

Capítulo 5

Montaje de la fuente de alimentación

5.1. Introducción al capítulo

Este no es un libro de bricolage, sino un libro de electrónica. Si se intentara describir pormenorizadamente la construcción de la fuente, utilizaríamos muchas páginas. Asimismo, esta experiencia se ha mostrado gran consumidora de tiempo, y ha supuesto grandes dificultades para los menos acostumbrados a los trabajos manuales. Por otro lado, hay varias formas de acometer la construcción de la fuente, dependiendo de los materiales y herramientas disponibles.

A pesar de todo ello, por ser la fuente de alimentación una herramienta básica para el desarrollo, hemos de intentar obtener un producto bien terminado, por lo que se va a proponer este objetivo, a sabiendas del esfuerzo que puede suponer para muchos.

En este capítulo se va adoptar una postura más pragmática, y vamos a centrarnos en los aspectos más específicamente *electrónicos* de la cuestión, a saber:

- revisión somera de la instrumentación electrónica básica: el polímetro y el osciloscopio
- guías para el montaje de la fuente de alimentación: realización del circuito impreso, soldadura de los componentes y cajeadado
- plan de pruebas de validación
- guía de resolución de posibles problemas

5.2. Etapas de un proyecto

La fuente de alimentación ha sido nuestro primer proyecto electrónico. Conviene que identifiquemos de manera somera las etapas de un proyecto:

- Diseño de la arquitectura: se determinan los bloques del sistema, sus prestaciones, precios, tamaños, consumos... y se ve si es viable en el sentido de responder a las necesidades del cliente.

- Diseño de detalle: se realiza un diseño detallado hasta el punto de determinar los componentes precisos, y el diseño de los circuitos impresos.
- Montaje de la placas, y eventualmente, cajeados.
- Depuración y medidas: a investigar y a sufrir!. El papel soporta todo, pero una placa no. Hay que medirse con la testaruda realidad en el banco de laboratorio.

5.3. Revisión del circuito

Tenemos un circuito ya diseñado. Pues bien, hay que mirarlo un buen rato, tal vez pasar a limpio el esquema. Si es posible, dejarlo reposar unos días, y volver a mirarlo. Revisar algunos cálculos. Trazar la *coreografía* de las señales, planificar un plan de pruebas (esto tal vez nos de alguna idea de puntos de prueba, o nos haga descubrir errores) y resto de documentación. Volver a mirarlo con espíritu crítico.

Cuando un error es detectado en una etapa inicial de un proyecto, cuesta poco corregirlo, pero el tiempo involucrado en la detección y corrección crece enormemente al avanzar el proyecto¹. Esto se traduce en que debemos dedicarle tiempo a la revisión del diseño. Conforme ganamos experiencia, iremos siendo capaces de adelantarnos más y más a los problemas.

Hay un tipo muy interesante llamado ROBERT A. PEASE que trabaja en National Semiconductor (uno de los mayores fabricantes de chips analógicos), que escribe muchos artículos, en la prensa técnica y que ha escrito un libro muy recomendable llamado *Troubleshooting Analog Circuits*². En este libro describe el *beer test* como método de depuración. Se trata de enviar copias del esquema a unos cuantos amigos con la promesa de una invitación a su *bebercio favorito*, por cada error descubierto. Descubrir un error prematuramente puede ahorrar muchas horas de sufrimiento, de modo que se paga con gusto una copa a un amigo y juntos pasamos un rato agradable. Tiene el valor añadido de que estos amigos pueden también aprender de las cosas que yo hago.

5.4. Instrumentación electrónica

Recordemos una vez más que hay que ser muy cauto con los errores de medida. El hecho de que un instrumento sea digital, tenga muchos colores, o cueste mucho dinero no impide que tengamos que conocer su funcionamiento para poder acotar los errores de medida y sus limitaciones. Lamentablemente, conforme la instrumentación se hace más y más compleja, esta tarea se complica, pero es una tarea *imprescindible*. En los próximos apartados estudiaremos someramente los instrumentos más importantes: polímetro y osciloscopio.

Los sentidos humanos son buenos instrumentos de medida: la nariz puede detectar problemas térmicos (algo se está chamuscando), así como los labios. Los dedos son también sensores térmicos (recordemos la *regla de los cinco segundos*). Pero cuidado con las quemaduras. Los ojos son insustituibles para detectar problemas: no olvides nunca revisar una placa antes de empezar a medirla.

Pero la cabeza es el mejor de todos: sin ella no existiría la electrónica. No olvides nunca conectar el cerebro antes de ponerte a trabajar.

¹Imaginemos que por negligencia no hemos hecho los cálculos de potencia disipada del regulador y al hacer las pruebas nos damos cuenta de que se calienta en exceso. ¡Podríamos llegar a tener que modificar el circuito impreso y la caja!. Haberlo tenido en cuenta nos ha permitido encontrar una solución elegante.

²1991, Editorial Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-9184-0 (*Buscando fallos en circuitos analógicos*)



Figura 5.1: Polímetro digital

5.5. El polímetro

Cómo su nombre indica, el *polímetro* es un instrumento capaz de realizar *varias* medidas. habitualmente, estas incluyen medidas de tensiones, corrientes y resistencias. En polímetros de gama media, adicionalmente se pueden llegar a realizar medidas de caída de tensión en diodos a corriente constante, medidas de continuidad con pitido, medidas de capacidad e inductancia, y hasta de frecuencia.

5.5.1. Voltímetro

Ya lo hemos estudiado en lecciones previas. El polímetro se coloca en paralelo con el circuito, entre los puntos entre los que se quiere medir la tensión.

Los polímetros digitales de mano presentan una resistencia equivalente de $10\text{ M}\Omega$, lo que normalmente supone un error de medida despreciable. Pero ¡jojo! no siempre es así: en circuitos de bajo consumo esta resistencia no es en absoluto despreciable.

Los polímetros analógicos presentan una resistencia que depende de la sensibilidad de la medida (cosa bastante comprensible por lo que ya hemos visto). Un valor típico es de $20\text{ k}\Omega/\text{Volt}$. Esto significa que si usamos un fondo de escala de 20 Volt , la impedancia del voltímetro es de $400\text{ k}\Omega$, que se reduce a $40\text{ k}\Omega$ cuando la sensibilidad es de 2 Volt a fondo de escala. Estas cifras resultan mucho menos despreciables que las de los equivalentes digitales.

Esto es lo que se refiere a la corriente continua. La medida de la corriente alterna está sujeta a mayores restricciones. En los polímetros de bajo coste se pueden hacer medidas con menor sensibilidad y sólo a baja frecuencia. Es muy normal que un polímetro digital permita medidas de tensiones alternas de hasta sólo 200 Hz . A partir de esta frecuencia la precisión de la medida se degrada y el fabricante ni siquiera la especifica.

Además de todo ello, los polímetros baratos hacen medida de la *tensión media* (la que resulta de la rectificación y filtrado, como en la fuente), y sin embargo, el resultado de la medida se presenta en *tensiones eficaces*³. Esta equivalencia, sólo es válida para señales sinusoidales, de modo que la medida de cualquier otra señal (por ejemplo, señales cuadradas) produce medidas erróneas que conducen a engaño si esto no se conoce.

³De este modo, la medida de la tensión de la red arroja un resultado de 220 Voltios , que corresponde al valor eficaz de la misma.

Si se desean hacer medidas de tensiones alternas, tenemos que hacer uso de *voltímetros de verdadero valor eficaz*, con precios notablemente más altos. Estos voltímetros miden valores eficaces y no tensiones medias, y habitualmente se construyen con la capacidad de realizar medidas precisas de señales de más alta frecuencia.

5.5.2. Amperímetro

Las medidas de corriente se realizan incluyendo el medidor en el camino de la corriente. Siempre introducen una caída de tensión adicional en el circuito a medir. Por lo demás, aplica todo lo dicho para el voltímetro.

5.5.3. Ohmetro

El óhmetro es un instrumento capaz de medir la resistencia de un componente o circuito.

La forma de realizar un voltímetro suele depender de la tecnología empleada. Los polímetros analógicos suelen utilizar la técnica de la figura 5.2-A. Una referencia de tensión, B1 (habitualmente una pila) se pone en serie con una resistencia (R_s) un medidor de corriente (M1) y la resistencia a medir (R_x). La corriente depende de manera inversa de la resistencia. Por ello se ha de dibujar la escala del medidor con resistencia infinita a la izquierda (corriente cero) y resistencia cero a la derecha (corriente máxima)⁴, habitualmente calibrable mediante un ajuste externo en serie con R_s , que compensa la descarga de la batería.

Para la realización de un ohmetro digital se suele utilizar la técnica de la figura 5.2-B. Una fuente de corriente constante (I_1) se conecta a la resistencia a medir (R_x), y en paralelo con ella, se mide la caída de tensión en la misma. La ventaja de esta técnica es que la resistencia es directamente proporcional a la resistencia, por lo que sólo se ha de aplicar un factor de escala.

En este somero análisis no se ha detallado el modo en el que se podría dar soporte a la medida de distintas escalas. Proponemos como ejercicio para el lector el cálculo de las resistencias serie para los modelos anteriores y galvanómetro como el especificado en la figura 5.2. Adelantamos una solución en la figura 5.3. En la figura ME, significa *Media Escala*, y FE, *Fondo de Escala*.

Las medidas de resistencia deben hacerse siempre sobre circuitos o componentes que no estén alimentados.

5.5.4. Aspecto externo de un polímetro digital

Si echamos un vistazo a un polímetro digital estándar como el de la figura 5.1, nos encontramos con los siguientes elementos:

- **Conjunto de bornas de conexión:** Es común que, en función del tipo de medida a realizar, las bornas se tengan que conectar en un lugar u otro. Normalmente,

⁴Esta es una de las mayores limitaciones de esta arquitectura: el medidor recorre el espectro del cero al infinito, y la única posibilidad del diseñador es la de fijar el centro de la escala. Solo en torno a este centro se pueden lograr precisiones razonables.

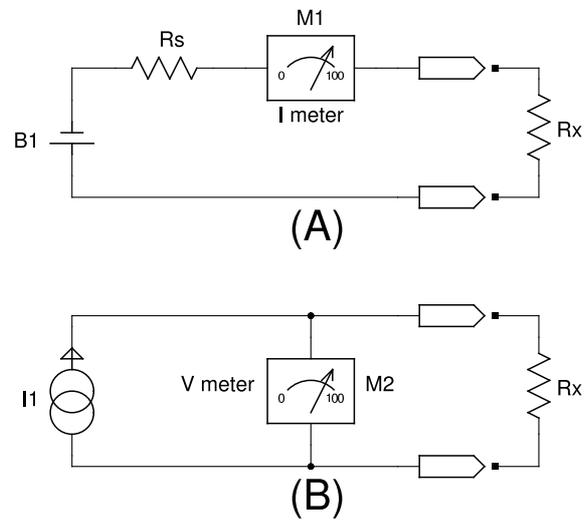


Figura 5.2: Arquitecturas comunes de un ohmetro

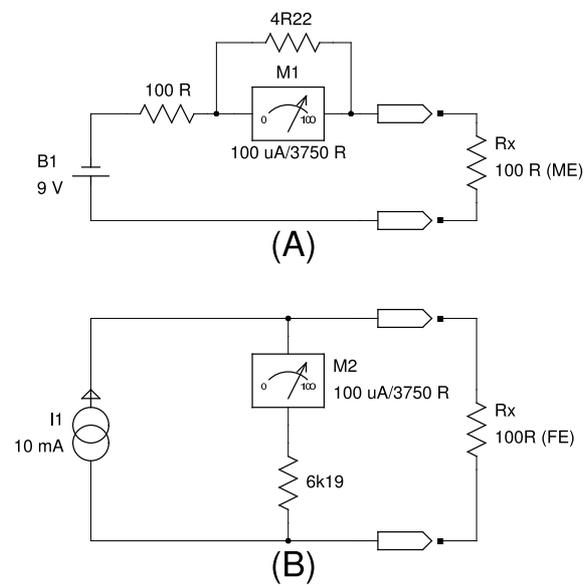


Figura 5.3: Ejemplo de realización de un ohmetro

la borna del terminal negativo (negro)⁵ se conecta siempre en el mismo lugar, y la positiva (roja) varía según se hagan medidas de corriente, tensión o resistencia, y puede haber una conexión adicional para medidas de alta corriente. Es muy importante que después de una medida de corriente, las bornas se vuelvan a colocar en la posición de medida de tensiones, ya que si dejamos los terminales en modo corriente, el polímetro presenta una resistencia MUY baja. Si a continuación, sin darnos cuenta, pretendemos hacer medidas de tensión, provocaremos cortos en el circuito a medir que, en el mejor de los casos, harán fundirse el fusible de protección del polímetro.

Lo más común es que haya cuatro bornas:

- ALTA CORRIENTE
 - CORRIENTE
 - REFERENCIA (COMUN)
 - TENSIÓN y RESISTENCIA
- **Conmutador de selección de modo de funcionamiento:** Normalmente es necesario decirle al polímetro que medida queremos realizar: corriente, tensión o resistencia, y para las dos primeras, si son en continua o alterna. Muchos polímetros permiten detectar cortocircuitos (con pitido), medir caídas de tensión en diodos, medir frecuencia, capacidad... Normalmente, este tipo de medidas se realizan con precisión mediocre (dependiendo mucho de la calidad y precio del aparato).
 - **Conmutador de selección de sensibilidad⁶:** permite seleccionar el *fondo de escala* para la medida seleccionada. Si escogemos un fondo de escala demasiado alto, la medida tendrá poca resolución, pero si escogemos uno demasiado pequeño, nos salimos de rango, y entonces el instrumento no es capaz de hacer la medida⁷.
 - **Pantalla:** es el lugar donde se presenta la medida. En polímetros de baja y media calidad, se trata de un *display* de tres dígitos y medio, capaz de visualizar medidas de 0 a 1999 con signo. La existencia de un punto decimal ayuda notablemente a interpretar el factor de escala que aplica a la medida. La visualización de una pantalla con un 1 a la izquierda y el resto de los dígitos en blanco corresponde habitualmente a 'fuera de rango'⁸.



ALGUNAS PRECAUCIONES:

Hay varias cosas que debemos evitar a toda costa: el hacer medidas de tensión cuando el polímetro está configurado en modo de medida de corriente, y el medir corriente o tensión cuando está configurado en modo resistencias. Dejamos como ejercicio el pensar el motivo.

Las medidas absurdas del estilo de medir la resistencia de la red eléctrica o su corriente, son simplemente estupideces que sólo demuestran una atrevida -y peligrosa- ignorancia. Se trata de un punto TAN importante que debe ser

⁵El código de colores, que es universal (eg. en las baterías de los coches), hay que grabarlo a fuego en la memoria.

⁶Es común, pero no siempre sucede, que el selector de rango y de modo de funcionamiento sea el mismo

⁷A diferencia de los polímetros analógicos, en los que si se pueden producir daños en el instrumento cuando se intentan medir señales fuera de rango, las medidas de tensión con polímetros digitales no tienen problemas si se respetan los niveles globales del instrumento (típicamente 1000 V en DC y 750 V en AC). En medidas de corriente existen igualmente límites a respetar. Consultar el manual en caso de medidas con corrientes altas. Es habitual verlo escrito en el propio instrumento.

⁸La magnitud medida es mayor que la que el instrumento puede presentar. El ejemplo más claro es cuando configuramos el polímetro en modo resistencia y las bornas están la aire (resistencia del circuito prácticamente infinita).

recalcado por si algún lector no ha asentado estos conocimientos. La red de distribución eléctrica es un generador de tensión alterna con una resistencia interna bajísima (es capaz de entregar corrientes enormes sin bajar por ello la tensión). La corriente que entrega un generador de este estilo depende sólo de la carga, y un polímetro en modo de medida de corriente es una carga resistiva MUY baja, prácticamente un cortocircuito. Si se intenta medir la corriente, y no salta de inmediato el limitador de corriente de la instalación o el fusible del polímetro, pueden quemarse los cables, y de seguro el propio instrumento.

Por otro lado, las medidas de resistencia se pueden realizar sólo sobre circuitos libres de tensión (revisar para ello la figura 5.2). Enfrentar un ohmetro a una fuente de tensión provocará daños graves al instrumento, y tal vez a su operario.

5.5.5. Ejemplo de medida con el polímetro

Vamos a poner un ejemplo de medida usando como excusa la fuente de alimentación.

5.5.5.1. Tensión continua

Queremos medir la tensión de salida de la fuente.

Sabemos que la tensión máxima de salida es de 12 Volt. Seleccionaremos por tanto un fondo de escala de 20 Volt. Medimos la tensión de salida en paralelo con la fuente, y obtenemos en la pantalla '-12.34'. Esto significa que la tensión de salida es de 12,34 Volt (con el error pertinente) y que las bornas están situadas al revés, de modo que el polímetro ve una tensión más grande en la borna negra que en la roja.

El polímetro introduce una carga de $10\text{ M}\Omega$, que supone una corriente despreciable de $2\ \mu\text{A}$.

5.5.5.2. Tensión alterna

Queremos medir la tensión de salida del secundario del transformador.

Sabemos que el transformador es de 6+6V, lo que es equivalente a una tensión de 12 V eficaces.

Hemos de configurar la medida para tensiones alternas (si lo hacemos en continua, la medida será cercana a cero, porque el promedio de una senoide es nulo). Seleccionamos un fondo de escala de 20 Volt. Medimos en los bornes de salida del transformador (evitando tocar los de entrada, a tensiones *dolorosas*). El valor medido es de 13,45. Esto corresponde pues a una tensión de 13,45 Voltios eficaces (con los correspondientes errores de medida).

5.5.5.3. Resistencia

Contamos con un reostato⁹ gigante y queremos ajustarlo para que la fuente entregue una corriente de salida de aproximadamente 0,5 A. Esto corresponde a $24\ \Omega$ cuando la salida es de 12 Volt.

⁹Una resistencia variable de potencia

Configuramos el polímetro para medida de resistencia, y un fondo de escala de 200Ω . Conectamos los terminales de medida a la resistencia. Antes de conectar da un valor de '1'. Esto indica que el valor medido es superior al fin de escala seleccionado (200Ω). Al conectar, nos dá un valor de '25.3'. La medida corresponde a $25,3 \text{ Ohm}$, con el correspondiente error de medida.

En general, debemos tratar de evitar el sujetar los dos terminales de la resistencia con los dedos, pero especialmente si medimos resistencias de alto valor, ya que el valor medido será el paralelo entre el componente y la resistencia corporal, que dependiendo de la humedad cutánea del operador, puede llegar a introducir error apreciable.

5.5.5.4. Corriente continua

Vamos a medir la corriente de salida de la fuente con una determinada resistencia de carga.

Esperamos una corriente de $0,5 \text{ A}$. Debemos seleccionar una medida de corriente continua con un fondo de escala de 2 A . Ponemos el polímetro en *serie* con la fuente y la resistencia. El valor medido es de '0.467'. Esto corresponde a una medida de $0,467 \text{ A}$, más ó menos el correspondiente error de medida.

Un polímetro digital genérico introduce una caída de tensión a fondo de escala de $0,5 \text{ V}$, que le es robado a la carga. Según la medida realizada, esta caída adicional puede restar precisión a la medida al poner la carga a tensiones más bajas (hasta un 10% con medidas a 5V).

5.6. El osciloscopio

5.6.1. Función

El osciloscopio es un aparato complejo que merece ser estudiado con detenimiento. No podemos pretender agotar el asunto, sino simplemente dar una pincelada al mismo. Una vez alcanzada cierta soltura es más que aconsejable el aprender con detalle su manejo con la ayuda de un manual o de un libro. Es normal que los propios fabricantes dispongan en la Red de cursos de ayuda o *tutoriales*. Aconsejamos vivamente profundizar en el conocimiento del manejo del osciloscopio una vez que se haya utilizado un poco: de este modo será fácil asimilar los conceptos y sacaremos todo su rendimiento a un aparato tan útil.

Un osciloscopio sirve para ver y medir señales eléctricas que cambian con el tiempo. Responde a la necesidad de medir señales, depurar o reparar circuitos.

Típicamente los osciloscopios están configurados como voltímetros, pero mediante técnicas como las que hemos visto en el capítulo del galvanómetro, se pueden hacer medidas de corriente.

5.6.2. La pantalla

Las señales a medir se presentan en una pantalla que incluye una cuadrícula que tiene diez divisiones horizontales y ocho verticales. Normalmente, se utiliza la escala vertical para la medida de las tensiones y el eje horizontal para la medida del tiempo.

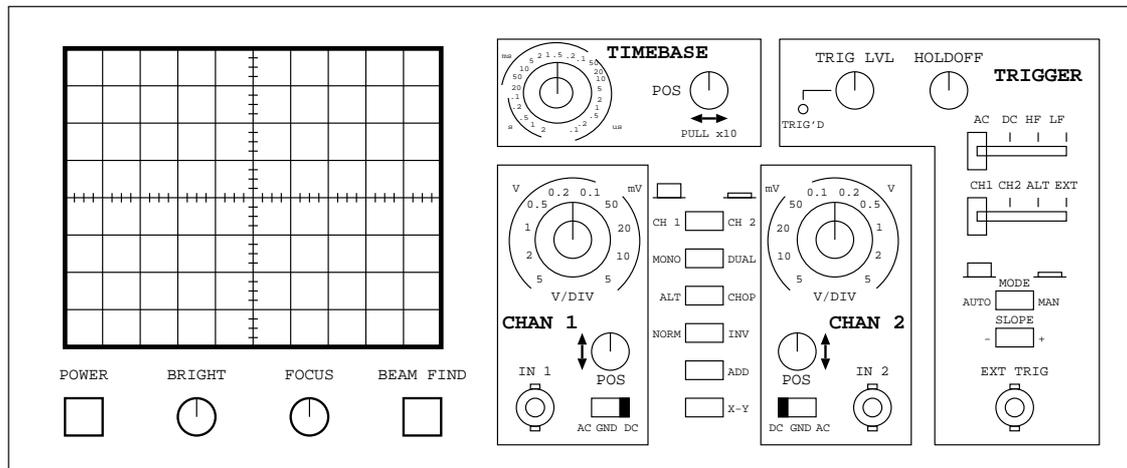


Figura 5.4: Frontal de un osciloscopio genérico

También es posible trabajar en lo que se denomina modo X-Y: los dos ejes se usan para presentar las tensiones de los dos canales. No es muy común, pero resulta muy útil en ciertas aplicaciones.

Un osciloscopio como el mostrado permite visualizar hasta dos señales de forma simultánea (algunos modelos permiten hasta cuatro). Esto se realiza mediante diferentes técnicas, que conviene conocer para ver sus limitaciones intrínsecas, pero que ahora no podemos analizar por falta de espacio.

5.6.3. Los circuitos de entrada

Los circuitos de entrada existen para cada canal de entrada de un osciloscopio.

La impedancia de entrada de un osciloscopio típico está en torno a $1\text{ M}\Omega$ en paralelo con 35 pF . Puede parecer una impedancia muy alta, pero a 20 MHz (el ancho de banda de un osciloscopio analógico estándar), la capacidad presenta una impedancia de $-j\cdot 230\ \Omega$, lo que no resulta especialmente despreciable.

El circuito de entrada permite:

- **Ajustar la ganancia** (en pasos de 1, 2 y 5). El osciloscopio usado presenta escalas de 5, 2, 1, 0,5, 0,2 y 0,1 V/div y 50, 20, 10 y 5 mV/div. De este modo una senoide que tenga 6,5 divisiones de pico a pico cuando el selector de entrada está a 0,5 V/div, tiene 3,25 Vpp.
- **Posición de trazo**: podemos mover la posición vertical del trazo obedeciendo a varias necesidades.
- **Acoplo de la entrada**: Cuenta con tres posiciones:
 - GND, que inhibe la señal de entrada (y permite ajuste del nivel de referencia),
 - DC (*direct current*, corriente continua), que permite visualizar las señales con la componente de corriente continua que tengan
 - AC (*altern current*, corriente alterna), que mediante el uso de un condensador en serie con la entrada, bloquea el paso de la corriente continua, permitiendo visualizar solamente la componente alterna de una señal.



Figura 5.5: Sondas de osciloscopio

Ejemplo: La medida del rizado de salida de nuestra fuente de alimentación. Esperamos tener una variación leve (unos pocos milivoltios) de la tensión de salida sobre una tensión de salida de, pongamos, 10 V. Si no existiera el modo AC, difícilmente podríamos visualizarlo y medirlo. Gracias a este modo, podemos eliminar la componente de continua, y configurando el osciloscopio a 5 mV/cm, medir en detalle el rizado obtenido.

5.6.4. Las sondas

El osciloscopio presenta unos conectores de tipo BNC para las señales a medir. A veces los sistemas a medir también tienen conectores BNC que permiten una conexión directa, pero no es lo más normal cuando pretendemos depurar un circuito. Necesitamos unos cables para conectarnos al circuito en cuestión.

Las sondas (figura 5.5) parece que son unos simples cables, y no lo son. Por un lado incorporan unas pinzas que facilitan la conexión al punto a medir, y a la masa que se usa como referencia de tensión. Las conexiones a masa tienen un conector dentado que se llama *cocodrilo*. Pero lo más importante es que todas las sondas de calidad aceptable incorporan el modo x10. Consiste en un circuito interno a la sonda que se puede o no usar, y que permite multiplicar por diez la impedancia de la sonda a costa de reducir por diez el nivel de la señal a medir. El modo x10 requiere el ajuste de un condensador variable en la propia sonda¹⁰.

Cuando hagamos medidas con las sondas en modo x10, tenemos que tener la precaución de multiplicar por diez las lecturas que nos de el osciloscopio.

Las sondas de un osciloscopio son muy delicadas. Deben ser tratadas con cuidado si queremos que nos acompañen largo tiempo. Una sonda maltratada se estropeará y se vengará mintiendo a su usuario en la forma de provocar cortos o circuitos abiertos, que cuando se producen en el circuito de masa, no son fáciles de detectar.

Si queremos realizar medidas libres de ruidos y con precisión, es imprescindible conectar el cocodrilo de masa a una buena masa¹¹ en el circuito a medir, de la forma más directa que sea posible. Tanto es así, que cuando se miden circuitos de alta frecuencia se utilizan sondas especiales con terminales de masa muy cortos. Este punto es

¹⁰El modo x10 es básicamente un divisor resistivo al que se le añade una leve sofisticación: un divisor capacitivo, que no analizaremos en este libro. Por otro lado, la impedancia de la sonda no es solo debida al osciloscopio sino también del cable de la sonda.

¹¹Distinguir una *buena* masa de una *mala* masa no es tan fácil como pudiera parecer. Una buena masa es un punto que mantiene una diferencia de potencial mínima con el resto de los puntos de masa de un circuito. Tengamos en cuenta que todo circuito es resistivo, inductivo y capacitivo, y por tanto, cuando hay circulación de corriente, ningún punto está a la misma tensión. Esto no es significativo para circuitos de baja potencia, pero lo es para circuitos de alta frecuencia o en los que hay gran paso de corriente.

muy importante: *si queremos obtener medidas libres de ruidos es esencial una buena conexión a masa de la sonda.*

Por último, recordar que las masas de todas las entradas¹² son comunes. No cometamos el error de conectar los cocodrilos de masa a puntos con distinta tensión, so pena de crear cortocircuitos. Asimismo, algunos osciloscopios tienen la *masa* de las entradas unida a la *tierra* de la red eléctrica. Es muy conveniente de conocer este extremo si estamos depurando circuitos conectados a la red eléctrica con toma de tierra.

5.6.5. Los circuitos de barrido

El circuito de barrido permite el ajuste de la escala de tiempos del osciloscopio.

Nuestro osciloscopio genérico permite ejugar el circuito de barrido desde 2 s/div a 100 ns/div en los acostumbrados saltos de 1, 2 y 5.

Ejemplo: Si tenemos el osciloscopio ajustado a 5 $\mu\text{s}/\text{div}$ y vemos que una señal se repite cada 2,2 divisiones, el periodo será de 11 μs , lo que corresponde a 90 kHz.

El circuito de barrido cuenta con un mando para el desplazamiento horizontal de la señal. Por ejemplo en el caso anterior, permite alinear el pico de la señal con una división vertical de la pantalla para realizar las mediciones del periodo.

5.6.6. El circuito de disparo

Si las señales no permanecieran estáticas en la pantalla, de poco nos valdría el osciloscopio, pues no podríamos realizar medidas. Necesitamos una circuitería que permita que las señales periódicas permanezcan quietas en la pantalla.

La función de los circuitos de disparo (o *trigger*) es la de empezar a trazar la imagen en la pantalla cuando se verifica una determinada condición. El circuito de trigger puede llegar a ser una de las secciones más complejas de un osciloscopio. Afortunadamente, el nuestro es simple y cuenta con:

- Selección del **origen** de la información de disparo: los canales de entrada (CH1, CH2), señales externas através de un conector específico (EXT), usar los canales de forma alterna (ALT).
- **Polarización** de la señal de disparo: AC, DC y filtrado de la componente de alta frecuencia y baja frecuencia, cuando la señal es compleja o va acompañada de ruido. En otras ocasiones, cuenta con circuitería que facilita la visualización de señales de televisión (que fue durante muchos años uno de los mercados que más demandaban osciloscopios). No profundizaremos más en ello, y siempre será posible informarse con detalle en el manual del osciloscopio.
- **Flanco** de subida o bajada: El disparo del trigger se realiza con el cruce de la señal de entrada con el nivel de disparo, y podemos desear que sea en los cruces positivos o negativos. Un conmutador nos permite seleccionar uno u otro.

A estas alturas debiera haber quedado claro que el circuito de disparo no permite usar el osciloscopio como arma de fuego.

¹²Las dos entradas de señal y la señal de *trigger* externo

5.6.7. Otras funciones auxiliares

Existen algunas otras funciones auxiliares que veremos someramente, y otras que se nos quedarán en el tintero:

- Modo vertical: permite seleccionar el visualizar el CANAL 1, el CANAL 2 o ambos simultáneamente, en lo que denomina modo DUAL¹³.
- Beam find (búsqueda de haz): es un pulsador que reduce súbitamente el tamaño de la imagen a presentar de modo que señales que pudieran estar en zonas periféricas de la pantalla pasarán a verse dentro de esta. Es una ayuda para cuando no se ve nada en la pantalla.
- Existe un mando de ajuste del brillo de la señal que permite aumentar la visibilidad de señales rápidas o poco frecuentes. Pero hemos de saber que un barrido permanente del haz a alto brillo sobre una zona constante de la pantalla puede quemarla de forma irreversible.
- Existe un control que permite ajustar el foco del haz permitiendo una imagen nítida.

5.6.8. Osciloscopios analógicos y digitales

Hasta ahora hemos hablado de osciloscopios analógicos, que utilizan un tubo de rayos catódicos en cierto modo similar al de las televisiones¹⁴ para visualizar las señales en la pantalla. El tubo es voluminoso (si se quiere que sea preciso), frágil -es de vidrio- y consume bastante potencia. A pesar de ello, los osciloscopios analógicos son y han sido preciadísimos instrumentos de trabajo. Los osciloscopios fabricados por TEKTRONIX, después de decenas de años desde su construcción son considerados insuperados.

Para ciertas aplicaciones, un osciloscopio analógico presenta serias limitaciones: cuando las señales no son periódicas, ocurren de forma excepcional, o son muy lentas o demasiado rápidas.

Un osciloscopio digital cuenta con circuitería de entrada similar a la del analógico, y un conversor de analógico a digital. La salida del conversor va a dispositivos de memoria. El contenido de esta es procesado y presentado en una pantalla.

Existen variadas arquitecturas de osciloscopios digitales, y precios que superan a los de un coche de tamaño medio. Según el tipo de medida a realizar, los analógicos o digitales pueden resultar óptimos, y siempre es necesario conocer en detalle las limitaciones de unos y otros¹⁵.

¹³Si excluimos los osciloscopios de *doble haz*, poco comunes, la presentación de dos señales simultáneas en pantalla se logra bien trazándolas de modo alterno cada vez que se produce un disparo del *trigger* (modo ALT), o conmutando muy rápidamente entre ambas, y borrando el haz en el instante en que se produce la conmutación (modo *chopped*). Este último es el que mejor representa la realidad a costa de producir menor brillo, y en alta frecuencia, efectos visuales extraños.

¹⁴Una de las cosas que más llama la atención de los tubos de los osciloscopios es su longitud: a diferencia de los televisores que utilizan campos magnéticos para mover el haz de electrones, los osciloscopios utilizan un campo eléctrico. Un osciloscopio es un aparato de precisión, cosa que una televisión no es.

¹⁵Las medidas realizadas por los osciloscopios analógicos tienden a ser mucho más fiables que los digitales, en el sentido de que no funcionan en base al muestreo de una señal (ver capítulo 10.4), pero sobre todo, porque la señal no está procesada por ningún tipo de software, que antes o después acaba mintiendo. Adquirir esta certeza es solo cuestión de tiempo en el laboratorio.

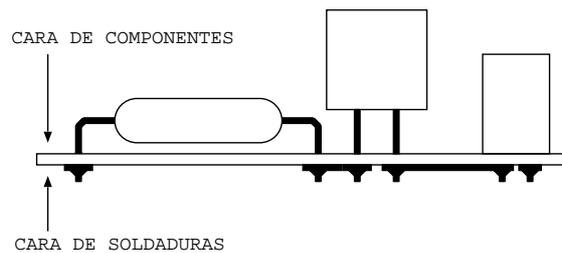


Figura 5.6: Componentes en una placa de circuito impreso.

5.7. El diseño de la placa de circuito impreso

Volvemos a aterrizar en la fuente de alimentación, y abordaremos el diseño de un circuito impreso.

Qué es un circuito impreso es algo que puede comprenderse mejor observando una placa que mediante una definición. A pesar de ello, diremos que un circuito impreso es una lámina aislante que sirve de soporte para componentes y en la que se embuten conductores que unen los componentes, proporcionando sujeción mecánica y unión eléctrica.

El circuito impreso recibe en ocasiones el nombre de PCB, que es un acrónimo de *Printed Circuit Board*.

Para la fuente de alimentación, utilizaremos placas de fibra de vidrio (o eventualmente de baquelita)¹⁶ de una sola cara: sólo habrá pistas por una de las caras del circuito impreso, en la que se realizarán las soldaduras (ver figura 5.6). Por el otro lado se colocan los componentes. Las placas de simple cara son las más sencillas y baratas de fabricar, y debe tenderse a ellas siempre que sea posible. Y no fundamentalmente por el trabajo añadido de generar las dos capas, sino por la necesidad de unir las pistas de ambas caras.

Hay varios factores que pueden impedir el uso de placas de una sola cara: bien la complejidad de los circuitos (un PC típico usa placas de 6 capas a modo de un sandwich de varios pisos, cuatro de las cuales son internas), bien la utilización de frecuencias muy elevadas, que requieren la existencia de un plano de masa continuo o semi-continuo que requiere el uso dedicado de una de las caras.

El diseño de los circuitos impresos se aprende con la práctica. Es más, las prestaciones de los circuitos en alta frecuencia, la sensibilidad a las perturbaciones radioeléctricas externas y la generación de interferencias dependen en gran medida del diseño del circuito impreso¹⁷, por lo que puede convertirse en una disciplina bastante compleja.

¹⁶El material aislante de base puede ser la baquelita o la fibra de vidrio. La primera es más barata y fácil de manejar, mientras que la segunda presenta una resistencia mecánica envidiable y propiedades eléctricas superiores que se aprecian solo para trabajo en alta frecuencia. La fibra de vidrio usada como dieléctrico para la realización de circuitos impresos recibe el nombre de FR4.

¹⁷En una ocasión, el autor se encontró con que una placa transmitía una señal interferente que incumplía las especificaciones del sistema, un modulador para comunicaciones satélite. Rápidamente se identificó el origen de la interferencia: otra señal que había en la misma placa. Pero no se encontraba la causa, y por tanto no se podría corregir el problema. Tras dos semanas de trabajo, se descubrió que la señal interferente y una asociada a la afectada se cruzaban en caras opuestas del PCB, de modo que las áreas de paso de la corriente se cruzaban por extrañas circunstancias a pesar de estar rodeadas por planos de masa. Se cortó la pista, se tiró un cable por un camino desplazado unos pocos milímetros, y el problema se resolvió.

5.8. Fabricación de la placa de Circuito Impreso

Es posible fabricarse una misma placa de circuito impreso. Para hacer la placa de la fuente, se necesitará el siguiente material:

- Placa impresa virgen, preferiblemente de fibra de vidrio, con cobre en un solo lado.¹⁸
- Taladrador eléctrico o manual
- Broca de 1 mm y 3 mm
- Sierra
- Cortatramas (también llamado *cutter*)
- Lima
- Lija de agua
- Rotulador indeleble negro (preferiblemente EDDING 2000)
- Cloruro Férrico diluido¹⁹
- Fiambrera o caja de plástico (de uso exclusivo, no reutilizable en el futuro para otros usos)
- Guantes o pinzas de plástico (nunca metálicas, que reaccionaría con el cloruro férrico)
- Algodón en rama
- Alcohol
- Papel celofán adhesivo

La técnica usada es la de proteger mediante el rotulador indeleble las zonas que queremos mantener con pistas, dejando al aire las partes de la placa en las que el cobre debe desaparecer. Parece simple, pero es una técnica muy efectiva, que cuando se domina, puede dar acabados de gran calidad.

El proceso de fabricación es el siguiente:

1. Se recorta el circuito impreso al tamaño que corresponda, y se pulen los bordes con lima para evitar cortes en su manipulación.
2. Se calca en un papel la posición de los lugares en los que hay que hacer los taladros, de modo que se vean desde el lado de las pistas (y no desde la vista superior que es el que se usa para diseñar la placa)
3. Se recorta el papel y se sujeta firmemente a la placa con celo, sobre la cara de cobre.
4. Se realizan los agujeros con el taladrador, primero los de 1 mm y luego los taladros de sujeción de 3 mm

¹⁸Existen dos tipos de placas vírgenes: las que incluyen una capa de polímero para su procesamiento por métodos fotográficos y las que no. Haremos uso de este último tipo.

¹⁹Que se puede adquirir en tiendas de electrónica o de productos químicos.

5. Se pule el cobre con lija de agua de forma suave hasta que desaparezca la corona en torno a los taladros, y *toda* la placa presente un aspecto brillante, libre de óxido.
6. Se procede a dibujar con el rotulador las pistas. Para ello, se aconseja pintar en primer lugar las coronas circulares en torno a los taladros, procediendo a continuación a dibujar las pistas, siendo generosos con la anchura de las mismas. Las zonas más delicadas son las coronas de los terminales, que deben ser todo lo grandes que el diseño permita, y las pistas estrechas. El peligro es que si la aplicación de rotulador no es correcta, las áreas que queremos cubrir resulten atacadas y los componentes no puedan sujetarse adecuadamente, o las pistas no tengan continuidad.
7. Inevitablemente, al pintar las pistas, llegaremos a unir redes que deberían estar separadas. Esto se puede corregir borrando la tinta con la punta del cortatramas, que permite realizar separaciones de pistas muy nítidas.
8. La placa puede decorarse a gusto del consumidor con las iniciales del autor, fechas, nombres de señales o lo que plazca
9. Se revisa la placa con todo detalle, contrastando la placa con el modelo y repasando aquellas zonas que hayan podido quedar menos protegidas por el rotulador.
10. Se vierte la disolución de cloruro férrico sobre la cubeta, de modo que el líquido tenga aproximadamente un centímetro de altura. Todas las operaciones con el cloruro férrico deben realizarse con cuidado porque las manchas sobre la ropa no se pueden limpiar²⁰.
11. Se introduce la placa en la cubeta con el cobre hacia arriba, y si es necesario se ayuda a la inmersión de la misma mediante las pinzas o la mano enfundada en el guante.
12. Se procede a un suave balanceo de la cubeta con cuidado de no derramar el líquido. De tanto en tanto se inspecciona la placa.
13. Una vez que se ve que el cobre que ha quedado expuesto ha desaparecido, se procede a retirar la placa con las pinzas o el guante, y se limpia con abundante agua. No debemos dejar el circuito impreso horas²¹ dentro de la disolución, porque el efecto de protección del rotulador no es indefinido, y bajo el mismo se produce también la reacción de disolución aunque a menor velocidad
14. Una vez limpia la placa se deposita sobre papel normal o papel secante²², para que seque.
15. El cloruro férrico sobrante se guarda con cuidado en la botella para usos posteriores.
16. Una vez seca y limpia la placa se procede a eliminar los restos de rotulador que protegen el cobre. La solución óptima es la de hacer una limpieza mecánica (lija de agua o una cuchilla afilada usada como el cuchillo de untar mantequilla), y terminar con una limpieza fina con algodón con alcohol (preferiblemente aplicada

²⁰El Cloruro Férrico tiene una curiosa propiedad: disuelto en baja concentración es bastante transparente, pero al secar se vuelve muy oscuro. Esto debe ser tenido en cuenta al limpiar las cubetas o lavabos, pues aunque pudiera parecer que han quedado limpios, al secar dejan manchas.

²¹El tiempo de disolución del cobre depende de numerosos factores tales como la temperatura, la condensación del cloruro, y obviamente de la superficie de cobre a disolver. De forma orientativa, en torno a media hora.

²²e.g. papel higiénico

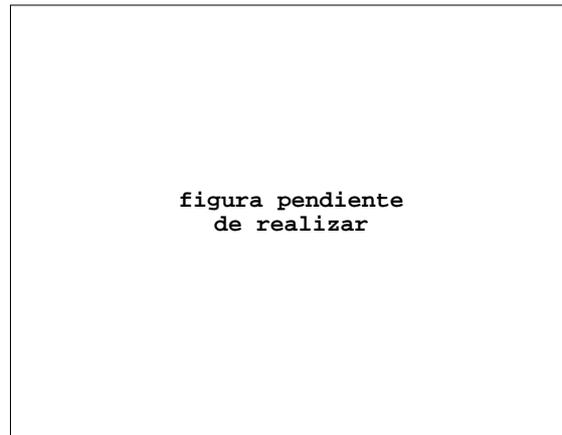


Figura 5.7: Plano de taladrado (visto por cara soldaduras)

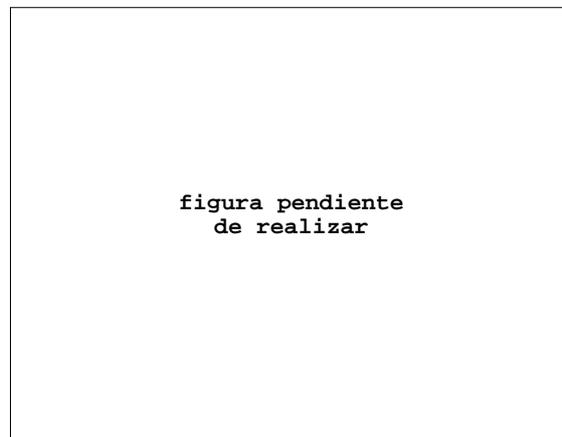


Figura 5.8: Cara de pistas (visto por cara soldaduras)

con guantes). La limpieza con alcohol ensucia mucho la placa, por lo que debe hacerse con el mínimo de restos de rotulador.

El resultado final es que tenemos en la mano una placa de circuito impreso. Debemos revisarla de nuevo para evitar la presencia de finos hilos que unan pistas indeseadas o pistas cortadas. Puede utilizarse el medidor de continuidad de un polímetro o un ohmetro para resolver posibles dudas. En caso de existir, se ha de realizar la reparación mediante un cortatramas o mediante soldadura de un terminal sobrante si el problema es de falta de continuidad.

5.9. Montaje de los componentes en la placa de circuito impreso

El siguiente paso es el de montar los componentes en la placa. Cómo en este circuito hay varios que no van montados en placa (la base de enchufe, el portafusibles, el transformador, el LED, el potenciómetro, las bananas hembra), debemos asimismo incluir cables de suficiente longitud para dar soporte a estos elementos.

Se necesitarán las siguientes herramientas:

- Soldador
- Estaño para uso en electrónica
- Cablecillos (preferiblemente *multifilar*, de varios hilos dentro de un aislante plástico)
- Alicates de corte
- Cortatramas o cuchilla
- Cinta desoldadora (opcional)

5.10. Unas pinceladas sobre el arte de la soldadura

Ser un maestro en el arte de la soldadura no es imprescindible para ser un genio de la electrónica. Pero es muy útil y simplifica las cosas.

5.10.1. Cuestiones previas

A soldar se aprende soldando. Sorpendente, ¿verdad?. A continuación se incluyen algunas indicaciones previas.

- Se ha de utilizar un soldador de tamaño y potencia adecuada para electrónica (entre 25 y 50 W). Es asimismo conveniente que cuente con un cable de longitud suficiente.
- Se puede soldar cuando el soldador tiene una temperatura adecuada. Un soldador recién encendido o recién desconectado no la tiene. Se sabe que la punta está caliente si aplicando un poco de estaño este se funde rápidamente y generando algo de humo.
Hemos de tener en cuenta que cuando el soldador se conecta a una masa metálica grande, transfiere a esta su calor por lo que es normal que pierda temperatura, lo que puede exigir más tiempo de calentamiento o el uso de un soldador de mayor potencia. Los soldadores regulados electrónicamente no tienen este problema (o lo sufren en menor medida).
- Es importantísimo que la punta del soldador esté limpia. La limpieza se realizará en caliente con una esponja o un trapo húmedo (no mojado), y *nunca* con lija o lima.
- Si la punta del soldador tiene exceso de estaño, se puede limpiar por el procedimiento anterior o sujetando el soldador con la mano y dando un golpe seco con el puño sobre la mesa.
- Se usará estaño de electrónica, que consta de una aleación de 60% de estaño y 40% de plomo²³, y uno o varios núcleos de resina no corrosiva que facilita la soldadura. El grosor del estaño más socorrido es el de 1 mm de diámetro. Se usa estaño de 0,8 mm para trabajos delicados.

²³Esta logra una temperatura de fusión mínima, con objeto de evitar calentamientos excesivos a los componentes.

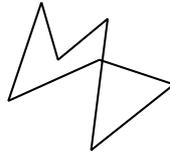


Figura 5.9: Soporte para el soldador

- Los circuitos impresos 'profesionales' están estañados en las coronas de cobre alrededor de los agujeros para facilitar la soldadura. Los que hacemos nosotros mismos basta que estén bien limpios, igual que los terminales de los componentes a soldar.
- Si se van a **soldar cables**, es necesario pre-estañarlos. Para ello, se han de pelar, retorcer los hijos, aplicar el soldador, estañar y si es necesario, cortar las puntas.

Para que el soldador quede sujeto a la mesa, se puede fabricar con alambre grueso un soporte como el mostrado en la figura 5.9 y usarlo como soporte del soldador. Debemos leer atentamente las instrucciones que acompañan al mismo, pues las operaciones a realizar con una punta nueva son vitales para una larga conservación de la misma.

ATENCIÓN

Puede parecer una perogrullada, pero el soldador se calienta mucho, alcanzando temperaturas de 400 °C. Por tanto ha de extremarse la precaución para no quemarse la piel, la ropa o la mesa.

Si se producen quemaduras debe aplicarse una pomada sobre la zona afectada, por ejemplo FURACIN.

5.10.2. Soldadura de componentes en un circuito impreso

Para soldar componentes en un circuito impreso se seguirán los siguientes pasos:

- Se coloca la punta del soldador de modo que toque simultáneamente el circuito impreso y el terminal del componente a soldar.
- Se aplica estaño sobre el cobre (no sobre la punta del soldador). El estaño se funde rápidamente.
- En cuanto el estaño se ha fundido se retira la punta del soldador del componente. No se debe esperar demasiado (no más de 5 segundos) para que los componentes no se calienten en exceso. El especial, algunos condensadores plásticos son muy sensibles a los sobrecalentamientos y pueden quedar irreversiblemente dañados si prolongamos el tiempo de soldadura.
- No soplar nunca sobre la soldadura recién hecha, ni mover los componentes
- Si es necesario (SÓLO si es necesario) hacer algunos retoques.
- Cortar los trozos de terminal sobrante con unos alicates de corte.



Figura 5.10: Ejemplo de soldaduras mal y bien hechas

Con la práctica, todos estos pasos se realizan en aproximadamente un par de segundos por punto a soldar.

Es muy importante que las soldaduras queden brillantes (síntoma de un enfriamiento suficientemente lento) y con forma cóncava (síntoma de una buena adherencia del estaño a la placa y a los terminales). Asimismo, la soldadura debe cubrir todo el anillo alrededor de un componente. Ver figura 5.10. Si las soldaduras no quedan bien hechas pueden ser a causa de:

- Ausencia de una técnica depurada (que se puede aprender)
- Estaño de mala calidad (lo que exige proveerse de un estaño para uso en electrónica)
- Placa de circuito impreso sucia (para lo cual es mejor prevenir que curar, y usar lija de agua sobre las manchas de óxido)

5.10.3. Corregir los desastres

Es mucho más fácil hacer una buena soldadura que corregir una mala. Y una mala soldadura es fuente de numerosos problemas: bien porque las uniones no se hayan realizado, bien porque estas sean muy susceptibles a la presión de cables o componentes y de este modo el circuito funcione sólo a veces, bien que la unión presente elevada resistividad o susceptibilidad a la oxidación, que produce comportamientos extraños y difíciles de localizar.

ATENCION!

La práctica muestra que en los circuitos montados por personas sin experiencia los problemas de soldadura son muy frecuentes por cortocircuitos entre pistas adyacentes o malas soldaduras²⁴. Ha de prestarse una atención extrema y no cejar hasta que el aspecto final sea excelente. O mejor aún, entrenarse previamente en una placa de deshecho desoldando y volviendo a soldar componentes.

Para corregir una mala soldadura, se debe retirar el estaño sobrante con *cinta desoldadora*, una cinta de cobre que absorbe el estaño. Puede adquirirse en las tiendas de electrónica. Ver figura 5.11. Se coloca un extremo limpio de la cinta sobre el punto a limpiar y a continuación, con la otra mano, se presiona con el soldador sobre ella. La cinta incluye resinas que rápidamente limpian el estaño, que es absorbido por capilaridad por la cinta. Es importante recordar que en ausencia de resina es difícil conseguir que el estaño se comporte de forma noble: retocar una soldadura existente casi siempre exige el aporte de estaño.

Una vez usada la cinta se ha de cortar con alicates la parte estañada.

²⁴El autor quisiera relatar una experiencia personal. Cuando en el año 84 monté mi primera tarjeta con un microprocesador y la probé, no funcionaba. No sabía si el error era del software, de un incorrecto diseño o de un error en el circuito impreso. No disponía de osciloscopio y debía mendigar el acceso a uno. Tras varios meses de trabajo en los que hubo que inventar cómo depurar el circuito, descubrí que todo el problema se encontraba en un exceso de estaño que unía dos pistas del bus de datos. Desde entonces reviso las soldaduras sabiendo que perdiendo minutos, ahorro meses.



Figura 5.11: Cinta desoldadora

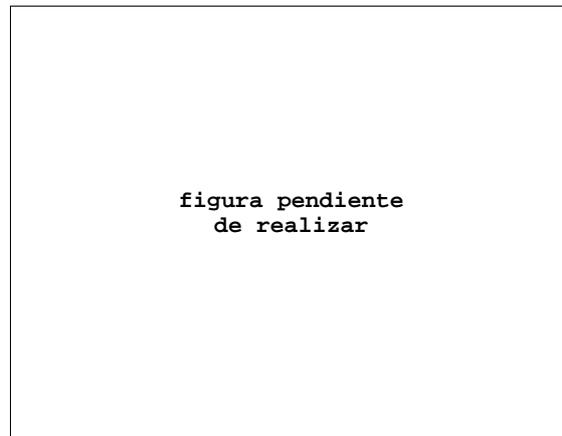


Figura 5.12: Serigrafía de la placa

5.10.4. La preparación de un montaje

Para el montaje de los componentes en la placa, se seguirán los siguientes pasos:

- se doblarán los terminales de los componentes para que entren sin tensiones en los agujeros de la placa.
- se insertarán los componentes en la placa de modo que queden a ras de ella o a corta distancia de la misma. Se prestará especial atención a la polaridad de condensadores electrolíticos, diodos, transistores y circuitos integrados.
- se abrirán levemente los terminales de los componentes para que no se separen de la placa al dar la vuelta a la misma.
- se soldará según el procedimiento anteriormente descrito.

Para el montaje de la fuente de alimentación usaremos como referencia la figura 5.12.

5.11. Cajeadado

Para la meter todos los componentes en la placa se ha de mecanizar la caja utilizada. Este libro no pretende cubrir este aspecto, para lo que solamente se indicará una sugerencia de disposición de los componentes (figura 5.14).

Se necesitan muchas herramientas:

- Soldador y estaño
- Cablecillos (preferiblemente multifilar)
- Tubo termorretractil (ver más abajo)
- Pegamento epoxi (de dos tubos), e.g. Araldit
- Alicates
- Un taladrador eléctrico
- Brocas de 3 mm, 4 mm y 5 mm para metal
- Lima de metal redonda y plana, de pequeño tamaño
- Destornillador
- Sierra de metal
- Torno de sujeción
- Grasa de silicona (ver más abajo).
- Alicates de corte
- Cortatramas o cuchilla

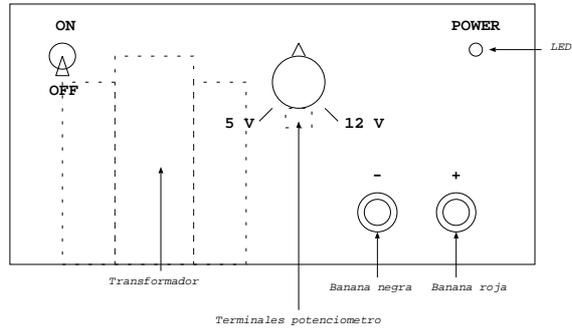
La *grasa de silicona* no debe confundirse con la silicona que se usa en reparación y construcción. Es una pasta blanca que se utiliza para mejorar la unión térmica entre los componentes a base de rellenar los espacios que se producen entre ellos con un producto de baja resistencia térmica y estable con el calor. Se aplicará primero sobre el regulador, depositando una fina película, después de haber agitado bien el bote. A continuación se pondrá la mica, y se repetirá la operación. Por último se atornillará el conjunto al radiador, y se fijará mediante un tornillo, tuerca y una arandela aislante que permita el aislamiento eléctrico del regulador del radiador. Sin embargo, han parecido en el mercado algunos plásticos aislantes que sustituyen a las micas y que hacen innecesario el uso de silicona. En circuitos como el nuestro que no son muy críticos en cuanto a temperatura, estos componentes son una opción mucho más limpia.

El *tubo termorretractil* es un tubo plástico que encoge con el calor. Es muy útil para aislar conductores. Por ejemplo, los terminales del regulador que atraviesan la caja de aluminio, o los hilos que se sueldan al transformador. De este modo es posible aislarlos para evitar calambrazos inesperados.

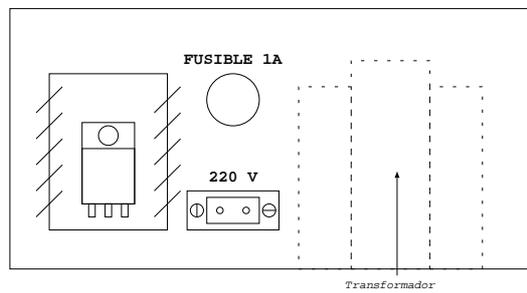
5.12. Toques finales

Sólo resta revisar, revisar y revisar el montaje.

Cómo es un circuito que se conecta a la red, hay que seguir una recomendación adicional: una revisión exhaustiva.



Vista Frontal



Vista posterior

Figura 5.13: Sugerencia de aspecto externo de la caja

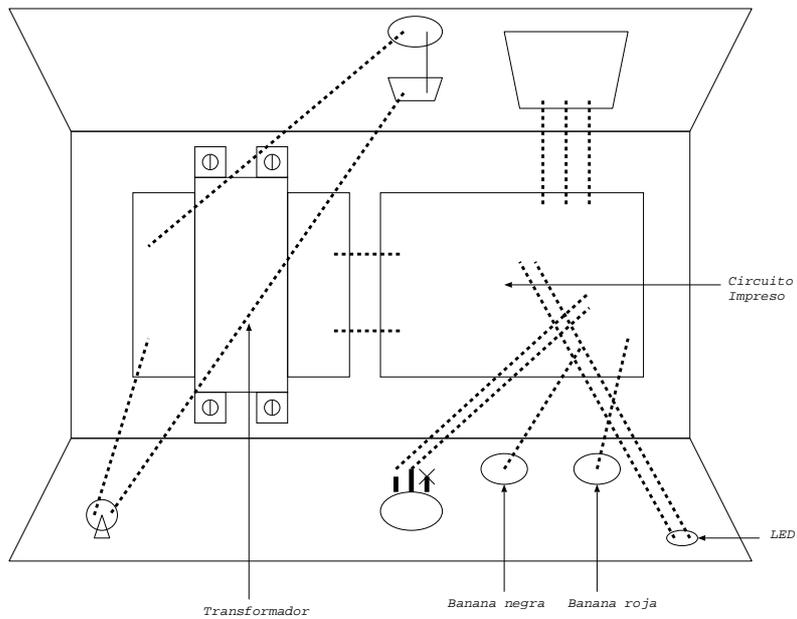


Figura 5.14: Sugerencia de disposición de componentes dentro de la caja

5.13. Plan de pruebas

Las pruebas a realizar son:

1. Margen de tensiones de control
2. Medida de la regulación de carga
3. Medida de la tensión rectificada
4. Medida del rizado en los condensadores
5. Medida del rizado de salida con/sin carga, a max/min tensión
6. Estabilidad térmica

5.14. Realización de las pruebas

CASO DE PRUEBA 1: MEDIDA DE MARGEN DE TENSIÓN DE SALIDA

Realización Se mide con un polímetro la tensión de salida de la fuente en las posiciones extremas del potenciómetro de control.

Resultado La prueba se considera válida si las tensiones son de 5 y 12V $\pm 10\%$

CASO DE PRUEBA 2: MEDIDA DE LA REGULACIÓN DE CARGA

Descripción: El factor de regulación de carga se define como la variación de la tensión de salida al variar la corriente de salida. Una fuente de tensión ideal con impedancia de salida nula no tendría variación de salida, pero una fuente real si lo tiene.

Realización Se mide con un polímetro la tensión de salida de la fuente en las posiciones extremas del potenciómetro de control, cuando la corriente de salida es la nominal. El factor de regulación se calcula como:

$$FR_c = \frac{V_o(I_o = 0) - V_o(I_o = I_{max})}{V_o(I_o = 0)} \quad (5.1)$$

donde: FRc es el factor de regulación de carga
 $V_o(I_o=0)$ es la tensión de salida sin carga
 $V_o(I_o=I_{max})$ es la tensión de salida con carga máxima

Se calculará el factor de regulación para las dos tensiones extremas

Resultado: La prueba se considera válida si el factor de regulación (en ambas tensiones) es mejor que el 1%.

CASO DE PRUEBA 3: MEDIDA DE LA TENSIÓN DE RECTIFICADA

Realización Se mide con un polímetro la tensión rectificada (en continua) con y sin carga en bornas de C1 (ver figura 4.10).

Resultado La prueba se considera pasada si la tensión de salida es superior a 18 Volt. Es importante anotar el valor para análisis posteriores.

CASO DE PRUEBA 4: MEDIDA DEL RIZADO EN LOS CONDENSADORES DE FILTRADO

Realización Se configura la fuente a la tensión máxima de salida
Se carga la fuente con una resistencia de $24\ \Omega$.
Se mide con el osciloscopio, configurado en AC, el rizado de los condensadores

Resultado La tensión de salida debe tener el aspecto ya comentado (figura 3.21).
El rizado pico a pico debe ser de $1\ V_{pp}$, $\pm 20\%$, ya que este es el valor de la tolerancia de los condensadores, y el rizado y capacidad son linealmente proporcionales.

CASO DE PRUEBA 5: MEDIDA DEL RIZADO DE SALIDA

Realización Se configura la fuente a la tensión máxima de salida
Se carga la fuente con una resistencia de potencia de $24\ \Omega$.
Se conecta el osciloscopio a la salida de la fuente, configurándolo en modo AC y con una sensibilidad de $5\ mV/div$, y base de tiempos de $5\ ms/div$.

Resultado La prueba se considera pasada si el rizado es inferior a $10\ mV_{pp}$ ²⁵

CASO DE PRUEBA 6: RESPUESTA TÉRMICA

Realización Se configura la fuente a la tensión mínima de salida
Se carga la fuente con una resistencia de potencia de $10\ \Omega$.

Resultado Con las elementales precauciones para no sufrir quemaduras, se realiza la *prueba de los 5 segundos*.

5.15. Otras medidas

Puede ser de interés el ajustar la tensión de salida al valor máximo, y por un corto periodo de tiempo cargarla con $12\ \Omega$, y medir el rizado resultante. Es un buen ejemplo de lo que sucede cuando la tensión de *dropout* del regulador no se respeta.

5.16. Que hacer cuando no funciona

Bien puede suceder que llegados al punto de las pruebas, descubramos que la fuente no funciona. En este capítulo vamos a dar algunas guías de como proceder a descubrir el error y corregirlo.

Por tratarse de un circuito muy simple, procederemos a describir una depuración genérica, basada en la revisión de todos los aspectos de la fuente.

²⁵Las especificaciones garantizadas de *regulación de línea* son de $0,04\%/V$ para tensiones de caída en el regulador (*dropout*) superiores a $3\ V$. Si el rizado de entrada es de $1\ V_{pp}$, entonces el valor esperado del rizado de salida es de $5\ mV_{pp}$. Pero debemos asegurarnos de cumplir la premisa de tensiones de dropout superiores a $3\ V$ (ver CASO DE PRUEBA 3).

La *regulación de línea* se define como la relación entre la variación de la tensión de salida con la variación de la tensión de entrada.

1. Comprobaremos que la fuente está conectada a la red, y el interruptor encendido²⁶. Comprobaremos con el polímetro (500 V, AC) que llega tensión al primario del transformador. Si no es así, revisar el fusible, la conexión al interruptor y el cableado. Realizar la revisión con la fuente desconectada de la red.
2. Comprobaremos con el polímetro (200 V, AC) que hay tensión en el secundario del transformador.
3. Comprobaremos con el polímetro (20 V, DC) que tras el puente de diodos (por ejemplo entre R1 y masa) hay tensión rectificada, continua. El LED debe lucir, y si no lo hace es porque tiene la polaridad invertida o algún problema en la conexión.
4. Comprobaremos con el polímetro (2 V, DC) que entre los terminales OUT y ADJ del regulador tenemos una tensión muy próxima a 1,25 Voltios. Si no es así, sospechar de la conexión de R2, R3 y R4. Es posible que alguna no esté soldada o en corto. Medir tensiones respecto a masa, y realizar los cálculos de tensiones para tratar de explicar lo que está sucediendo.
5. Conectar el polímetro a la salida (20 V, DC). Comprobar que la tensión de salida varía en el margen deseado. Si no hay variación, sospechar de la conexión de los cables o de las soldaduras de las resistencias R2, R3 y R4. Si las tensiones son otras, sospechar de un valor erróneo en alguno de los componentes. Si la variación es la inversa de la esperada, es porque los terminales se han conectado al revés.

5.17. Resumen del capítulo

Estos son algunos de los puntos aprendidos en un capítulo especialmente denso:

- Cuanto más tarde se detecta un error en un diseño, más tiempo y esfuerzo es necesario para repararlo: se debe dedicar tiempo a la revisión de los mismos.
- Un polímetro incluye al menos un voltímetro, amperímetro y ohmetro en un mismo instrumento. Los polímetros digitales son baratos y fiables pero hay que conocer sus limitaciones. No comprar nunca un aparato *demasiado* barato si se usa para electrónica: para comparar están las especificaciones del fabricante.
- Las medidas de resistencia ponen tensión en un componente, y deben siempre realizarse en ausencia de alimentación, con condensadores descargados.
- Los voltímetros de gama baja presentan numerosas limitaciones en las medidas de las señales alternas
- Las medidas de tensión cargan el circuito a medir. Debemos conocer *cuánto*.
- Las medidas de corriente introducen caídas de tensión adicionales sobre el circuito a medir. Debemos conocer *cuánto*.
- Los osciloscopios hacen medidas de la tensión y su variación en el tiempo.
- Un osciloscopio permite ajustar la sensibilidad, acoplo y escala de tiempos de dos señales.

²⁶Un viejo compañero de fatigas del autor acuñó la expresión '*no hay nada como hacer las cosas bien para que salgan bien*'. Es decir, que no hay nada como dar alimentación a un aparato para que este funcione.

- Si queremos realizar una medida estable y libre de ruido en un osciloscopio, debemos hacer una buena conexión de la masa de la sonda, y ajustar correctamente el circuito de disparo.
- Es necesario estudiar el manual de un osciloscopio después de haberse familiarizado un poco con el mismo.
- Es posible realizar circuitos impresos manualmente, y se pueden obtener resultados excelentes si se domina la técnica.
- Un plan de pruebas bien pensado permite obtener una gran certeza sobre el funcionamiento correcto de un circuito.
- Revisar el montaje puede ahorrar mucho tiempo. Esto incluye verificar la polaridad de los componentes que la tengan, que todos los componentes sean del valor especificado y las soldaduras.
- A soldar se aprende soldando.
- La punta del soldador debe estar siempre limpia y brillante.
- La punta del soldador debe calentar los dos elementos a unir, y el estaño se debe aplicar sobre ellos y no sobre la punta del soldador.
- Es más fácil hacer una buena soldadura que corregir una mala. Es difícil retocar una soldadura sin aporte de estaño.
- El estaño sobrante puede eliminarse mediante cinta desoldadora.