

ESCUELA SUPERIOR DE INFORMÁTICA

UNIVERSIDAD DE CASILLA-LA MANCHA



Automatización Industrial

Fabricación de Circuitos Impresos

José Domingo López López
josed.lopez1@alu.uclm.es

Raúl Arias García
raul.arias2@alu.uclm.es

Pablo García Bastante
Pgarciab84@gmail.com

6 de Mayo del 2009

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	1
2. Qué es un circuito impreso.....	2
3. Descripción del proceso de fabricación.....	4
3.1. Diseño.....	4
3.1.1. Diseño asistido por computador.....	5
3.1.2. FreePCB.....	8
3.1.3. Normas para el diseño de circuitos impresos	12
3.1.4. Estándares IPC.....	12
3.2. Fabricación	13
3.2.1. Características de los sustratos.....	14
3.2.2. Impresión de Patrones.....	15
3.2.2.1. Impresión serigráfica.....	16
3.2.2.2. Fotograbado.....	17
3.2.2.3. Fresado.....	18
3.2.2.4. Impresión en material termosensible	19
3.2.3. Atacado químico	20
3.2.4. Perforado.....	21
3.2.5. Protección del circuito	22
3.2.6. Máscara antisoldante.....	22
3.2.7. Serigrafía.....	23
3.2.8. Pasta de Soldadura	23
3.2.9. Montaje.....	24
3.2.10. Soldadura de los componentes	25
3.3. Pruebas y verificación	26
4. Automatización del proceso	28
4.1. Aplicación de la pasta de soldadura	28
4.2. Posicionamiento de componentes en el PCB.....	30
4.3. Cadena de montaje manual	34
4.4. Soldadura de los componentes al PCB.....	35
4.5. Comprobación del hardware	37
5. Conclusiones.....	40
6. Apéndice A: Glosario.....	41
6.1. DIP	41
6.2. SMD.....	41
6.3. SMT	41
6.4. Wave soldering	42
6.5. Benchmark	42
6.6. Through-Hole Technology	43
6.7. PAD	43
7. APENDICE B: Videos.....	44
8. Apéndice C: Términos de uso	45
9. Referencias.....	46

ÍNDICE DE IMÁGENES

Fig. 3.1 Captura de pantalla de FreePCB	4
Fig. 3.2 Ejemplo de Conexión	9
Fig. 3.3 Lista de Capas	10
Fig. 3.4 Captura de pantalla con componentes	11
Fig. 3.5 Propiedades de un componente	11
Fig. 3.6 Placa virgen de bajo coste lijada y lista para tratar	14
Fig. 3.7 Circuitos flexibles	15
Fig. 3.8 Circuito impreso virgen.....	16
Fig. 3.9 Impresora modificada para imprimir sobre PCBs vírgenes	17
Fig. 3.10 Proceso de fotograbado	17
Fig. 3.11 izquierda, transparencias sobre la insoladora. Derecha, placa revelada.....	18
Fig. 3.12 Fresadora específica para circuitos impresos LPKF ProtoMat S100.....	19
Fig. 3.13 Tinta <i>toner</i> transferida a una placa virgen.....	20
Fig. 3.14 El cobre no cubierto por la tinta se elimina con un baño de Percloruro Ferrico	20
Fig. 3.15 PADs perforados	21
Fig. 3.16 Perforadora Hitachi ND-6L210E	22
Fig. 3.17 PCBs con mascara antisoldante aplicada	23
Fig. 3.18 Pasta de soldadura aplicada a la zona de montaje de componentes	24
Fig. 3.19 Componentes Through Hole	24
Fig. 3.20 Componentes SMD	25
Fig. 3.21 Estañador.....	26
Fig. 3.22 Fallos en el patrón de conexiones. De izquierda a derecha: Cortocircuito y Circuito Abierto.....	26
Fig. 4.1 "Screen Printer" de DEK, modelo Infinity	28
Fig. 4.2 Aplicación de la pasta de soldadura	29
Fig. 4.3 Interfaz de Instinctiv™ V9.....	30
Fig. 4.4 Segmento de una cabeza posicionadora	31
Fig. 4.5 Cinturones de un modulo de suministro de componentes.....	31
Fig. 4.6 Unidad Collect&Place de 20 segmentos	32
Fig. 4.7 SIPLACE X Series de Siemens.....	33
Fig. 4.8 Software de control de una maquina pick&place para Windows	33
Fig. 4.9 Operarias colocando los distintos componentes del PCB	34
Fig. 4.10 Ola de soldadura liquida.....	35
Fig. 4.11 "Wave solder machines" de APS Novastar.....	36
Fig. 4.12 Keypad de una Wave Solder Machine	36
Fig. 4.13 Rack neumático superior que conecta las tarjetas a los puertos PCI	38
Fig. 4.14 Placa base completamente conectada para comenzar con el test.....	38
Fig. 4.15 Placas base ejecutando el Benchmark.....	39

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Programas para el diseño de circuitos impresos.....	5
---	---

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo trata sobre el proceso de fabricación de los circuitos impresos o PCB's.

En el apartado “Descripción del proceso de fabricación” se ofrece una visión general del proceso de fabricación de los PCB's, desde el diseño de los propios circuitos en un ordenador hasta el montaje y pruebas de todos los componentes sobre el circuito. Se muestran técnicas y ejemplos propios tanto de la fabricación industrial como de la fabricación casera de PCB's. No se trata de establecer una comparativa, sino de mostrar como la fabricación de este tipo de dispositivos es compleja y poder así ver el beneficio que se obtiene automatizando el proceso.

En el siguiente apartado “Automatización del Proceso” se pretende dar una visión de un caso de estudio concreto sobre la fabricación de una placa base en un entorno automatizado.

En el último apartado “Conclusiones” se darán una serie de razones por las que es beneficiosa la automatización de este proceso de fabricación.

2. QUÉ ES UN CIRCUITO IMPRESO

Los Circuitos impresos o PCB (Printed Circuit Board) consisten en unas placas de sustrato no conductor que se emplean para el montaje e interconexión de componentes electrónicos a través de rutas o pistas de un material conductor grabadas sobre el sustrato.

El inventor de los circuitos impresos es el ingeniero australiano Paul Eisler (1907-1995) quien, mientras trabajaba en Inglaterra, hizo uno alrededor de 1936 como parte de una radio. Alrededor de 1943, los Estados Unidos comenzaron a usar esta tecnología en gran escala para fabricar radios que fuesen robustas, para la Segunda Guerra Mundial. Después de la guerra, en 1948, EE.UU. liberó la invención para el uso comercial. Los circuitos impresos no se volvieron populares en la electrónica de consumo hasta mediados de 1950, cuando el proceso de *Auto-Ensamblaje* fue desarrollado por la Armada de los Estados Unidos.

Antes de los circuitos impresos (y un poco después de su invención), se utilizaba la ensamblaje punto a punto. Para prototipos o pequeñas producciones, *wire wrap* era más eficiente.

Originalmente, todos los componentes electrónicos tenían patas de alambre, y el PCB tenía orificios taladrados para cada alambre de cada componente. Las patas de los componentes se pasaban a través de los orificios y se soldaban a la pista del PCB. Este método de ensamblaje es llamado *through-hole* (“a través del orificio”, por su nombre en inglés). En 1949, Moe Abramson y Stanislaus F. Danko de la *United States Army Signal Corps* desarrollaron el proceso de auto-ensamblaje en el que las patas de los componentes eran insertadas en una lámina de cobre con el patrón de interconexión, y luego eran soldadas. Con el desarrollo de la laminación de tarjetas y técnicas de grabados, este concepto evolucionó en el proceso estándar de fabricación de circuitos impresos usado en la actualidad. La soldadura se puede hacer automáticamente pasando la tarjeta sobre un flujo de soldadura derretida, en una máquina de soldadura por ola.

Sin embargo, las *patas* y orificios son un desperdicio. Es costoso perforar los orificios, y el largo adicional de las *patas* es eliminado. En vez de utilizar partes *through-hole*, a

Fabricación de Circuitos Impresos

menudo se utilizan dispositivo de montaje superficial (SMT o Surface-Mounted Technology, por sus siglas en inglés).

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

3.1. Diseño

A la hora de construir un circuito impreso, lo primero que se debe hacer dibujar el diseño original del circuito impreso tal como queremos que quede terminado. Este proceso se puede hacer a mano -en un papel con un lápiz y una regla- o utilizando un programa de diseño de circuitos impresos (Fig. 3.1). Este tipo de herramientas recibe el nombre de herramientas **CAD** (*Computer Aided Design o Diseño Asistido por Computador*) y, como es de suponer, es la opción más recomendable. Existen multitud de programas que, de una forma u otra, pueden satisfacer nuestras necesidades (Tabla 3.1).

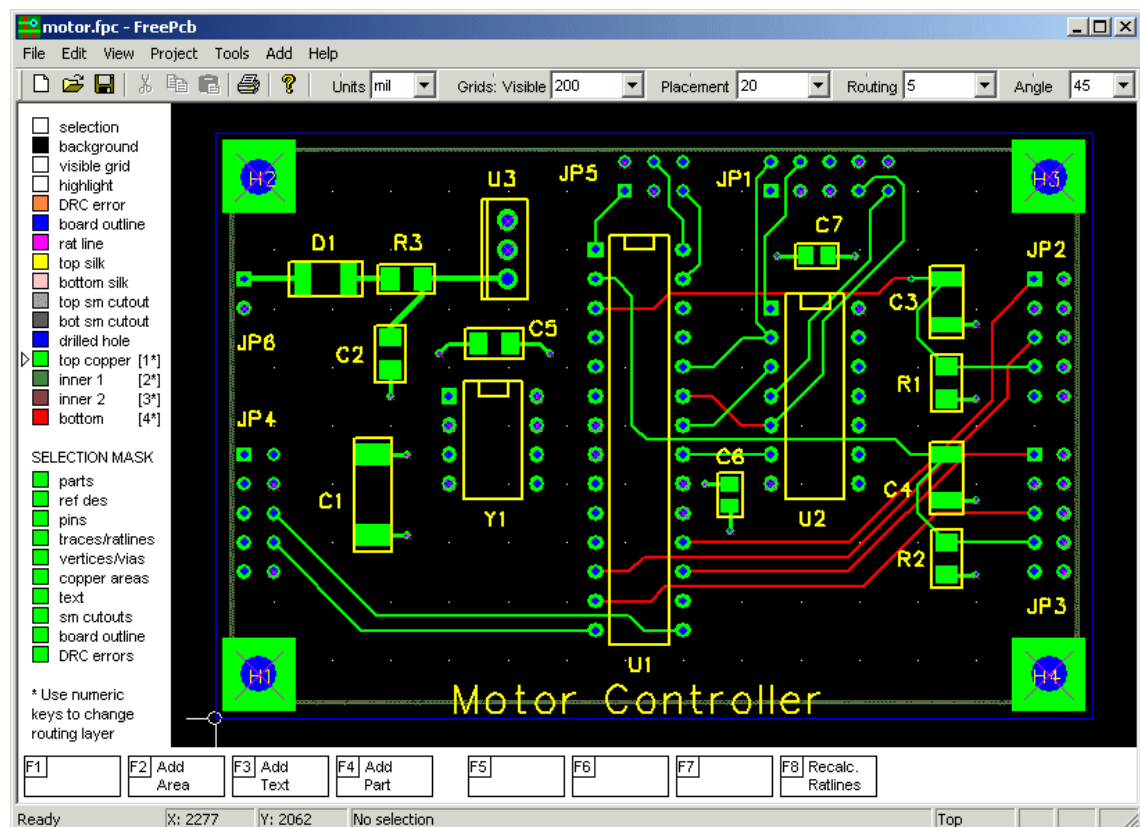


Fig. 3.1 Captura de pantalla de FreePCB

<i>Nombre</i>	<i>Descripcion</i>
<u>OrCAD.</u>	Uno de los programas de diseño de PCBs mas completo y conocido.
<u>FreePCB</u>	Herramienta libre y gratuita para Windows, disponible bajo licencia GPL.
<u>PCB</u>	Herramienta libre para X11.
<u>gEDA</u>	Familia de herramientas EDA, disponibles bajo licencia GPL.
<u>Kicad</u>	GPL PCB suite. Herramienta libre disponible bajo licencia GPL.
<u>EAGLE</u>	Herramienta comercial, existe una versión gratis para amateurs (con limitaciones en el tamaño de la tarjeta)
<u>Cadstar</u>	Completa herramienta comercial para el desarrollo de PCBs
<u>Cadstar</u> <u>Express</u>	Herramienta de diseño gratis
<u>Altium</u> <u>Designer</u>	Sistema de desarrollo completo.
<u>Zuken</u>	Software de diseño
<u>DipTrace</u>	Software gratuito (versión freeware) y de muy fácil uso para la creación de circuitos impresos.

Tabla 3.1 Programas para el diseño de circuitos impresos

3.1.1. Diseño asistido por computador

El diseño asistido por computador también conocido como CAD (Computer Aided Design), consiste en el uso de una gran variedad de herramientas computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y a otros profesionales del diseño en sus respectivas actividades. También se le puede denominar CADD (Computer Aided Drafting and Design) refiriéndose al dibujo y diseño asistido por computador. Además el CAD es utilizado en el ámbito de procesos de administración del ciclo de vida de productos (Product Lifecycle Management).

Con el CAD se puede controlar el ciclo de vida de los productos (en inglés Product Lifecycle Management). Para ello se cuenta con programas muy específicos, y en algunas ocasiones con un hardware muy especial, que ayudan a determinar la vida útil de cualquier instrumento.

Fabricación de Circuitos Impresos

Gracias a las máquinas se pueden fabricar los actuales microchips de los computadores, que tienen una gran cantidad de circuitos microscópicos. Además de su reducido tamaño, se han podido hacer más rápidos, que puedan gestionar mayor cantidad de información, que aumente su vida útil, etc. Es decir, se han conseguido alcanzar una gran cantidad de mejoras a un alto nivel de precisión.

Los datos proporcionados por el CAD, se mandan a la máquina para realizar el trabajo, con una intervención del operador mínima. Ejemplos de procesos desarrollados con CAD son:

- Fresado programado por control numérico.
- Realización de agujeros en circuitos automáticamente por un robot.
- Soldadura automática de componentes SMD en una planta de montaje.

La fabricación asistida por computadora (CAM, en inglés computer aided manufacturing), implica el uso de computadores y tecnología de cómputo para ayudar en todas las fases de la fabricación de un producto. Dichas fases incluyen la planificación del proceso y la producción, maquinado, administración y control de calidad.

Muy a menudo se combinan el diseño y la manufactura asistidos por computador en los sistemas CAD/CAM, de esta manera se permite la transferencia de información dentro de la etapa de diseño a la etapa de planificación para la manufactura de un producto. Aplicaciones características del CAD/CAM:

- Control numérico computarizado y robots industriales.
- Diseño de dados y moldes para fundición.
- Datos para operaciones de trabajo de metales.
- Diseño de herramientas y electrodos.
- Control de calidad e inspección.
- Planificación de procesos.

Este conjunto de herramientas se pueden dividir básicamente en programas de dibujo en dos dimensiones (2D) y modeladores en tres dimensiones (3D):

- Las herramientas de dibujo en 2D: estas herramientas se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos, con las que se puede operar a través de una interfaz gráfica.
- Los modelados en 3D: estos diseños añaden superficies y sólidos. Estos diseños dan una clara imagen del producto, llegando a ser prototipos de objetos ficticios que aun no se han desarrollado y mediante dicho modelado se pueden explorar en 3D con tantos detalles como le proporcione su diseñador. De esta manera se pueden producir pre-visualizaciones foto-realistas del producto, pero a veces se prefiere exportar los modelos a programas especializados en visualización y animación, como Maya, Softimage XSI o 3D Studio Max. Con el empleo de herramientas 3D el usuario puede asociar a cada entidad una serie de propiedades (color, usuario, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica, etc.) que permiten manejar la información de forma lógica. Además pueden asociarse a las entidades o conjuntos de éstas otro tipo de propiedades (material, textura, etc.) que permiten enlazar el CAD a los sistemas de gestión y producción.

De estos modelados pueden obtenerse planos con cotas, anotaciones e información muy útil para generar la documentación técnica específica para cada proyecto.

Las principales herramientas de CAD se utilizan actualmente en la industria para el diseño y la verificación de circuitos integrados.

Además, para el diseño de los circuitos se utiliza una gran variedad de métodos. Los métodos más utilizados para el diseño de circuitos analógicos son:

- Métodos de diagnóstico para circuitos no lineales analógicos.
- Simulación de circuitos.
- Simulación de frecuencia de dominio no lineal.
- Análisis simbólico en planos para circuitos lineales.
- Automatización de diseño de circuitos analógicos.
- Síntesis automática.
- Generación del Layout.

- Optimización y centramiento del diseño de circuitos electrónicos.
- Métodos de diagnóstico y prueba de circuitos digitales.

3.1.2. FreePCB

FreePCB es una aplicación gratuita, un editor de PCBs de software libre para Microsoft Windows, publicado bajo licencia GNU (General Public License). Fue diseñado para ser un programa fácil de aprender y fácil de usar, pero para seguir siendo capaz de realizar un trabajo de calidad profesional. No tiene un enrutador automático, pero puede usar el enrutador automático basado en web [FreeRoute](#). Algunas de sus características son:

- Soporte desde 1 a 16 capas de cobre.
- Tamaño de placa de hasta 60x60 pulgadas.
- Utiliza el sistema métrico internacional para la mayoría de sus funciones.
- Rellenado de áreas con cobre.
- Exporta ficheros Gerber extendidos (RS274X) y archivos Excellon.

Esta última característica es importante para los taladros automatizados, ya que reciben a partir de este tipo de archivos las posiciones de las perforaciones y sus dimensiones.

Para poder empezar a trabajar, primero hay que crear un nuevo proyecto. Luego en el Diagrama Esquemático se pueden unir los diferentes componentes con las conexiones. Los Pins o puntos de conexión tienen nombres que suelen ser números (Fig. 3.2).

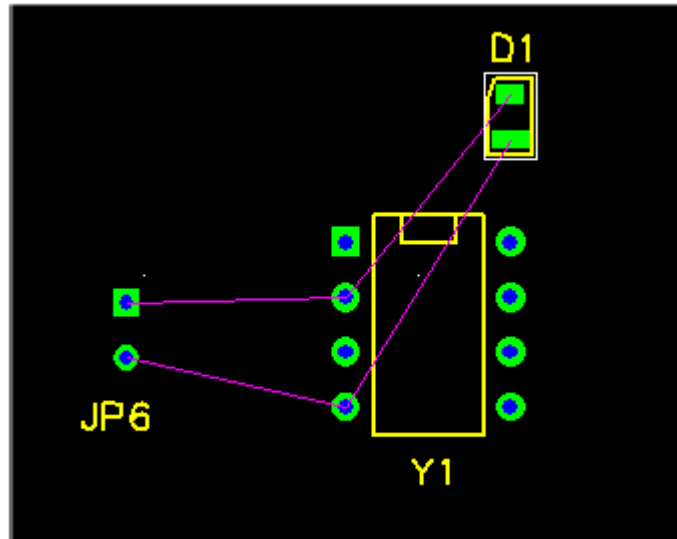


Fig. 3.2 Ejemplo de Conexión

Tiene una lista de partes, en la cual están todos los elementos en un diseño con su referencia y el paquete de identificadores. Además tiene una lista de redes, una red es un conjunto de pins los cuales esta conectados entre ellos con líneas de un esquemático.

Un ejemplo de creación de partes y listas sería:

PADS-PCB

PARTS

U1 DIP14

R1 RES_1/4W_AXIAL

C1 C0805

NETS

SIGNAL GND

U1.7 C1.2

SIGNAL \$1234

U1.1 R1.2 U1.2

Esta aplicación permite configurar desde la ventana de edición las unidades de medida en las que se va a trabajar y con estas unidades definidas, configurar las dimensiones del área visible y del grid o malla de trabajo.

Además tiene una lista de capas (Fig. 3.3) donde se nos permite configurar el color de cada capa y hacer visible o no una capa determinada. El área activa, en la que se está trabajando, también vendrá indicada en la lista de capas.

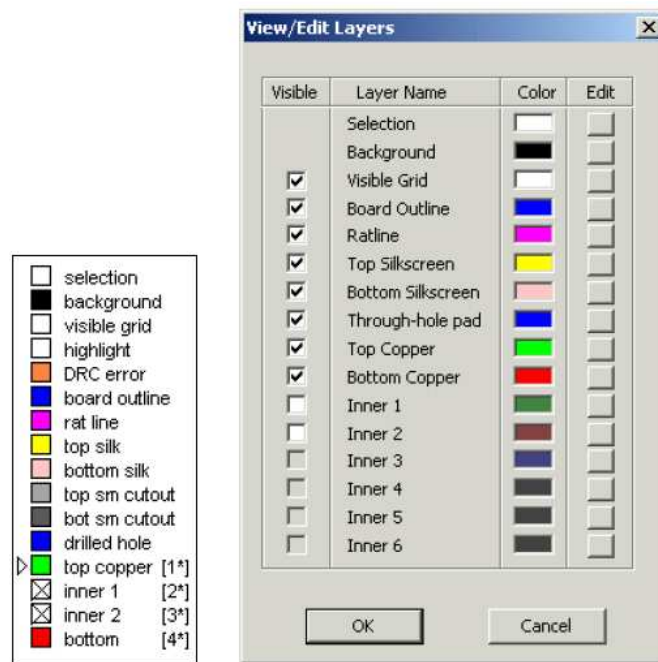


Fig. 3.3 Lista de Capas

Tiene un gran repertorio de componentes con los que diseñar multitud de circuitos, un ejemplo de los mismos se puede observar en la siguiente imagen (Fig. 3.4). En la imagen U1 es un Circuito Integrado (CI) de 20 pines con montaje Through-Hole, U2 es otro CI de 20 pines pero en este caso de montaje superficial, C10 es un condensador de montaje superficial y R12 es una resistencia, también de montaje superficial, pero colocada en el lado opuesto del circuito.

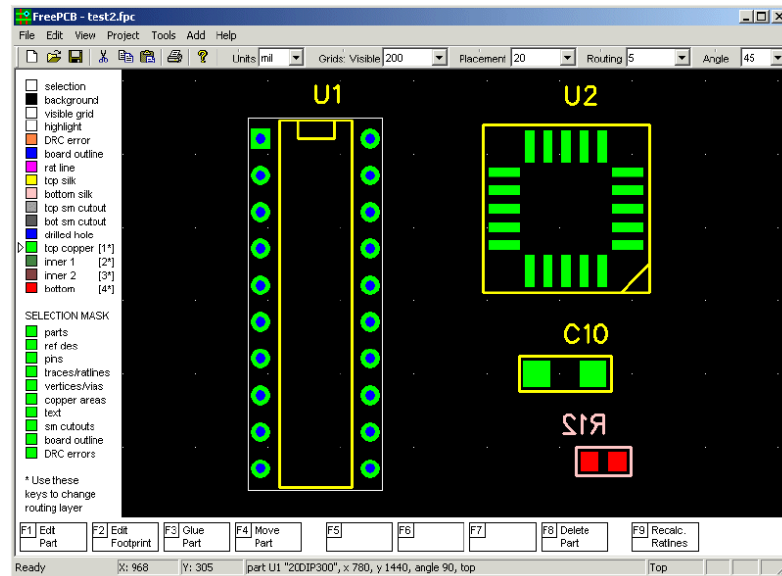


Fig. 3.4 Captura de pantalla con componentes

Cada componente tiene unas características propias que se indican en un menú cuando se quieren añadir al esquema, (Fig. 3.5). El programa también permite definir la forma que tendrá el PCB. Simplemente habrá que diseñar un polígono cerrado con la forma que se desee.

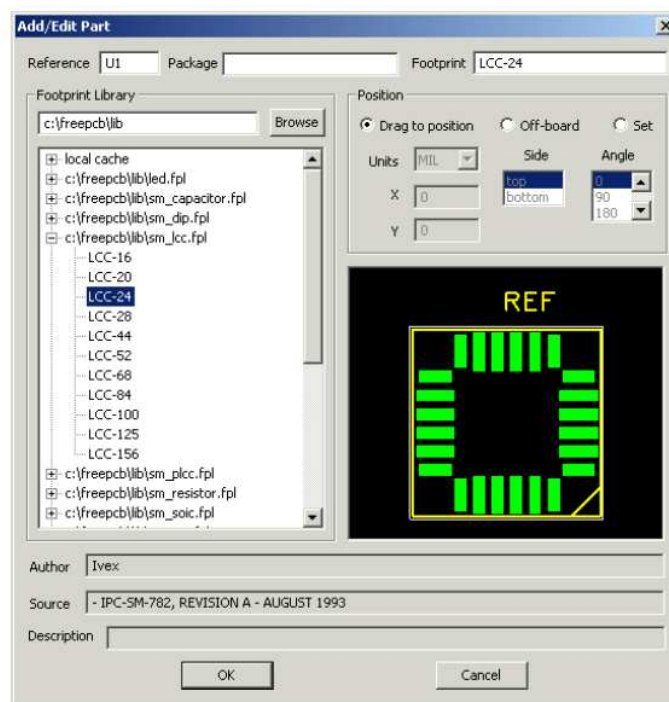


Fig. 3.5 Propiedades de un componente

3.1.3. Normas para el diseño de circuitos impresos

Las normas del IPC componen una herramienta imprescindible para adoptar rápidamente prácticas de diseño y fabricación de electrónica de alta calidad ahorrando años de pruebas y errores. Proporcionan criterios relevantes a la hora de evaluar la calidad de los circuitos electrónicos de los proveedores y al aplicarlas proporcionan un nivel de calidad comparable al de los países líderes de la industria electrónica, sin con ello aumentar los costes.

Las normas se pueden conseguir a través del sitio [web del IPC](#). En dicha dirección algunos estándares son gratuitos, pudiéndose descargar del mismo sitio.

Con la aplicación de las leyes se consiguen beneficios como:

- Conocimiento y criterios técnicos validados ampliamente por la experiencia.
- Facilitar el desarrollo dentro de "lo normal", asegurando la compatibilidad con un enorme universo de procesos y materiales.
- Proporciona a todos los desarrolladores de la industria electrónica un lenguaje común para describir atributos de calidad en el diseño y fabricación de circuitos electrónicos.

3.1.4. Estándares IPC

En muy amplio el universo de conocimiento y criterios, tanto de manufactura como de diseño electrónico, que proporcionan los estándares IPC. Por ello, solo se van a presentar algunos ejemplos ilustrativos:

- El estándar IPC-2221 (Generic Standard on Printed Board Design): permite determinar el ancho de una pista para una corriente deseada, según el espesor del cobre, la temperatura de operación, el material del sustrato y si se trata de pistas ocultas o de superficie con y sin máscara antisoldante.
- En las normas IPC-2221 e IPC-SM-782 (Surface Mount Design and Land Pattern Standard) se puede saber como la orientación y ubicación que

lleven los circuitos integrados DIP en su tarjeta influye en el índice de soldaduras defectuosas, o como el tamaño y posición incorrecto de los pads para montar un componente de montaje superficial (SMT) puede ocasionar serios problemas a cualquier línea de armado SMT del mundo.

- Entre los estándares IPC también están los de "aceptabilidad", como el IPC-A-610, "Aceptabilidad de Ensamblados Electrónicos" (disponible en español). Este estándar muestra, que es lo que se considera universalmente como "lo ideal", "lo aceptable" y "lo defectuoso" en la industria del ensamblado de componentes electrónicos y otros elementos. Esta norma proporciona además consejos para evitar errores en el armado y lograr ensamblados electrónicos fiables, verificables y robustos.

3.2. Fabricación

Los circuitos impresos están compuestos de una o varias capas conductoras, que se encuentran separadas y soportadas por capas de material aislante, al que se le conoce como sustrato. En los circuitos impresos multicapas las distintas capas se comunican a través de orificios llamados vías. Estas vías deben conducir las señales eléctricas entre las distintas capas del circuito y pueden ser de varios tipos: vías ciegas, las cuales solo pueden verse en un lado del circuito, o vías enterradas, las cuales no son visibles desde el exterior del circuito.

En este apartado se pretende mostrar los distintos pasos por los que pasa la fabricación de los circuitos impresos, sin entrar en detalles sobre el proceso de fabricación automatizado, ya que este se verá posteriormente en otro apartado.

3.2.1. Características de los sustratos

Los sustratos de los circuitos impresos más utilizados en la electrónica de consumo de bajo coste se hacen de papel impregnados de resina fenólica (Pertinax) (Fig. 3.6). Este tipo de sustratos son de peor calidad, pero suponen un coste menor y ofrecen menos resistencia a la perforación.



Fig. 3.6 Placa virgen de bajo coste lijada y lista para tratar

Los sustratos para los circuitos impresos utilizados en la electrónica industrial y de consumo de alto coste, están fabricados en un material de fibra de vidrio impregnado con una resina epoxica resistente a las llamas. Este material esta designado como FR-4. Estos sustratos requieren de herramientas especiales de perforación, debido al contenido de vidrio abrasivo, compuestas de carburo de tungsteno. Este sustrato es mucho más resistente que el Pertinax, aunque su coste es más elevado.

Existen otros tipos de sustratos utilizados en otros medios, como por ejemplo en los circuitos de radio frecuencia de alta potencia o en los circuitos utilizados en el vacío o en gravedad cero. Este tipo de circuitos requieren otro tipo de sustratos distintos a los mencionados en el punto anterior debido a las funciones que desempeñan o a las características especiales de los medios donde se emplean. Por ejemplo, los circuitos empleados en el equipo electrónico en la industria aeroespacial se requieren de núcleos

gruesos de cobre o aluminio que permitan disipar el calor, ya que no se puede realizar el enfriamiento por convección en el vacío.

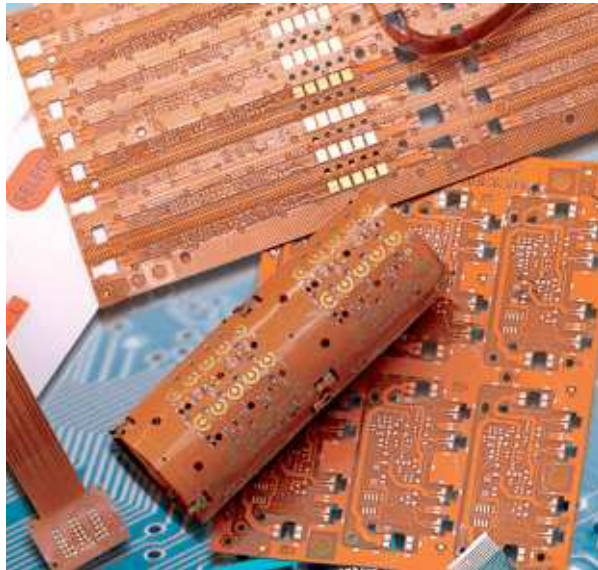


Fig. 3.7 Circuitos flexibles

Todos los mencionados anteriormente han sido sustratos rígidos, pero existen algunos tipos de sustratos diseñados para ser flexibles (Fig. 3.7). Este tipo de sustratos se utilizan en lugares donde el espacio es limitado, como puede ser una cámara digital o un audífono, o para conectar distintas partes rígidas de un mismo componente, como el cabezal móvil de una impresora de chorro de tinta.

3.2.2. Impresión de Patrones

En la fabricación de circuitos impresos se parte siempre desde un circuito impreso virgen (Fig. 3.8). Este circuito virgen es una placa de sustrato recubierta de una capa de cobre sobre la que se imprimirá el patrón de conexiones. Existen varias técnicas para realizar esta tarea. Estas son: Impresión serigráfica, Fotograbado, Fresado e Impresión en material termosensible.

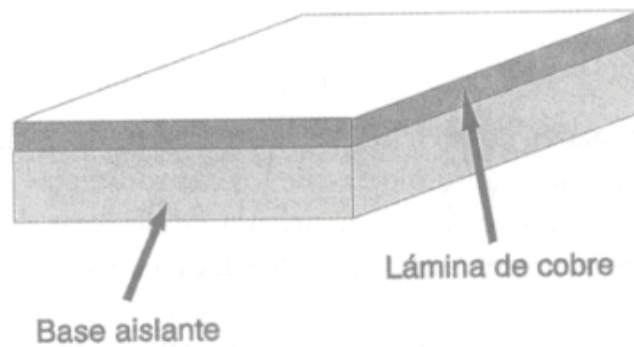


Fig. 3.8 Circuito impreso virgen

3.2.2.1. Impresión serigráfica

Con esta técnica se utilizan tintas especiales resistentes al grabado para marcar el patrón en la capa de cobre. La pintura se puede aplicar con plantillas o con un plotter específico para PCBs. Posteriormente se utilizan productos químicos para eliminar el cobre sobrante, no cubierto por la tinta.

También se pueden utilizar tintas conductoras sobre un sustrato no conductor imprimiendo directamente el patrón de conexiones sobre el sustrato. Esta técnica se emplea en la fabricación de circuitos híbridos.

Esta técnica es más propia de la fabricación industrial de PCBs que de la fabricación manual. A pesar de ello, se ha encontrado información sobre la modificación de impresoras para imprimir directamente sobre PCBs vírgenes con tintas especiales (Fig. 3.9). En este proyecto, se utiliza una impresora *Epson InkJet* (modelos C84, C87, C88,...), ya que usa actuadores piezo-eléctricos en el cabezal de impresión permitiendo el uso de gran variedad de tintas. La tinta usada para este método es del fabricante *MISTPRO*, que dispone de tintas que secan rápido sobre el cobre y evita que se corran. El texto original que habla sobre este proyecto es propiedad de Stefan Trethan y el creador del proyecto original fue Volkan Sahin.



Fig. 3.9 Impresora modificada para imprimir sobre PCBs vírgenes

3.2.2.2. Fotograbado

Esta técnica utiliza una transparencia del patrón en negativo, para transferir el patrón a la placa utilizando luz UV (Ultravioleta). Este tipo de grabado requiere placas fotosensibles, placas que tienen la capa de cobre cubierta con una resina fotosensible, para que se transfiera la transparencia del patrón a la placa utilizando. En las zonas en las que la transparencia deje pasar la luz UV, la resina reaccionará con ella (Fig. 3.10). Tras un proceso de revelado, la resina desaparecerá de las zonas en las que haya incidido la luz UV dejando marcado sobre la placa el patrón del circuito. Posteriormente, se requerirá de un atacado químico para eliminar el cobre sobrante y dejar únicamente el circuito.

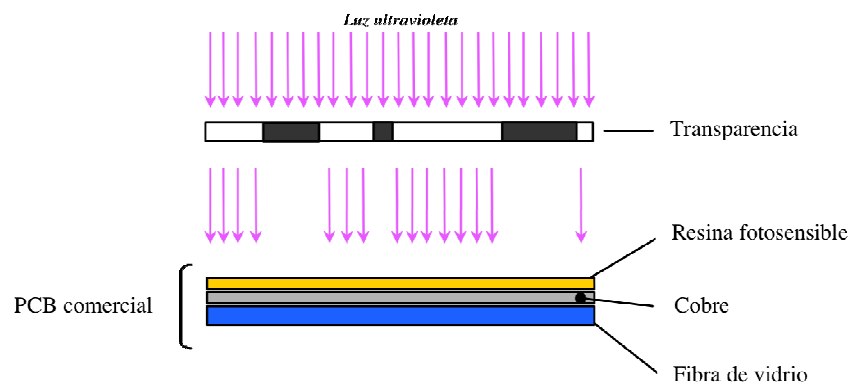


Fig. 3.10 Proceso de fotograbado

En la fabricación manual o en producciones muy limitadas de PCBs se utilizan insoladoras. Una insoladora es una caja que dispone de varios tubos fluorescentes de luz UV separados de la superficie por un cristal esmerilado. En este proceso se colocan las impresiones del patrón de conexiones hechas sobre papel transparente sobre el cristal de la insoladora y sobre este, la placa virgen fotosensible. La luz UV reaccionará con la resina fotosensible de la placa quedando marcado el patrón en la resina (Fig. 3.11). Tras un tiempo en la insoladora se deberá emplear un líquido revelador, sosa cáustica disuelta en agua, para dejar al descubierto el patrón transferido a la placa.

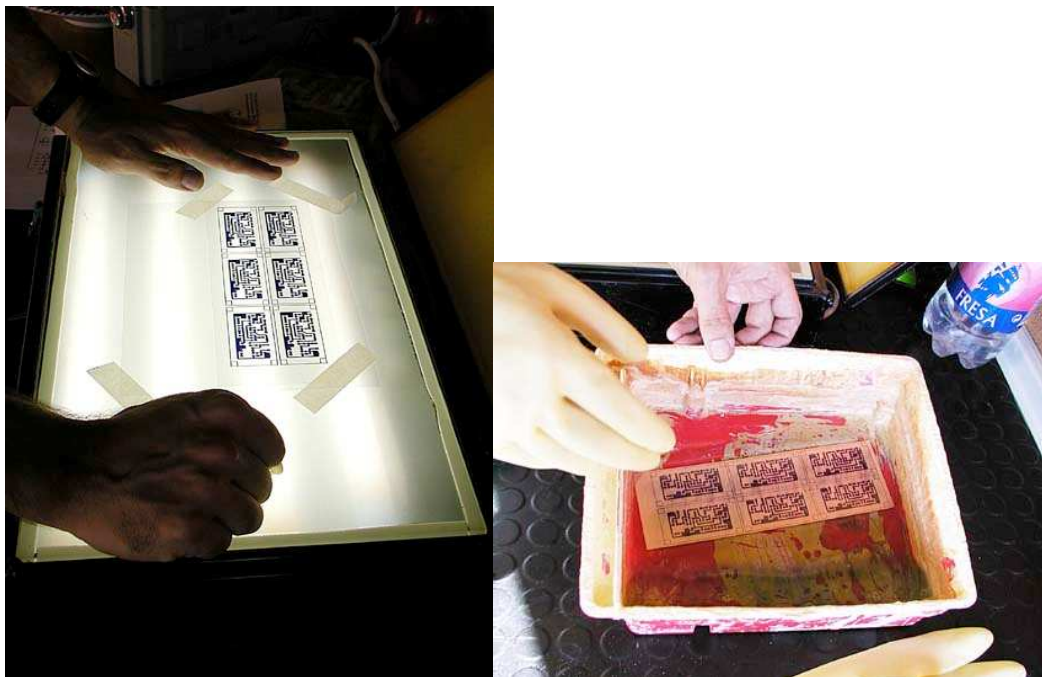


Fig. 3.11 izquierda, transparencias sobre la insoladora. Derecha, placa revelada

3.2.2.3. Fresado

En el fresado de circuitos se utiliza una fresa mecánica de 2 o 3 ejes, controlada por un programa informático que guía el cabezal para eliminar el cobre del circuito.

Esta es la técnica mas empleada en el sector industrial. Existen fresadoras específicas para circuitos impresos, incluso para circuitos multicapa. Un ejemplo de este tipo de fresadoras específicas es la *LPKF ProtoMat S100* (Fig. 3.12). Esta máquina concretamente tiene una velocidad de proceso de 150mm por segundo y hasta 100.000 revoluciones del

husillo por minuto. Además es un aparato de gran precisión, con una resolución de hasta 0,25 μm .

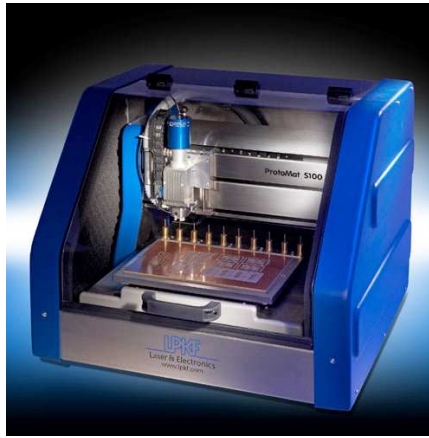


Fig. 3.12 Fresadora específica para circuitos impresos LPKF ProtoMat S100

En el **Video 1** se puede ver el funcionamiento de una fresadora eléctrica trabajando en la fabricación de varios PCBs.

3.2.2.4. Impresión en material termosensible

Esta técnica consiste en aplicar calor para transferir el patrón desde un material termosensible a la placa virgen. Esta técnica es similar a la impresión serigráfica ya que ambas marcan con tinta el patrón de conexiones en la placa virgen aunque el método para hacerlo es diferente. Mientras que en la impresión serigráfica se “pinta” directamente sobre la placa virgen, con este método se transfiere la tinta desde un medio a otro.

Esta es una de las técnicas de fabricación casera de PCBs mas usadas. Consiste en transferir una impresión en negativo del circuito, impreso sobre papel termosensible, a la placa,. La idea es transferir el *toner* a la placa virgen utilizando una fuente de calor (Fig. 3.13), con una plancha por ejemplo, y posteriormente eliminar el papel una vez se haya fijado el *toner* a la placa. Después, será necesario eliminar el cobre que no esté cubierto por el *toner*, que será el material sobrante, por medio de un atacado químico que se verá más adelante.

Hace tiempo, en los circuitos caseros se empleaban rotuladores de tinta indeleble para dibujar a mano el circuito directamente sobre el cobre de la placa virgen. Se ha podido observar que aun se sigue utilizando el rotulador de tinta indeleble para repasar zonas donde la transferencia del *toner* no ha sido completa o ha quedado mal definida.

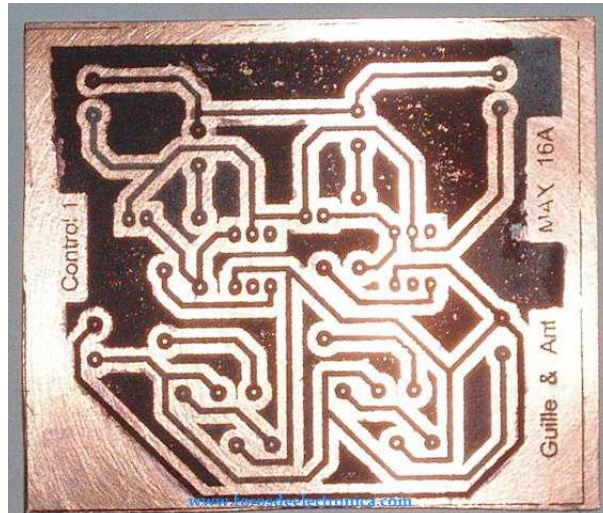


Fig. 3.13 Tinta *toner* transferida a una placa virgen

3.2.3. Atacado químico

Todas las técnicas mencionadas anteriormente para la impresión de patrones, excepto el fresado, requieren de un atacado químico para eliminar el cobre sobrante (Fig. 3.14). Para ello se utilizan ácidos o corrosivos como el Percloruro Férrico, el Sulfuro de Amonio, el Acido Clorhídrico mezclado con Agua y el Peroxido de Hidrogeno.



Fig. 3.14 El cobre no cubierto por la tinta se elimina con un baño de Percloruro Férrico

Para terminar con el atacado químico será necesario limpiar la tinta, o la resina en el caso del fotograbado, con un disolvente, dejando al descubierto el cobre que define el circuito.

3.2.4. Perforado

Una vez impreso el patrón en el circuito, será necesario realizar las perforaciones en los lugares indicados, tanto para el montaje de componentes como para la comunicación entre las distintas capas de un circuito impreso multicapa. Como se ha mencionado antes, para los circuitos impresos de alta calidad, con sustratos como el FR-4, se necesitan brocas resistentes de carburo de tungsteno para poder realizar una correcta perforación.

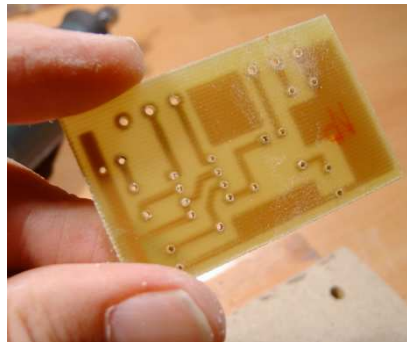


Fig. 3.15 PADs perforados

Durante la perforación, se debe tener especial cuidado en que los orificios queden centrados en los PADs (Fig. 3.15), puntos de soldadura de los componentes, y sean del tamaño correcto para que se pueda realizar correctamente la conexión entre la vía y el componente electrónico que se vaya a montar en dicho PAD.

En la fabricación industrial de circuitos integrados se utilizan comúnmente taladros guiados por computador y taladros láser para realizar micro-vías entre capas de un circuito multicapa. Un ejemplo de este tipo de taladros es la Hitachi ND-6L210E TOKU (Fig. 3.16). Estas maquinas son capaces de realizar perforaciones en 10 placas al mismo tiempo, con una precisión de $\pm 0.020\text{mm}$, utilizando taladros con brocas que se intercambian automáticamente, ya que estas se desgastan y además no todas las perforaciones realizadas tienen la misma anchura.



Fig. 3.16 Perforadora Hitachi ND-6L210E

3.2.5. Protección del circuito

Muchos fabricantes y particulares utilizan lacas o barnices protectores para sus PCBs que les dan una mayor durabilidad y resistencia, y protegen los circuitos de cobre. Estos productos protegen la placa de la humedad, ácidos, sales, oxido, corrosión... y pueden evitar pequeñas fugas de tensión o efectos de corona o de arco entre conexiones.

Un ejemplo de este tipo de productos es *KONTAKT CHEMIE Flux SK 10*, que es una solución tipo laca en base a resinas naturales sin aditivos. Esta laca se utiliza para proteger los metales blandos (como el cobre) de la corrosión. Además, no es necesario eliminarlo para soldar sobre él.

3.2.6. Máscara antisoldante

Las zonas de montaje de componentes y los PADs suelen metalizarse para facilitar el soldado de los componentes, debido a que el cobre no se puede soldar fácilmente. Para evitar problemas de cortocircuitos entre los distintos componentes, o entre las patas de un mismo componente, las zonas que no se deben soldar son recubiertas por un polímetro

resistente a la soldadura, mascara antisoldante. Esta mascara es la que le da el color final a los distintos tipos de PCB (Fig. 3.17).



Fig. 3.17 PCBs con mascara antisoldante aplicada

3.2.7. Serigrafía

Muchos fabricantes imprimen dibujos y texto sobre los PCBs para identificar componentes o conexiones o para incluir información sobre las características de la tarjeta, como pueden ser el fabricante, modelo, logotipo de la empresa,... Los dibujos y texto se pueden imprimir en las superficies exteriores de un circuito impreso, sobre el sustrato y no sobre las conexiones de cobre, a través de la serigrafía o también por impresión digital por chorro de tinta.

3.2.8. Pasta de Soldadura

En los entornos automatizados que requieren de la utilización de componentes cuyo montaje es del tipo superficial (explicado en el siguiente punto) se utiliza una plantilla perforada para esparcir una pasta de soldadura en los lugares de montaje de los componentes electrónicos y sus conexiones para que tras su montaje queden firmemente fijados y conectados en los lugares que les corresponden (Fig. 3.18). Esta pasta se compone de una aleación mayoritariamente de estaño micro-granulado, formando esferas que pueden ir de los 20 mm a los 75 mm de diámetro.

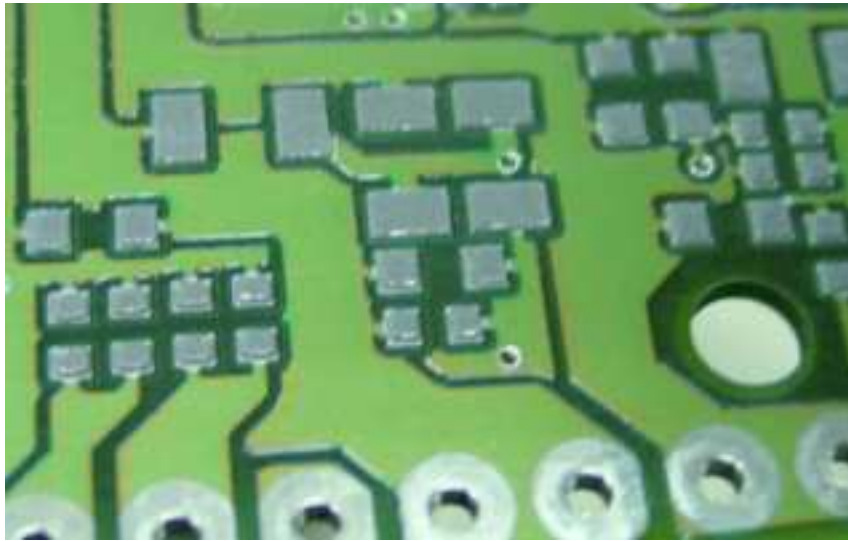


Fig. 3.18 Pasta de soldadura aplicada a la zona de montaje de componentes

3.2.9. Montaje

Existen dos técnicas para el montaje de los componentes: el montaje *Through Hole* y el montaje superficial. Cada una de estas técnicas de montaje utiliza componentes distintos diseñados para un tipo de montaje específico.

El montaje *Through Hole* (Fig. 3.19) consiste en montar los componentes introduciendo sus pines a través de los PADs y fijarlos eléctrica y mecánicamente al circuito con soldadura.

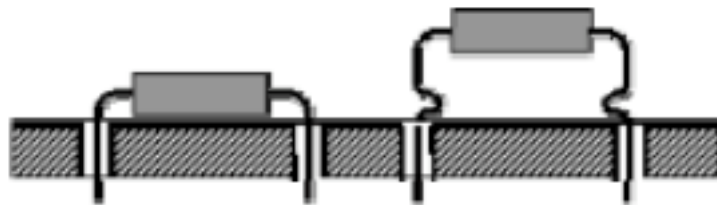


Fig. 3.19 Componentes Through Hole

La técnica de montaje superficial es la más utilizada actualmente en los entornos de fabricación automatizados. Esta técnica permite el montaje de los componentes electrónicos sobre la superficie del circuito, y no a través de él, como en el montaje

Through Hole. Además, permite el uso de componentes mucho más pequeños y baratos, debido a que no poseen pines o si los tienen son muy pequeños. A este tipo de componentes se los denomina componentes SMD (Surface Mountage Devices) (Fig. 3.20). El montaje superficial se utiliza casi exclusivamente en los entornos de fabricación automatizados ya que debido al reducido tamaño de los componentes es necesario el uso de un robot para colocar los componentes de forma correcta. Como se ha indicado anteriormente, para este tipo de componentes es necesario esparcir previamente una pasta de soldadura para que estos queden fijados y conectados al circuito.

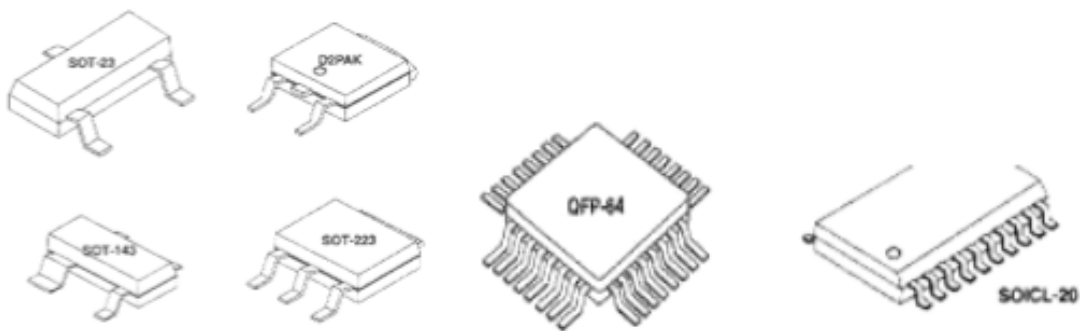


Fig. 3.20 Componentes SMD

3.2.10. Soldadura de los componentes

El montaje de componentes *Through Hole* necesita que estos sean soldados y fijados a la placa con soldadura. En los entornos automatizados de fabricación se utilizan una técnica de soldado automatizado llamada *Wave Soldering*, que será explicado más adelante, y que requiere el uso de maquinas especializadas para su realización. La soldadura empleada generalmente es una aleación de estaño/plomo.

El montaje manual de PCBs, al no ser generalmente tan complejo como el anterior solo requiere de un estañador (Fig. 3.21) y una bobina de estaño para realizar la soldadura de los componentes *Through Hole*.



Fig. 3.21 Estañador

3.3. Pruebas y verificación

Durante el proceso de fabricación pueden ocurrir fallos o defectos en la fabricación, como pueden ser un fallo en la impresión del patrón (Fig. 3.22) o en la soldadura, que causen que el circuito impreso no funcione como debería.

Para realizar comprobaciones sobre el circuito, en el proceso automatizado de fabricación se utilizan complejos sistemas de pruebas entre los que se incluyen mesas de testing, Benchmarks, etc. Estos sistemas de pruebas se verán en mayor profundidad más adelante.

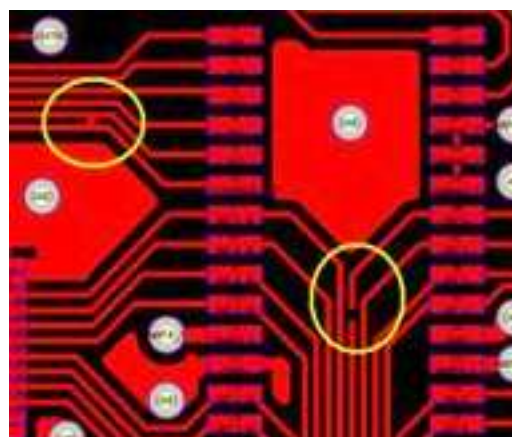


Fig. 3.22 Fallos en el patrón de conexiones. De izquierda a derecha: Cortocircuito y Circuito Abierto

En los circuitos más simples, una comprobación a simple vista suele ser el método más rápido y sencillo para comprobar si hay algún tipo de fallo sobre el circuito en alguna de sus pistas.

4. AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO

En este apartado se tratara un caso de estudio concreto sobre un proceso automatizado de fabricación de placas base. Este caso concreto es el de la empresa *Gigabyte Technology* con su modelo de placa base *P4 Titan*. En esta fábrica se parte de PCBs prefabricados por lo que el proceso automatizado de fabricación en este caso partirá a partir de ellos y el montaje de los componentes. Concretamente los pasos de la fabricación que se van a tratar son: Aplicación de la pasta de soldadura, posicionamiento de los componentes sobre el PCB, cadena de montaje manual, soldadura de los componentes y comprobación del hardware.

Al contrario de lo que se pueda pensar, este proceso de fabricación no está totalmente automatizado y sigue siendo necesaria la intervención humana en algunos aspectos del proceso de fabricación para completar con éxito dicho proceso.

4.1. Aplicación de la pasta de soldadura

Para la aplicación de la pasta de soldadura sobre la placa de circuito impreso se utilizan unas maquinas denominadas *Screen Printers* (Fig. 4.1). Este tipo de máquinas extienden la pasta de soldadura sobre la placa utilizando unas plantillas perforadas diseñadas a partir del esquema del circuito impreso realizado durante el proceso de diseño.



Fig. 4.1 "Screen Printer" de DEK, modelo Infinity

Un ejemplo de *Screen Printer* es la *DEK Infinity*. Esta máquina carga automáticamente las placas de circuito impreso, de un tamaño máximo de 508mm x 508mm, empleando una serie de raíles. Estos colocan correctamente la placa bajo la plantilla, ayudándose de una serie de sensores de posición y de las marcas de la tarjeta. La pasta de soldadura se extiende sobre la placa, llegando únicamente a los lugares donde se montaran los componentes SMT, utilizando una espátula (Fig. 4.2). Estas espátulas son generalmente de acero inoxidable o latón y están controladas mecánicamente por la máquina, que ejerce la presión adecuada para que la pasta solo se cuele por los orificios de la plantilla y no llegue debajo de ella. Esta presión dependerá de la calidad y del tipo de pasta de soldadura que se aplique. Por medio del mismo sistema de raíles las placas se colocan sobre un estante donde esperaran a ser recogidas para comenzar con el montaje de los componentes.

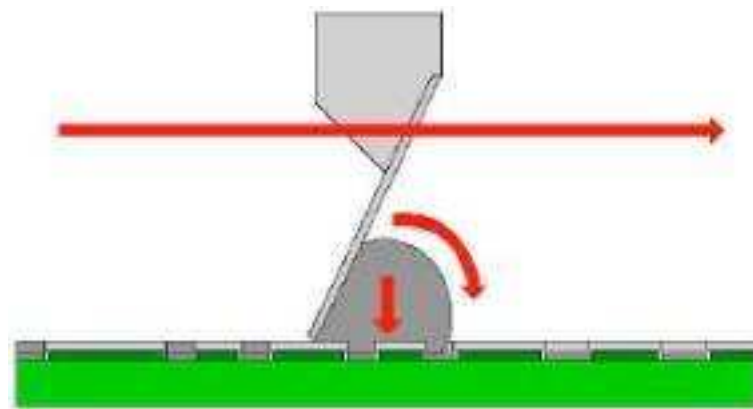


Fig. 4.2 Aplicación de la pasta de soldadura

La duración de un ciclo es de apenas unos segundos y el proceso completo tarda menos de un minuto mientras recoge la placa, la coloca, esparce la pasta y la lleva al estante (**Video 2**).

Esta máquina permite la comunicación través de una red basada en el bus de campo llamada ISCAN, que permite una comunicación muy sofisticada con la máquina, procesos de análisis y verificación, capacidades de diagnóstico *on-board*, consultar toda la información online a través de *DEK InterActiv™*,...

Dispone además de una pantalla táctil que utiliza un software específico de DEK, denominado *Instinctiv™ V9* (Fig. 4.3). Este software permite la configuración de la máquina y muestra información sobre el proceso de fabricación, como por ejemplo, la

duración actual del ciclo de producción, el numero de placas que han completado este proceso,... además de este software, la compañía ofrece módulos opcionales de hardware y software, como puede ser una cámara que reconoce cuando se está acabando la pasta de soldadura y es necesario cambiarla, o cuando la espátula está demasiado sucia y hay que limpiarla... con solo analizar cómo se ha repartido la pasta de soldadura sobre la placa.



Fig. 4.3 Interfaz de Instinctiv™ V9

4.2. Posicionamiento de componentes en el PCB

La tecnología SMT fue desarrollada por Siemens con el objetivo de reducir el tamaño de los componentes electrónicos por lo que también fue necesario desarrollar máquinas que automatizasen el proceso en el que intervienen dichos componentes. En los sistemas que implementan SMT se utiliza un tipo de máquinas denominadas *Pick&Place*. Estas máquinas son capaces de colocar entre 20.000 y 36.000 componentes por hora, es decir, entre 6 y 10 componentes por segundo (Fig. 4.4). Los parámetros que condicionan este factor serán explicados más adelante.

Una máquina de montaje consiste de componentes independientes que deben operar de forma sincronizada. Una cabeza de colocación de componentes unida a un brazo móvil recoge los componentes de una cinta transportadora (módulo de suministro) y los

transporta a la posición de montaje. El paso que hay entre recoger los componentes y posicionarlos en el circuito integrado requiere una considerable cantidad de tiempo, por lo que cuanto más rápido se haga esta fase, más rápido se hará el producto.



Fig. 4.4 Segmento de una cabeza posicionadora

Otro elemento importante es el de suministro de componentes. Actualmente, los componentes son distribuidos empaquetados en “cinturones” mediante rollos (Fig. 4.5). Este principio es similar al clásico utilizado en fotografía (rollos de películas). El cinturón está provisto de unos pequeños bolsillos o compartimientos que contienen en su interior los componentes, y unos agujeros en los bordes que aseguran un transporte preciso. Los rollos de cinturón entran por una cinta transportadora de modo que siempre hay un componente listo para ser recogido por la cabeza de colocación. El suministro de componentes debe estar garantizado en todo momento, incluso cuando varios componentes, uno después de otro y desde el mismo cinturón, están involucrados.



Fig. 4.5 Cinturones de un modulo de suministro de componentes

La unidad de 20 segmentos de recogida y posicionamiento de componentes (*20-segment Collect&Place unit*) es como el corazón de la máquina. Primeramente, es un componente altamente dinámico utilizado en construcciones ultra-ligeras (con inercia despreciable). Por otro lado, debe mantener tantos componentes en cada momento como sea posible. Cuantos más componentes tenga por ciclo, menos veces tendrá que acudir hacia la cinta transportadora para recoger componentes y volver al circuito integrado, lo que resultará en una mayor velocidad de operación (Fig. 4.6). La cabeza es capaz de extraer y sostener los componentes en su lugar mediante presión negativa de las pipetas. Una cámara registra los componentes que están firmemente conectados a la pipeta, compara su posición con la posición destino y emite un comando al micro-motor de la pipeta de modo que se coloca en la posición correcta. La cabeza de 20 segmentos C&P, que tiene una forma ligeramente cónica para tener más espacio para los componentes, incluye veinte pipetas, cada una con su propio motor. Estos motores son *brushless*, es decir, sin escobillas, y tienen un diámetro de 8-9 milímetros incluyendo el sensor de posición.

En el **Video 3** se puede ver el funcionamiento de una máquina C&P para el montaje de componentes SMD. Esta video concretamente corresponde a la máquina utilizada en nuestro caso de estudio.



Fig. 4.6 Unidad Collect&Place de 20 segmentos

Para hacer que la cabeza de 20 segmentos C&P trabaje con la mayor productividad posible, el suministro de componentes debe ser realizado con la mayor precisión posible, por lo que se utilizan cinturones de componentes en vez de cintas transportadoras por

vibración. Hasta hace poco, esta unidad consistía en uno, dos o tres cinturones los cuales funcionaban al mismo tiempo como un todo, incluso cuando solo se cambiaba un componente. Para aumentar la eficiencia, fue necesario que todos estos cinturones incorporasen tres cintas transportadoras independientes.



Fig. 4.7 SIPLACE X Series de Siemens

Por último, como se puede observar en la imagen (Fig. 4.7), estas máquinas incorporan un terminal provisto de monitor y teclado a través del cual el operario puede visualizar y ajustar determinados parámetros del proceso. En la siguiente imagen (Fig. 4.8) se puede observar una aplicación de control basada en Windows tan sencilla que apenas requiere un entrenamiento previo por parte del operario.

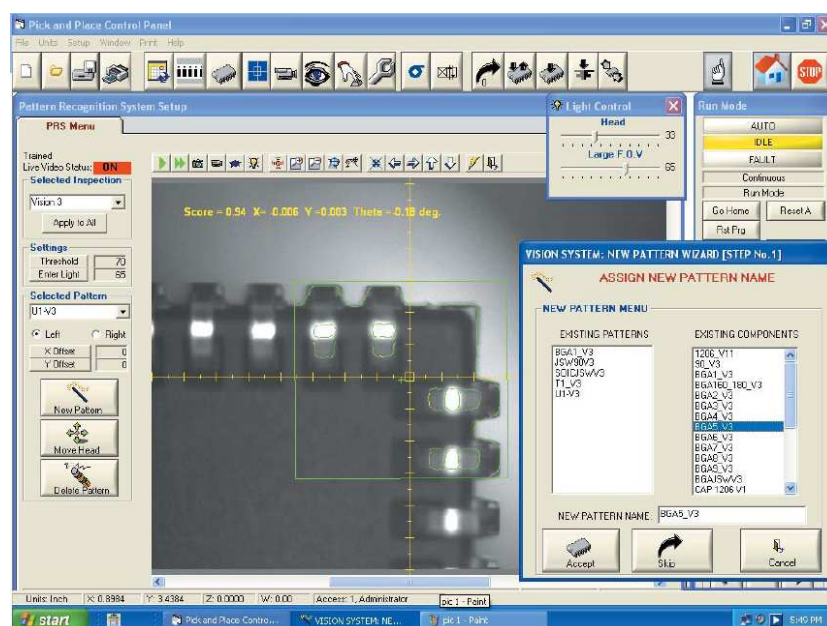


Fig. 4.8 Software de control de una maquina pick&place para Windows

4.3. Cadena de montaje manual

Aunque este no es un proceso automatizado, se ha decidido hablar de él ya que si no el siguiente punto del proceso de fabricación no se comprendería totalmente.

Los componentes *Through Hole*, de los que ya se ha hablado en puntos anteriores, requieren del montaje manual (Fig. 4.9) por parte de una serie de operarios. Estos componentes son en general más grandes que los componentes SMT y por tanto más fáciles de montar. Entre estos componentes se encuentran los puertos de comunicación de E/S, condensadores, slots de memoria, socket de la CPU, etc.



Fig. 4.9 Operarias colocando los distintos componentes del PCB

Los PCBs pasan delante de decenas de operarios por medio de una cinta transportadora. Cada operario se encargara de montar, de forma rápida y precisa, un componente en cada uno de los PCBs que vayan pasando, en su posición exacta a través de los agujeros previamente perforados del PCB. La misma cinta transportadora llevara los PCBs hasta la siguiente fase de la fabricación.

4.4. Soldadura de los componentes al PCB

Todo lo que se conectó al PCB en la fase anterior (puertos, sockets, condensadores, etc.), ahora debe ser soldado a la placa base. Si este proceso se hace de modo manual, se consumiría mucho tiempo por lo que se realiza un proceso especial de soldado llamado *wave soldering*. Aunque este concepto se define y se explica con más profundidad en la sección de Conceptos, a continuación se muestra una imagen en la que pueden apreciarse las “olas” de soldadura líquida (Fig. 4.10) a través de la cual pasarán los PCBs con los componentes colocados en su sitio.



Fig. 4.10 Ola de soldadura líquida

La empresa APS Novastar ofrece en su página Web un amplio catálogo de máquinas, entre ellas *Wave solders*, catalogadas por tamaños en función del tipo de trabajo a realizar (Fig. 4.11). Si observamos con detenimiento las especificaciones técnicas de cada modelo podemos encontrar información relevante como la temperatura máxima de soldadura, el peso y tamaño máximo que soportan, etc.



Fig. 4.11 "Wave solder machines" de APS Novastar

Todos los modelos cuentan con pequeño terminal para configurar ciertas características del proceso (Fig. 4.12) por medio de un teclado de membrana. Estas máquinas gozan de un interfaz de comunicaciones RS-232 y hacen posible la conexión de un PC con un sistema operativo Microsoft Windows instalado.



Fig. 4.12 Keypad de una Wave Solder Machine

Algunas de las características representativas de cada máquina de este tipo son:

- Ancho de la ola de fluido.
- Máxima altura de la ola de fluido.

- Capacidad del cubo de soldadura.
- Velocidad máxima de la cinta transportadora.
- Etc.

Para ilustrar el funcionamiento de este tipo de maquinas el **Video 4** muestra una de ellas abierta y en pleno funcionamiento, donde se puede observar claramente la ola de soldadura liquida que crea.

4.5. Comprobación del hardware

Aunque en esta fase no se utilizan máquinas automatizadas propiamente dichas, se utiliza un sistema que hace al operario que su trabajo sea más ameno y puedan centrarse en su función.

Cada operario posee su puesto de *testeo* que está habilitado con un *rack* (o estante) especial que es deslizado en sentido vertical reumáticamente, conectando de forma automática en el test las tarjetas PCI (Fig. 4.13) mientras que el técnico conecta los cables IDE, memoria, procesador y sistema de refrigerado manualmente. Aunque esto parece un proceso lento, no lo es, ya que el procesador se une al la parte inferior del refrigerador con adhesivo y, todo el bloque junto, se coloca en el socket de un movimiento rápido. Es importante observar que las tarjetas PCI y de vídeo se encuentra en la parte superior del rack.

Un segundo conector neumático se acopla en la parte derecha conectando los puertos paralelo, serie, PS/2 y USB, así como los jacks de la tarjeta de sonido y red, automáticamente de un solo movimiento (Fig. 4.14). El técnico conecta manualmente los discos duros, CDs y disqueteras.

Conectar todo esto a una placa base para testearla se hace en menos de un minuto. Una vez que todo está listo, se enciende la placa y se arranca un programa de testeo automatizado basado en DOS para confirmar la funcionalidad de cada periférico y componente (**Video 5**)



Fig. 4.13 Rack neumático superior que conecta las tarjetas a los puertos PCI

Un último proceso de testing que se realiza son las pruebas de estrés o Benchmarks. Este tipo de pruebas sirven para comprobar el rendimiento de las placas en las condiciones más duras. Se emplean cámaras donde se colocan las placas base y se conectan a un sistema de pruebas que realizara varias iteraciones de un Benchmark a temperaturas que rondan los 40°C (Fig. 4.15). El software de Benchmark empleado por esta empresa es 3DMark 2001



Fig. 4.14 Placa base completamente conectada para comenzar con el test



Fig. 4.15 Placas base ejecutando el Benchmark

5. CONCLUSIONES

Probablemente, a lo largo de la lectura de este documento el lector se ha percatado de la importancia que tienen los circuitos impresos en nuestra vida cotidiana. En este caso, hemos tratado de cómo automatizar la fabricación de circuitos impresos para obtener productos de mayor calidad, en menor tiempo y con menor coste ya que, al fin y al cabo, son algunos de los principios por los cuales se mueve la automatización industrial. Pero, para que todo este paradigma sea posible han tenido que intervenir multitud de máquinas que están formadas por circuitos impresos a su vez, por lo que es gracias a estas pequeñas placas de sustrato el que todo esto haya sido posible.

En cuanto a la fabricación de estos productos en sí, el diseño es una parte fundamental, para el cual, las herramientas CAD y las normas estándar forman una parte muy importante de dicho proceso. Sin embargo, es en la etapa denominada *Fabricación* en la que se presta el mayor grado de automatización.

Como ya se ha comentado anteriormente, algunos de los pilares básicos de la automatización industrial es la mejora de la calidad del producto, la reducción de costes y la reducción del tiempo de fabricación pero, en este caso, existe otra ventaja adicional: la posibilidad de emplear tecnologías que permiten trabajar con componentes más pequeños (por ejemplo, SMT), lo cual hace posible el ensamblaje de circuitos más complejos.

Un claro ejemplo de reducción del tiempo de fabricación lo podemos ver reflejado en el uso de máquinas *pick&place* que, como ya se ha comentado, colocan del orden de 40.000 componentes por hora. Eso significa que las máquinas son capaces de colocar más de 10 componentes por segundo, algo que no sería posible lograrlo por medios manuales. Otros ejemplos claros que apoyan este principio son las taladradoras eléctricas y las *Screen Printers*.

En conclusión, la automatización juega un papel muy importante en los procesos industriales, pero quizás en este proceso que está íntimamente involucrado en la automatización de otros procesos juegue un papel más crucial y la hace completamente necesaria.

6. APÉNDICE A: GLOSARIO

6.1. DIP

DIP o **Dual in-line-package** por sus siglas en inglés, es una forma de encapsulamiento de componentes electrónicos con forma rectangular y dos filas paralelas de pines de conexión. Todos los pines son paralelos, apuntan hacia abajo y son los suficientemente largos como para poder ser conectados y soldados a un PCB. Un DIP normalmente se le llama DIPn, donde n es el número total de pines. Por ejemplo, un microcircuito de dos filas de 7 pines será llamado DIP14. Dado el escaso número de pines que soportan este tipo de paquetes, están siendo sustituidos por encapsulados SMD (Surface Mounted Device) o de montaje superficial.

6.2. SMD

SMD o **Surface-Mounted Devices**, son equipos o componentes electrónicos contruidos mediante la tecnología de montaje superficial o SMT (Surface-mount technology).

6.3. SMT

SMT o **Surface-mount technology** por sus siglas en inglés, es un método de construcción de circuitos electrónicos, y se basa en el montaje de los mismos (SMC, en inglés Surface Mounted Component) sobre la superficie de un circuito impreso. Esta tecnología ha superado y reemplazado a su análoga, *through-hole technology*, ya que los componentes que utiliza son más pequeños. Esto es, entre otros, es debido a que los pines de los componentes SMC no tienen pines o, en caso de tenerlos, son muy pequeños. Las ventajas de esta tecnología son las siguientes:

- Reducir el peso y las dimensiones de los componentes.
- Reducir los costos de fabricación.
- Reducir la cantidad de agujeros que se necesitan taladrar en la placa.

- Permitir una mayor automatización en el proceso de fabricación de equipos.
- Permitir la integración en ambas caras del circuito impreso.
- Reducir las interferencias electromagnéticas gracias al menor tamaño de los contactos (importante a altas frecuencias).
- Mejorar el desempeño ante condiciones de vibración o estrés mecánico.
- En el caso de componentes pasivos, como resistencias y condensadores, se consigue que los valores sean mucho más precisos.
- Ensamble más precisos.

6.4. Wave soldering

Soldering process o “**Wave soldering**” es un proceso automatizado en el cual una cinta transportadora desliza la parte inferior de cada placa madre a través de una “ola” de soldadura líquida (inducida fluyendo la soldadura fundida sobre una repisa levantada) a una altura precisa, de modo que los componentes son soldados a la placa. Cada placa pasa a través de esta ola durante 2-4 segundos, después de los cuales se deja enfriar a temperatura ambiente para que la soldadura se solidifique alrededor de los contactos.

- A la hora de automatizar esta parte del proceso de fabricación hay que tener en cuenta los siguientes factores para estimar los costes de producción:
- Tiempo inicial de calentamiento (para fluidificar la soldadura)
- Tiempo de carga/descarga.
- Tiempo de soldadura.
- Tiempo de enfriamiento.
- Coste de los conductores y el material de soldadura.
- Tarifas de trabajo directas
- Amortización de los costes del equipo y de los útiles.

6.5. Benchmark

Benchmark es una técnica utilizada para medir el rendimiento de un sistema o componente de un sistema. Esta técnica emplea un programa o conjunto de programas para probar el rendimiento de una o varias partes de una máquina y obtener así un resultado

numérico que permita comparar los resultados con varias maquinas similares. Existen benchmarks tanto generales como específicos para los distintos componentes de un computador, como pueden ser la memoria, la tarjeta grafica, la CPU... o para aspectos concretos del funcionamiento de un componente, como por ejemplos las operaciones de punto flotante o enteras de una CPU.

Existen multitud de benchmarks de muy variadas características, unos ejemplos de ellos son:

- **3DMark Vantage:** Benchmark orientado a las pruebas de tarjetas graficas en computadores personales cuyo uso sea principalmente para el ocio y los videojuegos.
- **PCMark Vantage:** Mide el rendimiento general de un computador, permitiendo descubrir los cuellos de botella del sistema que limitan el rendimiento del mismo.
- **SPEC CPU2000:** Conjunto de benchmarks creados por la SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation), que contiene dos paquetes de pruebas: uno orientado a las pruebas de la CPU con números enteros (CINT2000) y otro orientado a las pruebas de la CPU con números en punto flotante (CFP2000)

6.6. Through-Hole Technology

Through-Hole Technology se refiere a una tecnología de montaje de componentes. Esta tecnología utiliza componentes que disponen de una serie de pines de conexión, que se introducirán a través de unas perforaciones realizadas en el PCB y serán soldadas a él en los PADS del circuito.

6.7. PAD

PAD son los orificios del PCB donde irán soldados los componentes Through-Hole. Concretamente, se refiere al extremo del orificio situado en la cara del PCB donde se hará la soldadura del componente, que es la cara en la que este impreso el circuito.

7. APENDICE B: VIDEOS

Video 1 [Funcionamiento de una fresadora eléctrica](#)

Video 2 [Pruebas de una Screen Printer DEK 265LT](#)

Video 3 [Funcionamiento de una maquina SMT en la fabrica de Gigabyte](#)

Video 4 [Interior de una Wave Soldering Machine en pleno funcionamiento](#)

Video 5 [Mesas de Testing en la fabrica de Gigabyte](#)

8. APÉNDICE C: TÉRMINOS DE USO

Todo el material utilizado en este documento que ha sido extraído de *sites* de Internet se ha hecho con previo acuerdo del autor, ya que tal y como dictan sus acuerdos de *Términos de Uso*, nos atribuimos el derecho de utilizar dicho material para fines meramente educativos y en ningún caso comercial o lucrativo.

9. REFERENCIAS

PCStats - How Motherboards Are Made: A Gigabyte Factory Tour.

<http://www.pcstats.com/articleview.cfm?articleid=1722&page=1>

MicroMotors Speedy up Pick-and-Place Machine for PCB Assembly.

<http://www.faulhaber-group.com/n364117/n.html>

APS Novastar: Pick and Place, Reflow Ovens, Wave Solder Machines, Stencil Printers for SMT and PCB.

<http://www.apsgold.com/>

Como hacer circuitos impresos

<http://www.pablin.com.ar/electron/cursos/pcb/index.htm>

DISPOSITIVO DE AUTOMATIZACION PARA UNA LAVADORA

<http://dispositivodeautomatizacion.blogspot.com/2008/06/2-analisis-de-fundamentos.html>

SMTsolutions - Serigrafía de Pasta de Estaño

http://www.smtsolutions.com.ar/serigrafia_en.htm

Wikipedia – Circuito Impreso

http://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_impreso

Wikipedia – Tecnología de Montaje Superficial

http://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%ADade_montaje_superficial

DEK International – DEK Infinity APi

http://www.dek.com/web.nsf/cnen/product_infinity_ap

MexHardware – Visita por Elitegroup

<http://www.mexhardware.com/articulos/columna/visita-por-elitegroup-2007040451/2.html>

Fabricación de Circuitos Impresos

TechRef - Direct to PCB InkJet Resist Printing

<http://techref.massmind.org/techref/pcb/etch/directinkjetresist.htm>

Pisotones – Haciendo PCBs

<http://www.pisotones.com/Articulos/PCBs.htm>

Ingeniería y electrónica – Construcción de una PCB

http://optimus.meleeisland.net/downloads/misc/construccion_pcb.pdf

Circuitos Impresos

<http://www.runnet.4t.com/circuitoimpreso1.htm>

KONTAK CHEMIE FLUX SK 10

www.ariston.es/web/imgProductos/doc/104414002.pdf

ProtoMat S100 de LPKF

<http://www.lpkf.es/productos/creacion-rapida-prototipos-pcb/plotter-fresadora/protomat-S100/index.htm>

Línia de muntatge de plaques de circuit imprès

<http://sauron.etse.urv.es/public/propostes/pub/pdf/1116pub.pdf>

Información sobre el diseño

http://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_asistido_por_computador

Página oficial de la aplicación FreePCB

<http://www.freepcb.com/>

Sitio web del IPC: Normas del diseño de circuitos impresos

www.ipc.org

Wikipedia – Benchmark

<http://es.wikipedia.org/wiki/Benchmark>

Fabricación de Circuitos Impresos

FreePCB – User Guide

http://www.freepcb.com/freepcb_user_guide.pdf