

español



Modernisation of VET through  
Collaboration with the Industry

**Santiago Silvestre**  
**Jordi Salazar**  
**Jordi Marzo**

## Proceso de diseño y fabricación de una placa de circuito impreso (PCB)



**Erasmus+**

El presente proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea.  
Esta publicación (comunicación) es responsabilidad exclusiva de su autor. La  
Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí  
difundida.

**Título:** Proceso de diseño y fabricación de una placa de circuito impreso (PCB)  
**Autor:** Santiago Silvestre,  
Jordi Salazar,  
Jordi Marzo  
**Publicado por:** České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
**Dirección de contacto:** Technická 2, Praha 6, Czech Republic  
**Número de teléfono:** +420 224352084  
**Print:** (only electronic form)  
**Número de páginas:** 47  
**Edición:** Primera edición, 2019

**MoVET**

Modernisation of VET through  
Collaboration with the Industry

<https://movet.fel.cvut.cz>



El presente proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea.  
Esta publicación (comunicación) es responsabilidad exclusiva de su autor. La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.

## NOTAS EXPLICATIVAS



Definición



Interesante



Nota



Ejemplo



Resumen



Ventajas



Desventajas

---

## ANOTACIÓN

Este módulo describe las características principales de las placas de circuito impreso (PCB). En el primer apartado se presenta una breve historia de las PCB. Posteriormente, se abordan los procesos de diseño y de fabricación de PCB y, finalmente, se presenta un caso de estudio en el último apartado del módulo.

## OBJETIVOS

Después de estudiar este módulo, los estudiantes conocerán las principales características de las PCB y el papel tan importante que desempeñan en la electrónica. Descubrirán las aplicaciones de las diversas categorías de PCB con sus propias especificaciones de fabricación, tipos de materiales y usos particulares.

## LITERATURA

- [1] R. S. Khandpur. Printed Circuit Boards: Design, Fabrication, Assembly and Testing. Tata McGraw-Hill Education, 2005. 696. ISBN 0-07-058814-7.
- [2] William Ho and Ping Ji. Optimal production planning for PCB assembly. Springer series in advanced manufacturing, 2006. 121. ISBN 1-84628-499-6
- [3] Author's name. Title. Publisher, Year of publication. Number of pages. ISBN XXXXXXXX.
- [4] Sinclair, Ian Robertson; Dunton, John. Practical electronics handbook. Elsevier, 2007. 543. ISBN 978-0-7506-8071-4.
- [5] Kraig Mitzner. Complete PCB Design Using OrCAD Capture and PCB Editor. Elsevier, 2009. 471. ISBN 978-0-7506-8971-7.
- [6] Lianyu Fu, Jian Wang, Qiang Guo, (2013) "Characterization of PCB routing process and optimization of tool design based on the investigation of routing temperature", Circuit World, Vol. 39 Issue: 4, pp.212-216, <https://doi.org/10.1108/CW-08-2013-0026>.
- [7] Ravi Kansagara. How to Choose The Best PCB Design Software. <https://circuitdigest.com/tutorial/best-pcb-design-software>
- [8] Liyan Gong. Top 9 Best PCB Design Software of 2018. 2017 <http://www.seeedstudio.com/blog/2017/03/13/pcb-design-software/>
- [9] Mahmoud Wahby. PCB design basics. EDN Network. 2013. <https://www.edn.com/Home/PrintView?contentItemId=4424239>

- [10] PCB design guidelines for reduced EMI. Texas Instruments. 1999.  
<http://www.ti.com/lit/an/szza009/szza009.pdf>
  
- [11] Sam Sattel. The top 10 PCB component placement tips for the PCB beginner. AUTODESK. <https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/top-10-pcb-component-placement-tips-pcb-beginner/>
  
- [12] [12] Edwin Robledo & Mark Toth. Ten best practices of PCB design. EDN Network. March 07, 2014. <https://www.edn.com/electronics-blogs/all-aboard-/4429390/1/Ten-best-practices-of-PCB-design>
  
- [13] [13] Nikola Zlatanov. PCB Design Process and Fabrication Challenges. PCB West Conference, 2012.
  
- [14] [14] PCB manufacturing process. <http://www.circuitstoday.com/pcb-manufacturing-process>
  
- [15] [15] PCB Manufacturing Process — A Step-by-Step Guide.  
<https://www.pcbcart.com/article/content/PCB-manufacturing-process.html>

# Indice

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b> .....                                | <b>7</b>  |
| <b>2</b> | <b>Historia de las Placas de Circuito Impreso</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>3</b> | <b>Clasificación de las PCB</b> .....                    | <b>11</b> |
| <b>4</b> | <b>Proceso de Implementación</b> .....                   | <b>13</b> |
| <b>5</b> | <b>Diseño</b> .....                                      | <b>17</b> |
| 5.1      | Paquetes de software CAD para diseño de PCB .....        | 18        |
| 5.2      | Creando librerías de componentes .....                   | 21        |
| 5.3      | Diseño de esquemático .....                              | 22        |
| 5.4      | Planos de planta o Floor plan .....                      | 23        |
| 5.5      | Posicionamiento de componentes y trazado de pistas ..... | 24        |
| 5.6      | Verificación de las reglas de diseño .....               | 27        |
| 5.7      | Documentación de la PCB .....                            | 28        |
| <b>6</b> | <b>Fabricación</b> .....                                 | <b>29</b> |
| 6.1      | Generación del fotolito .....                            | 30        |
| 6.2      | Ataque del cobre.....                                    | 31        |
| 6.3      | Recubrimiento Electrolítico de Cobre (Metalizado) .....  | 32        |
| 6.4      | Máscara de Soldadura .....                               | 33        |
| 6.5      | Serigrafía .....   | 34        |
| 6.6      | Acabado de Superficie.....                               | 35        |
| 6.7      | Taladrado.....   | 36        |
| 6.8      | Test eléctrico .....                                     | 37        |
| 6.9      | Montaje.....   | 38        |
| <b>7</b> | <b>Caso de Estudio</b> .....                             | <b>39</b> |

# 1 Introducción

Las placas de circuito impreso (PCB) se utilizan en casi todas las aplicaciones electrónicas. Desde PCB para teléfonos móviles hasta aviones, pasando por dispositivos médicos o maquinaria industrial, en todos los productos electrónicos utilizados a diario.



---

Una placa de circuito impreso (PCB) es una placa de sustrato no conductora que se utiliza para el ensamblaje e interconexión de componentes electrónicos a través de rutas o pistas de un conductor de material grabado en el sustrato.

---

Comúnmente, las PCB se fabrican en fibra de vidrio, epoxi compuesto u otro material compuesto. Diferentes productos electrónicos tienen diferentes requisitos en el material base de PCB.

La mayoría de las PCB en electrónica son simples y están compuestas de una sola capa. Sin embargo, los circuitos electrónicos más sofisticados, como las tarjetas gráficas de los ordenadores o las placas base, suelen tener múltiples capas, a veces hasta dieciséis o más, denominadas PCB "multicapa".

Los sustratos de PCB típicos están hechos de un compuesto de:

- Algún tipo de material de refuerzo o núcleo que proporciona el soporte "esquelético" para el laminado

Esta parte de la PCB da fuerza y estabilidad dimensional. Las fibras de teflón o telas de cuarzo se utilizan como materiales de refuerzo. El material compuesto FR-4 es un buen ejemplo de material de núcleo para PCB.



---

El FR-4 es un material compuesto de tela de fibra de vidrio tejida con un aglutinante de resina epoxi que es resistente a las llamas y se usa como material de refuerzo común para la fabricación de PCB.

---

- Sistema de recubrimiento de resina:

Proporciona el "pegamento" para unir el laminado. Algunos ejemplos de este tipo de materiales aglutinantes son termoplásticos o resinas de uso general.

- Recubrimiento de superficie conductor o catalítico:

Proporciona la base para crear el patrón de circuito.

Una vez que se fabrica la PCB, los componentes ensamblados y la PCB verificada, generalmente se aplican dos tipos de productos a la misma. Primero, se aplica algún tipo de limpiador o solvente de flujo a la PCB. Luego se aplica un recubrimiento protector que cubre todo el circuito. Este recubrimiento protector final evita que el cobre se oxide y da una mayor durabilidad a las placas.

Las principales ventajas del uso de PCB en circuitos electrónicos son las siguientes [1-2]:

- El tamaño del conjunto de componentes se reduce, así como el peso.
- La producción en masa se puede lograr a un coste unitario menor y el cableado y el ensamblaje se pueden automatizar.
- Asegurar un alto nivel de repetitividad y ofrecer uniformidad de características eléctricas desde el montaje.
- La ubicación de las piezas es fija, lo que simplifica la identificación y el mantenimiento de equipos y sistemas electrónicos. Además, el tiempo de inspección se reduce porque los circuitos impresos eliminan la probabilidad de errores.
- El cableado realizado de forma personal requiere unas habilidades técnicas y capacitación mínimas. Además, se minimizan las posibilidades de cortocircuito.
- Las características del circuito se pueden mantener sin introducir variaciones en la capacitancia entre circuitos ni efectos parásitos.

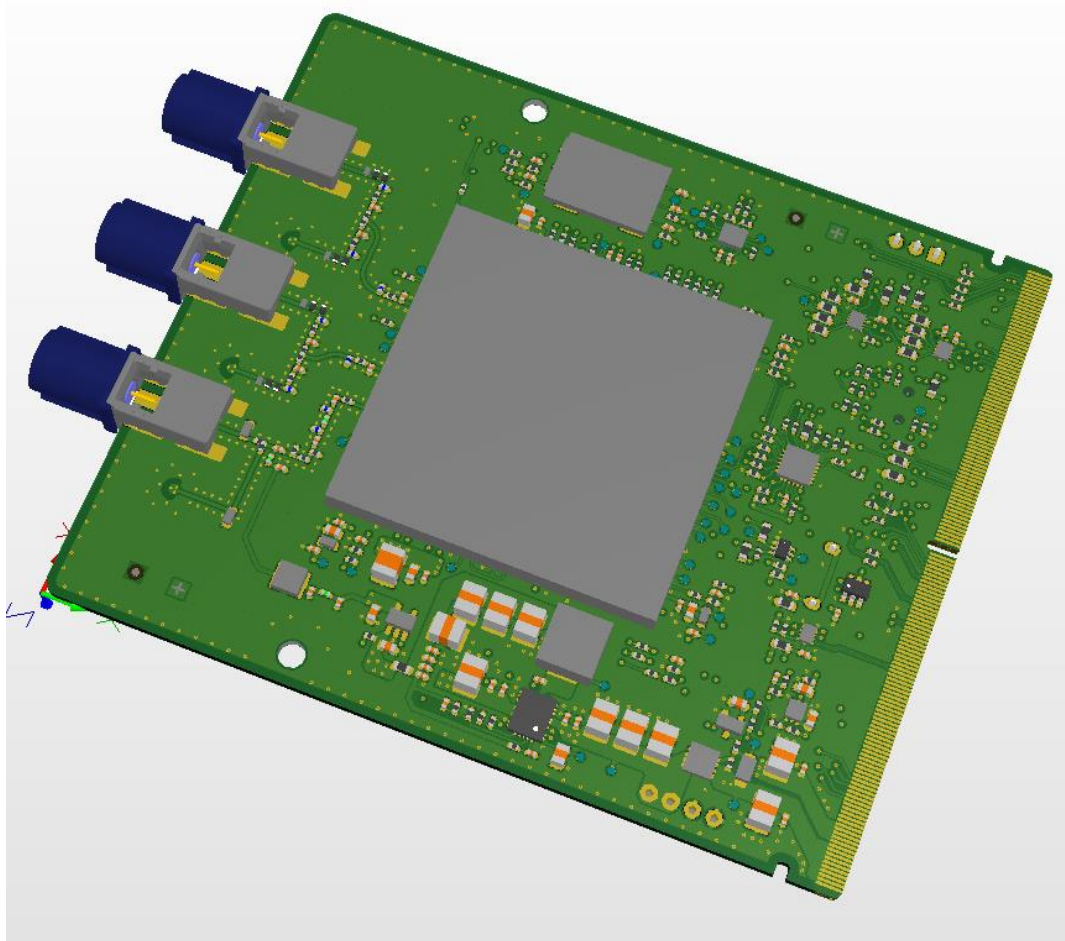


Fig. 1. Ejemplo de PCB.



## 2 Historia de las Placas de Circuito Impreso

Antes de que las PCB se convirtieran en el componente común utilizado en los circuitos electrónicos, se usaba la construcción punto a punto. Esto significaba que algunos diseños fueran extremadamente voluminosos y poco confiables, requiriendo enchufes grandes y un reemplazo regular. Las primeras PCB aparecieron en la década de 1920. Estas PCB fueron básicamente fabricadas de baquelita y piezas delgadas de madera. El proceso consistió en taladrar agujeros en el material. Se hicieron remaches de alambres de latón planos. Estas PCB se utilizaron principalmente en la fabricación de radios y gramófonos de tubo en ese momento.

El Dr. Paul Eisler en Austria comenzó a fabricar las primeras placas de circuito impreso operacionales en 1943 y las primeras PCB de doble cara con orificios pasantes chapados se produjeron en 1947. A partir de los años 50 y principios de los años 60, los laminados utilizan diferentes tipos de resinas mezcladas con todo tipo de diferentes materiales, pero las PCB aún eran de una sola cara. El cableado se imprimía en un lado y los componentes eléctricos en el otro.

Las primeras PCB multicapa se produjeron comercialmente también en los años 60. En la siguiente década se comenzaron a utilizar métodos de soldadura por aire caliente. Además, se introdujeron LPI acuosas (máscaras de imágenes fotográficas líquidas) para procesos de pantalla, lo que se convierte en el estándar mundial de la industria. Este nuevo proceso de fabricación permitió importantes reducciones en el tamaño de las PCB. Gerber Scientific presenta RS-274-D como un formato basado en máquina para fotoplotters vectoriales. Este formato de vector ASCII abierto estándar fue utilizado por el software de la industria de las PCB para describir las imágenes de la placa de circuito impreso: capas de cobre, máscaras de soldadura y leyendas.

Esta reducción de tamaño continuó a lo largo de los años 1980 y 1990, cuando se introdujeron piezas de montaje en superficie junto con el aumento de la calidad del producto. En 1986, el RS-274X se lanzó como una mejora al formato de datos RS-274-D, como versión extendida [3]. Esta nueva versión es compatible con la información de apertura incorporada, aliviando la necesidad de archivos de definición de apertura externos.

Las opciones de PCB “rigid-flex” y flexible se volvieron más asequibles debido al uso de tableros de circuitos de múltiples capas para satisfacer de manera efectiva las necesidades de la tecnología de rápido crecimiento. Además, a finales de la década de 1990, los PCB HDI (interconexión de alta densidad) se desarrollaron mediante el uso de la tecnología de micro-vía.



---

Una vía o VIA (latín para vía, también conocida como acceso de interconexión vertical) es una conexión eléctrica entre capas en un circuito electrónico físico que atraviesa el plano de una o más capas adyacentes.

---

La tecnología HDI permite trazas más cortas en la placa al reducir la cantidad de tiempo que tarda una señal eléctrica en viajar entre los componentes. Además, las vías más pequeñas entre dispositivos ayudan a reducir la capacitancia global en el

circuito, lo que reduce el tiempo de subida de la señal. Por otro lado, la inductancia total también se reduce con el diseño de alta densidad ofrecido por HDI, lo que reduce el efecto en los cables y pines vecinos.

Un beneficio adicional a la reducción de la capacitancia total ha llevado a una reducción en el voltaje requerido en los dispositivos HDI. A su vez, esta caída en el voltaje no solo significa que se requieren baterías más pequeñas, sino que también se reduce la generación de calor, es decir, la disipación del calor es menos problemática. La eliminación de grandes disipadores de calor o ventiladores de refrigeración en muchas aplicaciones HDI ha contribuido al desarrollo de dispositivos electrónicos móviles y portátiles.



---

HDI: **High Density Interconnect**, Placa de circuito impreso con una mayor densidad de cableado por unidad de área que las PCB convencionales. Tienen líneas y espacios más finos ( $\leq 100 \mu\text{m}$ ), vías más pequeñas ( $\leq 150 \mu\text{m}$ ) y almohadillas de captura ( $\leq 400 \mu\text{m}$ ), y una densidad de almohadillas de conexión muy alta.

---



---

Hoy en día, la industria de PCB sigue evolucionando. Se espera que las PCB evolucionen de acuerdo con el comportamiento del usuario y siguiendo las tendencias de miniaturización.

---

### 3 Clasificación de las PCB

Existen varios tipos generales de placas PCB, cada uno con sus especificaciones de fabricación, tipos de materiales y usos particulares.

La Tabla 1 muestra una clasificación de las PCB más comunes que se utilizan en electrónica, incluidas las principales características y aplicaciones.

Tabla 1 – Clasificación de las PCB

| PCB                             | Principales características  | Aplicaciones  |
|---------------------------------|--|---|
| Single-layer<br>(una sola capa) | Hecho de una sola capa de material base o sustrato. Un lado del material base está recubierto con una fina capa de metal. En general, sus circuitos y componentes están soldados en un lado, pero también los componentes pueden soldarse en ambos lados de la placa.<br>Bajo coste. | Calculadoras, cámaras, equipos de radio y estéreo, unidades de estado sólido, fuentes de alimentación, impresoras y otros productos electrónicos de consumo.    |
| Double-layer<br>(doble capa)    | Se aplica una capa delgada de metal conductor a ambos lados de la placa. Los orificios perforados a través de la placa permiten que los circuitos de un lado se conecten a los circuitos del otro.<br>PCB más pequeños y con un peso más ligero que los de una sola capa.            | Controles industriales, Suministro de energía, Instrumentación, Iluminación LED, Máquinas expendedoras, Tableros de instrumentos automotrices o Amplificadores. |
| Multi-layer<br>(multicapa)      | Consiste en una serie de tres o más PCB de doble capa.<br>Diseños complejos.   | Electrónica VLSI, servidores de archivos, almacenamiento de datos, tecnología GPS y sistemas de satélites, análisis meteorológico y dispositivos médicos.       |
| Flexible                        | Hecho de materiales que pueden flexionarse y moverse, como el plástico (Kapton, poliéster o poliamida).<br>Mayores costes de fabricación, flexibilidad y ahorro de peso.   | Equipos electrónicos sujetos a riesgos medioambientales.  |
| Rígidas                         | Hecho de un material de sustrato sólido que evita que la placa se doble.<br>Menor coste que los PCB flexibles.   | Placas base de ordenadores, teclados de audio, unidades de estado sólido, televisores de pantalla plana y monitores.  |

|                                  |   |  |
|----------------------------------|---|--|
| Rigid-Flex                       | <p>Consisten en una mezcla de capas conductoras de cobre flexible sobre película dieléctrica y material de cobre rígido.</p> <p>Combina lo mejor de ambas placas, rígidas y circuitos flexibles integrados en un solo circuito. Los circuitos flexibles rígidos proporcionan una mayor densidad de componentes y un mejor control de calidad.</p> | <p>Aplicaciones electrónicas aeroespaciales, médicas y militares.</p> <p>Industria de dispositivos portátiles.</p>     |
| High-frequency (alta frecuencia) | <p>PCB para requisitos de señales especiales en circuitos electrónicos que ofrecen un rango de frecuencia de 500 MHz - 2GH.</p> <p>Requiere el uso de materiales especializados.</p>  | <p>Diseños de alta velocidad, radiofrecuencia (RF), microondas y aplicaciones móviles.</p>                             |
| Aluminum-backed                  | <p>Las PCB con respaldo de aluminio están compuestas por un respaldo de Al, una capa dieléctrica altamente conductora térmicamente y una capa de circuito estándar.</p> <p>Excelentes características de control de temperatura y altos niveles de estabilidad mecánica y bajos niveles de expansión térmica.</p>                                 | <p>Aplicaciones de alta potencia y tolerancia ajustada.</p> <p>Controladores de motor y aplicaciones automotrices.</p> |

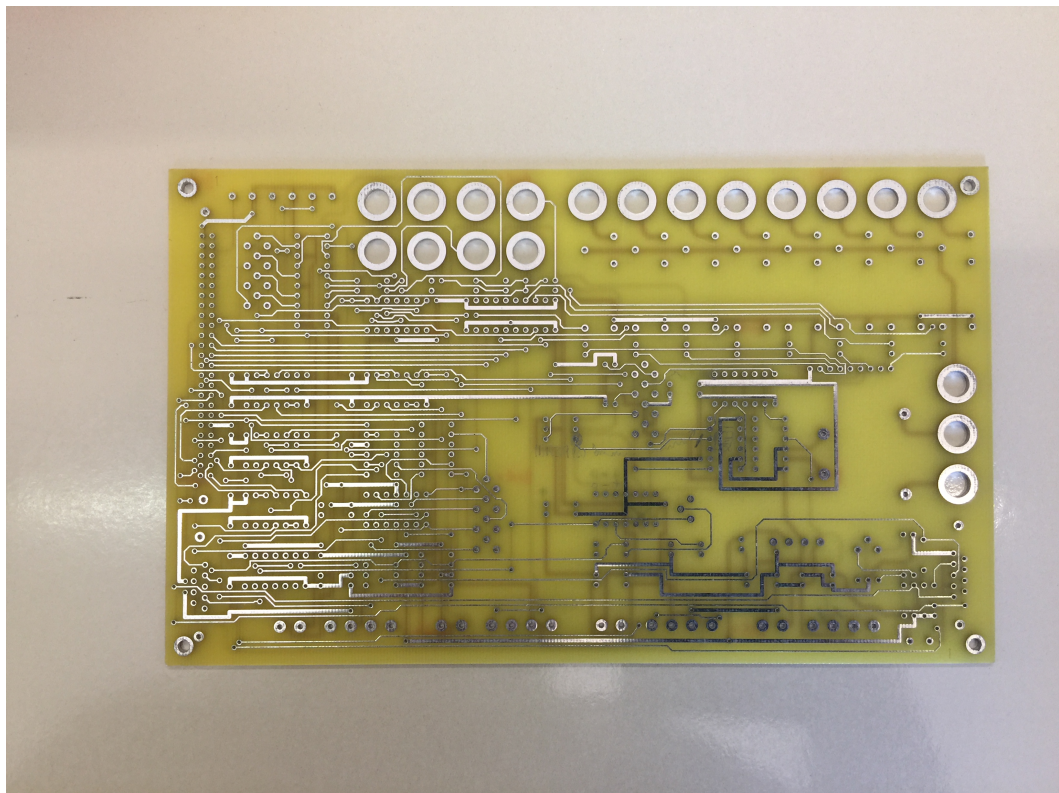


Fig. 2. PCB de doble capa.

## 4 Proceso de Implementación

Las PCB son la base para cualquier construcción de circuitos electrónicos. Una PCB se usa para colocar y montar los componentes electrónicos incluidos en el dispositivo y proporciona el medio de conexión eléctrica entre estos componentes.



Las conexiones necesarias entre las partes incluidas en PCB se denominan redes (nets).

Las herramientas de software son utilizadas en el diseño de PCB, incluida la captura de esquemas, el editor de huellas de componentes, el diseño de PCB y el enrutador automático. Además, la mayoría de estas herramientas incluyen capacidades de simulación analógica/digital y herramientas de análisis de integridad de señal. Algunas herramientas de software comerciales están disponibles en el mercado de varias compañías expertas en el desarrollo de paquetes de software sobre este tema, como Cadence, Altium, Mentor Graphics, Zuken o Cadsoft. Por otro lado, se pueden encontrar muchas herramientas gratuitas para el desarrollo fácil de diseños simples, como Kicad o Eagle.

El diseño de una PCB incluye algunos pasos que deben completarse cuidadosamente para lograr un circuito optimizado. Estos pasos se detallan en la tabla 2.

Table 2 – Diseño de PCB. Principales pasos.

|                        | <b>Características principales</b>  |
|------------------------|---|
| Símbolos               | Los símbolos de componentes del esquemático se crean en las bibliotecas de esquemas.<br>Lea la hoja de datos para identificar los pines. Dibuje el símbolo del componente. Dibuje la huella. Añada parámetros de componentes.                               |
| Dibujar el esquemático | Coloque los símbolos de los componentes. Dibuje las pistas y los buses. Coloque, mueva y edite los componentes electrónicos.  |
| Crear la placa         | Transfiera el diagrama esquemático a un dibujo de la PCB.<br>Tamaño de placa y ancho de traza. Colocación de los componentes electrónicos y etiquetado. Definición de planos de tierra. Trace la ruta horizontal y vertical incluyendo ángulos específicos. |

|  |   |
|--|---|
| Colocar las partes y enrute las señales. | <p>Los componentes deben colocarse de acuerdo con sus conexiones a otros componentes en la placa. Se deben tener en cuenta las consideraciones térmicas, los requisitos mecánicos, así como la integridad de la señal y la capacidad de pista. Algunas huellas de dispositivos están configurados en la placa. Todos los componentes electrónicos que tienen conexiones entre sí deben colocarse cerca si es posible. Cada parte colocada consta de terminales que deben conectarse para completar el diseño.</p> <p>En este paso, se pueden usar las funciones de enrutamiento automático de las herramientas de diseño de software más populares. Estas funciones son útiles, pero es difícil obtener un buen diseño utilizando sólo las herramientas de enrutamiento automático.</p> |
| Editar la placa y comprobar              | <p>Revise la placa diseñada para identificar cualquier error. Varias funciones de verificación están disponibles en todas las herramientas de diseño de software.</p>   |
| Crear los datos de fabricación de la PCB | <p>Creación de los archivos que necesitan los fabricantes de PCB para finalizar la fabricación del circuito electrónico.</p>  |

En el proceso de implementación de una PCB deben tenerse en cuenta algunas consideraciones. Los siguientes puntos resumen algunos de los más relevantes:

- Planos de masa: los retornos de corriente deben consistir en planos de tierra de área grande para baja impedancia a corrientes de alta frecuencia con el fin de evitar resistencias e inductancias parásitas, especialmente a frecuencias altas. Los planos de masa o de tierra proporcionan una conexión a tierra de baja impedancia. Elimine el retorno del área de bucle utilizando planos separados para el plano de tierra y el plano de alimentación. Si necesita dividir el plano de tierra y trazar pistas a través de la división, primero debe conectar los planos. Use planos de tierra firme junto a los planos de alimentación. En las PCB que incluyen circuitos y señales analógicas y digitales, siempre se recomienda utilizar alimentaciones separadas para circuitos digitales y analógicos.
- Diseño de la fuente de alimentación, espacios libres: los planos de alimentación se diseñan utilizando las mismas reglas que los planos de tierra. En una PCB de circuito mixto, fuentes de alimentación separadas para circuitos analógicos y digitales, incluso si el valor de las tensiones de alimentación son los mismos. Además, el plano de alimentación digital no se superpone a un plano de alimentación analógico.
- Los terminales de la fuente de alimentación deben desacoplarse directamente del plano de masa mediante el uso de condensadores de cerámica ubicados lo más cerca posible de los contactos de alimentación del circuito integrado.
- Señales de alta frecuencia y control de impedancia: los circuitos y señales de alta frecuencia emitirán radiación electromagnética a medida que viajan desde la fuente hasta el sumidero. En general, las frecuencias superiores a 1 GHz se consideran frecuencias altas.

Estas señales pueden interferir entre sí o afectar a un componente cercano. Para evitar conflictos, intente reducir las señales paralelas en la placa como mínimo para evitar cualquier acoplamiento de señal o diafonía. Además, mantenga la mayor distancia posible entre las trazas de la señal, e incluso considere enrutar las señales en una capa separada si son particularmente ruidosas.

La generación de reloj de muestreo y los circuitos de alta frecuencia deben tratarse como circuitos analógicos y también deben conectarse a tierra y desacoplarse en gran medida al plano de tierra analógico. También es importante aislar estos componentes de los circuitos digitales ruidosos.

Tenga en cuenta que los planos de tierra minimizarán las emisiones de RF.



---

La impedancia es una característica de CA, lo que significa que está relacionada con la frecuencia. La impedancia es la combinación de la capacitancia y la inductancia de un circuito cuando se opera a alta frecuencia. Aunque también se mide en ohmios, es algo diferente a la resistencia, que es una característica de CC.

---

Las trazas de PCB no se comportan como conexiones simples a altas frecuencias, la impedancia controlada nos ayuda a garantizar que las señales no se degraden cuando se enrutan alrededor de una PCB. De hecho, el control de impedancia es la coincidencia de las propiedades del material del sustrato con las dimensiones y ubicaciones de traza para garantizar que la impedancia de la señal de una traza está dentro de un cierto porcentaje de un valor específico. Las tarjetas de impedancia controlada proporcionan un rendimiento de alta frecuencia repetible. El control de impedancia requiere de una planificación del apilamiento requerido y del cálculo de los efectos electromagnéticos que rodean las trazas.

- Recomendaciones de compatibilidad electromagnética (EMC): algunas precauciones, como minimizar las interferencias, la conexión a tierra adecuada y, en particular, la acumulación de capas adecuada, reducirán significativamente los problemas de interferencia electromagnética (EMI). Un apilamiento ideal será un plano de masa debajo de cada otro plano.



---

En electrónica, el crosstalk es cualquier fenómeno por el cual una señal transmitida en un circuito o canal de un sistema de transmisión crea un efecto no deseado en otro circuito o canal.

---

- Técnicas de enrutamiento: al enrutar señales en diferentes capas, asegúrese de enrutarlas ortogonalmente entre sí. Es decir, en una capa de señal, tus trazas serán enrutadas horizontalmente, y en la otra vertical, 45 grados, etc.

Las dos opciones de enrutamiento básicas son el enrutamiento de laberinto (maze) y el enrutamiento X-Y. El enrutamiento X-Y implica al menos dos capas de enrutamiento con cables que viajan en una sola dirección en cada capa. Por otro lado, el enrutamiento Maze permite el cableado de redes completas en una sola capa, eliminando la necesidad de cambios de capa.



---

La longitud de Manhattan es la ruta más corta que puede tener un cable cuando se debe conectar utilizando solo segmentos que están limitados al eje X o al eje Y.

---

Hoy en día, los diseñadores de PCB tienen a su disposición un buen número de herramientas de enrutamiento bien desarrolladas para enrutar con eficacia la placa. Estas herramientas suelen incluir opciones de autoenrutado. Sin embargo, estas opciones no deben considerarse como la única opción de enrutamiento.

Es importante enrutar las redes para componentes críticos, como conectores o componentes FPGA, utilizando técnicas manuales o de enrutamiento automático, ya que estos componentes requieren enrutamiento debajo o entre varios pines de montaje en superficie.

En aplicaciones específicas, es importante realizar mediciones en línea y la caracterización de la temperatura durante el proceso de enrutamiento de la placa de circuito impreso, así como la optimización del diseño del enrutador basado en la investigación de la temperatura de enrutamiento [6].



## 5 Diseño

Este apartado pretende ser una guía básica para el diseño de una PCB. Los diferentes pasos necesarios para el diseño de una placa de circuito impreso se resumen en esta sección, a partir de la elección del software CAD para el diseño de la PCB, mediante el añadido de componentes al esquema, las reglas de diseño y la verificación, y finalizando con la generación de toda la documentación de la PCB, normas y recomendaciones.



---

El diseño de una PCB es principalmente un proceso basado en dos pasos. Primero, diseño del esquemático del circuito electrónico y luego el diseño de la PCB basada en ese esquemático.

---

## 5.1 Paquetes de software CAD para diseño de PCB

Existen muchas formas diferentes de crear un diseño de PCB, pero la más común es mediante el uso de un paquete de software CAD diseñado específicamente para circuitos de PCB. Estos paquetes de software incluyen editores de esquemas y placas que trabajan juntos para brindar el mejor proceso de diseño. El editor de la placa puede importar todos los componentes, huellas y pistas al archivo PCB, lo que facilitará el proceso de diseño de PCB.

Hoy en día, podemos encontrar una multitud de herramientas CAD en el mercado que nos permiten diseñar una PCB. Van desde los más simples e intuitivos hasta los altamente sofisticados, desde gratis o de bajo coste hasta los de alta gama o premium, sin características o con muchas funciones [8-9]. Sin embargo, el que mejor se adapte a uno depende de sus propias necesidades (funcionalidad requerida, complejidad típica de los diseños, requisitos de frecuencia, etc.) y presupuesto.

En términos de popularidad entre los paquetes de software de diseño de PCB, a continuación se listan los nueve más utilizados en la industria.

**Altium Designer.** Es un software de diseño de PCB muy popular. Altium Designer es una herramienta comercial con una licencia de alto coste, utilizada principalmente en entornos profesionales. Además, la mayoría de las universidades lo utilizan en sus laboratorios. El software Altium se utiliza generalmente para diseñar un circuito complicado y muy complejo con resultados muy rápidos y realistas. Es eficiente, fácil de usar y satisface las necesidades modernas de los ingenieros electrónicos profesionales.

**OrCad.** Es la herramienta de software de diseño de PCB para un gran grupo de ingenieros porque proporciona un entorno completo, desde el esquema inicial hasta el diseño final. Te permite simular y diseñar circuitos PCB.

**Mentor PADS.** Es un paquete de diseño de PCB desarrollado por Mentor Graphics. Proporciona herramientas de diseño y esquemáticos de PCB de calidad a un coste asequible para pequeñas y medianas empresas. Tiene una serie de características de gama alta, que incluyen funciones de análisis de integridad de señal, un enrutador automático avanzado, análisis de consideración de diseño térmico y soporte para varias funciones de gestión de proyectos. Es un paquete de nivel profesional con un precio competitivo pero con un precio muy superior al del mercado para aficionados.

**Eagle.** Eagle significa editor de diseño gráfico fácilmente aplicable (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*). Este software está disponible en versiones gratuitas y de pago. En la versión de pago, el usuario recibe asistencia técnica que incluye soporte de llamadas, correo y chat en línea y proporciona acceso al software más reciente. Eagle tiene una interfaz muy simple, efectiva y fácil, y proporciona una biblioteca que contiene una gran cantidad de componentes eléctricos y electrónicos. Esa es la razón principal para ser un software de diseño de PCB tan popular entre educadores, aficionados y profesionales. Además, es posible

encontrar muy buenos recursos y tutoriales en Internet, lo cual es muy útil si uno es un principiante.

**Zuken CADSTAR.** Este completo entorno de diseño lleva a los ingenieros desde sus ideas iniciales hasta la creación de productos, gracias a su conjunto de aplicaciones unificadas. Es un software de diseño de PCB de placa única, fácil de usar y ampliamente establecido, con muchos miles de usuarios satisfechos en todo el mundo que incluye esquemas, diseño de PCB, enrutamiento, integridad de la señal, salidas de fabricación. Es un software profesional, potente, accesible y asequible que cumple con sus requisitos de diseño y presupuesto, y está respaldado por vendedores locales experimentados que brindan capacitación, soporte, integración y consultoría para ayudar a maximizar el retorno de la inversión.

**Zuken CR-8000** [<http://www.zuken.com/en/products/pcb-design/cr-8000>] . Los ingenieros electrónicos eligen Zuken CR-8000 cuando requieren un software avanzado de diseño de PCB con una plataforma de diseño de PCB 3D centrada en el producto. Una solución avanzada de diseño de placa única y múltiple que proporciona las herramientas para optimizar un diseño tanto a nivel de producto como de PCB. Incluye el diseño e implementación de múltiples placas 2D/3D, la optimización de E/S FPGA, el co-diseño de chip/paquete/placa, y la integración 3D MCAD, todo en un solo proceso de diseño.

**Mentor Xpedition.** Un producto de alta gama que combina la facilidad de uso con una funcionalidad avanzada. Permite a los diseñadores la tecnología crear los diseños más complejos y satisfacer las necesidades de las compañías electrónicas medianas y grandes. Incluye controles de salida automática interactivos y personalizables de múltiples pasos para distintos desafíos de diseño, como enrutamiento de par diferencial, ajuste de red, optimización de fabricación y tecnología HDI/micro vía. También ofrece un núcleo mecánico 3D en el diseño de PCB. Por lo tanto, los diseñadores pueden operar en un solo entorno y cambiar entre vistas 3D y 2D.

**DesignSpark.** Es una herramienta de diseño de PCB gratuita y fácil de usar proporcionada por RS Components. DesignSpark es moderno e intuitivo, sin limitaciones prácticas de diseño en el área de la placa, las capas y el número de contactos. DesignSpark genera archivos Gerber de acuerdo con los estándares de la industria. Se ofrece de forma gratuita para empresas, aficionados, educadores y más. Además, permite cargar rápidamente la lista de materiales (BOM) en el sitio web de RS Components utilizando el servicio BOM-Quote.

**KiCAD.** Es un paquete de software gratuito que maneja Captura esquemática y Diseño de PCB con salida de Gerber. Proporciona una forma muy sencilla de enrutar los componentes y también facilita la resolución de problemas de PCB. Este software es bueno para los principiantes y la mayor ventaja es que no requiere la compra de ninguna licencia, es gratis.



---

El paquete de software de diseño de PCB que mejor se adapte a cada uno depende de sus propias necesidades y presupuesto.

---

Para los diseñadores profesionales de PCB y las aplicaciones grandes y complejas, probablemente Mentor Xpedition, Zuken CR-8000 y Altium sean los mejores

programas de diseño de PCB CAD. Para principiantes o aficionados, Eagle, KiCAD o DesignSpark son buenas opciones.

## 5.2 Creando librerías de componentes

Normalmente, todos los paquetes de software de diseño de PCB se suministran con un conjunto de bibliotecas. Estas bibliotecas se pueden usar, modificar y agregar según sea necesario. Puede mezclar y combinar elementos de biblioteca nuevos y existentes para crear su propio conjunto de bibliotecas.

Antes de poder hacer un esquema y posterior diseño de la PCB, es necesario asegurarse de que tiene todos los componentes en una biblioteca con su símbolo (símbolo del esquema) y el paquete o box (huella para el diseño o footprint).

Si no están disponibles todos los componentes, será necesario crear su propia biblioteca y diseñar el símbolo y la huella de cada componente faltante. Esto suele ocurrir cuando en el diseño de la PCB se utiliza un nuevo componente que se ha lanzado recientemente en el mercado.

Para diseños con alto volumen de producción, la calidad de la biblioteca tiene una importancia relevante. Si alguna huella creada no está 100% bien diseñada y verificada con el sitio de producción final, puede darse un fallo en la productividad y puede tener un impacto grave directamente en los resultados de la empresa. Esta es una razón importante por la que las grandes empresas tienen sus propias bibliotecas con un equipo exclusivo dedicado sólo a la creación de huellas.

También es muy importante tener un buen diseño 3D vinculado a la huella. Permite realizar una mejor integración del producto (PCB montado junto con carcasa mecánica).

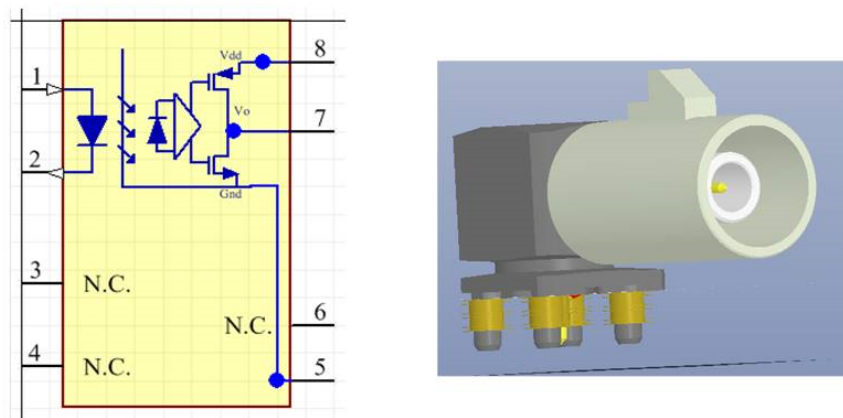


Fig. 3 Símbolo esquemático y huella 3D.

## 5.3 Diseño de esquemático

Antes de crear un esquema, el primer paso será crear una nueva carpeta de proyecto para nuestro diseño. Esta carpeta albergará nuestros esquemas y archivos de diseño de la PCB.

El proceso de diseño de la PCB comienza dibujando el diagrama esquemático de su circuito electrónico en el software elegido. El dibujo esquemático controla el proyecto, por lo que la precisión y la integridad son fundamentales para el éxito. Un esquema incluye toda la información que es necesaria para el correcto funcionamiento del circuito. Por lo tanto, un esquema debe incluir detalles de diseño adecuados, como números de pin, nombres, valores de componentes, calificaciones e interconexiones entre componentes electrónicos.

El símbolo esquemático de cada componente electrónico tiene una huella de PCB asociada. La huella de PCB definirá las dimensiones físicas del componente y la ubicación de las almohadillas de cobre (pads) o los orificios pasantes. Dentro del símbolo esquemático del componente está el número de pieza del fabricante que se usa para determinar el precio y las especificaciones. La especificación del paquete o box determina el tamaño de la huella de cada componente.

Antes de generar una PCB, los símbolos se asignan a las huellas de los componentes y las interconexiones de los símbolos se convierten en una lista de nodos que especifican las conexiones entre las huellas de los componentes en el proceso de diseño [10].

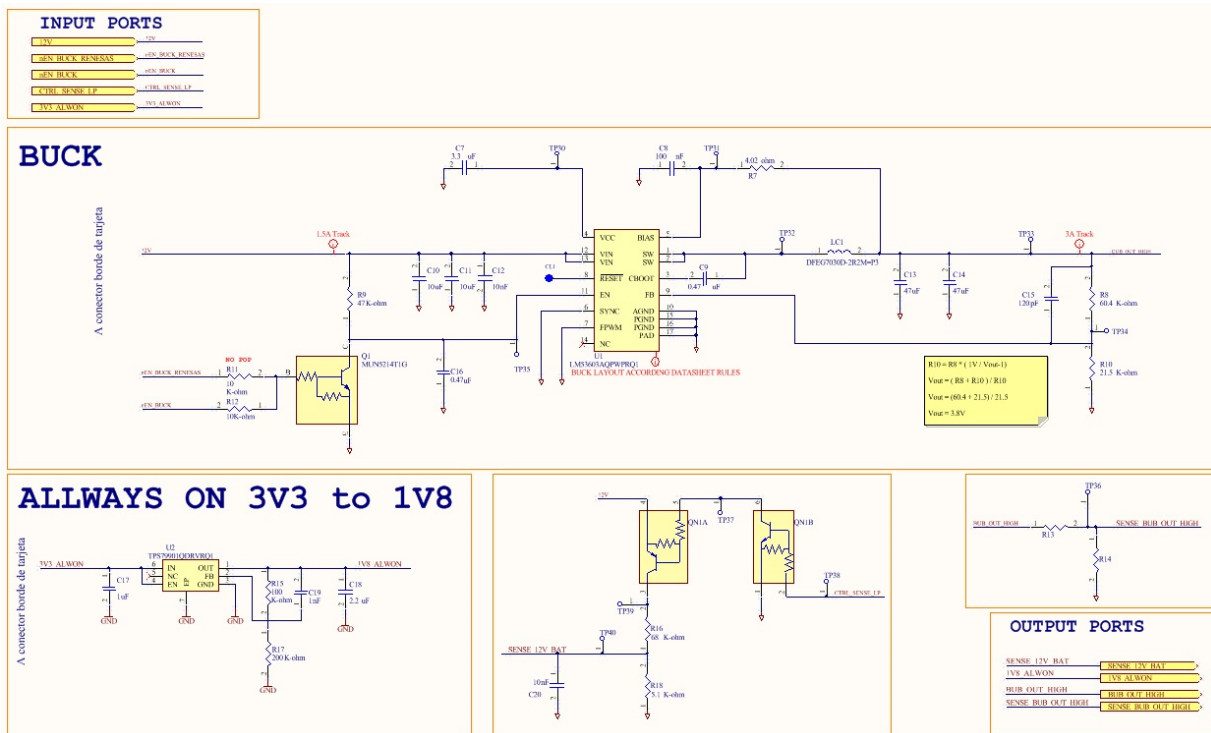


Fig. 4. Esquemático de PCB.

## 5.4 Planos de planta o Floor plan

El siguiente paso es dibujar la placa con todos los componentes en ella. Debe transferir su dibujo esquemático a un dibujo de su placa de circuito impreso. Ese es el plano de planta. Un plano de planta es un dibujo que indica la ubicación general de los componentes en el PCB en blanco antes de dibujar cualquier pista [11].

Los bloques funcionales de circuitos tales como acondicionamiento de energía, RF, digital, analógico, etc., deben organizarse y colocarse en grupos para minimizar el cruce de señales. Un plano de planta de colocación previa le permitirá ver cuál es el flujo de señal entre los bloques funcionales y la mejor manera de planificarlo. Por ejemplo, agrupe sus partes de acondicionamiento de energía lo más posible para que sus señales no tengan que atravesar áreas sensibles de los circuitos de RF.



---

Un plano de planta o “floor plan”, es un dibujo que indica las áreas generales donde se colocarán bloques de circuitos en la placa. Los planos de planta acortan la brecha entre el dibujo esquemático y la disposición física. Esto le da al diseñador una ventaja en la colocación.

---

## 5.5 Posicionamiento de componentes y trazado de pistas

El posicionamiento de los componentes es el siguiente paso en el proceso. Este es uno de los pasos más importantes y críticos en el diseño de un PCB. Se dice que el diseño de un PCB es 90% de colocación y 10% de trazado de pistas. Lo que realmente significa es que la ubicación de sus componentes terminará decidiendo cuánto tiempo tomará su enrutamiento.

Se dice que el diseño de una PCB es tanto un arte como una ciencia. Hay un gran conjunto de conocimientos técnicos y mediciones a considerar cuando se trata de anchos de pista, capas, esquemas, diseño del plano de tierra de la PCB, etc. El lado artístico del diseño de la PCB tiene que ver con la colocación de los componentes. La verdad es que no hay una forma correcta de colocar componentes, y esta libertad es en última instancia lo que hace que el proceso de diseño de la PCB sea tan creativo. Si se da un esquemático a 100 ingenieros diferentes, es probable que se obtengan 100 diseños diferentes. Por esta razón, el proceso de diseño de la PCB se considera un proceso artístico [12].

Una de las primeras cosas que debe hacerse es ajustar el área de la placa al tamaño máximo permitido de la PCB. El número de capas dependerá de las tensiones de alimentación y la complejidad.

A continuación se proporcionan una serie de pautas generales de diseño que se deben conocer y tener en cuenta al diseñar una PCB industrial, funcional y fiable. Obviamente, hay más, y la siguiente lista de pautas de diseño de PCB no debe considerarse como una lista exhaustiva [13].

Al colocar los componentes, asegúrese de que la opción “Ajustar a la cuadrícula” esté activada. Inicie la colocación de los componentes en el siguiente orden: conectores, circuitos de alimentación, circuitos sensibles y de precisión, componentes de circuitos críticos (MCU, DSP, FPGA, memoria y cristales de reloj) y luego el resto. Además, los componentes deben colocarse teniendo presente a qué otros componentes van conectados.

Los componentes similares deben orientarse en la misma dirección, ya que esto ayudará a un proceso de soldadura eficiente y sin errores.

Evite colocar componentes en la cara de soldadura de una placa.

Coloque todos los componentes de montaje superficial en el mismo lado de la placa, y todos los componentes de inserción en la parte superior de la placa para minimizar el número de pasos del ensamblaje.

Coloque los condensadores de desacoplamiento lo más cerca posible del pin de VCC en los componentes activos.

Los componentes que absorban más de 10 mW o con corrientes de más de 10 mA deben considerarse lo suficientemente potentes para consideraciones térmicas y eléctricas adicionales. Las señales sensibles deben protegerse de las fuentes de ruido mediante planos de masa y mantener controlada su impedancia.



Los componentes de potencia deberían utilizar planos de tierra o de alimentación para el flujo de calor. Realice conexiones de corriente elevada de acuerdo con la caída de voltaje aceptable para la conexión. Las transiciones entre capa para pasos de corriente elevada deben realizarse con dos a cuatro vías en cada transición entre capas. Coloque múltiples vías en las transiciones entre capas para aumentar la fiabilidad, reducir las pérdidas resistivas e inductivas y mejorar la conductividad térmica.

Crear siempre un plano de tierra. Éste puede ser una gran área de cobre en una placa de una sola capa o incluso una capa completa dedicada como plano de tierra en placas de múltiples capas. Una vez que se ha agregado el plano de tierra, simplemente es cuestión de conectar todos los componentes que necesitan ir a tierra mediante vías.

Las pistas de cobre del mundo real tienen resistencia. Esto significa que una pista tiene una caída de tensión, una disipación de potencia y un aumento de temperatura cuando la corriente fluye a través de ella. El ancho de las pistas debe dimensionarse de acuerdo con la corriente estimada que fluye a través de ellas. Por lo tanto, las líneas de alimentación deben ser más anchas porque toda la corriente es suministrada por estas pistas. Típicamente, las pistas de cobre en PCB suelen tener un espesor de 35 micras. Así:

Tabla 1 – Anchura de pista y corriente máxima

| Anchura de pista | Valor de corriente máxima |
|------------------|---------------------------|
| 4 mm             | 10A                       |
| 2 mm             | 5A                        |
| 1,5 mm           | 4 A                       |
| 1 mm             | 3 A                       |
| 0,5 mm           | 2A                        |
| 0,2 mm           | 0,5 A                     |

Minimizar las longitudes de las pistas al colocar los componentes y evitar ángulos de 90 grados. Utilizar dos curvas de 45 grados en su lugar. Las razones para esto son que en el proceso de fabricación de la placa, la esquina exterior de la pista puede resultar un poco más estrecha, cambiando así su impedancia. El uso de ángulos de 45 grados acorta la trayectoria eléctrica entre los componentes. Además, las señales lógicas de alta velocidad pueden reflejarse desde la parte posterior del ángulo de 90 grados, causando interferencia.

Mantener separadas las conexiones a tierra, las analógicas de las digitales, porque los picos de tensión y de corriente de los circuitos digitales pueden generar interferencias (ruido) en los circuitos analógicos, lo que afecta su rendimiento.

Estas reglas no están en ningún orden en particular, generalmente se pueden aplicar a cualquier proyecto de diseño de una PCB y deben ser una guía útil para los diseñadores novatos.

Como resultado de los procesos de posicionamiento y enrutamiento, finalmente obtenemos el diseño de la PCB, que es el dibujo donde aparecen las huellas de los componentes electrónicos en la posición que ocuparán en la PCB final y las pistas de interconexión entre los pines.

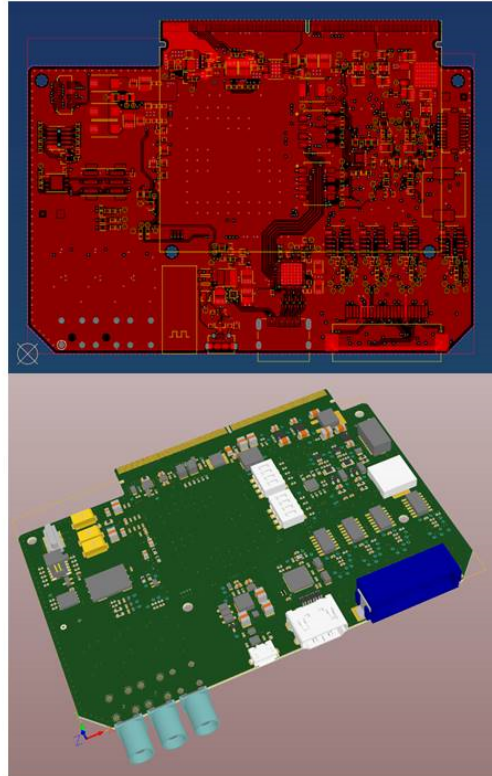
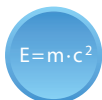


Fig. 5. Diseño de la PCB: 2D (arriba) y 3D (abajo).

## 5.6 Verificación de las reglas de diseño

Una vez trazadas todas las pistas, es hora de verificar el enrutamiento de cada señal para verificar que no falte nada o que esté conectado incorrectamente (vías faltantes, pads no conectados, cortocircuitos, etc.). En general, todos los paquetes de software CAD generalmente incorporan herramientas de diseño de diseño, como la Comprobación de Reglas de Diseño (DRC).



---

La Comprobación de Reglas de Diseño (DRC) es una potente función automatizada que verifica la integridad lógica y física de un diseño.

---



---

La Comprobación de Reglas de Diseño (DRC) debería usarse en cada placa enrutada para confirmar que cumple con una serie de parámetros recomendados llamados reglas de diseño.

---

Las reglas de diseño son una serie de parámetros (limitaciones) proporcionados por el fabricante de la PCB. La Comprobación de Reglas de Diseño permite establecer un conjunto de límites para anchos de pista, espaciado entre componentes, diámetros de vías, etc.

## 5.7 Documentación de la PCB

Una documentación adecuada es necesaria para reducir la posibilidad de malentendidos y errores durante el proceso de fabricación de la PCB. Los fabricantes de PCB deben conocer los requisitos exactos que se esperan de su producto, y los equipos de ensamblaje deben comprender cómo las placas de circuito encajan en la construcción final.

La documentación de la PCB debe incluir al menos los planos dimensionales del hardware, el esquemático, la lista de materiales (BOM), el archivo de diseño, el archivo de ubicación de componentes, los dibujos e instrucciones de ensamblaje y los archivos de Gerber.

Los archivos Gerber son una jerga de PCB para los archivos de salida del diseño que son utilizados por los fabricantes de PCB para crear la placa. Un conjunto completo de archivos Gerber incluye archivos de salida generados desde el archivo de diseño de la placa [14]:

- Serigrafía de las capas superior e inferior
- Máscara de soldadura de las capas superior e inferior
- Todas las capas metálicas
- Máscara de pasta superior e inferior
- Mapa de componentes (coordenadas X-Y)
- Dibujos de montaje
- Fichero de taladrado
- Drill legend
- FAB outline (dimensiones, características especiales)
- Fichero Netlist

Las características especiales incluidas en el FAB outline incluyen, entre otras, muescas, cortes, biselés, vías en pad (utilizados en encapsulados de IC de tipo BGA que poseen una matriz de pines bajo el dispositivo), vías ciegas/enterradas, acabado de superficie y nivelación, tolerancias de orificios, número de capas y más.

## **6** Fabricación

En este apartado, se describirá brevemente todo el proceso de fabricación de una PCB en una fábrica. Los procesos de fabricación de las PCB y ensamblaje de componentes se realizan en un ambiente extremadamente limpio donde el aire y los componentes se mantienen libres de contaminación. La mayoría de los fabricantes de productos electrónicos son propietarios de sus propios procesos.

Los siguientes pasos pueden considerarse como los más comunes en la fabricación de una PCB [14-15].

## 6.1 Generación del fotolito

Durante este paso inicial, se crea la imagen de la placa en un fotolito. Se genera un fotolito por capa. El fotolito se genera a partir de los archivos Gerber que se envían al fabricante o a la unidad de fabricación donde la imagen o máscara negativa se imprime en una hoja de plástico. En general, los fabricantes utilizan un plotter para hacer estos fotolitos.

Para las capas internas de la PCB, la tinta negra representa las partes de cobre conductor de la PCB. La parte clara restante de la imagen denota las áreas de material no conductor. Las capas exteriores siguen el patrón opuesto: claro para cobre y negro para el área que se atacará.

## 6.2 Ataque del cobre

El propósito del ataque es eliminar restos innecesarios de cobre del sustrato. Existen varias soluciones de ataque disponibles, todas basadas en diferentes tipos de productos químicos como el cloruro férrico, el persulfato de amonio, etc. Los más utilizados son el cloruro férrico o el ácido clorhídrico.

Durante este proceso, la PCB se coloca en un recipiente químico y se limpia con un cepillo.

## 6.3 Recubrimiento Electrolítico de Cobre (Metalizado)

Para hacer que los agujeros pasantes sean conductores y conecten eléctricamente a las diferentes capas de la placa de circuito impreso, se deposita químicamente una fina capa de cobre en los agujeros pasantes. Posteriormente, esta capa de cobre se espesará mediante un recubrimiento electrolítico de cobre.



## 6.4 Máscara de Soldadura

Generalmente, la máscara de soldadura es el recubrimiento verde en la placa PCB. La máscara de soldadura generalmente lo cubre todo en la placa PCB, excepto los pads y las vías. El propósito principal de la máscara es restringir las áreas que se cubrirán con la soldadura. También protege las placas de la contaminación, daños en la manipulación y posibles cortocircuitos eléctricos durante el montaje y la instalación.

## 6.5 Serigrafía

La serigrafía se utiliza normalmente en el lado del componente para identificar componentes, puntos de prueba, número de pieza de PCB, símbolos de advertencia, logotipos de la empresa y marcas del fabricante. Esto se hace usando impresión de chorro de tinta.

## 6.6 Acabado de Superficie

El Acabado de Superficie es el paso más importante entre el proceso de fabricación y el de montaje de la PCB, con dos funciones principales, una de las cuales es preservar las pistas de cobre expuestas y la otra es proporcionar una superficie soldable cuando se suelden los componentes a la PCB. El acabado de superficie se encuentra en la capa más externa de la placa de circuito impreso y por encima del cobre, desempeñando un papel como de "capa" para el cobre. Existen diferentes tipos de acabado de superficie, cada uno de ellos tiene un propósito diferente (dependiendo del lugar en el que la PCB tiene que trabajar y de los requisitos del proceso de montaje) y también tienen un método de aplicación diferente. Los más populares son: ENIG (Oro de Inmersión en Níquel Electrolítico), OSP (Protección de Superficie Orgánica), HASL (Nivelación de Aire Caliente), Plata de Inmersión y Estaño de Inmersión.

## 6.7 Taladrado

El taladro está controlado por ordenador. El operador selecciona el archivo de taladro de la PCB de los archivos Gerber. Éste contiene la información sobre qué taladros utilizar y las coordenadas X-Y de los agujeros. El taladrado de alta velocidad asegura unas paredes limpias del agujero y proporciona una base segura para el buen metalizado de las paredes del agujero.

El taladrado es un proceso lento, ya que cada orificio debe taladrarse individualmente. El cambio de broca es completamente automático. La máquina selecciona la broca que se va a utilizar desde el estante de brocas, comprueba que tiene el tamaño correcto y, a continuación, la carga en la cabeza de la broca. Normalmente, varias PCB (hasta 5) se perforan al mismo tiempo.

## 6.8 Test eléctrico

Uno de los últimos pasos del proceso de fabricación de una PCB es garantizar que la PCB esté libre de defectos y que cumple con los estándares de calidad esperados. Hoy en día, existen muchos equipos de prueba automáticos disponibles que permiten realizar las pruebas eléctricas de un volumen elevado de PCB.

Se comprueban las PCB para detectar circuitos abiertos o cortocircuitos en las pistas. Todas las pruebas incluyen un software que mediante una punta eléctrica de prueba aplica una pequeña tensión a cada punto de contacto y verifica que aparece cierta tensión en los puntos de contacto apropiados.

## 6.9 Montaje

El montaje de componentes en la PCB es el proceso de soldadura o ensamblaje de componentes electrónicos a una placa de circuito impreso. El proceso de montaje de la PCB puede usar tecnología de montaje de inserción o tecnología de montaje superficial (SMT) o una combinación de ambas. En el primero de los métodos, los terminales de los componentes se insertan en los orificios perforados en la PCB. En el último método, los IC se colocan o se fijan directamente sobre los pads de la PCB.

## 7 Caso de Estudio

En este apartado se muestra el proceso completo de diseño de una PCB siguiendo un caso real de PCB. El diseño se ha realizado utilizando Altium Designer Software. Los pasos principales incluyen:

- Creación de bibliotecas: antes de comenzar el diseño de la PCB, tienen que estar hechos todos los símbolos para el diseño esquemático y también tienen que estar creadas todas las huellas necesarias para el diseño de la PCB.
- Obtener toda la información necesaria.
  - Información mecánica de la carcasa: formato 3D STEP, DXF (escala 1:1), PDF que contiene las áreas restringidas para componentes en las caras SUPERIOR e INFERIOR de la placa.
  - Esquema final: contiene todas las conexiones entre componentes, algunas reglas relacionadas con los diferentes nodos y explicaciones sobre cómo proceder con componentes especiales.
  - Recomendaciones de diseño del fabricante de los componentes clave (esto aplica a microcontroladores, componentes de alimentación, memorias DDR y a cualquier componente que requiera un diseño especial).
- Definición de la pila de capas: Definir en función de la necesidad de PCB, la densidad, el presupuesto y el tiempo de diseño.

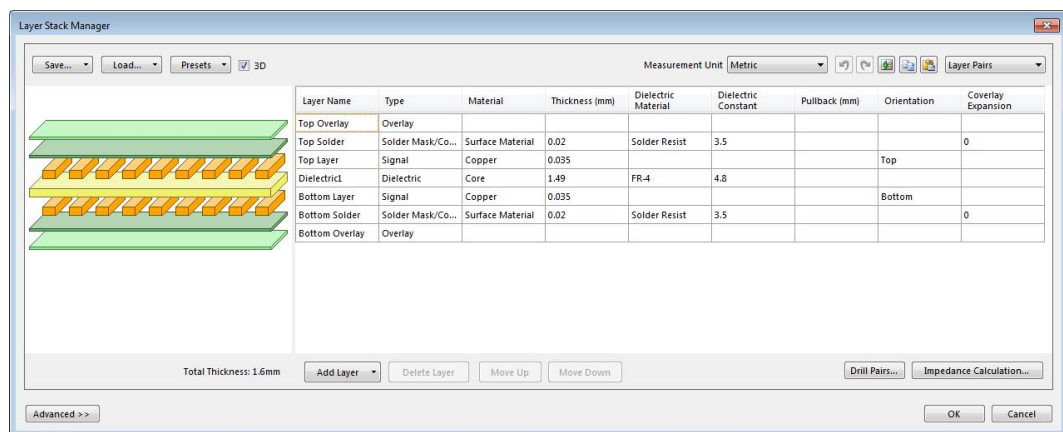


Fig. 6. Definición de la pila de capas de la PCB.

- Importar el mechanical DXF a Altium special layer (capa mecánica).

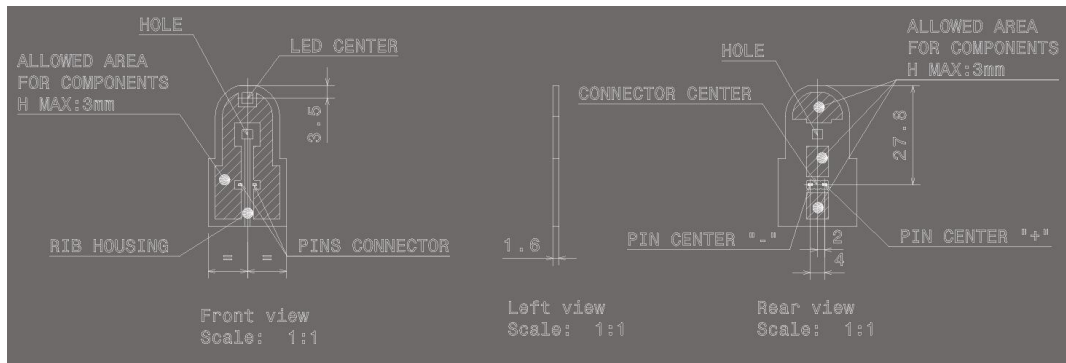


Fig. 7. Capa mecánica.

- Definir la forma de la placa a partir del fichero DXF en la capa mecánica 2 (se usará mecánica 1 para el panel de producción y mecánica 2 para el diseño de una sola placa)
- Situe el origen de la PCB. Esto es muy importante y necesario para tener un buen punto de referencia para el diseño, colocar la PCB en el panel de producción, ubicar la carcasa 3D, la generación de información de producción (ficheros gerber y de taladrado) y la documentación de montaje (selección y ubicación, archivos ODB ++).



Fig. 8. Origen de la PCB.

- Dibuje las áreas restringidas para la colocación de componentes, cobre y diferentes restricciones de altura en las caras SUPERIOR e INFERIOR (elijá cualquier capa mecánica de Altium).



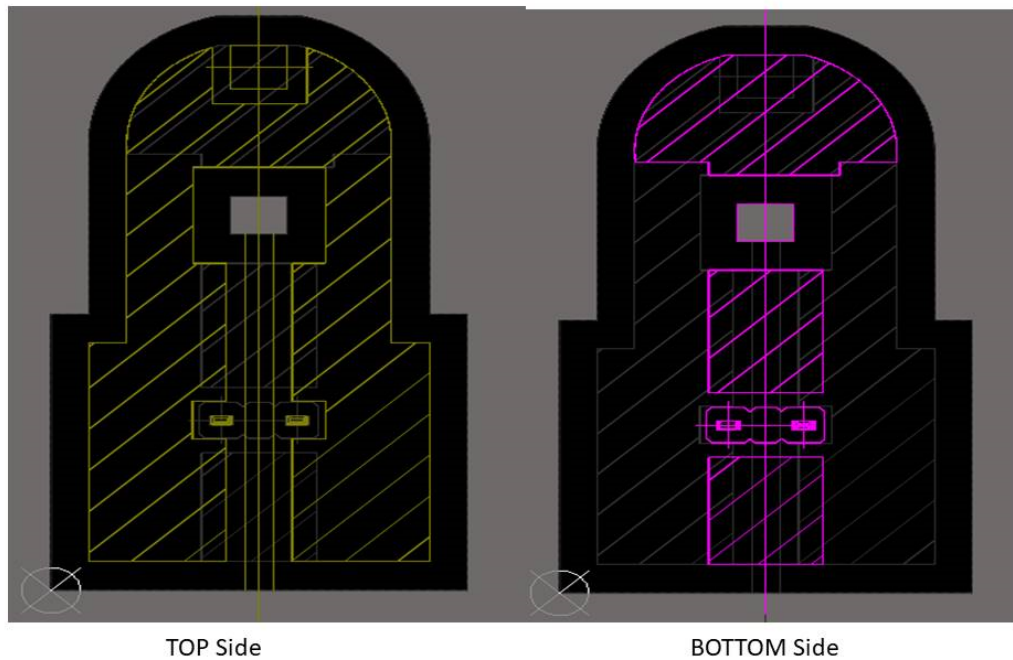


Fig. 9. Caras SUPERIOR e INFERIOR.

- Establecer todas las reglas de diseño en Altium Designer. Es posible establecer diferentes reglas para ayudarnos con nuestro diseño. Las reglas son relativas a restricciones eléctricas y de enrutamiento (distancias), la topología, las capas a usar, la ubicación, la fabricación, la integridad de la señal y muchos otros aspectos. Elegiremos las correspondientes y necesarias para llevar a cabo con éxito nuestro diseño.

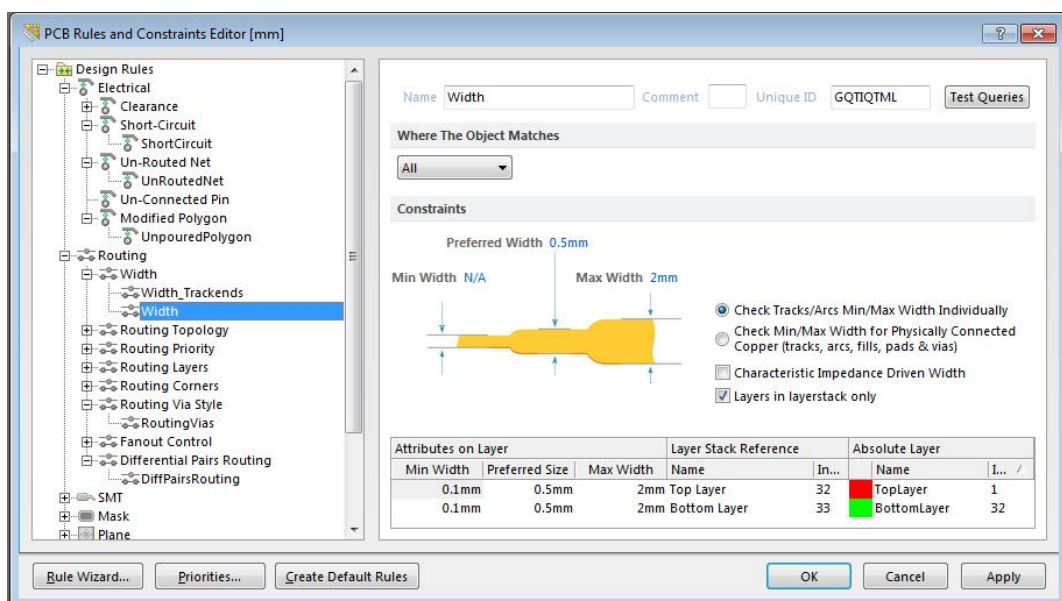


Fig. 10. Editor de reglas y restricciones de la PCB.

- Realice la actualización del esquemático de la PCB. En la PCB aparecerán todas las huellas correspondientes a los símbolos del esquemático.

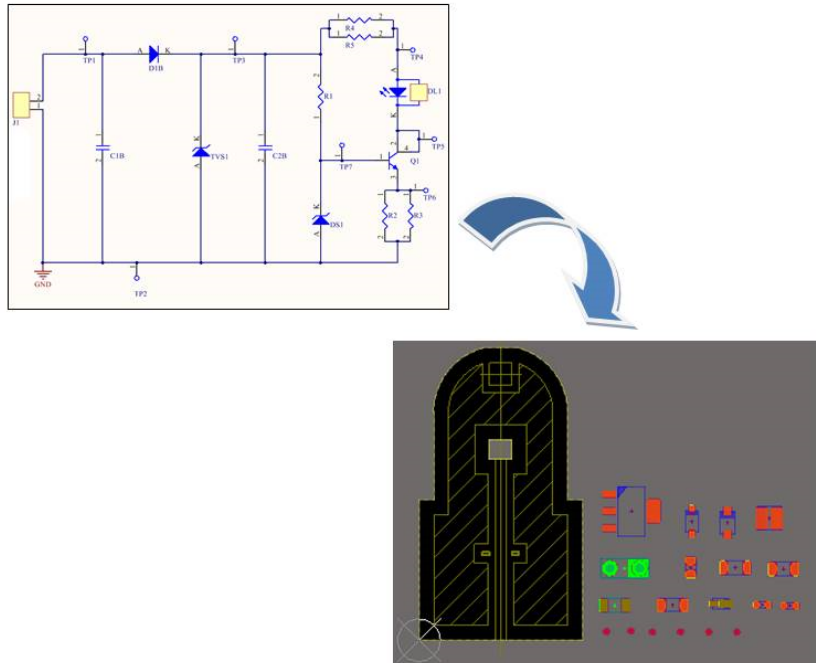


Fig. 11. Símbolos esquemáticos y huellas.

- Realice la colocación de los componentes. En este diseño, el objetivo es conseguir una longitud mínima del patrón (pattern) con sólo dos capas para minimizar el coste del producto final. También es necesaria la mejor disipación de energía, por lo que se necesita preparar el máximo espacio libre para poder hacer conexiones anchas de cobre.

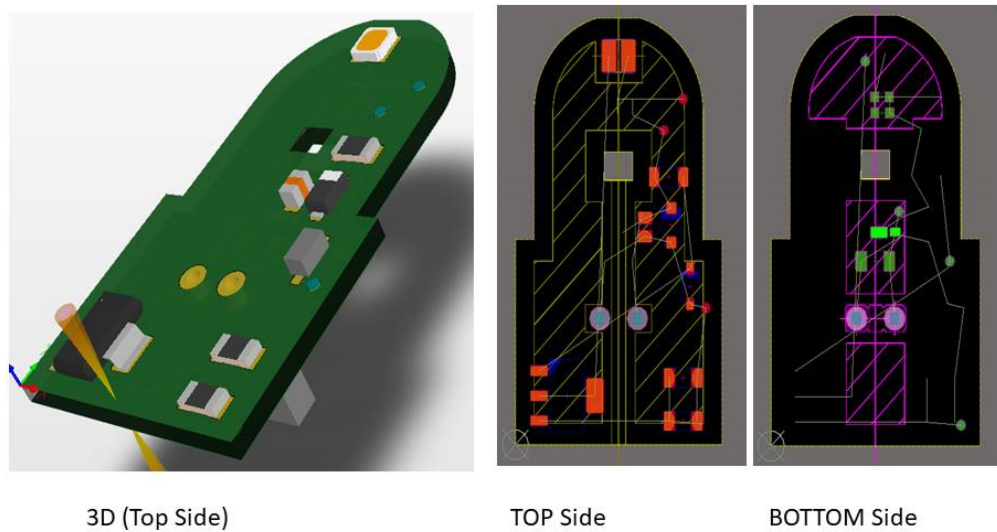


Fig. 12. Cara superior 3D, caras SUPERIOR e INFERIOR.

- Coloque los componentes con posición fija (a partir del diseño mecánico) como LEDs y conectores.
- Tenga cuidado con las áreas permitidas de colocación de componentes que se hayan definido.
- Coloque todos los componentes lo más cerca posible entre ellos dentro de cada bloque de circuito.
- Mantenga suficiente espacio para que el transistor controle la corriente a través del led para permitir la máxima disipación (alta potencia)
- Coloque juntos los divisores de tensión.
- Check the final placement with the real mechanical housing by embedding 3D step. Compruebe la colocación final con la carcasa mecánica real incrustando el paso 3D Compruebe la colocación final con la carcasa mecánica real incrustando el paso 3D.

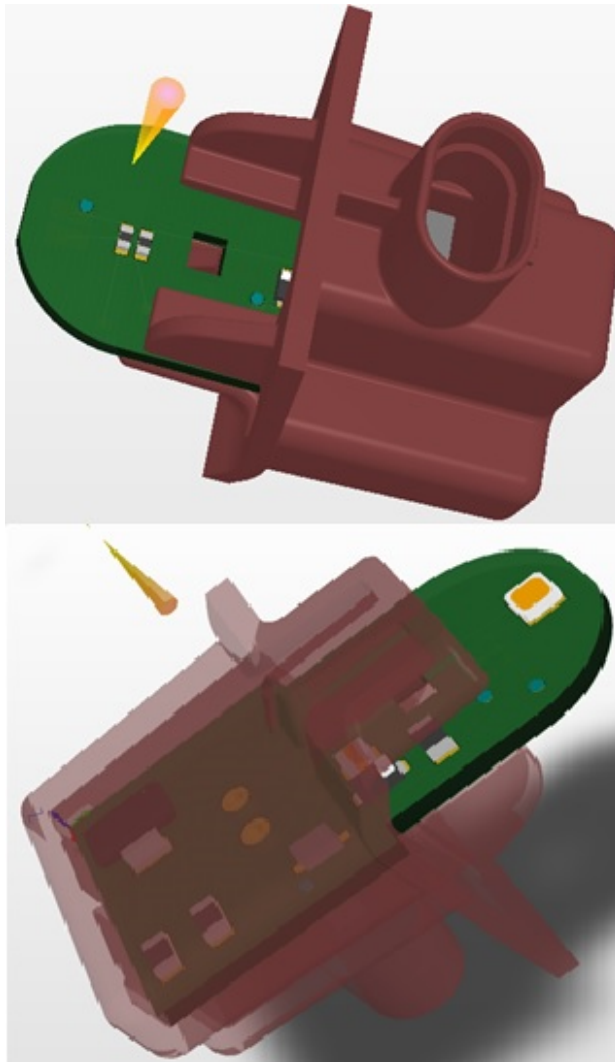


Fig. 13. 3D (Cara SUPERIOR), caras SUPERIOR e INFERIOR.

- Realizar el trazado de pistas de la PCB
  - A veces, una vez que se inicia el trazado de pistas, se detectan algunas posibles mejoras de ubicación, lo que significa que se deben realizar verificaciones 3D adicionales para asegurar que no haya problemas con el producto completo.
  - Se agregan muchas vías para mejorar la disipación térmica (esta es una placa especial donde la disipación de potencia es importante).



Fig. 14. Trazado de pistas de la PCB.

- Diseño del panel de producción. Debe hacerse para hacer un proceso de montaje más rápido y más barato. El panel contiene muchas PCB individuales con algunos agujeros y marcas. Las dimensiones del panel se definen de acuerdo con los requisitos de la planta de producción y la mejor rentabilidad del panel de trabajo del fabricante. El panel de trabajo contiene muchos paneles de producción.



Fig. 15. Diseño del panel de producción.

- Verificación de DRC (Comprobación de Reglas de Diseño) y DFM (Diseño para Fabricación).
- El DRC permite al diseñador de la PCB detectar cualquier posible error y asegurar la calidad final de PCB. Las comprobaciones se realizan automáticamente siguiendo las reglas de diseño establecidas. Algunas de las verificaciones de DRC están relacionadas con las siguientes reglas:
  - Eléctricas: pista no trazada, pin no conectado, cortocircuito, separaciones, ...
  - Trazado de pistas: anchura de pista, tipo de via, capas de enrutamiento, pares diferenciales, ..
  - SMT: Distancia desde cualquier SMD a plano de cobre, esquina, ...
  - Fabricación: Distancias entre serigrafía y máscara de soldadura, serigrafía a serigrafía, agujero a agujero, tamaño de los agujeros, ...
  - Alta velocidad: Vias bajo SMD, segmentos paralelos, recuento de vias, longitudes de pista coincidentes, .....
  - Colocación: Altura máxima, separación de componentes, capas permitidas, ...

- Otras reglas específicas de diseño de usuario.
- El DFM lo realiza la planta de producción que ensambla el Panel, e informa al diseñador de la PCB de cualquier problema que afecte la calidad del proceso de ensamblaje.
- Generación de la documentación del panel de producción de PCB para la fabricación y montaje de la PCB sin componentes.
- Necesario para la fabricación de la PCB sin componentes.
  - Información del fichero Gerber
  - Información de taladrado
  - Hoja de especificaciones de la PCB
- Necesario para el montaje de la PCB
  - Información de los ficheros Gerber y de taladrado
  - Archivos para la fabricación de plantillas para la pasta de soldadura de los SMD
  - Hoja de especificaciones de la PCB
  - Información de montaje de la PCB (pdf 's para cualquier capa de pcb)
  - ODB++ (formato universal)
  - Informe de puntos de test: para el test funcional y el *In Circuit Test* (ICT)
  - Fichero *Pick & Place*: para máquinas de inserción de componentes