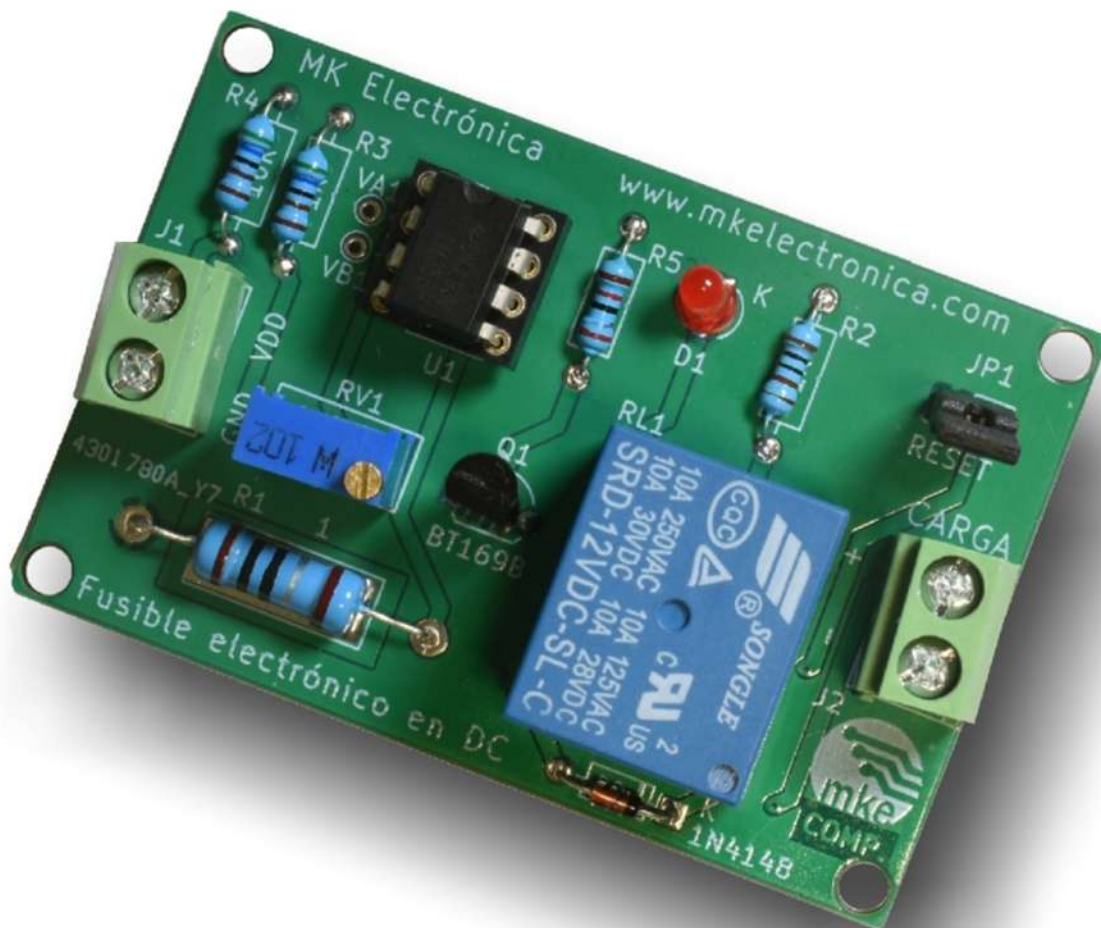


Fusible electrónico para DC

Manual de usuario



Rev. Noviembre 2022
MK Electrónica

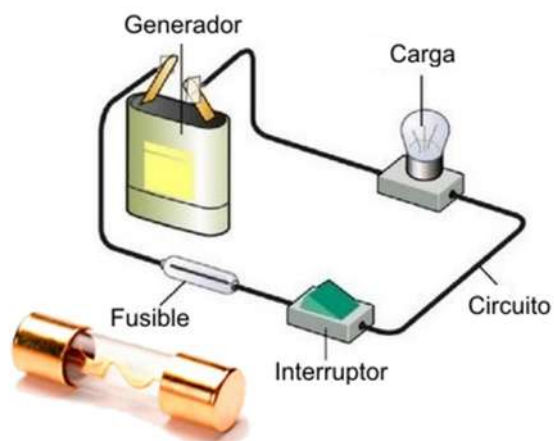
Tfno. 34-944 04 80 89

Email: info@mkelectronica.com
www.mkelectronica.com



Fusible electrónico para DC

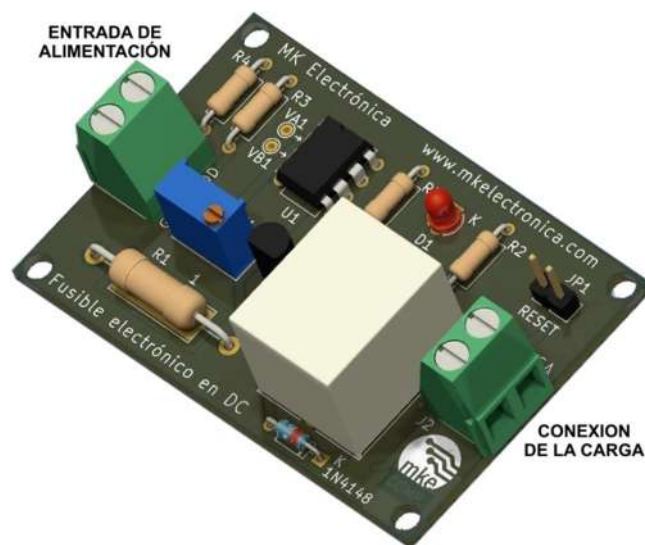
1. - INTRODUCCIÓN



En ocasiones puede ser necesario proteger contra sobre corrientes a la carga que estamos alimentando. El dispositivo más típico y conocido es el fusible también llamado "corta circuitos", que se conecta en serie con la carga que vamos a alimentar. Se comercializan con múltiples y diferentes sensibilidades, como por ejemplo 500 mA. Cuando se produce una elevación de corriente o consumo en la carga que alimenta, y se superan esos 500 mA, el fusible se quema, el circuito eléctrico se abre y la carga se desconecta de la alimentación, quedando así protegida. Para rearmar el circuito habrá que solventar las causas que provocaron el exceso o subida de consumo, y reponer el fusible quemado por otro nuevo.

El fusible electrónico ("eFuse") que mostramos en este montaje tiene la misma utilidad: proteger a la carga que alimentamos frente a subidas inesperadas de la corriente. Aunque hay infinidad de circuitos similares, hemos elegido este porque nos parece didácticamente asequible, económico, fácil de montar y sencillo de usar. Frente a un fusible convencional, nuestro fusible electrónico presenta una serie de ventajas:

- Mediante un sencillo potenciómetro de ajuste, la intensidad de disparo se puede determinar fácilmente dentro de un rango comprendido entre cero y un límite máximo.
- El circuito se abre mediante la acción de un relé y no por la rotura de un fusible. En caso de disparo por sobreconsumo no hay que reponer nada.
- Se pueden modificar los valores de unos pocos componentes para conseguir un menor o mayor rango de corriente máxima y tensiones de alimentación.
- El circuito que proponemos tiene un alto valor didáctico. Se trata de aprender !!



[illegible]

- NOTA: El valor de algunos componentes puede no coincidir con el valor comercial de los mismos. Se usará el más aproximado o equivalente. R1 es una resistencia shunt y su valor es de $1\ \Omega$ y $1\ W$ de potencia

3.- TEORÍA DE FUNCIONAMIENTO

Los componentes principales de este montaje son:

- La resistencia R1 o "shunt" que detecta el consumo actual que se produce en la carga.
- El relé RL1 que se encargará de cortar la alimentación cuando el consumo en la carga sea superior al deseado.
- El amplificador operacional LM358. Se encarga de comparar el consumo actual con el deseado y disparar, si procede, el relé RL1 mediante el tiristor Q1. A continuación se muestra su encapsulado y descripción de las patillas.

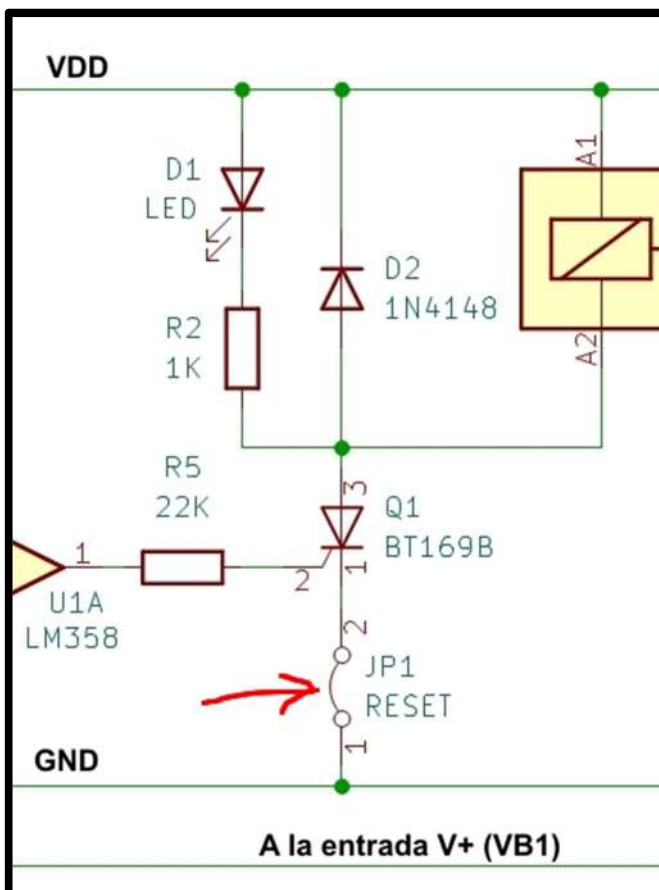
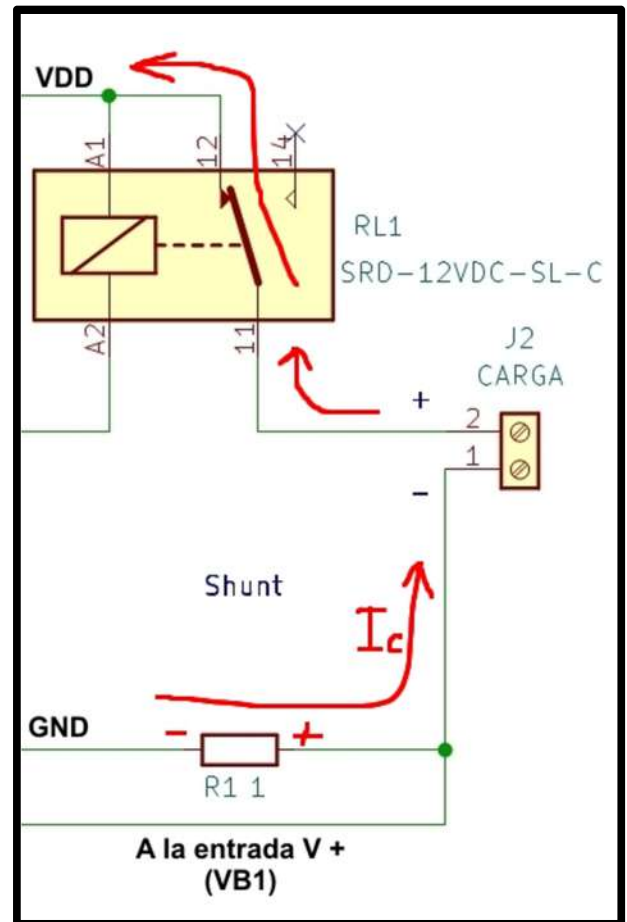


PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	SALIDA A	Salida del amplificador operacional A
2	A -	Entrada inversora del amplificador operacional A
3	A +	Entrada no inversora del amplificador operacional A
4	GND	Entrada de Tierra de alimentación
5	B +	Entrada no inversora del amplificador operacional B
6	B -	Entrada inversora del amplificador operacional B
7	SALIDA B	Salida del amplificador operacional B
8	VCC	Positivo de alimentación de 3 V a 32 V

Consta de dos amplificadores operacionales idénticos, el A y el B. En nuestro circuito empleamos el A, que se alimenta directamente con la misma tensión de alimentación VDD con la que vamos a alimentar a la carga (máximo 32 V). Tanto si el valor de la tensión en la entrada V- es igual al valor de la tensión en la entrada V+, como si el valor en V- es mayor que el valor en V+, la tensión en la salida A es de 0 V. Por el contrario, si la tensión en la entrada V+ es mayor que la tensión en la entrada V-, la tensión en la salida A alcanza un valor próximo a la tensión de alimentación VDD. El amplificador operacional B funciona exactamente igual.

El circuito de salida para alimentar a la carga se hace a través del relé RL1. Observa que empleamos el contacto normalmente cerrado, cuando el relé está desactivado. En estas condiciones la carga recibe tensión por el borne J2. La intensidad que consume la carga (I_c) produce una caída de tensión en la resistencia shunt R1 de $1\ \Omega$ que va a parar a la entrada V+ del amplificador operacional A. En el esquema general la hemos denominado VB1. La tensión de salida final en la carga será $VDD - VB1$.

Si el relé RL1 se activa, el contacto normalmente cerrado pasa a estar abierto, la carga deja de recibir tensión y por lo tanto se desconecta. Esto ocurrirá cuando se detecta que la intensidad que circula por ella se eleva, con lo que la tensión en la entrada V+ (VB1) también.

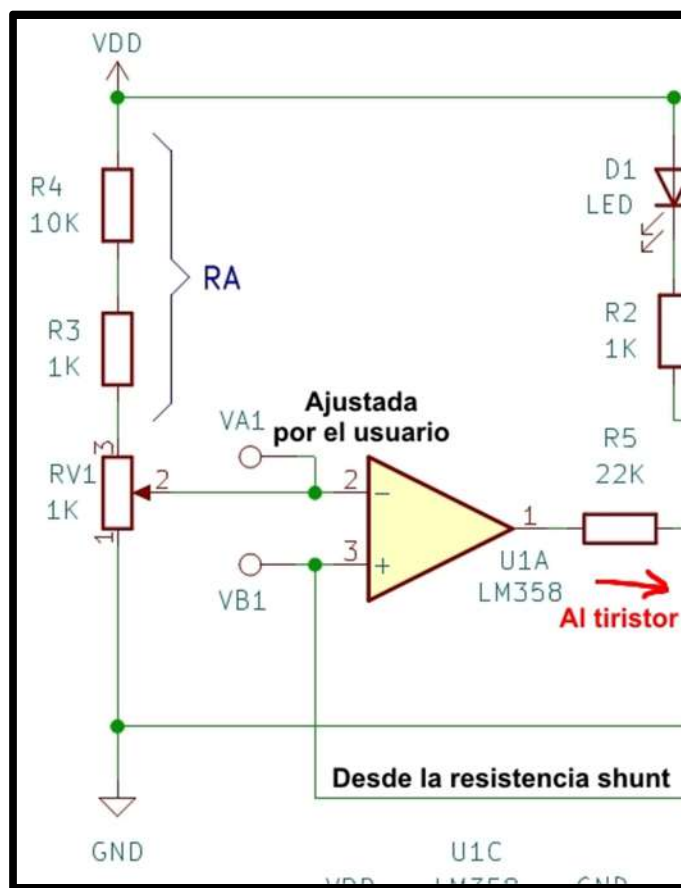


El relé se gobierna a través del tiristor Q1, cuya puerta se dispara con la señal de salida del comparador A. Al mismo tiempo que el relé, también se activa el led D1. Sirve para monitorizar que se ha producido un sobreconsumo, que el relé se ha activado y que la carga se ha desconectado. Aunque ese sobreconsumo desaparezca, el tiristor se mantiene cebado y el relé activado. Para rearmar el circuito no solo basta con solventar las causas que provocaron el exceso de corriente, también hay que abrir/cerrar el jumper o puente JP1 para reiniciar al tiristor.

El amplificador operacional recibe por su entrada no inversora una tensión procedente del shunt R1 (VB1) y que refleja la intensidad que circula por la carga. A mayor intensidad mayor será VB1.

Por su entrada inversora recibe una tensión de referencia (VA1) procedente del divisor R3+R4 (RA) y el potenciómetro RV1. Esta la podemos ajustar al valor deseado.

Cuando VB1 sea mayor que la tensión ajustada en VA1 significa que la intensidad por la carga se ha elevado por encima de lo deseado. La salida del amplificador operacional, patilla 1, aumenta a una tensión próxima a VDD que provoca el disparo de la puerta del tiristor y con ello del relé. La carga se desconecta.



3-1 Haciendo números...

Vamos a hacer unos sencillos cálculos para comprender de dónde salen los valores de los componentes empleados, y de paso nos permitirán modificarlos para adaptar el circuito a nuestras necesidades. Vamos a repasar la ley de ohm y la potencia eléctrica...



Georg Ohm
(1789-1854)

La resistencia Shunt R1

En nuestro fusible electrónico hemos determinado que la carga se alimenta con 12 VDD y la intensidad (Ic) que puede pasar por ella la podremos ajustar entre 0 y 1 A. En el peor de los casos, con una intensidad máxima de 1 A circulando por la carga (Ic), en el shunt R1 de 1 Ω habría una caída de tensión (VB1) de 1 V: $VB1 = R1 \times Ic = 1 \Omega \times 1 A = 1 V$. Como R1 está en serie con la carga, su tensión de alimentación (Vc) es realmente: $Vc = VDD - VB1 = 12 VDD - 1 VB1 = 11 V$. La potencia que se disipará en el shunt en estas condiciones será de: $P = VB1 \times Ic = 1 V \times 1 A = 1 W$.

En las tablas mostramos el valor de la tensión en el shunt R1 (VB1) para diferentes valores de la intensidad consumida por la carga (Ic), la potencia (W) que disipa el shunt R1 en cada caso y la tensión final que esta recibe (Vc).

Ic	VB1 = R1 x Ic	W = VB1 x Ic	Vc = VDD - VB1
100 mA	0,1 V	0,01 W	11,90 V
250 mA	0,25 V	0,0625 W	11,75 V
500 mA	0,5 V	0,25 W	11,50 V
750 mA	0,75 V	0,5625 W	11,25 V
1 A	1 V	1 W	11,00 V

¿Y si queremos que la intensidad de disparo se pueda ajustar dentro de un rango de 0 a 10 A? Pues lo primero sería determinar la potencia que el shunt R1 debe soportar. Para ello calculamos la caída de tensión (VB1) que absorbe ahora en el peor de los casos, cuando la intensidad de la carga (Ic) sea de 10 A: $VB1 = R1 \times Ic = 1 \Omega \times 10 A = 10 V$. Seguidamente calculamos la potencia máxima que puede llegar a disipar: $P = VB1 \times Ic = 10 V \times 10 A = 100 W$. Podemos hacer otra tabla con los valores para esta nueva situación...

Ic	VB1 = R1 x Ic	W = VB1 x Ic	Vc = VDD - VB1
500 mA	0,5 V	0,25 W	11,50 V
1 A	1 V	1 W	11,00 V
5 A	5 V	25 W	7,00 V
7,5 A	7,5 V	56 W	4,50 V
10 A	10 V	100 W	2,00 V

Si lo analizas con cuidado, verás que la cosa no funciona demasiado bien. Nos hace falta una resistencia grande y cara de 100 W y, en el peor de los casos, la carga solo recibirá una tensión Vc de 2 V porque con una corriente de 10 A la resistencia shunt absorbe 10 V. No funcionará. ¿Y si para esa misma intensidad de 10 A probamos con una resistencia shunt R1 de 0.1 Ω ? Vamos a ver...

Ic	VB1 = R1 x Ic	W = VB1 x Ic	Vc = VDD - VB1
500 mA	0,05 V	0,025 W	11,975 V
1 A	0,1 V	0,1 W	11,90 V
5 A	0,5 V	2,5 W	11,50 V
7,5 A	0,75 V	5,6 W	11,25 V
10 A	1 V	10 W	11,00 V

En el peor de los casos, cuando por la carga circule la máxima intensidad (Ic) de 10 A, la tensión Vc que se le aplica es de 11 V y el shunt necesitará disipar 10 W. No está mal,

es aceptable. Vamos a probar con una resistencia shunt de $R1$ de $0,01 \Omega$ para una intensidad en la carga (I_c) comprendida entre 0 y 10 A. hacemos nuevamente los cálculos y completamos la tabla...

I_c	$VB1 = R1 \times I_c$	$W = VB1 \times I_c$	$V_c = VDD - VB1$
500 mA	0,005 V	0,0025 W	11,995 V
1 A	0,01 V	0,01 W	11,990 V
5 A	0,05 V	0,25 W	11,750 V
7,5 A	0,075 V	0,562 W	11,925 V
10 A	0,1 V	1 W	11,900 V

Fíjate que al poner una resistencia shunt de un valor de $0,01 \Omega$, la potencia disipada con la máxima corriente de 10 A por la carga (I_c), es de tan solo 1 W. La tensión absorbida en esta situación es tan solo de 0,1 V por la que a la carga se le aplica una tensión (V_c) de 11,9 V. Está muy bien.

Nosotros hemos usado como shunt una simple resistencia de $1 \Omega / 1W$. Para una corriente en la carga (I_c) que puede variar entre 0 y 1 A, la tensión $VB1$ estará comprendida entre 0 y 1 V. Esto nos facilita los cálculos. Por ejemplo, si la carga consume 350 mA la tensión $VB1$ será de 0,35 V (ver la 1ª tabla).

En el mercado puedes encontrar shunts de diferentes valores tanto resistivos como de potencia. Según su precisión será su precio, que puede llegar a varias decenas de euro.



Ajuste de la intensidad de disparo

Tenemos que nuestro shunt de $1 \Omega / 1 W$ nos proporciona una tensión $VB1$ comprendida entre 0 y 1 V según la corriente de la carga (I_c) varíe de 0 a 1 A. Esta tensión va a parar a la entrada no inversora (+) del amplificador operacional LM358. La entrada inversora del mismo (-) recibe la tensión $VA1$ procedente del divisor formado por RA ($R3+R4$) y el potenciómetro $RV1$. Es la tensión de referencia.

El divisor está calculado para que con la máxima resistencia en el potenciómetro $RV1$ (1K), la tensión $VA1$ sea igual a la máxima en $VB1$ (1 V). Si la corriente de la carga (I_c) aumenta por encima de 1 A, también lo hará $VB1$ y la tensión de salida del amplificador aumenta a VDD . El tiristor se dispara y el led $D1$ junto con el relé $RL1$ se activan. Sus contactos normalmente cerrados se abren, la carga deja de recibir tensión V_c y se desconecta quedando así protegida.

Este funcionamiento también es válido para cualquier intensidad en la carga (I_c) comprendida entre 0 y 1 A. Supongamos que queremos proteger la carga para una intensidad superior a 350 mA. En este caso la tensión V_{B1} será de 0.35 V. Habrá que ajustar el potenciómetro RV1 para que la tensión de referencia en VA1 sea también de 0.35 V. Entonces...

- Si la intensidad de la carga (I_c) es de 350 mA o inferior, la tensión V_{B1} en la entrada no inversora será de 0.35 V o menos. La salida del amplificador operacional será de 0 V, el tiristor no conduce y el relé está desactivado. En esta situación sus contactos normalmente cerrados mantienen la tensión V_c en la carga y a ésta funcionando.
- Si por el motivo que sea se produce un sobreconsumo y la carga pasa a consumir una intensidad (I_c) de, por ejemplo, 400 mA, la tensión en el shunt R1 (V_{B1}) subirá a 0,4V. La entrada no inversora del amplificador operacional es ahora superior a los 0.35 V de referencia que ajustamos en la entrada inversora (V_{A1}). La tensión en su salida aumenta a VDD, el tiristor se dispara, el led D1 y el relé RL1 se activan, los contactos normalmente cerrados ahora se abren y la carga se desconecta quedando así protegida.

Vamos a mostrar el cálculo del divisor de tensión formado por RA (R_3+R_4) y el potenciómetro RV1 de 1 K Ω para diferentes tensiones de alimentación y con una intensidad I_c que podremos ajustar entre 0 y 1 A.

a) VDD = 12 V (nuestro ejemplo)

- VDD = 12 V; I_c entre 0 - 1 A (Tensión de alimentación y consumo máximo)
- $R_1 = 1 \Omega / 1 W \rightarrow V_{B1} = 1 V$ (Cuando hay 1 A de corriente máxima)
- $V_{RV1} = 1 V$ (Tensión en extremos del potenciómetro. Debe ser igual a la máxima en V_{B1})
- **$V_{RA} = V_{DD} - V_{RV1} = 12 - 1 = 11 V$ (Tensión en RA (R_3+R_4))**
- $I_{RV1} = I_{RA} = V_{RV1} / 1000 \Omega = 1 / 1000 \Omega = 0,001 A$ (Intensidad que pasa por el divisor).
- **$R_A = V_{RA} / I_{RA} = 11 / 0,001 = 11000 \Omega$ (Valor de RA).**
- $R_A = R_3 (1000 \Omega) + R_4 (10000 \Omega)$. (El valor de RA se reparte en las dos resistencias en serie, R_3 y R_4 , con valores normalizados).
- **$R_2 = (V_{DD} - V_{LED}) / 10 mA = (12 - 1.7) / 0,01 = 1 K \Omega$** (Resistencia de absorción del led).

b) VDD = 5 V

- VDD = 5 V; Ic entre 0 - 1 A (Tensión de alimentación y consumo máximo)
- R1 = 1 Ω / 1 W $\rightarrow$ VB1 = 1 V (Cuando hay 1 A de corriente máxima)
- VRV1 = 1 V (Tensión en extremos del potenciómetro. Debe ser igual a la máxima en VB1)
- **VRA = VDD - VRV1 = 5 - 1 = 4 V (Tensión en RA (R3+R4))**
- IRV1 = IRA = VRV1 / 1000 Ω = 1 / 1000 Ω = 0,001 A (Intensidad que pasa por el divisor).
- **RA = VRA / IRA = 4 / 0,001 = 4000 Ω (Valor de RA).**
- RA = R3 (1800 Ω) + R4 (2200 Ω). (El valor de RA se reparte en dos resistencias en serie, R3 y R4, con valores normalizados).
- **R2 = (VDD - VLED) / 10 mA = (5 - 1.7) / 0,01 = 330 Ω** (Resistencia de absorción del led).

c) VDD = 24 V

- VDD = 24 V; Ic entre 0 - 1 A (Tensión de alimentación y consumo máximo)
- R1 = 1 Ω / 1 W $\rightarrow$ VB1 = 1 V (Cuando hay 1 A de corriente máxima)
- VRV1 = 1 V (Tensión en extremos del potenciómetro. Debe ser igual a la máxima en VB1)
- **VRA = VDD - VRV1 = 24 - 1 = 23 V (Tensión en RA (R3+R4))**
- IRV1 = IRA = VRV1 / 1000 Ω = 1 / 1000 Ω = 0,001 A (Intensidad que pasa por el divisor).
- **RA = VRA / IRA = 23 / 0,001 = 23000 Ω (Valor de RA).**
- RA = R3 (1000 Ω) + R4 (22000 Ω). (El valor de RA se reparte en dos resistencias en serie, R3 y R4, con valores normalizados).
- **R2 = (VDD - VLED) / 10 mA = (24 - 1.7) / 0,01 = 2200 Ω** (Resistencia de absorción del led).

Idea...

Observa que la resistencia RA está formada realmente por las resistencias R3 y R4 conectadas en serie. Esto permite hacer múltiples combinaciones con valores normalizados de resistencias para obtener el valor final deseado. Por ejemplo en nuestro caso, trabajando con una tensión de 12 VDD, el valor de RA resultante es de 11000 Ω . Este valor no es normalizado en las típicas resistencias de carbón, pero podemos usar una de 1000 Ω (R3) y otra de 10000 Ω (R4) que, al estar en serie, forman los 11000 Ω deseados.

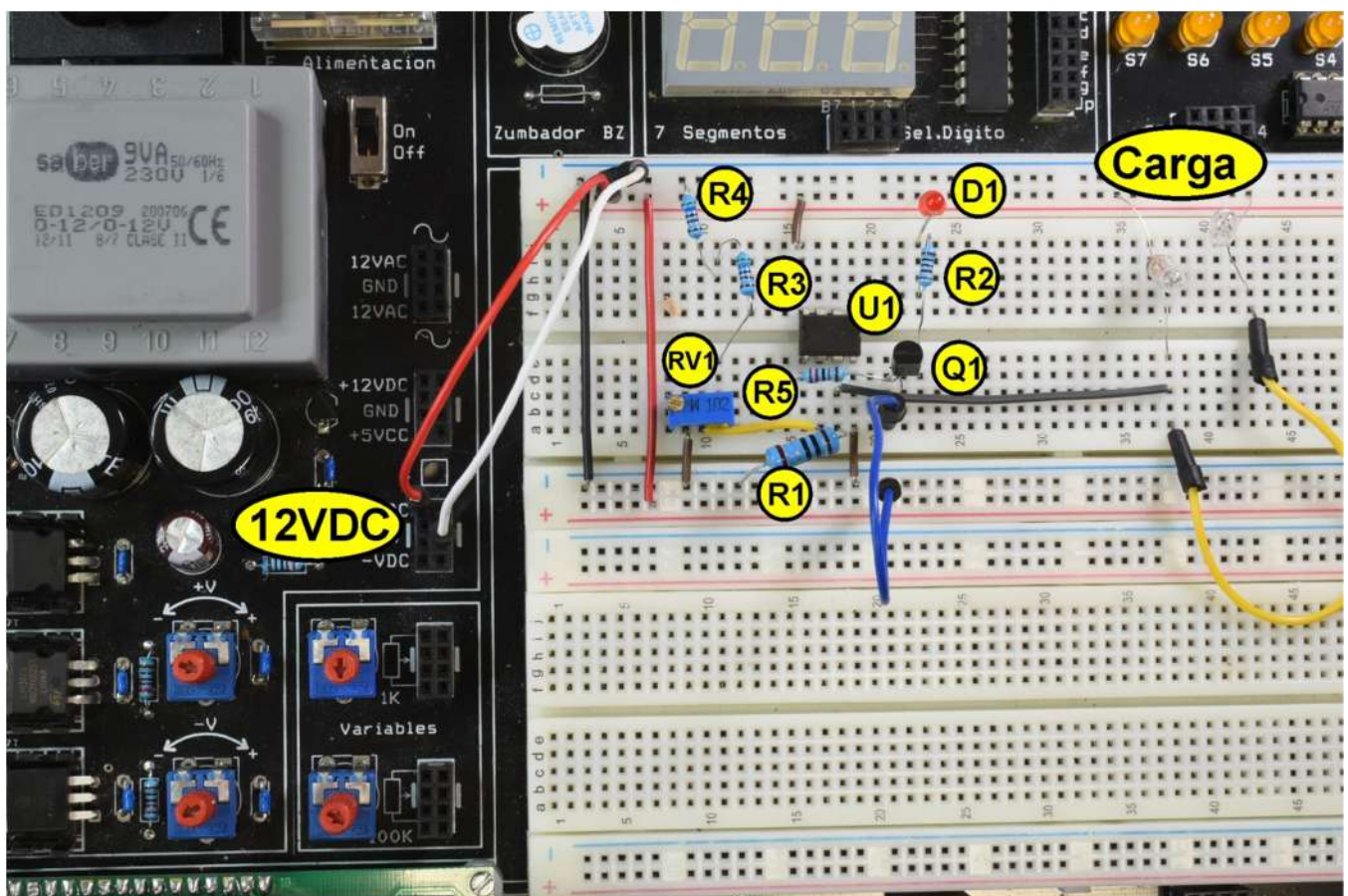


4.- ANALISIS Y EVALUACIÓN

Como viene siendo habitual, en estos circuitos o proyectos didácticos, sugerimos el montaje de un primer prototipo que permita realizar las comprobaciones básicas de funcionamiento de nuestro, en este caso, fusible electrónico. Nosotros empleamos el entrenador Universal Trainer. Dispone de:

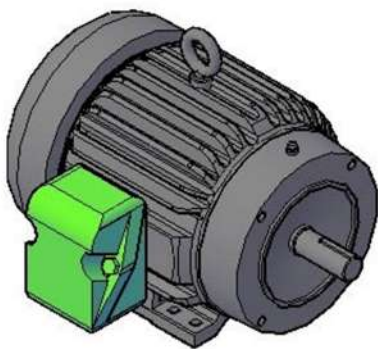
- Una amplia superficie para el montaje sin soldadura a base de módulos protoboard.
- Un sistema de alimentación flexible que suministra tensiones de diferentes tipos y valores con las que alimentar al circuito bajo prueba.
- Generador de funciones analógico y digital para estimular a esos circuitos.

En la imagen se puede ver el montaje del circuito con los diferentes componentes y sus referencias según el esquema original. El circuito se alimenta con 12VDC que obtenemos por las salida de tensión variable entre +VDC y GND, previo ajuste a +12V. Para simplificar el montaje vamos a omitir el relé RL1. Simplemente nos basta con el led D1 que se encenderá cuando el consumo de la carga aumenta por encima del valor ajustado.



Vamos a emplear dos bombillas de filamento que simularán la carga. Cuando se conectan las dos en paralelo el consumo total que si conectamos únicamente una. Esto provocará el disparo del sistema que, en este momento, lo monitorizará el encendido del led D1. Para proceder a comprobar el funcionamiento preliminar del circuito basta con seguir estos pasos:

1. Determinar la intensidad máxima que se desea que consuma la carga (I_c), por ejemplo 150 mA (0,15 A). Nuestro circuito permite ajustarla entre 0 y 1 A.
2. Esto supone que la tensión V_{B1} del shunt, en la entrada no inversora del amplificador operacional, será de 0,15 V ($V_{B1} = R_1 \times I_c = 0,15 \text{ A} \times 1 \Omega$) si por la carga circula, en un momento dado, esa intensidad.
3. Ajustar el potenciómetro RV1 para que V_{A1} , en la entrada inversora del amplificador operacional, sea también de 0,15 V.
4. Si la tensión $V_{B1} > V_{A1}$ será porque la intensidad I_c habrá aumentado por encima de los 0,15 A deseados. El tiristor se ceba y el led D1 se enciende.
5. Aunque la intensidad vuelva a estar por debajo de los 0,15 A deseados, el led D1 se mantiene activado.
6. Para rearmar el fusible es necesario abrir y cerrar el jumper JP1. El tiristor se bloquea y el led D1 se apaga. El ciclo se vuelve a repetir.



Ciertos tipos de cargas pueden producir un pico elevado de consumo nada más conectarles a la alimentación. Es el caso, por ejemplo, de ciertos motores eléctricos. En el momento de arranque, cuando tienen que vencer la inercia, su consumo es más elevado que cuando se está moviendo en un régimen normal. Esto producirá el disparo inmediato del relé. Para evitar que esto ocurra con nuestro fusible sugerimos:

1. Con el sistema desconectado de la alimentación abrir el jumper JP1.
2. Conectar la alimentación general.
3. Hacer los ajustes de la intensidad deseada según los puntos 1-3 anteriores.
4. Cerrar el jumper JP1. El circuito quedará armado y supervisando el consumo que se produce en la carga (I_c).

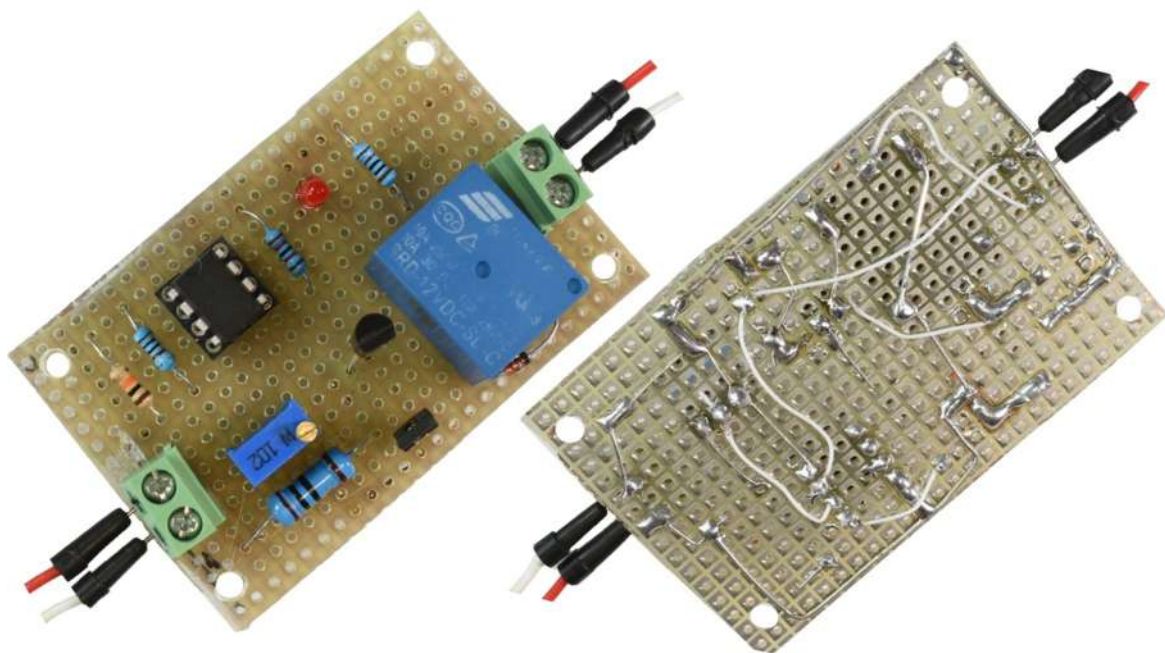
5. - PROTOTIPADO

Como es nuestra costumbre, completadas todas las pruebas y comprobaciones preliminares, el siguiente paso que recomiendo es construir un prototipo del circuito. Para ello se emplean placas perforadas para prototipos que se les conoce como "Placas Uniprint" y se comercializan en diferentes materiales, tamaños y configuraciones.

Esto es totalmente opcional y además supone un gasto añadido. Ahora los componentes los vamos a soldar y su reutilización ya no es muy recomendable. Sin embargo, de cara al diseño y fabricación de una futura placa de circuito impreso (PCB) profesional, realizar un prototipo del circuito recién evaluado permite:

- Obtener un circuito mucho más compacto y fiable que el construido sobre los módulos protoboards durante la fase preliminar de análisis y evaluación.
- Nos aproximamos al aspecto y tamaño real que tendrá la futura PCB.
- Tenemos la posibilidad de hacer el montaje completo, incluyendo los bornes de entrada de alimentación y conexión con los contactos del relé.
- Facilita una visión más global de cómo quedarán distribuidos los componentes sobre esa futura placa impresa.
- Ayuda al posterior trazado de las pistas de la PCB.

En la imagen se muestra cómo ha quedado nuestro prototipo de fusible electrónico, tanto por el lado de los componentes como por el lado de las soldaduras.



6. - CIRCUITO IMPRESO

Es la forma profesional y comercial de presentar cualquier circuito electrónico. Su diseño y fabricación tiene un coste tanto en tiempo como en dinero, de ahí la importancia de haber analizado y evaluado correctamente el circuito previamente. Nadie se pone a diseñar y fabricar un circuito impreso sin estar seguro al 100% de que su circuito eléctrico funciona a la perfección. Básicamente consiste en dibujar y colocar las componentes del circuito ("huellas" o "footprints"), así como las pistas que los conectan entre sí según el esquema teórico. Hacer un prototipo como el que proponíamos en el apartado anterior ayuda y mucho.

Para el diseño de un circuito impreso o PCB existen un buen número de programas informáticos que facilitan el trabajo. Con ellos puedes dibujar el esquema eléctrico. Es lo que se conoce como "*captura del esquema*" y, normalmente, es el primer paso. Luego se determina el tamaño de la placa impresa, se dibujan y colocan las formas o "*huellas*" de los componentes, se establece su ubicación y se conectan mediante el trazado de las pistas. Este trazado se puede hacer manual y/o automático a partir del esquema eléctrico. Entre las herramientas de diseño más conocidas podemos citar...

- EAGLE
- EasyEDA
- OrCad
- Altium
- KiCAD
- ...

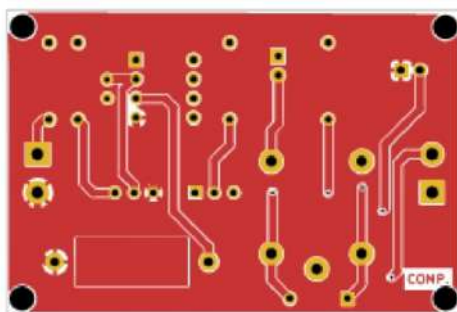
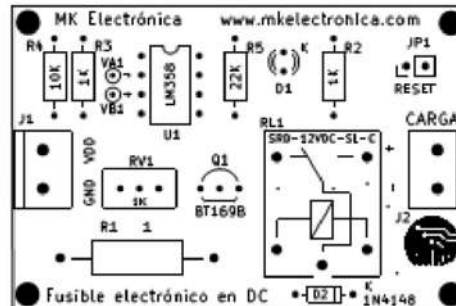
Algunas son totalmente gratuitas (p.e. KiCad y EasyEDA) y otras, aunque de pago, suelen tener una versión gratuita de demostración. Lo ideal es investigar, probar y elegir la que más nos convenga. Aprender a usar este tipo de herramientas requiere de bastante esfuerzo y más vale elegir bien. Nosotros estamos usando KiCad, que nos parece una herramienta asequible y muy aconsejable.



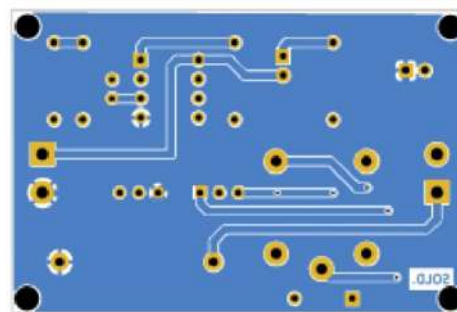
A modo de ejemplo puedes ver en tamaño real cómo nos ha quedado el diseño del circuito impreso de nuestro fusible electrónico. A veces, debido a la complejidad de las conexiones, o bien a que estamos obligados a mantener una cierta estética, o bien a que los componentes tengan que ir en una ubicación concreta, puede ser necesario colocar pistas de conexión en ambas caras de la placa de circuito impreso (PCB). Se la conoce como una "*PCB de doble cara*". Es lo que hemos hecho en nuestro diseño. En la imagen

puedes ver la serigrafía donde se ubican los componentes, las pistas en la cara de los componentes (rojo) y las pistas en la cara de las soldaduras (azul)

Serigrafía

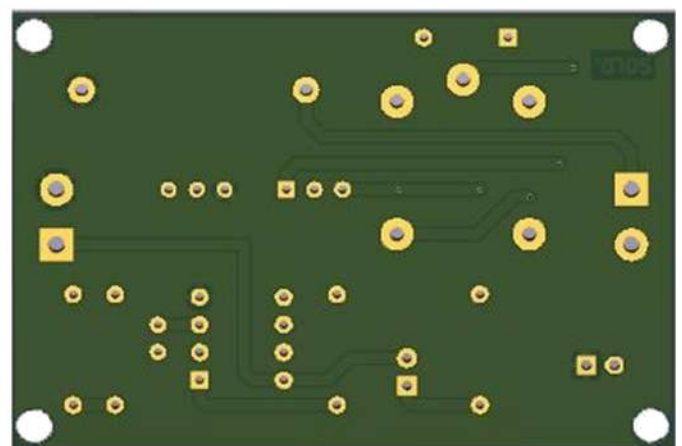
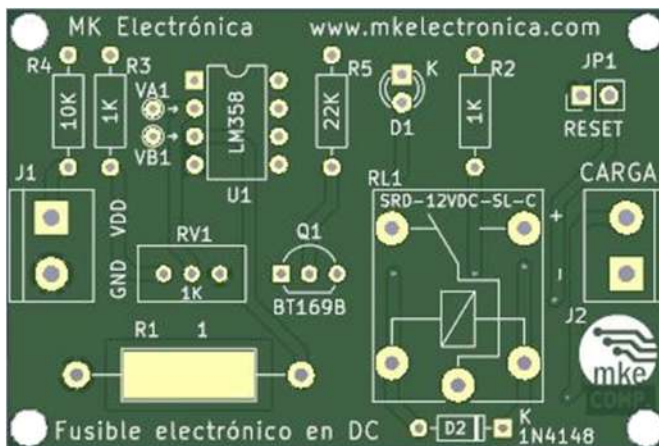


Cara de los componentes



Cara de las soldaduras

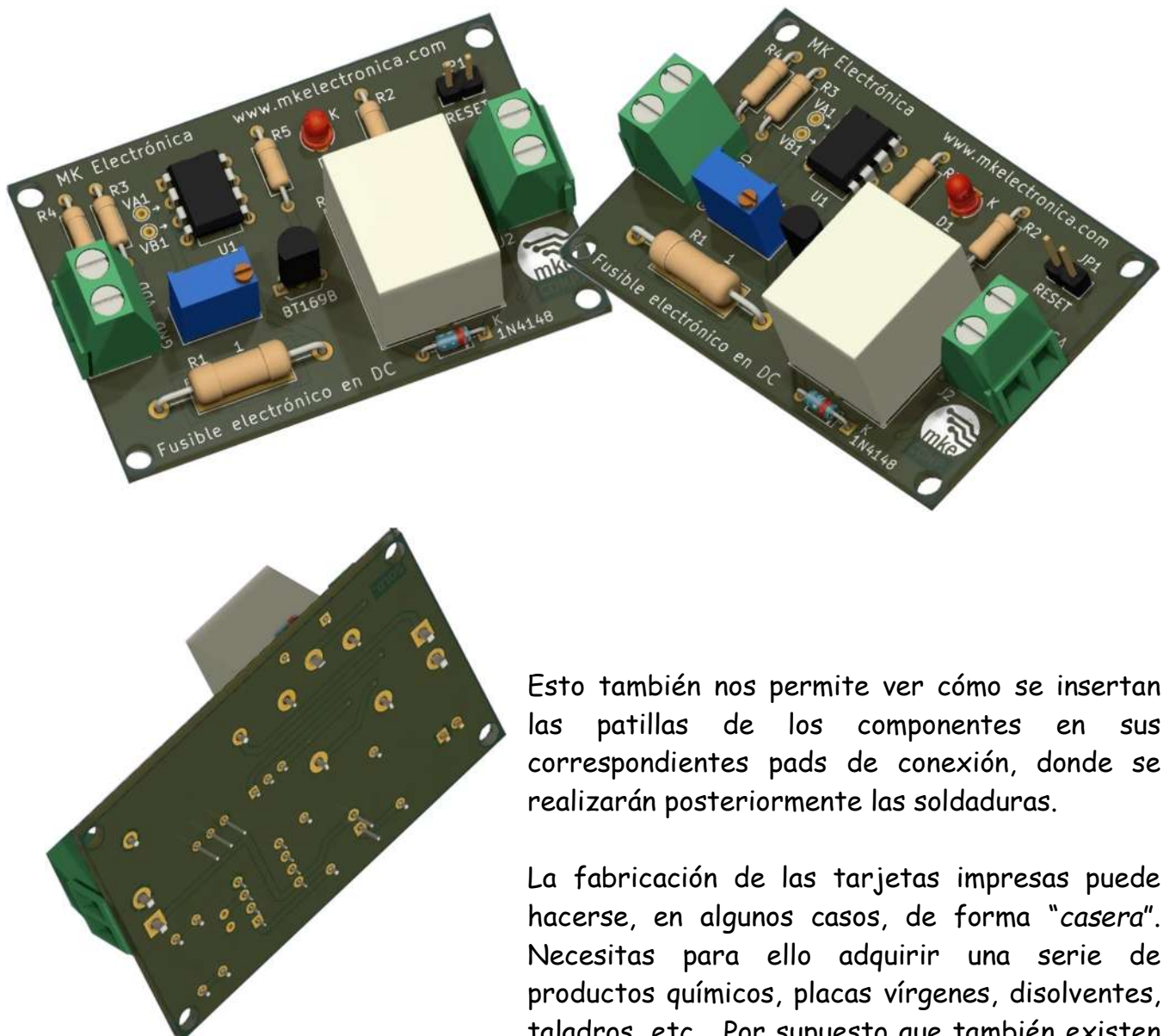
Las conexiones entre las pistas de una cara con las de la otra, se hacen mediante orificios metalizados conocidas como "vías" y "pads". En la siguiente figura tienes una imagen (ampliada) de las dos caras de la tarjeta impresa (PCB) una vez fabricada.



A la izquierda vemos la cara superior donde se encuentra la serigrafía con referencias, gráficos, textos, etc..., además de las pistas propias de esa cara. Es por donde se insertan los componentes y se le conoce como "cara de los componentes" o "Top". A la derecha está la cara inferior o, "cara de soldadura" o "Bottom". Observa que es una vista de "espejo" respecto a la cara inferior que mostramos en azul en la figura anterior.

En ella se encuentran los pads y las pistas de conexión de esa cara según el esquema eléctrico que es el que manda. Los pads también son metalizados y se taladran para poder insertar las patillas de esos componentes y realizar sobre ellos las soldaduras.

Algunas herramientas de diseño como KiCad, la que estamos usando, permiten realizar una simulación en 3D más o menos digna. En la imagen puedes ver una representación en 3D de cómo quedará el proyecto de nuestro fusible electrónico una vez que realicemos el montaje de los componentes sobre la tarjeta impresa o PCB.



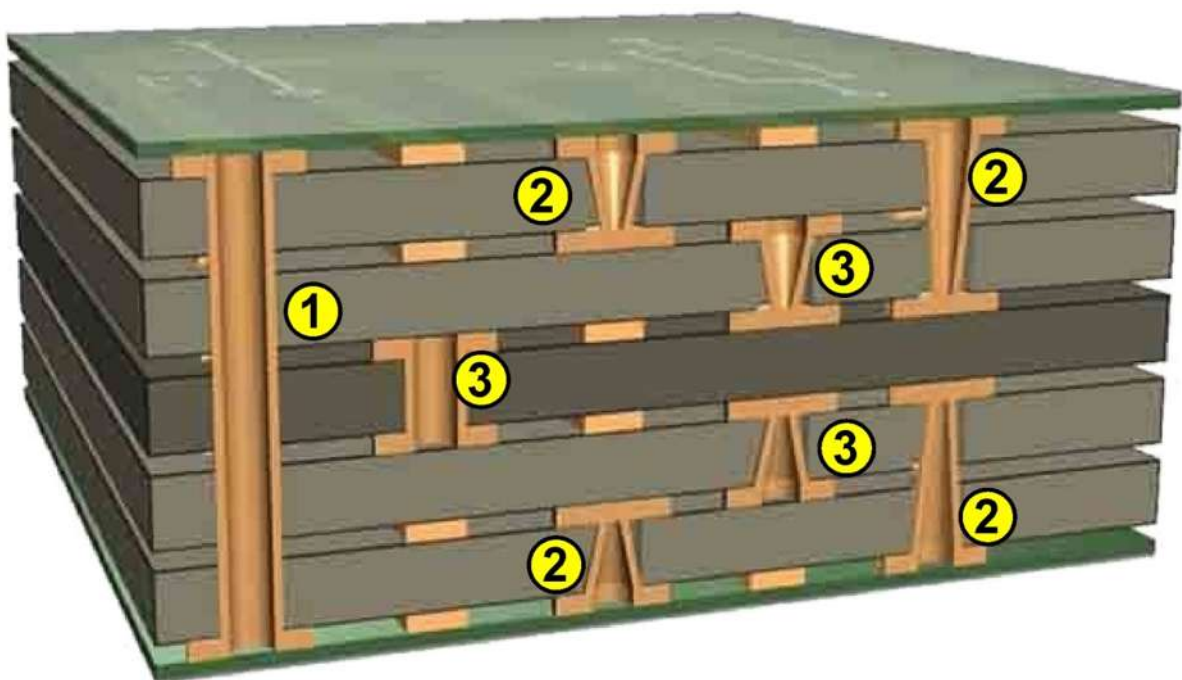
Esto también nos permite ver cómo se insertan las patillas de los componentes en sus correspondientes pads de conexión, donde se realizarán posteriormente las soldaduras.

La fabricación de las tarjetas impresas puede hacerse, en algunos casos, de forma "casera". Necesitas para ello adquirir una serie de productos químicos, placas vírgenes, disolventes, taladros, etc... Por supuesto que también existen empresas especializadas. Simplemente hay que mandarles los ficheros que contienen la información apropiada para que puedan fabricar las tarjetas de forma totalmente automatizada. Esos ficheros son generados por las mismas herramientas de diseño como por ejemplo KiCad.

En otros casos, el circuito es tan complejo que las pistas de la placa impresa que lo contiene (PCB) no pueden trazarse en dos caras y mucho menos en una. Hablamos de los circuitos impresos "multicapa". Imagina un sándwich de varios pisos.

Efectivamente, en una PCB multicapa nos podemos encontrar con pistas en diferentes capas aisladas entre sí, desde 4 capas hasta 64. La conexión entre las pistas de diferentes capas se realizan mediante una serie de taladros metalizados. Los pads ya los conoces. Son taladros a través de los cuales se insertan las patillas de los componentes y se realizan las soldaduras. Normalmente conectan con todas las capas. Luego están las "vías". Según el diseño pueden servir para mantener la conexión entre las pistas de dos o más capas y pueden ser de 3 tipos:

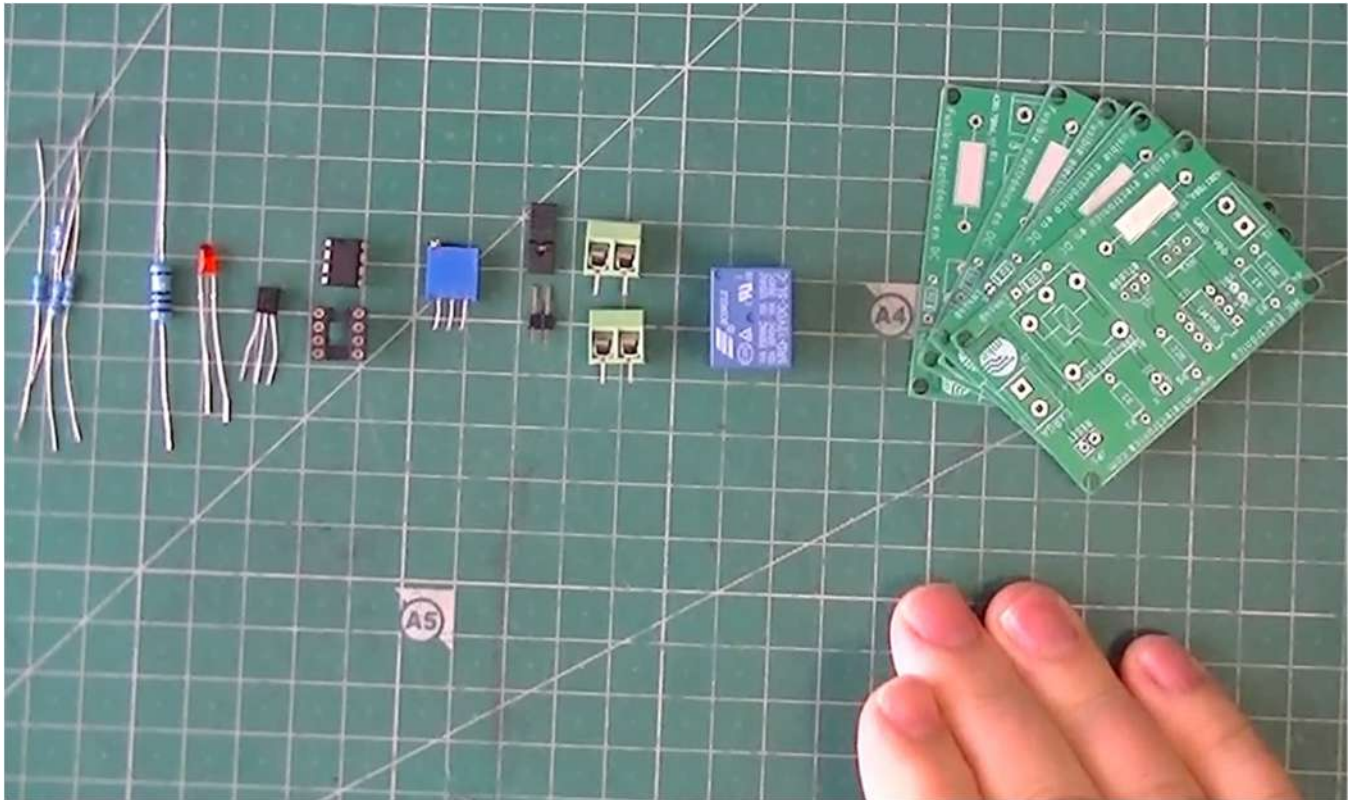
1. **Through:** Empiezan y acaban en las capas exteriores (componentes y soldaduras)
2. **Blind:** Empiezan en una de las capas externas y finalizan en una capa interna
3. **Buried:** Empiezan y terminan en capas internas.



La PCB de nuestro fusible electrónico es de doble cara y las vías son de tipo Through porque solamente hay que conectar algunas pistas de la cara de componentes (Top) con las de la cara de las soldaduras (Bottom).

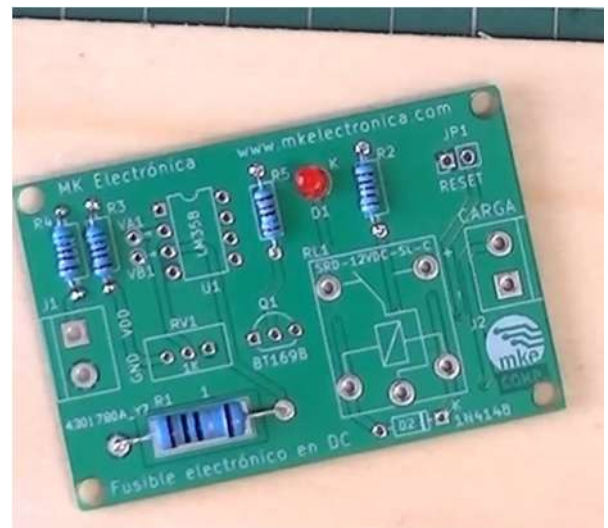
7.- MONTAJE

El último paso para completar el proyecto de nuestro fusible electrónico será realizar el montaje definitivo de los componentes sobre la placa de circuito impreso o PCB. Una vez identificados todos los componentes del kit sugerimos seguir el siguiente orden.



7-1 El diodo 1N4148 (D2), las resistencias R1-R5 y el led D1

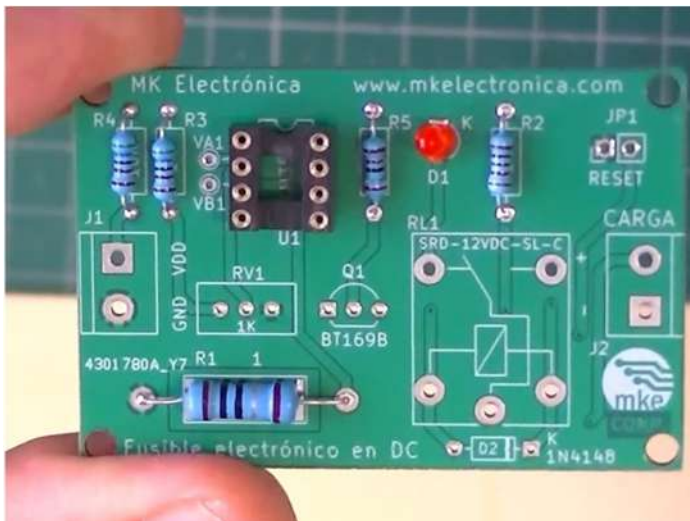
Por regla general se comienza colocando los componentes de menor perfil y se continúan montando progresivamente, en orden creciente, hasta los componentes de mayor perfil. En nuestro proyecto empezamos con el diodo 1N4148 (D2). Como tiene polaridad, la patita del cátodo está marcada con una raya negra y orientarse hacia la raya de la serigrafía de la PCB marcada con 'K'. A continuación seguimos con las cuatro resistencias R2-R5. Colocar cada una en su sitio correspondiente según su valor.



Continuamos con la resistencia shunt R1 de $1\ \Omega$ / 1W y finalizamos con el diodo led D1. Su patilla corta, el cátodo hay que orientarla con el pad señalado como 'K'.

Todos estos componentes se insertan al ras de la placa y una vez realizadas las soldaduras, cortamos las patillas sobrantes de los mismos.

7-2 Zócalo de 8 pines y diodo led D1

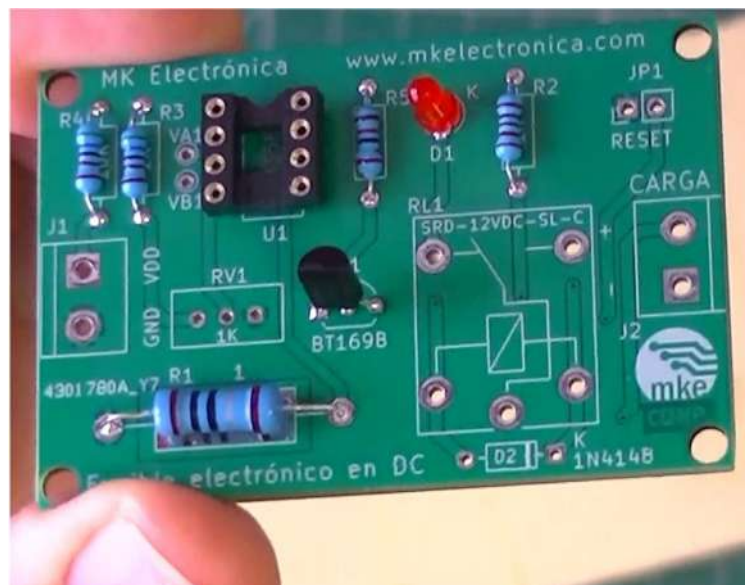


Siguiendo el orden de menor a mayor perfil vamos a soldar el zócalo de 8 pines. Al emplear un zócalo evitamos someter a elevadas temperaturas al propio circuito integrado que alojará y podremos cambiar con facilidad. Orientar la marca de referencia en forma de media luna con la referencia en la serigrafía de la PCB.

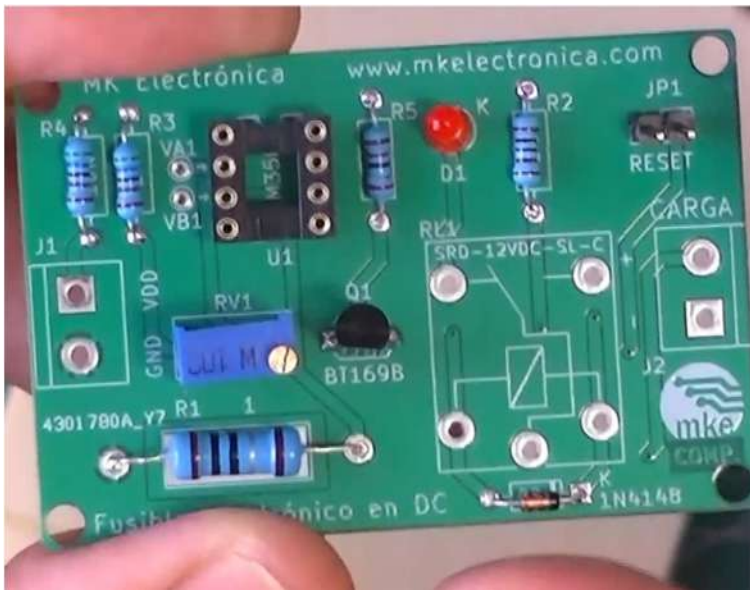
Se recomienda soldar primero un par de patillas, verificar el correcto posicionamiento del zócalo y terminar soldando las patillas restantes.

7-3 El tiristor Q1

La forma del encapsulado del tiristor (TO-92) no da lugar a dudas. Hay que orientarlo según el dibujo de la serigrafía de la placa impresa. Los dispositivos con encapsulados del tipo TO-92 (transistores, tiristores, reguladores, etc...) no se insertan al ras de la placa. Se suelen dejar a una altura de unos 6 mm.



7-4 Jumper JP1 y potenciómetro RV1



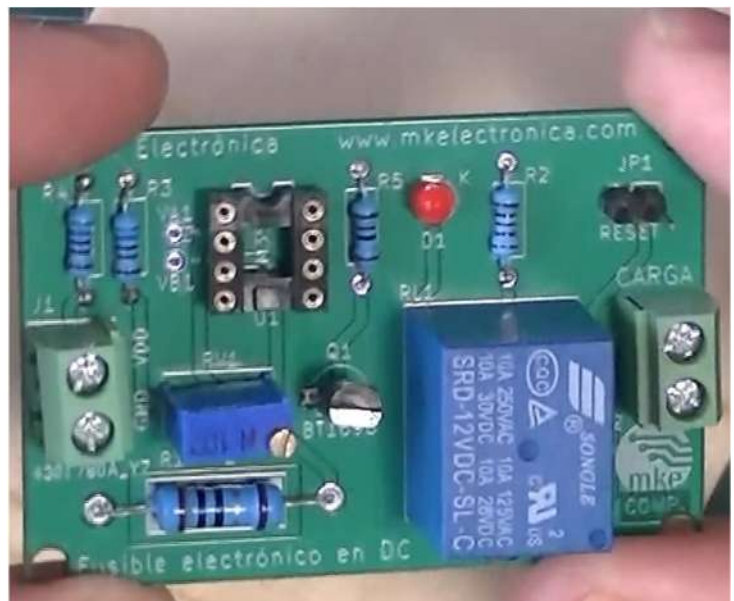
Los dos pines del jumper JP1 se insertan por sus extremos más cortos y luego se sueldan. Más adelante colocaremos la caperuza.

En cuanto al potenciómetro multivuelta RV1, en principio no tiene polaridad, pero si lo orientamos tal y como se ve en la imagen, la tensión de referencia en AV1 aumenta si giramos el tornillo en sentido horario y disminuye al girar en sentido contrario. Es lo habitual.

7-5 Los bornes J1 y J2 y el relé RL1

No debe de haber ninguna dificultad. Los bornes deben orientarse de forma que los orificios queden orientados hacia el exterior de la tarjeta impresa.

El relé por su parte, dada la distribución de las patillas, solo admite una posible orientación.



7-6 Insertar el C.I. LM358 y la caperuza del jumper JP1

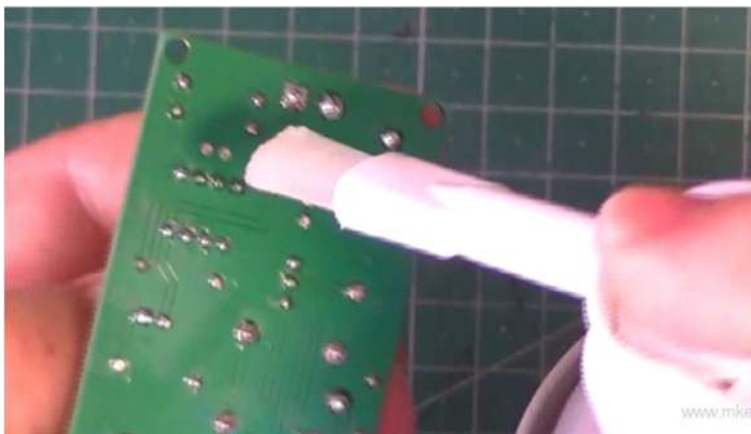
Ya hemos terminado con las soldaduras y podemos insertar a presión el circuito integrado LM358 (U1). Este dispone de una marca de referencia, una especie de semicírculo o bien un punto, que representa a la patilla nº 1. Se debe orientar con la

referencia del zócalo y de la huella en la serigrafía de la placa. Asegúrate de que ninguna patilla se doble y todas queden insertadas correctamente.

La caperuza se inserta sobre los dos pines del jumper JP1. Esto permite conectar o desconectar fácilmente el cátodo del tiristor cuando haya que rearmar/desarmar al fusible.



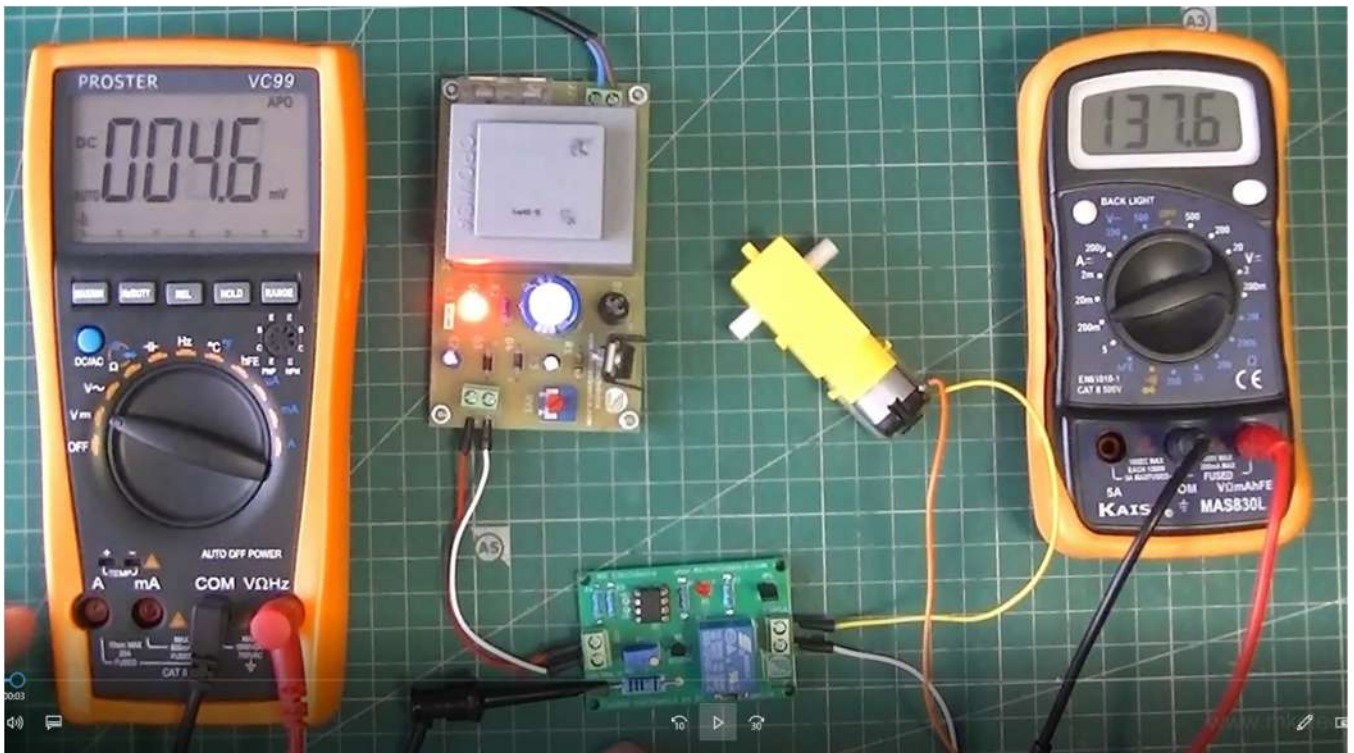
7-7 Limpieza



Por último, por razones estéticas y de buen gusto vamos a limpiar la placa PCB de los restos de soldadura que nos han ido apareciendo. Empleamos un disolvente tipo acetona, alcohol isopropílico o productos similares que se comercializan expresamente para la limpieza de placas de circuito impreso (PCB).

7-8 Punto final...

Ya has completado el montaje del fusible electrónico sobre una placa de circuito impreso (PCB) profesional. Ahora solo tendrás que comprobar por última vez su correcto funcionamiento. Por si te sirve de idea, en MK Electrónica empleamos como carga un motor de 12 VDC. Como puedes ver en la imagen usamos la Fuente de Alimentación que hicimos en otro proyecto anterior, Alimenta con 12 VDC al fusible electrónico y éste a su vez alimenta al motor. También empleamos un amperímetro, a la derecha, para medir el consumo de la carga, y un voltímetro para ajustar la tensión de referencia deseada (VA1), así como la que produce el shunt (VB1) en función de la intensidad que consume el motor.



Para comprobar el funcionamiento sugerimos seguir los siguientes pasos:

1. Abrir el jumper JP1 para desarmar el fusible. El motor funcionará de forma ininterrumpida.
2. Medir el consumo del motor en situación normal. Según la intensidad consumida, así será la tensión VB1 en el shunt. Por ejemplo, si consume 200 mA, VB1 será de 200 mV.
3. Ajustar la tensión VA1 de referencia según la intensidad a la que deseamos se dispare el fusible. Por ejemplo, si queremos que salte a 400 mA ajustaremos VA1 a 400 mV.
4. Cerrar el jumper JP1. El fusible queda armado y listo.
5. Podemos provocar un aumento del consumo en el motor simplemente intentándolo frenar.
6. En un momento dado la tensión VB1 supera a la de referencia VA1, el led D1 se activa, el relé se dispara, su contacto se abre y el motor deja de recibir tensión. El fusible se ha disparado y el motor se detiene quedando protegido.
7. Para rearmarlo abrimos el jumper JP1 y lo volvemos a cerrar. El tiristor se bloquea, el relé se desactiva y se cierra el contacto normalmente cerrado. El motor vuelve a quedar alimentado y en movimiento.

Algunas cargas, como los motores, producen picos elevados de consumo en el instante del arranque, sugerimos iniciar el sistema con la siguiente secuencia.

1. Antes de conectar la alimentación a la red eléctrica, retirar el jumper JP1. El fusible está desarmado
2. Conectar la alimentación. Como el fusible está desarmado, el motor debe arrancar y vencer la inercia sin problemas, aunque haya picos de consumo.
3. Cerrar el jumper JP1. El fusible queda ahora armado y listo.

Pues esto es todo. Esperamos que disfrutes con este nuevo proyecto al tiempo que sigues aprendiendo. Hasta la próxima...