

Fabricación de circuitos impresos

por José Manuel García.

Introducción.

Aunque fabricar una placa de circuito impreso pueda parecer una cuestión baladí para quien haya hecho unas cuantas, para el novato puede ser fuente de enormes quebraderos de cabeza que, en muchos casos, terminan por desilusionarlo. Dar el salto desde el montaje de kits prefabricados, puerta de entrada a la Electrónica para mucha gente, puede ser muy gratificante por la posibilidad de crear diseños propios, pero será decepcionante si no se domina el proceso técnico que permita llevar a la práctica lo que se ha diseñado.

Este artículo no pretende ser la biblia de la fabricación de circuitos impresos, sino una descripción de la forma en que yo lo hago, con materiales baratos y fáciles de encontrar, y con resultados comprobados. Trataré también de incidir en los fallos que habitualmente pueden dar al traste con un diseño, para que quien lea estas líneas no tenga que tropezar en las mismas piedras que yo. De cualquier forma, estoy abierto a sugerencias. Para ello y para consultar cualquier aspecto que no está claro, pongo a vuestra disposición mi dirección de [email](#).

Partiremos de la base de que el circuito ya ha sido diseñado, es decir, sólo trataremos de cómo pasar de un diseño en papel o soporte informático a un circuito terminado.

Materiales.

Los materiales que voy a describir se entienden como los estrictamente necesarios para llevar a buen término la fabricación de un circuito. Evidentemente existen materiales mucho más sofisticados destinados a la fabricación profesional, pero su coste no queda justificado para la fabricación de un prototipo. En cada caso pondré un precio orientativo, basado en el precio al que yo lo compro. Entre los materiales, algunos son fungibles o de un solo uso, es decir que se gastan cada vez que se hace un circuito, y otros son fijos, es decir que servirán para muchos circuitos. Estos últimos suponen una inversión inicial que se irá amortizando poco a poco, conforme vayamos haciendo más circuitos. Por ellos empezaremos:

- Soldador: Se va a utilizar mucho, por lo que debería ser de buena calidad. Para la mayoría de los casos interesa que sea de potencia media, entre 20W y 30W, del tipo de lápiz (los de pistola no sirven para esto), a ser posible con la carcasa conectada a tierra, con punta de aleación de larga duración mejor que de cobre, de unos 2mm de grosor (en la punta). Yo utilizo y recomiendo el JBC 30-S, que cuesta unas 2.000 pesetas.
- Taladro miniatura: Se pueden encontrar con gran variedad de precios en tiendas de material para modelismo o bricolaje. La única característica que yo considero imprescindible es que el mandril (porta brocas) sea de buena calidad y garantice el correcto centrado de las brocas. Algunos modelos baratos llevan un mandril parecido un portaminas cuyos resultados son muy malos. Mucho mejor si es como el de un taladro grande pero en miniatura, es decir, con 3 garras que se cierran sobre la broca en paralelo. Debe incluir un adaptador a la tensión de red. Marcas fiables, entre otras, son Dremel o Proxxon. Yo utilizo este último, y su precio ronda las 10.000 pesetas.

- Brocas: Imprescindibles las de 0.7mm, que sirven para la mayoría de componentes, y varias de otros tamaños para ciertos componentes de patas más gruesas, entre 0.9mm y 2mm. Su precio es de unas 150 pesetas por broca, y habrá que sustituirlas cuando pierdan filo o se partan. Las brocas poco afiladas se descentran con facilidad y producen agujeros con una rebaba muy acusada.
- Sierra: Para cortar la placa virgen (es más barato comprar piezas grandes e ir cortando trozos según necesidades). Sirve una simple segueta de marquería (500 pesetas), pero yo utilizo una sierra de calar montada invertida sobre un banco, con una hoja para metales. Los precios son muy variables, pero una sierra de calar normalita, junto con la sujeción para montarla invertida, puede rondar las 10.000 pesetas.
- Insoladora: Las venden a precios desorbitados en diferentes tamaños, pero se la puede fabricar uno mismo con cuatro maderas y una lámina de metacrilato o plexiglás, y montarle varios tubos fluorescentes con sus correspondientes balastos y cebadores. Yo adapté una maleta vieja y en total me costó menos de 10.000 pesetas.
Se puede prescindir de la insoladora e insolar los circuitos con la luz del sol, pero de esta forma no podremos fijar el tiempo de exposición, puesto que dependerá de la fuerza con que ilumine el sol ese día y a esa hora. Por otro lado se pueden utilizar tubos fluorescentes normales de luz día en lugar de los de rayos ultravioleta, aunque el tiempo de exposición se incrementará notablemente.
- Dos placas de vidrio de 3mm o 5mm de grosor: Servirán para aprisionar el fotolito y la placa de circuito impreso durante su insolación. Su tamaño debería ser el del mayor circuito que se piense fabricar, pero que quepa en la insoladora. En la práctica, es raro fabricar placas más allá del tamaño cuartilla o A5 (21cm x 15cm). Es conveniente encargarlos con los filos matados o biselados para evitar cortes. Se pueden comprar en cualquier cristalería por menos de 1.000 pesetas.
- 4 pinzas sujeta-papeles pequeñas. Salen por unas 50 pesetas cada una.
- Cubeta para atacado: Yo recomiendo una fiambarrera de plástico (mucho más barata que una cubeta de laboratorio) cuadrada ó rectangular de unos 8cm de fondo y de aproximadamente 15cm x 21cm (tamaño cuartilla). Su precio rondará las 300 pesetas.
- Cubeta de revelado: Recomiendo una fiambarrera, del mismo tamaño que la usada para atacado pero con más fondo, unos 15cm, para que le quepa sin dificultad un litro de agua.
- Jarra para medida de líquidos: Sirve una de cocina, de las que llevan una graduación para líquidos, al menos de 100 en 100 ml. Se encuentran en los "todo a 100" por 300 pesetas.

En cuanto a materiales fungibles, tenemos los siguientes:

- Placa fotosensibilizada positiva: Es una placa normal, de fibra de vidrio, que sobre la cara o caras de cobre trae una capa de barniz fotosensible positivo, es decir, que las partes eliminadas serán las expuestas a la luz. Viene con una lámina de plástico adhesivo que la protege de la luz durante su manipulación y cortado. Su precio es algo mayor que si aplicamos nosotros mismos una laca fotosensible, pero es más cómodo, y los resultados obtenidos mucho mejores y más predecibles, ya que la capa de barniz es totalmente uniforme y sin imperfecciones. Una vez que se conoce el tiempo de exposición para una determinada marca y una determinada insoladora, éste será siempre el mismo. Yo recomiendo la de marca Covenco de tipo KP. Su precio anda por las 1.500 pesetas la de simple cara y 2.000 pesetas la de doble cara, para piezas de 20cm x 30cm de fibra de vidrio.
- Material de soporte para realizar los fotolitos: si el fotolito está impreso en papel habrá que fotocopiarlo sobre transparencia. Si está en soporte informático, lo mejor es imprimirlo directamente sobre una transparencia especial para el tipo de impresora que tengamos. En general, se obtienen mejores resultados con impresoras de inyección que con láser. Las transparencias para inyección de tinta salen aproximadamente a 100 pesetas (2.000 pesetas el paquete de 20).

- Aguafuerte: La utilizaremos para atacar la placa, ya que reacciona con el cobre destruyéndolo. Se vende en droguerías y grandes superficies en botellas de 1 litro, con este nombre o como Salfumant. También se encuentra en garrafas de 5 litros como "reductor del pH". En definitiva es ácido clorhídrico en una concentración entre el 22% y el 25%. Su precio es de unas 150 pesetas por litro, y utilizaremos, por ejemplo, 100ml para atacar una placa de 10cm x 15cm, así que sale bastante barato.
- Agua oxigenada: La utilizaremos para activar el aguafuerte en el atacado. Se puede comprar en droguerías, grandes superficies y farmacias (más cara). Se trata de peróxido de hidrógeno de 10 volúmenes y se encuentra en botes de 250ml, 500ml ó 1000ml, pero no es conveniente comprarlo en botes grandes, porque pierde actividad al contacto con el aire, así que si dejamos un restillo en una botella de un litro unos días, se convertirá en agua. Los botes de un cuarto de litro cuestan unas 75 pesetas, es decir, 300 pesetas por litro. Se utilizará en la misma proporción que el aguafuerte, así que también sale barato.
- Sosa cáustica: La venden en droguerías en forma de escamas o en polvo. Suele venir en bolsas de 250g ó 1Kg. Cuesta unas 400 pesetas por kilogramo y en cada placa se gastan sólo 12g, así que con 1Kg hay para toda la vida.
- Guantes de goma, de un solo uso. El paquete de 10 cuesta 200 pesetas y sirven para más de un uso. Atentos porque hay de 3 medidas, así que buscad los adecuados.
- Estaño para soldar: Es en realidad una mezcla de estaño, plata, plomo y mercurio en distintas proporciones, y suele llevar añadida una resina detergente para que a la vez que se suelda se limpien las zonas soldadas, de forma que se adhiera mejor. Viene en bobinas de distintos pesos, desde 100g a 1Kg, y para electrónica es recomendable que sea de buena calidad y fino, de 1mm de diámetro. Cuesta unas 2.500 pesetas por kilogramo, pero con un rollo de 500g tienes para muchísimos circuitos.

Hasta aquí lo estrictamente necesario para fabricar circuitos impresos por fotograbado, pero existen otros elementos muy recomendables y casi necesarios para cualquier aficionado a la electrónica:

- Laca protectora, especial para circuitos impresos. Viene en spray y se aplica al circuito acabado por la cara de cobre, protegiéndolo de oxidaciones y ralladuras. Se va con el calor del soldador, por lo que permite resoldar y hacer reparaciones posteriores. Yo he utilizado varias, pero recomiendo la Plastik 70 de Kontakt Chemie por su resistencia y secado rápido. Su precio es de 800 pesetas pero da para muchos circuitos.
- Polímetro digital: Muy útil para comprobar que las pistas del circuito no tengan cortes ni cortocircuitos. Además es necesario para el ajuste de muchos circuitos y para verificar componentes dudosos. Cualquiera de calidad media, con medida de resistencia y tensión alterna y continua es válido. Si dispone de zumbador para la medida de continuidad, mucho mejor. Por encima de 5.000 pesetas se puede encontrar un buen aparato.
- Tenazas y alicates pequeños para conformar y cortar el sobrante de las patas de los componentes. No los compréis en tiendas de Electrónica, son mucho más baratos en ferreterías, pero siempre de buena calidad, aunque cuesten algo más caros. Los de las ofertas de Continente al final los tienes que tirar y comprar unos buenos.
- Destornillador de ajustador: son de plástico y sólo tienen la pala metálica, y sirven para ajustar potenciómetros y bobinas. Un juego de tres puede salir por 500 pesetas.

Preparación de la placa.

Como ya he comentado, se puede comprar placa virgen sin fotosensibilizar y aplicar uno mismo una laca fotosensible, pero este sistema no produce buenos resultados. Yo lo he intentado y no fui capaz de conseguir una capa uniforme, de poco grosor y sin burbujas ni impurezas, como sería deseable. De cualquier forma y puesto que es un método que no domino, no puedo recomendarlo ni explicar su uso.

La placa que venden con el barniz fotosensible ya aplicado trae protegida la cara o caras sensibles, por una lámina de plástico opaco, ya que la luz ambiente, con el tiempo, ataca dicho barniz fotosensible. Al comprarla, es importante fijarse en que ese plástico protector no tenga desgarros u otras imperfecciones que hayan dejado al descubierto el barniz, ya que estas zonas habrán quedado veladas. Si tenemos una placa con alguna imperfección, habrá que utilizarla de forma que dicha imperfección quede en una zona del circuito en la que no haya pistas, o simplemente no utilizar esa zona. De cualquier forma, la placa Covenco KP, que yo he recomendado (figura 1), trae una lámina de protección bastante eficaz y, salvo que haya sido maltratada, no suele traer imperfecciones.



Figura 1

El plástico protector no se retirará hasta el momento de insolar, así que toda la manipulación se hará con él puesto. Cuando cortemos un trozo de una placa mayor, se hará siempre de forma que la cara que apoye sobre la mesa sea la menos frágil, es decir la que no es fotosensible (figura 2). Si es de doble cara, recomiendo añadir una protección adicional a una de las caras, por ejemplo pegando sobre ella tiras de cinta de pintor gruesa hasta cubrir toda su superficie, y utilizar esta cara para apoyar la placa sobre la mesa. Si la placa es de simple cara, intentaremos orientar los dientes de la sierra de forma que no levanten el barniz (los dientes de sierra suelen tener una forma tal que sólo cortan en un sentido). Si es de doble cara, hay que procurar cortar poco a poco, con una sierra de dientes finos, para no dañar el barniz. Si el corte se hace con sierra de calar, se pueden utilizar hojas de cortar metales, que tienen dientes pequeños, a ser posible a poca velocidad, para evitar que la placa se caliente, ya que un calor excesivo estropea el barniz fotosensible y la capa protectora.

Para tener una guía, trazaremos las líneas de corte con un rotulador sobre el plástico protector. Si la placa final va a tener una forma irregular, por ejemplo con las esquinas biseladas o con un gran agujero interior para un altavoz, haremos sólo los cortes regulares, de forma que la placa quede cuadrada o rectangular, y dejaremos el resto de cortes para cuando la placa esté terminada. Si algunas pistas del trazado quedan muy cerca o en contacto con el borde de la placa (a menos de 1mm), es conveniente cortar la placa un poco más grande y eliminar el sobrante cuando esté terminada. Con frecuencia, las placas que venden tienen imperfecciones en las zonas cercanas a los bordes (unos 5mm), así que es mejor eliminar esta parte.



Figura 2

Una vez que tenemos la placa cortada, hay que eliminar las rebabas e imperfecciones producidas durante el corte. Para ello pondremos un pliego de lija de grano medio-fino sobre una superficie plana, por ejemplo el suelo. Primero se pasará la placa por todos sus bordes, formando ángulo recto con la lija, y moviéndola en la dirección longitudinal de la placa y en los dos sentidos, como se indica en la figura 3-A. Luego se trata de hacer un pequeño bisel en cada borde respecto a las dos caras para eliminar las rebabas, para lo cual se pasará la placa con una inclinación de unos 45° sobre la lija, moviéndola en la dirección transversal de la placa y en un solo sentido, para no levantar el barniz, como indica la figura 3-B. Esto se hará por las dos caras, tengan o no barniz fotosensible. En las fotos de las figuras 4 y 5 quizás se aprecie mejor la forma correcta de hacerlo.

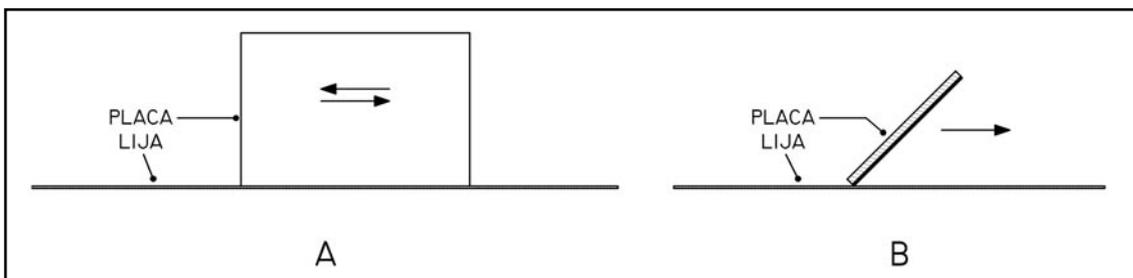


Figura 3

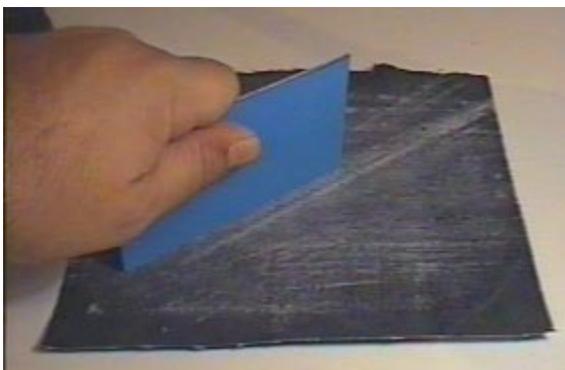


Figura 4



Figura 5

Preparación del fotolito.

El fotolito es una lámina de papel o acetato (transparencia) en el que está impreso el trazado de pistas que queremos transportar a la placa de circuito impreso. Como utilizaremos placa fotosensible positiva, la impresión en la placa será una copia exacta del fotolito. La finalidad del fotolito es permitir que la luz ultravioleta incida sobre las zonas que queremos eliminar pero no sobre las que queremos conservar. Por tanto, lo ideal sería que fuera totalmente transparente a los rayos ultravioleta en las zonas claras y totalmente opaco en las zonas oscuras. Poder acercarnos a este comportamiento ideal depende en gran medida de los materiales y técnicas utilizadas.

En cuanto a lo que hay impreso en el fotolito, además del trazado que forma el circuito es conveniente que haya algún texto, no sólo para poder identificar el fotolito o la placa, sino para saber por qué cara estamos viendo el fotolito, ya que si lo ponemos por la cara que no es, obtendremos una imagen especular de la original. Además, debe haber algún tipo de marcas que permitan centrar bien la placa sobre el fotolito en condiciones de poca luz, que es como habrá que hacerlo. Yo añado un par de recuadros concéntricos separados unos milímetros que enmarcan el trazado, de forma que pueda centrar la placa en ese marco.

El trazado sobre el papel o sobre una transparencia debe ser una imagen especular de lo que queremos que quede impreso en la placa, porque durante la insolación es la cara impresa del fotolito la que quedará en contacto con la placa, para evitar que la luz incida en zonas que no queremos por difusión a través de la transparencia. Por eso el texto escrito en el fotolito está siempre invertido, para que luego al transferirse a la placa quede correctamente.

Aunque existen productos que incrementan la transparencia del papel blanco para poder utilizarlo como base del fotolito, sus resultados no son muy buenos y su utilización es bastante engorrosa, porque deterioran algunas tintas, deforman ligeramente el papel y no eliminan algunas irregularidades de éste, así que yo utilizo siempre transparencias como soporte. Existen transparencias específicas para cada método de impresión. Comentaré los tres tipos más utilizados, para trazado a mano con estilógrafo (Rotring), para impresión láser o fotocopia (son las mismas), y para impresión por inyección de tinta.

Las transparencias para estilógrafo se encuentran en papelerías técnicas a unas 30 pesetas por lámina de tamaño A4. Si se tiene práctica en el uso de los estilógrafos se consiguen resultados muy buenos. Se puede combinar el trazado a tinta con elementos transferibles, como pistas, pads etc. Este método es muy laborioso y el fotolito conseguido es enormemente frágil, ya que la tinta y los adhesivos se rayan con gran facilidad. Sin embargo el contraste conseguido es muy bueno, porque tanto la tinta china como los adhesivos son de una opacidad casi absoluta, y puede ser un buen sistema para circuitos muy simples.

El segundo método es válido cuando se dispone del trazado en papel y se pretende convertirlo en transparencia. El sistema es tan simple (o tan complejo) como fotocopiar el trazado sobre transparencia especial para copiadora. Hay sin embargo varios problemas relacionados con este método. En primer lugar la opacidad del trazado no suele ser muy buena, sobre todo para grandes zonas oscuras, en las que suele quedar una región interior con muy poco tonner (tinta de las fotocopiadoras e impresoras láser). Otro problema es que si la copiadora no es de gran calidad, suele aparecer un leve oscurecimiento de las zonas transparentes, lo que reduce el contraste. Pero el problema mayor quizás sea la deformación que introducen la mayoría de copiadoras debida a imperfecciones en el sistema óptico. De todas formas es el único método válido si el trazado está en papel y no se dispone de scanner. En caso contrario, lo mejor es escanearlo e imprimirlo como se explica más adelante. Aún en el caso de que el scanner sea tan malo que deforme el trazado (poco habitual incluso en los peores scanners de sobremesa), siempre se puede retocar el tamaño y aumentar el contraste con Photoshop o programas similares.

Para mí lo ideal es disponer del trazado en soporte informático. Una precaución importante es verificar que el tamaño al que se imprime es el correcto, ya que determinados formatos como el GIF o el BMP no almacenan información de tamaño, así que habrá que editarlos con Photoshop (o similar) y guardarlos en un formato que sí lo haga. Yo utilizo y recomiendo el formato TIF por su enorme calidad y un tamaño no demasiado grande (permite compresión LZW). Además es un estándar reconocido por la mayoría de programas, con lo cual es exportable. De todas formas, cualquier formato que conserve el tamaño original es válido. Si se puede editar el fichero, es conveniente convertirlo a blanco y negro, para asegurarnos que el fondo es totalmente blanco y no gris claro.

Una vez que tenemos el fichero preparado, sólo tenemos que abrirlo con un programa que recupere su tamaño original para imprimirlo. Yo utilizo Adobe Photoshop, pero el propio Kodak Imaging que viene entre los accesorios de Windows 98 sirve también. Si se utilizan otros programas habrá que verificar que impriman al tamaño correcto. Por ejemplo, ACDSee no lo hace. Se puede imprimir con láser, pero los mejores resultados se obtienen con inyección de tinta, configurando la impresora para papel fotográfico y aumentando el nivel de tinta o la intensidad del negro al máximo. La impresión en láser adolece de algunos de los fallos de las fotocopiadoras en cuanto a contraste y saturación. En cada caso habrá que utilizar transparencias adecuadas al tipo de impresora. Yo he conseguido los mejores resultados con una impresora de inyección (en concreto una HP Desk Jet 930C) utilizando transparencias Epson, que salen a unas 100 pesetas por formato A4 (2.000 pesetas una caja de 20). Éstas tienen un granulado finísimo y una adherencia muy buena, pero se pueden usar otras marcas con resultados parecidos. Las que menos me gustan son las Apli, pues su granulado es muy grueso. Las transparencias para inyección de tinta tardan bastante en secar completamente, (recomiendo dejarlas secar en un sitio limpio durante 24 horas), así que es conveniente prepararlas antes de empezar a cortar la placa y demás, para que a la hora de insolar estén secas. Una vez terminado, se recorta dejando que sobre un poco de transparencia, para poder manejarlo sin tocar la zona del trazado con los dedos. En la figura 6 se puede ver un fotolito acabado.

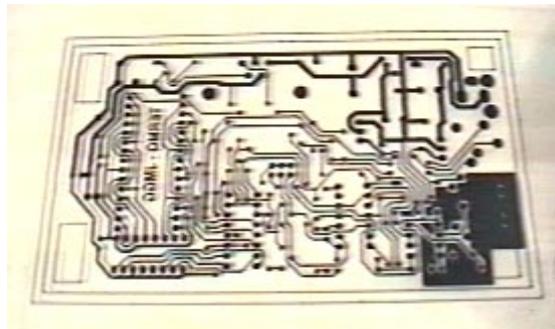


Figura 6

Los fotolitos se pueden utilizar tantas veces como se quiera si se tratan con mimo para que no se rayen. Yo los guardo de uno en uno, entre dos hojas de papel, para que no se deformen ni se ensucien.

La insoladora.

Básicamente, una insoladora no es más que una fuente de luz ultravioleta. Para su construcción, normalmente se utilizan tubos fluorescentes especiales, cuya luz es, en su mayor parte, ultravioleta. Sin embargo, otras fuentes de luz, como el sol, los tubos fluorescentes de luz día (los habituales de uso doméstico) o las lámparas de incandescencia ultravioletas, también emiten cierta cantidad de luz ultravioleta, aunque tienen inconvenientes que las hacen poco recomendables: las lámparas de incandescencia disipan tanto calor que pueden llegar a estropear el fotolito ó el barniz fotosensible, y obligarían a añadir sistemas de ventilación forzada a la insoladora; la luz del sol es tan variable que hace imposible fijar unos tiempos de exposición fiables, y obliga a trabajar sólo de día y sin nubes; los fluorescentes de luz día se pueden utilizar aunque la proporción de ultravioletas de su espectro luminoso sea pequeña, ya que, aún siendo alto, el tiempo de exposición será siempre el mismo.

Se puede comprar una insoladora a un precio muy alto, o construirla como yo hice, por menos de 10.000 pesetas. Teniendo en cuenta que la insoladora servirá para siempre, este precio no es excesivo. No voy a explicar cómo hacer una, sino cómo construí la mía, y daré algunos consejos para quien quiera hacerlo.

Como base, hará falta una caja en la que quepan los tubos, los balastos (reactancias) y los cebadores, con tapa (los ultravioletas son perjudiciales, sobre todo para la vista). Yo utilicé una maleta de herramientas vieja que casualmente tenía el largo justo de los tubos de 15W con sus casquillos porta tubos, unos 46cm, pero se puede hacer una caja de madera ex profeso. Los tubos deben estar lo menos separados posible, y todos a la misma altura, de forma que la luz incida por igual en toda la placa. Según esta separación y la mayor superficie que queramos insolar, se calculará el número de tubos necesarios. Yo puse 5 tubos separados 3.5cm (como los tubos tienen un diámetro de 2.6cm, la distancia entre tubo y tubo es de sólo 9mm), con lo que tengo una superficie iluminada de aproximadamente 17cm x 40cm. Se pueden poner más tubos, pero no es habitual fabricar placas mayores. Fijé los casquillos en las paredes laterales con tornillos a una altura tal que una vez colocado el protector de metacrilato quedara desde éste hasta los tubos una distancia de 2cm.

Separé esta parte del resto de la caja mediante un tabique de aglomerado en el que dejé unos agujeros en los extremos para pasar los cables, y pinté todo este recinto con esmalte sintético blanco brillante para facilitar la reflexión de la luz. Al otro lado del tabique fijé cinco balastos de 20W y cinco porta-cebadores. En el fondo de la caja fijé un conector de tensión de red (robado a una fuente de alimentación de PC averiada) y un interruptor. Dejé espacio suficiente por si en el futuro quería añadir un temporizador electrónico. Los cinco tubos llevan cableado independiente, cada uno con su balasto y su cebador (el esquema de cómo se conecta suele venir dibujado en el balasto), con cable de alumbrado de 1mm² y todos en paralelo al conector de tensión de red pasando por el interruptor.

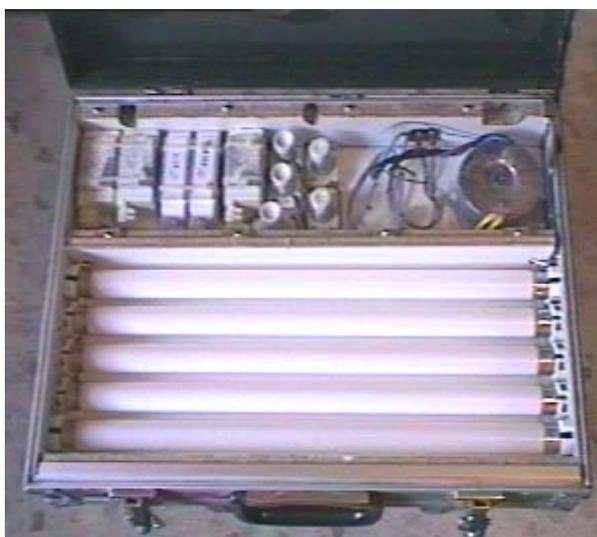


Figura 7

Los tubos que utilicé son Philips TLD 15W/05 (700 pesetas cada uno), que son de ultravioletas, pero se pueden usar tubos de luz día. Los balastos de 220V y 10W a 22W (300 pesetas cada uno) y los cebadores de tipo FS-11, de 4W a 36W (100 pesetas cada uno). Con casquillos y porta-cebadores me salió todo por unas 7.000 pesetas y el resultado se puede ver en la figura 7.

Toda esta parte eléctrica va cubierta por una plancha de metacrilato (se puede usar plexiglás transparente) de 5mm de grosor, de 45cm x 32cm, sujeta a las caras anterior y posterior de la caja y al tabique intermedio por tornillos pasantes (cuidado al hacer los agujeros en el metacrilato, porque si se calienta se puede quebrar; lo mejor es hacerlo a muy baja velocidad con un taladro-atornillador).

La tapa debe cerrar lo mejor posible para evitar que se escape la luz. En mi caso, como era una maleta, encaja a la perfección. Debe quedar en el interior un hueco de al menos 3cm hasta la plancha de metacrilato, para que quepa luego el circuito con los fotolitos, los cristales y demás, con la tapa cerrada. El interior lo pinte con esmalte negro mate para evitar la reflexión de la luz (importante cuando se hacen placas de doble cara). Es conveniente añadir algún tipo de cierre y un asa para hacer más cómodo su transporte y almacenaje cuando no se usa.

La versión más barata de una insoladora podría ser una luminaria de dos tubos fluorescentes con difusor de plástico de las que suelen aparecer de oferta en grandes superficies por 3.000 ó 4.000 pesetas. Trae todo y al no ser ultravioleta no hace falta tapa. Sólo hay que ponerle un cable con un enchufe y colocarla invertida para tener una superficie iluminada aceptablemente. En fin, es una opción.

Productos químicos.

Durante el proceso de fotograbado necesitaremos dos líquidos, el revelador y el atacador. Ambos se pueden comprar en tiendas de Electrónica a precios abusivos o fabricarlos uno mismo con un coste bajísimo, sin dificultad alguna y con resultados iguales o mejores que con los productos comerciales.

Es importantísimo tomar todas las precauciones al trabajar con estos productos. Siempre se almacenarán cerrados, bajo llave y FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS. Si se guardan en frascos no originales, el nombre del producto que contienen y la indicación “PELIGRO-VENENO” deben estar claramente visibles en el envase. De cualquier forma hay que evitar utilizar envases que resulten atractivos para un niño (refrescos, mermelada...). Su manipulación se hará en un lugar no accesible para otras personas ó animales domésticos, usando guantes de goma y, a ser posible, gafas protectoras. En todo momento hay que tener disponible una fuente de agua limpia abundante (un barreño lleno de agua vale). Si se producen salpicaduras en los ojos hay que lavarse INMEDIATAMENTE con agua fría abundante, durante varios minutos. Si se toman estas precauciones no hay peligro alguno (de hecho, todo lo que usaremos son productos de limpieza de uso habitual), pero no hay que dar facilidades a la mala suerte.

El revelador es un líquido capaz de disolver muy rápido el barniz fotosensible cuando éste ha sido velado por exposición a la luz, pero muy lentamente si no lo ha sido. Por tanto, al bañar la placa insolada en revelador, el barniz desaparece de las zonas que no quedaron protegidas de la luz por el trazado del fotolito, pero permanecerá en el resto, quedando una copia de barniz idéntica al fotolito.

Para fabricar el revelador hace falta sosa cáustica y agua. La sosa se compra en droguerías y viene en escamas o en polvo, en paquetes de 250g a 1Kg. Utilizaremos muy poca en cada ocasión, así que podemos guardar el resto en un bote hermético (el mayor enemigo de la sosa cáustica es la humedad). Utilizaremos en cada ocasión 12g de sosa, así que si no se dispone de una balanza de precisión, necesitamos una cuchara de medida, por ejemplo de las que vienen con las papillas para bebés. Pero antes que nada hay que tarar la cuchara. Para ello, se puede utilizar el siguiente método tipo McGuiver: se coge una regla de 20cm ó 30cm y se pone en equilibrio sobre un lápiz. En un extremo se ponen 5 monedas de 25 pesetas (cada una pesa 2.4g así que 5 pesan justo 12g). En el otro extremo se pone una cazoleta hecha de papel. Se toma una cucharada de sosa y se va echando poco a poco en la cazoleta (si con una cucharada no es suficiente, se llena otra vez) hasta que la regla vuelva a estar en equilibrio. En este momento, tendremos en la cazoleta 12g de sosa, así que si hemos contado las cucharadas que echamos, ya tenemos tarada la cuchara. En mi caso era una cucharada y media. En sucesivas ocasiones sólo habrá que echar las mismas cucharadas, así que es conveniente apuntar cuantas eran y guardar la cuchara en el mismo bote que la sosa.

El revelador se hará disolviendo en un litro de agua 12g de sosa. El agua no debe estar muy fría, porque entonces la sosa no actúa. Debería estar a unos 25°C. Si no se dispone de termómetro, diré que 25°C es un poco más caliente que el agua del grifo, aproximadamente el tipo de agua que sólo beberías si te estás muriendo de sed y no hay nada mejor a mano. De cualquier forma la temperatura no es crítica, siempre que esté entre 18°C y 35°C. En este agua se echan los 12g de sosa y se remueve de vez en cuando con algo de plástico. Tarda unos 10 ó 15 minutos en disolverse, así que se debe hacer con tiempo, pero pierde actividad al cabo de unas horas, por lo que tampoco es posible guardarlo ya mezclado.

El atacador, es un líquido que reacciona con el cobre de las zonas no protegidas hasta hacerlo desaparecer. En las tiendas de componentes se encuentra de dos tipos. El que llaman atacador lento es cloruro férrico, que viene en bolas o terrones para mezclar con agua. Es sucio y lento, nada recomendable. El que venden como atacador rápido está compuesto por dos líquidos, uno es ácido clorhídrico y el otro agua oxigenada, ambos rebajados en una determinada proporción. Este atacador es bueno, pero caro.

Yo fabrico mi atacador rápido mezclando aguafuerte (sulfúrico) y agua oxigenada (ambos para uso doméstico). Se encuentran en droguerías y supermercados. El agua oxigenada es mejor comprarla en botes pequeños, porque va perdiendo efectividad al contacto con el aire. No hace falta mucha cantidad. Por ejemplo, para una placa de 8cm x 15cm pondremos 100ml de aguafuerte y 100ml de agua oxigenada. Hay que mezclarlo en el momento de usarlo, porque en unas horas pierde actividad.

Fotograbado la placa.

Si me he alargado un poco en la explicación de cómo preparar los elementos necesarios, es porque de que todo esté bien preparado depende que el resultado final sea bueno. Por fin voy a explicar los pasos que sigo para fabricar una placa de circuito impreso. Quede claro que existen otras formas, pero esta es la que yo utilizo y los resultados son realmente buenos.

Una vez preparada la placa fotosensibilizada virgen y el fotolito, recopilo los materiales que voy a utilizar: un trapo limpio y seco (para limpiar el polvo de la placa), un trapo viejo (para secar), unas pinzas de plástico, las dos cubetas para el atacador y el revelador, un barreño lleno de agua, unos guantes de goma, la jarra para medir líquidos, la sosa cáustica, el aguafuerte, el agua oxigenada, los dos vidrios para sujetar el fotolito a la placa y unas pinzas para presionar el conjunto (yo utilizo pinzas sujeta-papeles, pero se pueden usar de las de tender la ropa). Pongo la insoladora en una mesita y la conecto a la red (apagada).



Figura 8



Figura 9

Me quito el reloj (el ácido clorhídrico ataca los metales), me pongo una bata y los guantes de goma. Preparo el revelador, vertiendo un litro de agua tibia y 12g de sosa cáustica en la cubeta con más fondo. Con unas pinzas de plástico lo remuevo de vez en cuando hasta que está completamente disuelta (cada vez que remuevo con las pinzas, las enjuago en el barreño). Preparo el atacador echando 100ml de aguafuerte y 100ml de agua oxigenada en la otra cubeta. Si la placa es muy grande o es de doble cara preparo el doble de atacador (200ml de aguafuerte y 200ml de agua oxigenada). Preparo una luz suave pero que permite ver con claridad, concretamente una lámpara de mesa mirando hacia la pared cuando es de noche y unas rajitas en la persiana cuando es de día (no hace falta oscuridad total, ni lámpara roja de laboratorio ni nada parecido). Me enjuago las manos y me seco, sin quitarme los guantes.

Con la habitación a media luz, pongo uno de los vidrios en una mesa y sobre él el fotolito (figura 10), con la cara impresa mirando hacia arriba (los rótulos se verán invertidos). Retiro el plástico protector de la placa y le paso con suavidad un trapo seco para quitar los restos de aserrín y polvo que hayan quedado. Pongo la placa sobre el fotolito, con la cara fotosensible en contacto con la cara impresa del fotolito. Lo cuadro bien, usando como referencia las líneas auxiliares que añadí al trazado. Si la placa es de simple cara, coloco encima el otro vidrio, con cuidado de no desplazar la placa sobre el fotolito. Si la placa es de doble cara, antes de poner este segundo vidrio, pongo el fotolito correspondiente a la segunda cara, con la parte impresa hacia abajo (los rótulos aparecen sin invertir) y teniendo cuidado de que su orientación coincida con la del otro fotolito (normalmente pongo una marca en una esquina que debe coincidir en ambos fotolitos). Con ayuda de las líneas auxiliares lo centro perfectamente respecto a la placa, con cuidado de no desplazarla respecto al primer fotolito y pongo el segundo vidrio (figura 11). Sujeto el sandwich formado por los vidrios, la placa y el fotolito (o los fotolitos) con cuatro pinzas sujeta-papeles y lo coloco en la insoladora.

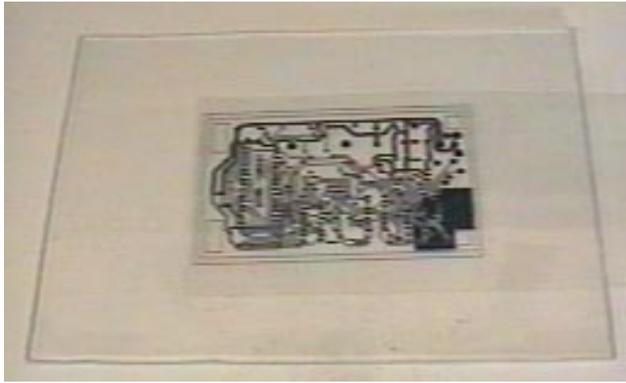


Figura 10



Figura 11

Cierro la insoladora y la enciendo durante 5 minutos (figura 12). Si la placa es de doble cara, le doy la vuelta al sandwich y enciendo otros 5 minutos. Estos tiempos son válidos para mi insoladora, y los obtuve haciendo pruebas, pero variarán para cada insoladora, así que en cada caso habrá que encontrar el tiempo característico para el equipo concreto del que se dispone. Una vez averiguado, es bueno apuntarlo para la próxima vez. De cualquier forma, si el fotolito es bueno, es decir que las partes oscuras son opacas, es mejor sobreexponer un poco la placa que quedarse corto.

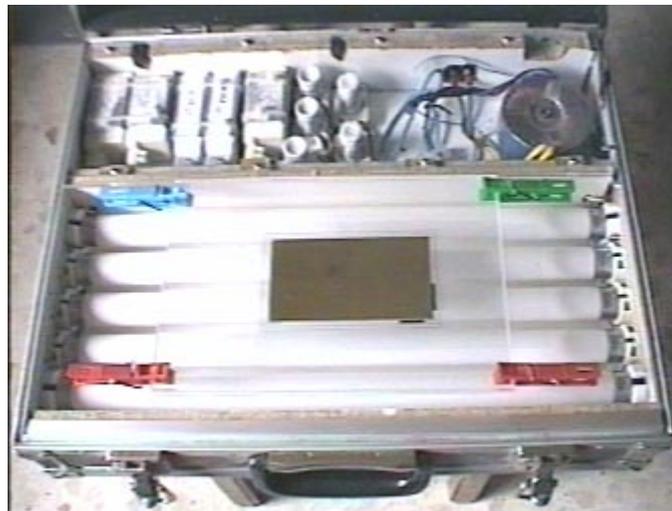


Figura 12

Ahora desarmo el sandwich con cuidado de no rayar el barniz ni los fotolitos y meto la placa en el revelador. Agitándola suavemente, al poco tiempo (entre 30 y 60 segundos) el barniz fotosensible de las zonas insoladas se pone oscuro y empieza a desprenderse rápidamente. Cuando deja de desprenderse barniz (atentos porque si se deja pasar demasiado tiempo empezará a disolverse el barniz de las zonas que queremos conservar), saco la placa del revelador y la lavo agitándola suavemente en el barreño de agua limpia. Yo recomiendo hacer todo esto con las manos (con guantes, por supuesto), sujetando la placa por una esquina o una zona no utilizada para el trazado, porque todo ocurre bastante rápido y con las pinzas puede no dar tiempo a sacar la placa del revelador. Además el barniz es bastante frágil, y las pinzas, aún siendo de plástico lo pueden rayar.

A continuación vamos a atacar la placa. Si es de simple cara, bastará con echarla en la cubeta de atacador, con la cara de cobre hacia arriba y agitar la cubeta suavemente para producir una especie de ola que poco a poco se va llevando el cobre de las zonas que han quedado libres de barniz. Si la insolación y el revelado se hicieron bien, el atacador tomará un color verdoso, el trazado del circuito aparecerá de color dorado y el resto de la cara de cobre de un tono rosa oscuro (figura 13). Cuando ha desaparecido todo el cobre de estas zonas, se lava la placa en el barreño. La reacción entre el atacador y el cobre desprende gases que en proporciones muy altas pueden ser peligrosos (en su mayor parte es hidrógeno, muy inflamable, ya que la reacción de ácido clorhídrico con cobre produce cloruro cúprico e hidrógeno). Con placas pequeñas la cantidad desprendida no tiene importancia, pero el atacado de placas muy grandes se debe hacer en un lugar aireado para evitar riesgos.

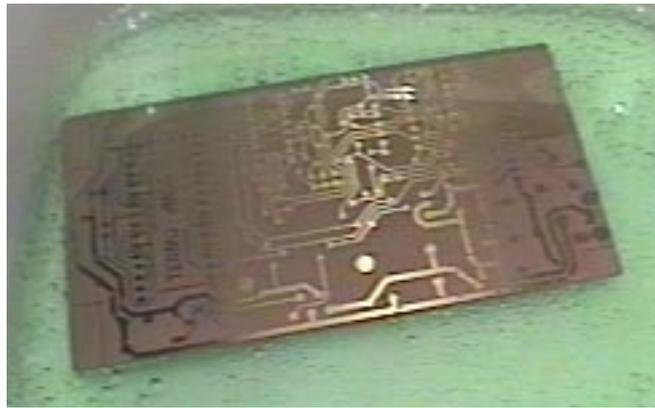


Figura 13

Si la placa es de doble cara, este método puede hacer que el barniz de la cara que queda debajo se raye, o que esa cara no sea atacada convenientemente. Para evitarlo, antes de meter la placa en el atacador, preparo cuatro separadores (figura 14). Para hacer un separador, corto un trocito de macarrón de plástico flexible de 1cm de diámetro y 1cm de largo y le hago un corte longitudinal con un cutter, de forma que su sección tenga la forma de una letra “C” cerrada. Forzando esa C a que se abra, la coloco sujetando la placa por una esquina o una zona no utilizada para el trazado. De la misma forma pongo las otras tres, que actuarán como separadores para que la cara inferior de la placa no roce en el fondo de la cubeta y el atacador pueda fluir por debajo. Ahora echo la placa en la cubeta de atacador y actúo igual que para las placas de simple cara. Cuando en la cara superior ya se ha eliminado el cobre de las zonas libres de barniz, le doy la vuelta. Si en la otra cara todavía queda cobre, sigo agitando hasta que se elimina. Luego la lavo en el barreño.



Figura 14

Ahora hay que eliminar el barniz fotosensible que ha quedado en la placa. He visto varios métodos recomendados en distintas publicaciones, desde lavarla con estropajo y detergente en polvo tipo Vim hasta eliminarlo con acetona, pero a mí se me ocurrió otro método más simple y menos agresivo (quizás haya más gente que lo use pero no he leído nada al respecto). Seco la placa y la pongo sin fotolito ni vidrios ni nada en la insoladora por 5 minutos. Luego la pongo otros 5 minutos por el otro lado, incluso si es de simple cara (por su proceso de fabricación, la mayoría de las placas llevan barniz fotosensible por las dos caras, aunque sólo tengan una cara de cobre). Luego la meto unos minutos en el revelador que había quedado y se elimina todo el barniz, ya que todo él ha estado expuesto a la luz ultravioleta. Además, la placa queda totalmente limpia por el efecto detergente de la sosa. Sólo queda lavarla con agua y secarla para tener el circuito impreso (figura 15).

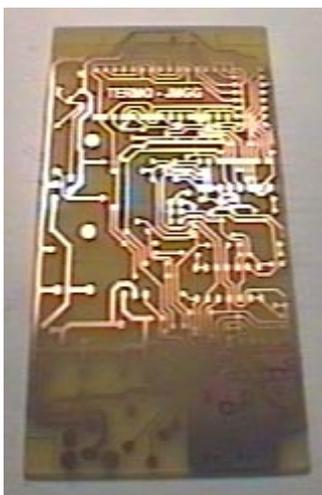


Figura 15

Por último, con un polímetro compruebo que las pistas conducen en todas sus ramas, y que no hay cortocircuitos entre pistas cercanas. Habitualmente, si los pasos anteriores se han hecho bien, la comprobación no detecta ningún error, pero si los hubiera, se pueden reparar cortando con un cutter los cortocircuitos o puenteando alguna pista defectuosa con un hilo de cobre. Si los fallos son muchos, es mejor rehacer la placa, ahora que aún no hemos llevado a cabo la parte más laboriosa.

Es normal que las primeras placas que se fabrican no salgan demasiado bien por distintas causas. En general la causa está en el desconocimiento inicial del equipo utilizado. A continuación expongo los fallos más comunes y sus posibles causas:

Fallo:	Causa:
Al poner la placa en revelador no se ve oscurecerse ni desprenderse el barniz fotosensible en ninguna zona.	La placa no ha sido correctamente insolada o revelada. Hay que asegurarse de que la insoladora funciona, que hemos expuesto la cara fotosensible y que el revelador tenga la adecuada proporción de sosa y no esté demasiado frío. Si todo eso está bien, elevar el tiempo de exposición.
Al poner la placa en atacador, toda la superficie de cobre queda de color dorado.	No se ha revelado la placa por las mismas causas que en el caso anterior.
Al poner la placa en revelador se oscurece y se desprende todo el barniz fotosensible.	La placa se ha velado por sobreexposición, ha estado demasiado tiempo en revelador o éste tiene una temperatura o una concentración de sosa excesivas. También puede ocurrir si la placa ha estado mal almacenada (una luz muy tenue durante varios meses puede velarla). Otra causa puede ser que las zonas oscuras del fotolito no sean suficientemente opacas.
Al poner la placa en atacador, todo el cobre toma un color rosa oscuro.	La placa se ha velado por las mismas causas que en el caso anterior.
Al atacar la placa, el trazado de pistas aparece más grueso que en el fotolito y no se elimina el cobre de algunas zonas.	La placa ha estado poco tiempo insolándose o en revelador, o la temperatura o la concentración de éste son demasiado bajas.
Al atacar la placa, el trazado de pistas aparece bien definido en color dorado y el resto toma un color rosa oscuro, pero no se elimina el cobre de algunas zonas.	El atacador ha perdido actividad ó hace falta más atacador. Normalmente es suficiente con añadir agua oxigenada nueva
Al atacar la placa, el trazado de pistas aparece más fino que en el original o con algunas zonas perdidas.	La placa ha estado demasiado tiempo en la insoladora o en el revelador, o éste estaba demasiado caliente o demasiado concentrado. Puede que la cara impresa del fotolito no estuviera totalmente pegada a la cara fotosensible de la placa.
La placa ha salido bien en una zona y mal en otra.	El fotolito no estaba suficientemente presionado contra la placa o la insoladora no distribuye bien la luz. Puede que la placa haya estado mal almacenada y se haya velado parcialmente.
En las zonas cercanas a los bordes de la placa, el trazado está deformado.	No se eliminaron correctamente las rebabas producidas durante el corte de la placa.
El trazado aparece invertido o no coincide con el de la otra cara.	Fallo en la orientación del fotolito.

Mecanizado de la placa.

El primer paso es cortar las partes sobrantes de la placa si las hubiera. Ahora resulta mucho más fácil cortar la placa, ya que el cobre ha sido eliminado, y además no hay que andar cuidando de que el barniz fotosensible no se estropee. A continuación ponemos la placa con la cara de cobre hacia arriba sobre un tablero de madera, y la sujetamos con unas, sin traspasar la placa, poniendo las chinchetas en los bordes para que sujeten la placa con la cabeza (ver figura 17).

Como ya se dijo, será casi necesario disponer de una taladradora miniatura (figura 16). En caso contrario, si tenemos que hacer los taladros con una taladradora más grande, habrá que someterse a las limitaciones que ésta impone en cuanto a precisión y tamaño mínimo de las brocas que admite a la hora de diseñar el circuito. Existen unas brocas cuya parte final está rectificada, de forma que el diámetro de taladrado es inferior al del vástago, lo que permite utilizarlas con taladradoras más grandes y, aunque son algo caras, puede ser una solución si no se quiere adquirir una taladradora miniatura.



Figura 16

Con la ayuda de un punzón afilado marcamos el cobre levemente en el lugar donde habrá que hacer todos y cada uno de los taladros (normalmente el centro de cada pad o bahía del trazado) como se indica en la figura 17. No es necesario ni conveniente apretar demasiado, porque corremos el riesgo de desprender el trozo de cobre. Lo mismo puede ocurrir si las marcas se hacen con un puntero y un martillo (método recomendado por otra gente). Estas pequeñas hendiduras nos van a permitir hacer luego los taladros con precisión, sin que la broca baile. Si se dispone de una columna de taladrado miniatura, no hará falta tomar tantas precauciones, pero en caso contrario es casi imprescindible. Hacer los taladros en su sitio exacto no es sólo una cuestión estética; por ejemplo, un zócalo forzado puede dar lugar a falsos contactos que son muy difíciles de localizar y corregir.

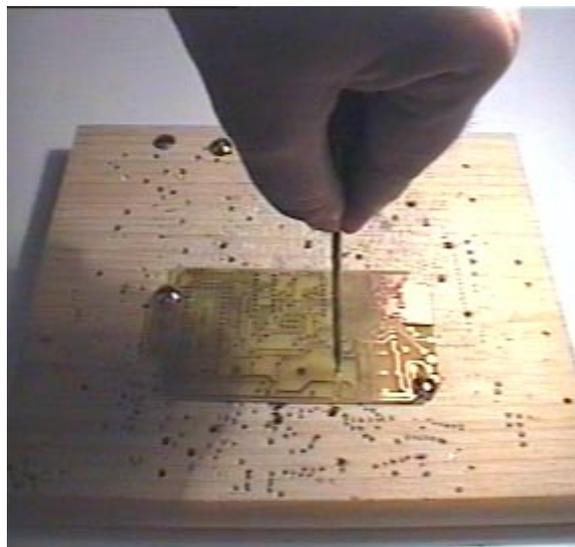


Figura 17

Con la broca de 0.7mm montada en la taladradora, se hacen todos los agujeros (aunque su diámetro deba ser mayor), aprovechando las hendiduras que habíamos practicado para no desviarnos (figura 18). Ahora, con brocas de distintos grosores agrandamos los agujeros destinados a patillas más gruesas. Los agujeros alargados se pueden hacer practicando varios taladros en línea y utilizando luego la broca a modo de fresadora para unirlos.



Figura 18

Cuando la placa es de simple cara y la broca está muy afilada, los agujeros quedan perfectos, sin rebabas de cobre. En otro caso, aparecen rebabas alrededor de los agujeros. Ningún método es perfecto para eliminarlas, pues todos tienen inconvenientes. Yo personalmente no suelo eliminar las rebabas, ya que quedarán ocultas por el estaño al soldar sobre ellas, pero a veces se hace totalmente necesario, por ejemplo cuando un componente apoya sobre la placa de tal manera que una rebaba haría que quedara cojo. En estos casos utilizo un trozo de lija muy fina, (lija al agua para acabados, pero usada sin agua), y la muevo en círculos irregulares sin apretar demasiado. Hay que tener cuidado de no lijar tanto que se corte alguna pista, pero no es complicado. Una vez lijado, con una brochita seca se pueden eliminar las limaduras que hayan quedado.

Antes de pasar a la soldadura de los componentes, pruebo que todos aquellos que tengan patas distintas de lo normal entren bien en sus agujeros, haciendo las rectificaciones necesarias. Hacerlo cuando ya tenemos unos cuantos componentes soldados es mucho más engorroso.

Soldadura de los componentes.

Antes de empezar a soldar es muy conveniente reunir todos los componentes en una cajita. De esta forma, si nos equivocamos al colocar un componente, es más fácil detectarlo. Por ejemplo, si ponemos una resistencia de 22K donde debería ir una de 2K2, al final nos faltará una resistencia de 22K y nos sobrará una de 2K2, con lo que será fácil localizar donde está el fallo.

Prepararemos el soldador (figura 19). En general, uno de 25W ó 30W con punta de 2mm sirve para casi todo, pero si vamos a utilizar componentes de montaje superficial habrá que usar uno de 12W ó 15W con punta de 1mm. Yo recomiendo soldadores con punta de aleación de larga duración, ya que no se deforma con el tiempo. Su mantenimiento consiste únicamente en retirar de vez en cuando los restos de resina y suciedad de la punta y reestañarla. Yo lo hago rozando la punta caliente con la parte roma de un cutter (para no rayarla) por todo su perímetro; luego fundo sobre ella un poco de estaño y sacudo el soldador hacia el suelo para eliminar el exceso de estaño (quedan unas salpicaduras que no se adhieren al suelo). Las puntas de cobre se tratan de una forma parecida, pero de vez en cuando hay que limarlas en frío para que recuperen su forma, ya que la resina del estaño, aunque lentamente, corroe el cobre, de forma que la punta se desgasta y se deforma.



Figura 19

El proceso de soldar un componente consta de tres pasos: insertar el componente, soldar sus patas y cortar la parte sobrante de éstas. Si el mecanizado de la placa se ha hecho bien, no habrá ninguna dificultad en insertar los componentes. Sólo hay que darle forma a las patas para que el componente entre con suavidad y hacer que entren por los agujeros destinados a ellas. Con un poco de práctica esto se hace muy rápido, y con un poco más de práctica se aprende a darles una forma tal que al dar la vuelta a la placa para soldar, el componente no se salga de su sitio. En general los componentes deben entrar a fondo, hasta estar en contacto con la placa, pero hay excepciones: componentes que se calienten mucho (para facilitar su refrigeración se deja un espacio entre ellos y la placa), la mayoría de transistores, reguladores, puentes rectificadores, circuitos integrados sin zócalo, etc. Al insertar los componentes es muy importante ponerlos en la postura que indica el esquema, ya que la mayoría tienen polaridad (de hecho, salvo las resistencias y algunos condensadores, el resto tienen que ir en una postura determinada).

Una vez insertado el componente hay que soldarlo. Para ello, ponemos la punta del soldador en diagonal, de forma que haga contacto con la pata y la zona de cobre que hay alrededor, y luego le acercamos el hilo de estaño, que debe fundirse y distribuirse él solo por todo el pad de cobre. Una soldadura correcta debe tener forma de carpa de circo, en la cúspide de la cual sobresale la pata del componente como se indica en la figura 20-A. Nunca debe dejarse una soldadura con forma abombada o esferoide como la de la figura 20-B, pues puede ser lo que se llama una soldadura fría o falsa soldadura, en la que no hay contacto eléctrico entre la pata y el estaño, porque ha quedado una película de resina que recubre y aísla eléctricamente la pata del estaño. Este error se produce o bien porque la pata no se había calentado lo suficiente, de forma que la resina no se ha volatilizado, o porque se ha puesto demasiado estaño o un estaño de muy mala calidad. Añadiendo estaño nuevo y limpio es fácil retirar el exceso con la punta del soldador. El último paso es cortar el sobrante de la pata, con unas tenacillas, justo por encima de la soldadura.

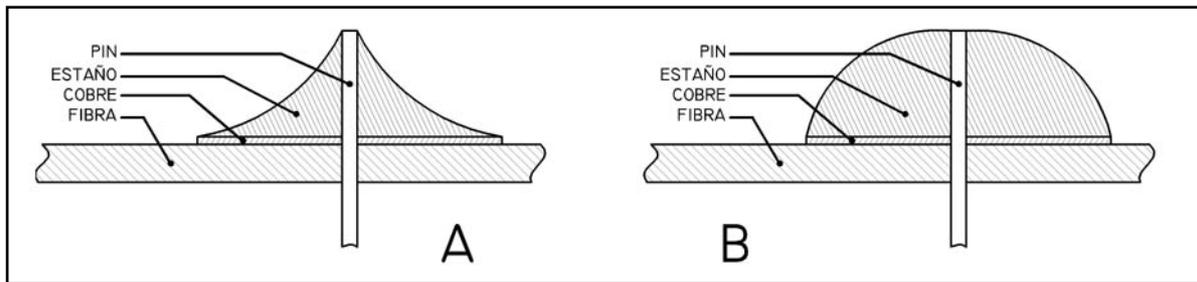


Figura 20

En cuanto al orden en que se deben colocar los componentes, se puede hacer atendiendo al tipo de componente, o a la situación de éste. El ponerlos según su situación es casi obligado en circuitos con gran densidad de componentes, ya que si se han puesto todos los que rodean a otro, resultará difícil insertar este último, así que es mejor ir poniendo componentes de un extremo a otro. Sin embargo, unos componentes son más sensibles que otros al calor y la electricidad estática, así que sería lógico dejarlos para el final, para minimizar el riesgo. Siguiendo este método, el orden de colocación más o menos sería el siguiente: primero pasos de cara o vías, puentes, zócalos, test-points, jumpers y conectores (figura 21); después resistencias, condensadores, diodos, puentes rectificadores, cristales y resonadores de cuarzo, bobinas y transistores bipolares (figura 22); por último se pondrían integrados que vayan sin zócalo y transistores MOS. Yo utilizo, como la mayoría de aficionados, una mezcla de los dos métodos en mayor o menor proporción según el circuito, aunque dejar para el final circuitos integrados soldados y transistores MOS es obligado. Los componentes que van sobre zócalo no se montan hasta que el circuito está totalmente acabado (figura 23).



Figura 21

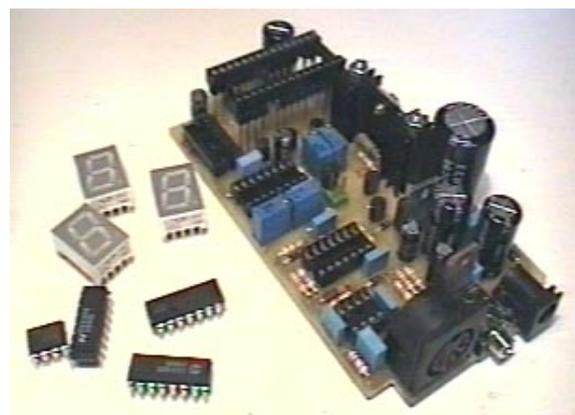


Figura 22

Por último, es conveniente aplicar a la cara de cobre una laca protectora, para evitar que se dañe o se oxide. Yo pongo cinta de pintor en el borde de la placa, a ras de la superficie, para proteger los componentes (sobre todo los conectores) y rocío la superficie con una capa fina de laca protectora en spray (figura 24).

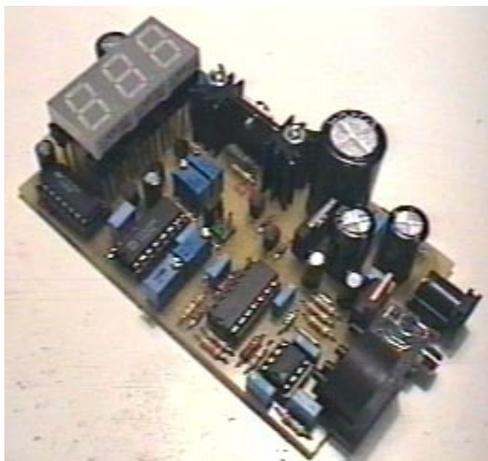


Figura 23



Figura 24