



UNIVERSIDAD DE BURGOS

Tecnología de los Sistemas Electrónicos

Manual de Prácticas

Jorge Alonso del Valle (jadelvalle@ubu.es)

v. 0.61

Tabla de contenido

1.	Introducción	4
1.1.	Objeto del manual	4
1.2.	Introducción a las PCBs	4
1.3.	El desafío del diseño	6
1.4.	Objetivos de las prácticas.....	8
2.	Diseño manual	9
2.1.	Introducción al diseño manual.....	9
2.2.	El esquemático	9
2.3.	Conceptos básicos de las PCB	10
2.4.	La rejilla y la colocación de los componentes.....	12
3.	Fundamentos de KiCad I – El esquemático	18
3.1.	Creación de un proyecto	18
3.2.	Creación del esquemático	21
3.2.1.	Colocación de símbolos	22
3.2.2.	Conexiones entre los componentes	30
3.2.3.	Control de las reglas eléctricas (ERC)	33
4.	Fundamentos de KiCad II – La PCB.....	35
5.	Fundamentos de KiCad III – Huellas personalizadas	51
5.1.	Creación de una biblioteca personalizada.....	51
5.2.	Creación de huellas personalizadas.....	53
6.	Fundamentos de KiCad IV – Placas de varias capas.....	64
6.1.	Placas de dos capas	64
6.2.	Planos de alimentación	67
7.	Generación de ficheros de fabricación	75
7.1.	Obtención y verificación de ficheros Gerber y de taladrado	75
7.2.	La lista de materiales (BOM)	78
7.3.	Encargo de fabricación de una PCB.....	80
8.	El proceso de fabricación de una PCB	86
8.1.	Materia prima (sustrato)	86
8.2.	Grabado de imagen.....	86
8.3.	Taladrado.....	88
8.4.	Electro depósito (plating)	88

8.5. Máscara y serigrafía	90
8.6. Acabado	92
8.7. Pruebas eléctricas y corte	92
9. Documentación de un proyecto	94
10. Soldadura de componentes y pruebas de la PCB	96
10.1. Soldadura de componentes	96
10.2. Pruebas de la PCB.....	97
11. Bibliografía.....	98
Anexo – Documentación de la PCB a fabricar.....	100

1. Introducción

1.1. Objeto del manual

Este manual ha sido desarrollado con el objeto de documentar las prácticas de la asignatura Tecnología de los Sistemas Electrónicos, impartida en el Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática y en el Doble Grado en Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. Se basa en la versión 2.1 del manual de la asignatura utilizado desde el curso 2021-22, incorporando las actualizaciones introducidas durante el curso 2025-26, que buscan dotar a las prácticas de un alcance mayor y una mayor variedad de contenido sin por ello perder sus objetivos principales de aprendizaje.

El principal objetivo de estas prácticas es que el alumno adquiera las competencias necesarias para diseñar y desarrollar placas de circuito impreso (PCBs). Para ello, se han diseñado una serie de prácticas que transmiten los conceptos de diseño electrónico de forma gradual, terminando con un proyecto de diseño, fabricación y pruebas de una PCB real.

El software a utilizar en estas prácticas es KiCad, dado que es gratuito y accesible. Se puede descargar a través de su página oficial, en el enlace <https://www.KiCad.org/download/>

1.2. Introducción a las PCBs

La PCB se podría considerar la base de la electrónica moderna. La gran mayoría de circuitos electrónicos que tenemos a nuestro alrededor están implementados en PCBs. Desde los teléfonos móviles hasta las placas base de los ordenadores, dichos sistemas son posibles gracias a las PCBs.

Como concepto, una PCB se puede definir como la implementación permanente de un circuito electrónico. Al contrario que los prototipos que se realizan en laboratorio, sea en equipos de entrenamiento o en breadboards, una PCB implementa un circuito electrónico de un modo mucho más compacto y seguro, de forma permanente e integrada.

Las PCBs fueron patentadas por el ingeniero austríaco Paul Eisler en 1943 y comenzaron a usarse de forma generalizada en los años 50. A partir de los años 60, se empieza a consolidar su uso masivo, como evolución de los circuitos de cables soldados (point-to-point wiring). Por aquel entonces, los circuitos electrónicos se implementaban conectando los componentes mediante cables que se tenían que soldar manualmente. Por ejemplo, la Figura 1.1 muestra un circuito electrónico perteneciente a una radio de los años 60, donde se pueden apreciar una serie de diodos y resistencias soldados mediante cables, así como un potenciómetro que permite seleccionar la frecuencia a la que sintonizar la radio.



Figura 1.1. Circuito electrónico que implementa una radio de los años 60

El concepto de la PCB ha permitido que los circuitos electrónicos puedan implementarse permanentemente de un modo mucho más compacto y seguro, hasta el punto que se podría decir que supusieron una revolución en el ámbito de la electrónica. Hoy día, las PCBs permiten implementar circuitos complejos en muy poco espacio, permitiendo que incluso sistemas portátiles puedan ofrecer un alto número de funciones.

Asimismo, las propias PCBs han evolucionado notablemente con los años y han ido mejorando sus prestaciones, en términos de complejidad del circuito que pueden implementar. Un ejemplo son las placas base de ordenadores. Si se compara una placa base de los años 80 con una placa base de 2025, para un mismo tamaño (ATX Estándar), el número de componentes está dos órdenes de magnitud por encima. El número de núcleos de los procesadores es mucho mayor, las propias PCBs cuentan con más capas (planos paralelos que permiten conectar o no ciertos componentes) y un número total de conexiones mucho mayor. La Tabla 1.1 muestra una comparativa entre la PCB de uno de los primeros ordenadores comerciales de la historia (IBM, 1981) y una placa base Asus X670 (2022) [1] [2]:

MODELO	IBM (1981)	Asus X670 (2022)
Tamaño	ATX Estándar	ATX Estándar
Componentes	350	10000
Procesador	1 núcleo	20 núcleos
Capas PCB	5	10
Densidad	Componentes visibles	Componentes difíciles de ver
Ancho de Pistas	0.25 mm	0.10 mm
Transistores por mm ²	1	1000s
Conexiones eléctricas	750	50000

Tabla 1.1. Características de placas base de ordenadores. Comparativa entre una placa base de un ordenador IBM de los años 80 y una placa base Asus X670

Si bien una PCB puede definirse de modo sencillo como una implementación de un circuito sobre una placa, a menudo, una PCB tiene más funcionalidades. Puede contar con múltiples capas, las cuales implican añadir una tercera dimensión al diseño. Es posible contar con múltiples PCBs que estén conectadas entre sí, dando lugar a sistemas interconectados. Asimismo, en el caso de que el calentamiento de los componentes electrónicos sea un problema, las PCBs pueden incorporar sistemas de disipación y/o de regulación térmica. El ejemplo típico son los procesadores (CPUs), las cuales suelen contar con un disipador para extraer la gran cantidad de calor que generan. Incluso hoy día se pueden incorporar sistemas de regulación térmica más sofisticados, como la refrigeración líquida.

1.3. El desafío del diseño

El diseño de una PCB no solo consiste en conectar los diferentes componentes del circuito entre sí. Existen muchas formas de implementar un mismo circuito electrónico en forma de PCB. En primer lugar, es posible elegir los componentes específicos que se van a usar. Por ejemplo, una resistencia de 1 k Ω puede existir de muchas formas diferentes. Algunas permitirán más potencia que otras. La forma en que se suelda en la placa también puede variar. Asimismo, incluso con una misma selección de componentes, el ingeniero puede elegir cualquier forma de conectarlos entre sí en la PCB. El hecho de si una solución es mejor o peor que las demás depende de múltiples factores, tales como el espacio que ocupa y el coste de los componentes.

Asimismo, hay múltiples factores que deben tenerse en cuenta cuando se diseña una PCB:

- En caso de que una pista deba portar una señal eléctrica, hay que asegurar su integridad y que no se vea afectada por interferencias electromagnéticas.
- Si una placa debe distribuir diferentes niveles de tensión, debe hacerlo de forma eficiente y fiable.
- En caso de que haya componentes que se calienten, el diseño debe tenerlo en cuenta e incorporar los sistemas de regulación térmica que sean necesario.
- En función de la aplicación que tenga nuestra placa, puede que su tamaño esté restringido, o bien tener otras posibles limitaciones físicas.
- Todo lo anterior debe optimizarse a nivel económico.

En líneas generales, el proceso de diseño de una PCB se puede resumir en los siguientes pasos, los cuales se desarrollarán a lo largo del curso:

- Diseño del circuito
- Selección de componentes
- Creación u obtención de las huellas de los componentes (marca sobre la placa)
- Diseño de la placa
- Revisión y optimización del diseño
- Producción de la placa y obtención de los componentes (Bill of Materials -BOM-)
- Soldadura de los componentes
- Pruebas de la placa en laboratorio

Como se explicó anteriormente, un mismo circuito puede implementarse de muchos modos distintos. Sin embargo, es inevitable que algunas soluciones sean mejores que otras. Algunas pueden ser más baratas, otras más eficientes y otras ocupar menos espacio. La competencia del ingeniero a la hora de diseñar placas es una habilidad que se aprende con la práctica. Si bien hay ciertas técnicas que se pueden utilizar y que se explicarán a lo largo del curso, el único modo de aprender a optimizar nuestros diseños es practicar.

Un posible modo de aprender a optimizar el diseño de un sistema de forma entretenida se puede encontrar en los videojuegos de la compañía Zachtronics [3]. Por ejemplo, en el juego Opus Magnum [4], el jugador debe crear una máquina que, partiendo de una serie de átomos y moléculas como materia prima, debe moverlos, crear y romper enlaces entre ellos usando diferentes mecanismos como brazos y pistones. Su objetivo es crear y programar una máquina que cree un cierto producto. Esto supone un problema creativo a nivel de diseño que cada jugador puede resolver de un modo diferente. Una vez el jugador crea una máquina que logra resolver el problema, el juego le muestra un histograma donde se evalúa el rendimiento de su máquina con respecto al resto de jugadores a nivel mundial. El rendimiento se evalúa con respecto a tres factores: el coste (cada mecanismo que se utiliza tiene un coste económico, así que cuantos menos mecanismos se usen, más barata es la máquina), la velocidad (cuantos menos movimientos requiere la máquina para crear el producto, más rápida es) y el espacio que ocupa (cuanto más eficiente sea la colocación de los mecanismos, menos espacio ocupa). Cada problema tiene infinitud de soluciones válidas, pero algunas serán objetivamente mejores que otras en alguno o varios aspectos. Las competencias que el jugador debe desarrollar para optimizar sus diseños son similares a las que se deben obtener para diseñar PCBs en la vida real, dado que los factores que se deben optimizar son similares.

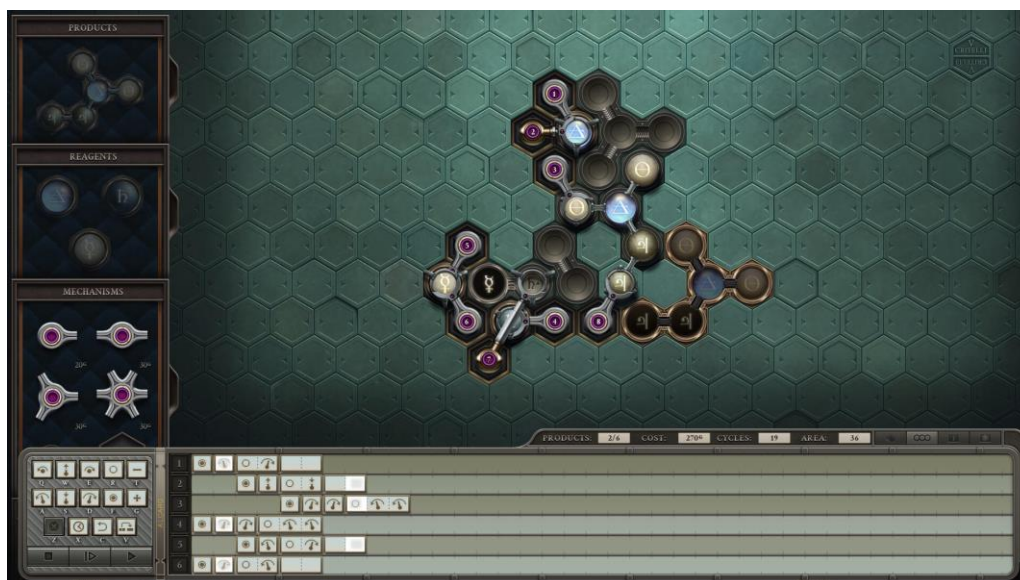


Figura 1.2. Ejemplo de una máquina que implementa una solución a un problema en el videojuego Opus Magnum (Zachtronics, 2017) [4]

1.4. Objetivos de las prácticas

El objetivo general de las prácticas es que el alumno aprenda a diseñar y fabricar PCBs a nivel profesional. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos, que reúnen las competencias necesarias para alcanzar el objetivo global:

- Identificación de componentes. Concepto de huella.
- Diseño manual: Colocación y enrutado de componentes.
- Fundamentos de KiCad: Freeware para el diseño de PCBs.
- Ejercicios de diseño, incluido el proyecto de desarrollo y fabricación de una PCB real.
- Fabricación de PCBs: Métodos artesanales vs. Métodos del siglo XXI
- Documentación de proyectos de diseño, desarrollo y fabricación de PCBs

A lo largo de todo el curso, los alumnos realizarán ejercicios para aprender de forma gradual las competencias anteriores. Asimismo, desarrollarán una PCB real y la fabricarán, así como elaborarán la documentación necesaria para su correcto diseño e implementación.

2. Diseño manual

2.1. Introducción al diseño manual

En este capítulo se explicarán los conceptos fundamentales del diseño de PCBs. Para ello, antes de introducir el software que se utilizará a lo largo del curso, se explicará el diseño de PCBs de forma manual. Para ello, se utilizará papel cuadriculado, de forma que sea sencillo organizar las huellas de los diferentes componentes. Idealmente se debería utilizar una rejilla de tamaño 2.54x2.54 mm (1 décima de pulgada), ya que es una tolerancia estándar de uso habitual en el diseño de PCBs, al menos en el ámbito académico.

Se ha optado por exponer el diseño manual antes del diseño asistido por ordenador, dado que el software automatiza una serie de ideas y conceptos que el alumno debe comprender antes de diseñar PCBs por ordenador.

Para poder seguir el documento, se asume que el lector ya conoce los fundamentos básicos de teoría de circuitos y se asume experiencia previa en el montaje de circuitos, sea sobre protoboards o sobre entrenadores de laboratorio. En particular, se destacarán los cambios que tienen lugar cuando se diseña una PCB en comparación con el montaje de un circuito en breadboard o en laboratorio.

2.2. El esquemático

Antes de comenzar siquiera a plantear la PCB, es fundamental tener claro el circuito que se quiere implementar. En particular, el diseñador debe ser consciente tanto de los componentes que conforman el circuito como de todas y cada una de las conexiones entre ellos. De forma general, cada conexión entre dos o más componentes se denomina nodo (*net*), y es habitual realizar una lista con todos los nodos que tiene el circuito, la cual se denomina *netlist* (lista de nodos).

En este capítulo, se realizará un ejemplo de diseño manual de una PCB. El circuito que se va a implementar se muestra en la Figura 2.1.

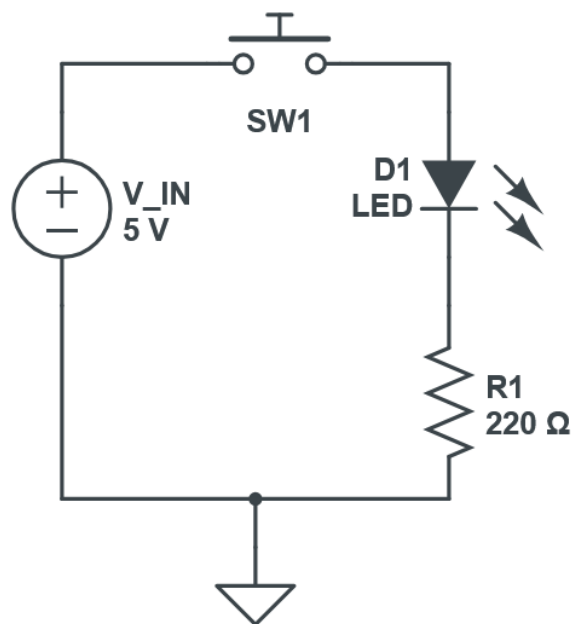


Figura 2.1. Circuito de ejemplo a implementar en una PCB diseñada de forma manual

El circuito consiste en un simple diodo LED que se enciende al pulsar el interruptor SW1. Debe alimentarse a través de una fuente de tensión constante de 5 V. Se trata de un circuito con un total de cuatro nodos: GND, V_IN y las conexiones SW1-D1 y D1-R1.

2.3. Conceptos básicos de las PCB

A continuación, se exponen los conceptos fundamentales que deben conocerse a la hora de diseñar y desarrollar una PCB:

- **Pista:** Conductor eléctrico que conecta dos o más componentes. En una PCB, cada pista implementa un nodo. Consiste en una línea de cobre grabada sobre la propia placa. En función de la corriente que se espera tener a través del nodo, la pista necesitará ser más o menos ancha. Asimismo, es importante que el diseño de la PCB deje cierta separación entre pistas paralelas, dado que, de no ser así, podrían cortocircuitarse de forma accidental.
- **Huella:** Representación física y dimensional de un componente que va a ser montado en la PCB. El concepto de huella debe diferenciarse del símbolo eléctrico del componente. Un mismo componente eléctrico puede implementarse mediante muchos componentes reales diferentes, con diferentes encapsulados físicos. No obstante, cada componente real tiene una huella diferente, dependiendo de su tamaño y características. A la hora de diseñar una PCB, es fundamental conocer los componentes reales que se van a implementar y conocer sus huellas. En particular, una huella contiene una parte de cobre en cada terminal que se conecta al circuito, y por ende se puede conectar a una pista. Elegir una huella u otra es una decisión que tiene consecuencias fundamentales en el diseño y fabricación de una PCB.

De modo habitual, los componentes eléctricos se suelen clasificar en dos familias en función del tipo de huella que tienen. Dicho de otro modo, existen dos formas de conectar un componente eléctrico a una placa:

- ❖ **Through-Hole (THT):** Los terminales de un componente THT son patas que atraviesan la placa. Esta debe contar con agujeros, del tamaño correcto, donde se insertan las patas del componente.
- ❖ **SMD (Surface Mounted Device):** Los componentes SMD no tienen patas, sino que se sueldan directamente sobre la superficie de la placa. Estos componentes no requieren agujeros en la placa y son más compactos, pero también más difíciles de soldar.

El área de cobre donde se conecta cada terminal de un componente se denomina **pad**. Obviamente, los pads de los componentes THT y SMD son diferentes. Los pads de un componente THT son anillos de cobre que rodean al agujero donde se inserta el componente, mientras que los pads de un componente SMD son pequeñas áreas de cobre donde se soldará el terminal sobre la placa.

La Figura 2.2 muestra varias resistencias montadas en una PCB, ilustrando la diferencia entre un componente THT y un SMD. Asimismo, la figura 2.3 muestra la diferencia entre las huellas de una resistencia THT y una SMD.

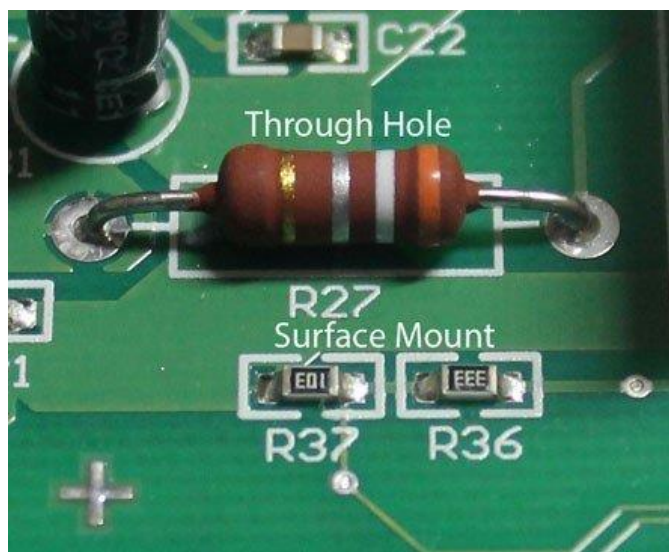


Figura 2.2. Resistencias soldadas en una PCB. La resistencia R27 es un componente THT, mientras que las resistencias R37 y R36 son componentes SMD

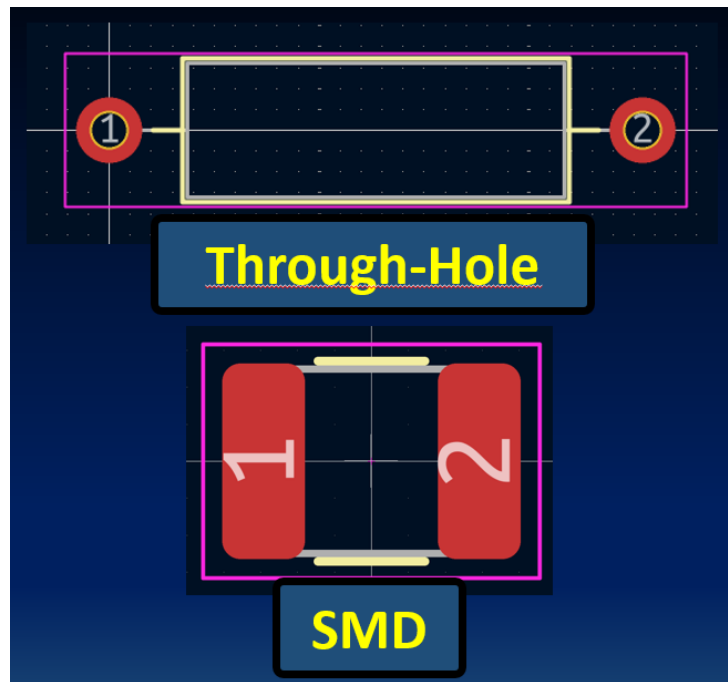


Figura 2.3. Huellas de resistencias eléctricas, destacando la diferencia entre la huella de una resistencia THT (arriba) y una resistencia SMD (abajo)

Siguiendo con los conceptos básicos de las PCB:

- **Vía:** Una vía es un agujero que atraviesa la placa. Por definición, todos los componentes THT necesitan vías para insertarse a la placa y conectarse al resto de componentes. Asimismo, una vía puede o no conectar las diferentes capas de una placa.
- **Capa:** Es posible implementar varias capas en una misma PCB. Cada una de ellas implementa diferentes pistas y conexiones entre componentes, permitiendo añadir una tercera dimensión al diseño. Este manual comenzará exponiendo únicamente las placas de una sola capa, pero eventualmente se introducirá el concepto de placas multicapa, incluyendo la posibilidad de usar capas que consistan en planos de cobre, útiles para alimentar varios componentes al mismo tiempo o para implementar la masa del circuito.

2.4. La rejilla y la colocación de los componentes

Una vez se conocen los conceptos básicos de las PCB y los componentes que se van a utilizar, se debe proceder a colocarlos sobre la placa y a conectarlos entre sí. De cara a nuestro ejemplo, se utilizarán componentes THT en exclusiva, dado que son más sencillos de implementar que los componentes SMD.

En este ejemplo (figura 2.1), los componentes que se van a utilizar, así como sus huellas, son los siguientes. Nótese que la separación entre los pads siempre es un múltiplo de 2.54 mm, que se corresponde con un recuadro en la rejilla:

- **D1 (LED):** Se usará un diodo LED THT básico, cuya huella destaca porque sus pads tienen formas diferentes. En particular, como es habitual, el cátodo del diodo está

marcado de algún modo. En este caso, tal y como se aprecia en la figura 2.4, el pad del cátodo es un cuadrado en vez de un círculo. La separación entre sus pads es de 2.54 mm.

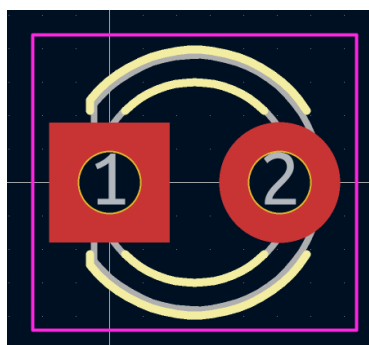


Figura 2.4. Huellas de un diodo LED THT, donde el pad 1 es el cátodo y el pad 2 el ánodo

- **Pulsador (SW1):** Se implementa mediante un pulsador SPST básico de dos terminales, cuya huella se ilustra en la figura 2.5. La separación entre sus pads es de 7.62 mm.

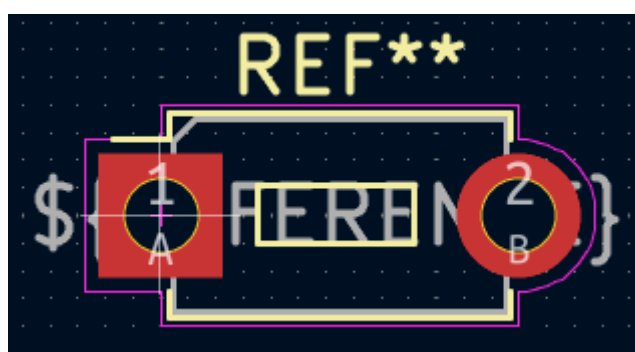


Figura 2.5. Huellas de un pulsador SPST THT

- **Resistencia:** Se implementa mediante una resistencia axial THT tradicional. En concreto, las medidas estándar consisten en dejar una separación de 10.16 mm entre los centros de los agujeros, los cuales tendrán un diámetro de 2.54 mm. La figura 2.6 muestra la huella con dichas características.



Figura 2.6. Huella de una resistencia axial THT, con separación de 10.16 mm entre sus agujeros de diámetro 2.54 mm

- **Fuente de alimentación:** En este manual, el diseño de las PCBs debe dar soporte para recibir fuentes de tensión externas. Es decir, en vez de implementar un soporte para las propias fuentes de tensión, contarán con pines a los que el usuario de la placa conectará una fuente externa. Deben implementarse tantos pines de conexión como sea necesario para recibir todas las fuentes de alimentación que se precisen.

Asimismo, en muchos casos se deberán implementar otros pines para emitir señales de salida. De modo habitual, se utilizarán pines de conexión macho de 2.54 mm. La figura 2.7 muestra la huella que se utilizará en este ejemplo, la cual se usará para insertar dos pines, a los cuales el usuario de la placa conectará una fuente de tensión constante de 5 V.



Figura 2.7. Huella de una pareja de pines de conexión, a los que el usuario de la placa deberá conectar una fuente de tensión

El siguiente paso es disponer las huellas de todos nuestros componentes sobre la placa. En este caso, se realizará un diseño manual, para lo cual es fundamental contar con una rejilla. En particular, la rejilla a utilizar consiste en recuadros cuyo lado mide 2.54 mm. Dicha medida es estándar para diseñar placas de forma manual, siendo el equivalente a una décima de pulgada.

En las huellas que se presentaron en las cuatro imágenes anteriores, la separación entre los pads siempre es un múltiplo de 2.54 mm, lo cual nos indica el número de recuadros que hemos de separar los pads de una misma huella. Es decir, la separación entre los pads del LED es de 1 recuadro, en el interruptor es de 3 recuadros, en la resistencia de 4 recuadros y en los pines es de solamente 1 recuadro. En base a esto, es posible colocar las cuatro huellas de forma ordenada sobre nuestra rejilla. Una posible distribución se muestra en la figura 2.8.

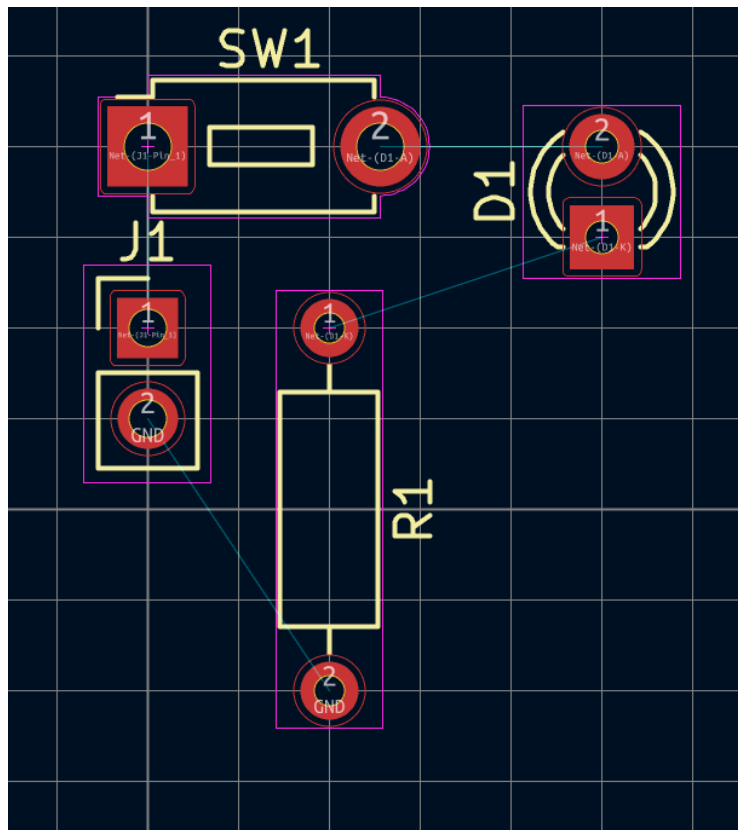


Figura 2.8. Una posible distribución de las huellas de los componentes del circuito de la figura 2.1

Una vez se han colocado las huellas de los componentes, el siguiente paso es trazar pistas que implementen las conexiones indicadas en el circuito. A la hora de trazar pistas, es fundamental tener en cuenta una serie de consideraciones:

- **Una placa no es un esquema eléctrico.** En un esquema eléctrico, las conexiones no representan necesariamente relaciones espaciales. Asimismo, la distribución geométrica de los componentes no representa su distribución física en la realidad. Sin embargo, una placa sí representa cómo se colocan los componentes del circuito sobre una superficie de dos dimensiones.
- En consecuencia, **dos pistas diferentes no se pueden cruzar.** Ha de tenerse en cuenta que una pista es una línea física de cobre. Por lo tanto, si dos pistas se tocan, quedan conectadas eléctricamente (cortocircuitadas), lo cual no puede ocurrir.
- **En caso de que se deseen trazar pistas paralelas, debe dejarse una separación entre ellas.** Generalmente, es buena idea dejar una separación igual a, al menos, el ancho de la propia pista.
- **A la hora de trazar una pista, es buena idea evitar los ángulos rectos,** dado que pueden dibujarse mal cuando se fabrica la placa real. En vez de eso, cuando se quiere realizar un giro de 90 grados, es mejor hacerlo mediante dos giros de 45 grados consecutivos, tal y como se indica en la figura 2.9.

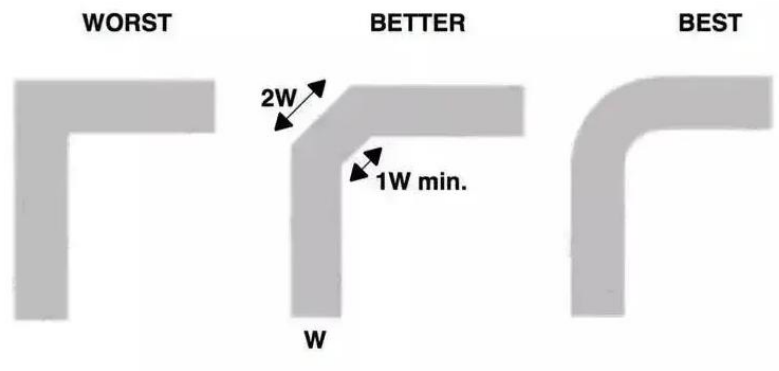


Figura 2.9. Formas de trazar un giro en pistas. Si bien lo óptimo es trazar una curva, lo más sencillo de diseñar y de fabricar es usar dos ángulos de 45 grados consecutivos

- **Finalmente, hay que tratar de optimizar el espacio.** Cuanto menos ocupe una placa y cuantas menos pistas sean necesarias, más pequeña resultará y, por ello, más barata será de fabricar.

La figura 2.10 muestra un ejemplo de cómo trazar las pistas entre los componentes del circuito, tal y como se distribuyeron en la figura 2.8. Nótese que no es la distribución óptima. Se deja al lector que plantee posibles mejoras que hagan la placa más compacta.

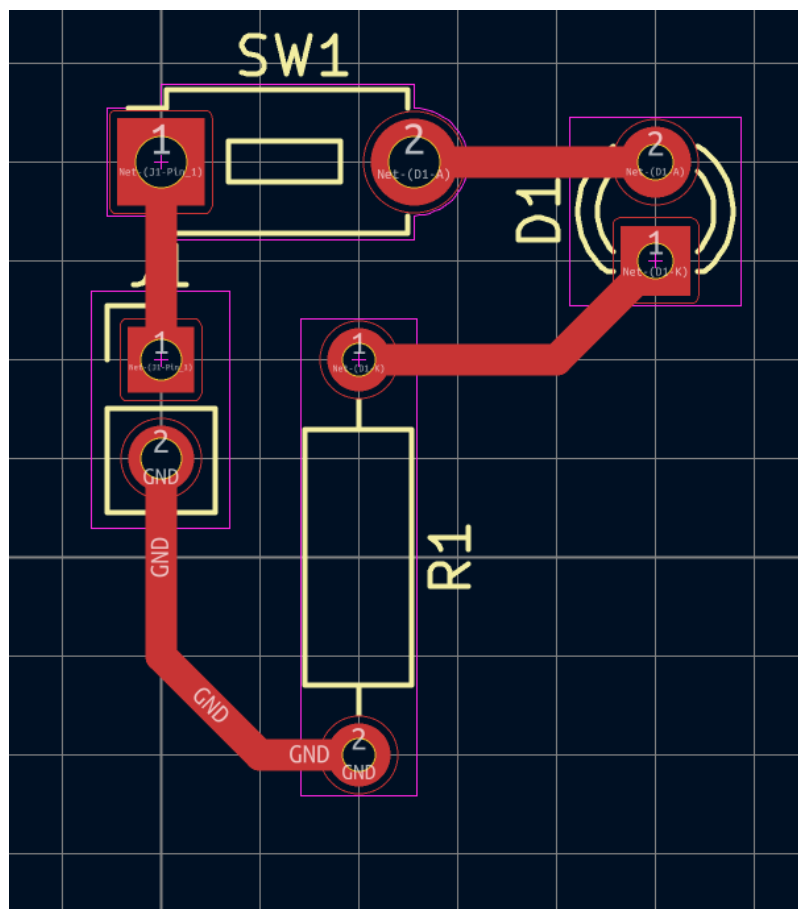


Figura 2.10. Ejemplo de trazado de pistas entre los componentes de la figura 2.8, implementando el circuito de la figura 2.1

Ejercicio: Diseñar de forma manual una PCB que implemente el circuito de la figura 2.11. Se trata de un amplificador no-inversor, implementado a través de un encapsulado TL081. Se debe consultar la hoja de características de dicho componente a través de internet y verificar qué se debe conectar a cada terminal. El circuito debe contar con pines para recibir dos fuentes de alimentación. Una de ellas suministrará la señal V_{IN} , mientras que la otra debe alimentar al amplificador operacional a ± 15 V (nota: se requieren tres pines para esta fuente: 15 V, -15 V y masa -0 V-). Finalmente, el circuito necesitará un sexto pin para emitir la señal de salida V_{OUT} . Las huellas a utilizar consistirán en resistencias axiales con separación de 10.16 mm entre sus pads, una tira de seis pines para las fuentes de entrada y salida (separación 2.54 mm entre cada pin) y una huella para un encapsulado DIP-8 (consiste en dos filas paralelas de pines separados 2.54 mm, estando las filas separadas 7.62 mm entre ellas).

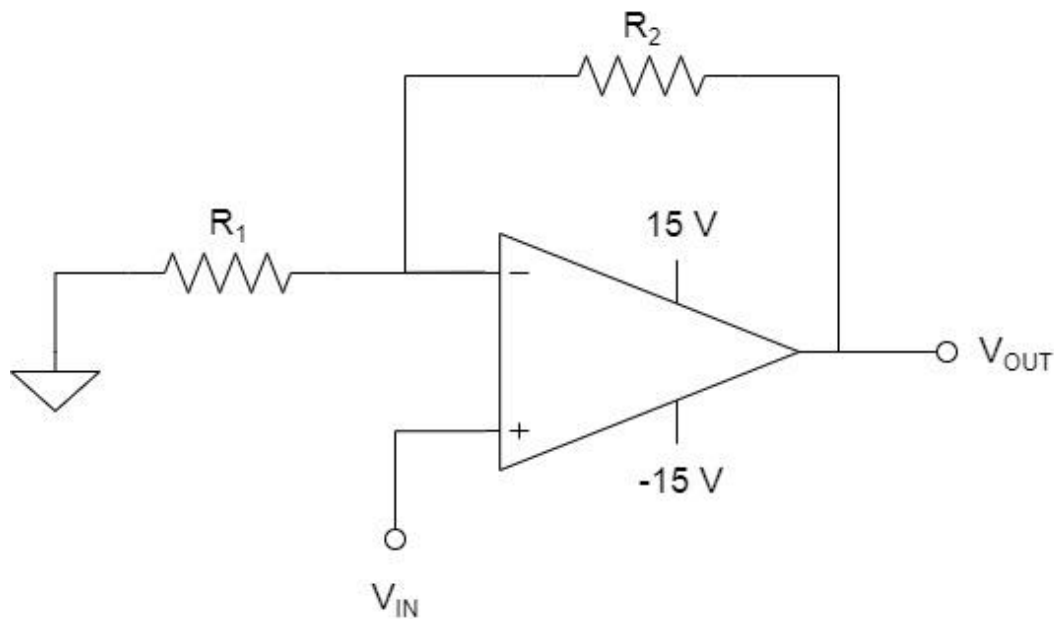


Figura 2.11. Circuito amplificador no inversor a implementar en una PCB diseñada a mano

3. Fundamentos de KiCad I – El esquemático

En los siguientes capítulos se introduce el software KiCad como herramienta para el diseño de PCBs. Cada capítulo introducirá un aspecto fundamental del software, de modo que los conceptos se irán desarrollando gradualmente. Este capítulo consiste en la creación de un proyecto y el trazado del esquemático, el cual es fundamental para indicarle al programa qué circuito se va a implementar en la PCB y cuáles son las conexiones eléctricas entre sus diferentes componentes.

3.1. Creación de un proyecto

Cada PCB que se quiera diseñar y desarrollar en KiCad está asociada a un proyecto. Un proyecto consiste en una carpeta que el propio software crea en nuestro sistema de almacenamiento y donde se crean y definen una serie de ficheros, los cuales contienen toda la información necesaria sobre la PCB que estamos diseñando. Para crear un nuevo proyecto, desde la ventana principal de KiCad (figura 3.1), hay tres formas de hacerlo:

- Entrar a Archivo -> Nuevo proyecto
- Mediante el atajo de teclado Ctrl+N
- Mediante el primer botón de la columna izquierda



Figura 3.1: Ventana principal del software KiCad

Al crear un nuevo proyecto, el software nos ofrece la posibilidad de elegir una plantilla. Esta cuenta con una configuración predefinida, lo cual es útil si se va a implementar una placa para un dispositivo de uso común en electrónica, como puede ser un Arduino o una Raspberry. De modo general, se utilizará la plantilla por defecto (default), tal y como se indica en la figura 3.2.

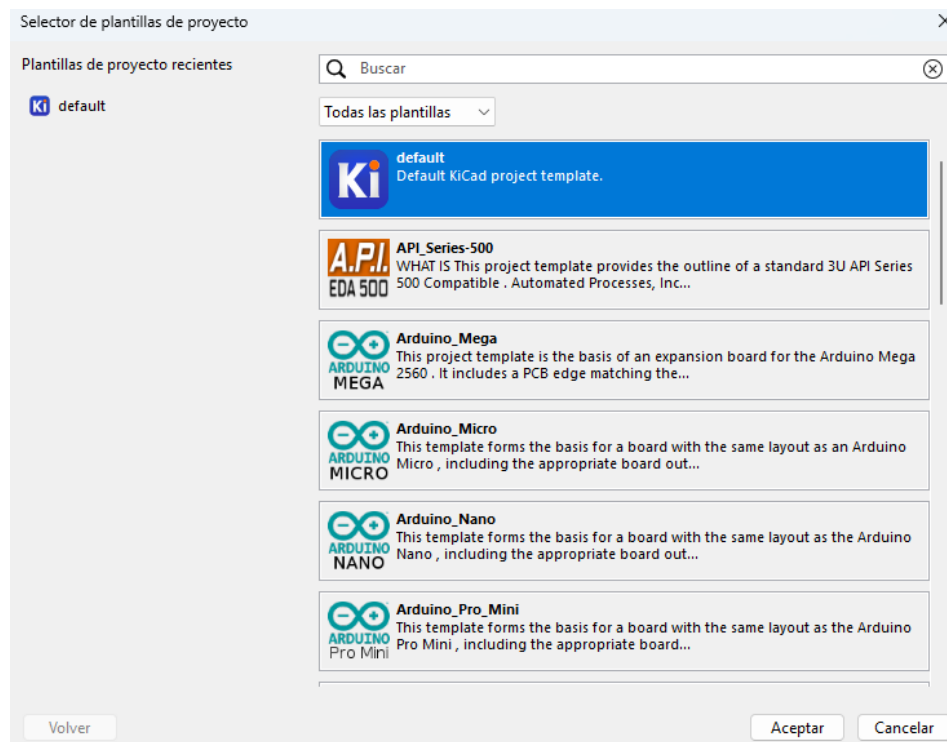


Figura 3.2. Selector de plantillas de proyecto; ventana que aparece en KiCad tras crear un nuevo proyecto

Una vez seleccionada la plantilla, se abrirá una ventana del explorador de Windows, donde se le debe indicar al software el nombre del proyecto (figura 3.3). Asimismo, por defecto, la opción denominada **Crear una nueva carpeta para el proyecto** estará seleccionada, y es recomendable mantenerla. Esto no solo creará el fichero de proyecto, sino que lo ubicará dentro de una carpeta que el propio software creará, junto con los ficheros básicos del proyecto. Es buena idea hacerlo así, ya que, de este modo, todos los ficheros del proyecto estarán contenidos dentro de una misma carpeta, lo cual ayuda a mantenerlo ordenado. En este caso, se creará un proyecto que se denominará "Demo_Manual_Cap_3".

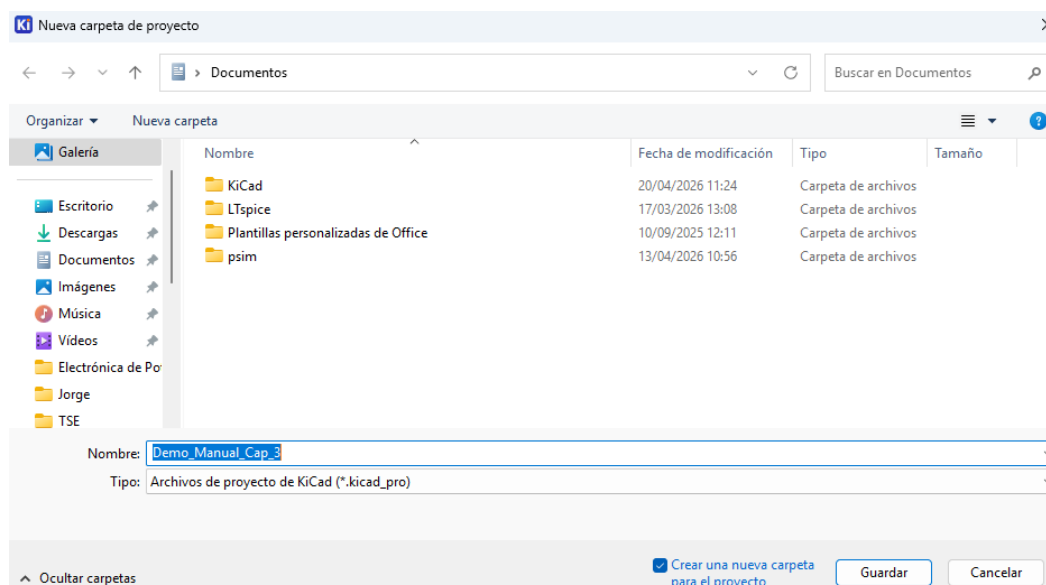


Figura 3.3. Creación de un fichero de proyecto, así como de una carpeta donde se contendrá junto con el resto de los ficheros del proyecto

Una vez se crea el proyecto, el software nos muestra de nuevo su ventana principal, con la diferencia de que ahora nuestro proyecto aparece en la columna blanca a la izquierda de la ventana. Dicha ventana consiste en un explorador de archivos, donde veremos la carpeta de nuestro proyecto, así como cualquier subcarpeta que creemos, así como todos los ficheros del proyecto. Por defecto, el programa creará dos ficheros: uno con extensión **.KiCad_sch** y otro con extensión **.KiCad_pcb**. El fichero con extensión **.KiCad_sch** contendrá el esquemático de nuestro circuito, mientras que el fichero con extensión **.KiCad_pcb** contendrá la propia PCB. La figura 3.4 muestra el aspecto de la ventana principal del proyecto tras su creación.



Figura 3.4. Ventana principal de KiCad tras crear un proyecto

3.2. Creación del esquemático

El primer paso tras crear un proyecto es definir correctamente el esquemático de la PCB. Este consiste en el esquema eléctrico del circuito que se va a implementar en la placa. Dado que su objetivo se limita a definir los nodos y conexiones entre los componentes, su distribución espacial no es importante. Sin embargo, debe ponerse mucho énfasis en la correcta conexión de todos los componentes. Asimismo, el esquemático es el lugar donde asignan las huellas a los diferentes símbolos. Tal y como se explicó en el capítulo anterior, cuando se diseña una PCB, ha de tenerse claro qué componentes se van a utilizar y cuáles son sus huellas.

Para definir el esquemático, se debe acceder al fichero con extensión .KiCad_sch dentro de nuestro proyecto, o bien acceder a la opción Editor de esquemas, en la parte derecha de la ventana principal de KiCad. Al hacerlo, se abrirá una ventana como la que se muestra en la figura 3.5.

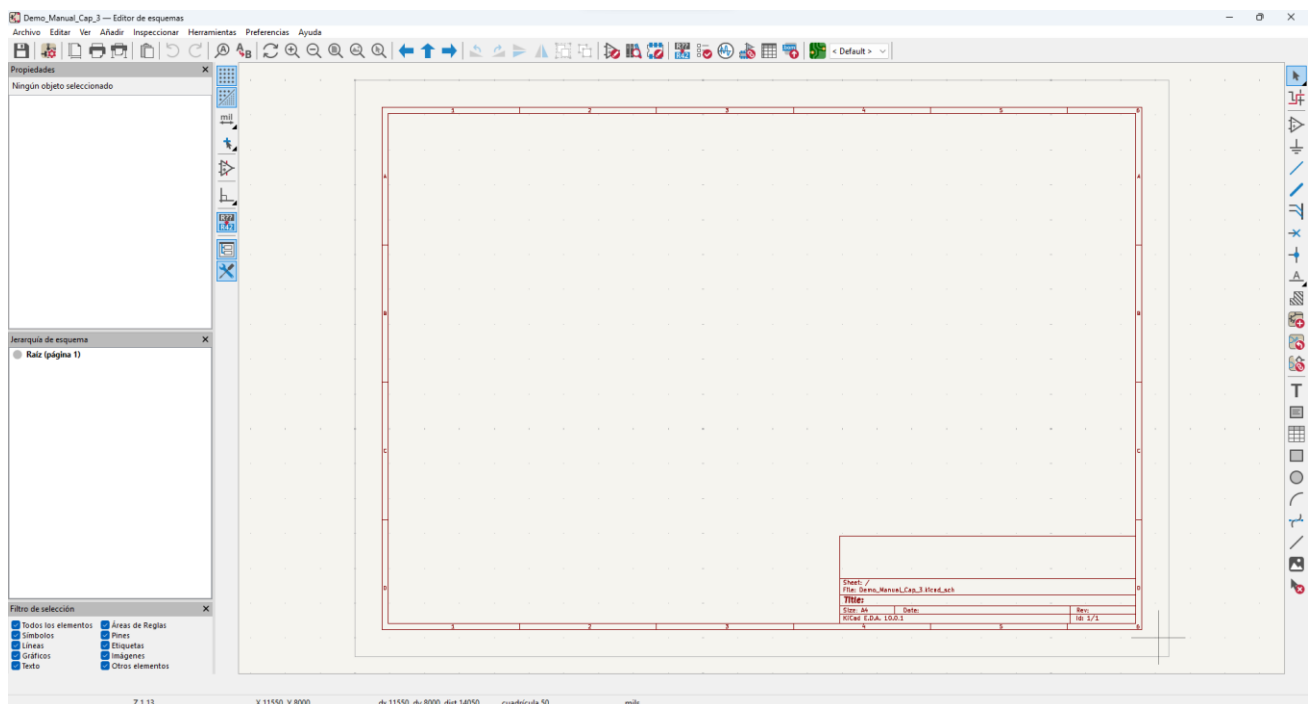


Figura 3.5. Editor de esquemas en KiCad, el cual muestra un esquemático en blanco

En este punto, es un buen momento para indicar algunos controles básicos de cámara, para que el usuario pueda moverse por el esquemático y visualizar bien todos sus componentes y conexiones.

- La rueda del ratón permite acercar o alejar la cámara (zoom in/out)
- Si se mantiene pulsada la rueda del ratón, mover el ratón mueve la cámara a los lados

A modo de ejemplo, se va a diseñar una placa que implementará el circuito que se muestra en la figura 3.6. Este consiste en un oscilador astable, implementado mediante un circuito integrado TL081, el cual ilumina alternativamente dos LEDs con una frecuencia de aproximadamente 0.5 Hz.

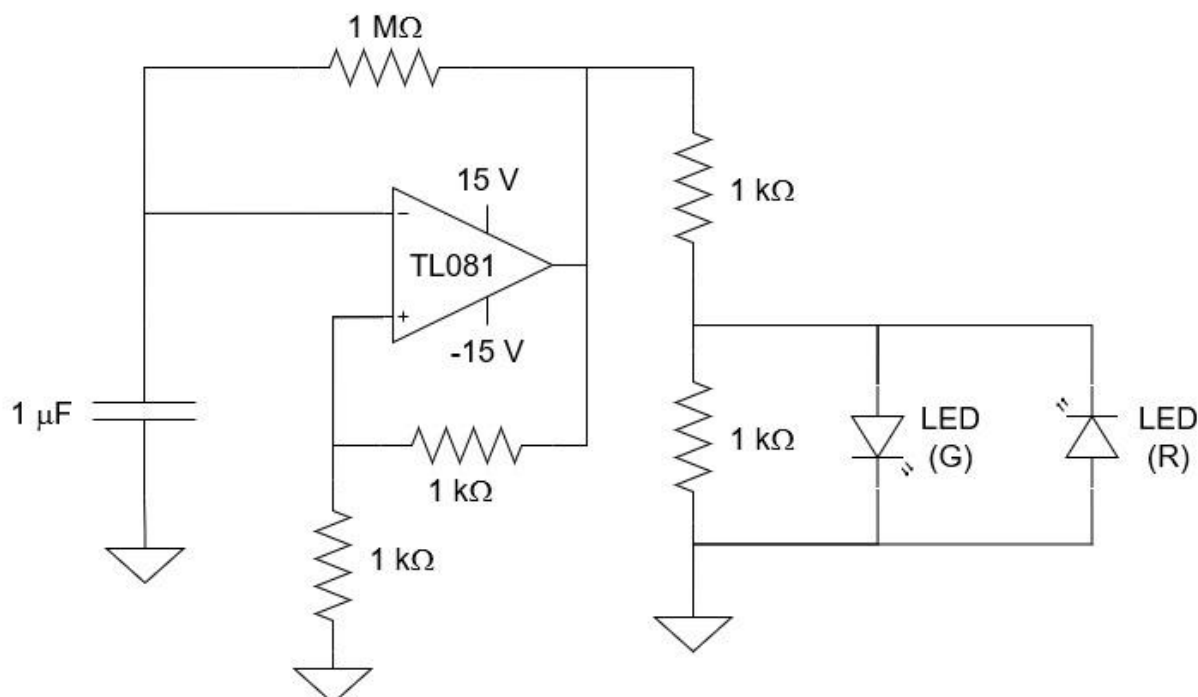


Figura 3.6: Esquema eléctrico de un oscilador astable, el cual ilumina alternativamente dos LEDs con una frecuencia de aproximadamente 0.5 Hz

3.2.1. Colocación de símbolos

Una vez dentro del editor de esquemas, deben de añadirse uno por uno los diferentes componentes y conectarlos de forma acorde al circuito que se quiere implementar.

Para añadir un componente al esquemático, hay tres opciones:

- En la barra superior, acceder a Añadir -> Colocar símbolos
- Pulsar la tecla A del teclado
- Usar el tercer botón de la columna derecha (Colocar símbolos)

En cualquier caso, se abrirá una ventana como la que se muestra en la figura 3.7. La primera vez que se hace esto tras iniciarse el programa, este debe cargar todas las bibliotecas de símbolos y componentes, lo cual puede tardar un tiempo, en particular si se usa un ordenador antiguo, sobre todo si se usa un disco duro HDD en vez de un SSD. Este proceso solo tiene lugar una vez. En cuanto el programa ha cargado todas sus bibliotecas, cada vez que se acceda a la ventana Colocar símbolos, ya no habrá que esperar a que se carguen las bibliotecas.

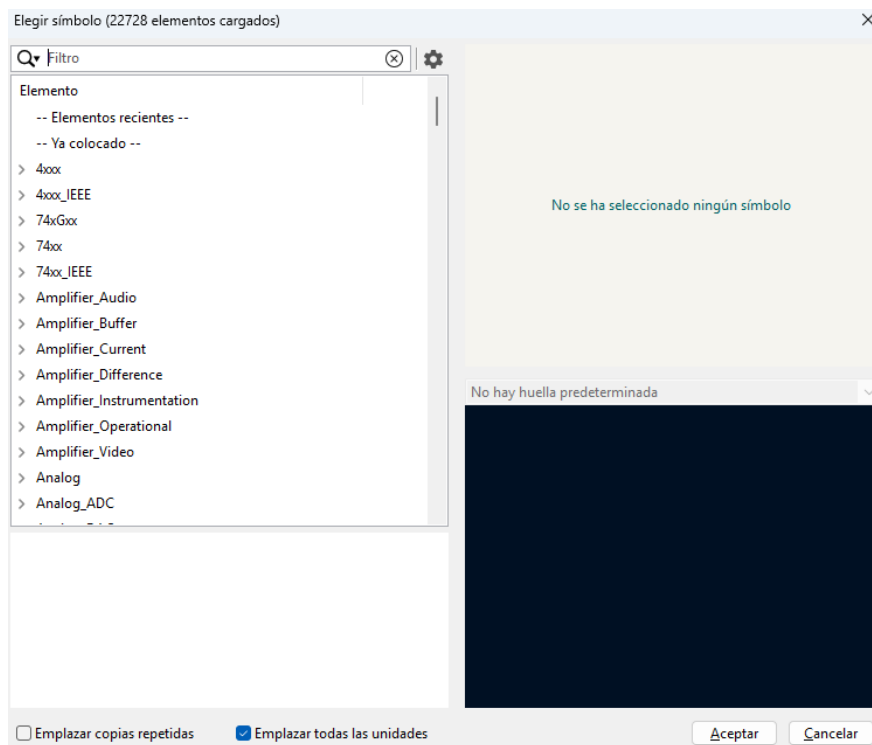


Figura 3.7. Ventana para añadir símbolos en el editor de esquemáticos de KiCad

Dentro de la ventana para añadir símbolos, debe localizarse el componente específico que se quiere implementar en la placa. Para ello, KiCad contiene una serie de bibliotecas genéricas por defecto, las cuales incluyen la inmensa mayoría de componentes de uso común. Es posible implementar la mayoría de componentes utilizando dichas bibliotecas básicas, pero también resultará necesario crear símbolos y huellas personalizadas cuando el componente que se vaya a implementar no figure dentro de dichas bibliotecas. En el capítulo 5 del presente manual se explicará cómo crear e implementar símbolos y huellas personalizadas.

De cara al presente ejemplo, no es necesario crear ninguna huella personalizada, ya que el circuito a implementar es muy sencillo y se puede hacer con componentes básicos.

Asimismo, las bibliotecas por defecto son extensas, y localizar un componente específico, por común que sea, puede no ser fácil. Por ello, en este manual se expondrá el cómo localizar los componentes de uso más común en electrónica.

En primer lugar, las resistencias, inductancias y condensadores son componentes muy básicos, y su símbolo es su letra inicial en mayúscula. Es decir, el componente llamado R es una resistencia genérica, L una inductancia genérica y C un condensador genérico. Todos ellos se encuentran dentro de la biblioteca por defecto denominada “Device”. La figura 3.8 muestra cómo se localiza el condensador genérico en la biblioteca Device. Nótese cómo se utiliza el filtro de la barra superior de la ventana, el cual resulta de mucha utilidad a la hora de localizar componentes.

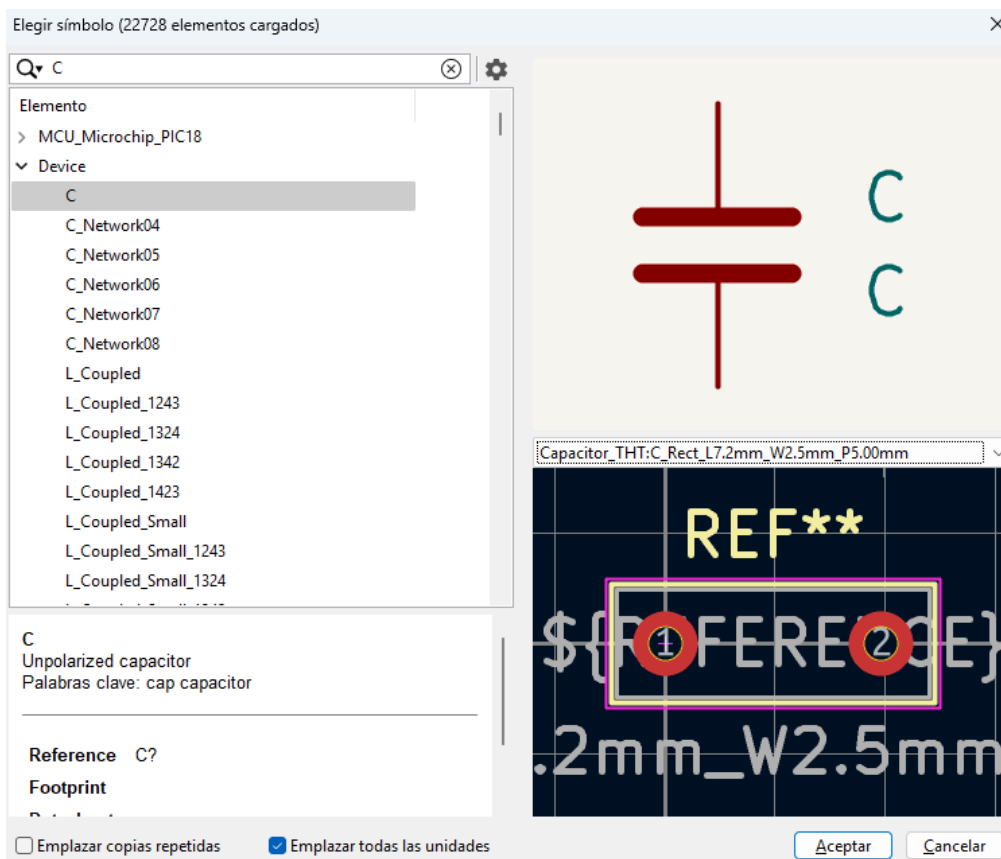


Figura 3.8. Selección de un condensador genérico en la ventana de selección de componentes

Siempre que se selecciona un componente, el programa nos muestra el símbolo de ese componente en la parte superior derecha de la ventana.

Asimismo, si bien ya es posible hacer clic en Aceptar y colocar el símbolo sobre nuestro circuito, en este punto, el programa nos da la opción de elegir la huella del componente. Tal y como se explicó en el capítulo anterior, la huella es un concepto de tremenda importancia, ya que define cómo es el componente físicamente y cómo se conecta en la PCB.

De nuevo, el programa cuenta con una extensa biblioteca de huellas, dentro de las cuales puede ser farragoso localizar cuál es la que mejor se ajusta al componente físico que se quiere implementar. En el presente manual, se trata de ser lo más genéricos posible y de utilizar los componentes y huellas de uso más habitual en el laboratorio de electrónica. En el caso de los condensadores, generalmente se optará por condensadores cerámicos, prismáticos o cilíndricos. Para este ejemplo, se usará un condensador prismático, cuya huella será la siguiente: Capacitor_THT:C_Rect_L7.2mm_W2.5mm_P5.00mm. Para seleccionar dicha huella dentro de la ventana de selección de componente, se usa el desplegable que hay en la parte derecha, entre el símbolo y el recuadro negro de la esquina inferior derecha, en el cual se previsualiza la huella que se ha seleccionado.

Debe destacarse que la lista de huellas que aparece en el desplegable no contiene todas y cada una de las huellas presentes en las bibliotecas, sino que filtra aquellas que considera adecuadas al símbolo que se ha seleccionado.

Si bien es posible introducir un componente sin definir su huella de este modo, generalmente es aconsejable definirla, ya que, de no hacerlo, habría que definir su huella más adelante. Asimismo, si se tienen varios componentes con la misma huella, definirla de este modo permite copiar y pegar el símbolo sin necesidad de redefinir su huella para cada instancia del símbolo.

Una vez completado este proceso de selección de componente y definición de su huella, se hace clic en Aceptar. Al hacerlo, el cursor se convertirá en el símbolo que hemos seleccionado. Simplemente se hace clic en el lugar del esquemático donde se desea colocar el componente, y este quedará emplazado.

También hay que destacar que, una vez se coloca un componente, el cursor se mantiene en el modo Colocar símbolo. Esto implica que, de hacer clic en otro punto del esquemático, se volverá a abrir la ventana de Colocar símbolo, la cual, por defecto, mantiene la configuración del último símbolo que se ha colocado. Para evitarlo, debe pulsarse la tecla Esc, lo cual vuelve a definir el cursor en su modo normal. La figura 3.9 muestra el condensador ya colocado sobre el esquemático.

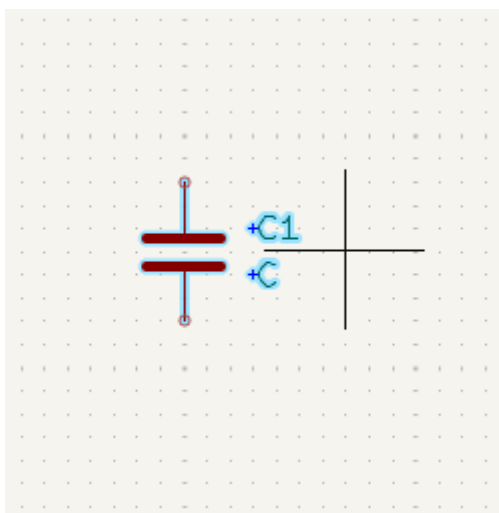


Figura 3.9: Ejemplo de un condensador ya colocado sobre un esquemático en blanco

Siempre que se añade un nuevo componente al esquemático, es buena práctica hacer doble clic sobre este (tras pulsar Esc y salir del modo Colocar símbolo), lo cual permite configurar ciertos parámetros del componente. La figura 3.10 muestra la ventana que se abre tras hacer doble clic sobre un componente colocado sobre el esquemático.

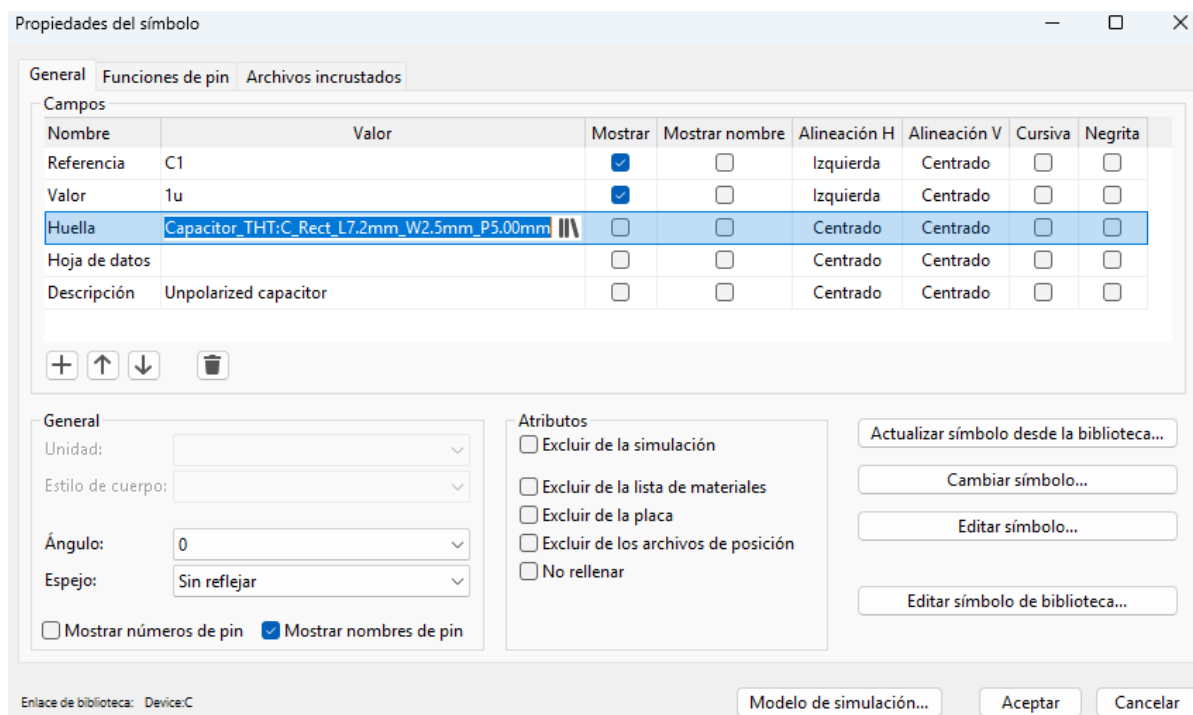


Figura 3.10. Ventana de propiedades de un símbolo colocado sobre un esquemático

Dentro de esta ventana, lo más importante es la tabla que aparece en la mitad superior, en la cual se definen algunos parámetros básicos del componente:

- **Referencia:** Esta es la etiqueta que se le asigna al componente. Es fundamental para identificar dicho componente, en particular cuando se va a fabricar la PCB, ya que identifica inequívocamente de qué componente se trata.
- **Valor:** Este parámetro no tiene ningún efecto inherente en el software, pero es buena idea usarlo para indicar el valor del componente. En este caso, se le asignará al condensador su valor de 1u (1 μ F).
- **Huella:** Este parámetro es fundamental, ya que indica la huella que tendrá el componente cuando se proceda a diseñar la propia PCB. Si se ha definido ya previamente en la ventana Colocar símbolo, aquí aparecerá tal cual se definió anteriormente. Si no se había definido ya, o si se desea modificar, se hace en este espacio. Por comodidad, si bien el programa permite introducir directamente el nombre de la huella (debe existir en las bibliotecas de huellas), lo más práctico es hacer clic en el botón de las tres barras que aparece a la derecha de la celda cuando se selecciona, tal y como se puede apreciar en la figura 3.10. Si se hace, se abrirá una ventana con un selector de huellas. Al contrario que en la ventana Colocar símbolos, esta ventana sí muestra todas las huellas instaladas en las bibliotecas. Si se desea filtrar las huellas a aquellas que el programa considera adecuadas, sea por el componente o por su número de pads, se deben marcar las opciones Aplicar filtros de huellas y/o Filtrar por número de pines, debajo de la barra del filtro. La figura 3.11 muestra un ejemplo de la ventana del selector de huellas.

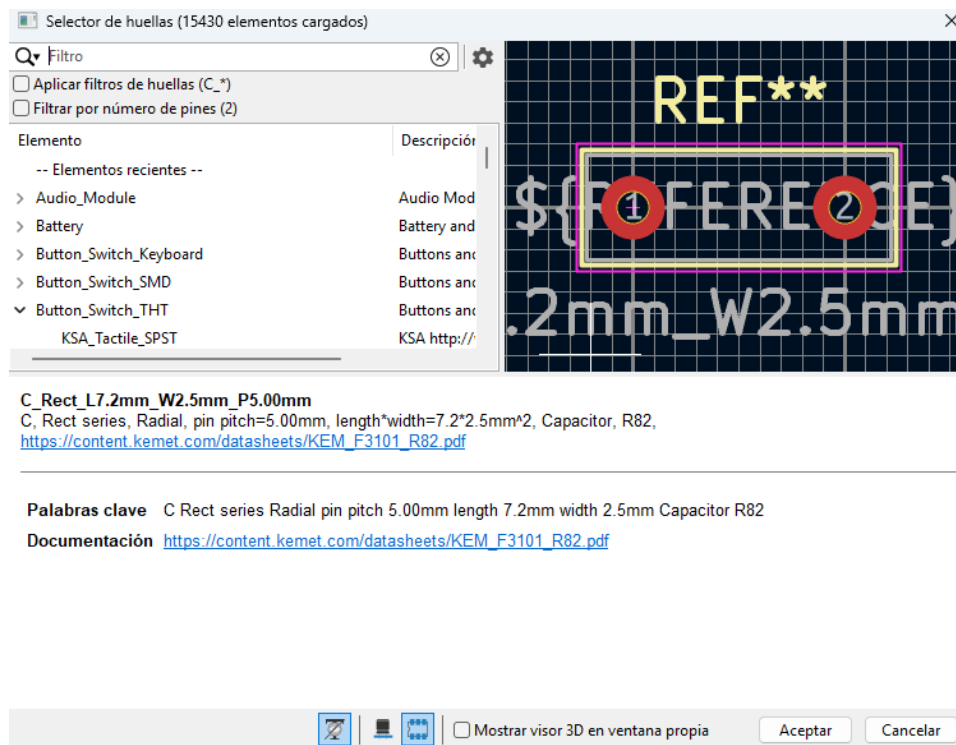


Figura 3.11. Aspecto del Selector de huellas, que es una ventana que se abre cuando se intenta modificar la huella asignada a un componente (véase la figura 3.10)

- **Hoja de datos:** Este espacio permite añadir un hipervínculo a un documento PDF que contenga la hoja de características o datasheet del componente. Algunos de los componentes por defecto ya contienen dichos enlaces, pero siempre pueden añadirse manualmente o modificarse. Esto es particularmente importante con circuitos integrados o encapsulados, ya que sus funcionalidades pueden ser muy diversas pero sus huellas ser idénticas.
- **Descripción:** Espacio donde el usuario puede añadir cualquier anotación sobre el componente. No tiene ningún efecto sobre el programa.

Una vez rellenados los campos necesarios, se pulsa el botón Aceptar para regresar a la ventana del esquemático.

En caso de que el usuario quiera mover un componente a otra posición, primero debe hacer clic sobre el componente de un modo que todo este quede seleccionado. Nótese que es posible mover solamente las etiquetas del componente si se hace clic directamente sobre estas, o incluso mover una conexión. Para mover todo el componente, hay que asegurarse de que todo el componente queda seleccionado, lo cual se refleja mediante un halo de color azul (figura 3.9). Una vez el componente esté bien seleccionado, si el usuario hace clic sobre este, lo mantiene y mueve el ratón, moverá el componente. Al soltar el botón, el componente quedará ubicado en la posición en la que se dejó.

Si se desea rotar un componente, se puede hacer pulsando la tecla R del teclado. Esto puede hacerse tanto cuando se tiene el componente seleccionado como antes de colocarlo, tras definirlo en la ventana Colocar símbolo.

También puede resultar interesante voltear el componente en vertical o en horizontal. Esto se hace con las teclas Y (volteo vertical en torno al eje Y) o X (volteo horizontal en torno al eje X). Si bien esto es irrelevante para los componentes más básicos, puede ser importante en componentes más grandes, de cara a mantener el esquemático lo más ordenado posible.

Una vez explicados los fundamentos de la colocación de símbolos, se procede a colocar todos los necesarios para definir el circuito de la figura 3.6. Los componentes a añadir, así como sus huellas, son los siguientes:

- **Resistencias:** Símbolo **R** (*biblioteca Device*), huella: Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal
- **Condensador:** Símbolo **C** (*biblioteca Device*), huella: Capacitor_THT:C_Rect_L7.0mm_W2.5mm_P5.00mm
- **TL081:** Símbolo **TL081** (*biblioteca Amplifier_Operational*), huella: Package_DIP:DIP-8_W7.62mm_Socket
- **LEDs:** Símbolo **LED** (*biblioteca Device*), huella: LED_THT:LED_D3.0mm
- **Pines para conectar la fuente de +/-15 V:** Símbolo **Conn_01x03_Pin** (*biblioteca Connector*), huella: Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x03_P2.54mm_Vertical
- **Masa (GND):** Símbolo **GND** (*biblioteca power*) -los símbolos de masa no necesitan huella, y pueden añadirse tantos como se necesiten; asimismo, se puede usar una ventana denominada Colocar símbolos de alimentación, debajo del botón de Colocar símbolos o con la tecla P, que filtra los componentes a mostrar y deja solo los que sirven para alimentar el circuito-

En este punto, es importante hacer una puntualización sobre la huella del TL081. Dentro de las posibles huellas para dicho componente, hay dos posibles opciones: usar la huella DIP-8_W7.62 o la huella DIP-8_W7.62_Socket. La diferencia es que la segunda huella contiene la terminación _Socket. En términos físicos, la diferencia es la siguiente: si se usa la terminación _Socket, lo que se suelda a la PCB es un zócalo, sobre el cual se inserta el circuito integrado. En cambio, si se usa la huella sin la terminación _Socket, lo que se suelda sobre la PCB es el propio circuito integrado. Por regla general, sobre todo a nivel académico y de laboratorio, es aconsejable usar un socket o zócalo, ya que esto permite reemplazar el circuito integrado en caso de que se averíe o falle. Más aún dado lo frágiles que suelen ser los amplificadores operacionales, tener la posibilidad de reemplazarlo es mucho más práctico que soldarlo sobre la PCB, lo cual implicaría tener que desoldarlo en caso de que falle. La figura 3.12 muestra la diferencia entre la huella que suelda el propio integrado (sin la terminación _Socket) y la que suelda un zócalo sobre el cual se insertará el integrado.

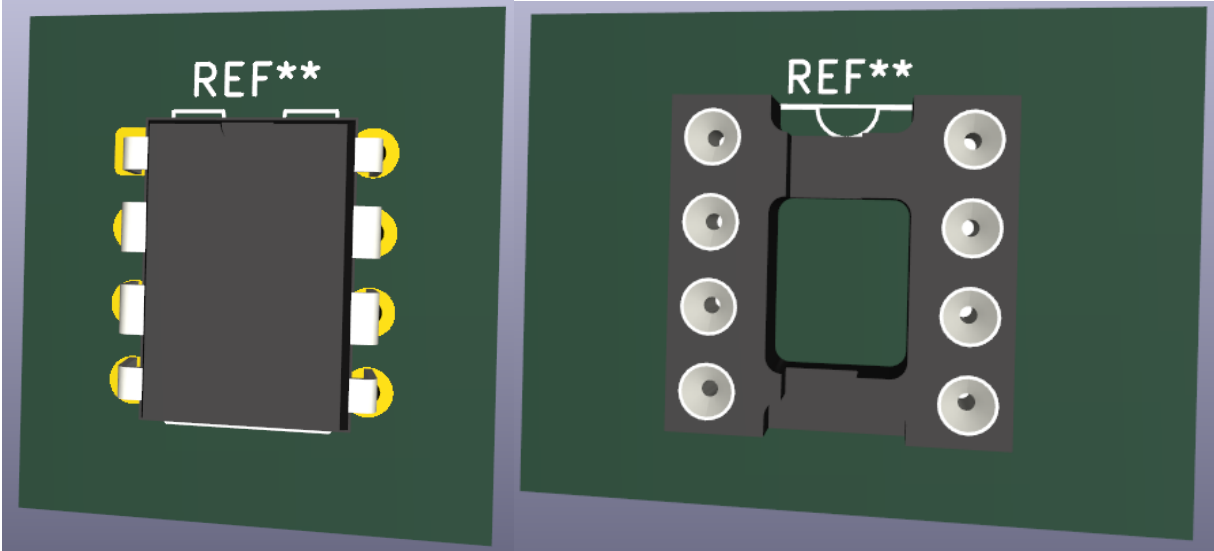


Figura 3.12: Diferencia entre una huella donde se suelda el integrado (izquierda) y una huella que contiene un socket o zócalo donde se inserta el integrado (derecha)

La figura 3.13 muestra el aspecto que tendría el esquemático tras añadir todos y cada uno de los componentes del circuito:

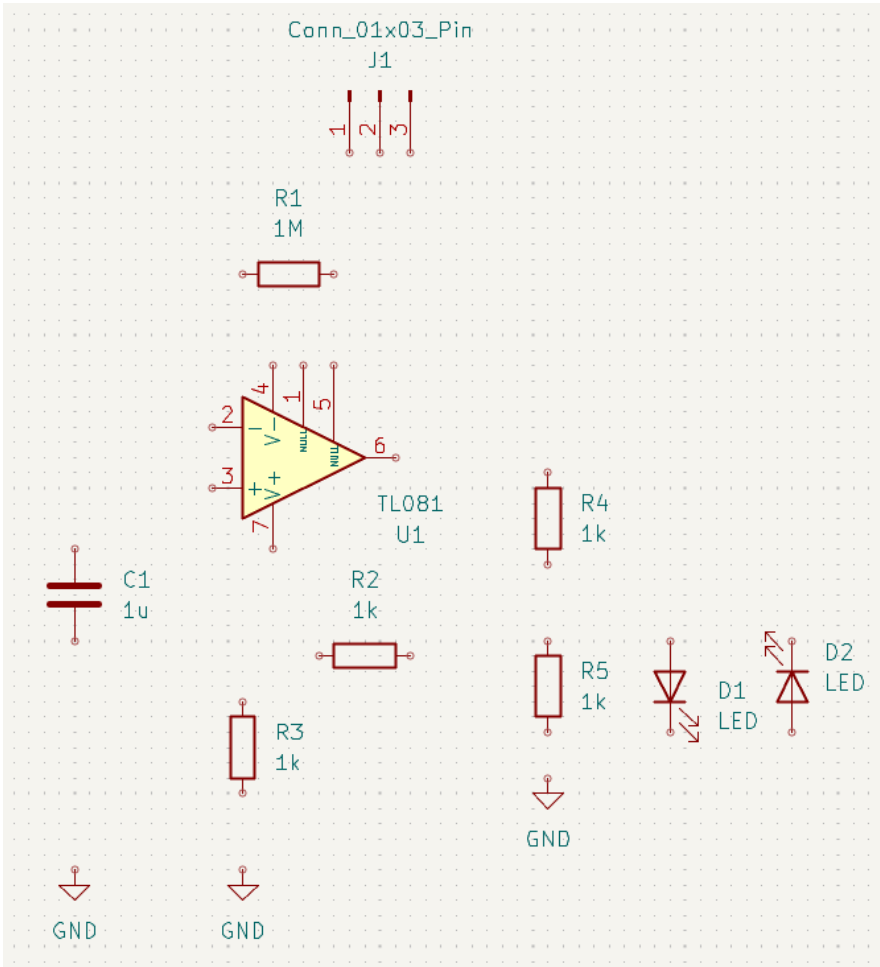


Figura 3.13: Esquemático del circuito tras añadir todos los componentes, pero antes de conectarlos

3.2.2. Conexiones entre los componentes

Para conectar los componentes en el esquemático hay tres opciones:

- Pulsar el botón Dibujar cables en la columna derecha (debajo del botón de Colocar símbolos de alimentación)
- Pulsar la tecla W del teclado
- Si se tiene el cursor en su modo normal y se hace clic justo en un terminal aún no conectado (definido por un circulito), se entra directamente al modo Dibujar cables

Se recuerda que aquí tan solo se están definiendo las conexiones entre los componentes, y que estas no reflejan necesariamente el cómo se conectarán los componentes en la PCB. Esto también implica que es posible cruzar cables entre sí, mientras que en la propia PCB las pistas no se pueden cruzar dentro de una misma capa.

En este punto es importante destacar cómo proceder con los pines de conexión para las fuentes de alimentación. Tal y como se explicó en el capítulo anterior, en este manual, siempre que se deba implementar una fuente de tensión en un circuito, lo que se hará es colocar una serie de pines para que el usuario de la placa conecte externamente una fuente. Por ello, es fundamental tener claro qué función tendrá cada uno de los pines de alimentación, y comunicarlo adecuadamente al usuario de la placa. En este caso, dado que se tiene un amplificador operacional alimentado a ± 15 V, hemos de colocar tres pines de alimentación, que el usuario conectará a +15 V, GND y -15 V. Debe tenerse muy claro qué tensiones se alimentarán a cada uno de los pines. En este caso, se definirá del siguiente modo:

- Pin 1: +15 V
- Pin 2: GND
- Pin 3: -15 V

La figura 3.14 muestra cómo queda el esquemático tras trazarse todas las conexiones. Nótese que se ha añadido un símbolo de masa adicional junto al pin 2, para evitar tener que trazar un nuevo cable hacia una de las masas ya colocadas. Se recuerda que pueden usarse tantos símbolos de masa como sea conveniente, y que el programa entenderá que todos los puntos conectados a masa deben estar conectados en la placa.

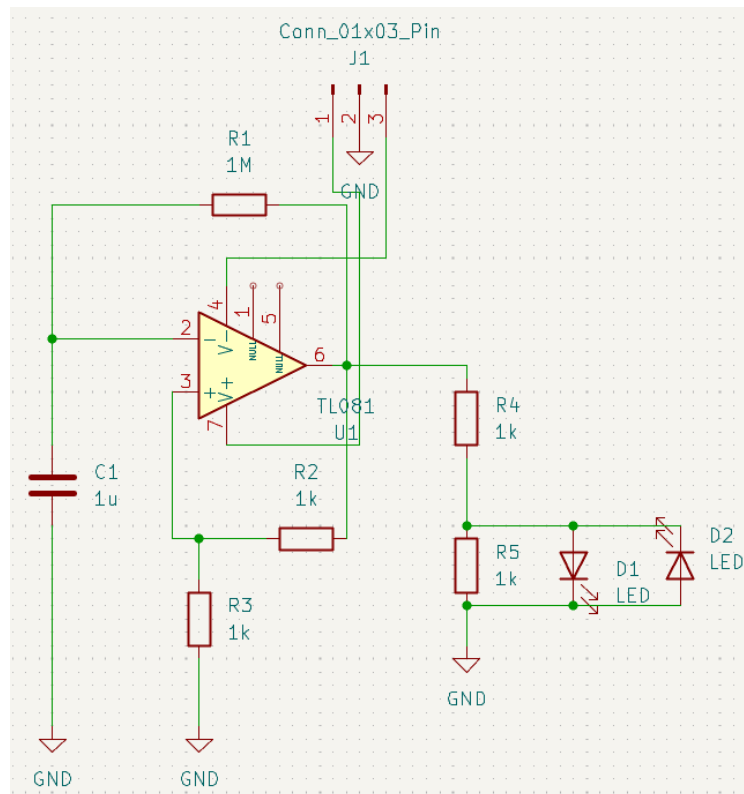


Figura 3.14. Esquemático de la figura 3.13 con las conexiones ya trazadas

Sin embargo, a pesar de que ya se han definido todas las conexiones, nótese que el amplificador operacional tiene dos terminales que no se han conectado, el 1 y el 5. Se trata de los terminales de offset, que en este caso no se utilizan, por lo que no se conectarán a ninguna parte, irán “al aire”. Cuando ocurre esto, es decir, cuando se tienen componentes con terminales que no se quieren conectar a nada, hay que indicárselo al programa. Para ello, se usa la opción Colocar indicadores sin conexión. Se puede acceder a esta de tres modos:

- Mediante el botón en la columna derecha (octavo botón empezando por arriba)
- Pulsar la tecla Q del teclado
- En la barra superior, accediendo a Añadir -> Colocar indicadores sin conexión

Esto hará que el cursor se transforme en un aspa (X). Después, habrá que hacer clic sobre cada terminal que no se vaya a conectar. Al hacerlo, se dibujará un aspa sobre el terminal, definiéndolo como no conectado. La figura 3.15 muestra el aspecto que tiene el símbolo del amplificador operacional tras definir los terminales 1 y 5 como no conectados.

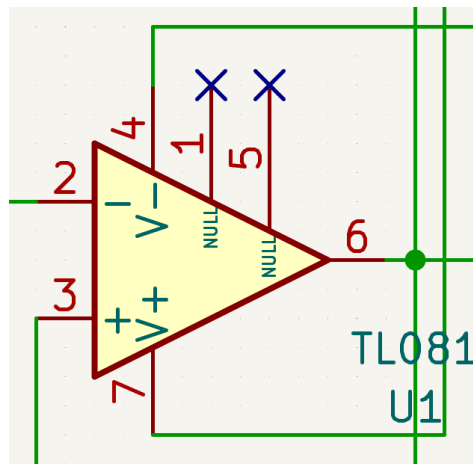


Figura 3.15. Amplificador operacional con los terminales 1 y 5 definidos como no conectados

Finalmente, hay que indicarle al programa cuáles de los nodos que se han definido contendrán alimentación. Esto se hace añadiendo un componente denominado PWR_FLAG, bien desde la ventana Colocar símbolos o, más fácilmente, desde la ventana Colocar símbolos de potencia (tecla P). El componente PWR_FLAG es un solo terminal, que debe conectarse en cualquier punto de cada nodo donde haya alimentación, incluida la masa. En este caso, debe conectarse un PWR_FLAG a cada nodo que sale de la tira de 3 pines, ya que ahí están los tres nodos que contienen alimentación. La figura 3.16 muestra cómo se han colocado los 3 flags.

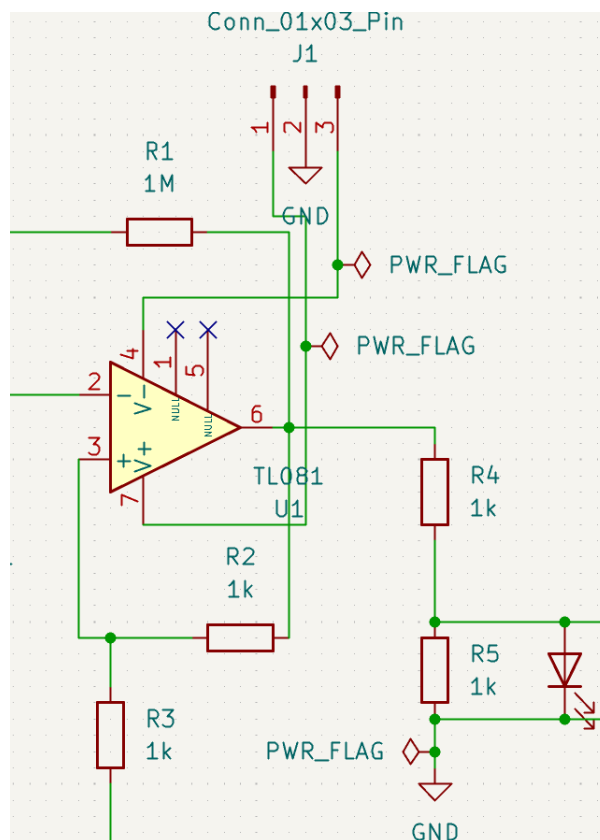


Figura 3.16: Colocación de PWR_FLAGS sobre cada nodo que contiene alimentación. En este caso, se han conectado a los pines 1 y 3 (+15 V y -15 V), así como a una de las masas (abajo)

3.2.3. Control de las reglas eléctricas (ERC)

Una vez consideramos que ya hemos terminado de definir el esquemático, es buena práctica utilizar la herramienta de control de las reglas eléctricas (Electric Rules Check -ERC-). Dicha herramienta realiza una revisión del circuito, buscando posibles errores o malas praxis que se hayan cometido. Para acceder a la herramienta, se puede hacer mediante el botón correspondiente en la barra superior, en Inspeccionar -> Control de las reglas eléctricas. En dicha ventana, debe pulsarse el botón Ejecutar ERC para que el programa evalúe nuestro esquemático. En caso de haber errores o advertencias, se mostrarán en la ventana central. La figura 3.17 muestra el aspecto de dicha ventana.

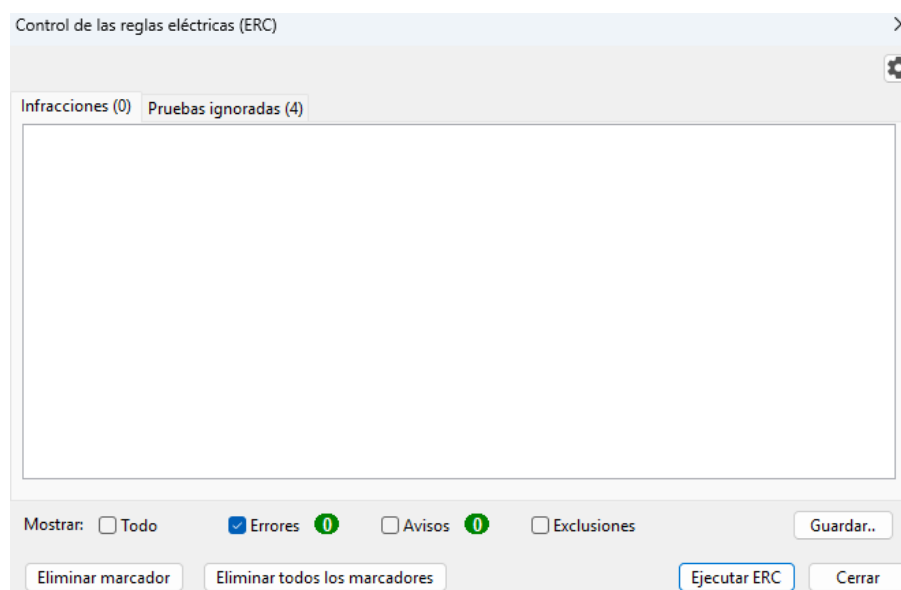


Figura 3.17. Ventana de control de las reglas eléctricas (ERC), mostrando que el esquemático no posee ningún error ni advertencia

Si no se ha cometido ningún error ni mala praxis, la ventana del ERC debe mostrar el aspecto de la figura 3.17 tras pulsar el botón Ejecutar ERC. En caso contrario, se indicarán los errores cometidos. Dado que pueden darse errores de todo tipo, sería muy difícil listarlos todos y explicar cómo resolver cada uno. No obstante, los errores suelen expresarse de un modo claro. Algunos errores típicos pueden ser olvidarse de colocar los PWR_FLAG o dejarse algún terminal sin conectar, no habiéndolo definido como no conectado. Asimismo, el propio programa siempre indica el componente o nodo donde hay un error de forma explícita, y hacer doble clic sobre el error hace que el programa muestre el componente donde se encuentra el problema.

En este punto, si el usuario está seguro de que ha trazado su esquemático de forma correcta y el ERC no indica ningún error ni advertencia, el esquemático está listo.

Ejercicio: Crear un proyecto en KiCad y definir el esquemático del circuito mostrado en la figura 3.18. Los amplificadores operacionales se implementarán mediante un único circuito integrado TL082. Las huellas a utilizar serán las mismas que se utilizaron en el ejemplo expuesto en el presente capítulo. En este caso, se utilizará una tira de siete pines. Dos se usarán para recibir la señal V_{IN} (con su masa), tres para alimentar al TL082 a ± 15 V y los últimos dos deberán emitir las señales V_1 y V_2 . El esquemático no solo debe implementar correctamente el circuito, sino que no puede dar errores ni advertencias al ejecutar la herramienta ERC.

ADVERTENCIA: El TL082 es un componente que consta de varios símbolos. A la hora de introducirlo en el esquemático, tras definirlo en la ventana Colocar símbolos junto con su huella, no deberá colocarse un único símbolo, sino tres. Cuando se coloque el primero, es fundamental **NO PULSAR LA TECLA ESC**, sino colocar el siguiente símbolo, ya que el programa seguirá en modo Colocar símbolo hasta que se hayan colocado **TODOS** los símbolos que representan ese componente. Dichos tres símbolos representan el integrado TL082 de ocho pines y comparten la misma ventana de propiedades (identificador, valor, huella, datasheet, descripción). Sin embargo, sobre el esquemático, su identificador contendrá una letra, que definirá qué parte del componente es. La figura 3.18 muestra el aspecto que deben tener los tres símbolos tras colocarse. Nótese cómo se denotan por los identificadores U1A, U1B y U1C. U1C contiene los pines para alimentar a ± 15 V.

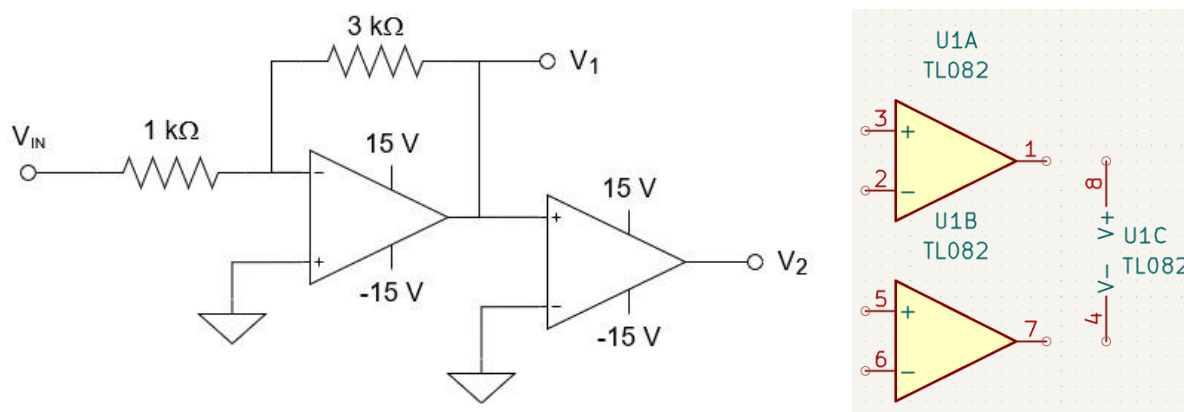


Figura 3.18: Circuito a implementar en el ejercicio (izquierda), así como cargado correcto de los símbolos del TL082 (derecha)

4. Fundamentos de KiCad II – La PCB

Una vez se ha definido correctamente el esquema eléctrico del circuito que se va a implementar, es el momento de diseñar la PCB propiamente dicha. Para ello, se debe acceder al editor de placas en KiCad. Esto puede hacerse desde la ventana principal de KiCad, abriendo el fichero con la extensión .KiCad_pcb, o bien desde el editor de esquemas, mediante el último botón de la barra superior (Cambiar al editor de placas). La figura 4.1 muestra el aspecto del editor de placas tras abrirse por primera vez.

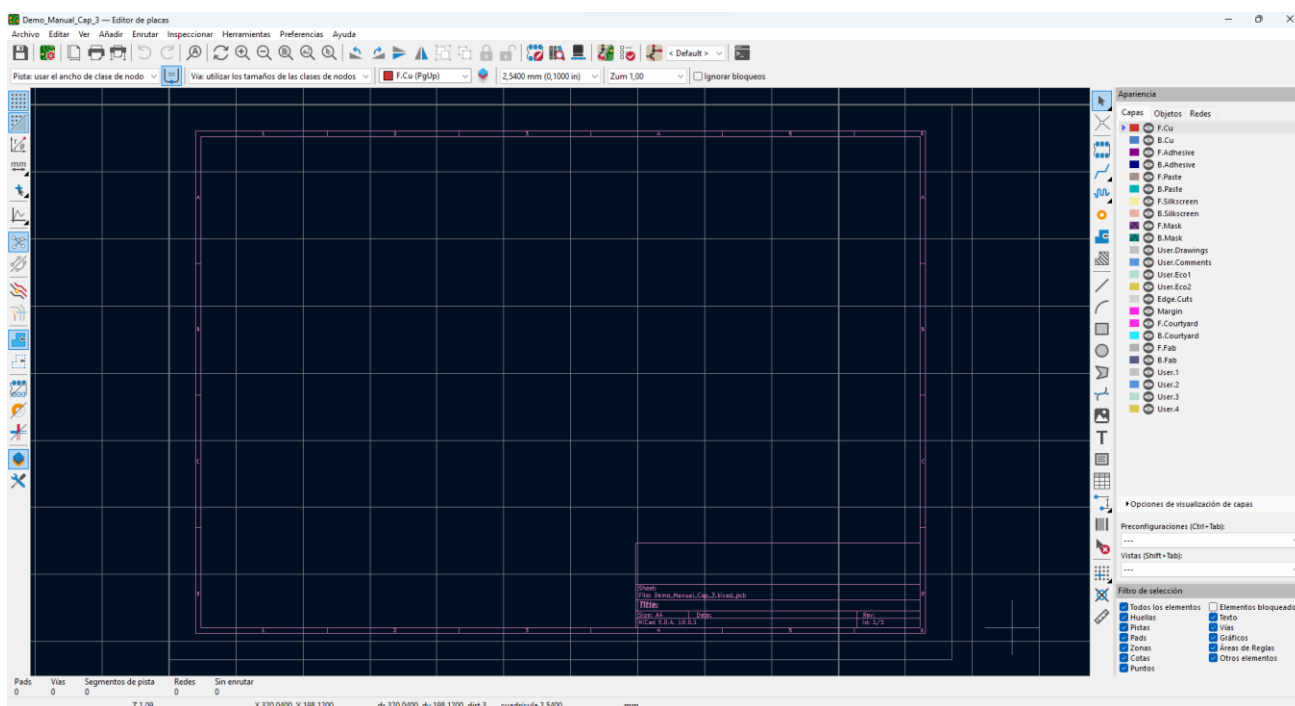


Figura 4.1: Editor de placas en KiCad, mostrando un proyecto vacío

Antes de cargar las huellas de nuestro circuito, es fundamental fijar el tamaño de cuadrícula, que se usará para posicionar las huellas y pistas, tal y como se explicó en el capítulo 2. Esto se hace desplegando la pestaña de tamaño de cuadrícula y eligiendo el valor más adecuado. La figura 4.2 muestra ficha pestaña desplegada, donde se elige el estándar de 2.54 mm.



Figura 4.2: Definición del tamaño de cuadrícula dentro del editor de placas. Esto define el tamaño de la cuadrícula sobre la que se colocarán las huellas y pistas

El siguiente paso es cargar las huellas y conexiones desde el esquemático. Para ello, hay tres opciones:

- Pulsar la tecla F8
- Acceder a Herramientas -> Actualizar placa desde esquema
- La barra superior contiene un botón (cuarto desde la derecha) que ejecuta esta función

Al hacerlo, se abrirá la ventana que se muestra en la figura 4.3. En ella, debe pulsarse el botón "Actualizar placa". Esto realizará una serie de comprobaciones tanto en las huellas de los componentes como en sus conexiones, verificando que estén bien definidas antes de cargarlos sobre la propia placa. Si todo está bien definido, debería arrojar cero errores y advertencias, tras lo cual se debe cerrar la ventana.

Los errores típicos en este punto suelen deberse a que las huellas no se han asignado correctamente en el esquemático, así como posibles contradicciones entre las huellas asignadas y los componentes físicos. De un modo o de otro, en caso de darse este tipo de errores, debe volverse a la ventana del esquemático y asegurarse de que las huellas están asignadas correctamente.

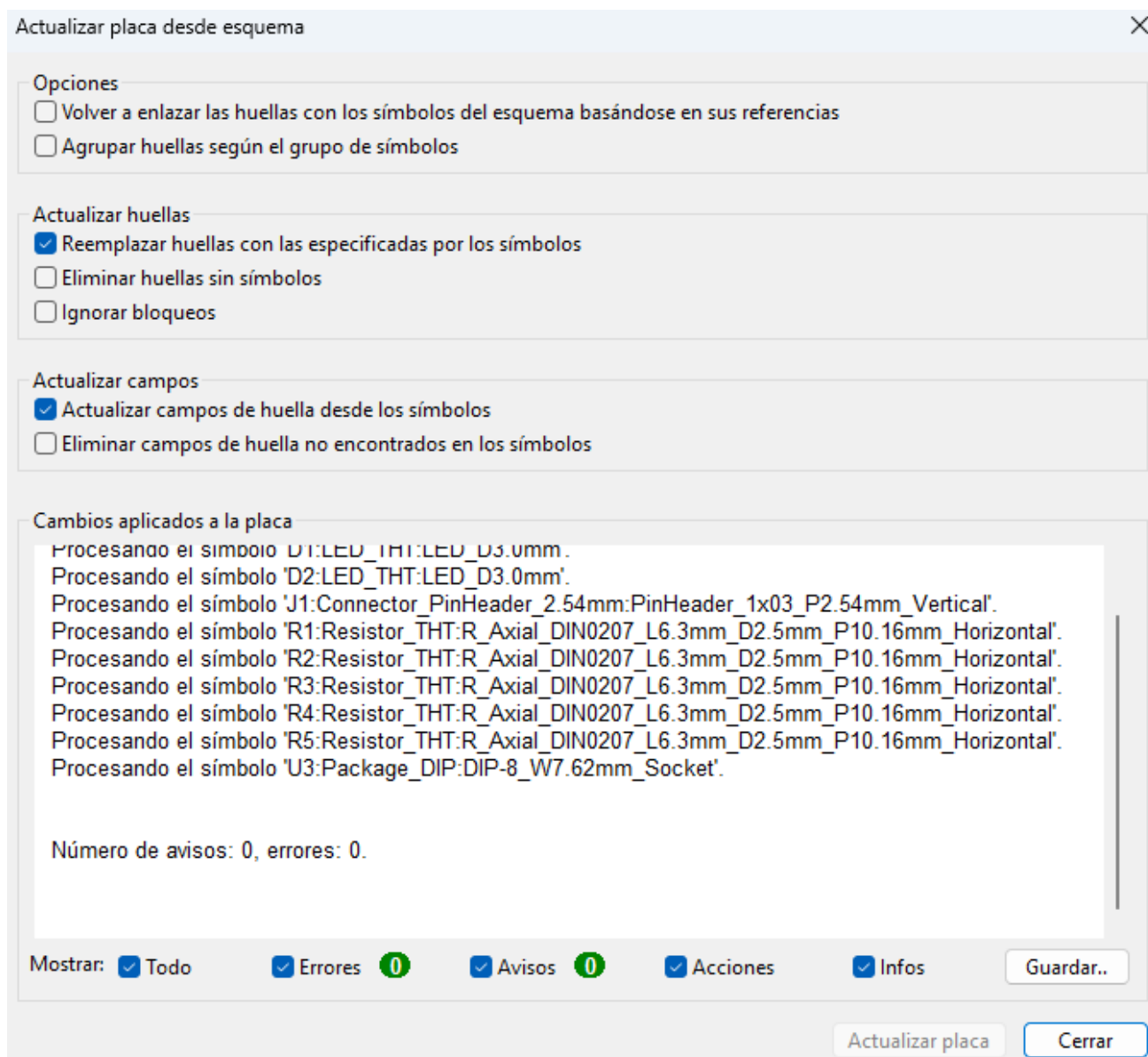


Figura 4.3: Ventana Actualizar placa desde esquema, mostrando cero errores y advertencias

Inmediatamente tras pulsar el botón Cerrar, el cursor se convierte en un conjunto de huellas, que son las mismas que se definieron en el esquemático. Simplemente se debe hacer clic en cualquier lugar de la hoja para colocar las huellas de nuestra placa. La figura 4.4 muestra el aspecto que tiene el cursor tras cerrar la ventana de la figura 4.3.

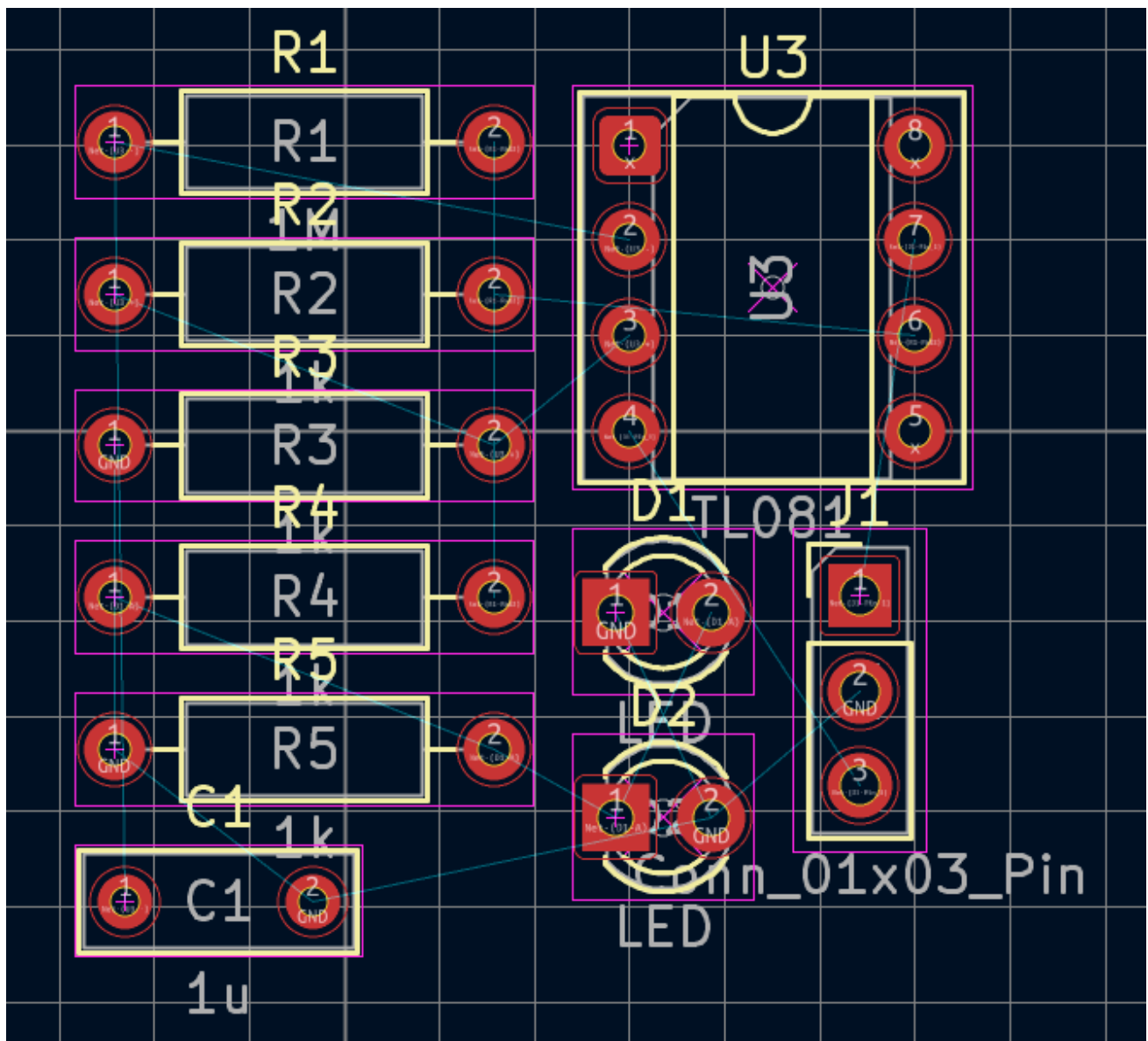


Figura 4.4: Aspecto del cursor tras cerrar la ventana Actualizar placa desde esquema. Al hacer clic, todas las huellas mostradas quedan colocadas, tras lo cual pueden moverse y conectarse

Una vez colocadas las huellas, el siguiente paso es moverlas y colocarlas en la distribución espacial que consideremos más adecuada. Las pautas generales son las mismas que ya se explicaron en el capítulo 2, debiendo recordar que la placa debe ser lo más funcional posible. Debe pensarse en aspectos como el uso real que se dará a la placa y cómo de cómodo será utilizarla. Por ejemplo, la tira de pines de alimentación es mejor que esté al borde de la placa y no en el centro, ni tampoco debería estar rodeada de componentes voluminosos, ya que dificultará al usuario conectar los cables de alimentación. Para mover una huella, primero debe hacerse clic sobre ella para seleccionarla, tras lo cual se debe hacer clic sobre ella, sostener el botón y mover el ratón.

En este punto, hay que destacar la importancia de los textos. Al colocar las huellas, junto con ellas han aparecido una serie de textos. En particular, cada componente, por defecto, viene acompañado de dos textos.

- **El texto en color amarillo es serigrafía.** Dicho texto se imprime físicamente sobre la placa cuando es producida, pero no tiene ningún tipo de función eléctrica en el circuito. Generalmente es buena idea colocarlos de modo claro e intuitivo, debiendo evitar colocarlos cerca de puntos de soldadura, como son los propios pads. No obstante, no pasa nada si se ubica encima de pistas, dado que estas no van soldadas, y el problema es que soldar cerca de una serigrafía hace que esta se funda.
- **El texto en color gris son comentarios** que el diseñador puede ubicar en su placa de cara a su fabricación. Dichos textos no se imprimen físicamente salvo que se diga lo contrario al fabricante. Se encuentran en la capa F.Fab, y se suelen utilizar para dar instrucciones específicas al fabricante de la PCB.

Cuando se desea mover una huella, debe cuidarse no seleccionar uno de sus textos asociados. Por defecto, cuando se selecciona un texto, esto permite mover dicho texto tras hacer clic y arrastrar, pero se movería solamente el texto, no la huella en su conjunto. En cualquier otro caso, es decir, al hacer clic sobre el pad de una huella o sobre algo que no sea uno de sus textos, queda seleccionada toda la huella, y al hacer clic y arrastrar se mueve tanto la huella como todos sus textos asociados.

También es importante fijarse en las finas líneas azules que aparecen en la placa. Nótese que dichas líneas siempre están uniendo dos pads. Esto es porque dichas líneas representan las conexiones eléctricas que deben existir en la placa, en base al esquemático del circuito. Dichas líneas se denominan *ratnests* o *airwires*. A la hora de distribuir las huellas, es importante fijarse en qué pads deberán conectarse, ya que después deberán trazarse pistas que implementen dichas conexiones. Por regla general, la distribución espacial de las huellas debe optimizarse para minimizar el número de pistas requeridas, así como su longitud. Esto es una competencia que el diseñador adquiere poco a poco, en base a diseñar múltiples placas diferentes.

La figura 4.5 muestra un ejemplo de una posible distribución espacial de las huellas de la placa que se está diseñando a modo de ejemplo.

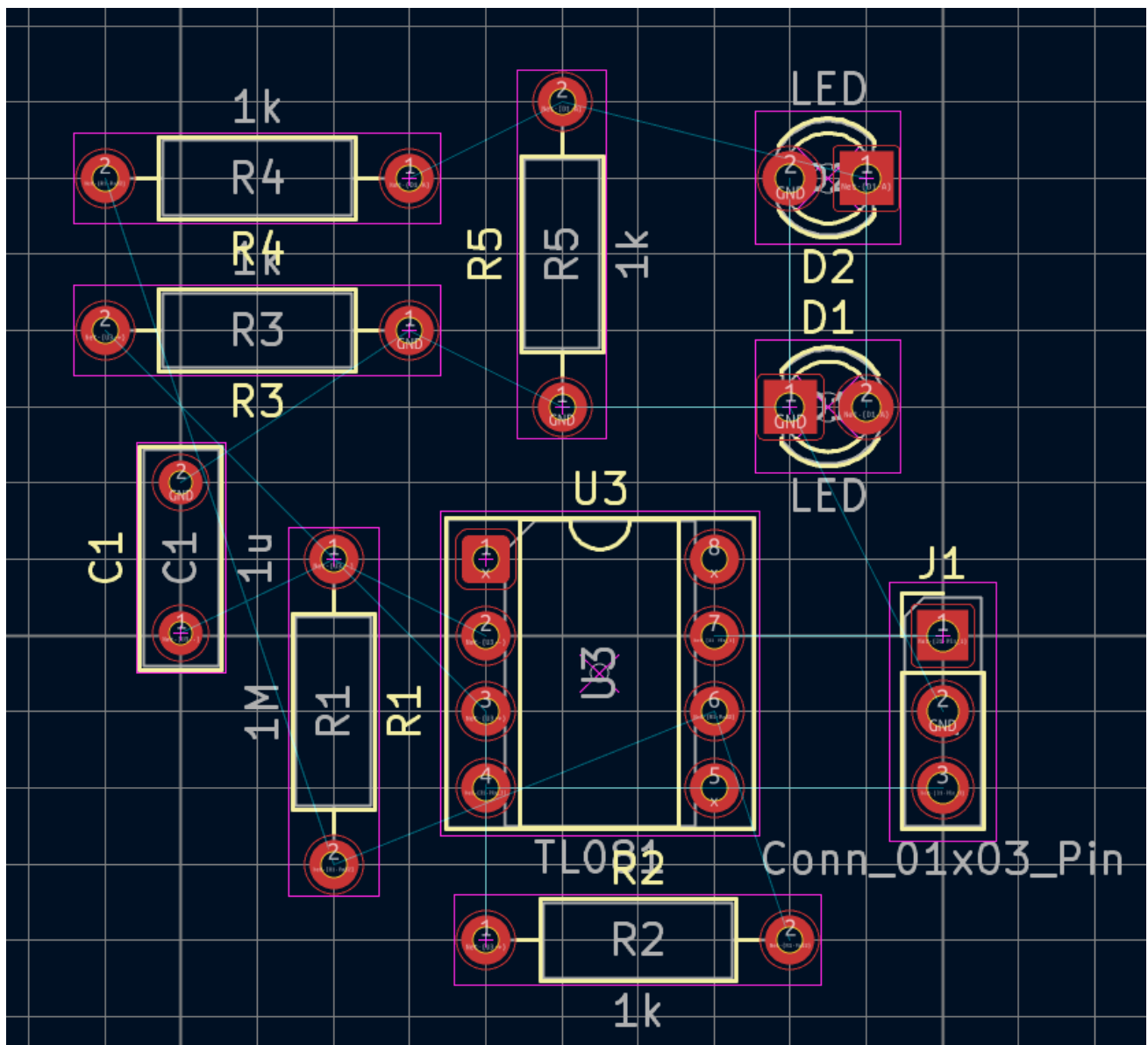


Figura 4.5: Posible distribución espacial de las huellas de los componentes de la placa que se está diseñando a modo de ejemplo

Una vez se han colocado las huellas, se debe proceder a trazar las pistas. Para ello, antes de trazar la primera pista, deben definirse los diferentes anchos de pista que se van a utilizar. Por regla general, el ancho de pista debe ser mayor cuanto más corriente vaya a fluir a través de dicha pista. Una regla general es un ancho de 0.8 mm, el cual es suficiente para la mayoría de placas de uso común, pero es buena práctica ratificar que nuestro ancho de pista sea suficiente para las especificaciones concretas de nuestra placa. Es posible utilizar herramientas web para realizar dicho cálculo, como por ejemplo la que ofrece la web PCBWay: https://www.pcbway.com/pcb_prototype/trace-width-calculator.html [5]. Se debe especificar el valor de corriente para el que se dimensiona la pista, siendo conveniente indicar un valor superior al de la máxima corriente esperada, por motivos de seguridad. También debe indicarse la temperatura a la que se espera que trabaje la placa como temperatura ambiente, así como el grosor de la placa, la longitud aproximada de la pista y el

calentamiento máximo que se quiere permitir en la pista bajo corriente máxima. En caso de duda, se debe usar una temperatura ambiente de 25°C, un grosor de 1 oz/ft² y un escalón de temperatura (Temperature Rise) de 10°C. La figura 4.6 muestra una imagen de dicha página, calculando el ancho de una pista de 100 mm de largo y dimensionada para una corriente de 1 A. El ancho de pista calculado se muestra en la parte inferior. Nótese que se dan dos valores de ancho de pista. Uno se da para pistas que vayan sobre capas externas y otro sobre capas internas. Por ahora, dado que solo se está trabajando con placas de una capa, se utilizará el valor de pista externa, es decir, el derecho en la figura 4.6, pero cuando se trabaje con placas de más de dos capas, las pistas en capas internas deben ser más anchas, dado que el calentamiento por efecto joule es obviamente mayor en capas internas.

www.pcbway.com/pcb_prototype/trace-width-calculator.html

PCB Trace Width Calculator

By formulas from IPC-2221, PCB Trace Width Calculator can estimate the width of copper PCB boards and the trace required under the given current, and at the same time keep the rise in trace temperature not to exceed the limit. Note: The trace on the inner layer need to be much wider than the trace on the outer surface of the board. The results are estimates, actual results may vary depending on application conditions.

Current (I)

1 A

Thickness (t)

1 oz/ft²

Temperature Rise (TRise)

10 °C

Ambient Temperature

25 °C

Trace Length

10 mm

Minimum Trace Width

0.7814374629 mm

*Internal Layers:

Required Trace Width (W)

0.7814374629 mm

Minimum Trace Width

0.3003865208 mm

*External Layers in Air:

Required Trace Width (W)

0.3003865208 mm

FORMULA

First, calculate the Area:

$$A = \left(\frac{I}{K \times T_{Rise}^b} \right)^{\frac{1}{c}}$$

Then, calculate the Width:

$$W = \frac{A}{t \times 1.378}$$

For IPC-2221 internal layers:
k = 0.024, b = 0.44, c = 0.725

For IPC-2221 external layers:
k = 0.048, b = 0.44, c = 0.725

where k, b, and c are constants resulting from curve fitting to the IPC-2221 curves.

Figura 4.6: Cálculo del ancho de pista óptimo a través de la página PCBWay [5]

También debe tenerse en cuenta que no hay por qué usar el mismo ancho en todas las pistas de una misma placa. Solo es necesario asegurarse de que las pistas por las que pasará una corriente alta tengan el ancho necesario para que la placa funcione correctamente.

Una vez conocidos los anchos de pista que serán necesarios, estos deben introducirse en KiCad en la ventana Configuración de placa. Dicho menú es accesible desde el segundo botón de la barra superior (a la derecha del disquete para guardar la placa) o bien desde la pestaña Archivo -> Configuración de placa. Dentro de dicha ventana, en la barra izquierda,

se debe acceder al menú Reglas de diseño -> Tamaños predefinidos, el cual se muestra en la figura 4.7. En la sección de Pistas, para añadir un tamaño nuevo, se debe pulsar el botón con el símbolo + en la parte inferior. Esto añadirá un tamaño nuevo, que debe definirse haciendo clic sobre este. Para esta placa de ejemplo, se definirá un único ancho de pista de 0,8 mm.

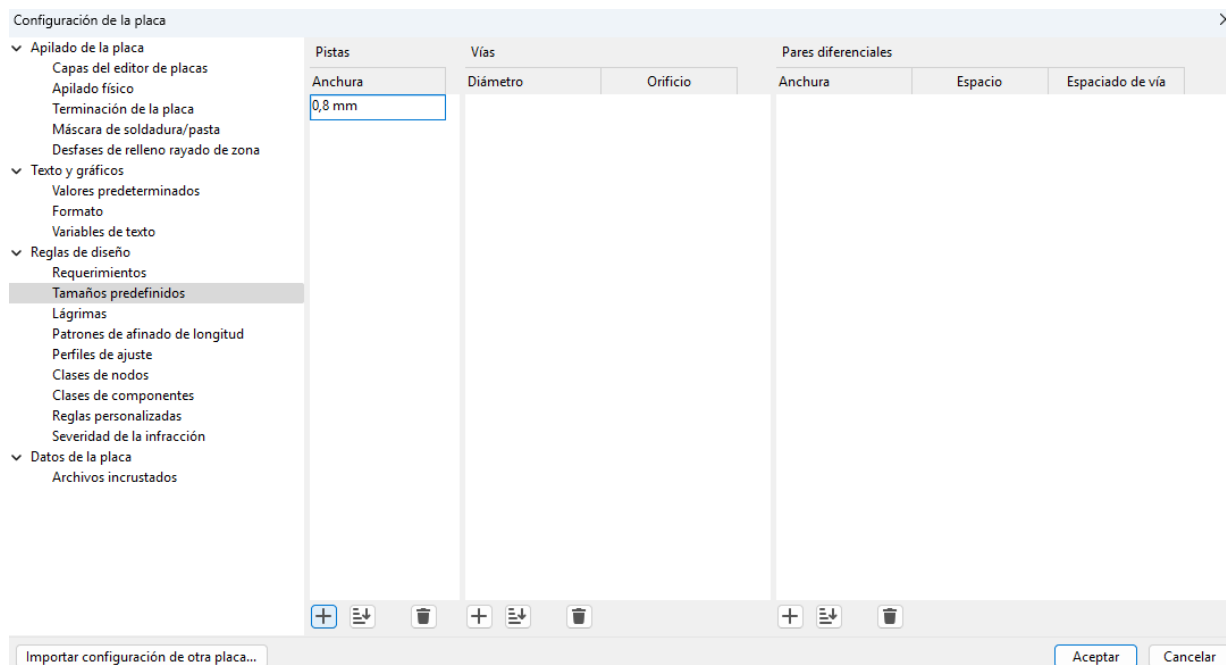


Figura 4.7: Ventana de Configuración de la placa, en su opción Tamaños predefinidos, definiendo un ancho de pista de 0,8 mm

Tras pulsar Aceptar, antes de trazar ninguna pista, debe seleccionarse el ancho de pista que se desea. Esto se hace desplegando el menú de Anchos de pista, en la esquina inferior izquierda, tal y como se muestra en la figura 4.8.

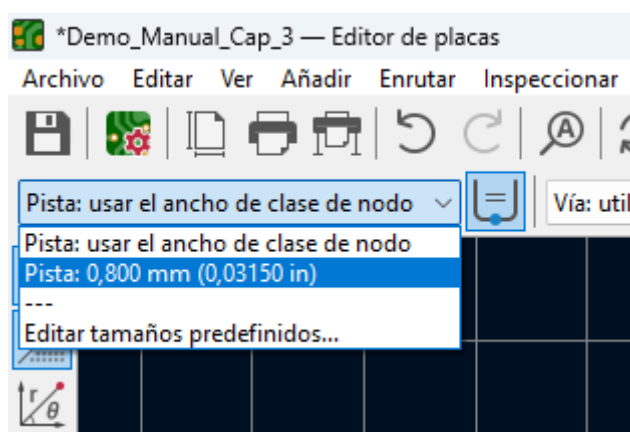


Figura 4.8: Definición del ancho de pista. Cada pista que se trace tendrá el ancho que esté seleccionado en este desplegable

Una vez seleccionado el ancho de pista que se desea, se debe cambiar el cursor al modo Trazar pista única, bien con la tecla W o bien pulsando el cuarto botón (empezando desde arriba) de la columna derecha de iconos, tal y como se muestra en la figura 4.9. Asimismo, hay que asegurarse de que tenemos seleccionada la capa F.Cu, con lo cual todo lo que dibujemos y tracemos en la placa se hará en la capa de cobre frontal, en la cual se deben dibujar las pistas y pads. Cuando ya no se quiera seguir trazando pistas, debe seleccionarse de vuelta el cursor normal en el botón de arriba del todo de la columna.

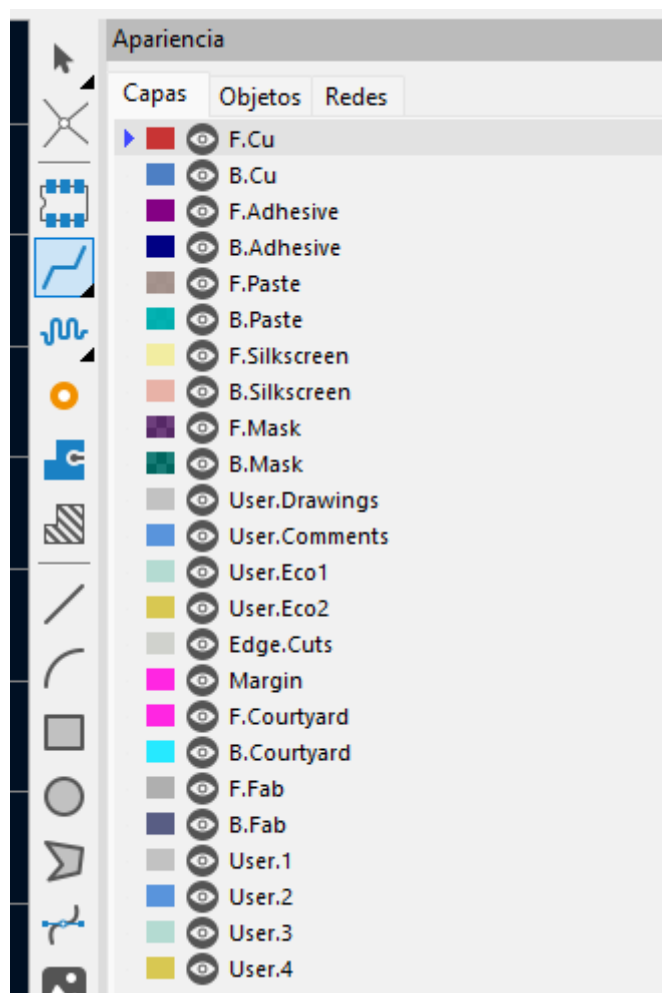


Figura 4.9: Selección del cursor Trazar pista única, junto a la lista de capas de la placa, teniendo marcada la capa de cobre frontal F.Cu

Para trazar una pista, una vez con el cursor en modo Trazar pista única, simplemente debe hacerse clic en el punto donde se desea que empiece la pista y clicar de nuevo donde se desea que termine. Por defecto, el programa tratará de hacer la pista más corta posible entre los dos puntos que se definan, lo cual puede dar pie a malas praxis. No es bueno trazar pistas demasiado cercanas a otras pistas, así como a otros pads que no están eléctricamente unidos a la pista que se está trazando. Por ello, es buena idea ir definiendo las pistas por trozos más cortos, cuidando no trazar ángulos de 90 grados, tal y como se explicó en el capítulo 2.

Cuando una pista ha conectado correctamente dos o más nodos, la línea azul (*ratnest*) debería desaparecer. Es un aspecto del que hay que asegurarse cuando se traza una pista.

Dado que no es fácil visualizar la placa completa desde el primer momento, es posible que el diseñador se vea en la necesidad de mover huellas durante el proceso de trazar pistas. Al hacerlo, debe tenerse cuidado, dado que es posible que ya haya pistas trazadas, pudiendo alterarse el funcionamiento del circuito o crearse conexiones que no deberían de existir.

Por defecto, cuando se trazan pistas, el programa fija todos los puntos que se utilicen a la rejilla con la tolerancia que se ha definido. No obstante, en algunas situaciones, puede ser interesante trazar pistas de un modo aún más preciso, en particular cuando se tratan de evitar malas praxis como juntar demasiado una pista a otra o a un pad no conectado. Esto se puede hacer manteniendo pulsada la tecla Ctrl izquierdo, lo cual permite al usuario trazar la pista con total precisión.

Por último, debe tenerse en cuenta que es posible trazar pistas por debajo de un componente THT. Dado que un componente THT solo se conecta físicamente a la placa a través de sus terminales y que el cuerpo de dicho componente está físicamente por encima de la placa, nada impide trazar pistas por debajo de dicho componente. Por ejemplo, dada una resistencia THT, es posible trazar una o más pistas que pasen por debajo, entre los dos pads. Del mismo modo, siempre que se tiene un circuito integrado, como es el TL081, también pueden pasarse pistas por debajo del componente, entre las dos filas de pads. De todos modos, en el caso de los circuitos integrados, no es buena práctica pasar pistas entre sus pads, dado que suelen estar muy cerca unos de otros.

La figura 4.10 muestra un ejemplo de cómo se podrían trazar las pistas en la placa que se está diseñando como ejemplo. Nótese que hay varias pistas que se hacen pasar por debajo de componentes, como por ejemplo a través de las resistencias R1 y R3. Asimismo, el pin de alimentación de -15 V se conecta al pin 4 del TL081 a través de una pista que pasa por debajo del propio circuito integrado.

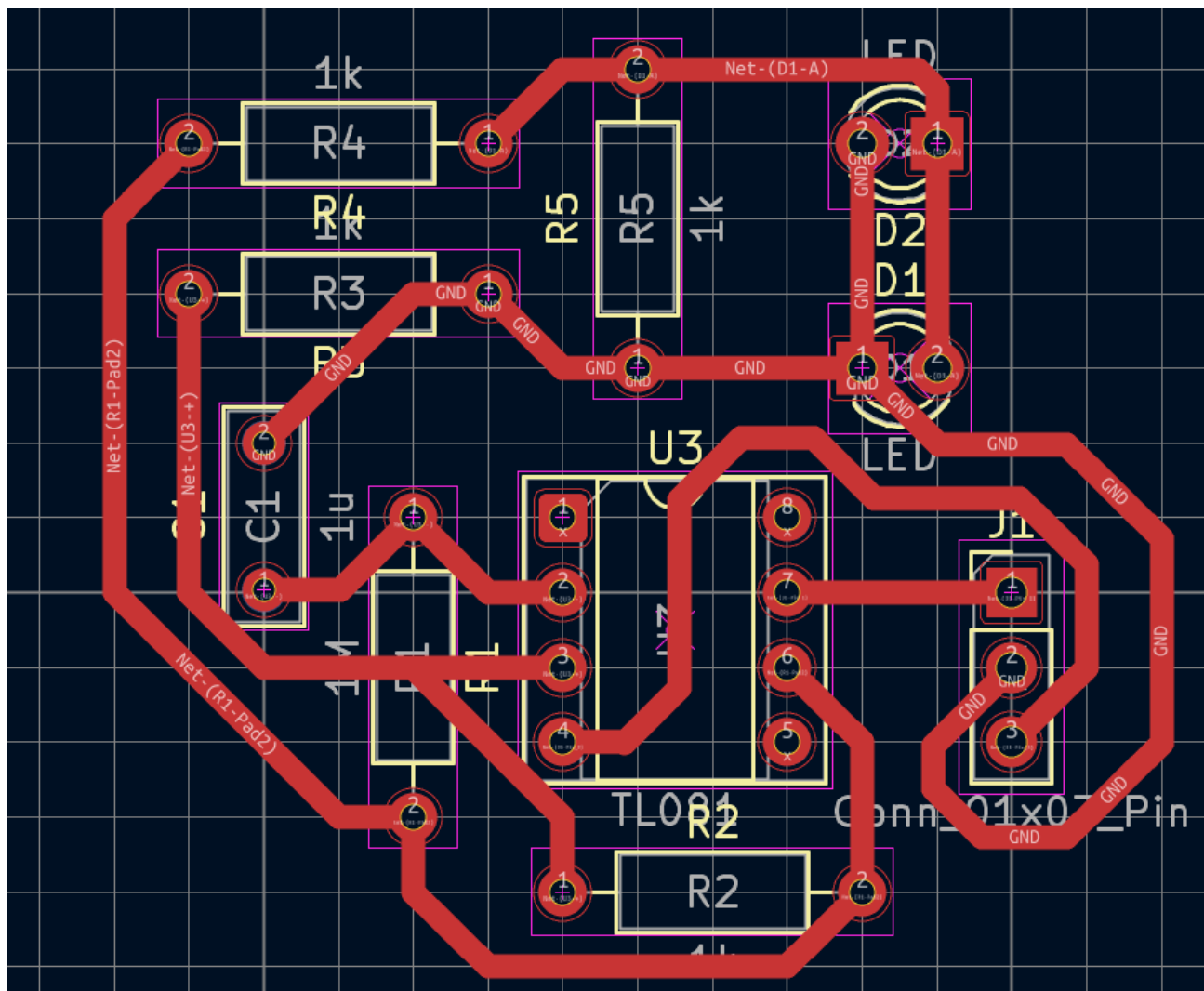


Figura 4.10: Ejemplo de trazado de pistas para la distribución de huellas de la figura 4.5, destacando cómo algunas pistas pueden pasar por debajo de componentes THT

Para terminar el diseño, hay que definir los bordes físicos de la placa. Esto es fundamental de cara al fabricante, ya que debe saber por dónde debe cortar físicamente la placa. Para ello, debe seleccionarse la herramienta Dibujar rectángulos en la parte derecha, así como la capa denominada Edge.Cuts. Finalmente, para trazar el rectángulo, debe hacerse clic en el punto donde se desea colocar uno de los vértices. Después, se mueve el ratón hacia la posición del vértice opuesto y se hace clic de nuevo, lo cual crea el rectángulo. La figura 4.11 muestra cómo se selecciona la opción Dibujar rectángulo y la capa Edge.Cuts, y la figura 4.12 el aspecto de la placa tras dibujar dicho rectángulo.

De modo general, es buena práctica dejar una separación de entre 0.5 y 1 mm entre el borde físico de la placa y las huellas y pistas externas. Esto es así porque, de dejar una separación menor, podría haber problemas a la hora de fabricar la PCB. Este aspecto se detallará en el capítulo sobre fabricación de placas.

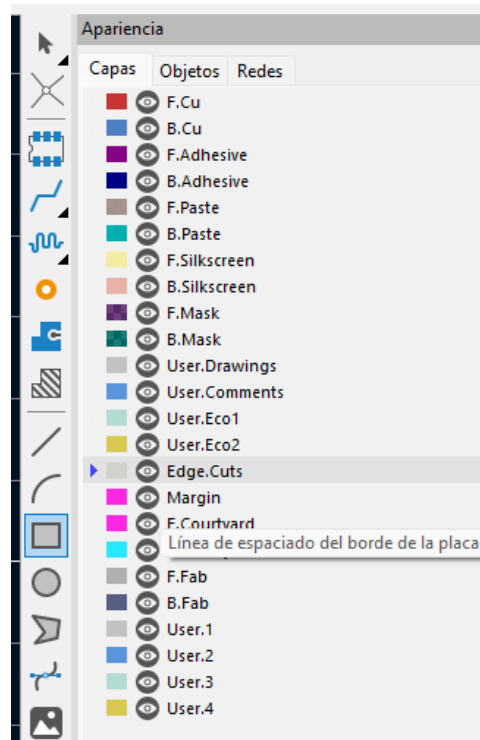


Figura 4.11: Selección de la opción Dibujar rectángulo en la capa Edge.Cuts

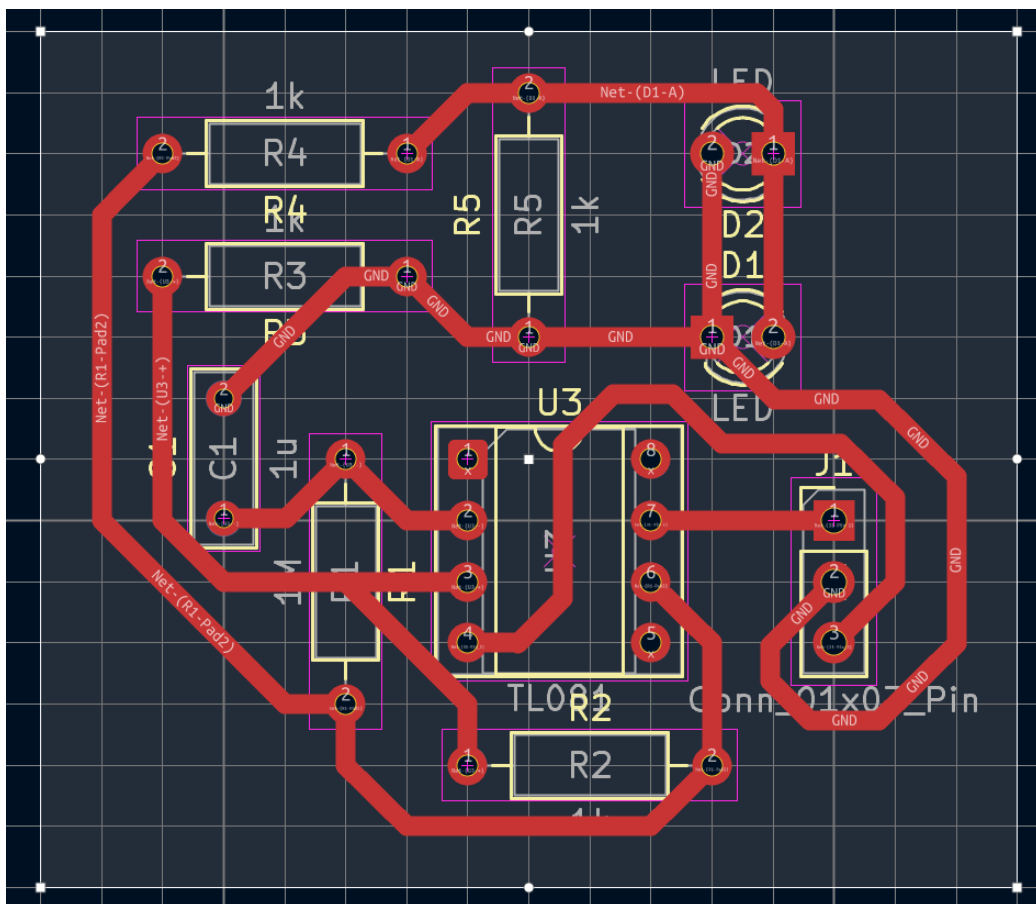


Figura 4.12: Placa de la figura 4.10 con los bordes físicos definidos en la capa Edge.Cuts

Debe quedar claro que toda la placa debe quedar contenida dentro del rectángulo, lo cual incluye tanto las huellas como la serigrafía. Sin embargo, no pasa nada si algunos comentarios (textos grises) quedan fuera. Lo que no puede quedar fuera es una serigrafía (textos amarillos, que sí se dibujan físicamente al fabricar la placa).

En este punto, el diseño de la placa ya es funcional y puede fabricarse. Pero antes de darlo por finalizado, es buena idea verificar que el diseño sea correcto y no cometa malas prácticas. KiCad contiene una función de revisión del diseño, en la pestaña Inspeccionar -> Comprobar reglas de diseño (o bien a la derecha del botón Actualizar placa desde esquema). Esto funciona de modo análogo a la Comprobación de reglas eléctricas del esquemático, solo que aquí revisa el diseño de la PCB. Una vez se abre la ventana, se debe pulsar el botón Ejecutar DRC y ratificar que no se detecten errores de diseño. La figura 4.13 muestra el aspecto de la ventana DRC tras verificar que el diseño desarrollado en el presente capítulo no comete errores.

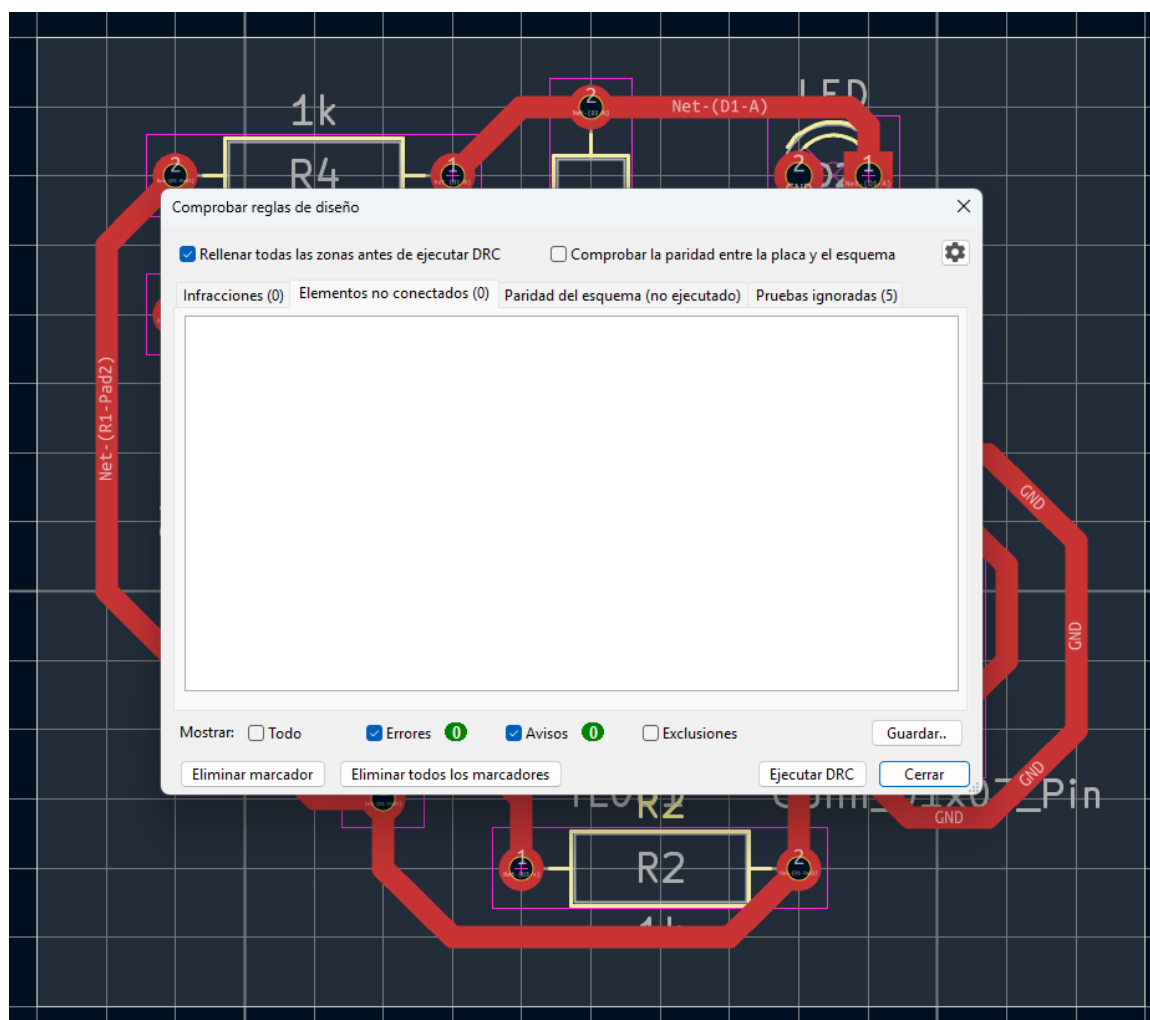


Figura 4.13: Aspecto de la ventana *Comprobar reglas de diseño*, indicando cero errores y advertencias

Una vez que el diseño de la PCB es funcional, es buena idea añadir algunos textos en la capa de serigrafía. En primer lugar, es buena idea añadir algún texto identificativo para

marcar la placa, pudiendo indicar la autoría o cualquier tipo de código que identifique inequívocamente la placa dentro de un proyecto. Y, en segundo lugar, es buena idea añadir indicaciones de cara al usuario de la placa. Esto es particularmente importante cuando la placa tiene pines de conexión, debiendo indicarse la función de cada pin. En este ejemplo, debe etiquetarse la tensión a la que se debe alimentar cada pin, dado que el usuario no tiene por qué ser la misma persona que ha diseñado la placa ni entender cómo están trazadas las pistas. Asimismo, la serigrafía de los componentes que tienen polaridad debe indicar dicha polaridad. En este caso, todas dichas serigrafías vienen ya indicadas, destacando la muesca del circuito integrado U3 y el cátodo en los diodos D1 y D2.

Para añadir textos de serigrafía, debe seleccionarse la opción Dibujar texto y la capa F.Silkscreen, que se corresponde con las serigrafías en la cara frontal. La figura 4.14 muestra cómo se seleccionan ambas opciones, mientras que la figura 4.15 muestra la placa con una serie de textos añadidos para identificarla y etiquetar los pines de conexión.

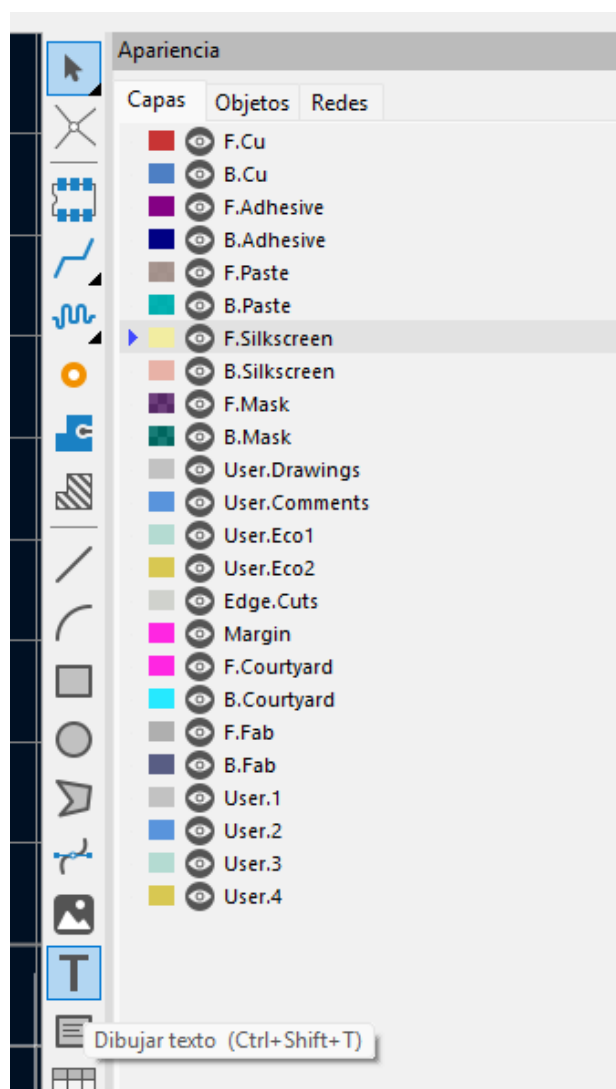


Figura 4.14: Selección del modo Dibujar texto sobre la capa de serigrafía frontal F.Silkscreen

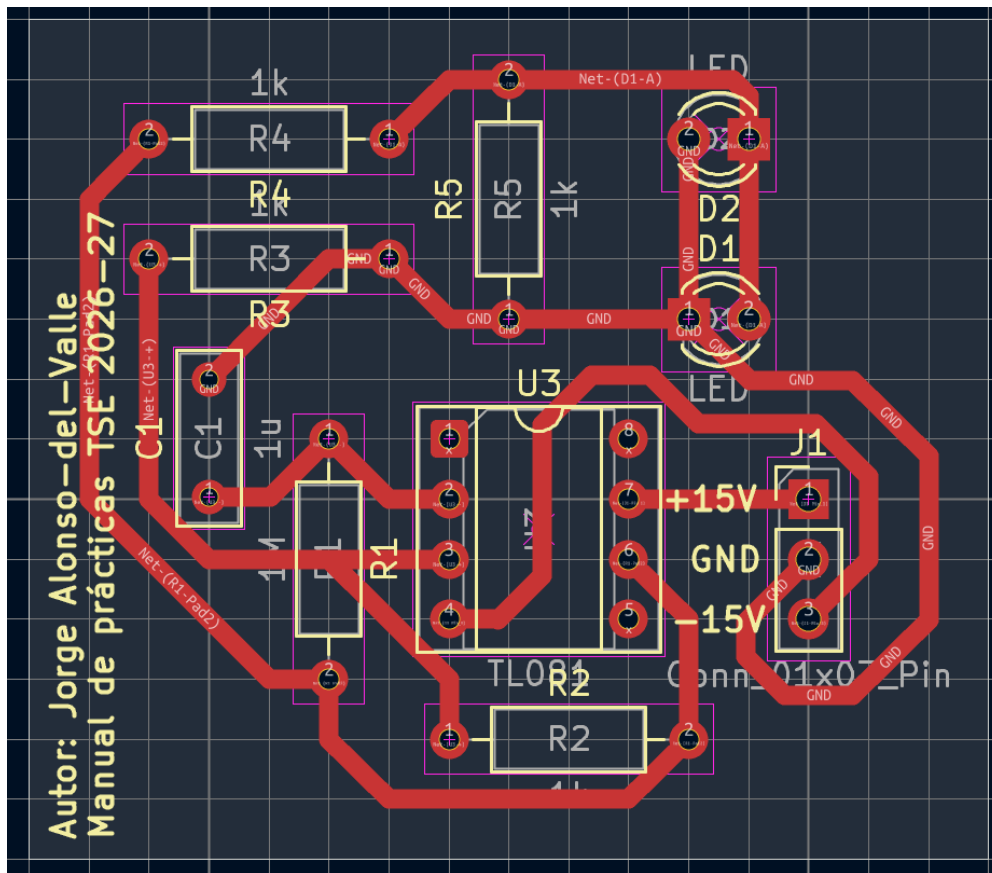


Figura 4.15: PCB de ejemplo serigrafiada y etiquetada

Una vez el diseño está terminado, KiCad ofrece un visor 3D que nos permite previsualizar el aspecto físico que tendría la placa una vez fabricada. Para acceder a dicho visor, se hace desde la pestaña Ver -> Visor 3D. La figura 4.16 muestra la placa de la Figura 4.15 en dicho visor 3D.

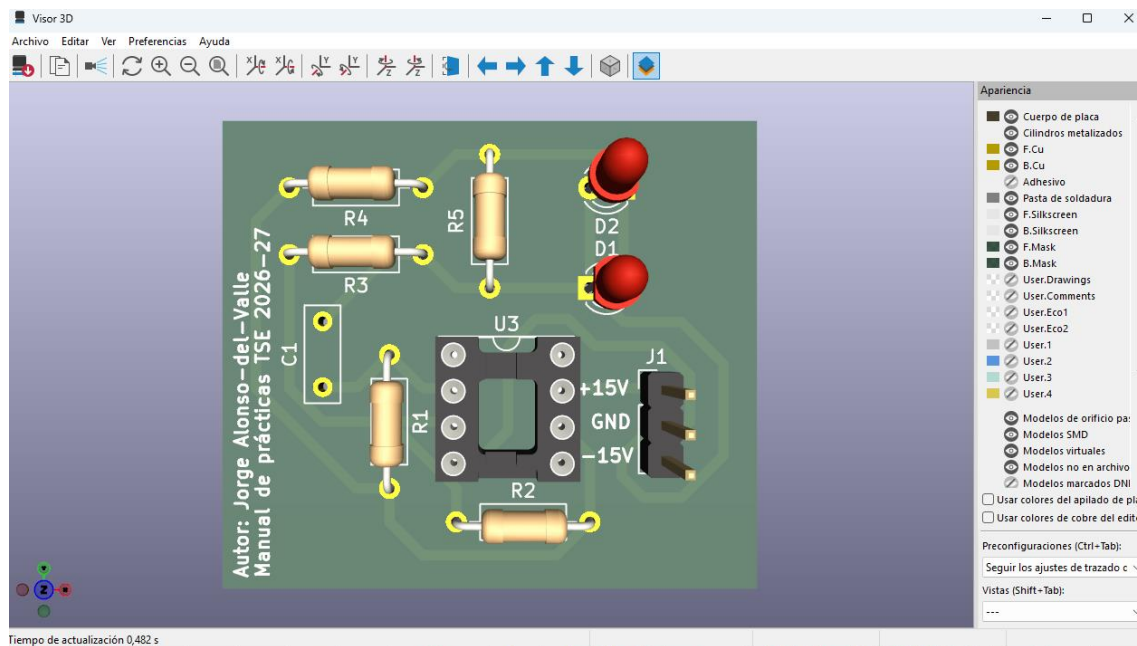


Figura 4.16: PCB de la figura 4.15 en el Visor 3D de KiCad

Ejercicio: Diseñar una PCB en KiCad que implemente el circuito mostrado en la figura 3.18, al final del capítulo 3. Para ello, puede utilizarse el proyecto que se definió en dicho ejercicio, el cual ya debería tener el esquemático definido, de modo que todo lo que queda es el proceso de diseño de la propia PCB, expuesto en el presente capítulo.

Ejercicio: Diseñar una PCB en KiCad que implemente el circuito mostrado en la figura 4.17. Se trata de un contador BCD basado en biestables JK y puertas lógicas AND. Deberá crearse un proyecto en KiCad, donde se defina el esquemático del circuito y se diseñe una PCB que lo implemente. Asimismo, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- El circuito debe contar con 4 pines de entrada, para recibir tanto la señal de 5 V DC como la señal de reloj CLK que alimentará los biestables.
- Los biestables se implementarán mediante un circuito integrado CD4027. Se deberá buscar su hoja de características a través de internet. Se trata de un único circuito que implementa dos biestables JK síncronos. Por lo tanto, se necesitan dos unidades de dicho componente. Asimismo, se trata de un componente multi-símbolo. Por lo tanto, se recuerda que, a la hora de añadirlo en el esquemático, deben ubicarse todos sus símbolos. No se debe pulsar la tecla Esc hasta que se hayan colocado todos.
- Las puertas lógicas se implementan mediante un módulo 74LS08. Se trata de un circuito integrado que consta de 4 puertas AND. Por lo tanto, solo deben utilizarse 3 de ellas.
- Las salidas de cada biestable se conectarán a un diodo LED y a una resistencia de $220\ \Omega$ en serie, conectando el terminal restante a masa y cuidando dejar el ánodo del LED del lado de la salida del biestable.

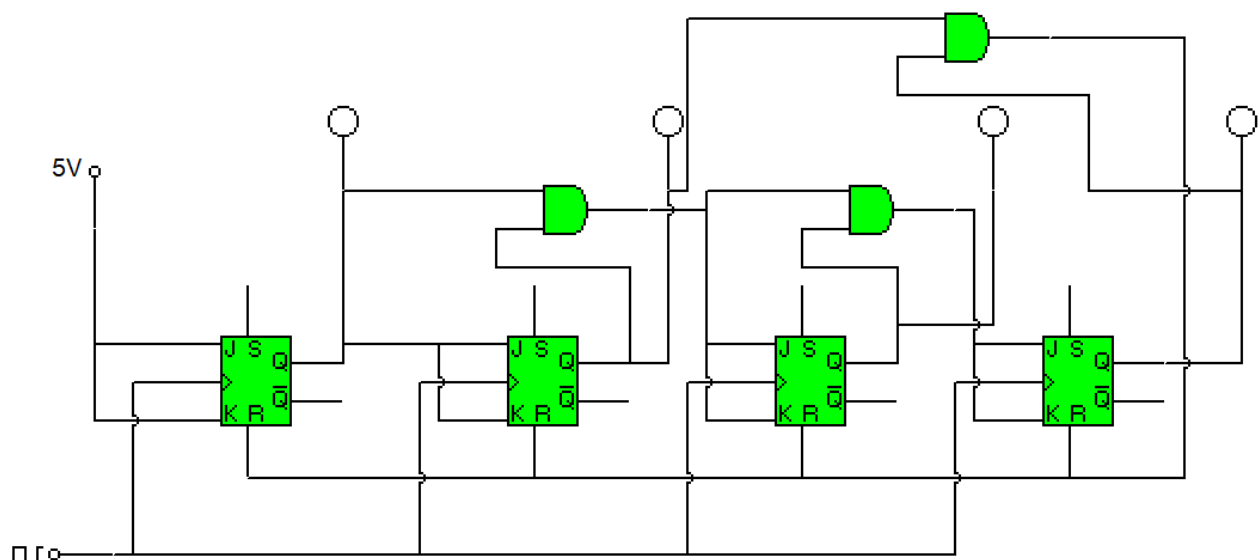


Figura 4.17: Circuito contador BCD síncrono a implementar en el segundo ejercicio del presente capítulo

5. Fundamentos de KiCad III – Huellas personalizadas

Hasta ahora, se ha trabajado utilizando exclusivamente las huellas por defecto incluidas en las bibliotecas genéricas de KiCad. Sin embargo, a menudo el ingeniero necesita un mayor control sobre las características de las huellas que se van a implementar. Es posible que se requieran pads de mayor diámetro o geometría. Asimismo, es posible encontrarse con componentes cuya huella no se encuentra en las bibliotecas genéricas. Y lo que es más importante; el ingeniero debe asegurarse de que el componente físico real encaje en la huella, sobre todo considerando que un mismo encapsulado puede tener diferentes dimensiones físicas entre diferentes fabricantes. En consecuencia, surge la necesidad de crear nuestras propias huellas para nuestra PCB. En este capítulo, se realiza un ejemplo de diseño de una PCB donde se utilizan huellas personalizadas y/o se realizan modificaciones sobre las huellas por defecto de KiCad.

5.1. Creación de una biblioteca personalizada

En este capítulo, se pondrá como ejemplo el diseño y desarrollo de una PCB que implemente el circuito de la figura 5.1, utilizando para ello una biblioteca de huellas personalizadas en lugar de las huellas por defecto de KiCad.

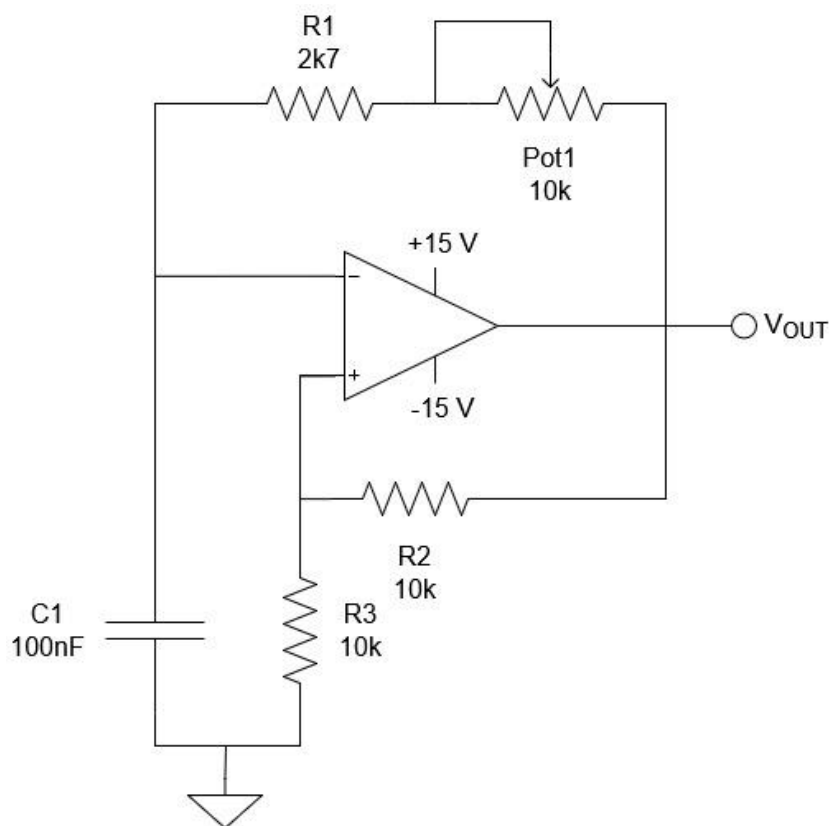


Figura 5.1: Circuito que se implementa en una PCB durante el capítulo 5 usando huellas personalizadas

En primer lugar, se crea un nuevo proyecto en KiCad, que se denominará Demo_Manual_Cap_5. No obstante, en lugar de pasar directamente al esquemático, en primer lugar, se creará y definirá una biblioteca de huellas personalizadas que se utilizará durante el proyecto. Para ello, debe accederse al Editor de huellas en KiCad. Esto se puede hacer desde la ventana principal de KiCad, desde el menú superior en *Herramientas -> Editor de huellas* o mediante el atajo de teclado Ctrl+F. La figura 5.2 muestra el aspecto del Editor de huellas tras abrirse por primera vez.

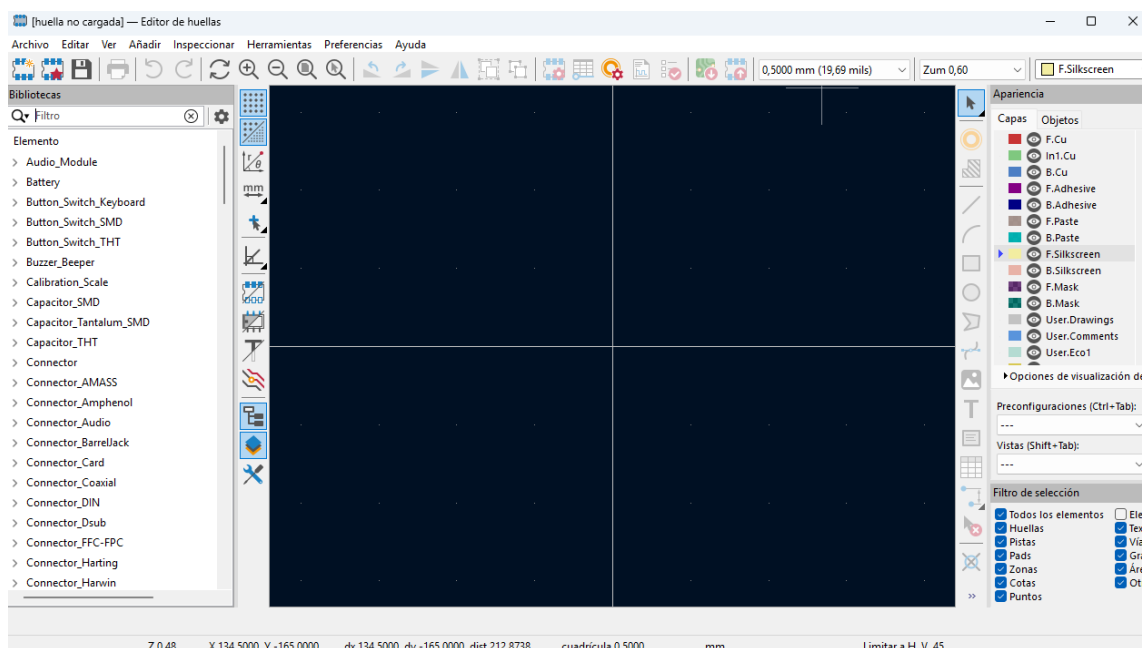


Figura 5.2: Editor de huellas en KiCad

En primer lugar, se debe crear una nueva biblioteca de huellas para albergar todas las huellas del presente proyecto. Esto se hace en el menú de la barra superior, en *Archivo -> Nueva biblioteca*. Esto abrirá el explorador de Windows y nos pedirá que demos un nombre a nuestra biblioteca, la cual se guardará como un fichero con la extensión .pretty. La figura 5.3 muestra la creación de una nueva biblioteca, que se denominará Biblioteca_DMC5.pretty.

Nota: Cuando se crea una biblioteca, el software puede preguntar si dicha biblioteca va a ser global o específica del proyecto. En caso de definirla como global, estará disponible en todos y cada uno de los proyectos que se creen en el propio ordenador, mientras que, de ser específica del proyecto, solo estará disponible para el proyecto específico que se está definiendo. En este caso, dado el contexto académico del manual, suele ser mejor idea definirla como específica del proyecto, dado que, a menudo, el proyecto se guardará en una unidad USB o en una nube y deberá poder abrirse tanto en los ordenadores del laboratorio como en el ordenador personal de cada alumno.

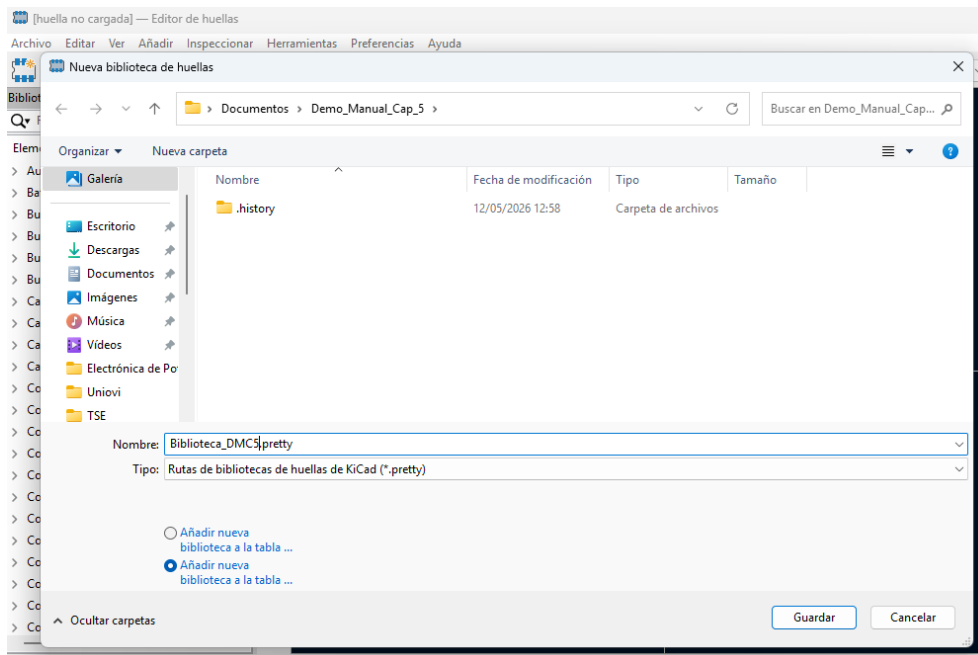


Figura 5.3: Creación de una nueva biblioteca de huellas en KiCad

Una vez creada la biblioteca, esta aparecerá en la barra izquierda, junto a las bibliotecas por defecto de KiCad, así como cualquier otra biblioteca que esté instalada. Es posible guardar, importar y exportar bibliotecas de huellas mediante archivos .pretty. En *Archivo -> Añadir biblioteca* puede cargarse un fichero .pretty con una biblioteca de huellas personalizadas, que podemos haber guardado de un proyecto anterior o descargado a través de internet.

5.2. Creación de huellas personalizadas

A la hora de crear huellas personalizadas, existen dos opciones. La primera es crearla desde cero, para lo cual se hace clic derecho sobre la biblioteca donde se desea crear (debe ser una biblioteca creada manualmente, dado que las bibliotecas por defecto no se pueden modificar) y elegir la opción Nueva huella. La segunda opción, en caso de que ya se cuente con una huella similar a la que se necesita, pero se desea hacer alguna modificación, es copiar o importar dicha huella en nuestra biblioteca. Para ello, se debe buscar la huella que se desea usar como plantilla, hacer clic derecho sobre su nombre y elegir la opción Copiar huella. Después, se hace clic derecho sobre nuestra biblioteca personalizada y se elige la opción Pegar huella. Esto crea una copia de la huella elegida dentro de nuestra biblioteca, la cual sí se puede modificar libremente. La figura 5.4 muestra un ejemplo de cómo se copia la huella que estamos utilizando de forma genérica para resistencias THT (resistencia axial DIN 0207 de 10.16 mm de largo). Luego, la figura 5.5 muestra la huella dentro de la biblioteca personalizada, ya editable.

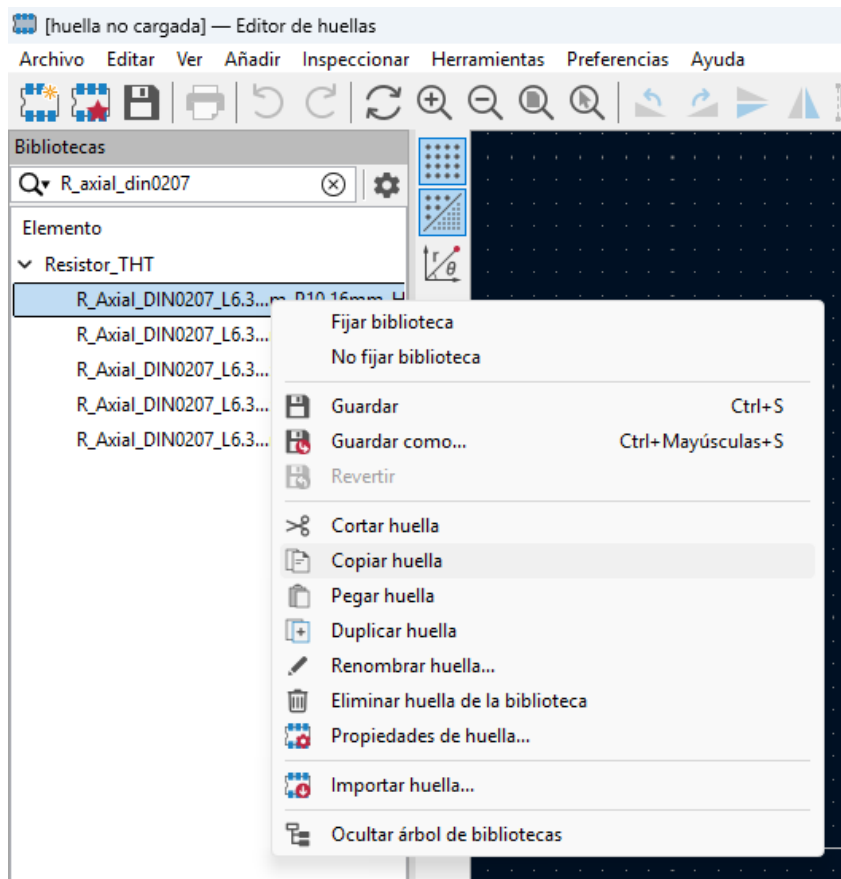


Figura 5.4: Ejemplo de copia de una huella por defecto. Tras hacer clic en Copiar huella, debe irse a nuestra biblioteca personalizada, hacer clic derecho y elegir Pegar huella

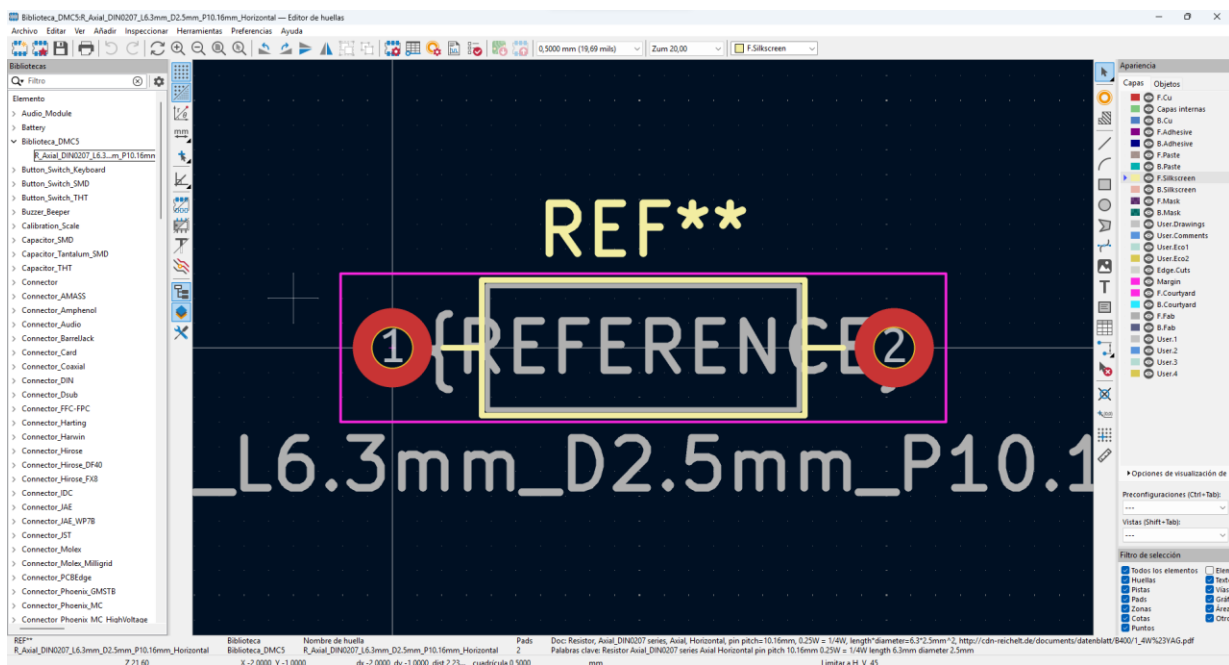


Figura 5.5: Copia de la huella R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal dentro de una biblioteca personalizada. Dicha huella puede editarse libremente

El editor de huellas es bastante intuitivo y permite modificar las huellas fácilmente. Cada parte de la huella puede moverse seleccionándola y haciendo clic y arrastrando. No obstante, si se desea definir la posición de una parte de la huella de forma precisa debe hacerse clic derecho y elegir la opción Propiedades, lo cual se muestra en la figura 5.6. En particular, arriba a la izquierda se puede definir la posición XY del centro geométrico del pad. Esto es de vital importancia, dado que dimensionar adecuadamente la posición de los pads es imprescindible para que el componente físico encaje en la PCB de forma correcta. También se puede definir la forma del pad, así como el diámetro tanto de este como del agujero para componentes THT.

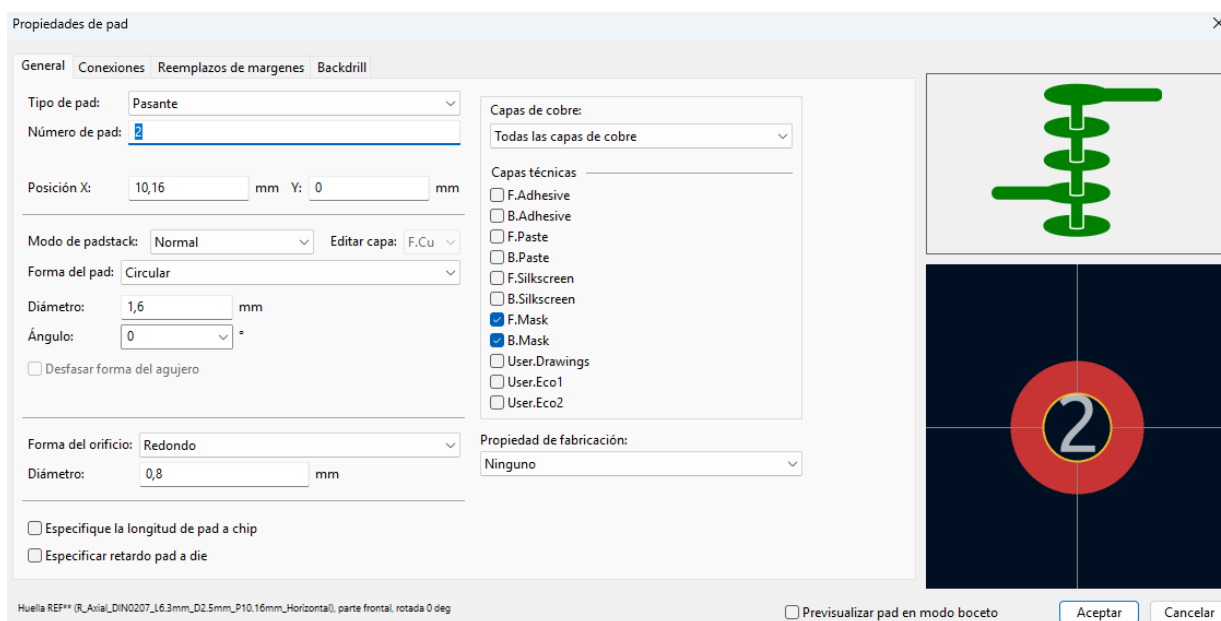


Figura 5.6: Ventana de propiedades del pad 2 de la huella personalizada de una resistencia axial

Para implementar el circuito de la figura 5.1 en una PCB, se utilizarán los siguientes componentes y con huellas que cumplan las características indicadas:

- **Resistencias:** Resistencias axiales DIN 0207 THT, con separación de 10.16 mm entre sus pads. Agujeros de 1 mm, pads de 2.5 mm.
- **Condensador:** Condensador cerámico rectangular THT, con separación de 5.08 mm entre sus pads. Agujeros de 1 mm, pads de 2.5 mm.
- **Potenciómetro:** Modelo BOURNS 3306F. Su huella se muestra en la figura 5.7, cuyos agujeros son de 1.5 mm y cuyos pads son de 3 mm.
- **Amplificador Operacional:** Circuito integrado TL081 a implementar en un socket DIP-8, con agujeros de 1 mm. Sus pads deben tener forma ovalada, siendo de 2 mm en el eje horizontal y de 1.8 mm en el eje vertical.
- **Tira de cuatro pines:** Se usará una tira de pines estándar de 2.54 mm, cuyos agujeros serán de 1 mm y cuyos pads tendrán las mismas características que el socket para el amplificador operacional.

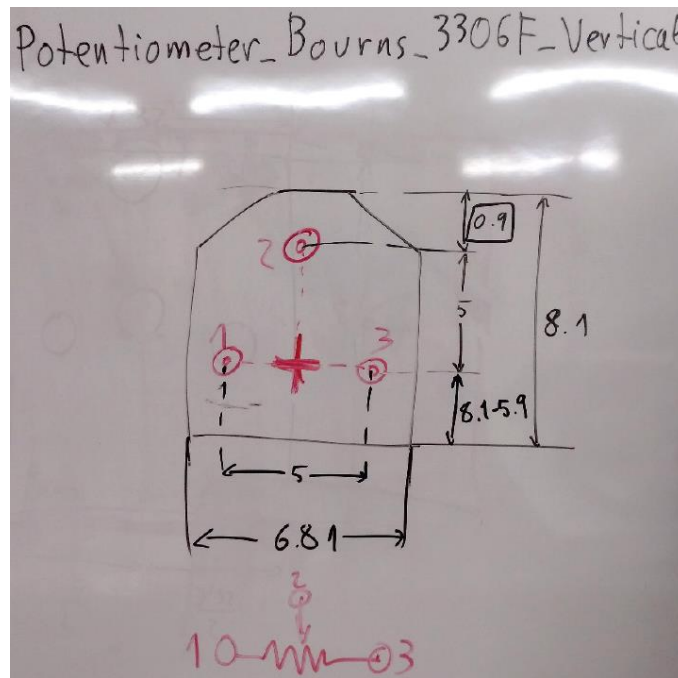


Figura 5.7: Dimensiones del potenciómetro BOURNS 3306F, que se deben tomar de referencia para crear su huella personalizadas en KiCad

En base a dichas especificaciones, se deberán copiar las huellas por defecto de los componentes y modificar sus pads para que cumplan con las dimensiones especificadas:

- **Para la resistencia**, es suficiente con cambiar las dimensiones de sendos pads. No obstante, al realizar dicha modificación, los pads quedan por fuera del rectángulo rosado que bordea la huella. Dicho rectángulo es parte de una capa denominada F.Courtyard, la cual indica de forma aproximada la superficie que ocupa el componente sobre la placa. Es importante que todo el contenido de la huella quede dentro de dicho rectángulo. El editor de placas no permite que las capas F.Courtyard de dos componentes diferentes se solapen entre sí (técnicamente sí lo permite, pero hace que el DRC arroje errores). Por lo tanto, las dimensiones de dicho rectángulo deben modificarse en el editor de huellas hasta que los nuevos pads queden dentro, dejando un pequeño margen con estos. La figura 5.8 muestra el aspecto de la huella modificada, tanto con los pads más grandes como con el rectángulo en la capa F.Courtyard modificado para albergar los nuevos pads. También se ha modificado el nombre de la huella a R_DMC5, para que no se llame exactamente igual que la huella por defecto, si bien se trata de una copia modificada de dicha huella, ubicada en una biblioteca personalizada.



Figura 5.8: Huella R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal modificada, con pads cuyo agujero es de 1 mm y cuyo diámetro exterior es de 2.5 mm

- **Con el condensador**, el procedimiento es análogo. No obstante, también es necesario modificar la capa de serigrafía F.Silkscreen para que esta no se solape con los pads. Debe recordarse que la serigrafía no debe solaparse con pads, dado que se funde en el proceso de soldadura del componente sobre la placa. La figura 5.9 muestra la huella del condensador modificada para cumplir con las especificaciones indicadas.



Figura 5.9: Huella C_Rect_L7.0mm_W2.5mm_P5.00mm modificada, con pads cuyo agujero es de 1 mm y cuyo diámetro exterior es de 2.5 mm

En el caso del potenciómetro, las bibliotecas por defecto de KiCad no contienen su huella. Por lo tanto, no queda más remedio que crearla de forma manual. Para ello, en primer lugar, se hace click derecho en la biblioteca personalizada y se elige la opción Nueva huella, la cual se renombra como Pot_DMC5. Por defecto, cuando se crea una nueva huella, aparecen dos textos. Uno en la capa F.Silkscreen, que indica “REF**”, el cual es un texto que se reemplaza por la referencia que tenga el componente que se le asigne en el esquemático. Y

otro en la capa F.Fab, que indica tanto la referencia del componente como el nombre de la huella. No es necesario modificar ninguno de dichos textos.

Lo primero que se debe hacer es crear y ubicar de forma correcta los pads del componente. Para ello, debe tenerse clara su posición relativa. **Tomando como referencia un punto de la huella, que en la figura 5.7 es el punto medio entre los pads 1 y 3**, deben definirse las coordenadas XY de los centros geométricos de cada pad. En base a las acotaciones de la figura 5.7, la tabla 5.1 muestra las coordenadas XY de cada uno de los tres pads del potenciómetro.

Importante: En el editor de huellas de KiCad, el eje Y está invertido. Esto implica que los valores Y deben introducirse cambiados de signo. Por ese motivo, en la Tabla 5.1, para el pad 2, se indica 0 en la casilla X y -5 en la casilla Y.

Pad	X (mm)	Y (mm)
1	-2.5	0
2	0	-5
3	2.5	0

Tabla 5.1: Coordenadas XY de los centros geométricos de los pads del potenciómetro BOURNS 3306F

Para añadir un pad en el editor de huellas de KiCad, se elige la opción Añadir pad en el menú vertical a la derecha de la ventana, justo a la izquierda de los nombres de las capas. La figura 5.10 muestra el botón con el que se puede añadir un pad en el editor de huellas.

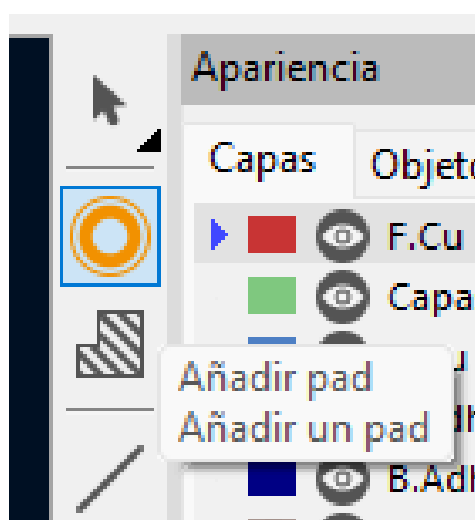


Figura 5.10 Botón Añadir pad en el editor de huellas de KiCad, a la derecha de la ventana

Esto hará que el cursor se transforme en un pad, que se podrá colocar sobre la huella haciendo click izquierdo. Pueden colocarse tantos pads como se desee. La posición en la que se coloquen no es importante por ahora, dado que, una vez se coloquen de este modo, se definirán las coordenadas XY de todos ellos. No obstante, es buena práctica colocarlos de forma aproximada en su posición real. Una vez que no se quieren añadir más pads, se debe pulsar la tecla Esc.

Nota: Por defecto, los pads se numeran automáticamente de modo ascendente, asignando el número 1 al primero que se coloca. No obstante, es posible modificar la numeración de los pads en caso de necesidad, usando el espacio Número de pad en la ventana de propiedades del pad (véase la figura 5.6).

Tras colocar los pads, deben definirse tanto sus coordenadas como sus dimensiones. Para ello, simplemente se hace doble click sobre el pad que se quiere modificar. Esto abre una ventana como la que se muestra en la figura 5.6. No obstante, en esta ocasión no solo hay que definir las dimensiones del pad, sino introducir correctamente sus coordenadas XY, en la parte superior izquierda de la ventana, siguiendo para ello lo indicado en la Tabla 5.1.

Asimismo, por defecto, los pads que se añaden suelen tener forma de rectángulo redondeado, debiendo modificarse a la forma que se precise (circular en este caso). La figura 5.11 muestra el aspecto de la huella tras definir adecuadamente la posición y las dimensiones de sus tres pads.



Figura 5.11: Pads de la huella del potenciómetro BOURNS 3306F

Por último, debe añadirse una capa de serigrafía que indique el contorno del potenciómetro, así como un rectángulo en la capa F.Courtyard que defina la superficie que ocupa, con un poco de margen. Esto se hace trazando líneas y rectángulos, usando las opciones de la columna derecha de la ventana y asegurándonos de estar seleccionando la capa correcta siempre que se dibuja. Las dimensiones y precisión de estas capas no son de vital importancia, pero es buena práctica regirse por las cotas indicadas en la figura 5.7 (o bien de la hoja de características del componente -o incluso medidas reales realizadas en el laboratorio sobre una unidad del componente-). Igualmente, es importante trazarlas lo mejor posible, de modo que aproximen bien el contorno físico del componente, con un margen de

hasta 0.5 mm aproximadamente. La figura 5.12 muestra el aspecto de una posible huella personalizada del potenciómetro.



Figura 5.12: Huella personalizada del potenciómetro BOURNS 3306F

- Por último, tanto para el amplificador operacional como para la tira de pines, solo es necesario copiar y modificar las huellas por defecto de sendos componentes, cuidando usar la forma ovalada para los pads. En ambos casos, se hace una excepción en el pin 1, manteniendo su forma de rectángulo redondeado, dada la importancia de la correcta orientación del componente sobre la placa. Esto es una práctica habitual en la industria. Las figuras 5.13 y 5.14 muestran el aspecto de las huellas del socket DIP-8 y de la tira de 4 pines, respectivamente.

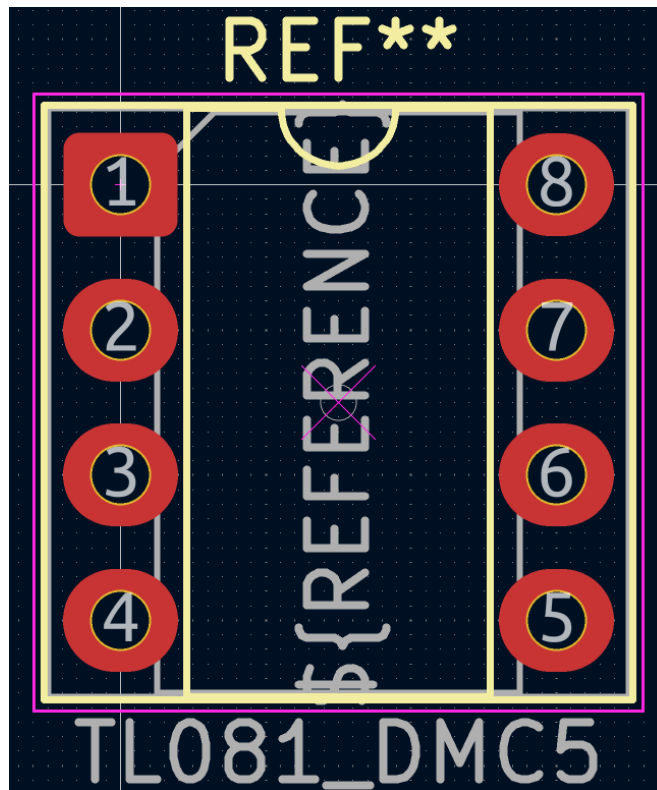


Figura 5.13: Huella personalizada del socket DIP-8 para el circuito integrado TL081

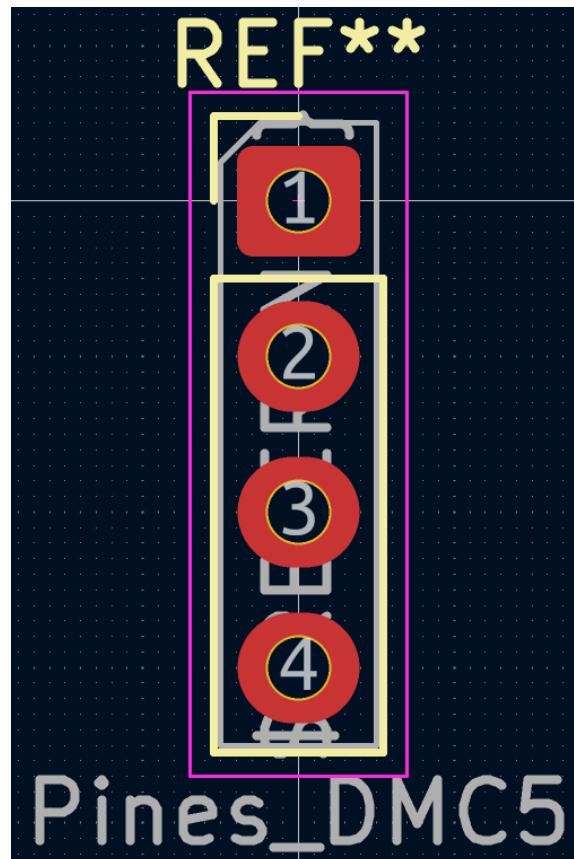


Figura 5.14: Huella personalizada de la tira de 4 pines de 2.54 mm de separación

Una vez que se hayan definido todas las huellas personalizadas necesarias, estas podrán elegirse siempre que se añada un componente bien en el esquemático o bien en la placa del proyecto actual. En el caso de las huellas que se han copiado de componentes por defecto, las huellas personalizadas aparecerán directamente en la lista de huellas sugeridas siempre que se añada el componente asociado. Sin embargo, para los componentes cuya huella se ha creado por defecto, esta debe asociarse manualmente.

Por ejemplo, para asociar la huella del BOURNS 3306F a un potenciómetro en el esquemático, en primer lugar, debe añadirse el símbolo de un potenciómetro genérico, pero no asignarle una huella todavía. Esto se hace mediante el símbolo R_Potentiometer. Una vez colocado el símbolo, debe abrirse su ventana de propiedades y asignársele una huella a mano. Esto se hace seleccionando la casilla Huella (tercera casilla desde arriba) y clicando en las tres barras a la derecha de la casilla. Esto abre la ventana del Selector de huellas, donde debe localizarse la biblioteca personalizada que se ha creado (en nuestro caso Biblioteca_DMC5), desplegarla y seleccionar la huella Pot_DMC5. La figura 5.15 ilustra este proceso, mostrando la ventana de propiedades del símbolo y la ventana del Selector de huellas donde se ha localizado la biblioteca personalizada. Nótese que se trata de la misma ventana que en la figura 3.11.

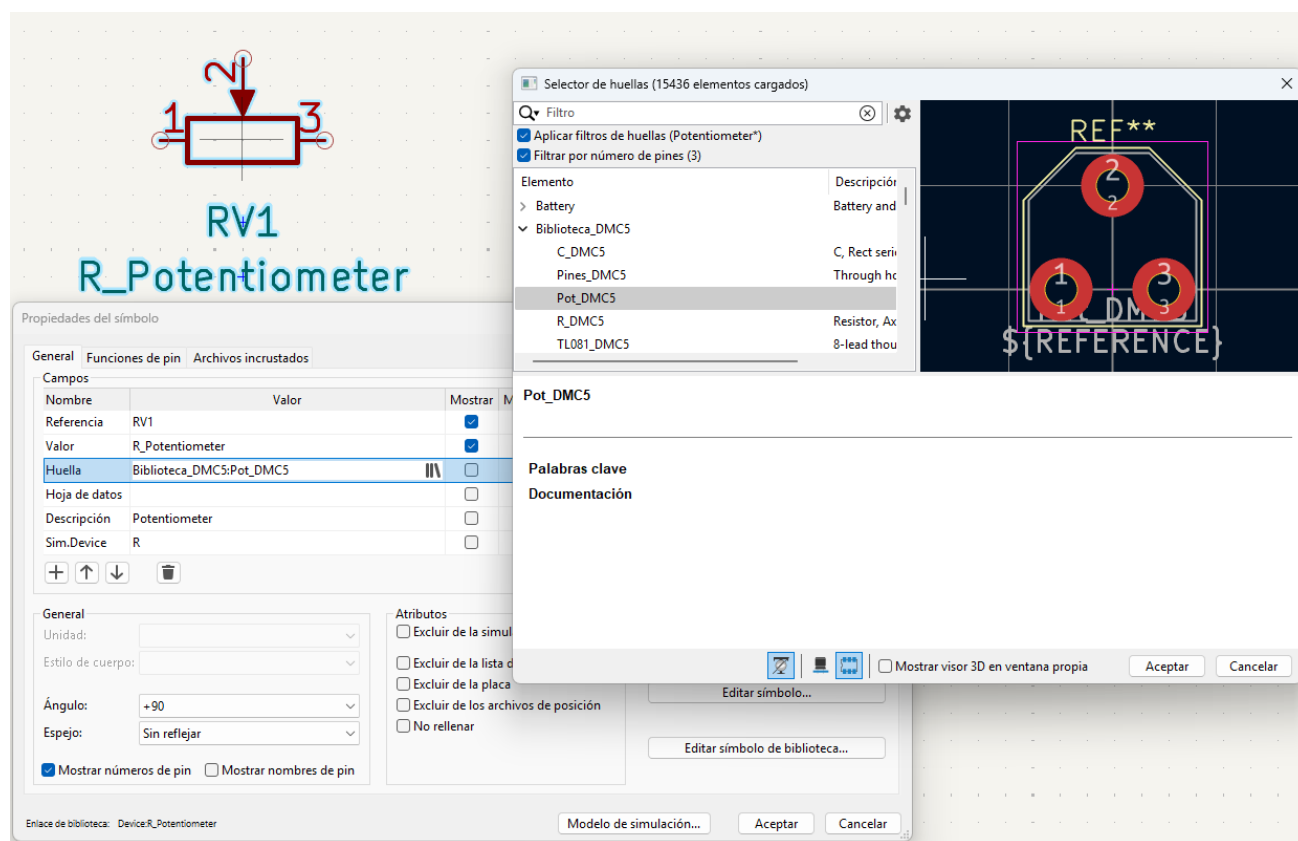
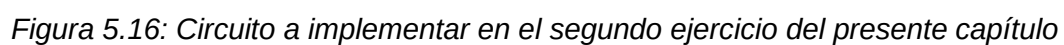


Figura 5.15: Asignación de una huella personalizada al símbolo de un potenciómetro

Ejercicio: Se pide diseñar una PCB que implemente el circuito de la figura 5.16. Para ello, deben utilizarse huellas personalizadas para todos los componentes, con las mismas especificaciones que en el ejemplo desarrollado en el presente capítulo. El circuito integrado TLP250 tiene las mismas características que el TL081, mientras que el MOSFET IRF540N usa la siguiente huella: Package_TO_SOT_THT:TO-220-3_Vercical. Dicha huella deberá modificarse para que tenga las mismas características que la huella del TLP250 y de la tira de pines de alimentación.



6. Fundamentos de KiCad IV – Placas de varias capas

Hasta ahora, todas las placas que se han diseñado constaban de una única capa, ubicándose todos los pads, pistas y componentes en la superficie frontal de la placa. No obstante, como ya se anticipó en el apartado 2.3, es posible diseñar placas con múltiples capas. Cada capa es un plano paralelo a los demás, el cual puede contener pistas que se crucen con las del resto de capas. En consecuencia, una PCB con múltiples capas puede diseñarse de un modo mucho más compacto que dicha PCB diseñada con una sola capa. Dicho de otro modo, una PCB de múltiples capas puede tener una densidad de componentes más alta, permitiendo implementar circuitos complejos en poco espacio. El uso de múltiples capas permite reducir las longitudes de las pistas, lo que se traduce en menor resistencia, menor inductancia y menor susceptibilidad al ruido. Esto es particularmente relevante en circuitos de alta potencia, o que manejen señales de una frecuencia elevada.

En primer lugar, se introducirán las placas de dos capas, las cuales contienen pistas tanto por la cara delantera como por la trasera. Más adelante, se presentará el concepto de los planos de alimentación y de masa, los cuales implican añadir capas intermedias a la placa, permitiendo aumentar aún más si cabe la densidad de componentes y reducir las dimensiones de la PCB.

6.1. Placas de dos capas

Cuando se crea un proyecto por defecto en KiCad, este cuenta con capas ya preparadas para dibujar pistas en la cara posterior. Si se tiene en cuenta que las capas que se utilizaron en los capítulos anteriores para definir PCBs de una sola capa comenzaban todas ellas por la letra F, del inglés Front, puede deducirse que las capas que comienzan por la letra B, del inglés Back, se corresponden con la superficie trasera de la placa. En particular, las capas correspondientes a la superficie trasera de la placa son las siguientes:

- **B.Cu:** Contiene todo el cobre que se dibuja en la superficie trasera. Pueden trazarse pistas con ella. Asimismo, por defecto, los componentes THT contienen pads en todas las capas exteriores (frontal y trasera) de la placa, a no ser que se indique lo contrario.
- **B.Silkscreen:** Contiene la serigrafía que se dibuja en la superficie trasera.
- **B.Fab:** Datos de fabricación para todo aquello que está sobre la superficie trasera.

A modo de ejemplo, se ilustrará cómo se podría haber diseñado la PCB que se ejemplificó en los capítulos 3 y 4 (figura 3.6), pero utilizando también la capa trasera para trazar pistas. Siempre que se desee trazar una pista sobre la capa trasera, es vital asegurarse de que la capa B.Cu está seleccionada. Nótese que, cuando se selecciona la capa B.Cu, todos los pads de los componentes pasan a ser de color azul (el color asignado por defecto a dicha capa). En KiCad, cuando se selecciona una capa, todo lo que se encuentra en dicha capa pasa a mostrarse delante del contenido del resto de capas.

Asimismo, se recuerda que, en el caso de los componentes THT, por defecto, sus pads se trazan en todas las capas exteriores. Dicho de otro modo, los pads THT incorporan vías de modo habitual, las cuales conectan todas las capas de la PCB. Esto permite trazar pistas que conecten pads tanto por delante como por detrás. La figura 6.1 muestra el aspecto que debe tener el editor de placas cuando se selecciona la capa B.Cu, destacando el hecho de que los pads aparecen de color azul. Los componentes se han distribuido de un modo ligeramente diferente a la figura 4.5, dado que el uso de la capa posterior de la placa va a permitir conectar los componentes de un modo más eficiente.

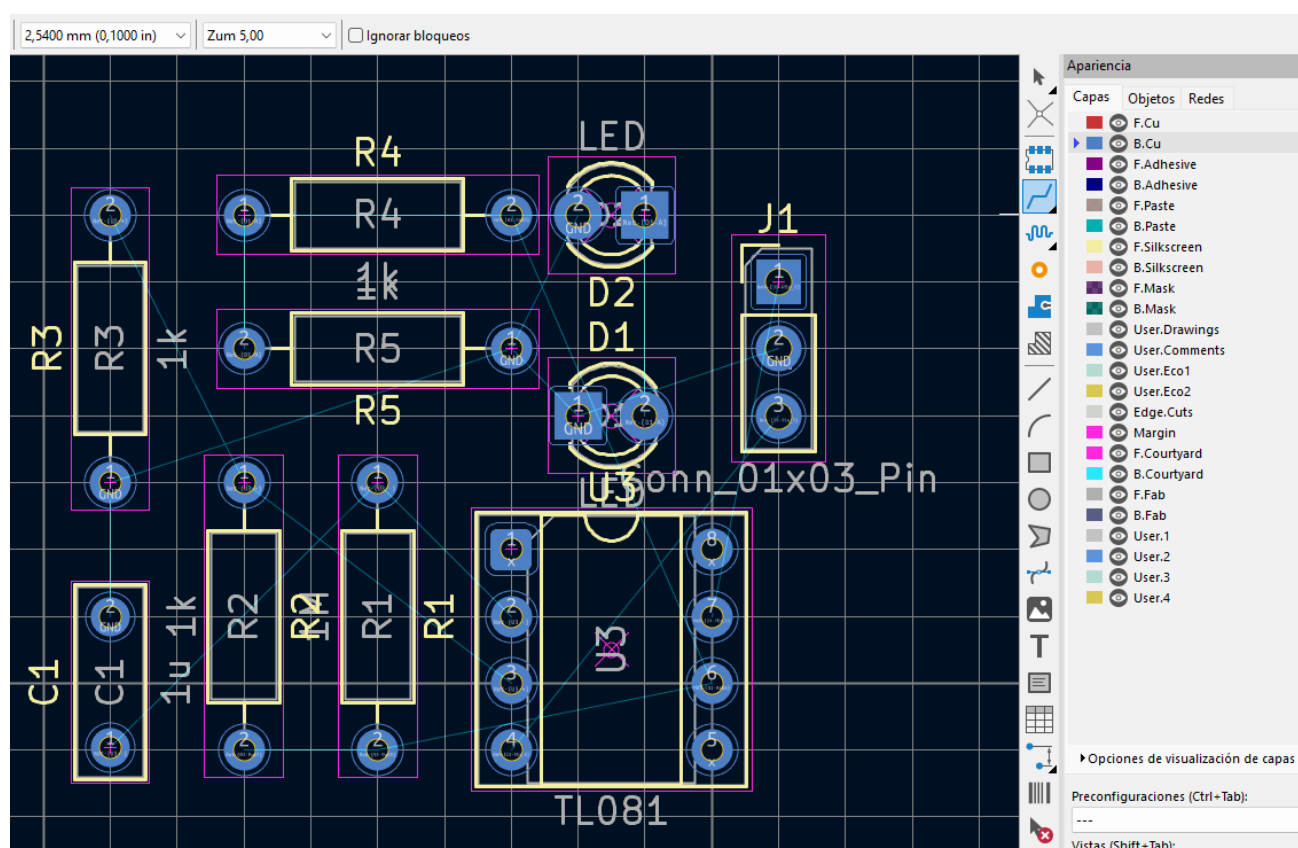


Figura 6.1: Editor de placas en KiCad con la capa B.Cu seleccionada, de modo que las pistas que se tracen se dibujarán sobre la capa posterior

El diseñador deberá trazar pistas tanto en la capa delantera (F.Cu) como en la trasera (B.Cu), pudiendo de este modo cruzar pistas entre sí, siempre que se haga en capas diferentes. De todos modos, sigue siendo fundamental respetar las prácticas que se describieron en el capítulo 4, concretamente en materia de separación entre pistas paralelas, así como entre pistas y pads que no estén conectados a esta.

La figura 6.2 muestra un ejemplo de cómo se podrían conectar los componentes en la figura 6.1 utilizando para ello tanto la capa delantera como la trasera. Nótese cómo se cruzan las pistas rojas y azules en diferentes zonas de la placa, así el cómo la superficie total de la placa es menor, dado que no es necesario trazar tantas pistas que rodeen otros componentes. En particular, la figura 6.2 debe compararse con la figura 4.15, donde se

implementa el mismo circuito, pero con la limitación de usar una sola capa, lo cual implica tener que trazar más pistas y de mayor longitud.

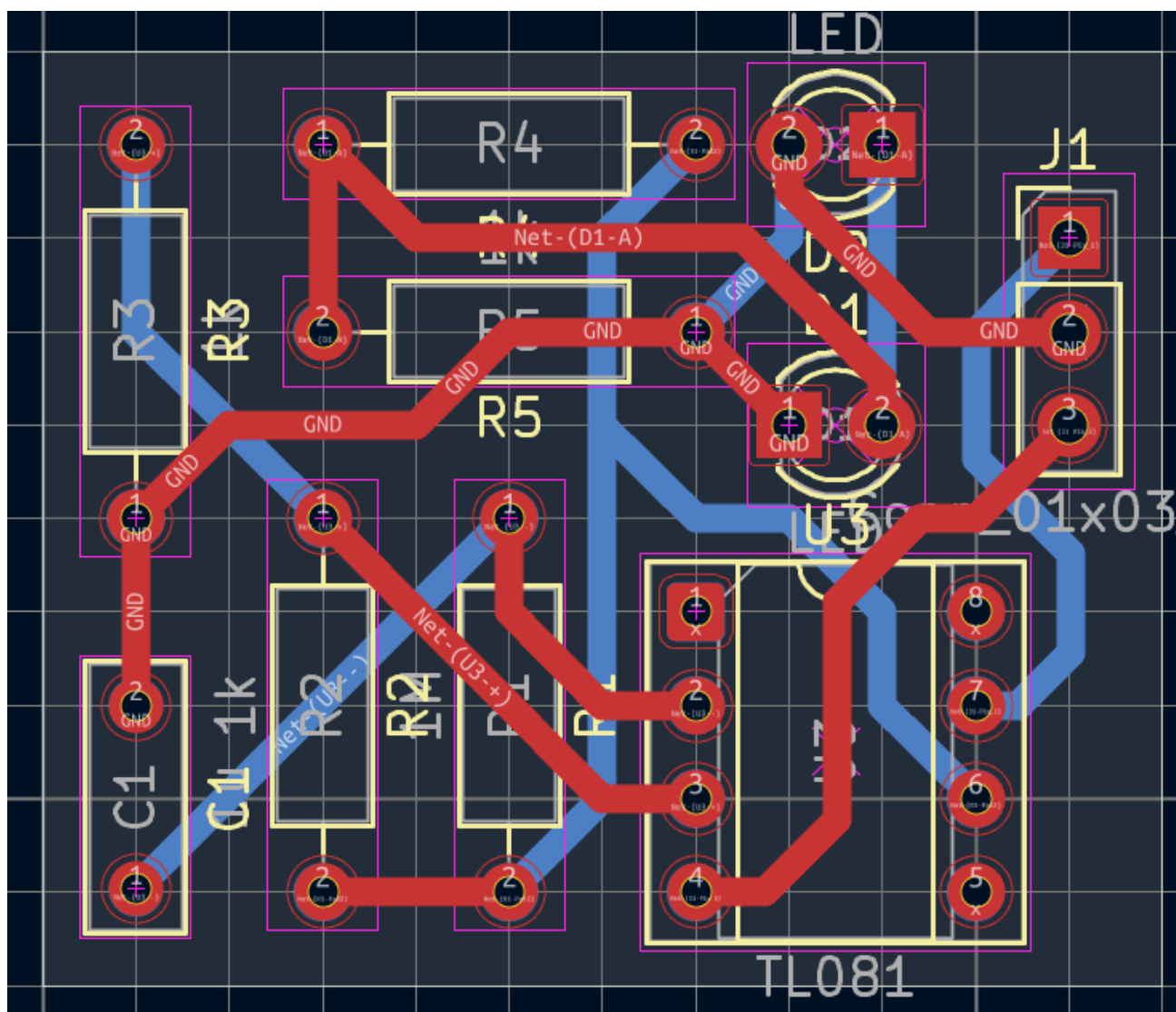


Figura 6.2: Implementación del circuito de la figura 3.6, utilizando también la capa posterior de la placa para trazar pistas (color azul, capa B.Cu)

El aspecto más importante es la reducción del tamaño necesario para implementar la placa. Específicamente, la placa que utiliza dos capas tiene unas dimensiones de 12x10 recuadros ($30.48 \times 25.40 \text{ mm} = 774.192 \text{ mm}^2$), mientras que la placa que solo aprovechaba la capa frontal tenía unas dimensiones de 16x17 recuadros ($40.64 \times 43.18 \text{ mm} = 1754.835 \text{ mm}^2$). Esto supone una reducción de tamaño de aproximadamente el 56% con respecto a la placa de una sola capa. Reducir el tamaño de una placa puede tener implicaciones muy importantes, sobre todo a nivel económico, ya que la mayoría de fabricantes cobran lo mismo por una placa de una capa que de dos. Asimismo, al tener menor superficie, son también más baratas.

Nota: Es posible añadir vías adicionales en cualquier punto de la placa si se desea cruzar las pistas de forma más específica. Esto se puede hacer mediante el botón Colocar vías, a

la derecha del editor de placas. Se recuerda que una vía es un agujero físico en la placa que conecta todas las capas, lo cual abre la posibilidad al diseñador a conectar cualquier nodo a dicha vía. Por defecto, todos los pads THT contienen una vía.

6.2. Planos de alimentación

Además de utilizar ambas superficies exteriores de la placa, es posible definir planos intermedios que implementen conexiones adicionales entre componentes, lo cual permitiría aumentar aún más si cabe la densidad de componentes de la placa. En particular, es habitual usar capas interiores para definir planos de alimentación. Un plano de alimentación consiste en una lámina de cobre que cubre toda la placa, con agujeros alrededor de cada pad que no está conectado con él y sin agujero alrededor de los pads que sí están conectados.

Esto es habitual cuando se tienen múltiples pads que están conectados, como por ejemplo los nodos que van a masa o a una cierta tensión de alimentación. Tal y como se ha podido apreciar en los diferentes ejemplos y ejercicios, aquellos pads que van todos ellos a masa requieren de numerosas pistas que los conecten. Si bien el uso de dos capas permite simplificar dichas conexiones, también es posible definir una capa intermedia cuya única función sea conectar todos los pads que van a masa. Esto consiste en un plano de cobre que está aislado de todos los pads excepto de los que van a masa.

Si se desean definir capas intermedias (interiores) en una placa, esto debe hacerse mediante el menú Configuración de la placa (figura 4.7), dentro del grupo de opciones Apilado de la placa, entrando en la opción Apilado físico. En dicha ventana, en la esquina superior izquierda, se puede definir el número de capas de cobre que se desean implementar, las cuáles siempre son un múltiplo de dos, dado que se fabrican apilando placas una sobre otra y cada placa tiene dos lados. La figura 6.3 muestra la ventana Configuración de la placa con el menú Apilado físico seleccionado, desplegando la opción de seleccionar el número de capas de cobre. En este ejemplo, se definirán 4 capas para implementar el mismo circuito del apartado anterior.

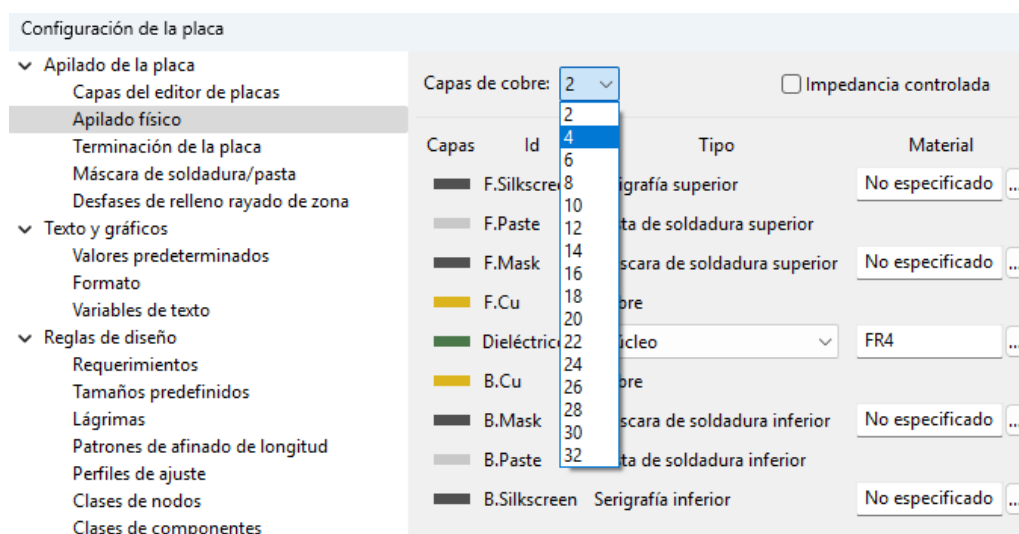


Figura 6.3: Selección del número de capas de cobre a implementar en la ventana Configuración de la placa

Una vez se pulsa el botón Aceptar, aparecerán nuevas capas en la parte derecha de la pantalla. En particular, si se eligen 4 capas de cobre, aparecerán dos capas nuevas: In1.Cu e In2.Cu, que se corresponden con dos capas interiores que se pueden utilizar. La figura 6.4 muestra el aspecto que tiene la lista de capas a la derecha del editor de placas tras definir el número de capas de cobre en 4, apareciendo las dos capas anteriormente mencionadas.

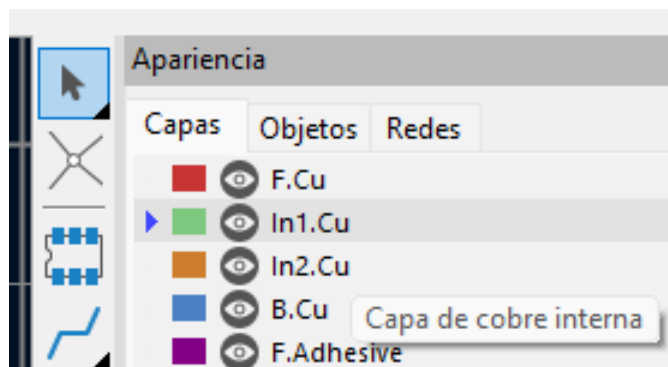


Figura 6.4: Capas por defecto del editor de placas tras definirse una placa de 4 capas, destacando la aparición de las capas intermedias In1.Cu e In2.Cu

Si bien es posible trabajar con dichas capas de modo similar a las capas exteriores, es mejor práctica utilizarlas para definir planos de alimentación y de masa. Esto es debido principalmente a que son capas a las que no se puede acceder físicamente, de modo que es imposible manipular nada una vez se tiene la placa física en el laboratorio. Asimismo, es buena práctica ya que reduce la impedancia en las zonas de alimentación, facilitando la distribución de potencia en la placa, reduciendo posibles ruidos y posibles problemas de calentamiento, ya que un plano siempre tendrá mucha menos impedancia que una pista. Finalmente, los planos de masa también ejercen como blindaje electromagnético entre las capas externas, reduciendo la interferencia entre las pistas de señal de ambas caras.

Para ejemplificar el diseño de una PCB usando planos de alimentación, se usará el mismo ejemplo del apartado anterior, con la misma distribución de componentes de la figura 6.1. En primer lugar, se definirá un plano de masa, el cual se ubicará en la capa In1.Cu.

Antes de definir un plano, es buena práctica definir los bordes físicos de la placa, dado que ocupa la totalidad de la superficie de la placa y sus dimensiones son las mismas. Si bien hasta ahora definir los bordes físicos en la capa Edge.Cuts era lo último que se hacía, dado que el uso de varias capas reduce notablemente la necesidad de trazar pistas que rodeen los componentes por el exterior, no hay problema en definir los bordes físicos en este punto. Si bien, por supuesto, pueden tener que modificarse más adelante, pero debe recordarse que los planos también deberán volver a trazarse.

Una vez trazado el contorno físico en la capa Edge.Cuts, puede procederse a la definición de un plano interior. Esto se hace primero seleccionando la capa interior donde se va a trazar un plano, tras lo cual se debe elegir la opción Dibujar zonas rellenas, tal y como se muestra en la figura 6.5.

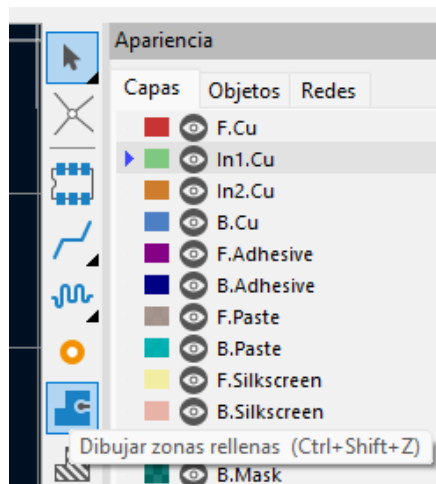


Figura 6.5: Selección de la opción Dibujar zonas rellenas, con el objetivo de trazar un plano de masa en la capa In1.Cu, la cual se encuentra seleccionada

El siguiente paso es hacer clic en una de las esquinas de la placa. Al hacerlo, se abrirá una ventana como la que se muestra en la figura 6.6. En ella, debe definirse el nodo al que se va a conectar el plano, lo cual se hace en el desplegable Nombre de red. En este caso, se debe seleccionar el nodo GND (Ground). Si se desea implementar un plano que conecte todos los pads de otro nodo, debe verificarse el nombre de dicho nodo antes de definir el plano. Asimismo, dentro de las pestañas que aparecen en la ventana, es buena práctica acudir a la pestaña Márgenes & conexiones de pad, ya que permite definir el modo en que el plano se va a conectar a los pads pertinentes. Por lo general, en la pestaña Conexiones de pad, se debe escoger la opción Sólida.

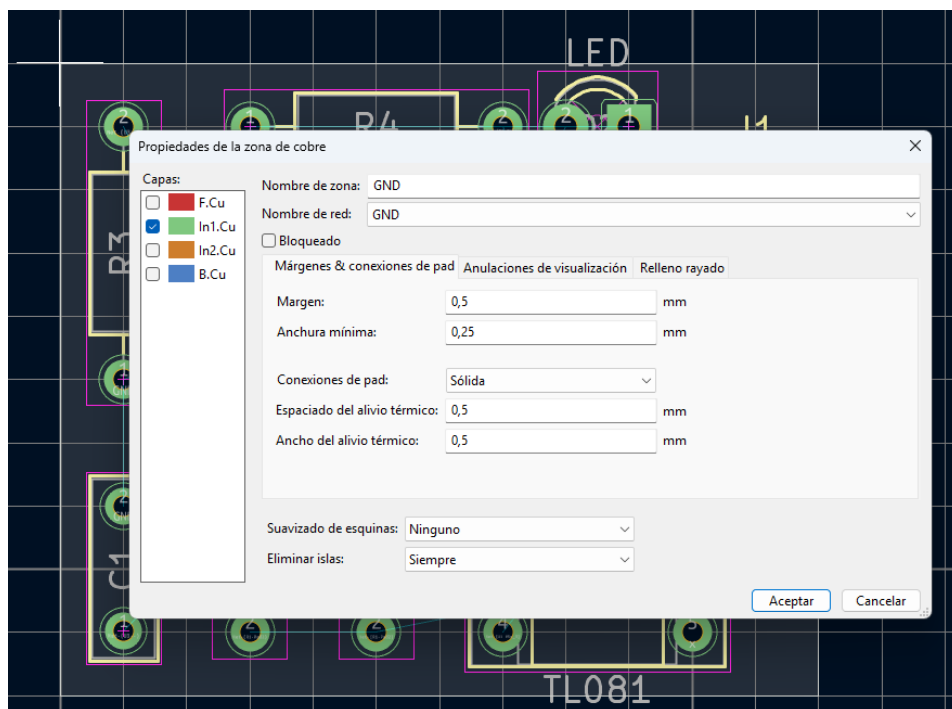


Figura 6.6: Ventana de propiedades de una zona de cobre. Esta aparece cuando se desea definir un plano interior, tras hacer clic en una de las esquinas del plano

Una vez se pulsa el botón Aceptar, debe trazarse el rectángulo donde se va a implementar el plano. Para ello, simplemente hay que hacer clic en los vértices restantes del rectángulo, siguiendo bien sentido horario o antihorario, debiendo terminar haciendo clic en el vértice donde se empezó a trazar el plano. Si se hace bien, el editor de placas debería mostrar un aspecto como el que se ilustra en la figura 6.7, con un rectángulo exterior de color verde que incluye un patrón de líneas en diagonal en el interior de sus bordes.

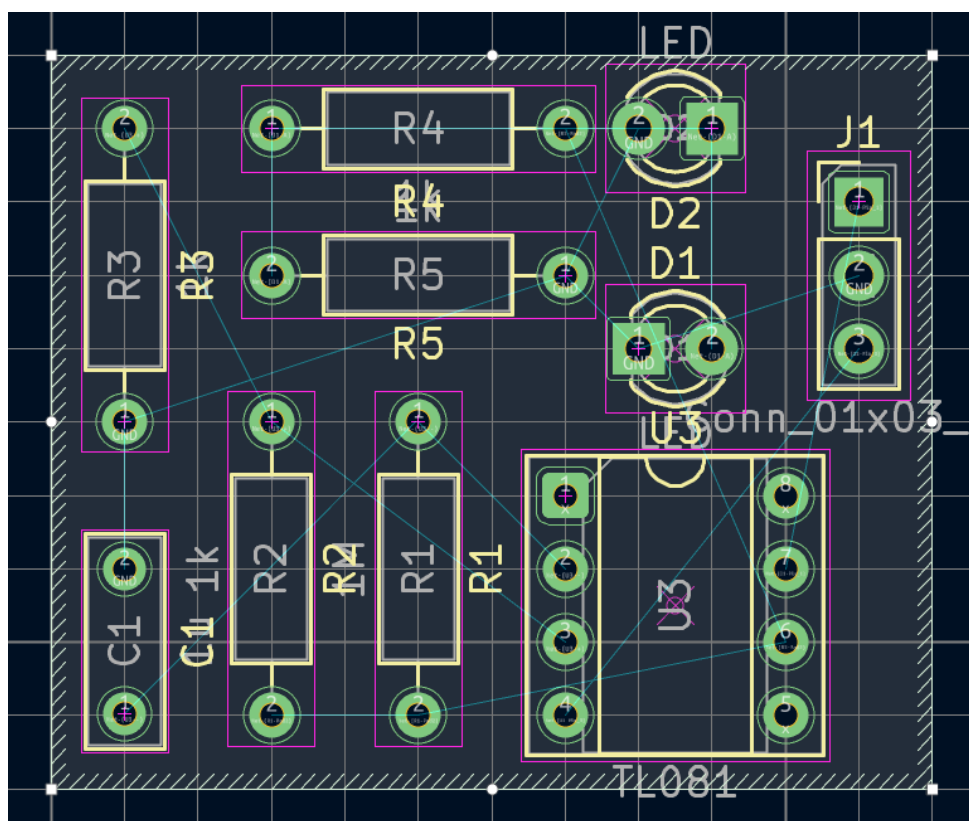


Figura 6.7: Definición de un área para trazar un plano interior en una PCB (sin haber trazado dicho plano todavía)

Por último, debe hacerse clic derecho sobre cualquier punto de la placa (aún teniendo seleccionada la capa donde se desea trazar el plano), entrar en la opción Zonas y clicar sobre Rellenar todas las zonas. Esto creará una superficie de cobre que conectará únicamente los pads conectados al nodo que se ha definido, en este caso el de masa. La figura 6.8 muestra el aspecto de la placa tras trazar el plano de masa. Nótese que esto pinta de verde toda la superficie de la placa, recordando que se trata solamente de un plano interior, pero que está eléctricamente aislado de todos los pads excepto de aquellos que sí están conectados a masa, de modo que todos ellos quedan unidos de forma automática. Todos los demás pads quedan aislados de dicho plano, ya que se ubica un anillo circular en torno a cada uno de ellos donde no se rellena con cobre, efectivamente aislando eléctricamente dichos pads del plano.

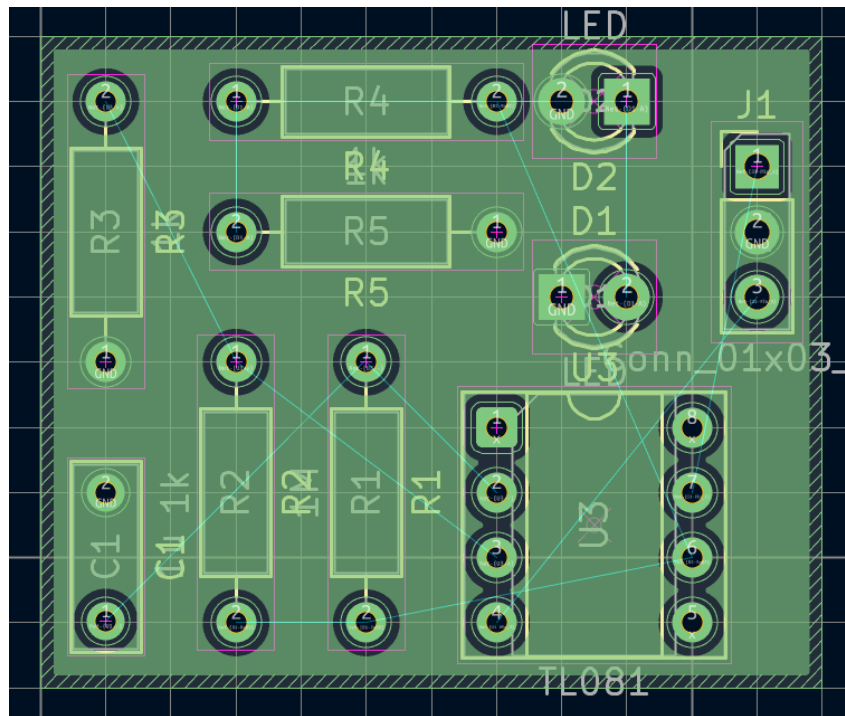


Figura 6.8: Definición de un plano de masa sobre la placa que implementa el circuito de la figura 3.6

Importante: Una vez se ha trazado un plano, siempre que el usuario mueve una huella, el plano debe volver a rellenarse.

A continuación, se definirá un plano adicional para suministrar la alimentación de +15 V al TL081. Si bien, en este ejemplo, no sería del todo necesario, ya que solo estaría ahorrando una única pista al diseño, es importante ilustrar cómo proceder cuando el nodo que se quiere implementar en un plano no es el de masa, ya que debe identificarse el nombre de dicho nodo y asociarse correctamente al plano.

En primer lugar, debe identificarse el nombre del nodo. Esto debe hacerse bien abriendo la ventana de propiedades de cualquier pad conectado al nodo o bien haciendo zoom hacia dicho nodo, ya que su nombre se muestra en la pantalla. En este caso, el pin 1 de la tira de pines está conectado a la alimentación de +15 V. Haciendo zoom hacia dicho pin, tal y como se ilustra en la figura 6.9, se puede apreciar que su nombre interno es Net-(J1-Pin_1).

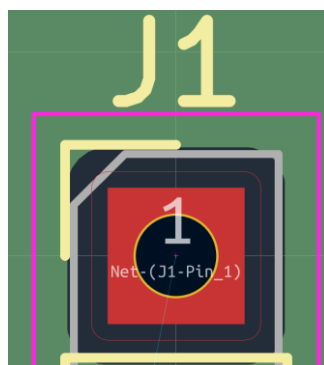


Figura 6.9: Detalle del pin 1 de la tira de pines, donde se ve el nombre del nodo, Net-(J1-Pin_1)

Una vez identificado el nombre del nodo, el procedimiento para trazar el plano es exactamente el mismo que para un plano de masa. La única diferencia es que, en la ventana de Propiedades de la zona de cobre (figura 6.6), en el desplegable Nombre de red, debe elegirse el nombre del nodo que se desea implementar.

Tras definirse ambos planos, se procede a trazar las pistas restantes, usando tanto la capa frontal como la trasera. La figura 6.10 muestra una posible solución al trazado de pistas, donde se puede notar que el número de pistas es aún menor en comparación con la figura 6.2, donde la misma placa se implementa sin el uso de capas intermedias.

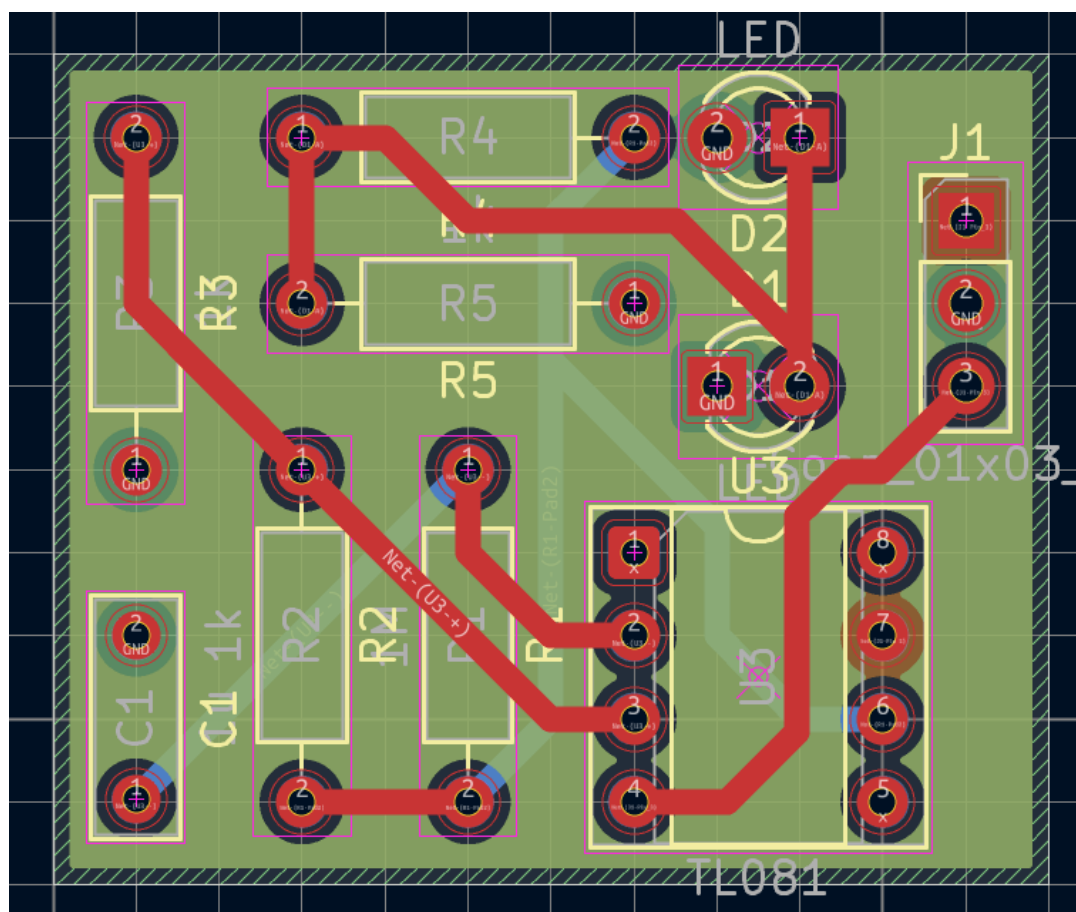


Figura 6.10: Placa que implementa el circuito de la figura 3.6, trazando pistas tanto por cara frontal como por la trasera y usando dos planos intermedios; uno de masa y otro para la alimentación de +15V

Ejercicio: Se pide diseñar una PCB que implemente el circuito de la figura 6.11. Se trata de un circuito digital basado en un decodificador 74LS137 con salidas activas a nivel bajo y en puertas lógicas NAND (74LS26). Se recomienda encarecidamente el uso de dos capas para el diseño de esta placa, así como de planos intermedios si es posible, en particular un plano de masa y otro para la alimentación de 5 V, común para ambos circuitos integrados. Se recuerda que el componente 74LS26 es multi-símbolo.

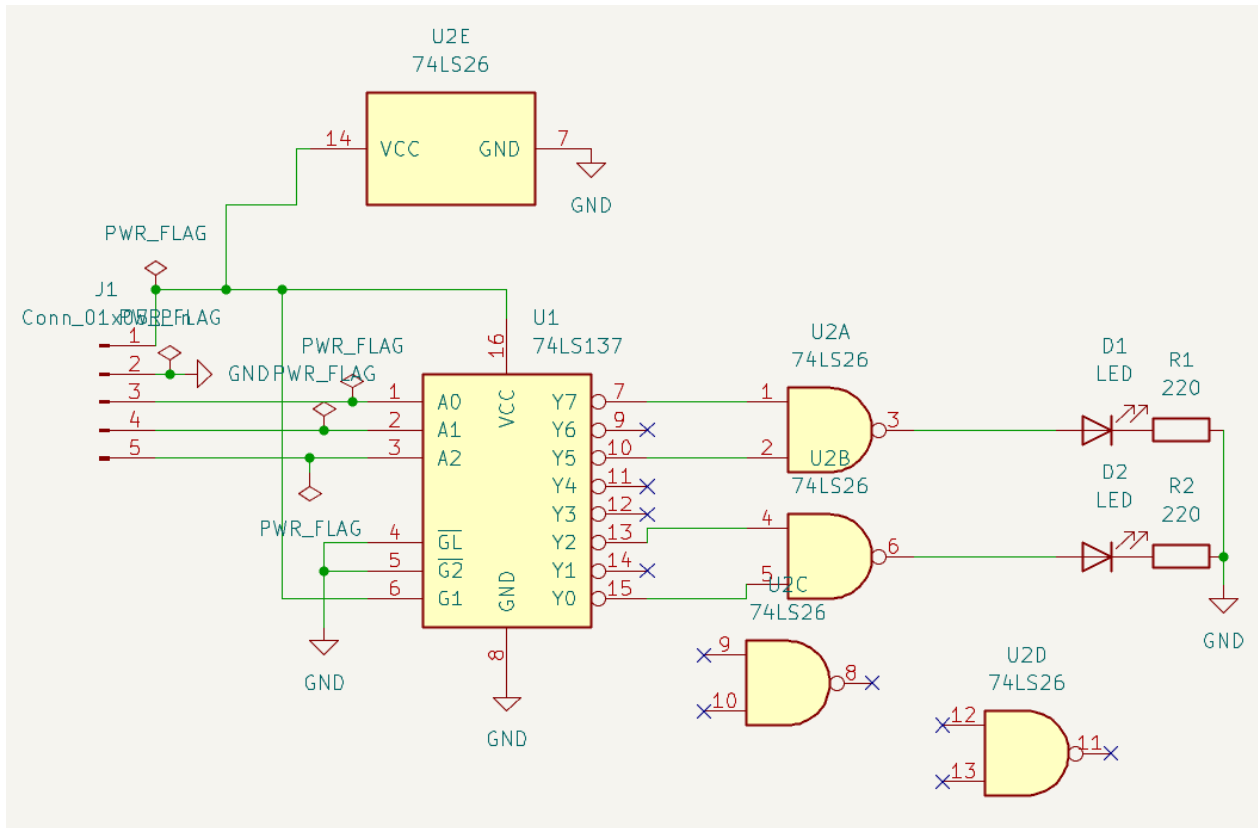


Figura 6.11: Circuito decodificador con salidas activas a nivel bajo a implementar con una PCB que cuente con varias capas

Ejercicio: Se pide diseñar una PCB que implemente el circuito de la figura 6.12. Se trata de un contador BCD basado en biestables JK que muestra su resultado en un display de 7 segmentos de ánodo común. Se recomienda encarecidamente implementar una placa que use múltiples capas, incluyendo planos de alimentación y de masa. Los componentes a utilizar son los siguientes, siendo todos ellos circuitos integrados que se implementarán mediante sockets (zócalos) donde irán insertados:

- Biestables JK: CD4027
- Puertas lógicas: 74LS08
- Conversor BCD a 7 segmentos: 74LS47
- Pack de 8 resistencias: R_Pack08_Split
- Display de 7 segmentos: HDSP-7501

Advertencia: Todos esos componentes son multi-símbolo, incluyendo el pack de resistencias, que consiste en un circuito integrado.

La placa debe contar con una tira de cuatro pines para recibir una alimentación de 5 V DC, así como una señal de reloj que puede ser obtenida mediante un generador de funciones. Dos de los pines deben ser masas, para poder recibir la alimentación de dos equipos externos diferentes.

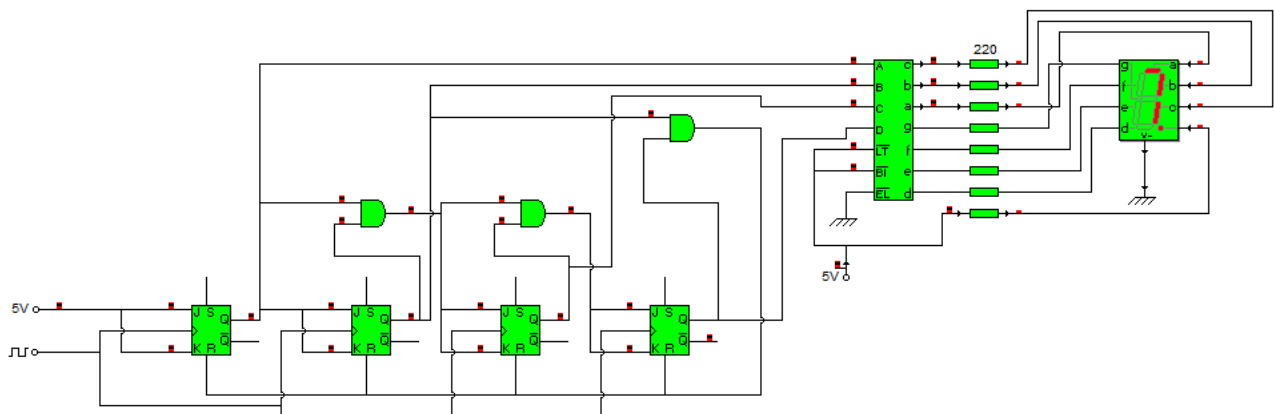


Figura 6.12: Circuito contador BCD con display de 7 segmentos a implementar con una PCB que cuente con varias capas

7. Generación de ficheros de fabricación

En base a los cuatro capítulos anteriores, el alumno ya debería de tener los conocimientos y competencias para diseñar sus propias PCBs de forma autónoma. El siguiente paso sería fabricar físicamente dichas PCBs. Esto puede hacerse generalmente de dos maneras: de forma artesanal en el laboratorio o bien mediante encargo a una empresa especializada. Hoy día, la segunda opción es generalmente mejor, dado lo fácil que resulta y lo barato que sale económicamente. Si bien es posible fabricar una PCB en el laboratorio, se requieren medios específicos como una serie de productos químicos, una impresora de rayos UV y una campaña extractora de gases. Aparte de que el proceso es más farragoso y potencialmente peligroso si no se siguen las medidas de seguridad adecuadas. Por lo tanto, en este capítulo se detallará únicamente el procedimiento a seguir para encargar la fabricación de PCBs a empresas especializadas.

7.1. Obtención y verificación de ficheros Gerber y de taladrado

Para encargar la fabricación de una PCB, deben obtenerse una serie de ficheros que le definan al fabricante las características que tiene la placa. A través de KiCad, es un proceso muy sencillo. Una vez se tiene la placa correctamente diseñada (no da errores ni en el esquemático ni en el editor de placas), dentro del editor de placas, en la barra superior, se accede a Archivo -> Trazar. Al hacerlo, se abre una ventana como la que se muestra en la figura 7.1. En principio, no hay que modificar ninguna de las opciones que aparecen configuradas por defecto, donde se indican las capas del proyecto que se van a exportar. Para generar los ficheros, se utilizan los botones de la parte inferior de la ventana. Abajo a la izquierda, el botón Ejecutar DRC nos recuerda la importancia de verificar que el diseño es correcto, ya que nos brinda un atajo hacia el verificador de reglas de diseño, idéntico al que se mostró en la figura 4.13. Si todo está bien, se deben pulsar los botones Generar archivos de taladrado y Trazar, en la esquina inferior derecha. Es importante pulsar ambos botones; generalmente primero el de ficheros de taladrado y luego el de trazar, ya que es fácil olvidarse de generar los ficheros de taladrado.

Si todo sale bien, no debería saltar ningún error ni advertencia, y el programa debe haber creado los ficheros de fabricación Gerber y de taladrado en la propia carpeta del proyecto.

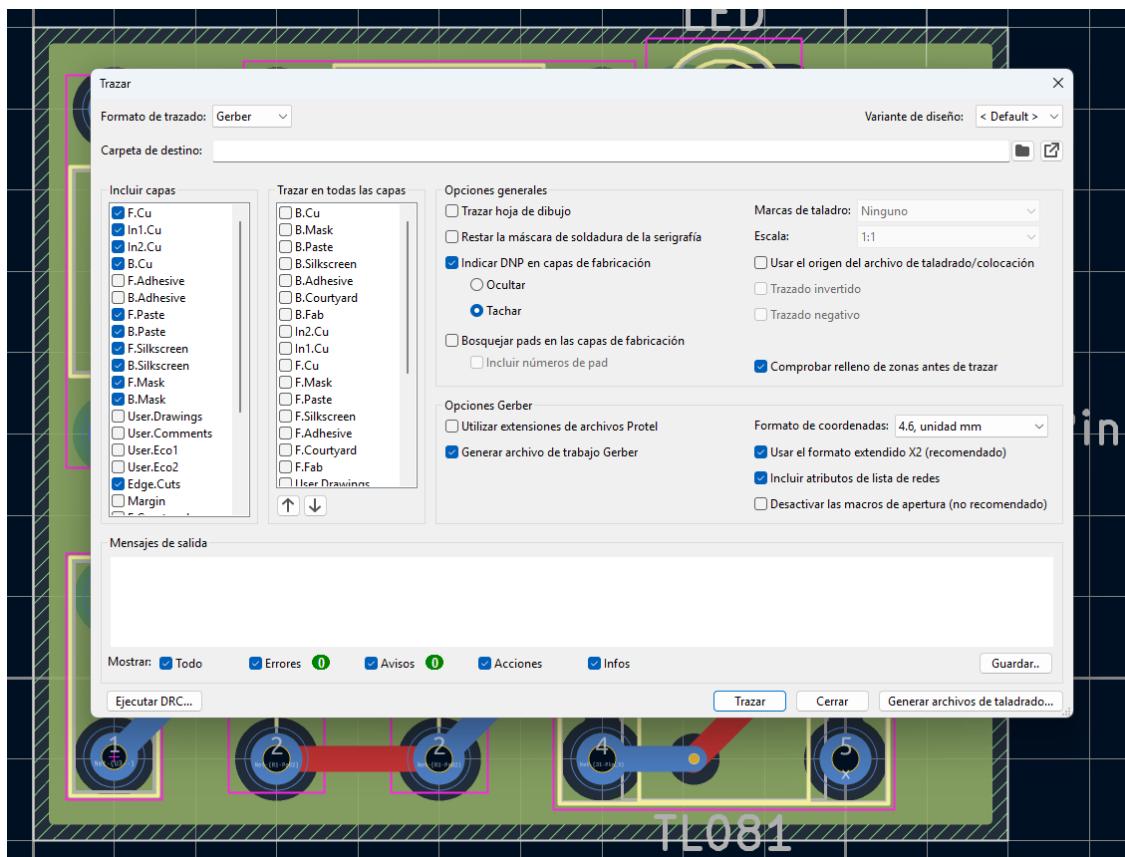


Figura 7.1: Ventana Trazar en el editor de placas de KiCad, donde se generan los ficheros de fabricación Gerber y de taladrado

Antes de proseguir, es buena práctica verificar que los ficheros han sido generados correctamente. Para ello, en la ventana principal de KiCad (figura 3.1), se debe acceder al Visor Gerber. Este permite visualizar los ficheros de fabricación y de taladrado. Dentro del Visor Gerber, se debe acceder a Archivo -> Abrir archivo(s) autodetectado(s) y seleccionar todos los ficheros GBR y DRL, tal y como se muestra en la figura 7.2. Nótese que el fichero con la extensión .GBRJOB no debe abrirse de este modo, debiendo omitirse en la selección. Si todo está bien, el visor debería mostrar una imagen similar a la que se ilustra en la figura 7.3, destacando los puntos rojos en el centro de los pads, los cuales representan los taladrados que deben hacerse en dichos puntos de la placa (donde se insertan los componentes THT).

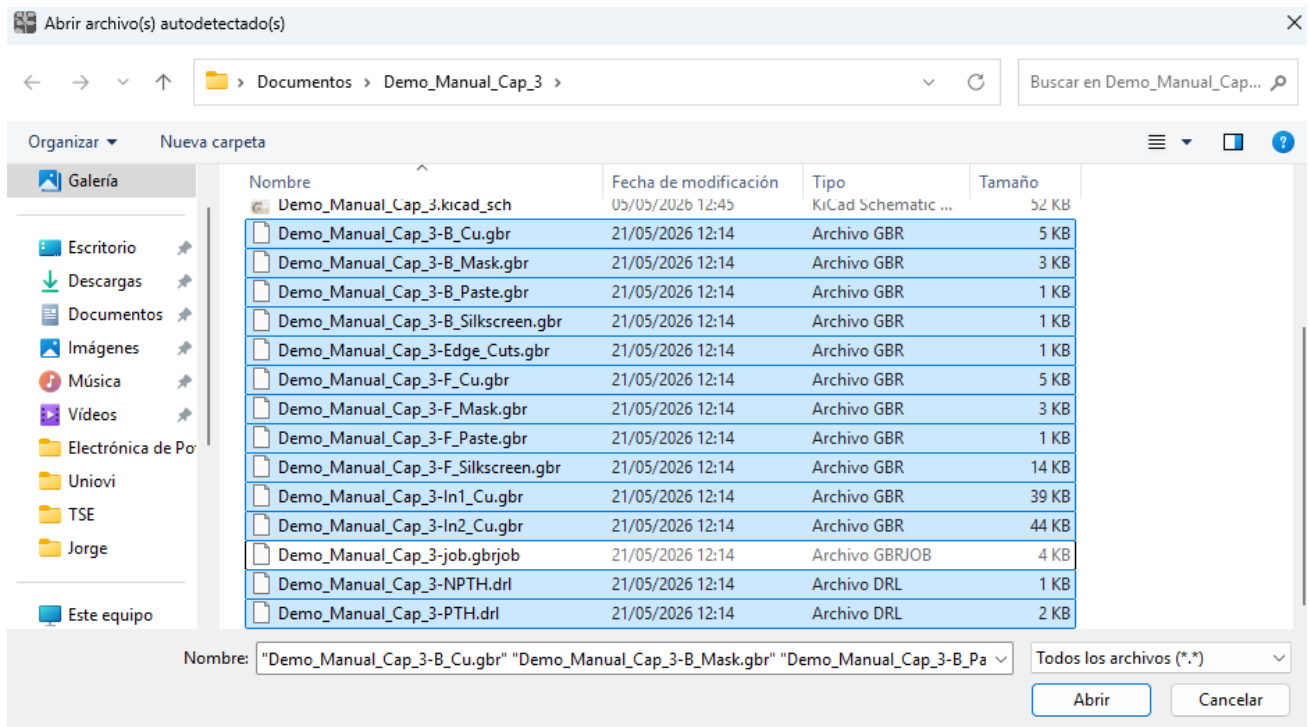


Figura 7.2: Selección de los ficheros GBR y DRL en el visor Gerber

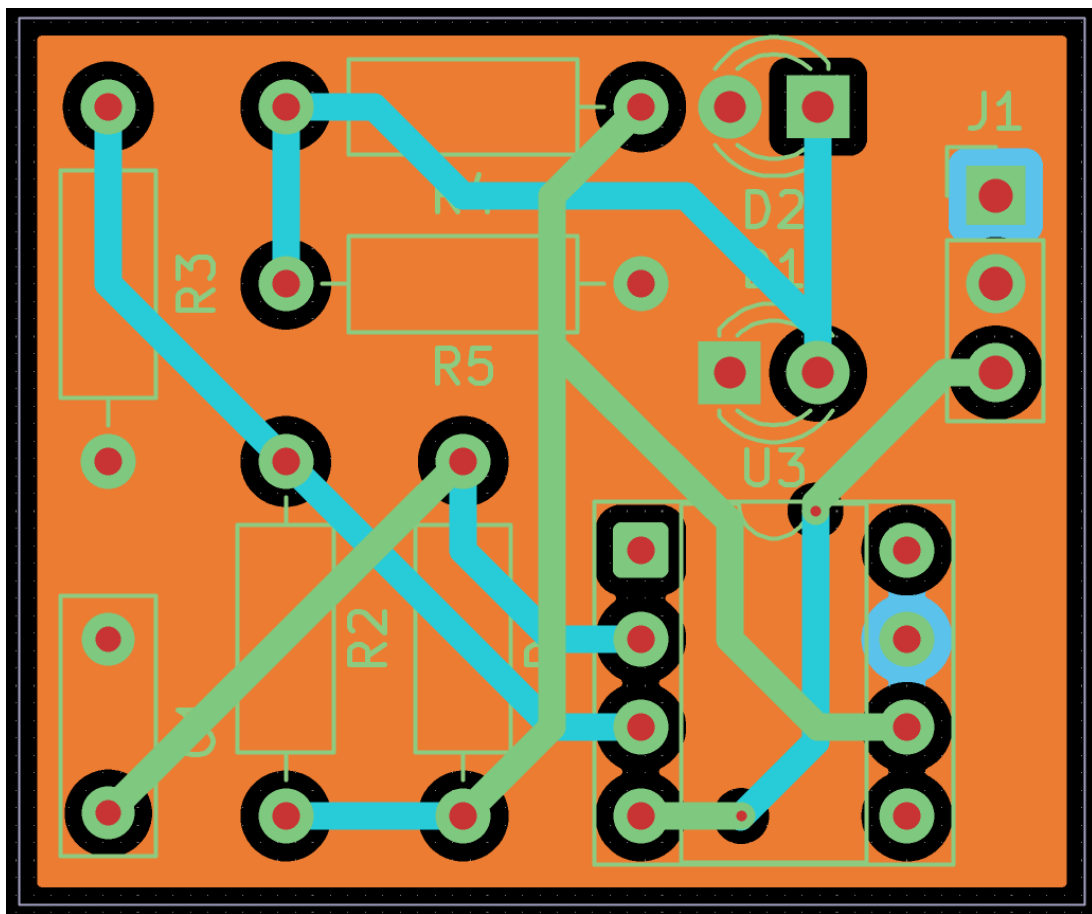


Figura 7.3: Ficheros Gerber y de taladrado para la placa del capítulo 6, previsualizados en el visor Gerber de KiCad

7.2. La lista de materiales (BOM)

Una vez se tienen los ficheros Gerber y de taladrado, el siguiente paso es confeccionar una lista con todos los componentes que son necesarios para fabricar la PCB. Dicha tabla, denominada lista de materiales (en inglés Bill of Materials -BOM-) es imprescindible para que la persona encargada de obtener los componentes pueda hacerlo de modo claro e inequívoco, así como para tener una asociación clara de cada componente con su identificador, generalmente serigrafiado sobre la placa. De este modo, no debe haber ninguna duda a la hora de colocar y soldar los componentes en sus respectivos sitios. Dicho de otro modo, la BOM es la referencia fundamental para el ensamblaje de los componentes en la PCB.

La BOM contiene información como la cantidad de componentes de cada tipo que son necesarios, su huella y sus dimensiones. Asimismo, contiene el identificador que se asocia al componente por parte del distribuidor donde se va a comprar. Algunos de los principales distribuidores de componentes electrónicos son Farnell [6], Mouser [7] o RS [8]. Por comodidad y fiabilidad, es buena práctica elegir un único distribuidor para comprar todos los componentes de un mismo proyecto de fabricación de una PCB. Deben localizarse todos los componentes específicos que se van a implementar en la PCB y ubicar todas las referencias online de dichos componentes en la BOM.

Finalmente, y no por ello menos importante, la BOM contiene el cálculo del coste total de los componentes. En función del número total de placas que se van a fabricar, la BOM debe incluir tanto el coste unitario de cada componente como el coste total del lote que se debe comprar.

De modo general, es posible redactar una BOM mediante una hoja de Excel, recopilando la información de cada componente de forma organizada y estructurada. Si bien no existe un estándar para redactar una BOM, generalmente esta debe incluir los siguientes campos como mínimo:

- Identificador del componente (serigrafiado en la capa frontal)
- Cantidad requerida del componente
- Huella del componente (en las bibliotecas por defecto de KiCad)
- Identificador del fabricante (extraer de Farnell, Mouser, RS... el que se elija)
- Coste por unidad
- Coste total (coste por unidad * cantidad requerida * número de placas a fabricar)
- Observaciones adicionales (cualquier detalle adicional que se deba saber)

La tabla 7.1 muestra un ejemplo de una BOM para fabricar la PCB de la figura 6.10, utilizando para ello componentes que se pueden comprar a través del suministrador Farnell España. En dicho ejemplo, se realiza el cálculo para la fabricación de 50 unidades de la PCB.

Identificador	Huella	Cant.	Valor	Código Farnell	/Ud.	Uds	Coste total	Observaciones
C1	C_Rect_L7.2mm_W2.5mm_P5.00mm	1	1uF	2990816	0.35 €	50	17.50 €	
D1, D2	LED_D3.0mm	2	LED	2112100	0.14 €	100	14.00 €	
J1	PinHeader_1x03_P2.54mm_Vertical	1		1593416	0.12 €	25	3.00 €	El componente contiene 8 pines. Cada placa requiere 3, ergo cada tira vale para 2 placas.
R1	R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal	1	1M	3619362	0.172 €	50	8.60 €	Cinta de resistencias
R2, R3, R4, R5	R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal	4	1k	3619358	0.179 €	200	35.80 €	Cinta de resistencias
U3	DIP-8_W7.62mm_Socket	1		1103844	0.163 €	50	8.15 €	Zócalo donde se inserta el TL081
TL081		1		3117808	0.438 €	50	21.90 €	Integrado que se inserta en el zócalo
					COSTE TOTAL PROYECTO		108.95 €	

Tabla 7.1: BOM para la fabricación de la placa de la figura 6.10

7.3. Encargo de fabricación de una PCB

En este punto, ya se cuenta con todo lo necesario para encargar la fabricación de la PCB. Para ello, debe elegirse el fabricante online que se considere más adecuado. Algunos de los fabricantes mejor contrastados por la comunidad son los siguientes:

- JLC PCB [9]
- PCBWay [10]
- Safe-PCB [11]

En base a las prácticas de cursos anteriores, la opción que más se recomienda es JLC PCB, dado que es el fabricante más barato y fiable. Su único inconveniente es que los tiempos de envío pueden ser largos, dado que las placas se fabrican en China. Por lo tanto, es fundamental encargar las placas con tiempo de antelación suficiente a la fecha en que se necesiten.

A continuación, se expone un ejemplo de encargo de fabricación de una PCB a través de la página JLC PCB.

En primer lugar, antes de acceder a la página, han de prepararse los ficheros Gerber y de taladrado a través de KiCad. Una vez se tengan preparados y verificados, deben comprimirse en un fichero .zip, tal y como se muestra en la figura 7.4.

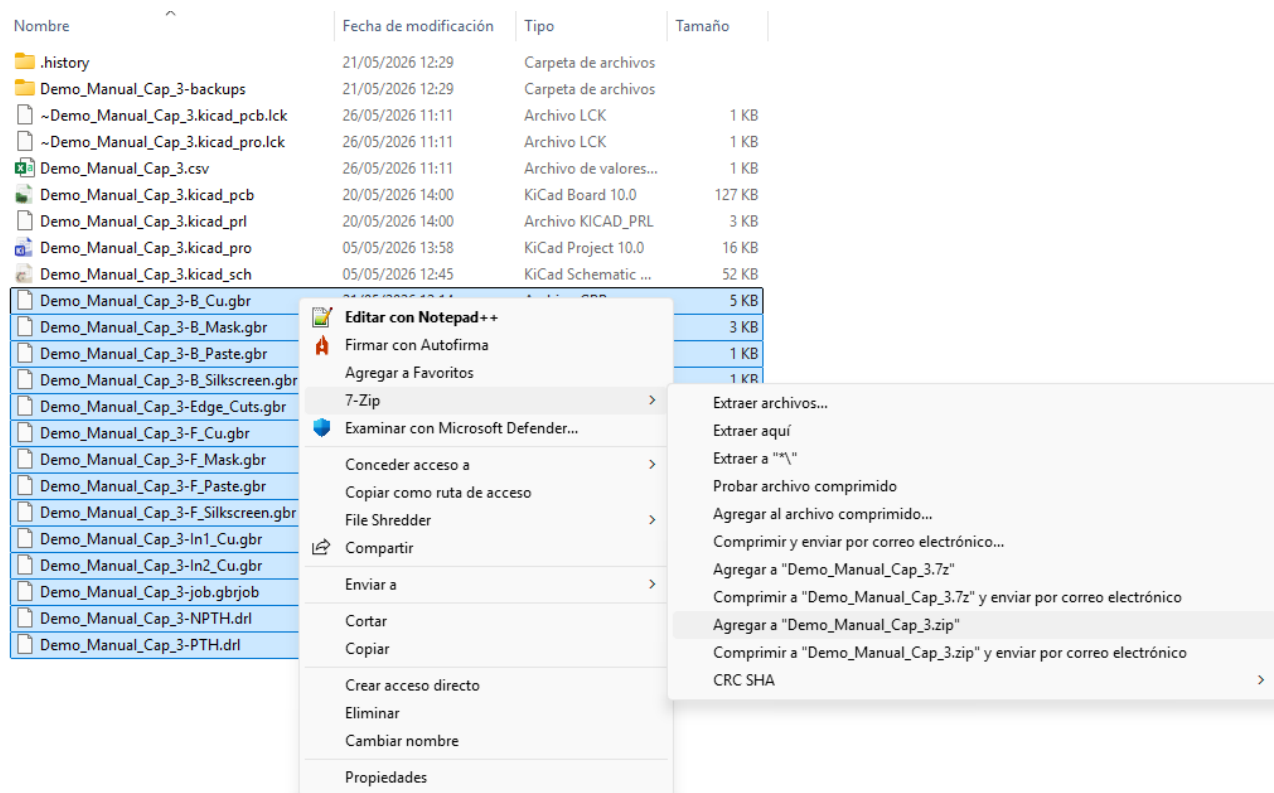
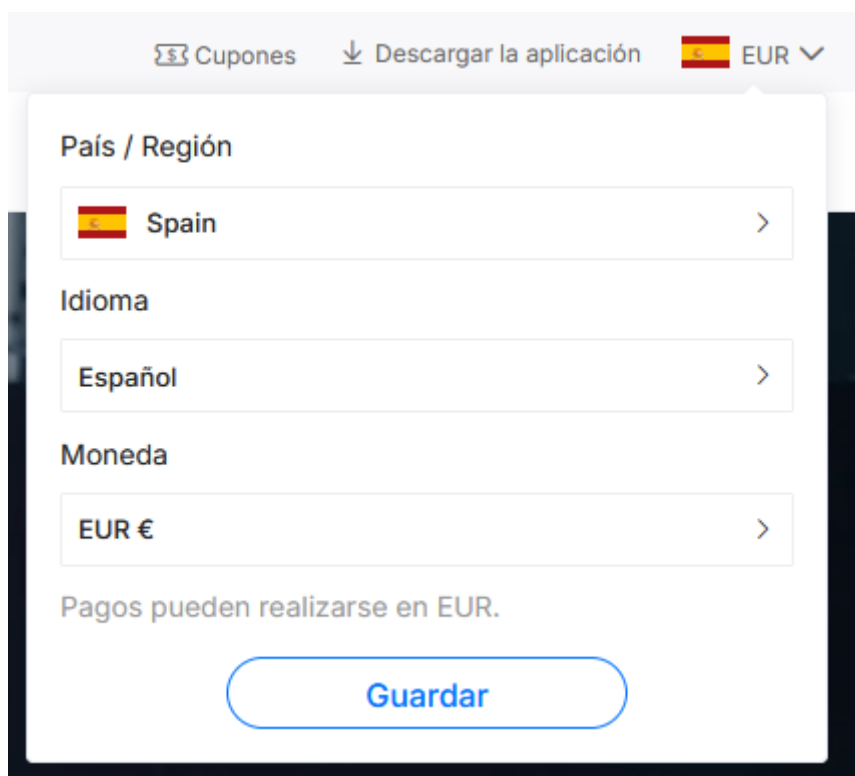


Figura 7.4: Preparación de los ficheros Gerber y de taladrado mediante compresión en un archivo .zip

En cuanto se tenga el fichero .zip preparado, es el momento de acceder a la página JLC PCB [9]. Una vez dentro, en la parte superior derecha, se debe configurar la página para que muestre los costes y los envíos a España, tal y como se muestra en la figura 7.5.



The image shows a configuration menu on the JLC PCB website. At the top, there are links for 'Cupones' (Coupons) and 'Descargar la aplicación' (Download the application), followed by a language/currency selector showing 'EUR' with a dropdown arrow. The main menu is titled 'País / Región' (Country / Region) and contains three sections: 'Idioma' (Language) and 'Moneda' (Currency). Under 'Idioma', 'Español' is selected. Under 'Moneda', 'EUR €' is selected. Below these sections, a note states 'Pagos pueden realizarse en EUR.' (Payments can be made in EUR.). At the bottom of the menu is a blue button labeled 'Guardar' (Save).

Figura 7.5: Configuración de región a España en la página de JLC PCB, arriba a la derecha

El siguiente paso es seleccionar la opción de fabricar una PCB en sustrato FR-4, usando el menú superior. Se accede a Productos, Servicios PCB y PCBs FR-4, tal y como se muestra en la figura 7.6. En la siguiente ventana, se pueden introducir las características fundamentales de la PCB, tales como el número de capas de cobre que posee y sus dimensiones. No obstante, dichos valores podrán modificarse más adelante, por lo que es suficiente con hacer click en el botón **Cotizar ahora**, el cual abre el menú de configuración de la PCB, que se muestra en la figura 7.7.



Figura 7.6: Selección de fabricación de una PCB con sustrato FR-4, en la página JLC PCB

Figura 7.7: Ventana de configuración de PCB FR-4, en la página JLC PCB

El siguiente paso es subir el fichero .zip que se ha preparado con los ficheros Gerber y de taladrado, para lo cual simplemente hay que hacer click en el botón **Añadir archivo Gerber**. Si los ficheros se han generado correctamente, la aplicación actualizará automáticamente el número de capas y las dimensiones de la placa, e incluso mostrará una previsualización del aspecto que tendrían las capas frontal y trasera. El aspecto de la página debería ser similar al que se muestra en la figura 7.8.

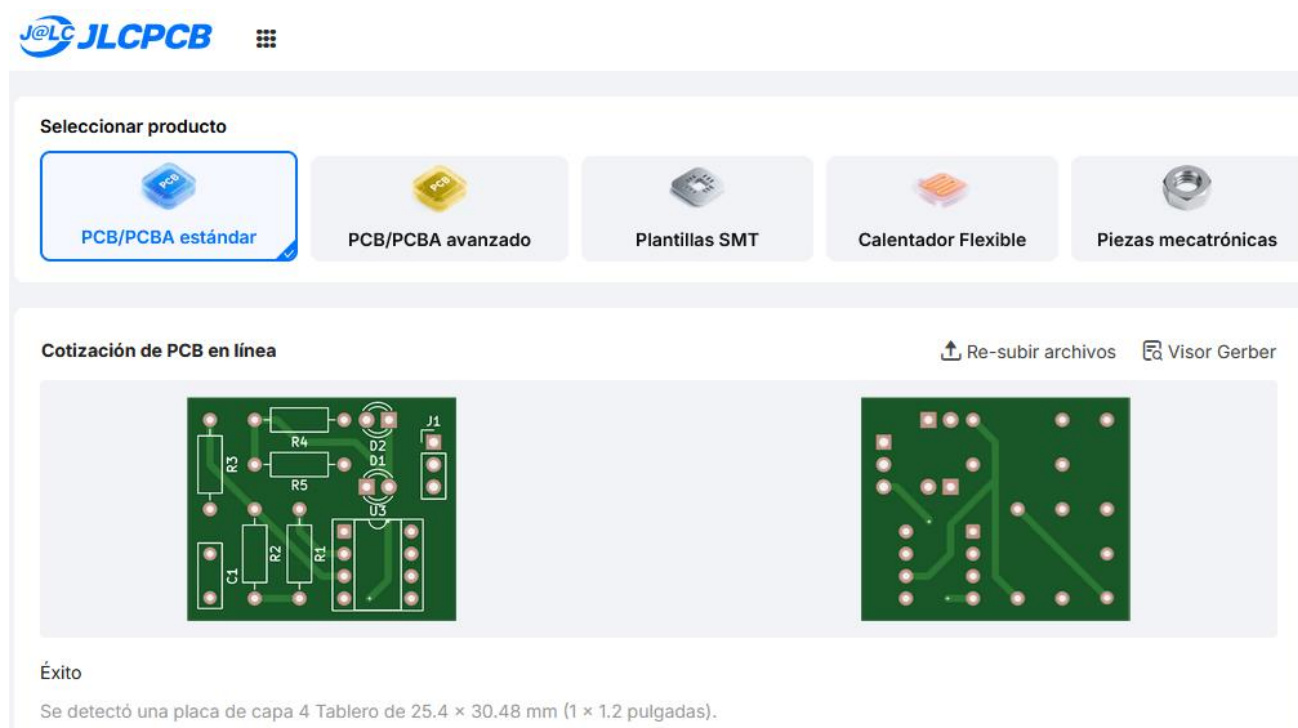


Figura 7.8: Aspecto de la página de encargo de una placa en JLC PCB tras cargar un fichero Gerber y de taladrado válido, incluyendo la previsualización del aspecto de las caras frontal y trasera de la PCB

En principio, no es necesario realizar ninguna modificación sobre el resto de parámetros que se indican en la página. Únicamente puede resultar interesante cambiar el color de la placa si se desea, pero es posible que el tiempo de fabricación sea mayor que si se mantiene el color verde por defecto, que es el color natural del sustrato FR-4. También se puede cambiar el número de unidades a encargar, pero generalmente 5 unidades, que es el valor por defecto, es suficiente para las necesidades del curso.

El último paso antes de encargar las placas es la selección del tipo de envío, para lo cual se debe desplegar la lista de opciones de envío en la parte derecha de la página, justo debajo del texto Estimado de envío, en la parte inferior derecha de la figura 7.9. Por regla general, se recomienda el uso de la opción **Global Standard Direct Line**. En primer lugar, porque es la opción más barata. Y, en segundo lugar, porque el resto de opciones, si bien son más baratas y rápidas, cabe la posibilidad de que el paquete sea retenido en aduanas, con el consecuente retraso y penalización económica. La opción recomendada tiene una fiabilidad superior al 99%, garantizando que el envío llegará en como mucho 16 días hábiles.

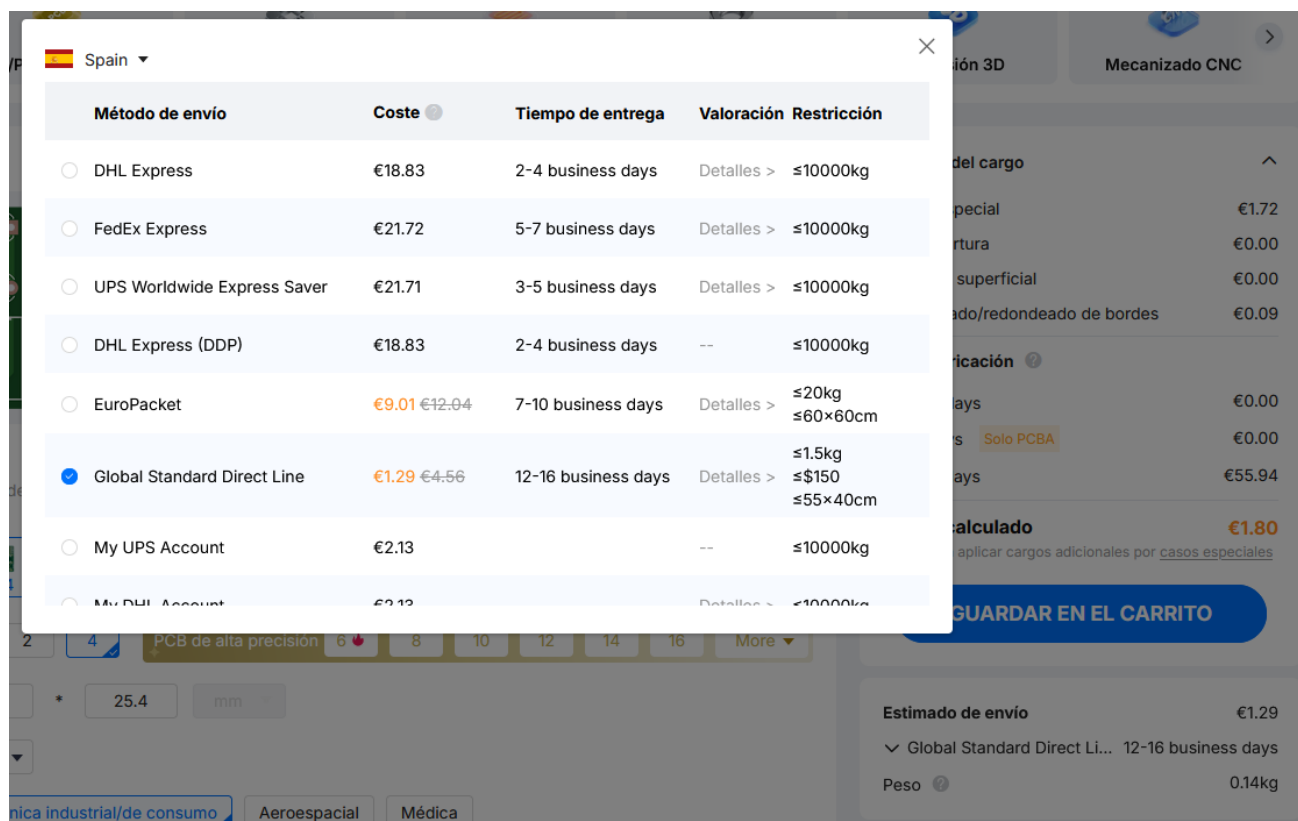


Figura 7.9: Tipos de envío en la página JLC PCB

Ejercicio: Se pide diseñar y fabricar una PCB que implemente el circuito que se muestra en la figura 7.10. Las huellas de todos los componentes deben cumplir con las indicaciones que se dan en el capítulo 5, incluyendo el uso de la huella personalizada de los potenciómetros, que se implementarán mediante el componente BOURNS 3306F. Asimismo, los amplificadores operacionales se implementarán mediante un único circuito integrado LM324. Se trata de un circuito de 16 pines, por lo que la placa contará con un zócalo DIP-16 donde irá insertado. Por último, la placa contará con una tira de 5 pines. 3 de ellos se usarán para alimentar el LM324 y los otros 2 emitirán las salidas de los operacionales U1C y U1A. Aparte de diseñar la PCB en KiCad, deben realizarse los trámites necesarios para su fabricación. Para ello, deberá de crearse una lista de materiales para la fabricación de 50 unidades de la placa, así como generar los ficheros Gerber y de taladrado. Finalmente, se deberá realizar el encargo de 5 unidades de la PCB a través de la página JLC PCB (el precio corre de cuenta del alumnado). Las placas deberán encargarse con la antelación suficiente para garantizar que se tendrán antes de la sesión 11, en la cual se realizará la soldadura de los componentes. No es necesario encargar los componentes, lo cual será responsabilidad del profesorado. Se pondrán a disposición del alumnado durante la sesión 11.

El alumno tiene total libertad para diseñar la placa como crea conveniente, siempre que cumpla con las especificaciones anteriores. Se recomienda etiquetar la tira de 5 pines para que se recuerde qué se conecta a cada pin, usando para ello la capa de serigrafía frontal F.Silkscreen. Asimismo, la placa debe incluir un texto identificativo con los nombres de los alumnos que la han diseñado, también visible en la capa de serigrafía frontal (o en la trasera

en caso de falta de espacio). Finalmente, el máximo número de capas a utilizar es de 4, ya que JLC PCB solo ofrece el formato de fabricación estándar hasta un máximo de 4 capas.

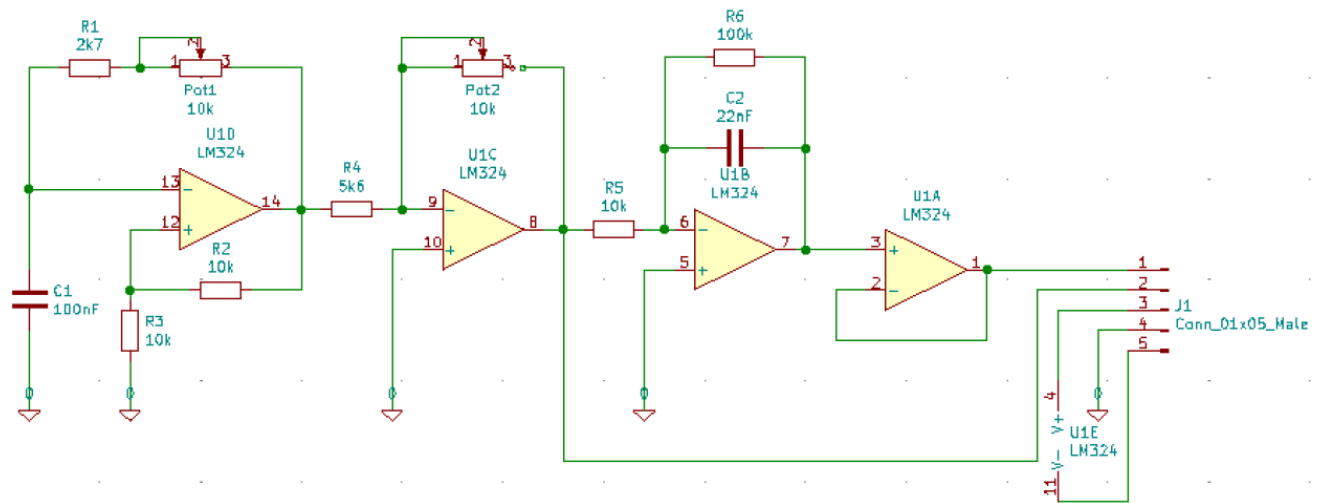


Figura 7.10: Circuito a implementar en una PCB en el ejercicio del presente capítulo, incluyendo el encargo de su fabricación

8.El proceso de fabricación de una PCB

En este punto del curso, las placas desarrolladas en el ejercicio del capítulo anterior ya deben haber sido encargadas. Para hacer tiempo hasta que lleguen las placas, se van a dedicar dos capítulos a estudiar aspectos teóricos sobre la fabricación y la documentación de las placas. El presente capítulo describe el proceso de fabricación de una PCB, que en principio estará teniendo lugar en este punto del curso. Se explicarán los diferentes procedimientos que se llevan a cabo desde la preparación del sustrato (materia prima) hasta la obtención de la placa terminada.

8.1. Materia prima (sustrato)

De modo general, el sustrato que se utiliza en la inmensa mayoría de PCBs es el denominado FR-4. FR son las iniciales de Flame Retardant. Es un material de uso común como sustrato de PCBs dada su alta resistencia térmica y mecánica, así por su baja conductividad tanto eléctrica como térmica, permitiendo un buen aislamiento tanto de las diferentes capas como de las pistas y pads. El sustrato FR-4 consiste en una fibra de vidrio, sobre la que se ubican sendas placas de cobre, una a cada lado, las cuales serán la base de dos de las capas de la placa. Es posible apilar varias unidades de dicho sustrato para implementar placas de más de 2 capas. La figura 8.1 ilustra el aspecto de un sustrato FR-4 para PCBs. Las láminas marrones, así como la lámina central amarilla, son cobre, mientras que las láminas verdes son las propias fibras de vidrio FR-4.

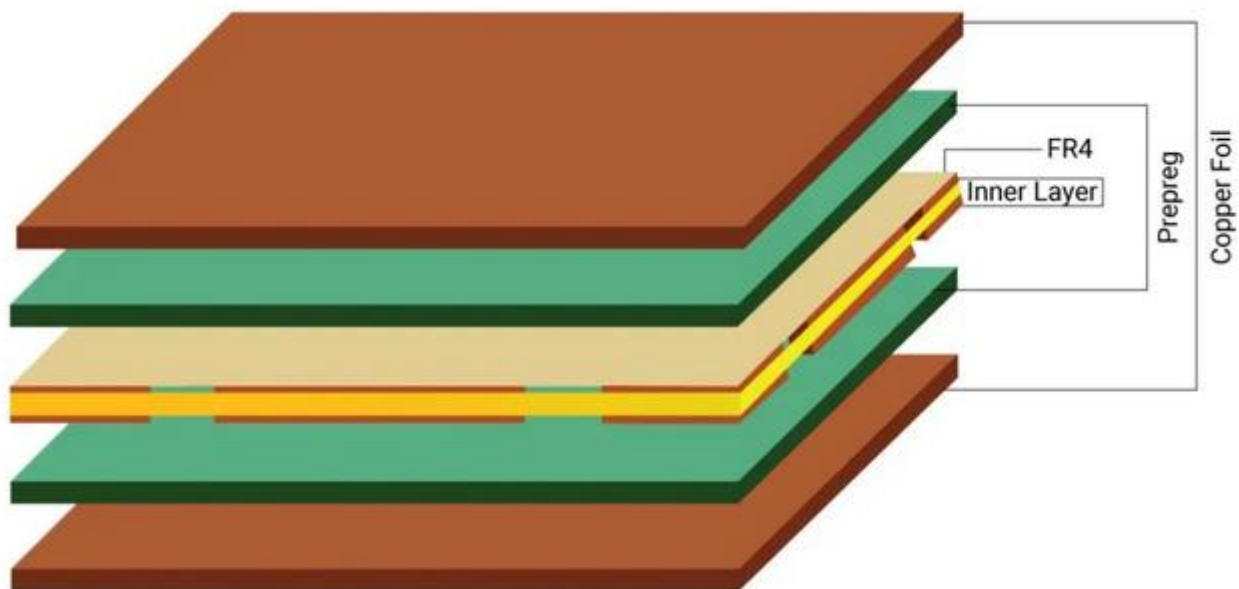


Figura 8.1: Composición del sustrato de una PCB, que consta de láminas superpuestas de cobre y de fibra de vidrio FR-4 [12]

8.2. Grabado de imagen

El primer paso es grabar la imagen de cada capa sobre la lámina de cobre pertinente. Los ficheros Gerber generados son patrones que se graban físicamente sobre las diferentes

láminas de cobre de la placa. Cada patrón (capa de cobre) se imprime en una película fotorestante, la cual es transparente. De este modo, lo que queda es una imagen de los pads y de las pistas que se desean grabar. Después, se introduce la lámina de cobre, sobre la cual se coloca el patrón impreso, en una impresora de rayos ultravioleta, la cual graba el negativo del patrón en el cobre. A modo de ejemplo, la figura 8.2 muestra el patrón de la capa de cobre frontal de la placa de la figura 6.10. Esta se puede obtener en KiCad, en Archivo -> Imprimir, seleccionando la capa que se quiere imprimir sobre la película fotorestante transparente.

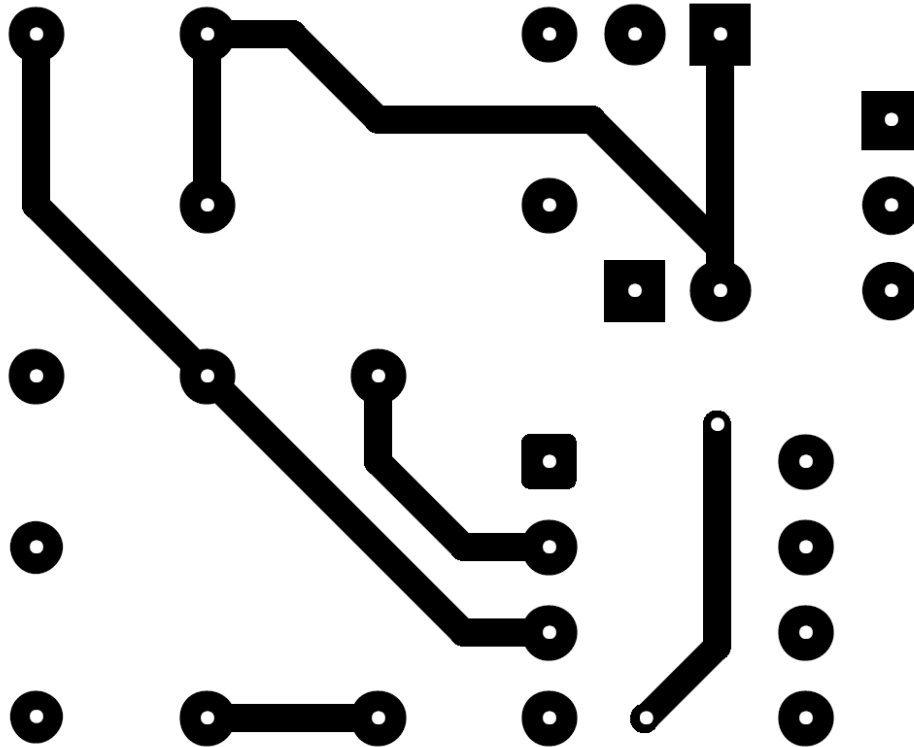


Figura 8.2: Imagen de la capa F.Cu de la PCB de la figura 6.10. Esta imagen se imprime en una película fotorestante transparente y se usa para grabar su negativo sobre la lámina de cobre

Nota: Este es uno de los motivos por los que es buena práctica evitar trazar ángulos de 90 grados en las pistas, ya que no se suelen dibujar bien. En particular en el caso de que la PCB se quiera fabricar de forma artesanal en el laboratorio, dado que los métodos de fabricación no son tan precisos como en el caso de los fabricantes que ofrecen sus servicios a través de internet.

Una vez se tiene el negativo de la capa grabado sobre la superficie de cobre, debe aplicarse un proceso que elimine todo el cobre (excepto las pistas y pads que se han grabado). Esto puede hacerse mediante un proceso químico, en el cual se aplica una solución alcalina a la placa, la cual elimina el negativo de la imagen que se ha grabado [13]. En consecuencia, se tiene una superficie que consta únicamente de los pads y pistas que se han grabado en cobre, mientras que el resto de la superficie ya no contiene cobre.

De modo general, primero se fabrican las capas internas de la placa, asegurando que estén bien alineadas las unas con las otras. Después, se añaden láminas de sustrato FR-4 tanto por encima por debajo, tras lo cual se procede a grabar las caras frontal y trasera de la placa, siguiendo un procedimiento similar al que se siguió para las capas internas.

En este punto, se tiene ya la placa con las capas de cobre correctamente grabadas.

8.3. Taladrado

El siguiente paso es fabricar las vías, para lo cual se taladran agujeros en los puntos pertinentes, definidos mediante los ficheros de taladrado .drl. Estos indican tanto el centro geométrico de la vía como su diámetro. Es posible realizar el taladrado a mano mediante el uso de un taladro vertical de taller, pero lo más habitual, sobre todo en el caso de empresas especializadas, es el uso de máquinas de control numérico CNC. Estas pueden realizar los taladrados de forma rápida y precisa.



Figura 8.3: Taladrado de un agujero en una PCB con las capas de cobre ya grabadas [14]

8.4. Electro depósito (plating)

Después de taladrar, los agujeros aún no se comportan como vías eléctricas, ya que el sustrato es un aislante eléctrico. Por lo tanto, el siguiente paso es rellenar las paredes de los agujeros con cobre, de modo que puedan conectar eléctricamente todas las capas. Esto se realiza mediante un proceso electroquímico conocido como electro depósito o plating.

En primer lugar, hay que clarificar que los agujeros en una PCB no siempre deben ser vías conductoras. En particular, es habitual incluir agujeros cuya única función es atornillar la placa sobre una caja o bastidor. Dichos agujeros no deben ser conductores eléctricos, en cuyo caso no es necesario aplicarles el electro depósito. En el argot, un agujero no conductor

se denota por las siglas NPTH (Non-Plated Through Hole), mientras que una vía o agujero conductor se denota por las siglas PTH (Plated Through Hole). La figura 8.4 ilustra la diferencia entre ambos tipos de agujero [15].

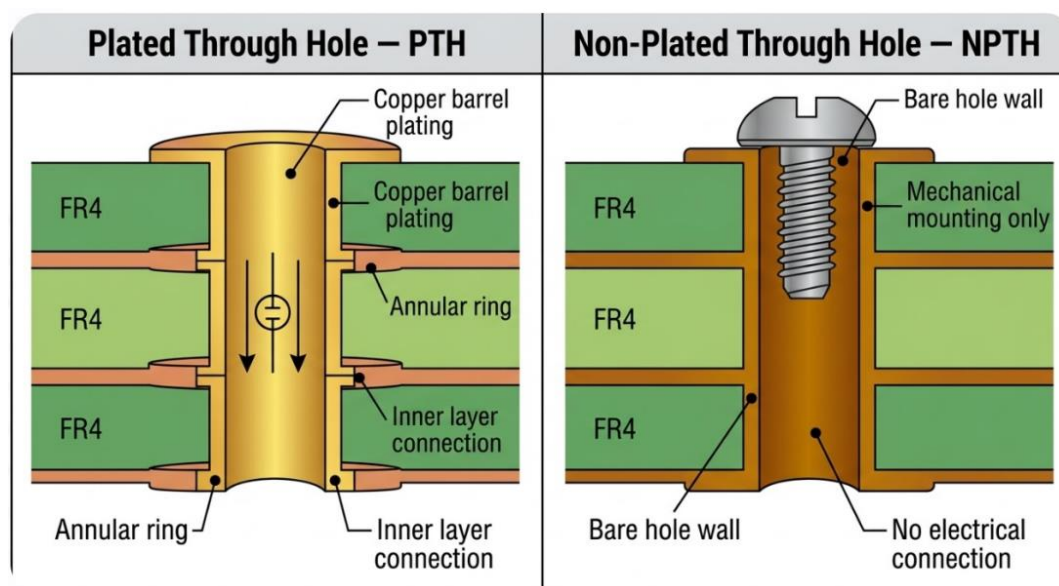


Figura 8.4: Diferencia entre un agujero conductor o vía (PTH) y un agujero no conductor (NPTH, de uso habitual para tornillos y otros soportes mecánicos) [15]

En el caso de las vías, el proceso de electro depósito consta de tres pasos [15] [16]:

1. Después de taladrar, el sustrato FR-4 se funde ligeramente debido al calor, quedando una superficie de resina. Esta se elimina mediante un proceso denominado desmear process, mediante permangato potásico (KMnO_4).
2. Las paredes se limpian mediante un acondicionador, tras lo cual se realiza un proceso de rascado para alisarlas todo lo posible. Después, se aplica un catalizador de paladio y estaño, el cual adhiere nanopartículas metálicas a las paredes.
3. Finalmente, toda la placa se sumerge en un baño electrolítico de sulfato de cobre (CuSO_4). Primero sin corriente, y luego se añaden dos electrodos de diferente potencial de reducción, lo cual crea una especie de pila. La corriente que aparece entre sendos electrodos tiene como consecuencia la formación de una fina película de cobre en la superficie de los agujeros que se han preparado, formándose de este modo las vías conductoras en la placa.

La figura 8.5 contiene una ilustración de este proceso, la cual representa cómo tiene lugar en las instalaciones de la compañía JLC PCB (es decir, es lo que se está haciendo con las PCBs que estamos fabricando).

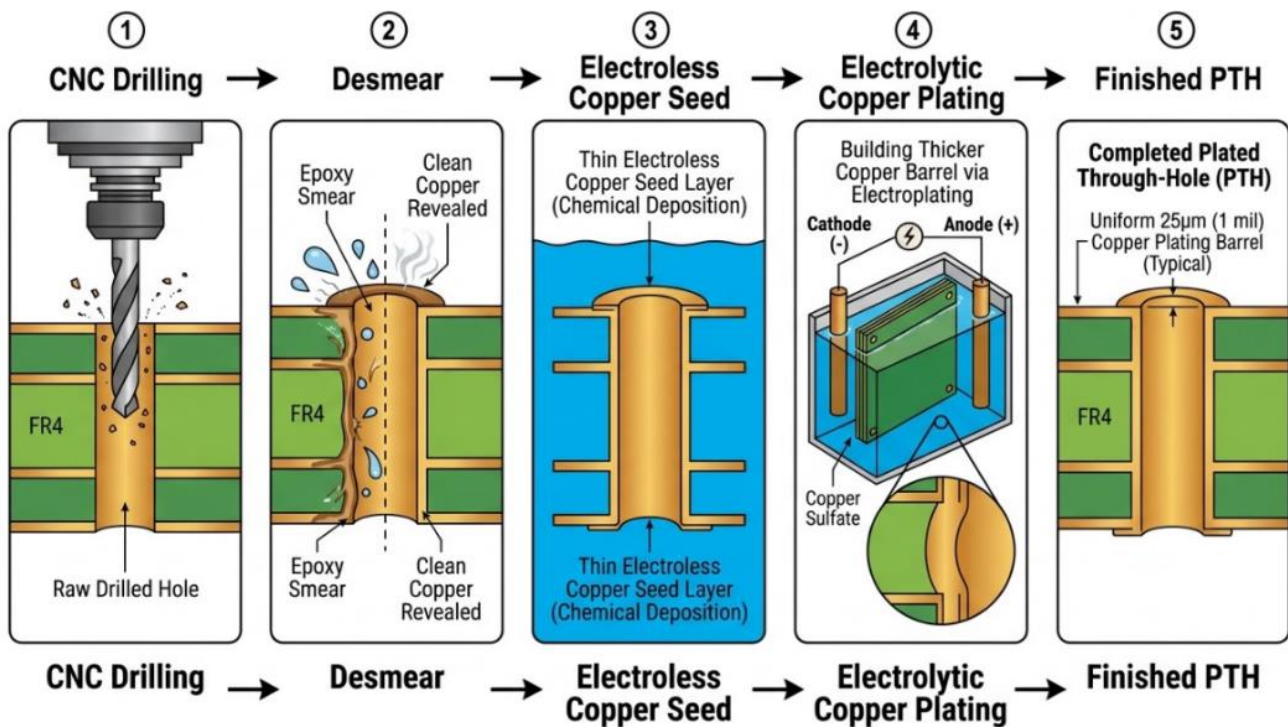


Figura 8.5: Ilustración del proceso de electro depósito en las paredes de los agujeros que deben constituir vías en la PCB [15]

8.5. Máscara y serigrafía

El siguiente paso es aplicar una máscara a las pistas de cobre. Se trata de una capa de polímero aislante, que se aplica sobre la superficie de las pistas. Sus principales funciones son aislar las pistas de cobre y protegerlas de agentes externos, en particular de la humedad, del polvo y de la oxidación, ya que podrían llegar a cortocircuitar pistas. La máscara se aplica únicamente sobre las pistas, dejando los pads expuestos, dado que el cobre debe estar expuesto para poder soldar los componentes sobre la placa. La figura 8.6 muestra el aspecto de las pistas y pads de una PCB después de aplicar la máscara, pero antes de soldar los componentes.



Figura 8.6: Ejemplo de aplicación de una máscara sobre las pistas de una PCB. La máscara no se aplica sobre los pads, los cuales quedan con el cobre expuesto, para poder soldar los componentes [17]

Después de aplicar la máscara sobre los pads, se graba la serigrafía sobre las superficies delantera y trasera de la placa. Esta consiste en una resina epoxy no conductora, generalmente de color blanco, aunque también puede ser de color negro si el color de la superficie es demasiado claro.

Existen diferentes métodos para grabar la serigrafía sobre la PCB: mediante impresora serigráfica (pantalla), impresora de tinta convencional o impresión láser.

La figura 8.7 muestra un ejemplo de una PCB justo después de grabar la serigrafía. Nótese que la serigrafía se solapa con las pistas en varias ocasiones, lo cual no es un problema. Lo que no se debe hacer es solapar la serigrafía con los pads, dado que se fundirá cuando se vayan a soldar los componentes.

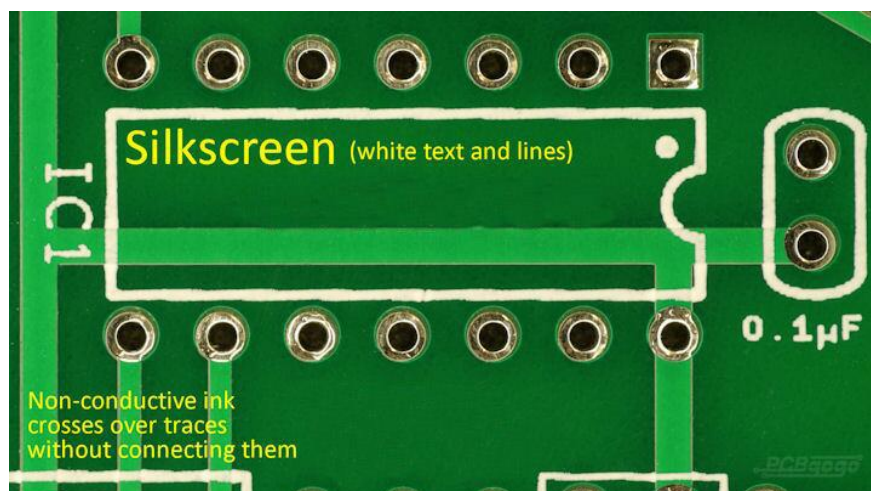


Figura 8.7: PCB tras grabarse la serigrafía sobre la superficie frontal [18]

8.6. Acabado

Antes de cortar la placa, esta se pasa por un proceso de acabado, cuya principal función es la de brindar una protección adicional al cobre grabado sobre esta. Existen dos principales técnicas de acabado, con diferentes grados de calidad, complejidad y coste [19] [20]:

- **HASL (Hot-Air Surface Leveling):** Consiste en pasar la placa por aire comprimido muy caliente. Esto crea una capa antioxidante sobre el cobre, pero tiende a dejar una superficie muy irregular y rugosa. Es un procedimiento barato en cuanto a coste y garantiza una buena soldabilidad de los pads, si bien no protege de la oxidación tan bien como otras técnicas de acabado.
- **ENIG (Electroless Nickel Immersion Gold):** Consiste en la aplicación de una capa de níquel, seguida de una delgada capa de oro. El níquel actúa como barrera para proteger el cobre, mientras que el oro protege de la oxidación y garantiza la soldabilidad. El acabado ENIG garantiza una superficie lisa y suave, así como brinda protección a largo plazo. Por el contrario, ENIG es una técnica más cara y compleja que el HASL. El acabado ENIG deja un tono dorado característico sobre los pads, debido a la deposición de oro.

La figura 8.8 muestra una comparación entre una placa con un acabado HASL y otra con un acabado ENIG. Nótese la diferencia en el color de los pads, siendo plateado en HASL y dorado en ENIG.

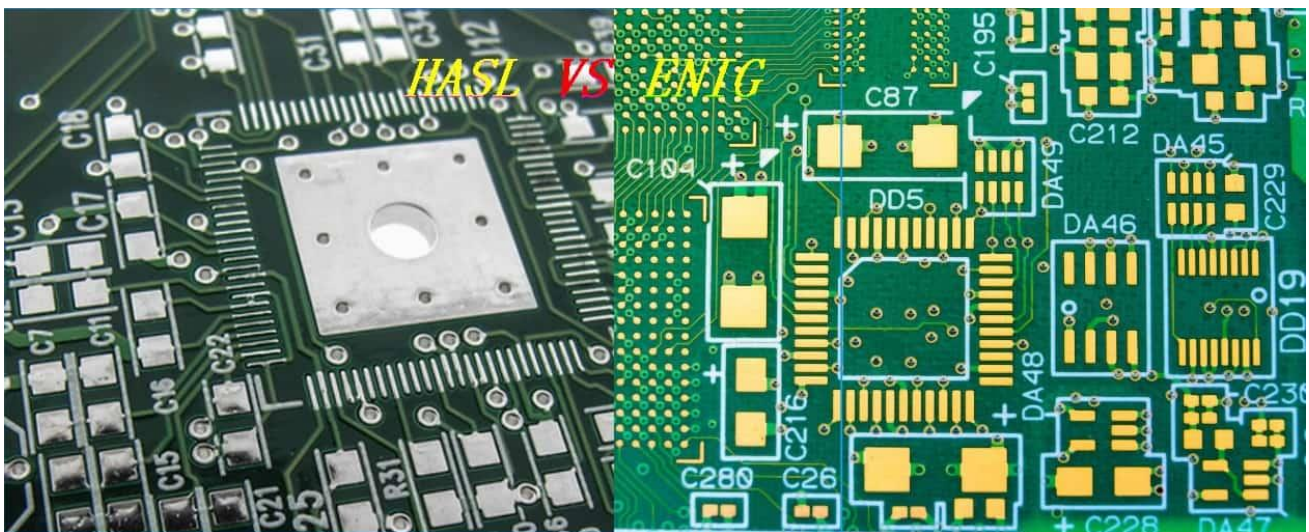


Figura 8.8: Comparativa entre un acabado HASL (imagen izquierda) y un acabado ENIG (imagen derecha) [20]

8.7. Pruebas eléctricas y corte

El último paso es realizar pruebas eléctricas de continuidad entre los diferentes pads. Esto es algo que se realiza en la propia fábrica, si bien es buena práctica cotejar la conductividad de las pistas en el laboratorio cuando se reciben las placas. Para ello, se utiliza un multímetro en su función de continuidad, verificando que todas las pistas conduzcan correctamente la

electricidad, ubicando ambas puntas de las sondas en diferentes pads que se sabe que están eléctricamente unidos.

En este punto, la placa ya está lista para cortarse. Generalmente se suelen imprimir varias unidades de la misma placa para aprovechar mejor la materia prima. Ahora es el momento de cortar y separar las diferentes unidades de la placa. Esto se hace generalmente mediante una sierra CNC, para garantizar la precisión del corte y que la placa tenga las dimensiones para las que se ha diseñado.

Antes de enviar las placas a sus destinatarios, suele tener lugar una última inspección visual en la fábrica, para asegurarse de que la placa cumple con las especificaciones solicitadas.

Ejercicio: Se pide acceder a la página JLC PCB y verificar que la placa que se encargó en el capítulo anterior ha pasado por su proceso de fabricación. Para ello, se debe acceder al menú de nuestra cuenta, entrar en la lista de pedidos realizados y hacer click en el texto Production progress. Esto abre una ventana como la que se muestra en la figura 8.9, en la cual no solo se indica el punto en el que se encuentra la fabricación de nuestra placa, sino que se incluyen vídeos que ilustran dichos procesos.

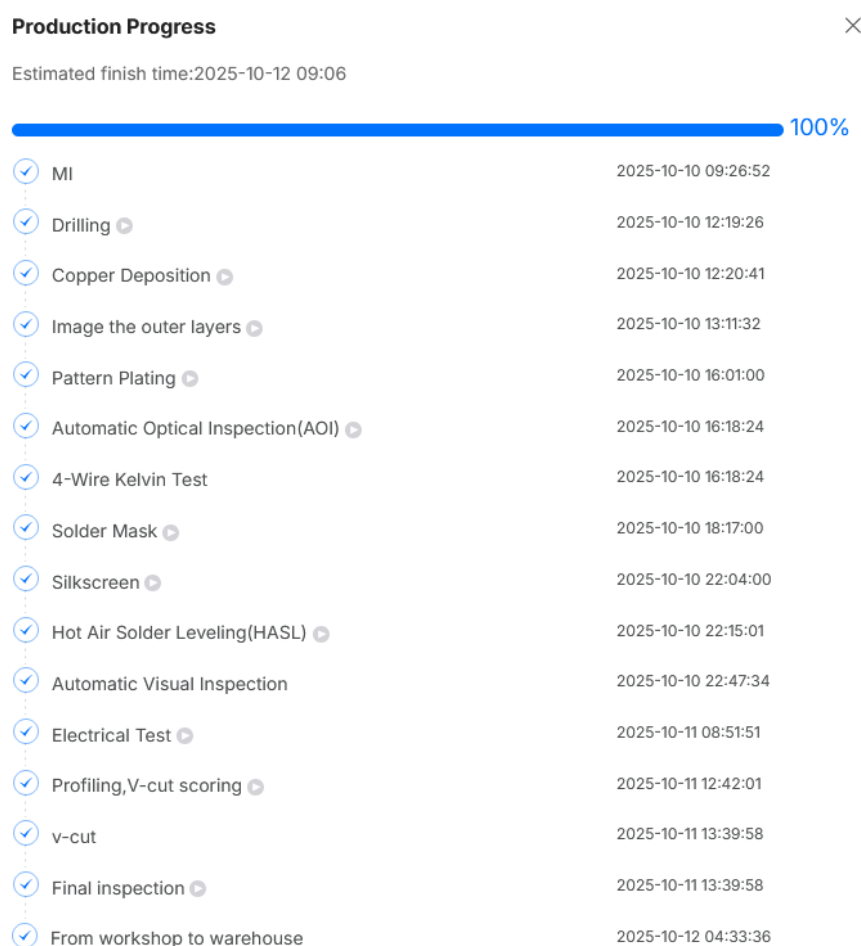


Figura 8.9: Lista de los diferentes pasos que sigue la fabricación de una PCB en la web JLC PCB [9]

9.Documentación de un proyecto

Hasta ahora, el presente manual ha expuesto los fundamentos básicos del diseño y fabricación de PCBs. No obstante, sobre todo a nivel profesional, los conocimientos expuestos y competencias adquiridas de este modo no son suficiente. Esto es porque un proyecto en KiCad por sí solo no contiene la suficiente información como para fabricar una PCB. Asimismo, si bien contiene información básica como las dimensiones o el número de capas, son datos que solo están fácilmente al alcance del diseñador y de personal especializado. Para que todas las personas involucradas en un proyecto de diseño y fabricación de una PCB estén al corriente de todos sus aspectos fundamentales, es vital acompañar el proyecto de la documentación pertinente.

Un proyecto de una PCB debe ir acompañado de un documento que contenga la información fundamental para su fabricación. Debe contar con datos como sus especificaciones técnicas (dimensiones, número de capas, grosor... etc.) y eléctricas (tensiones de alimentación, señales de entrada y salida). Asimismo, debe incluir la lista de materiales tal y como se describió en el capítulo 7, así como las instrucciones necesarias para el montaje y ensamblaje de los diferentes componentes electrónicos.

El presente manual cuenta con un documento de ejemplo (Anexo – Generador de Ondas Autónomo), el cual consta de toda la información necesaria para fabricar 500 unidades de la PCB que se indica en el ejercicio final del capítulo 7. El documento ilustra todos los datos necesarios para la fabricación, que pueden resumirse en los siguientes apartados:

- **Resumen del proyecto:** Una descripción básica de las funciones de la PCB, así como de aspectos básicos del diseño como el número de capas y sus componentes electrónicos fundamentales.
- **Especificaciones técnicas y eléctricas:** Se suele indicar mediante tablas, las cuales incluyen datos como las dimensiones físicas de la PCB, su número de capas, grosor, ancho de pista y separación entre pistas, materiales y métodos a usar en la fabricación, así como sus características eléctricas.
- **Lista de materiales (BOM):** Ídem a lo desarrollado en el apartado 7.2.
- **Esquemas eléctricos.**
- **Instrucciones de montaje:** De cara al técnico que vaya a montar la placa, es importante darle las indicaciones pertinentes, destacando el orden en el que debería soldar los componentes y cualquier aspecto crítico del montaje, como, por ejemplo, aquellos componentes que tengan polaridad, asegurarse de que se monten en el sentido y orientación correctos. Asimismo, en las tiras de pines, debe indicarse claramente cuáles son entradas y cuáles salidas, así como la función de cada pin.
- **Pruebas y control de calidad:** Deben destacarse aquellos aspectos fundamentales que deben verificarse para asegurar que la placa funciona de forma correcta y segura.
- **Documentación adicional:** Es importante adjuntar los ficheros Gerber y de taladrado, así como el esquemático del circuito y la lista de materiales de forma independiente al informe, ya que son documentos que deben consultarse de forma habitual.

Ejercicio: Se pide desarrollar el documento de fabricación para cualquiera de las PCBs desarrolladas durante el curso (excepto la que se está fabricando). Tómese el documento del Anexo 1 como plantilla, la cual debe modificarse para documentar el circuito elegido. Se debe planificar la producción de 500 unidades de la PCB.

10. Soldadura de componentes y pruebas de la PCB

Para terminar con las prácticas, se realizará la soldadura y pruebas eléctricas de la PCB que se ha fabricado. Por lo tanto, para la realización de este ejercicio, debe contarse con las placas ya fabricadas, realizándose en la última sesión de laboratorio antes del examen. Los diferentes grupos son citados a una cierta hora, dentro de las sesiones habituales de laboratorio, y se les dan los componentes y las indicaciones necesarias para soldarlos, las cuales se explican también en el presente capítulo.

10.1. Soldadura de componentes

Para soldar los componentes, se requiere un soldador de laboratorio y un hilo de estaño, los cuales se facilitan a cada grupo en el laboratorio. Los soldadores deben estar calientes para realizar la soldadura, para lo cual deben permanecer enchufados durante varios minutos.

En primer lugar, debe colocarse el componente a soldar en su posición correcta sobre la placa. En el caso de las resistencias y condensadores, deben doblarse sus patillas de modo que el componente quede lo más cerca posible de la superficie de la placa. No importa que las patillas salgan por la parte posterior de la placa, ya que se cortarán después de soldar. Hay que asegurarse de que el componente está bien colocado y apoyar tanto la placa como el componente sobre la alfombrilla que se ha colocado sobre la mesa. Idealmente, el componente debería sostenerse solo en su posición, pero en caso de que no sea así, un compañero puede, con cuidado, sostener la placa en posición mientras se realiza la soldadura. Esta se realiza generalmente por la parte posterior de la PCB.

Una vez colocado el componente, la punta del soldador debe tocar el pad durante unos segundos. Esto se hace para calentar el pad, lo cual es necesario para que la soldadura sea uniforme. En cuanto el pad está caliente, sin soltar el soldador, debe acercarse la punta del hilo de estaño al pad. Al hacerlo, el estaño se funde inmediatamente, por lo que debe retirarse nada más que se observa su fundición. Si se ha hecho bien, una pequeña parte de estaño líquido se habrá fundido sobre el pad, tras lo cual se puede retirar el soldador.

Una vez se sueldan sendos pads de una resistencia o condensador, se debe cortar el filamento restante con unas pinzas de laboratorio.

Este procedimiento es idéntico para todos los componentes de la placa. Únicamente debe tenerse más tacto con el zócalo del LM324, dado que sus pads son más pequeños y es más fácil cortocircuitar dos o más pads. Debe cuidarse no añadir demasiado estaño. Por ello, se recomienda empezar por las resistencias, ya que son componentes que permiten un margen de error mayor.

10.2.Pruebas de la PCB

Una vez que todos los componentes han sido soldados, es el momento de verificar si el circuito funciona. Para ello, se emplea una fuente de alimentación de laboratorio y un osciloscopio digital con dos sondas. La fuente se debe usar para alimentar los pines pertinentes a una tensión de ± 15 V, mientras que las sondas del osciloscopio deben recibir las dos señales de salida de la PCB. Una de ellas debe mostrar una onda triangular y la otra una onda cuadrada, pudiendo modificar su amplitud y su frecuencia a través de los potenciómetros.

En caso de que la PCB no funcione correctamente, deberán de repasarse todas las soldaduras. Es posible utilizar un multímetro para evaluar la continuidad entre pads que deberían estar conectados eléctricamente.

11. Bibliografía

- [1] DOS Days [Online]: [https://www.dosdays.co.uk/computers/IBM%20PC%20\(5150\)/ibm5150.php](https://www.dosdays.co.uk/computers/IBM%20PC%20(5150)/ibm5150.php) (Último acceso: 30/1/2026)
- [2] ASUS [Online]: <https://www.asus.com/microsite/motherboard/AMD-AM5-X670-B650/es/> (Último acceso: 30/1/2026)
- [3] Zachtronics [Online]: <https://www.zachtronics.com/> (Último acceso: 14/4/2026)
- [4] Opus Magnum, Zachtronics, 2017 [Online]: <https://www.zachtronics.com/opus-magnum/> (Último acceso: 14/4/2026)
- [5] PCBWay, PCB Trade Width Calculator [Online]: https://www.pcbway.com/pcb_prototype/trace-width-calculator.html (Último acceso: 5/5/2026)
- [6] Farnell España [Online]: <https://es.farnell.com/> (Último acceso: 26/5/2026)
- [7] Mouser Electronics [Online]: <https://www.mouser.es/> (Último acceso: 26/5/2026)
- [8] RS-Online España [Online]: <https://es.rs-online.com/web/> (Último acceso: 26/5/2026)
- [9] JLC PCB [Online]: <https://jlcpcb.com/> (Último acceso: 26/5/2026)
- [10] PCBWay [Online]: <https://www.pcbway.com/> (Último acceso: 26/5/2026)
- [11] Safe-PCB [Online]: [https://www.safe-pcb.com/safe_pcb/PAGE_CLIENT_Accueil_8/ZDgAAEhDtzIDAKwittEOP7bHf\\$A](https://www.safe-pcb.com/safe_pcb/PAGE_CLIENT_Accueil_8/ZDgAAEhDtzIDAKwittEOP7bHf$A) (Último acceso: 26/5/2026)
- [12] AllPCB, FR4 Material Explained in PCB Manufacturing, 17 de marzo de 2025 [Online]: <https://www.allpcb.com/blog/pcb-manufacturing/fr4-material.html> (Último acceso: 26/5/2026)
- [13] JLC PCB, Step-by-Step Guide to the Printed Circuit Board Manufacturing Process [Online]: <https://jlcpcb.com/blog/pcb-manufacturing-process-step-by-step> (Último acceso: 27/5/2026)
- [14] JLC PCB, Mastering Precision in PCB Drilling : Tools, Techniques, and Via Optimization for High-Quality Boards [Online]: <https://jlcpcb.com/blog/pcb-via-drilling-optimization> (Último acceso: 27/5/2026)
- [15] JLC PCB, How Plated Through Hole Technology Creates Reliable Multilayer PCB Connections [Online]: <https://jlcpcb.com/blog/pcb-ptth> (Último acceso: 28/5/2026)
- [16] Mallory, G. O. y Hajdu, J. B. (eds.) (1990). Electroless Plating: Fundamentals and Applications. Noyes Publications / William Andrew Publishing. ISBN: 978-0-8155-1277-6.
- [17] NextPCB, Solder Mask Material: Everything You Need to Know – NextPCB [Online]: <https://www.nextpcb.com/blog/solder-mask-material> (Último acceso: 29/5/2026)

- [18] PCBGogo, What Is Silkscreen On a PCB? [Online]:
https://www.pcbgogo.com/blog/What_Is_Silkscreen_On_a_PCB_.html (Último acceso: 29/5/2026)
- [19] JLC PCB, Comparing HASL and ENIG Surface Finishes for PCBs [Online]:
<https://jlcpcb.com/blog/hasl-vs-enig-surface-finishes> (Último acceso: 29/5/2026)
- [20] Highleap Electronics, HASL vs ENIG: Which Surface Finish Should You Choose? [Online]: <https://hilelectronic.com/hasl-vs-enig/> (Último acceso: 29/5/2026)

Anexo – Documentación de la PCB a fabricar

Generador de Ondas Autónomo

Especificaciones de Diseño y Fabricación

Para la producción de 500 unidades

Nombre del Proyecto	PCB Generadora de Ondas Autónoma
Revisión	Rev. 1.01
Fecha	29 de octubre de 2025
Diseñador	Jorge Alonso del Valle, Departamento de Ingeniería Electromecánica, Universidad de Burgos
Cantidad	500 unidades

1. Resumen del Proyecto

El presente documento contiene las especificaciones de fabricación necesarias para crear 500 unidades de un generador de ondas autónomo. El circuito se basa en un integrado LM324 que contiene cuatro amplificadores operacionales, y genera una onda cuadrada y una onda triangular. El circuito permite el ajuste de la frecuencia y amplitud a través de sendos potenciómetros, haciéndolo adecuado para el ámbito académico.

El diseño de la PCB consta de dos capas y está compuesto en exclusiva de componentes through-hole (THT) para que resulte fácil de soldar, ideal para el ámbito académico.

2. Especificaciones Técnicas

2.1 Especificaciones de la PCB

Parámetro	Especificación
Dimensiones de la Placa	40 mm x 45 mm aprox.
Número de Capas	2
Grosor de la Placa	1.6 mm (Sustrato FR-4)
Ancho de Pista	0.8 mm
Separación entre Pistas	Mínimo 0.8 mm
Tamaño de los Agujeros	1.5 mm para los potenciómetros, 1.0 mm para el resto

Parámetro	Especificación
Acabado	HASL (Hot Air Solder Leveling)
Color de la Máscara	Verde
Color de la Serigrafía	Blanco

2.2 Especificaciones Eléctricas

Parámetro	Especificación
Tensión de Alimentación	$\pm 15V$, a suministrar por los pines +VS, GND y -VS
Señales de Salida	Onda triangular por V1, onda cuadrada por V2
Frecuencia de Salida	Ajustable a través de POT1 (aproximadamente desde 360 Hz hasta 1.7 kHz)
Amplitud de Salida	Ajustable a través de POT2, desde 0 V hasta 15 V

3. Lista de Materiales (BOM)

La siguiente tabla indica los componentes necesarios para la fabricación de 500 unidades de la PCB. Se ha añadido un 5% más de cantidad a modo de repuestos y para la realización de las pruebas necesarias.

ID	Cant.	Descripción	Valor	Notas	Uds	Código RS
R1	1	Resistencia	2.7k Ω	THT	550	707-8889
R2, R3, R5	3	Resistencia	10k Ω	THT	1150	707-8704
R4	1	Resistencia	5.6k Ω	THT	550	707-8697
R6	1	Resistencia	100k Ω	THT	550	707-8940
C1	1	Condensador	100nF	THT	550	241-6523

ID	Cant.	Descripción	Valor	Notas	Uds	Código RS
C2	1	Condensador	22nF	THT	550	241-6540
POT1, POT2	2	Potenciómetro BOURNS 3306F-1-103	10kΩ	Huella personalizada (3-pin, triangular)	1100	743-2350
U1	1	Cuádruple Amplificador Operacional	LM324	DIP-14	550	661-0530
U1	1	Socket para el LM324	LM324	DIP-14	550	813-121
J1	1	Tira de pines de conexión	36-pin, 2.54mm	THT, Vertical	80	251-8632

Componentes únicos: 10

Componentes por placa: 14

4. Instrucciones de Montaje

4.1 Secuencia de Montaje

Sígase el siguiente procedimiento para montar la placa:

- Comprobación visual de la placa y los diferentes componentes. En caso de duda, verificar la continuidad de las pistas con un multímetro en modo de continuidad.
- Soldar las resistencias (R1 a R6).
- Soldar los condensadores (C1 y C2).
- Soldar el zócalo de 14 pines U1.
- Colocar los potenciómetros en una posición intermedia.
- Soldar los potenciómetros POT1 y POT2.
- Cortar una de las tiras de pines. Tomar una tira de 5.
- Soldar la tira de 5 pines.
- Colocar el LM324 sobre el zócalo.

4.2 Aspectos Críticos del Montaje

- **Orientación del zócalo y el LM324:** Asegurarse de orientar ambos componentes de modo que la muesca semicircular esté en el mismo lado que indica la serigrafía dibujada en la placa
- Recordar cortar el filamento que sobre tras soldar cada componente THT.

4.3 Entradas y salidas (J1)

Pin	Función
1	SALIDA: Onda Triangular
2	SALIDA: Onda Cuadrada
3	ENTRADA: Alimentar a +15 V
4	ENTRADA: Masa (GND)
5	ENTRADA: Alimentar a -15 V

5. Pruebas y Control de Calidad

5.1 Inspección Visual

- Todos los componentes deben estar claramente fijos.
- La soldadura no debe haber cortocircuitado pistas ni pads. En caso de duda, verificar con un multímetro en modo de continuidad.
- Los filamentos sobrantes se han cortado de modo razonable. No hay filamentos que sobresalgan de forma notable por la cara posterior.

5.2 Pruebas Eléctricas

- Conectar una fuente de +/-15 V a los pines 3, 4 y 5.
- Conectar un osciloscopio al pin 1 y verificar la presencia de una onda triangular
- Conectar un osciloscopio al pin 2 y verificar la presencia de una onda cuadrada
- Ajustar el potenciómetro POT1 y comprobar si la frecuencia cambia
- Ajustar el potenciómetro POT2 y comprobar si la amplitud cambia

- Verificar si la amplitud de las ondas se encuentra en los valores esperables (entre 10 V y 15 V)

5.3 Criterios de Validez

- Ambas formas de onda son visibles en el osciloscopio y son estables
- El ajuste de frecuencia responde adecuadamente
- No se produce un calentamiento notable en la PCB

6. Entregables

Los siguientes documentos se anexan al presente para la fabricación de las placas:

6.1 Ficheros Gerber

- Capa de cobre frontal F.Cu
- Capa de cobre posterior B.Cu
- Capa de máscara frontal F.Mask
- Capa de máscara posterior B.Mask
- Serigrafía frontal F.Silkscreen
- Serigrafía posterior B.Silkscreen
- Bordes físicos de la placa Edge.Cuts
- Ficheros de taladrado .drl (NPTH y PTH)

6.2 Documentación Adicional

- Lista de materiales (BOM) en formato Excel
- Esquemático del circuito con los componentes identificados

7. Información de Contacto e Histórico de Revisiones

7.1 Contacto del Diseñador

Jorge Alonso del Valle

Departamento de Ingeniería Electromecánica

Área de Tecnología Electrónica

Universidad de Burgos

jadelvalle@ubu.es

7.2 Histórico de Revisiones

Revisión	Fecha	Descripción
1.0	29 de octubre de 2025	Primera versión para la fabricación de las placas
1.01	5 de noviembre de 2025	Corrección de errata en la tabla 4.3 (el pin 1 emite la onda triangular y el pin 2 la cuadrada, y no al revés)

--- Fin del Documento ---