codificación:

Tamaño de los datos					
Etiqueta	Tensión		Corriente		Relé
Trans_V_A	2Bytes	,	2Bytes	,	1bit \n\r
Recep_V_A	2Bytes	,	2Bytes	,	1bit \n\r
Etiqueta	Tensión		Corriente		Relé
Tensión de salida / corriente actual / estado del relé					
Trans_V_A	mili V	,	mili A	,	1:on \n\r
Tensión de trabajo / corriente máxima / estado del relé					
Recep_V_A	mili V	,	mili A	,	0:off \n\r

La “,” hace función de separador



Figura 15: Placa de comunicación Bluetooth / UART RS-232.

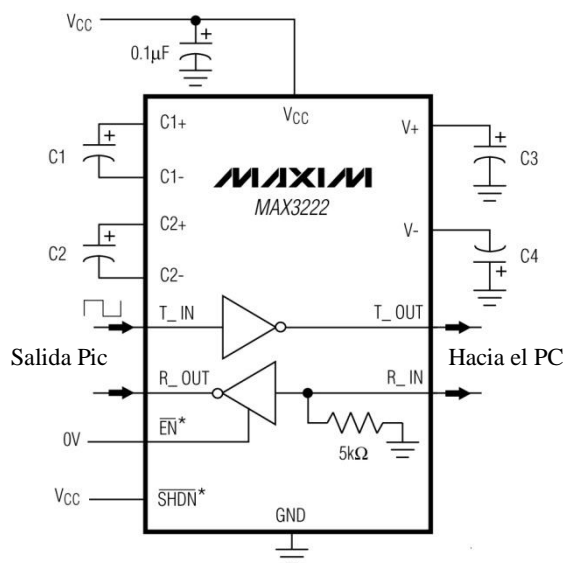


Figura 16: MAX3222 adaptador de niveles UART RS-232.

Un ejemplo de cómo fijar la tensión de salida, la corriente máxima permitida y el estado del relé desde el ordenador en lenguaje C seria:

```
Printf("10000,2000,1\n\r");
```

Donde están seleccionados 10V, 2A y el relé encendido.

J. Anexo etapa de potencia.

El regulador LM317 puede manejar como máximo 1,5 A o 30 W, donde la potencia se calcula:

$$P_{max} = 30 = I * (V_{in} - V_{out})$$

Por tal motivo, si se quieren conseguir 5 V de salida, pero se le aplican 30 V a la entrada, sólo podremos tener 1.2 A, todo ello suponiendo que la temperatura ambiente del encapsulado se mantiene a 25°, algo imposible en la vida real.

Debido a este motivo, al circuito se le puede agregar un transistor de paso, junto a una resistencia de polarización (figura 17). De esta manera, a medida que la corriente de entrada sube, aumenta la caída de tensión en la resistencia, que polarizará la unión base-emisor, permitiendo una circulación de corriente entre colector y emisor. La corriente se divide entre el LM317 y el transistor, si se quiere que la fuente maneje hasta 10 A sin que actúe la protección del LM317, se debe colocar una resistencia de 3.3Ω 3W.

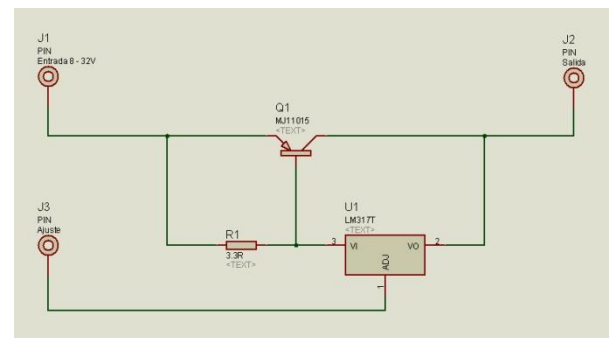


Figura 17: Esquemático con el transistor de paso para 10A.

K. Diagrama SDL

K.1. Inicialización:

En esta etapa se crean las variables, cargándose en cada apartado todos los valores correspondientes, que se utilizarán durante la ejecución del programa. Además, se cargan los parámetros de calibración que se han graban en la EEPROM.

En LCD se especifican las conexiones físicas del display con el microcontrolador y se borra el contenido de la memoria interna, dejándolo listo para su uso.

En ADC se define la resolución con la se trabajará, (10 bits), cuántos canales analógicos se utilizarán (AN0, AN1, AN2 y AN3), y la referencia del conversor, (Ref-: GND y Ref+: 5 V).

En PWM, se establece la frecuencia de trabajo a 40Khz, la más alta, manteniendo 10 bits de resolución.

En WDT, (watchdog timer), se ajusta el tiempo del “perro guardián”, el periodo por defecto es

de 4 ms (relación 1:1). En este caso se ha fijado a 512 ms (1:128).

Puerto serie: Se establecerán los pin de comunicación, ubicados en el mismo lugar del puerto

de programación, para poder utilizarlo como puerto de entrada/salida. Se configura la velocidad a 9600 baudios, un bit de stop y 8 bytes de caracteres

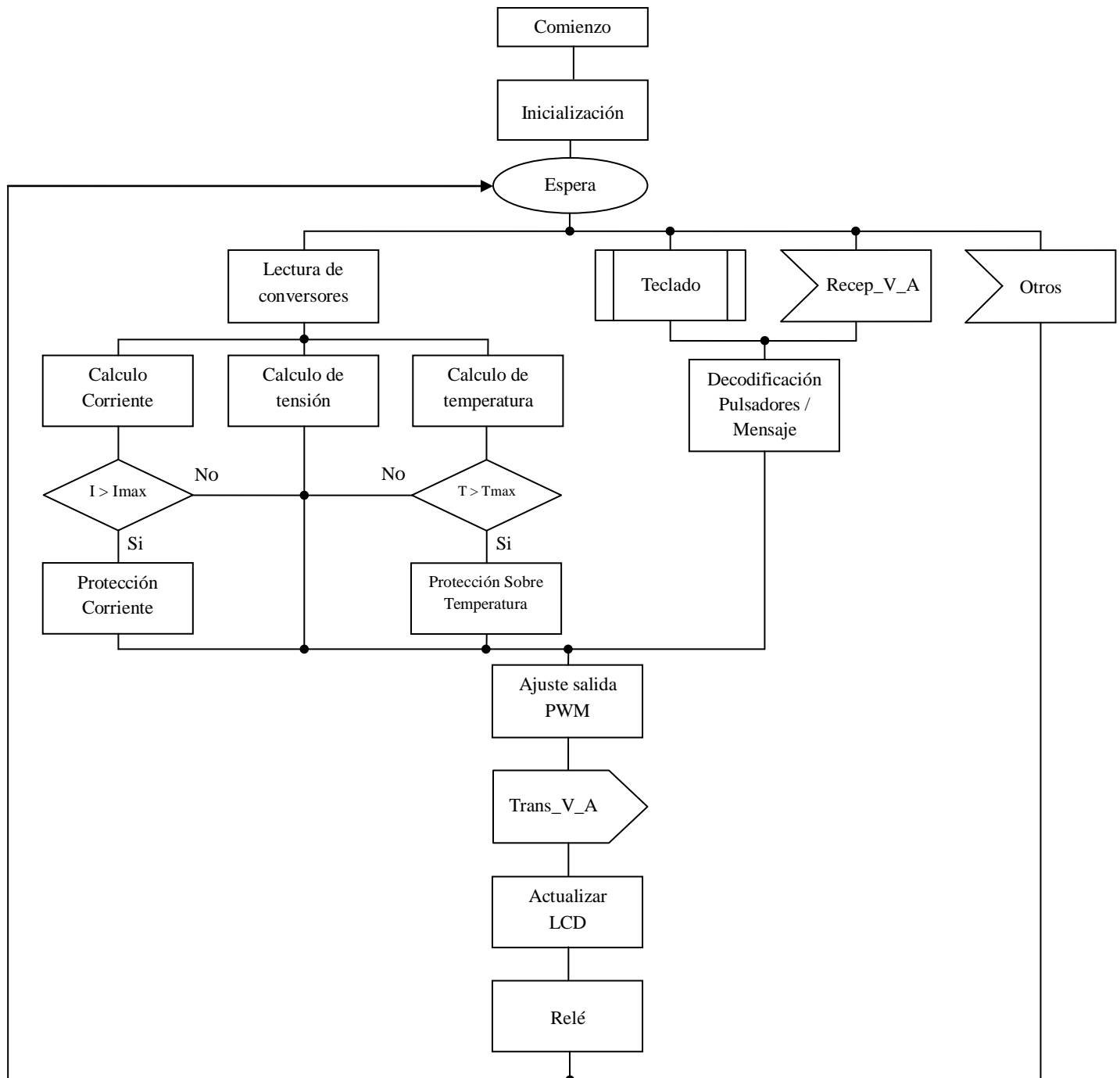


Figura 18: Diagrama SDL del circuito.

K.2. Adquisición de datos analógicos

Inicialmente se selecciona el canal AN_0, se lee su valor y se selecciona el canal AN_1. El paso de un canal a otro supone un tiempo de conmutación mínimo de 20 μ s. Pasado este tiempo, se lee el valor de AN_1, y así sucesivamente.

K.3. Cálculo de corriente

El valor de tensión proporcional a la corriente que atraviesa la resistencia shunt es de:

$$AN_{tension} = G_{INA193} * R_{shunt} * I$$

Donde $G_{INA193} = 20$

El valor del convertor analógico es de:

$$AN = \frac{G_{INA193} * R_{shunt} * I}{5} * 1024$$

Por tanto, el valor de la corriente será:

$$I_{(mA)} = \frac{5 * 1000}{1024 * R_{shunt} * G_{INA193}} * AN$$

Los valores de R_{shunt} y del G_{INA193} pueden variar por cambios de diseño o por variaciones del valor interno debidas a su tolerancia. Por tal motivo, se agrupan y se crea una constante ajustable desde el menú “adj_fact_amper”.

A su vez, se establecerá un menú donde se ajusta el valor de la corriente máxima permitida “i_out_max”.

K.4. Cálculo de temperatura

Para aplicar la fórmula desarrollada en el apartado “C” del presente artículo, se debe utilizar una librería matemática o Taylor, dado que de esta manera únicamente se utilizarán operaciones básicas, haciendo más eficiente el código.

Bajo estas premisas, se obtiene lo siguiente:

$$tp1 = \left(\frac{r20 * (1023 - AN_{temperatura})}{AN_{temperatura} * r0} \right) - 1$$

$$tp2 = - \left(\frac{tp1^4}{4} \right)$$

$$temp = \left(\frac{1}{(tn + 273) + \frac{(tp2 + \frac{tp1^3}{3}) - \frac{tp1^2}{2} + tp1}{\beta}} \right) - 273$$

Donde:

- tp1 y tp2 son variables creadas debido a las restricciones de tamaño en las funciones de cálculo del lenguaje de programación C
- R20 es una resistencia existente en el circuito.
- β es la temperatura característica del material, entre 2000 K y 5000 K
- Ro es la resistencia del termistor NTC a la temperatura de referencia (K)

A su vez, se establecerá un valor de temperatura máxima de 60° permitida para el disipador de potencia.

K.5. Cálculo de tensión

La medición de la tensión se hará a través de un divisor de tensión resistivo, ya que la tensión de salida de la fuente puede llegar a 30 V, y nuestro conversor admite, como máximo, 5 V.

Debido a ello obtenemos que:

$$AN_{tensión} = V_{salida} * \frac{R4}{R4 + R3}$$

El cálculo de AN será:

$$AN = \frac{V_{salida} * R4 * 1024}{5 * (R4 + R3)}$$

Por tanto, el valor de la tensión será:

$$V_{salida} = \frac{5 * (R4 + R3)}{R4 * 1024} * AN$$

Al igual que en el apartado K.3., debido a las tolerancias y cambios de diseño, se establece un parámetro de calibración del voltímetro ajustable según el menú “adj_fact_volti”.

A su vez, se establecerá un menú donde se ajusta el valor de la tensión máxima y mínima permitida “v_out_max” y “v_out_min”.

K.6. Interacción entrada/salida con el usuario

K.6.1. Teclado y recepción remota:

Como se ha visto en el apartado “E” (etapa de teclado), de acuerdo con el nivel de tensión de la entrada analógica, corresponderá a una tecla determinada. De esta manera se podrán ajustar los valores, ya sea vía teclado o recibiendo un mensaje por el puerto RS-232, según el protocolo de comunicación del apartado “I” (Entrada/salida de datos vía RS-232).

K.6.2. Display y envío remoto:

Según el apartado “F” (etapa de display), se vio cómo se conecta físicamente el LCD y como se envían los datos. Para minimizar el tiempo utilizado en enviar los datos al LCD, se establece una velocidad de refresco de 2 veces/segundo.

En cada actualización del display (½ seg), se envía una trama RS-232 con datos actualizados, según el protocolo de transmisión del apartado “I” (Entrada/salida de datos).

K.7. Ajuste del PWM

El valor del duty del PWM estará dado por:

$$duty_{PWM} = \frac{tension_{seleccionada} * adj_{fact_{PWM}}}{100}$$

Donde:

Tensión_{seleccionada}: Es la tensión fijada por el usuario (mV).

Adj_{fact_PWM}: Es el ajuste de la ganancia del amplificador operacional explicado en el apartado “A” (etapa de regulación).

Por tal motivo, el diseño contará con un menú de ajuste de la ganancia llamado “adj_fact_pwm”.

K.8. Relé de salida

Su función será cortar la salida de la fuente mientras se modifica la tensión seleccionada, por protección de sobre temperatura o por superar la corriente máxima permitida.

La fuente puede cambiar los valores de la tensión de salida con el relé activado o desactivado.

V. OTRAS APLICACIONES. GENERADOR DE FUNCIONES

Desde el menú de usuario se podrá seleccionar el modo de generador de funciones, donde se han creado tres posibles formas de onda (con frecuencia y amplitud fijas), con la única finalidad de poder mostrar las posibles aplicaciones de todo lo mostrado en el presente artículo. Las tres formas de onda a mostrar serán:

- Triangular

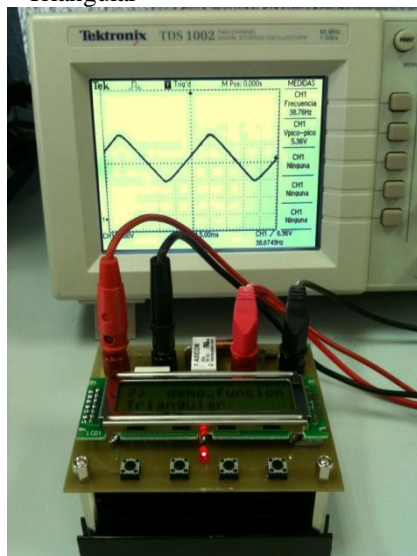


Figura 19: Forma de onda triangular.

- Diente de sierra

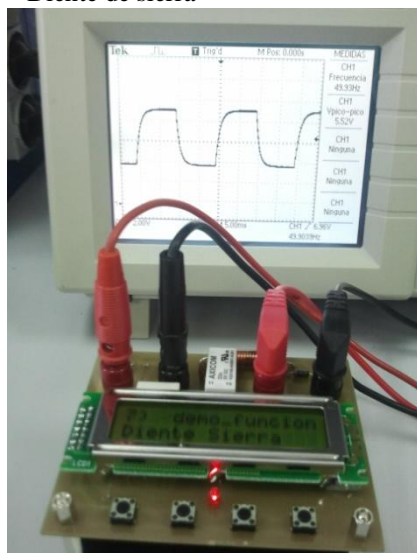


Figura 20: Forma de onda en diente de sierra.

- Senoidal

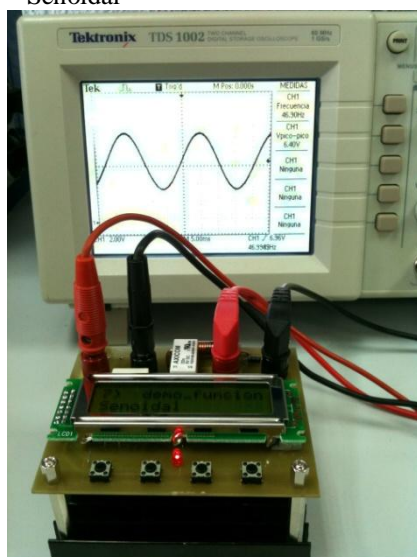


Figura 21: Forma de onda senoidal.

VII. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que se ha de tener muy claro que se deben cumplir las premisas indicadas en la introducción, se ha intentado implementar un prototipo fácil de utilizar, económico, y con la mayor fiabilidad posible.

Después de montar y probar el prototipo, queda demostrado que el funcionamiento de la fuente muestra una altísima fiabilidad, consiguiendo cumplir con todos los objetivos indicados de inicio, tal y como se ha podido demostrar en los anexos fotográficos y en el resto de la memoria adjunta.

Además de ello, cabe destacar que el valor total de los componentes no ha llegado a 30 €, hecho que convierte al prototipo en una opción asequible económicamente, además de fácil de usar.

Con este prototipo se puede contar con una fuente regulada, estabilizada y controlada remotamente para procesos de automatización en calibrados, etc a un precio infinitamente inferior a una fuente de laboratorio.

Estamos de acuerdo en que una fuente de laboratorio controlable a través de IEEE-488 ofrece una serie de prestaciones que la fuente que presentamos no admite, pero para un estudiante o un pequeño diseñador, que no dispone de recursos para adquirirla, ni posiblemente necesitará hacer uso de tales características, podrá contar con una herramienta que cubrirá sus necesidades, a un precio muy económico.

Para la entrada de la fuente se puede utilizar cualquier adaptador de tensión, ya sean fuentes viejas de portátiles o cualquier fuente que tengamos en casa.

REFERENCIAS

- [1] Sergio Franco, "Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos", 3ª edición, 2005, ISBN 9701045955
- [2] Muhammad H. Rashid, "Circuitos micro electrónicos: análisis y diseño", Thomson Paraninfo, 2002, ISBN 8497320573
- [3] Norbert R. Malik. "Circuitos Electrónicos. Análisis, Simulación y Diseño", Editorial Prentice Hall, Cuarta Edición, 1996 ISBN 84-89660-03-4
- [4] M.A. Pérez, J.C. Álvarez, J.C. Campo, Fco. J. Ferrero, G.J. Grillo, "Instrumentación Electrónica" Editorial Thomson, ISBN 8497321669
- [5] Ramon Pallàs, "Sensores y acondicionadores de señal", Marcombo Boixareu, 1998, ISBN 8426711715
- [6] Sergio Franco, "Design with operational amplifiers and analog integrated circuits", 3ª edición, 2002, ISBN 0072320842
- [7] Microcontroladores PIC: Diseño Práctico de Aplicaciones, J. M. Angulo e I. Angulo, McGraw-Hill, 1999
- [8] C Programming Language (2nd Edition) B. W. Kernighan – D.M. Ritchie, Prentice-Hall. ISBN-10: 0131103628

ANEXO FOTOGRÁFICO

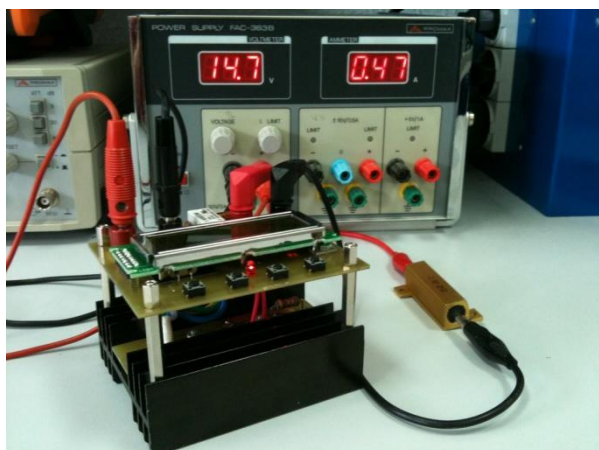


Figura 23: Fuente. Vista de disipador de potencia.

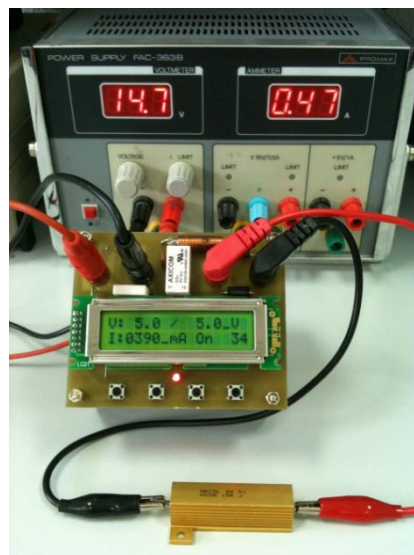


Figura 22: Fuente con carga 15 Ω .