

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**IMPLEMENTACIÓN DE UN TALLER PARA LA FABRICACIÓN
DE PROTOTIPOS DE CIRCUITOS IMPRESOS**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

SIXTO ROBERTO DELGADO VALDIVIA

**PROMOCIÓN
1975- II**

**LIMA – PERÚ
2008**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN TALLER PARA LA
FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS DE
CIRCUITOS IMPRESOS**

Dedicatoria

A mi padre que espero muchos años por este logro
A mi familia, mi soporte y principal motivación
A todos los que de una u otra forma me alentaron a desarrollarme en el campo
de los circuitos impresos

SUMARIO

El presente trabajo resume la experiencia del autor en el campo de los circuitos impresos, desarrollada durante 25 años, en instituciones del estado y la empresa privada.

En los dos primeros capítulos se presentan los materiales existentes y la tecnología de proceso, y en base a estos se proponen, en el tercer capítulo, los procesos y equipos necesarios para implementar un taller que cubrirá las necesidades de una entidad educativa.

Cabe mencionar que para el desarrollo de este trabajo se consultó intensivamente las normas fundamentales del *IPC Association connecting electronics industries* (antes *Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits*, IPC), y algunas de ellas hacen uso de unidades inglesas, razón por la cual también se han tomado estas unidades en algunas de las tablas presentadas. El IPC viene trabajando en la actualidad la conversión de sus normas al sistema métrico, es más, las que trabaja en comités conjuntos con la ANSI (American National Standards Institute), son emitidas en el sistema métrico.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I EL CIRCUITO IMPRESO	3
1.1 El Circuito Impreso	3
1.2 Requerimientos generales para el diseño y fabricación	6
1.2.1 Selección del circuito impreso	7
1.2.2 Tipos de circuitos impresos	7
1.2.3 Densidad de componentes e interconexiones	7
CAPÍTULO II FABRICACIÓN DE CIRCUITOS IMPRESOS	9
2.1 Arte para circuito impreso	9
2.1.1 Materiales	10
2.1.2 Técnicas de registro	11
2.1.3 Métodos para elaboración del arte para circuito impreso	12
2.1.4 Fitolitos y documentación para producción	12
2.1.5 Técnicas CAD	14
2.1.6 Descripción de la técnica	15
2.2 Clasificación de los circuitos impresos	16
2.2.1 Circuitos impresos de una capa	16
2.2.2 Circuitos impresos de dos capas	16
2.2.3 Circuitos impresos de múltiples capas	16
2.2.4 Circuitos impresos flexibles	17
2.3 Procesos de fabricación	18
2.3.1 Proceso sustractivo	19
2.3.2 Proceso Aditivo	21
2.3.3 Proceso semiaditivo	21
2.4 Materiales de base para circuitos impresos	22
2.4.1 Materiales de base termoestables	23
2.4.2 Materiales de base termoplásticos	25

2.4.3	Lámina de cobre	26
2.4.4	Ancho y espaciamento entre conductores	28
2.5	Métodos de limpieza	31
2.5.1	Desengrase por valores orgánicos	31
2.5.2	Limpieza mecánica	32
2.5.3	Limpieza química	32
2.6	Transferencia del arte de circuito impreso	33
2.6.1	Fotolitografía	34
	a. Fotopolímeros líquidos	35
	- Líquidos de acción negativa	35
	- Líquidos de acción positiva	36
	b. Película seca de acción negativa	36
	c. Métodos de aplicación	37
	d. Exposición	40
	e. Revelado	41
2.6.2	Serigrafía	42
2.6.3	Transferencia térmica	46
2.6.4	Microfresado	48
2.7	Ataque químico	55
2.7.1	Requerimientos ambientales	56
2.7.2	Equipos y técnicas	56
	a. Inmersión	56
	b. Burbujeo	56
	c. Rueda de paletas	57
	d. Rocío	58
2.7.3	Soluciones para ataque químico	59
	a. Amoníaco alcalino	59
	b. Cloruro cúprico	59
	c. Persulfatos	59
	d. Cloruro férrico	60
	e. Ácidos sulfúrico – crómico	60
2.8	Maquinado	60
2.8.1	Taladrado	61

2.8.2 Troquelado	62
2.8.3 Guillotinado	62
2.8.4 Aserrado	63
CAPÍTULO III TALLER PARA CIRCUITOS IMPRESOS	64
3.1 Determinación de procesos a emplear	64
3.2 Determinación del área necesaria	65
3.3 Estimación de consumo eléctrico	67
3.4 Acondicionamiento del ambiente	68
3.5 Inversión	70
CONCLUSIONES	71
ANEXO A Términos y definiciones	72
BIBLIOGRAFÍA	79

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como propósito implementar un taller para la fabricación de prototipos de circuitos impresos en una entidad educativa, razón por la cuál la selección de equipos y tecnología no busca en principio un retorno de la inversión en términos monetarios, sino más bien en la formación del estudiante, permitiéndole ampliar sus conocimientos respecto a lo que ocurrirá con un ciclo de diseño real que implique poner un producto en el mercado y también motivar el desarrollo de sus capacidades de investigación.

Durante la década pasada la industria electrónica se ha convertido en uno de los mercados más grandes y de más rápido crecimiento, debido a los importantes avances en tecnología y desarrollo de productos.

Como consecuencia de este rápido crecimiento surge la necesidad de acortar los ciclos para el desarrollo de productos. Uno de los caminos es el uso de herramientas para automatizar el diseño electrónico, las cuales están disponibles en el mercado mediante programas para simulación de circuitos, y el otro es, acortar la fase de producción del prototipo.

Tradicionalmente la fabricación del prototipo se encarga a terceros, lo que resulta generalmente costoso en términos de tiempo y dinero, ya que se debe encargar una cantidad mínima de tarjetas e ingresar a una cola de espera para obtener la primera muestra. Luego vienen las pruebas funcionales, si estas no resultan satisfactorias se debe rediseñar y hacer un segundo prototipo. Esto trae como consecuencia el incremento de los costos de desarrollo del producto o proyecto.

Pasando del ámbito industrial al académico tenemos que el uso de herramientas para simulación de circuitos, permite al estudiante captar rápidamente los conceptos básicos y de funcionamiento de los circuitos; pero siempre le quedará la duda de cómo funcionarán en la realidad. Entonces deberá construir un prototipo que le permitirá apreciar las verdaderas capacidades de su diseño y como funcionará en la realidad.

De una u otra forma las razones que nos llevan a construir nuestros propios prototipos son:

Los diseños pueden ser probados y de ser necesario, rediseñados más rápidamente.

Se pueden fabricar uno más prototipos para pruebas del sistema al mismo tiempo.

- Se tiene el control total de las fases de diseño y por ende se puede invertir más tiempo en innovación, ya que el tiempo de fabricación de prototipos se reduce de semanas a horas.
- Los costos del proyecto disminuyen al acortarse el ciclo de diseño.

Para el desarrollo de la propuesta de implementación de taller, el trabajo se ha organizado de la siguiente manera:

- El capítulo 1 describe al circuito impreso presentando un ciclo estandarizado para el desarrollo del mismo, estableciendo los tipos de circuitos impresos y los requerimientos generales para su fabricación.
- El capítulo 2 se enfoca en la tecnología de fabricación profundizando en los materiales utilizados y los procesos inherentes.
- Finalmente en el capítulo 3 se hace la selección de los procesos tecnológicos que se utilizarán en el taller, los mismos que están acorde con los objetivos planteados en la introducción, se listan los equipos necesarios y se plantea la inversión por etapas.

CAPITULO I

EL CIRCUITO IMPRESO

El inventor del circuito impreso es probablemente el ingeniero austriaco 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 equipos de radio que fuesen confiables, 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

1.1 EL CIRCUITO IMPRESO

El circuito impreso, consiste en el conjunto de conexiones de un circuito electrónico, impresas o grabadas sobre un material de base.

Esta técnica se desarrolló para adaptar un método de interconexión de componentes (mediante alambres de cobre) a esquemas de producción masiva y conseguir de esta forma economizar peso y espacio en equipos militares.

Las ventajas fundamentales para el uso del circuito impreso en vez de otras técnicas de conexión y montaje de componentes, son las siguientes:

- Las características físicas del circuito impreso tienden por sí mismas a una mayor versatilidad en la integración del sistema que el cableado convencional.
- El cableado está impreso permanentemente en la base del dieléctrico, la misma que proporciona una superficie de montaje para los componentes del circuito.
- Cuando se realiza adecuadamente, no es posible la pérdida o el corto circuito en el conexionado.
- El alto nivel de fidelidad en las copias asegura uniformidad de las características eléctricas para todos los módulos.

- El circuito impreso reduce significativamente el volumen y peso de los alambres de interconexión. Su construcción plana proporciona una manera definida y ordenada de encaminar los conductores.
- El mantenimiento del equipo electrónico se simplifica.

El circuito impreso tuvo entonces que adquirir rápidamente, la flexibilidad de diseño necesaria para proporcionar características (eléctricas y mecánicas) compatibles con todo tipo de equipo electrónico.

La introducción de la automatización en el diseño, producción y montaje del mismo trajo como consecuencia adicional ventajas económicas y de tiempo, además de facilidades para lograr una mayor confiabilidad del sistema electrónico.

La técnica original de fabricación de la placa de circuito impreso evolucionó a partir de la técnica de grabación de metales, que consistía en depositar cera (u otro material resistente al ácido) sobre el diseño para transferirlo a una superficie rígida (cobre adherido a un material de base) y luego, por acción de un ácido remover el cobre en exceso. Al presente, la técnica se ha extendido y evolucionado, en vez de la aparición de un proceso sustituto.

La Figura 1.1, muestra el diagrama de flujo del ciclo de desarrollo de un circuito impreso, desde su concepción hasta el montaje, según la *IPC Association connecting electronics industries* (antes *Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits*, IPC).

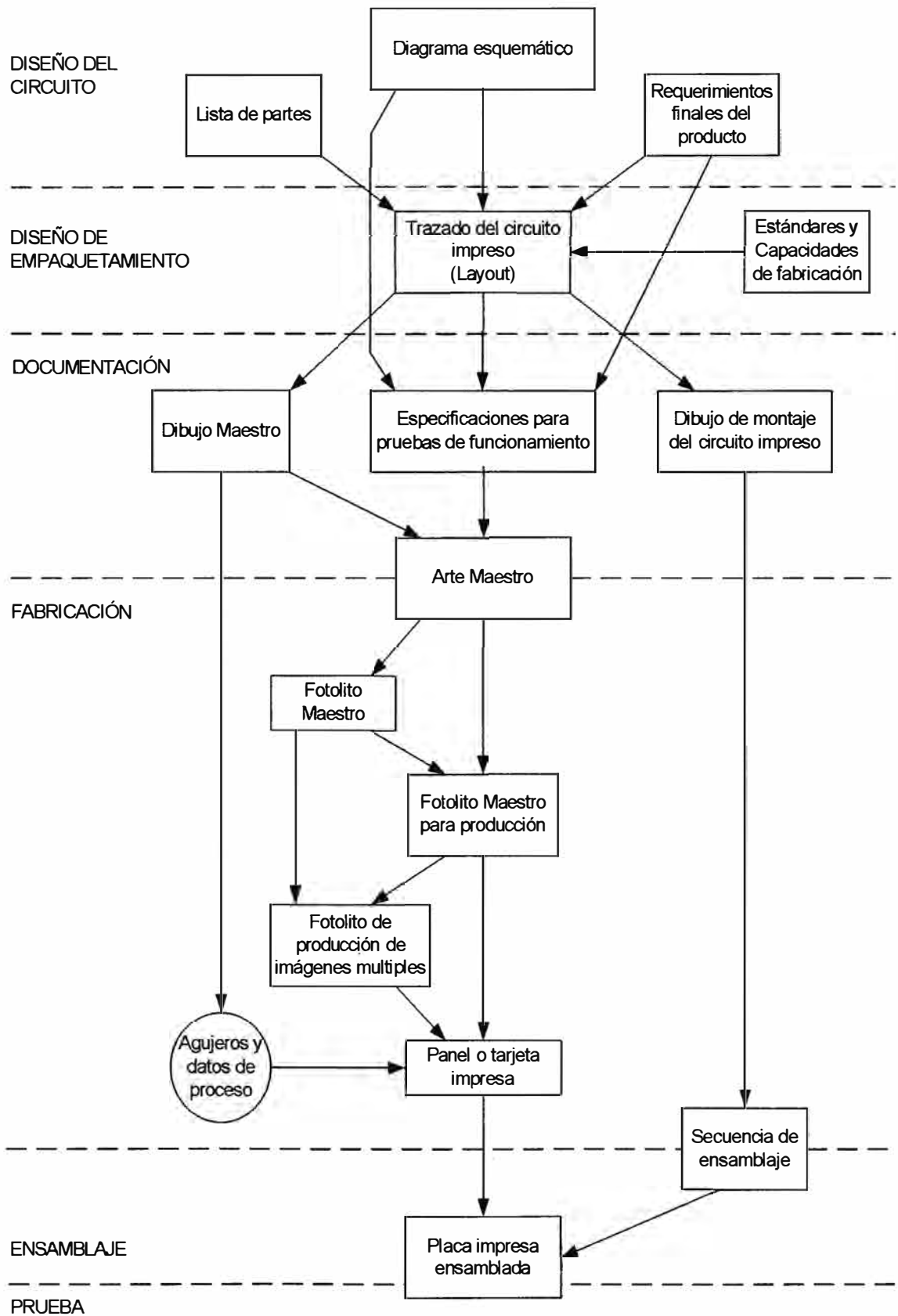


Figura 1.1 Ciclo de desarrollo para circuitos impresos

1.2 Requerimientos Generales para el Diseño y la Fabricación

Dentro de los muchos requerimientos que se plantean al diseñar equipo electrónico, quizás los más importantes sean:

- Confiabilidad
- Funcionamiento satisfactorio y
- Facilidad de mantenimiento.

Estos requerimientos no son inherentes al circuito impreso por si mismo, y deben ser adoptados por medio de un diseño adecuado, apropiada selección de materiales y técnicas de fabricación.

La técnica del circuito impreso involucra la perspectiva total del hardware del sistema, que incluye no sólo el trazado impreso sino también la localización de cada componente en su ubicación definitiva.

Entonces, durante la fase de diseño y análisis de su factibilidad se deben definir las relaciones e interacciones entre componentes y módulos a lo largo del sistema. Por tanto algunas de las consideraciones serían las siguientes:

- Objetivos del usuario del sistema
- Especificaciones del producto
- Expectativa de vida
- Características circuitales
- Características del mantenimiento: en servicio (ó dinámico), fuera de servicio, y sin mantenimiento (descartables)
- Condiciones ambientales: en el almacenaje, montaje, transporte, uso y reparación
- Características del método de fabricación
- Fuentes de suministro de materiales y componente

Estos requerimientos y cualquier otro en particular, deben de balancearse adecuadamente. No es posible cumplir con todos los requerimientos en forma completa y adecuada, debiendo trabajarse en muchos casos en base a prioridades y/o restricciones.

1.2.1 Selección del circuito impreso.-

La función básica del circuito impreso es la de proveer soporte y conexión eléctrica a los componentes del circuito. Para conseguir estos resultados, se han desarrollado varios tipos de circuitos impresos; ellos varían según el material base, tipo de conductor, número de planos conductores (capas o layers), rigidez, etc. De modo que el diseñador de circuito impreso debe estar familiarizado con las variaciones y sus efectos en el costo, ubicación de componentes, densidad de cableado, ciclos de entrega y funcionamiento. De otra manera, no será posible lograr la combinación óptima de características para los requerimientos del sistema.

1.2.2 Tipos de Circuitos Impresos.-

Existen tres tipos básicos de circuitos impresos. Los mismos se listan a continuación en orden ascendente respecto a la densidad de componentes e interconexiones:

- **De una capa**, con conductores sólo sobre una de las superficies del material de base.
- **De dos capas**, con conductores en ambos lados del material de base que usualmente son interconectados por agujeros metalizados u otro medio de interconexión.

Multicapa, con tres o más capas de conductores, separados por material dieléctrico, interconectados por agujeros metalizados entre las capas.

1.2.3 Densidad de componentes e interconexiones.-

La densidad de componentes e interconexiones, también conocida como densidad de empaquetamiento es uno de los parámetros más difíciles de generalizar. Esto se debe principalmente a las diferencias en el tamaño y forma de los componentes, número de terminales, y la complejidad del circuito. Como una medida de la densidad de empaquetamiento de un circuito impreso, se puede emplear el número de agujeros para montaje de los componentes, por pulgada cuadrada de área útil. La relación, aunque no perfecta en su aplicación, puede emplearse para estimar la cantidad de componentes que puede ser eficientemente

interconectada en los distintos tipos de circuitos impresos. Basados en este parámetro de diseño, se pueden establecer las siguientes relaciones generales:

Circuito impreso	Agujeros/pulg.²
De una capa	3-10
De dos capas	10-20
De múltiples capas	>20

Cabe manifestar que con el empleo de dispositivos de montaje superficial (SMD), que permite el montaje componentes por ambos lados del circuito impreso, se logra una importante reducción en el tamaño de toda la tarjeta, así como también una reducción de volumen y peso.

La tecnología de montaje superficial (SMT) fue desarrollada en la década de 1960, ganó impulso en Japón en la década de 1980, y se hizo popular en todo el mundo a mediados de la década de 1990.

Los componentes fueron mecánicamente rediseñados para reducir el tamaño de los terminales que quedaron convertidas en pequeñas pestañas (aunque algunos no las tienen) que podían ser soldadas directamente a la superficie de los circuitos impresos. Los componentes se hicieron mucho más pequeños, y el uso de componentes en ambos lados de las tarjetas se hizo mucho más común, permitiendo una densidad de componentes mucho mayor. El montaje superficial o de superficie se presta para un alto grado de automatización, reduciendo el costo en mano de obra y aumentando las tasas de producción.

CAPITULO II FABRICACION DE CIRCUITOS IMPRESOS

La fabricación de circuitos impresos involucra el empleo de una gran diversidad de materiales, herramientas y procesos.

Los materiales empleados son las tarjetas para circuito impreso, materiales y soluciones para limpieza de la superficie de cobre, tintas resistentes al ataque químico, soldadura, fotopolímeros, soluciones mordientes, brocas, etc.

Los procesos involucran la limpieza de las tarjetas, impresión y posterior grabado del circuito, taladrado, impresión de máscaras, corte, etc.

A continuación haremos una descripción de materiales y procesos que nos llevan a obtener nuestro diseño de circuito, grabado en una placa de cobre. La figura 2.1 nos muestra un diagrama general del proceso de fabricación.

2.1 Arte para Circuito Impreso

La preparación adecuada del arte para circuito impreso es de vital importancia debido a los distintos pasos que le siguen para llegar a obtener la placa de circuito impreso.

En la elaboración el arte para circuito impreso se debe tener en consideración los siguientes criterios:

- Requerimientos del producto final
- Requerimientos de los distintos componentes que se ensamblaran
- Materiales a emplear (papel, transparencias, película)
- Técnicas de registro utilizadas
- Contemplar la posibilidad de modificaciones al circuito
- Facilidades existentes para la impresión y/o filmación
- Facilidades para la fabricación del circuito impreso

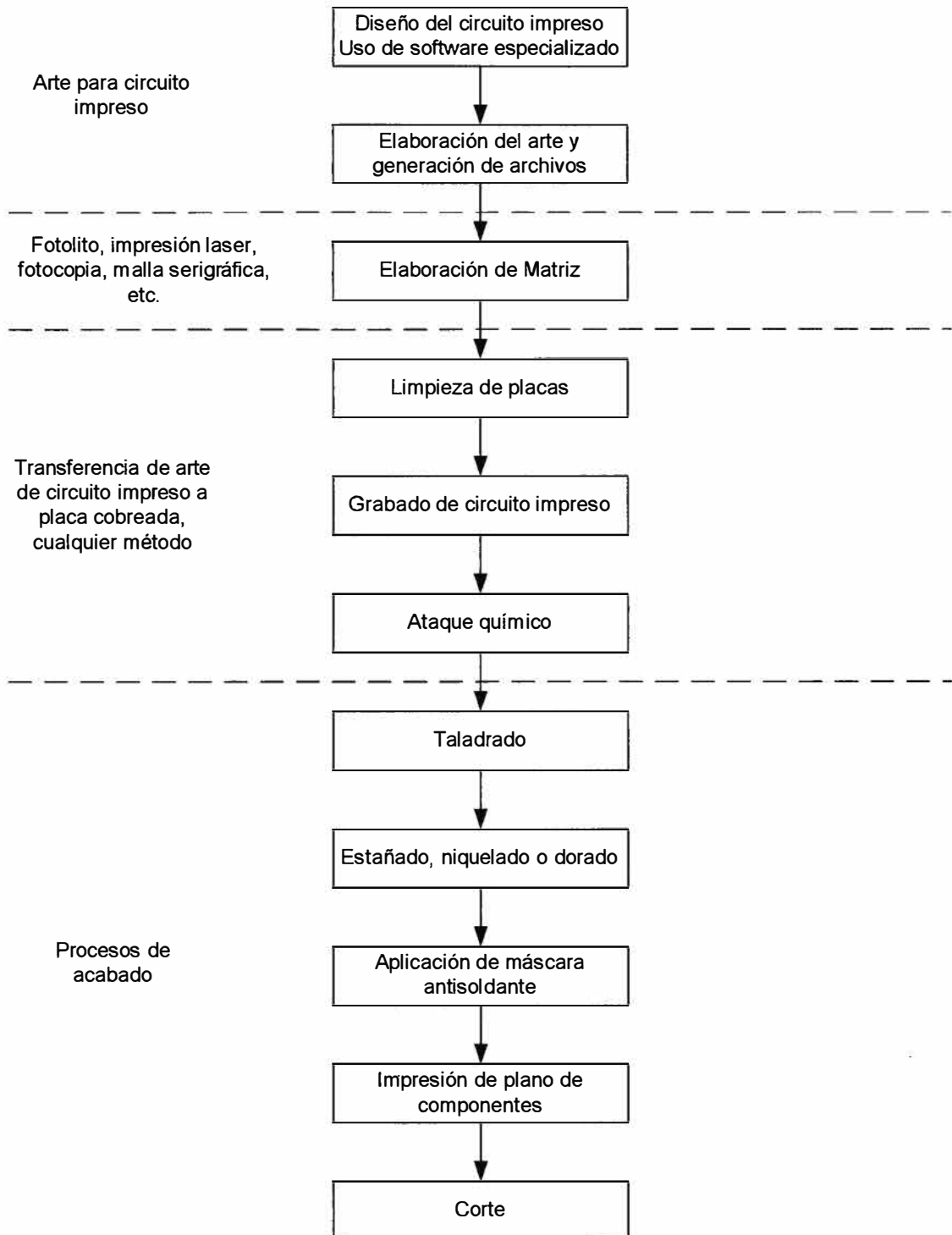


Figura 2.1 Diagrama general de proceso de fabricación

2.1.1 Materiales.-

En la elaboración del arte para circuito impreso se debe emplear materiales de base dimensionalmente estables con un espesor de 0.005" (0.127mm) ó 0.007" (0.178mm), tal como la película de polyester. Este material es estable ante la temperatura y humedad con una superficie uniforme y sin poros, no se recomienda

el uso de papel Canson u otro medio similar porque es inestable dimensionalmente ante variaciones de temperatura y humedad,

2.1.2 Técnicas de registro.-

Se denomina registro a la posición relativa de uno o más patrones de circuito impreso, con respecto a la posición deseada en la placa de circuito impreso.

La pérdida de registro trae como consecuencia pérdida de alineamiento entre los fotolitos de producción, los agujeros perforados no caerán en las posiciones fijadas por las islas terminales (pads) del circuito impreso. Para minimizar este problema se utilizan las denominadas *marcas para registro* entre las que se incluyen: puntos de referencia, marcas de registro, agujeros índices y marcas para reducción fotográfica.

- **Puntos de referencia.**- Son puntos, que se asumen exactos, a partir de los cuales se puede calcular posiciones en el arte (o placa) de circuito impreso. Estos pueden ser la coordenada (0, 0), conocida como datum, de un arte para circuito impreso o el pin 1 de un formato específico (ej: Eurocard, Isa, S-100, etc) cuya ubicación en el arte corresponde a las especificaciones del formato
- **Marcas de registro.**- Las marcas de registro son formas geométricas que se emplean para establecer el registro, las mismas se ubican en todas las capas del arte, de modo que cuando se superponen se determina la coincidencia.
- **Agujeros índices o agujeros de fabricación.**- Son agujeros ubicados en la placa de circuito impreso para posicionar en forma precisa la placa durante el proceso de fabricación, pudiendo aparecer o no dentro del área útil de la placa. Se requiere un mínimo de dos agujeros índices, que deberán estar sobre un mismo eje, pudiendo ubicarse un tercer agujero que formará un triángulo rectángulo con los otros dos.

Los tres tipos de marcas mencionadas pueden combinarse en una misma ubicación, mediante un símbolo único.

- **Marcas para reducción fotográfica.**- Están constituidas por dos marcas exactamente espaciadas empleadas para indicar la medida a la cual se deberá reducir fotográficamente el arte de circuito impreso.

- **Marcas Fiduciales.**-Se utilizan como referencia para los sistemas de ensamblaje automatizado. Pueden a nivel de toda la tarjeta y a nivel local (ej: para el montaje de un dispositivo QFP).

2.1.3 Métodos para elaboración del arte de circuito impreso.-

El método adecuado para producir un arte para circuito impreso depende en gran parte del tamaño de la tarjeta y de la precisión requerida. Estos dos factores se establecen con el diseño de la tarjeta y son afectados por el método de fabricación.

Un dibujante de artes de circuito impreso experimentado y que hace uso de medios y herramientas adecuadas, es capaz de posicionar áreas terminales y trazos con una precisión de 0.005" (0.127mm) a 0.010" (0.254mm). En consecuencia, cuando se realiza manualmente el arte para circuito impreso y se requiere de máxima precisión se deberá hacer uso de la máxima escala, para de esta forma minimizar los posibles errores en el momento de la reducción fotográfica.

Cuando se emplean métodos de generación automática se hace uso de programas de computadora para el diseño y edición además de un graficador xy (plotter), para el dibujo del arte, con una precisión de $\pm 0.001"$ (0.025mm) para un área de 2 m². Existiendo también otros dispositivos como el *photoplotter*, que emite directamente el fotolito para producción a escala 1:1, por medio de la grabación de una película mediante un haz de luz. Este último dispositivo es el más usado en la actualidad porque existe en el mercado bastante oferta de *servicios para filmación* (elaboración de fotolito con photoplotter) a costos que resultan comparables con una impresión de calidad en papel Canson.

2.1.4 Fotolitos y Documentación para Producción.-

Una de las etapas más importantes en la producción de placas de circuito impreso, es la fotografía del arte de circuito impreso, ya que la calidad del trabajo efectuado incide directamente en la obtención de un buen fotolito para producción.

Un fotolito para producción es una copia, a escala 1:1, del patrón circuital que es posteriormente usado para producir la placa de circuito impreso. Los materiales y equipos empleados para la producción del mismo deben tener las siguientes características:

- El material de base debe ser dimensionalmente estable y fácil de manejar y procesar.

- La emulsión fotosensible debe ser estable y capaz de proporcionar alto contraste y resolución.
- Se hará uso de una cámara para artes gráficas o un photoplotter

Los fotolitos deben ser cuidadosamente inspeccionados luego de su elaboración, teniendo en consideración los siguientes aspectos:

- **Tamaño.-** Cada fotolito debe medirse en las marcas de reducción fotográfica y otros puntos, para asegurarse de una correcta reducción fotográfica.
- **Registro.-** Todos los patrones circuitales requeridos para producir el circuito impreso deben inspeccionarse, uno contra otro, para asegurarse que se cumple con las disposiciones establecidas para el registro.
- **Definición.-** Se requiere de resolución y definición en la imagen para prevenir roturas y deformaciones en el ancho especificado para los conductores del circuito impreso. Con este propósito se acostumbra realizar pruebas de impresión con distintos anchos y espaciamiento entre conductores, de modo de fijar los tiempos de exposición y revelado apropiados.
- **Densidad.-** La imagen en el fotolito debe ser lo suficientemente opaca para asegurar una exposición adecuada del photoresist.

Retoques.- Se debe inspeccionar y realizar las correcciones necesarias de rayaduras, agujeros, impresiones digitales y cualquier otra imperfección que pueda presentar el fotolito, además de limpieza general del mismo. Todos los retoques se deben realizar en el lado opuesto a la emulsión de la película.

Sea que se trate de una placa prototipo o de una de producción en serie, debe existir un mínimo de documentación que describa los pasos a seguir hasta el montaje y pruebas de la tarjeta. Por tanto, el paquete de documentación para un circuito impreso debe incluir por lo menos los siguientes dibujos:

- **Diagrama esquemático.-** Como se definió en párrafos anteriores, el diagrama esquemático representa mediante símbolos gráficos las funciones e interrelaciones de un circuito, permitiendo al usuario probar, evaluar y corregir fallas.
- **Dibujo maestro.-** Es aquel que contiene toda la información necesaria para la fabricación de la placa de circuito impreso, tal como copia de los trazos conductores de todas las capas, forma y dimensiones de la tarjeta, material y

procesos a emplear e identificación de todos los agujeros, incluyendo posición, tipo y dimensiones finales.

- **Dibujo de montaje.-** Es aquel que muestra una representación pictórica de la tarjeta terminada, montada y lista para pruebas, incluye una lista de todos los componentes necesarios para el montaje.
- **Arte de circuito impreso.-** Dibujo a escala del circuito impreso a partir del cual se elabora el fotolito para producción.
- **Dibujos misceláneos.-** Información diversa de soporte para los dibujos maestro y de montaje, tales como detalles mecánicos y modificaciones para la adquisición de componentes.

2.1.5 Técnicas CAD

Las técnicas de diseño asistido por computadora (CAD), son de gran aplicación hoy en día en el diseño de ingeniería, siendo el diseño de circuitos impresos uno de sus principales campos de aplicación. Esta técnica se está difundiendo muy rápidamente y tiende a desplazar a la técnica manual, debido principalmente a que incrementa la productividad y reduce costos en el desarrollo de equipos; además de facilitar significativamente las modificaciones, por variaciones que pudieran ocurrir en el diseño electrónico.

Hasta finales de los años 80 el uso de la misma era sólo posible mediante sistemas basados en minicomputadores, y el costo para una configuración mínima era de aproximadamente U.S. \$ 250,000; estando el mercado para estos sistemas repartido entre unas cuantas compañías, entre las principales estaban: APPLICON, CALMA, COMPUTERVISION, GERBER SCIENTIFIC, MENTHOR GRAPHICS.

Por esos días y con el auge de las compañías de dedicadas al desarrollo de software, fue posible el empleo de esta técnica en PC compatibles; surgiendo programas que permitieron la elaboración del arte de circuito impreso (e.g. smARTWORK de WINTEK CORP.) con un costo aproximado de U.S. \$ 500 a \$ 1000.

Hoy en día existen una gran variedad de paquetes de programas a las que se denominan EDA (Electronic Design Automation) que trabajan desde la edición del esquemático, pasando por la simulación del diseño electrónico, diseño y edición del circuito impreso, y generación de datos para herramientas de perforación y corte controladas numéricamente. Los costos son variados, un programa para diseño de

circuitos impreso, con edición de esquemático y simulación puede llegar a costar hasta U.S. \$15000, el precio está en función del tamaño de tarjeta que el programa puede manejar, número de componentes, número de conexiones y generación de archivos CAM. Las empresas fabricantes ofrecen también licencias estudiantiles que son mucho mas baratas (entre U.S. \$1000 y \$5000, con la posibilidad de múltiples usuarios) con el propósito de difundir su paquete de programas.

A continuación se listan los principales programas para el diseño del circuito impreso.

Tabla 2.1 Programas para diseño de circuitos impresos

Programa	Fabricante	Observaciones
Allegro	Cadence	Reemplaza a OrCAD Layout
Altium Designer	ALTIUM	
Circuit Maker	Protel International	Adquirido por Altium y discontinuado
EAGLE	Cadsoft	
EASY-PC	Number One Systems	
KICAD	Software Libre (GPL)	Para Linux, Windows y Mac
OrCAD Layout	Cadence	Descontinuado
P-CAD	Personal Cad Systems	Adquirido por Altium y discontinuado
PADS	Mentor Graphics	
Ultiboard	National Instruments	

2.1.6 Descripción de la Técnica.-

Asumiendo que se cuenta con un programa para edición de esquemáticos y otro para el diseño de circuitos impresos, se procedería de la siguiente manera:

- Edición del esquemático en base a un borrador del mismo y haciendo uso de las librerías de componentes del programa o editando los componentes que no estén en librerías
- Verificación del esquemático en lo referente a las reglas para el dibujo del mismo y verificación de reglas de conexionado.
- Generación de lista de conexiones y componentes (Netlist)
- Ingreso de lista de componentes y de conexiones al programa de diseño y definición de las características físicas de la placa de circuito impreso de acuerdo a los requerimientos.
- Distribución interactiva de componentes haciendo uso de las herramientas que provee el programa (selección del tipo de grilla, uso de histogramas de carga de trazos por capa de circuito impreso, vectores de fuerza, etc.)

- Definición de reglas para el trazado, tales como tamaño de pads, ancho y espaciamiento entre trazos, tamaño de vías, trazado ortogonal, etc.
- Trazado automático de conexiones, en forma total o hasta donde el operador lo considere conveniente
- Edición del trazado para su optimización
- Impresión del arte o generación de archivo para plotter o photoplotter (para fotolitos)

2.2 Clasificación de los Circuitos Impresos

Desde el punto de vista de fabricación los circuitos impresos en general, se pueden clasificar de acuerdo a la consistencia del material de base en *Rígidos* y *Flexibles*. Estos materiales de base proporcionan no solo un medio de cableado, sino también soporte para los componentes conectados y distribución de la disipación térmica en un sistema.

Los circuitos impresos rígidos a su vez se clasifican en: circuitos de una capa, de dos capas y de múltiples capas.

2.2.1 Circuitos impresos de una capa.-

El término de una capa se basa en el hecho de que sólo existen trazos del circuito electrónico en una de las capas del material de base de la placa, siendo este tipo de tarjetas empleadas para circuitos relativamente simples (los que generalmente se conocen como "electrónica de consumo"), sin compromisos en lo que respecta a velocidad, densidad de señales, etc. En su producción se emplea el método sustractivo.

2.2.2 Circuitos impresos de dos capas.-

Cuando se requiere más de una capa de cableado (trazos o conexiones), se utiliza ambos lados de la tarjeta, surgiendo la necesidad de una forma de interconectar ambas capas del cableado. Este medio de interconexión, que en algunos casos sirve de doble propósito (interconectar los trazos y alojar al terminal de componente), se puede lograr de dos maneras: por metalización del agujero pasante o por la inserción de un dispositivo mecánico en el mismo.

2.2.3 Circuitos impresos de múltiples capas.-

Los circuitos impresos de múltiples capas surgieron como solución al problema de interconectar componentes electrónicos (en su mayoría circuitos

integrados) en sistemas complejos. Con los circuitos multicapa se reduce grandemente el volumen, tamaño y peso de un sistema, el calor se distribuye y remueve de una forma más eficiente y permiten además incorporar planos de tierra o blindaje. La figura 2.2 muestra un corte a un circuito impreso multicapa.

Los circuitos multicapa pueden contener desde 3 hasta 20 capas, cada una de ellas compuesta de un plano de trazos de cobre. Definiéndose como capa al cobre laminado sobre cada lado del sustrato; el proceso para cada capa es el convencional. Las capas procesadas son unidas por láminas semicuradas (B-stage) de fibra de vidrio saturadas con resina epóxica, realizándose la interconexión de las mismas mediante agujeros metalizados. El registro de todas las capas es una de las partes críticas del proceso, ya que puede tener como consecuencia un circuito abierto o un cortocircuito en las capas interiores.

Las láminas de cobre de las capas internas pueden ser de $\frac{1}{4}$ oz/pie², mientras que las capas exteriores serán a lo más de $\frac{1}{8}$ oz/pie² debido a que el proceso de metalización incrementará su espesor. Mientras que el espesor del B-stage, antes de la laminación, será de 0,0025" a 0,006" (0,063mm a 0,15mm); el espesor a usar estará en función del espesor de la lámina de cobre en cada capa y del número de capas.

La laminación o unión de todas las capas, para formar la tarjeta multicapa, se realiza en prensas de alta presión y temperatura, usualmente 300psi y 180°C por 45 minutos a una hora. La aplicación de presión y calor hace que el B-stage se ablande llenando todos los espacios libres y uniendo las capas. La figura 2.3 muestra una prensa de laboratorio para circuitos multicapa.

1.2.3 Circuitos impresos flexibles.-

Los circuitos impresos flexibles son de uso común hoy en día en equipos tales como: teléfonos, computadoras, misiles, automóviles y cualquier otra aplicación que requiera de flexibilidad, bajo peso, volumen y facilidad de integración. Los circuitos impresos flexibles al igual que los rígidos pueden ser de una, dos y múltiples capas.

La diferencia fundamental consiste en que el material de base es un termoplástico, es decir aquel que adquiere una forma flexible o plástica cuando se procesa mediante presión y temperatura.

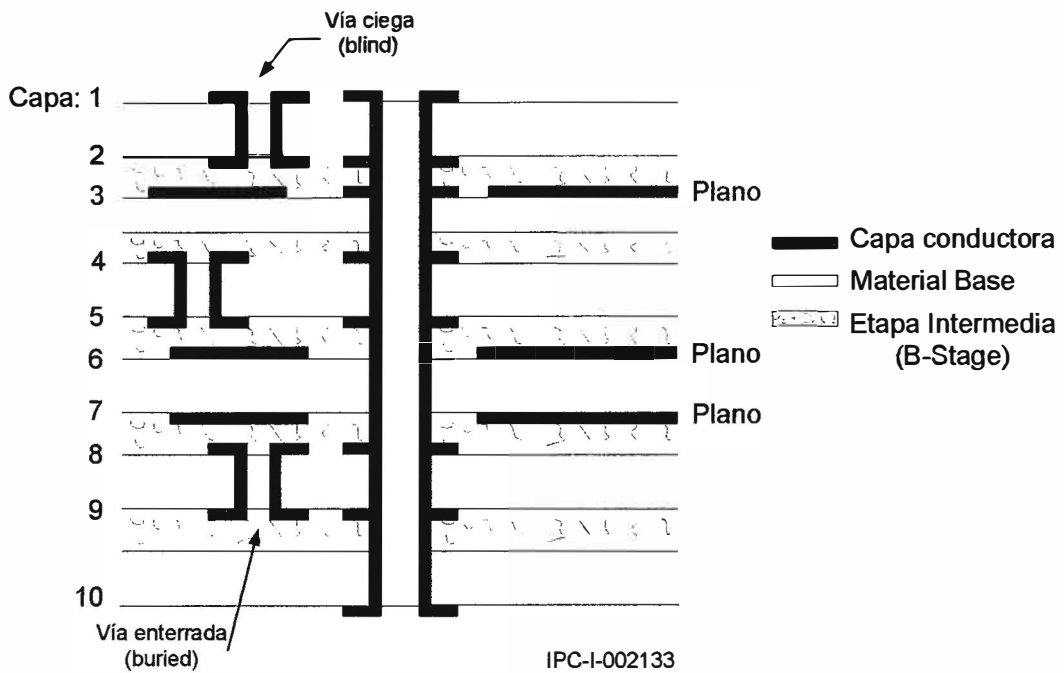


Figura 2.1 Corte de circuito impreso multicapa (10 capas)

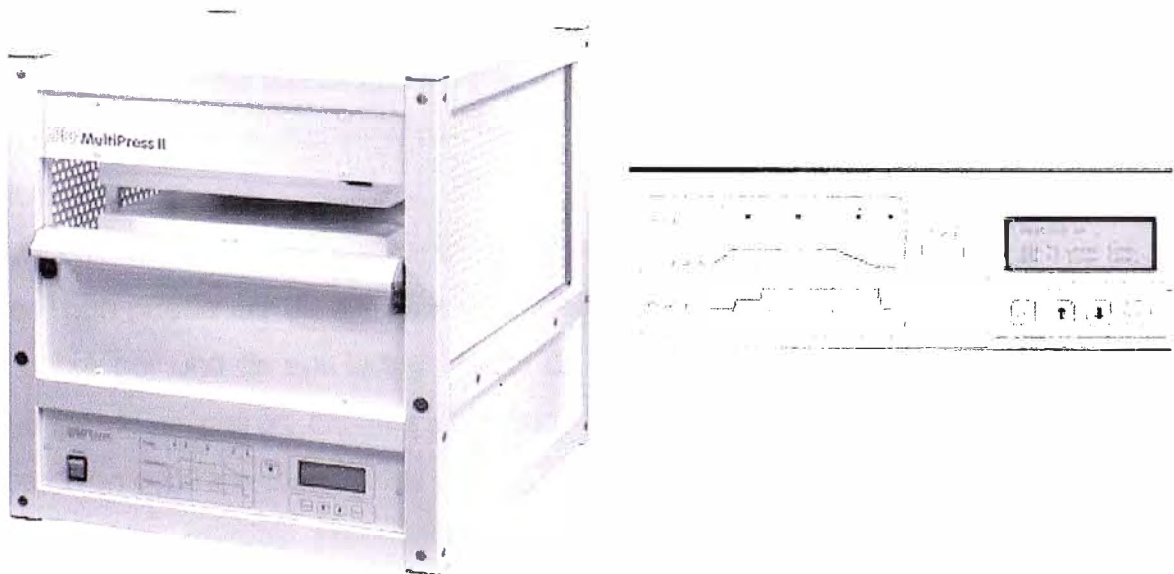


Figura 2.3 Prensa de laboratorio para multicapa y su panel de control

1.2 Procesos de fabricación.-

Los procesos de fabricación que se emplean, a nivel industrial son:

Substractivo o de remoción de una parte de la cubierta metálica.

- Aditivo
- Semi aditivo

La Tabla 2.2 compara el estado actual de la tecnología para los tres procesos.

Tabla 2.2 Comparación del estado tecnológico de los procesos de fabricación

Características	Sustractivo	Semi aditivo	Aditivo
Ancho mínimo actual	30 micras	20 micras	5 micras
Posibilidades de trazos mas finos	Cerca al límite	Mejores	Mucho mejores
Número de capas	>10	>8	>6
Propiedades físicas	Buenas	Necesita mejoras	Necesita mejoras
Acondicionamiento	Fácil	Toma tiempo	Toma tiempo
Disponibilidad de equipos	Muy buenas	Requiere algo de equipo nuevo	Requiere mucho equipo nuevo
Reglas de diseño	Establecidas	Requiere Innovar	Requiere Innovar
Experiencia	Mucha	Media	Poca
Clientes	Familiarizados	Poco familiarizado	No familiarizado
Costo de fabricación	Bajo	Medio	Alto
Inversión	Relativamente baja	Media	Alta

2.3.1 Proceso Sustractivo

La mayor cantidad de tarjetas para circuito impreso se fabrican en la actualidad con esta tecnología y se aplica tanto para circuitos impresos de una capa como para circuitos impresos de dos capas. La figura 2.4 muestra el diagrama de flujo para el proceso.

Para circuitos de una capa.- El proceso se inicia con una placa de material de base, que puede ser de distintos tipos de aislantes y que tiene adherida una lámina de cobre por uno de sus lados. Luego de una limpieza adecuada y otros procesos, se imprime el patrón circuital deseado, utilizando algún medio que va servir de protección contra el mordiente.

Estos medios protectores pueden ser generalmente, un fotopolímero acompañado de un fotolito o una tinta aplicada por serigrafía. Seguidamente se procede con el ataque químico para remover todo el cobre que no este protegido y luego se quita la sustancia protectora, pasando la placa a los procesos de perforación, corte y acabados. Una variación del proceso, metaliza soldadura, níquel u oro sobre el circuito previo al ataque químico.

Para circuitos de dos capas.- En este caso se tienen pistas o conexiones por ambos lados de la tarjeta, entonces surge la necesidad de tener un medio para interconectar ambos lados del cableado y este puede ser la metalización del agujero

de conexión por electro deposición o realizar una conexión mecánica mediante un alambre soldado.

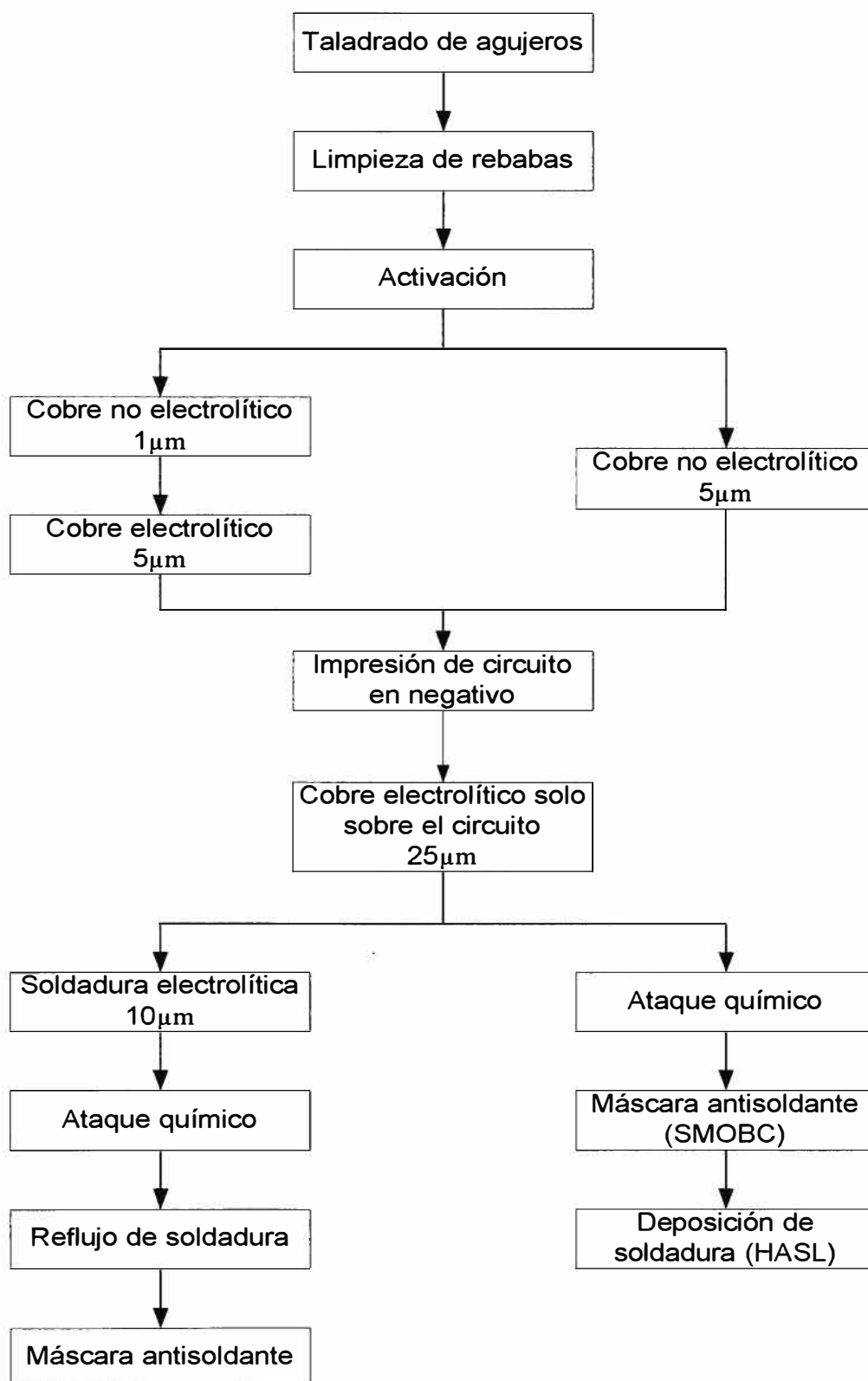


Figura 2.4. Diagrama de proceso sustractivo

El proceso sustractivo de metalización se inicia con una tarjeta de material base, con láminas de cobre por ambos lados de la misma, en la que se perforan los agujeros que forman parte del circuito. Seguidamente se aplica una solución de cobre (cobre no electrolítico) sobre toda la superficie de la placa y los agujeros. Luego se electro deposita más cobre, usualmente hasta un espesor de 0.01" (0.025mm). Se aplica entonces una cubierta protectora para la metalización en ambas capas del circuito (generalmente un foto polímero laminado), esta cubierta protege todas las áreas del circuito donde no se requiere que se electro deposite más cobre. El paso siguiente consiste entonces en incrementar el espesor de los trazos conductores y agujeros con más cobre y soldadura u oro. Se remueve la cubierta protectora, y luego el cobre que no es necesario por medio del ataque químico de un ácido selectivo.

0.1.1 Proceso aditivo

El proceso aditivo difiere fundamentalmente del sustractivo en que no se requiere de ataque químico y el patrón circuital se define al mismo tiempo que se realiza la metalización de agujeros. Es un proceso que no está estandarizado, ya que cada fabricante tiene sus propias variantes del proceso.

En líneas generales, el proceso se inicia con una tarjeta de material base (en este caso sin láminas de cobre) a la que se le perforan los agujeros del circuito y luego se deposita una pequeña capa de adhesivo. En el paso siguiente se aplica una solución de cobre que se refuerza con una ligera electro deposición de cobre. Viene la aplicación de un fotopolímero para imprimir el circuito en negativo, de modo que al revelarlo queden expuestas solo las áreas correspondientes al circuito y los agujeros. Se deposita cobre electrolítico hasta el espesor deseado y finalmente se retira el fotopolímero, se hace un ligero ataque para remover el cobre de base y el adhesivo expuesto, con un solvente adecuado. El último paso es el curado del adhesivo que forma parte del circuito.

0.1.2 Proceso semi aditivo

El proceso se inicia con una tarjeta de material base a la que se deposita una capa delgada de cobre que servirá como semilla para las deposiciones posteriores. Se perfora la tarjeta y luego se sigue el proceso sustractivo convencional para imprimir el circuito y depositar el cobre hasta su espesor final

2.4 Materiales de Base para Circuitos Impresos

Las tarjetas para circuito impreso están constituidas generalmente por cobre adherido a un material dieléctrico de tipo orgánico. En algunos casos también se emplean otros metales diferentes al cobre, así como sustratos de material cerámico.

Los dieléctricos orgánicos son materiales resinosos, termoestables o termoplásticos, combinados con un relleno que les sirve de refuerzo. La necesidad de estabilidad, resistencia mecánica, y buenas propiedades dieléctricas han llevado al uso generalizado de los materiales termoestables reforzados principalmente para tarjetas para circuito impreso del tipo rígido. Los materiales termoplásticos con o sin refuerzo, se emplean en aplicaciones de circuitos flexibles.

La Tabla 2.3 presenta los principales materiales de base que conforman las tarjetas para circuito impreso, mientras que la Tabla 2.4, especifica el peso del material para distintos espesores. Los datos se extrajeron de la norma MIL-P-13949.

Tabla 2.3 Principales materiales de base para circuitos impresos

GRADO	COMPOSICIÓN	NOTAS
XXXPC	Papel/Fenólico	Resistente a la humedad
FR-2	Papel/Fenólico	Resistente a la humedad y auto extingible
XXXP	Papel/Fenólico	Mejores características mecánicas que los anteriores
FR-3	Papel/Epóxico	Buenas características mecánicas y eléctricas, auto extingible
FR-4	Fibra de vidrio/Epóxico	Auto extingible, químico resistente, no higroscópico.
G-3	Fibra de vidrio/Fenólico	Alta resistencia a la flexión y estabilidad dimensional
G-5	Fibra de vidrio/Melamina	Alta resistencia al impacto
G-10	Fibra de vidrio/Epóxico	Igual a FR-4, no auto extingible
G-11	Fibra de vidrio/Epóxico	Igual a G-10, con mejor resistencia a la flexión bajo la influencia de temperatura
G-30	Fibra de vidrio/Poliamida	Alta estabilidad dimensional bajo temperatura, auto extingible
FR-5	Fibra de vidrio/Epóxico	Igual a G-11, no auto extingible
GPO-1	Fibra de vidrio/Poliéster	De propósitos generales, grado mecánico y eléctrico
CEM-1	Fibra de vidrio – papel /Epóxico	Mejor características que cualquier fenólico

Tabla 2.4 Peso del material base en oz/pie² (1)

Material	Espesor de material base en pulgadas			
	1/32	1/16	3/32	1/8
XXXP	3,3	6,7	10	13,4
FR-3	3,6	7,2	11	14,5
FR-4	5	10	15	20
FR-5	5,2	10,2	15,4	20,4
G-10	4,7	10,2	14,1	14,5
G-11	4,5	9,8	13,4	19,6

(1) No incluye el laminado de cobre

2.4.1 Materiales de base termoestables.-

a. Amino.- Estos tipos de laminados se derivan como productos de reacción de formaldehído y urea o melamina. Su consistencia es dura, rígida, resistente a la abrasión y a la compresión; resistentes a la deformación, soportan bajas temperaturas sin quebrarse, y son excelentes aislantes eléctricos, no son afectados por solventes orgánicos comunes, ácidos y álcalis ligeros. Su temperatura de operación está entre los -20°C a 100°C. Limitan el uso de este material su contracción con el tiempo, rajaduras luego de ciclos de trabajo seco-húmedo, pérdida de resistencia mecánica y cambios en sus propiedades eléctricas. Para el ataque químico pueden usarse los mordientes más comunes empleados por los fabricantes de circuitos impresos.

Las tarjetas de melamina, pueden ser troqueladas en caliente y guillotinas en frío, en este último caso sin embargo, pueden producirse rajaduras.

b. Epóxico.- Estas resinas termoestables son las más usadas como material de base de tarjetas para circuito impreso. Se combinan generalmente con papel o fibra de vidrio, son poseedoras de excelentes propiedades eléctricas, físicas y químicas. Las propiedades pueden variar de acuerdo al tipo de resina y/o material del relleno. Las formulaciones varían de fabricante en fabricante. Existen tipos de material epóxico auto extingible capaces de trabajar a temperaturas de 125°C y 200°C.

Su resistencia química es buena, los ácidos y bases fuertes no le afectan a temperaturas normales aún cuando se sometan a ellos más tiempo del requerido para el proceso de la tarjeta impresa. La exposición por tiempo prolongado en álcalis fuertes, especialmente si se calienta, ocasionarán hinchazones y algún

resquebrajamiento en la resina, en consecuencia se deberá tener cuidado cuando se somete la tarjeta a removedores alcalinos de fotopolímeros aplicados en caliente.

Por otro lado los removedores orgánicos de fotopolímeros así como los desengrasantes por vapor pueden dañar el material de base expuesto demasiado tiempo en ellos. La práctica de dejar las tarjetas perforadas sin metalizar en removedores tales como el TCE (tricloro etileno), acetona, xileno, y otros solventes por largos periodos de tiempo pueden resultar en hinchazones y deslaminaciones; las crestas que aparezcan alrededor de los agujeros, serán evidencia de exposición excesiva en solventes o álcalis fuertes.

Las resinas epóxicas son atacadas por soluciones concentradas de ácido sulfúrico. Este proceso combinado algunas veces con ácido fluorhídrico, se emplea para remover el material de base de los agujeros en el proceso de tarjetas multicapa.

c. Polyester.- Este tipo de resinas precedió a las epóxicas. La combinación de poliéster y fibra de vidrio ha sido dejada un tanto de lado debido a su baja estabilidad dimensional. Su costo es mucho menor que las epóxicas y debido a sus buenas propiedades eléctricas, físicas y químicas es todavía empleada en aplicaciones donde los materiales epóxicos resultan costosos.

El más importante de los materiales poliéster, en lo que respecta a la fabricación de tarjetas para circuito impreso, es el Mylar (de E.I. du Pont de Nemours & Co.). Los laminados de cobre de este material se comercializan en varios espesores; los laminados más delgados tienden a estriarse por efecto del ataque químico, siendo necesario entonces que el material posea láminas exteriores de soporte.

Una de las desventajas mayores del material poliéster es que puede ablandarse, chamuscarse, pelarse o doblarse durante el soldado, además el taladrado y corte deben efectuarse con técnicas adecuadas. Su temperatura de operación está entre los -51 y 150°C.

d. Fenólico.- Este material termoestable resulta de la combinación de fenol y formaldehído. Ofrece alta resistencia tanto al impacto como dieléctrica, teniendo además buena resistencia al calor, ácidos y álcalis. Los materiales fenólicos son livianos y fáciles de trabajar.

Se emplea muy a menudo la combinación de papel y material fenólico recubierto con cobre en equipos para electrónica de consumo, debido a su bajo costo en comparación con los laminados epóxicos con fibra de vidrio. El material fenólico es susceptible de prenderse dependiendo del relleno usado. Los ácidos débiles tienen poco efecto a temperatura ambiente, sin embargo se descomponen con ácidos oxidantes concentrados, ácido acético y soluciones alcalinas fuertes.

Aunque los materiales fenólicos están clasificados como resistentes a los solventes, debe tenerse mucho cuidado cuando se emplea removedores de fotopolímero. Los fabricantes de este tipo de laminado lo clasifican como resistente al cloruro férrico, ácido crómico, persulfato de amonio, empleados como mordientes, por periodos de hasta 30 minutos. Los materiales comerciales con relleno de papel son adecuados para trabajar a temperaturas de hasta 120°C. Cuando se emplean rellenos de fibra de vidrio, mica o asbesto, su temperatura de operación puede subir hasta 260°C.

e. Silicona.- Este material termoestable tiene comparativamente un alto costo, por lo cual ha tenido poca aceptación para su aplicación industrial. Combinado con fibra de vidrio u otros rellenos se pueden fabricar laminados para temperaturas de operación de hasta 315°C. Los laminados de silicona disponibles comercialmente operan a temperaturas de hasta 250°C.

f. Teflón.- Las resinas termoestables fluoro carbonadas entre las que se incluyen por ejemplo: TFE o FEP combinada con fibra de vidrio, han tenido aceptación en la industria aeroespacial, aeronáutica, automotriz, equipos eléctricos, computadoras, comunicaciones e instrumentación. Se emplean en circuitos impresos rígidos y flexibles.

La excelente resistencia química de las resinas fluoro carbonadas es ampliamente conocida, su estabilidad térmica a 200°C es buena. Se puede emplear cualquier método de soldadura sin ocasionar deformación ni degradación del material.

2.4.2 Materiales de Base Termoplásticos.-

Este tipo de materiales se emplea en la fabricación de circuitos impresos flexibles. Se combinan con fibra de vidrio, asbesto o alguna resina termo plástica. La resistencia química de estos materiales es generalmente menor que las de las

resinas termoestables. En algunos casos los solventes atacan la resina termo plástica. De acuerdo a su aplicación se clasifican en:

- **Utilitarios y de bajo costo.**- Como el polietileno, polipropileno, policarbonato y cloruro de polivinilo.
- **Para uso en microondas.**- Como el poliestireno, oxido de polifenileno, PTFE y polietileno irradiado.
- **De alta temperatura.**- Como las poliamidas y el epóxico estabilizado

2.4.3 Láminas de cobre.-

Junto con los materiales de base y las resinas, el otro ingrediente principal de las tarjetas para circuito impreso son las láminas de cobre. Se emplean dos tipos de láminas, fundidas (W) o electro depositadas (E), en este último caso se les refiere generalmente como película de cobre. Existen además varios grados de laminados (clasificación en base al tratamiento que se le dé al metal).

La Tabla 2.5 especifica según la norma IPC - 4562 los tipos y grados de láminas, también contempla el uso de láminas de níquel.

Para las tarjetas de circuito impreso rígidas se emplean láminas electro depositadas, mientras que para los circuitos impresos flexibles se utilizan láminas de cobre fundido.

El cobre se electro depositada sobre tambores rotatorios de acero inoxidable, cada rollo de cobre es cuidadosamente inspeccionado antes de la laminación sobre el material de base. El lado del cobre a ser laminado es tratado con una aleación de zinc o bronce para mejorar su adhesión al material de base.

La Tabla 2.6 especifica los espesores y peso de las láminas de cobre de acuerdo a la norma IPC-4562, siendo los espesores más usados $\frac{1}{2}$, 1 y 2 oz/pie². Las tarjetas recubiertas con lámina de cobre de $\frac{1}{2}$ oz/pie² se emplean generalmente en circuitos impresos metalizados.

Mientras que la tabla 2.7 establece los espesores para laminados de cobre utilizados en tarjetas multicapa.

Tabla 2.5 Características de los laminados

Grado N°	Designación	Tipo
1	Estándar electro depositado	STD – Tipo E
2	Alta ductibilidad electro depositado	HD – Tipo E
3	Elongación a alta temperatura Electro depositada	HTE – TIPO E
4	Recocido electro depositado	ANN – Tipo E
5	Forjado - laminado	AR – Tipo W
6	Forjado - laminado en frío	LCR – Tipo W
7	Forjado - templado	ANN – Tipo W
8	Forjado - laminado y templado a baja temperatura	LTA – Tipo W
9	Nickel, estándar electro depositado	
10	Electro depositado - templado a baja temperatura	LTA – Tipo E
11	Electro depositado - templado	A – Tipo E

Tabla 2.6 Espesor y peso de láminas de cobre

Designación del laminado	Unidades Métricas		Unidades Inglesas	
	peso/área (g/m ²)	espesor nominal (μm)	peso/área (oz/ft ²)	espesor nominal (mils)
E (1/8)	44,6	5,0	0,146	0,20
Q (1/4)	80,3	9,0	0,263	0,36
T (1/8)	107,0	12,0	0,350	0,47
H (1/2)	153,0	17,2	0,50	0,68
M (3/4)	229,0	25,7	0,75	1,01
1	305,0	34,3	1	1,35
2	610,0	68,6	2	2,70
3	916,0	103,0	3	4,05
4	1221,0	137,0	4	5,40
5	1526,0	172,0	5	6,75
6	1831,0	206,0	6	8,10
7	2136,0	240,0	7	9,45
10	3052,0	343,0	10	13,50
14	4273,0	480,0	14	18,90

Tabla 2.7 Espesor y peso de láminas de cobre para tarjetas multicapa

Tipo de cobre	Clases 1-3
Lámina de cobre mínima al inicio, para capas externas	1/8 oz/ft ² (5 μm)
Lámina de cobre mínima al inicio, para capas internas	1/4 oz/ft ² (9 μm)
Película de cobre inicial, proceso semi aditivo	5 μm
Película de cobre final, proceso aditivo	15 – 20 μm

2.4.4 Ancho y Espaciamiento entre Conductores.-

Cuando se diseña un circuito impreso se debe tener en cuenta el ancho y espaciamiento de los trazos o conductores, los cuales determinarán la capacidad de conducción de corriente. Si el ancho del conductor es demasiado pequeño pueden ocurrir problemas de discontinuidad en el circuito o calentamiento. Por el contrario trazos y espaciamientos excesivamente grandes pueden hacer que se pierda espacio valioso, incrementándose innecesariamente el área del circuito impreso y en consecuencia los costos.

De acuerdo a la Norma Técnica IPC-2221, el ancho y espesor del conductor deben determinarse en base a la capacidad de corriente requerida, ver Tabla 2.8 y Figura 2.5, que nos muestra un gráfico que es muy utilizado en el diseño de circuitos impresos, para lo siguiente:

- Nos sirve para estimar los incrementos de temperatura (por encima de encima de la temperatura ambiente) en función de la corriente, para distintas secciones transversales del conductor. Se asume que el espesor de material base es de 1/16 pulg. En general, se define el incremento permisible de temperatura como la diferencia entre la máxima temperatura de operación segura del laminado y la máxima temperatura ambiente a la cuál se utilizará el panel.
- Para conductores individuales el gráfico se emplea para determinar el ancho de conductor, espesor, sección transversal y capacidad de conducción de corriente para diversos incrementos de temperatura.
- Para grupos de conductores en paralelo, que estén cercanos entre sí, el incremento de temperatura se puede encontrar empleando la sección transversal y la corriente equivalentes. La sección transversal equivalente es igual a la suma de las secciones transversales equivalentes de los conductores en paralelo y la corriente equivalente es la suma de las corrientes en los conductores.
- No se incluye el efecto de calentamiento debido a la instalación de disipadores de calor para los componentes.
- El espesor del conductor en la carta de diseño no incluye el plateado del mismo con otros metales diferentes al cobre.

El cuanto al ancho máximo de conductor a utilizar, será de 0,500" (12,7mm). Si se requirieran áreas conductoras más grandes se deben incorporar *zonas de descarga* con el propósito de evitar ampollas y deformaciones en el momento de soldadura.

Se recomienda emplear un ancho nominal de conductor de 0.050" (1,27mm) ó 0,62" (1,57mm) para aplicaciones de bajo voltaje. Se deben compatibilizar los anchos máximos con los espacios mínimos requeridos, de modo de facilitar la fabricación y mejorar la confiabilidad de la tarjeta.

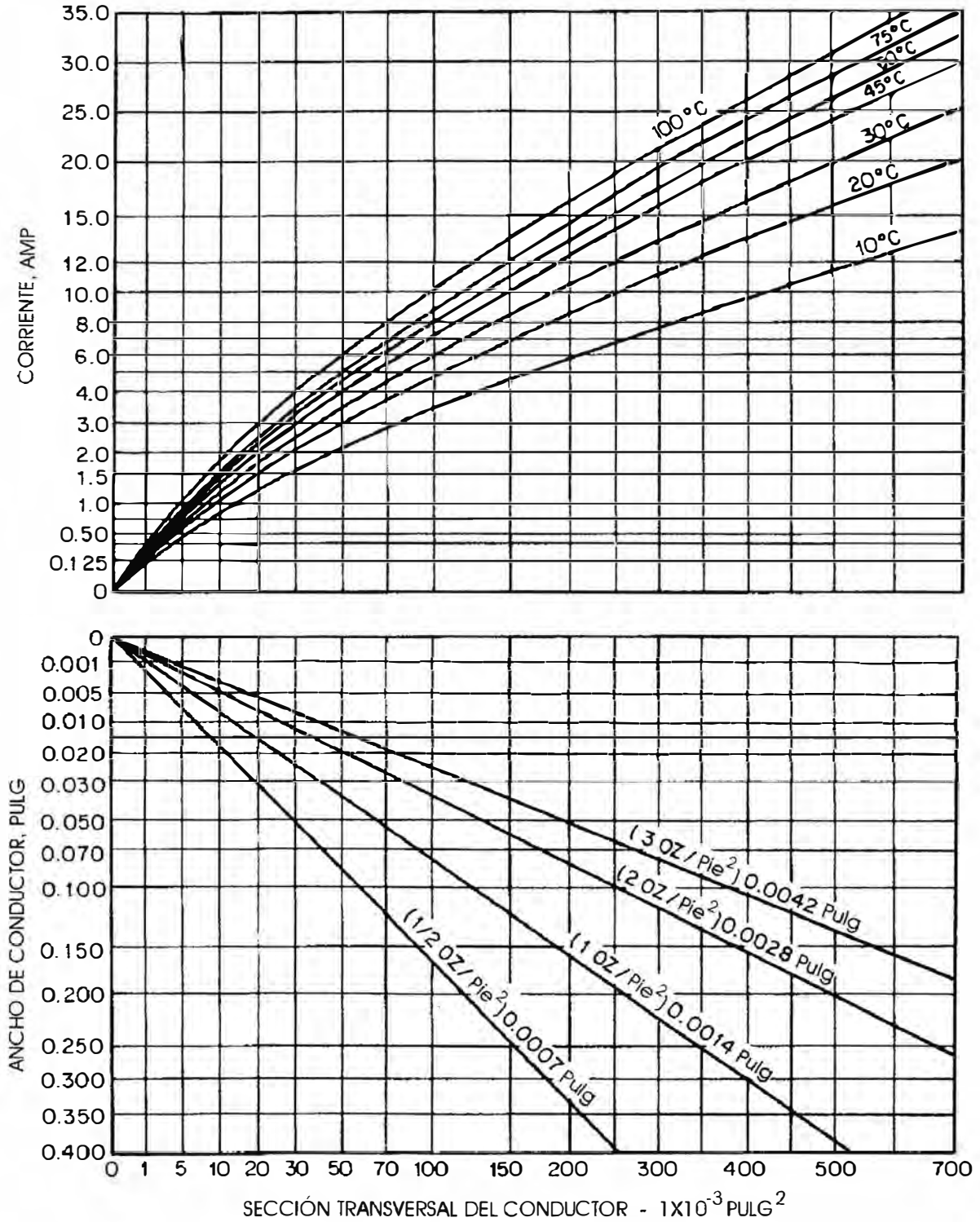


Figura 2.5 Sección transversal y capacidad de corriente para conductores externos

Tabla 2.8 Ancho de conductor recomendado por el IPC para placas con lámina de cobre de 1oz/pie² e incremento de temperatura de 10 °C (1)

Corriente (A)	Ancho de conductor (mils)	Ancho de conductor (mm)
1	10	0,25
2	30	0,76
3	50	1,27
4	80	2,03
5	110	2,79
6	150	3,81
7	180	4,57
8	220	5,59
9	260	6,60
10	300	7,62

(1) Para otros incrementos de temperatura, se extraen los valores de la figura 2.5

Para determinar los espacios o distancia entre conductores se deberá tener en cuenta el voltaje pico que existirá entre los mismos, de acuerdo a la altura en que vaya a trabajar el circuito y los recubrimientos protectores que se apliquen a la tarjeta; la Tabla 2.9 recomienda los espacios mínimos de acuerdo a lo expresado. El espaciamiento nominal entre un conductor y el borde de la tarjeta o ferretería de montaje será de 0,100" (2,54mm) a 0,250" (6,35mm).

Tabla 2.9 Distancia recomendada entre conductores adyacentes

Voltaje (V)	Con recubrimiento (mm)	Sin recubrimiento (hasta 3000 m) (mm)	Sin recubrimiento (mas de 3000 m) (mm)
0 - 50	0,13	0,64	0,64
51 - 100	0,13	0,64	1,50
101 - 150	0,40	0,64	3,18
151 - 250	0,40	1,27	3,18
251 - 500	0,75	2,54	12,7
> 500	0,00305 mm/V	0,005 mm/V	0,0254 mm/V

Finalmente, la selección de anchos de conductores y espaciamientos entre los mismos sufrirá variaciones en el proceso de manufactura por efectos de:

- Método de exposición del fotolito.
- Técnica de grabado
- Tipo de fotopolímero.
- Variaciones en el ataque químico o plateado.

La Tabla 2.10 muestra las tolerancias permisibles para anchos de conductor en láminas de cobre metalizadas de 1oz/pie², según la norma técnica IPC -2221 (1)

Tabla 2.10 Tolerancias para ancho de conductor, en lámina de cobre metalizada (46µm)

Característica	Nivel A	Nivel B	Nivel C
Sin metalizar	± 0,06	± 0,04	± 0,015
Metalizado	± 0,10	± 0,08	± 0,04

(1) Las normas de IPC establecen *niveles de complejidad* en el diseño A, B y C; y también clases de rendimiento 1, 2 y 3 para los productos manufacturados.

Los *niveles de complejidad* se asignan a las características, tolerancias, mediciones, ensamblaje, terminación y verificación del proceso de manufactura que reflejan mejoras en herramientas, materiales o procesos.

Las *clases de rendimiento* se han establecido para los productos terminados, ya sean tarjetas solas o ensambladas, y reflejan incrementos progresivos en la sofisticación, rendimiento de los requerimientos funcionales y frecuencias de inspección o pruebas

2.5 Métodos de Limpieza

La superficie de cobre de la placa para circuito impreso sale de fábrica con aceites siliconados y sustancias antioxidantes, adicionalmente con el manipuleo se imprimen huellas digitales y si el almacenamiento no es adecuado se desarrolla corrosión en la misma; todos estos agentes contaminantes deben ser removidos, dejando la superficie limpia y ligeramente áspera. Una limpieza inadecuada previa a la impresión, es probablemente la mayor causa de problemas durante el grabado y metalizado.

Una buena limpieza puede lograrse por medios mecánicos o químicos; cada método tiene sus ventajas específicas y corresponde determinar la circunstancia adecuada para la aplicación de uno u otro método. Los métodos básicos de limpieza se describen en los puntos siguientes.

2.5.1 Desengrase por Vapores Orgánicos.-

Este método es el preferido a nivel industrial. Las tarjetas para circuito impreso pueden requerir desengrase por vapores orgánicos para remover aceite o suciedad contaminante, dejada sobre su superficie en las operaciones previas de fabricación. La contaminación incluye el material desmoldante empleado para prevenir que la prensa de laminación se adhiera a la superficie de cobre. Las grasas siliconadas empleadas como desmoldantes, son las mas difíciles de remover.

Dos de los solventes mas comúnmente usados en las operaciones de desengrase por vapor son el tricloretileno (TCE) y el percloroetileno. El TCE opera a temperaturas relativamente bajas de $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$. El tiempo de inmersión varía, siendo generalmente el adecuado de 2 min., el TCE debe ser de alta pureza y mantenerse limpio.

El desengrase por vapor puede atacar y soltar la unión entre la lámina de cobre y el sustrato aislante, siendo necesario entonces realizar ensayos de adherencia antes y después del desengrase con vapor.

2.5.2 Limpieza Mecánica.-

La limpieza mecánica es una forma rápida y económica de limpiar la superficie de cobre. No se recomienda la limpieza con cepillos metálicos porque producen patrones no uniformes de limpieza que ocasionan una mala adherencia de los fotopolímeros; se utilizaba piedra pómez que deja una superficie mas uniforme y brinda mayor adherencia, sin embargo tiene el problema que puede quedar adherida al cobre. En su reemplazo se usan almohadillas sintéticas para limpieza de metales o papel de lija de grano fino. Todos los métodos de limpieza van acompañados de agua o alguna formulación para limpieza.

2.5.3 Limpieza Química.-

Luego de la limpieza mecánica es necesario realizar una limpieza química; y dependiendo del grado de contaminación de la placa, se puede prescindir de la limpieza mecánica.

Los limpiadores químicos comerciales están compuestos en su mayoría de fosfatos, hidróxido de sodio, carbonato de sodio y agentes humectantes, requiriendo algunos de ellos de calentamiento; dado su bajo costo es práctica común renovarlos constantemente para tener la misma eficiencia en la limpieza de las tarjetas. Luego de la limpieza se debe de enjuagar bien las tarjetas con agua corriente.

Luego de la limpieza debe procederse a la impresión del circuito en el plazo máximo de una hora, para evitar que el cobre se corroa nuevamente, de ser así deberá repetirse el procedimiento.

2.6 Transferencia del Arte de Circuito Impreso

Desde los inicios de la tecnología de los circuitos impresos se han desarrollado y probado diversas técnicas para transferir o grabar el diseño (arte) de circuito impreso a las tarjetas con lámina de cobre.

Muchas de estas técnicas tienen que ver con los campos de la tipografía, serigrafía (esténcil), grabado en metales, litografía, fotostáticas y fotolitografía.

Hoy en día prevalecen las técnicas de serigrafía, grabado mediante microfresado, fotostática aplicada al método de transferencia térmica y fotolitografía mediante fotolitos y fotopolímeros. Siendo los métodos fotolitográfico y serigráfico los preferidos a nivel industrial.

Por otro lado aparecen nuevas técnicas como, la grabación directa, del arte sobre la placa de cobre, con laser e impresoras para tintas UV que prescinden de fotolitos, insoladoras, mallas para serigrafía, tintas epóxicas, etc. Estas nuevas técnicas por el momento tienen costos elevados y están orientadas hacia la producción industrial de circuitos impresos.

La elección de la tecnología de proceso es una de las decisiones más importantes y difíciles que un fabricante debe tomar. Algunos de los factores a tener en cuenta son:

- Requerimientos mínimos de ancho de línea y distancia entre las mismas
- Requerimiento de metalización del circuito
- Naturaleza de los compuestos para plateado y ataque químico
- Experiencia de producción
- Volumen anual y tamaño de las tarjetas
- Tamaño del lote
- Tipo de mercado, es decir: alta tecnología, militar, electrónica de consumo, multicapa
- Respaldo de capital para inversión en mejoras del proceso elegido
- Calificación del personal



2.6.1 Fotolitografía

Es el proceso de grabación de las regiones o patrones de un circuito electrónico sobre una placa para circuito impreso, donde se debe depositar o remover cobre u otro metal (estaño, plata, oro, etc.), haciendo uso en este propósito de fotopolímeros y fotolitos.

Este es el método más utilizado en la actualidad tanto a nivel de prototipos como a nivel industrial, debido a la excelente calidad de las impresiones, permitiendo procesar líneas muy finas. La figura 2.6 muestra el diagrama del proceso fotolitográfico.

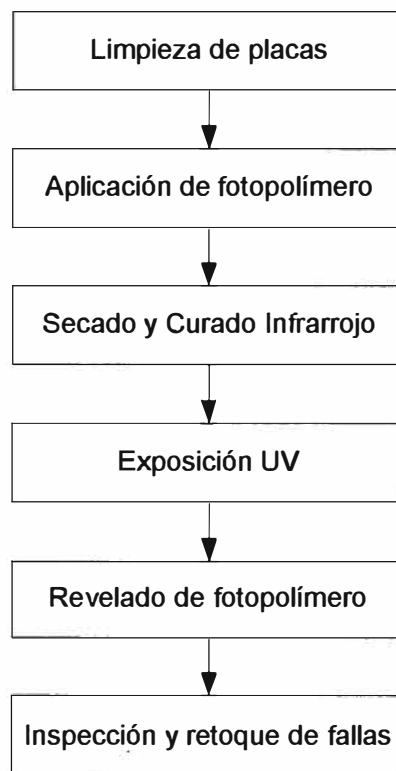


Figura 2.6 Proceso fotolitográfico para fabricación de circuitos impresos

Los fotopolímeros son sustancias fotosensibles que transforman su estructura al ser expuestos a luz UV, en el rango de 300 a 450 nm, formándose moléculas gigantes, que se encadenan en forma de red tridimensional, o bidimensional (depende del polímero empleado), endureciendo el sustrato polímero y haciéndolo insoluble.

Los fotopolímeros pueden ser líquidos o laminados, estos últimos también se les conoce como película seca o dry film. En contraste con la película seca, los fotopolímeros líquidos requieren de condiciones especiales de procesamiento, tanto en la limpieza previa como durante la exposición.

Los fotopolímeros se aplican en capas o láminas sobre la placa de cobre y cumplen dos funciones básicas:

- Impresión precisa del patrón circuital.
- Protección del sustrato de cobre del ataque químico durante el grabado

Un fotopolímero típico está compuesto de dos o tres componentes:

- Una resina que sirve como aglutinante de los demás componentes
- Un inhibidor o sensibilizador que es el componente fotoactivo
- Y para los fotopolímeros líquidos un solvente que lo mantiene en estado líquido hasta que es procesado

a. Fotopolímeros líquidos

Casi todos sin excepción contienen un solvente orgánico que sirve como vehículo, aun cuando su procesamiento sea del tipo acuoso. De hecho todas las formulaciones comunes, son soluciones en vez de dispersiones (coloides).

Dependiendo del tipo de fotopolímero y método de aplicación, la formulación contiene entre 50 – 80% de solventes. La viscosidad típica de un fotopolímero es de 100 – 1000 mPa·s

Los fotopolímeros líquidos se clasifican como: de acción negativa y de acción positiva.

- Líquidos de Acción Negativa.-

Los fotopolímeros de acción negativa son solubles en su propio revelador, pero luego de su exposición a la luz se lleva a cabo una reacción fotoquímica que cambia sus propiedades y se hacen insolubles en el revelador. Los reveladores que se usan en la actualidad son del tipo acuoso en vez de los basados en solventes orgánicos que requieren sistemas de procesos mas elaborados por ser contaminantes.

Se formularon inicialmente para trabajar con placas de imprenta y litográficas, siendo rápidamente adoptados para la fabricación de circuitos impresos. Se usan fundamentalmente cuando la serigrafía u otros métodos de producción masiva no ofrecen una buena definición para líneas delgadas o cuando se tienen que producir pequeños lotes de tarjetas. Debido a su poco contenido de sólidos y baja viscosidad proveen una buena definición.

En algunos tipos, luego del revelado es recomendable entintar la placa para inspección y retoque, además del curado para incrementar su adherencia. El cuarto de proceso debe usar luz de seguridad amarilla.

La tabla 2.11 establece las propiedades de dos fotopolímeros líquidos.

Tabla 2.11 Propiedades típicas de dos fotopolímeros líquidos

Propiedad	Unidad	Tipo 1	Tipo 2
Método de aplicación		Por inmersión	Mediante rodillos
Color antes de la exposición		Azul	Azul
Color después de la exposición		Azul opaco	Azul opaco
Viscosidad a 23°C	Pa.s	0,6	7
Densidad líquido	g/cm ³	0,99 (a 25°C)	1,03
Densidad seco	g/cm ³	1,25 (a 25°C)	1,25
Contenido de sólidos	%	30	40
pH	-log[H ₃ O ⁺]	~ 5	~ 3
Fotosensitividad	$\Delta_{OD} = 0,15$	4 – 5 (sólido)	4 – 5 (sólido)
Solvente		1-Methoxy-2-propanol	1-Methoxy-2-propanol

- Líquidos de acción positiva.-

Los fotopolímeros de acción positiva son aquellos que inicialmente son insolubles en su revelador y se hacen solubles como consecuencia de su exposición a la luz, produciéndose una rotura en la estructura del polímero. Teóricamente permite una mejor definición en el grabado pero por otro lado es menos sensible a la luz.

El revelador es una solución alcalina que disuelve rápida y completamente el fotopolímero expuesto.

b. Película seca de acción negativa.-

La película seca (dry film) es una resina fotosensible que se presenta en una configuración multicapa con una cubierta para transporte y una cubierta protectora. La cubierta protectora, que es de poliolefina, protege el lado adhesivo del fotopolímero y es removida durante el proceso de laminación. La cubierta de transporte, que es de poliéster resistente al calor, tiene como propósito bloquear el oxígeno en el momento de la exposición, ofreciendo una superficie uniforme de contacto con el fotolito.

Los fotopolímeros de película seca representan una mejora sustancial sobre sus equivalentes del tipo líquido y han sido adoptados por la mayoría de fabricantes de tarjetas para circuito impreso. Las láminas de película tienen espesores de 0.0005" (0,0127mm) a 0,003" (0,0762mm), dependiendo del fabricante. Los materiales más gruesos se emplean para metalización y los más delgados para procesar líneas finas. Su empleo en metalización elimina totalmente el problema de deposición de fotopolímero en los agujeros, tal como ocurre con los fotopolímeros líquidos.

Los principales fabricantes de este fotopolímero son: E.I. du Pont de Nemours & Co., Asahi Kasei Co y Rohm and Haas.

Se dispone de este material en rollos de distintas longitudes y en anchos hasta de 24" (61cm). Durante la exposición, la luz atraviesa la hoja de poliéster y el material se polimeriza con un consiguiente cambio en su viscosidad; cuanto mayor sea la energía luminosa de la fuente de luz la polimerización será más rápida y se obtendrán una mejor resolución y definición. En general este material es más fácil de manejar que los fotopolímeros líquidos. Su temperatura de curado está entre los 50 a 65°C.

c. Métodos de aplicación.-

Los fotopolímeros del tipo líquido tienen varias formas de aplicación sobre la superficie de la placa. Cualquiera que sea el método de aplicación, los requerimientos son: uniformidad, buena definición, libre de pinholes y buena adherencia a la superficie de la placa. Es por esto que los pasos previos de limpieza y preparación de la placa son de suma importancia. La humedad absorbida por el sustrato o contenida en el fotopolímero debe ser mantenida al mínimo ya que puede ser la causa de pinholes o poca adherencia. El fotopolímero debe aplicarse en un ambiente con una humedad relativa de aproximadamente 50%, adicionalmente se acostumbra hornear la placa antes del sensibilizado para eliminar los últimos vestigios de agua contenida en el sustrato. A continuación se describen los distintos métodos de aplicación.

- **Por inmersión y remoción controlada.-** La aplicación por inmersión es la forma más fácil y rápida para recubrir ambos lados de una placa. Para esto se deberán usar recipientes de vidrio, loza o acero inoxidable, angostos y con una profundidad mayor que el largo de la placa a procesar, con el propósito que los sólidos presentes se depositen en el fondo del recipiente. Si se extrae

lentamente la placa, se pueden obtener espesores mayores de recubrimiento para ser usados en metalización, sin embargo deberá de tenerse cuidado con el fotorolímico que se derrame por el contorno de los agujeros o dispositivos de sujeción, para este caso se recomienda sucesivas operaciones de inmersión y curado.

Se debe tener en cuenta que los materiales de base y pegamentos son sensibles a los solventes orgánicos de los fotorolímicos, es por esto que el tiempo de inmersión debe ser el estrictamente necesario. La figura 2.7 ilustra el método.

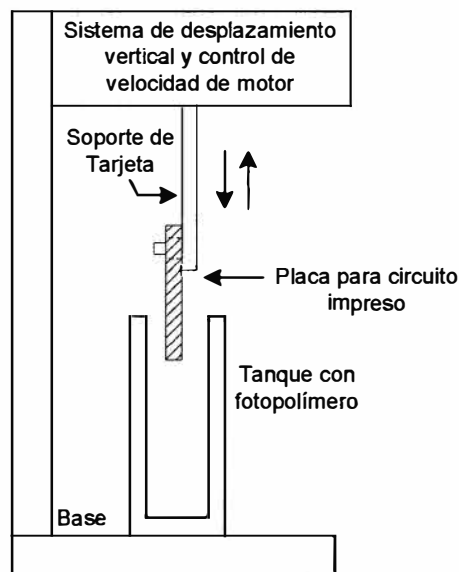


Figura 2.7 Sistema de inmersión y remoción controlada

- **Por rotación.-** El método de aplicación por rotación emplea una superficie giratoria, en la que se genera una fuerza centrífuga para distribuir el fotorolímico en capas delgadas, uniformes y libres de poros. Las tarjetas se ubican sobre la superficie, sujetándose adecuadamente, seguidamente se vierte el fotorolímico en el centro de la placa y se hace girar el equipo. El espesor de recubrimiento se controla por medio de la viscosidad del fotorolímico más la velocidad y aceleración del equipo.

Este método no es adecuado en el sensibilizado de tarjetas para metalización, ya que el fotorolímico tiende a acumularse en el borde de los agujeros o introducirse en los mismos, ocasionando que el fotorolímico se derrame por la cara opuesta. La figura 2.8 ilustra el método, que es también utilizado por la industria de semiconductores para aplicar fotorolímicos a las obleas de silicio.

Se suele emplear aire caliente para contribuir al secado de la placa mientras está girando.



Figura 2.8 Sistema para aplicación de fotopolímero por rotación, que incluye dispensador, tornamesa, plancha calefactora y unidad de curado

- **Mediante rodillos.-** Algunos fotopolímeros se pueden aplicar mediante rodillos, los cuales deben ser de preferencia de acero inoxidable y estriados, con un ancho mayor o igual al de la placa. Las desventajas del método, son que consume mucho fotopolímero y este a su vez se contamina con aire y partículas, que pueden ocasionar pequeños agujeros y manchas que no se revelarán adecuadamente. Mientras que una posible ventaja sería que mucho menos fotopolímero se introduce en los agujeros y el lado opuesto de la placa. La figura 2.9 ilustra el método.

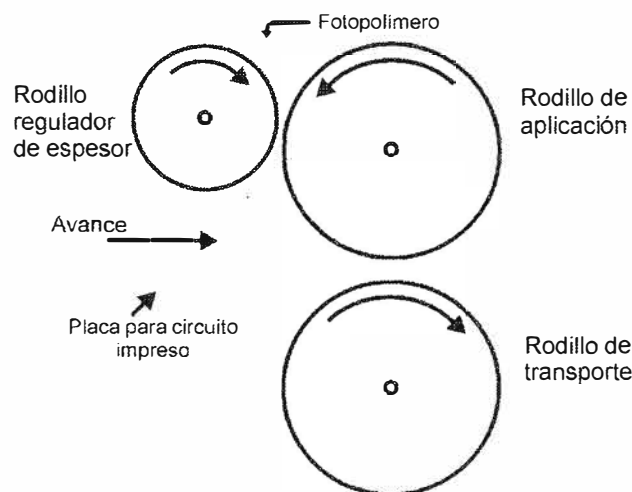


Figura 2.9 Aplicación de fotopolímero líquido mediante rodillos

- **Por pulverización.-** La mayoría de fotopolímeros líquidos se pueden aplicar mediante pulverización, para esto se debe adelgazar convenientemente el fotopolímero y aplicarlo en capas delgadas hasta obtener el espesor deseado. En su aplicación se emplea equipo común para pintado. La pulverización es un

buen método para evitar el exceso de fotopolímero en los agujeros de tarjetas a metalizar. Sin embargo, si no se tiene el cuidado suficiente al emplear este método, se desperdiciará demasiado fotopolímero y/o no se obtendrá la uniformidad requerida.

- **Por laminación.-** Este método de aplicación es exclusivo para el fotopolímero de película seca (dry film). El material es aplicado por laminación a la superficie de la placa mediante presión y calor suministrados a medida que la placa pasa por un equipo laminador diseñado para este propósito. La figura 2.10 ilustra el método. Antes de ingresar al equipo de laminación la placa se precalienta ya que el equipo de laminación, que usualmente opera a temperaturas entre 110°C a 125°C, no es capaz de suministrar todo el calor necesario a la velocidad que pasa la placa por el equipo. Luego de esto es conveniente que la placa se enfríe a temperatura ambiente, antes del revelado, para que el material adquiera su estabilidad dimensional.

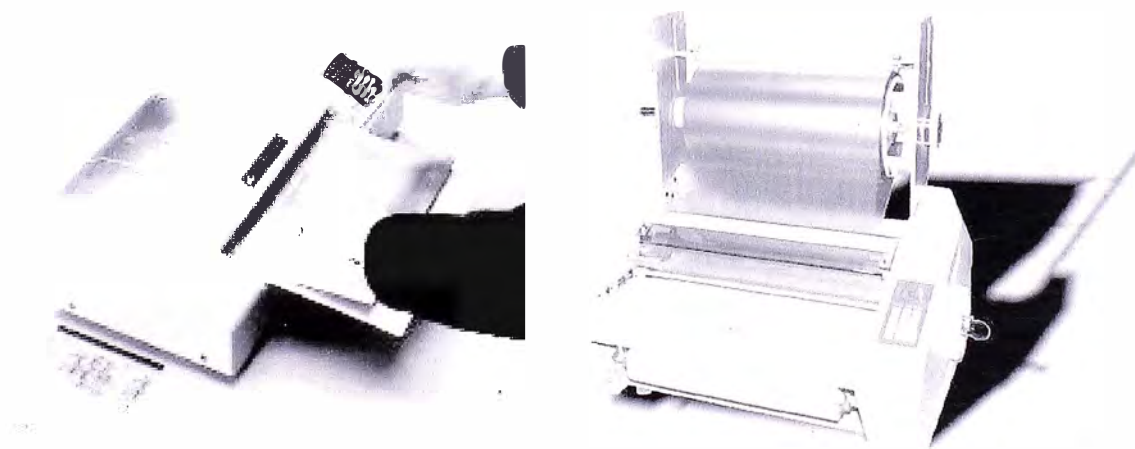


Figura 2.10. Laminadores para fotopolímeros, de hojas sueltas y de rollos

a. **Exposición.-**

Luego de que la placa ha sido "sensibilizada" y horneada (curada), el siguiente paso en el proceso es la exposición o impresión por contacto del patrón circuita. Para esto se requiere de equipo y ambiente adecuados, para obtener una buena reproducción.

El cuarto para el proceso debe estar libre de polvo y contaminantes para reducir los posibles daños ocasionados por el contacto del fotolito con la placa;

queda entendido que cuando se recibe el fotolito para impresión es poco o nada lo que se puede hacer para corregir errores u omisiones en el arte o en el proceso fotográfico.

En la exposición se pueden usar diferentes fuentes de luz tales como vapor de mercurio, arco de carbón, luz ultravioleta o cualquier otra fuente de luz capaz de suministrar alta intensidad luminosa en el rango de los 300 a los 600 nm de longitud de onda, que es el rango en el cual trabajan la mayoría de fotopolimeros. Sin embargo, se obtiene una máxima resolución empleando una fuente luminosa de tipo puntual o un haz de luz colimada. La figura 2.11 ilustra los tipos de haces luminosos.

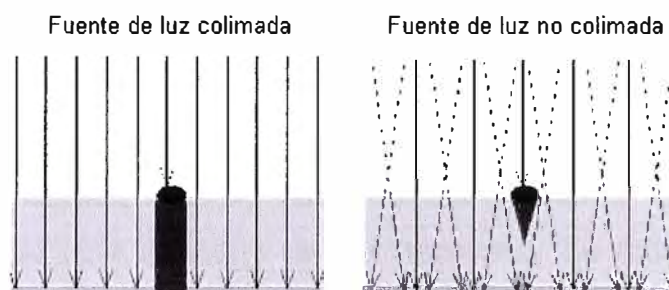


Figura 2.11 Fuentes de luz colimada y no colimada

El tiempo adecuado de exposición dependerá de la intensidad luminosa, temperatura, características del fotopolímero, y tipo de equipo empleado.

Cuando se trate de imprimir circuitos de dos capas es muy importante el registro adecuado de los fotolitos con la placa, para esto pueden existir varias técnicas. Sin embargo, la más adecuada hasta el momento es la del empleo de agujeros índices tanto en la placa como en los fotolitos.

b. Revelado.-

La operación de revelado consiste en la remoción del fotopolímero que no forma parte del arte de circuito impreso. Esta debe realizarse preferentemente en un tanque o cuba con la profundidad suficiente y con un sistema de rocío. También se puede efectuar el revelado simplemente por inmersión, pero el sistema de rocío ayuda en conseguir una mejor resolución. La agitación ultrasónica durante la inmersión colabora también en una mejora del proceso.

Las soluciones para revelado dependen del tipo de fotopolímero.

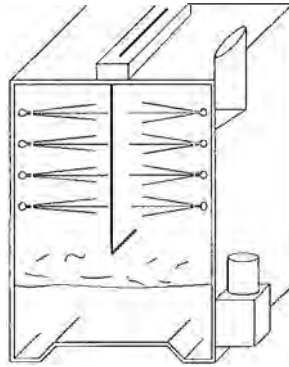


Figura 2.12 Sistema para revelado por rocío (spray)

El tiempo para el proceso del revelado depende en gran parte del tipo y espesor del fotopolímero, solución y método empleado en el revelado. Los tiempos típicos son de aproximadamente 2 a 3 min. La figura 2.12 muestra un sistema de este tipo.

Luego del revelado la placa debe ser perfectamente enjuagada con agua corriente y entintada para retocarla de ser necesario. Se recomienda también el horneado posterior de la placa, previo al metalizado o ataque químico, para mejorar la resistencia química del fotopolímero.

2.6.2 Serigrafía.-

La serigrafía es una técnica de impresión empleada en la reproducción de documentos e imágenes sobre casi cualquier material, y consiste en transferir una tinta a través de una malla tensada en un marco. El paso de la tinta se bloquea en las áreas donde no habrá imagen mediante una emulsión o barniz, quedando libre la zona donde pasará la tinta. El sistema de impresión es repetitivo, esto es, una vez que el primer modelo se ha logrado, la impresión puede ser repetida cientos de veces.

Esta técnica aplicada a los circuitos impresos se emplea particularmente en la producción de circuitos comerciales (generalmente para electrónica de consumo). La figura 2.13 muestra el diagrama del proceso serigráfico aplicado a los circuitos impresos.

La serigrafía consiste básicamente de tres elementos:

- La malla, que es la portadora de la imagen
- La rasqueta, encargada de transferir la tinta a través de la malla.
- La tinta

Existen dos tipos de tejidos para la fabricación de las mallas, la figura 2.14 nos muestra el detalle de las mallas monofilamento y multifilamento.

- Monofilamento, consistente de hilos individuales que se tejen entre si.
- Multifilamento, consistente de multiples hilos que se tejen entre si

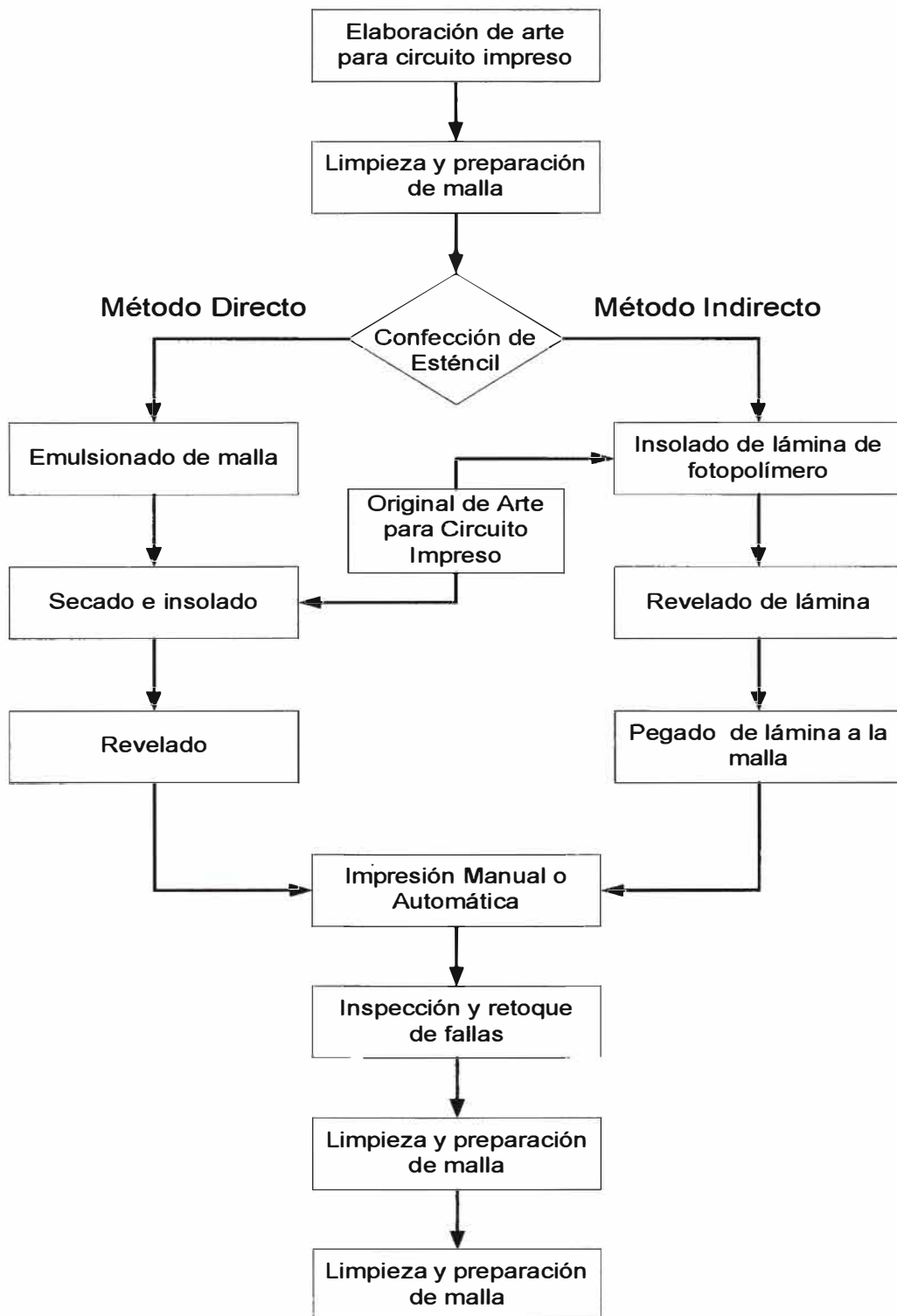


Figura 2.13 Diagrama de proceso serigráfico para la fabricación de circuitos impresos

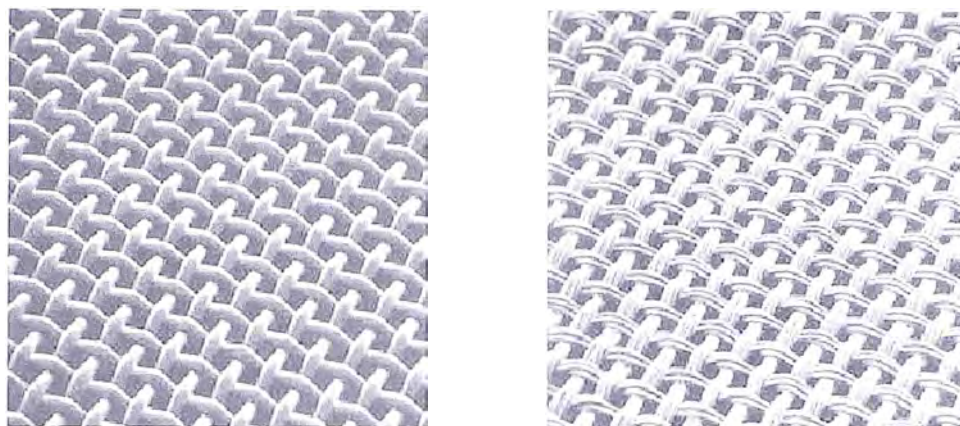


Figura 2.14 Mallas monofilamento y multifilamento

Los materiales para el tejido pueden ser nylon, polyester o acero inoxidable. Preferentemente se utilizan mallas de material monofilamento, especialmente nylon y acero inoxidable, que se tensan sobre bastidores de aluminio o madera y tintas resistentes al ataque químico. La figura 2.15 muestra un bastidor de aluminio con una malla tensada en el mismo.

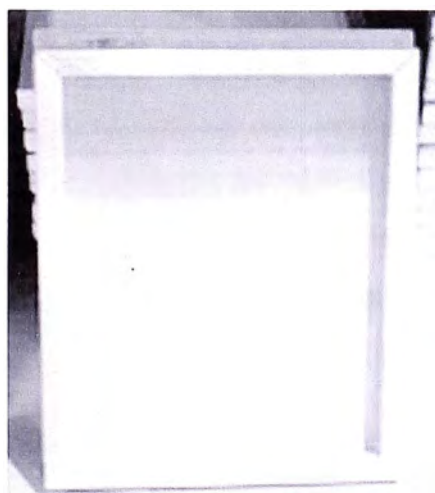


Figura 2.15 Bastidor de aluminio con malla

La tinta es aplicada sobre la malla y se transfiere a la placa mediante *una rasqueta* que puede ser de neoprene o poliuretano, la composición de la misma, así como el ángulo y lo afilado del borde, velocidad de desplazamiento sobre la malla además de la calidad y densidad de la trama, determinan la cantidad de tinta a depositar.

Seleccionados el tipo de malla y bastidor a emplear, se procede a elaborar el estencil o matriz. Esta parte del proceso consiste en transferir el arte de circuito impreso a la malla mediante un proceso fotográfico, en positivo o negativo (dependiendo del objetivo del trabajo, es decir circuito impreso convencional o metalizado).

Para este propósito se aplica a la malla, previamente limpia y desengrasada, una emulsión fotosensible que puede ser de tipo *directo* o *indirecto*.

Mediante el **método directo** se aplica una emulsión fotosensible a toda la malla utilizando un aplicador y permitiendo que seque. Seguidamente se proyecta sobre la malla una imagen de nuestro original. Después de la exposición a la luz, las zonas de la emulsión que no forman parte de la imagen se endurecen y, las zonas que forman parte de la imagen se disuelven con agua tibia en spray

Algunas características de los estenciles directos son:

- La mayoría son solubles en agua
- Más baratos de elaborar que los estenciles indirectos

En el proceso de los estenciles directos se emplean mallas amarillas y naranjas. El color previene el rebote de la luz cuando se exponen a luz UV. Si la luz rebota o se dispersa la exposición no es buena.

Mediante el **método indirecto** primero se graba el original en una lámina de fotopolimero, usando una fuente de luz de alta intensidad. Seguidamente se revela en una bandeja, se enjuaga con agua y se aplica sobre la malla para permitir su secado y fijación a la misma. El *método indirecto* produce estenciles de alta duración que se utilizan en aplicaciones que requieren alta calidad de impresión.

Algunas de las características de los estenciles indirectos son:

- Producen excelente definición y detalles finos.
- Son muy estables y resistentes a los solventes.
- Más difíciles de remover de la malla, requieren agua a alta presión.

Con el arte de circuito impreso en la malla se realiza la impresión del mismo sobre la superficie de la placa para lo cual se emplean distintos tipos de tintas que pueden ser de acrílico, vinílico, epóxico y de secado al aire, infrarrojo o ultravioleta. La elección está en función del tipo de trabajo a realizar. (impresión de circuito, máscara antisoldante o símbolos de encapsulados)

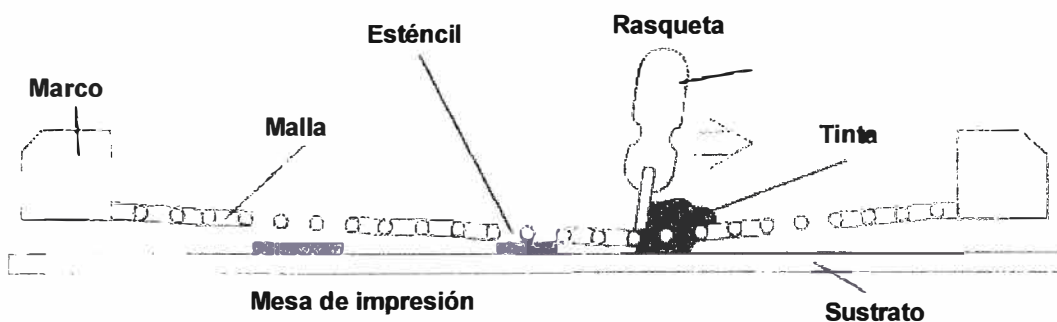


Figura 2.16 Técnica de impresión serigráfica

La impresión en si puede ser manual o automática, dependiendo del volumen de producción y requerimientos de proceso. La figura 2.16 ilustra el proceso de impresión y la figura 2.17 un bastidor montado en un sistema de impresión manual.



Figura 2.17 Bastidor montado en sistema para impresión manual

2.6.3 Transferencia Térmica

Este es un método de bajo costo para fabricar circuitos impresos convencionales (de una sola capa) y además es rápido. Aunque no iguala la calidad del proceso fotográfico y aun del serigráfico, pero realizado con cuidado y buenos materiales se consiguen resultados satisfactorios. El método consiste en transferir toner de impresora láser a una placa para circuito impreso, el toner contiene la imagen del arte de circuito impreso y protegerá la placa durante el ataque químico. Lo primero que se debe hacer es imprimir el arte de circuito impreso en una impresora Láser, utilizando como medio una lámina de plástico recubierta (PnP blue) o un papel de alta resolución (calidad fotográfica). Seguidamente utilizamos una plancha de ropa para transferir mediante calor, la imagen a la placa para circuito impreso. Se obtienen mejores resultados con una herramienta para estampados

textiles como la que se muestra en la figura 2.18. La figura 2.19 muestra el arte transferido a la placa y la figura 2.20 el diagrama de flujo del proceso.

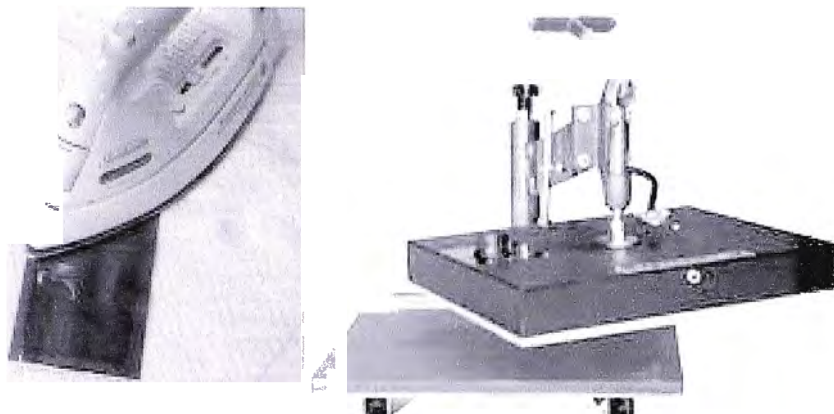


Figura 2.18 Dos tipos de herramienta para utilizar en el proceso

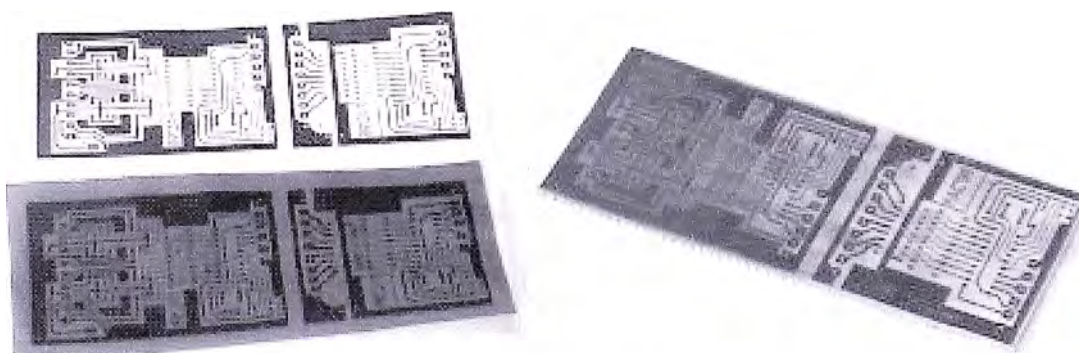


Figura 2.19 Arte impreso y transferido a la placa

De las experiencias realizadas con este método debemos decir que ambos medios para impresión brindan resultados satisfactorios, a continuación algunos puntos a tener en cuenta:

- La lámina PnP blue proporciona un mejor medio para transferir la imagen.
- La lámina PnP blue no requiere de remojo en agua para despegarla.
- La lámina PnP blue requiere de menos tiempo de aplicación que el papel (tres minutos contra cinco minutos aproximadamente).
- Se consiguen líneas más delgadas con el papel de alta resolución, hasta 0,20 mm (en resolución 600x600 dpi). Si bien al imprimir sobre la lámina PnP se consigue buena resolución, ocurre que al hacer la transferencia, puede desprenderse algo del material de soporte, lo cual tiende a ensanchar la línea.

Por el momento, el papel fotográfico para inyección de tinta es mucho más barato y fácil de conseguir que la lámina PnP.

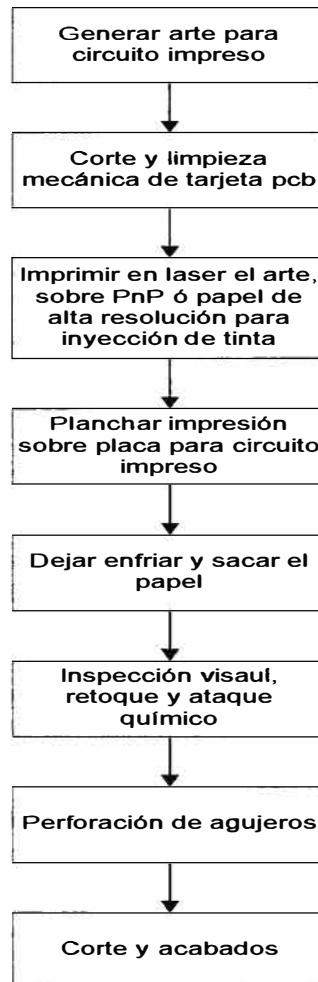


Figura 2.20 Diagrama de proceso transferencia térmica

2.6.4 Microfresado.-

El Microfresado es el proceso de remover áreas de cobre de una tarjeta para circuito impreso para formar islas terminales y trazos de conexión que constituyen un diseño o *layout*. Al igual que el sistema convencional de ataque químico, este es un proceso sustractivo, porque se extrae material para crear el aislamiento eléctrico y planos de tierra requeridos. Sin embargo en comparación con el sistema convencional, este sistema no utiliza productos químicos para el proceso, de modo que puede ser realizado en una oficina o ambiente de laboratorio sin estar expuesto a productos químicos. La figura 2.21 muestra dos sistemas para microfresado.

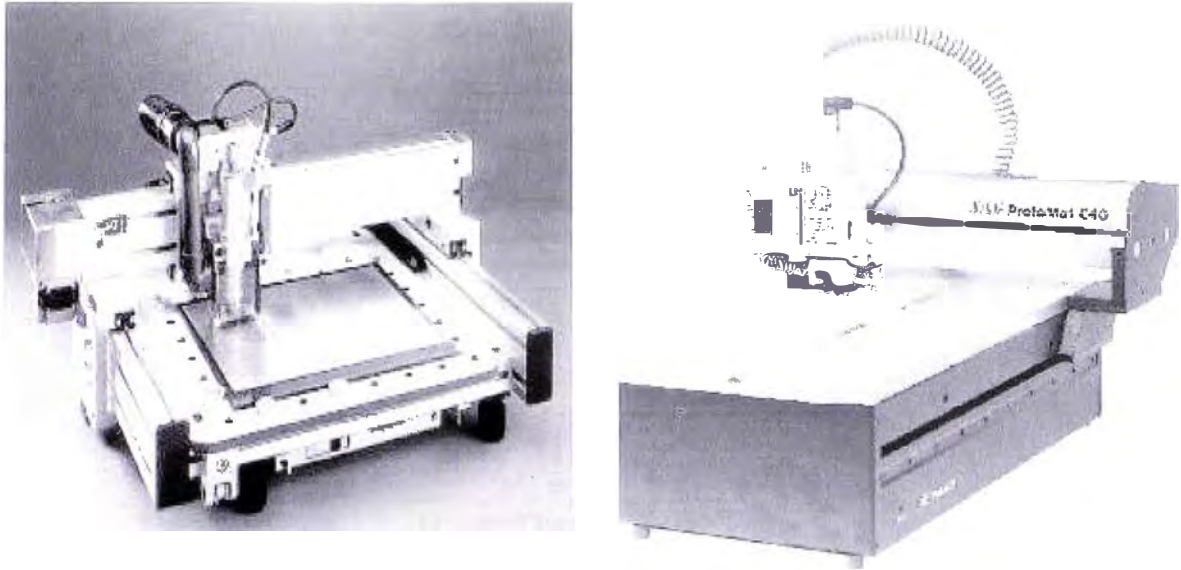


Fig 2.21 Sistemas para microfresado Bungard y LPKF

Este proceso utiliza un sistema mecánico de tres ejes para mediante fresado remover el cobre del material base. El mismo opera en forma similar a un graficador xy o a un sistema CNC para fresado. Los comandos para posicionar y controlar la máquina provienen de un programa que los entrega al controlador de la misma, por medio de una conexión al puerto serie o paralelo. El controlador entonces actúa sobre la posición en los ejes x/y , así como el giro y desplazamiento del cabezal en el eje z . Los actuadores en los ejes x/y son motores de paso y en el eje z solenoides o pistones neumáticos, mientras el giro del cabezal montado en el eje z lo proporciona un motor DC.

Los datos para alimentar el programa provienen de archivos en formato Gerber o HPGL, extraídos a su vez de programas para diseño de circuitos impresos. También se extrae de estos programas para diseño, un archivo en formato Excellon que contiene los datos de las brocas necesarias para perforar y fresar. La figura 2.22 muestra el diagrama de flujo del proceso.

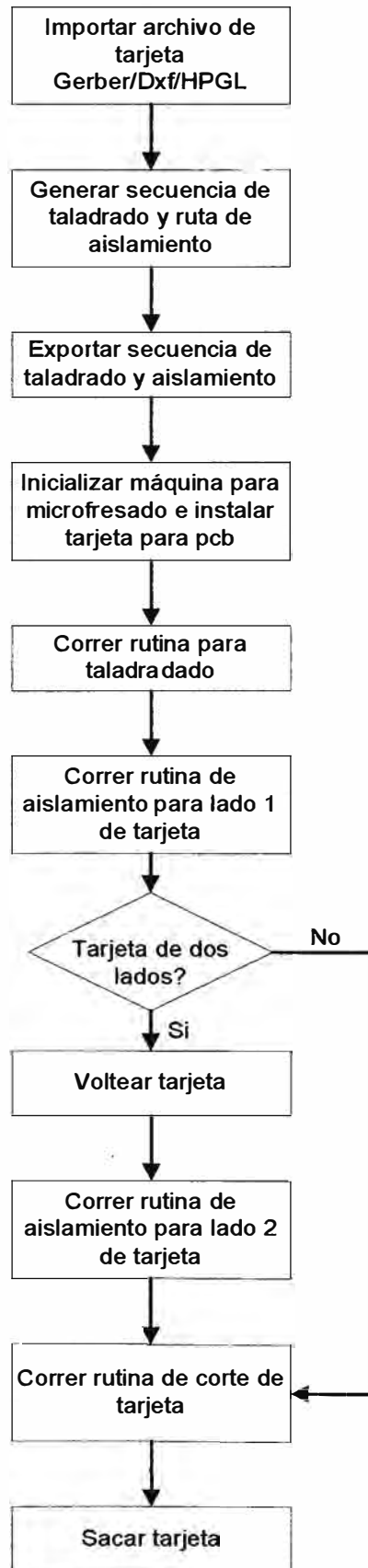


Figura 2.22 Diagrama de proceso para microfresado

El formato de datos Gerber es un estándar utilizado por los fabricantes de circuitos impresos y contienen la información necesaria para que máquinas CNC dibujen patrones que contienen planos de tierra, trazos de conexión, posición de agujeros, información de fresado y corte.

Este formato de datos fue utilizado originalmente por equipos graficadores ópticos (photoplotters de la marca *GERBER*) que hacen uso de un haz de luz, que pasa por una apertura (o forma), para dibujar una línea.

Un archivo Gerber está en formato ASCII y transmite al graficador óptico información relativa a:

- Coordenadas x/y
- Selección de aperturas (códigos D, formas a utilizar para el dibujo)
- Comandos de obturador (apertura, cierre o fogonazo de códigos D)
- Fin de archivo

La información referente a las coordenadas x/y tiene una porción entera y una porción decimal, sin embargo el punto decimal es un caracter no valido. Entonces los valores decimales se escriben como enteros determinándose la posición del punto decimal por tres parámetros:

- Cantidad de dígitos enteros
- Cantidad de dígitos decimales (precisión)
- Supresión del cero.

Estos parámetros dan origen a formatos de archivo designados como: **2,3** ó **3,4** donde la parte entera designa al número total de dígitos enteros y la parte decimal viene a ser el número de dígitos de precisión. Por ejemplo para expresar el número 12,345 en el formato 2,3 se convierte en 12345; el mismo número en formato 3,4 será 1234500.

La supresión del cero puede darse en una de las siguientes maneras: anteriores, posteriores o ninguna, de esta manera se busca reducir la cantidad de dígitos cero innecesarios para conseguir un archivo de datos más pequeño.

Existen dos variantes del formato Gerber: RS-274D y RS-274X (llamado también Gerber extendido o Gerber-X).

El formato Gerber se deriva del formato especificado por la EIA y que se denominó RS-274-D en el que se generaba un juego de comandos para cada capa de circuito impreso y un archivo de descripción de herramientas (aperturas).

Los archivos de comando, consistentes de comandos cortos y coordenadas x/y , fueron llamados *archivos Gerber* y los archivos de herramientas fueron llamados *archivos de aperturas*, para estos últimos nunca se estableció un estándar, de modo que cada fabricante de software para diseño tenía su propio formato y esto ocasionaba demasiados problemas a los fabricantes de circuito impresos. La tabla 2.12 muestra los comandos o códigos Gerber.

El nuevo formato RS-274-X, conocido también como Gerber-X o Gerber Extendido, incluye la información de aperturas al inicio de los archivos, de modo que el archivo para cada capa lleva toda información.

El formato RS-274X, que es una extensión del estándar EIA RS-274D, suministra información de códigos de datos (códigos G) y códigos de aperturas (códigos D) contenidos en el estándar RS-274D, así como códigos conocidos como parámetros masivos (códigos M). Estos parámetros masivos son parámetros para graficar que definen características que pueden afectar todo un gráfico o partes específicas, conocidas como capas.

Tabla 2.12 Códigos Gerber

Código	Descripción
%	Delimitador de parámetro
*	Fin de bloque (fin de comando)
D	Seleccionar apertura o establecer el modo de apertura
X	Mover al valor de x
Y	Mover al valor de y
G	Diferentes código para inicialización
M	Diferentes códigos de control
I	Ubicación relativa x para centro de arco
J	Ubicación relativa y para centro de arco

A continuación vemos un archivo Gerber con el significado de las líneas de comando:

G90*	Coordenadas absolutas
G70*	Unidades en pulgadas
G54D10*	Preparar cambio de apertura, cambio a apertura D10

G01X0Y0D02*	Mover hacia la posición especificada con el obturador cerrado
X450Y330D01*	Mover hacia la posición especificada con el obturador abierto (dibuja línea desde coordenadas 0,0 hasta 450,330)
X455Y300D03*	Mover hacia la posición especificada con el obturador cerrado y luego abrir y cerrar el obturador (flash)
G54D11*	Preparar cambio de apertura, cambio a apertura D11
Y250D03*	Mover hacia la posición especificada con el obturador cerrado y luego abrir y cerrar el obturador
Y200D03*	Mover hacia la posición especificada con el obturador cerrado y luego abrir y cerrar el obturador
Y150D03*	Mover hacia la posición especificada con el obturador cerrado y luego abrir y cerrar el obturador
X0Y0D02*	Mover hacia la posición especificada con el obturador cerrado
M02*	Fin de dibujo

Por otro lado, como mencionamos anteriormente, los datos referentes a las brocas para perforación de los agujeros están en formato Excellon. La empresa Excellon fabrica desde mediados de los años 60, sistemas y controladores para taladrado y fresado y son reconocidos como los pioneros en este campo, en la industria de circuitos impresos.

Es por esta razón que a los archivos para control numérico (NC) de este tipo de máquinas herramienta se les denomina también, archivos Excellon. Hoy en día existen muchos fabricantes de equipo para taladrado y fresado de circuitos impresos. Muchos de ellos diseñan sus controladores para que sean compatibles con los formatos Excellon, habiendo dejado de lado la tradicional cinta perforada y adoptado el uso de formatos para perforación en código ASCII para PCs estándar. La tabla 2.13 muestra los códigos del formato Excellon, que han sido incorporados a la norma IPC-NC-349

Tabla 2.13 Códigos de control para el formato Excellon

Código de control	Acción a realizar
%	Rebobinar y detenerse (inicio de datos de perforación)
X#Y#	Moverse y perforar
T#	Selección de herramienta
M30	Fin de programa, rebobinar
M00	Fin de programa, no rebobinar
M25	Inicio de patrón
M31	Inicio de patrón
M01	Fin de patrón
M02 X#Y#	Repetir patrón
R#M02X#Y#	Repetición múltiple de patrón
M02 X#Y# M70	Intercambiar eje
M02 X#Y# M80	Imagen reflejada del eje X
M02 X#Y# M90	Imagen reflejada del eje Y
M08	Fin de paso y repetición
N#	Número de secuencia de bloque
/	Borrado de bloque
R#X#Y#	repetición de agujero
G05, G81	Seleccionar modo de taladrado
G04 X#	Alojamiento variable (ignorado)
G90	Modo Absoluto
G91	Modo Incremental
G92 X#Y#	Inicializar a cero
G93 X#Y#	Inicializar a cero
M48	Cabecera de programa para inicio “%”
M47	Display CRT para mensaje de operador
M71	Modo métrico
M72	Medidas inglesas
Snn	Velocidad de motor para perforación (RPM)
Fnn	Velocidad de desplazamiento del eje Z (IPM)

El ejemplo siguiente nos muestra un archivo NC en ASCII y la función de cada comando

M48	Encabezado de programa
M72 LZ	Medidas inglesas, ceros anteriores
T03C0.038	Definir la herramienta 03 como broca de 0,038"
T04C0.125	Definir la herramienta 04 como broca de 0,125"
T06C0.046	Definir la herramienta 06 como broca de 0,046"
T12C0.063	Definir la herramienta 12 como broca de 0,063"
T16C0.250	Definir la herramienta 16 como broca de 0,250"
%	Rebobinar y detenerse (inicio de datos de perforación)
T03	Cargar la herramienta 03
X00581Y0122	Perforar la posición x=00581 y=0122 con la herramienta
T06	Cargar la herramienta 06
X01657Y03295	Perforar la posición x=01657 y=03295 con la herramienta
T12	Cargar la herramienta 12
X00585Y03311	Perforar la posición x=00585 y=03311 con la herramienta
T04	Cargar la herramienta 04
X00873Y02691	Perforar la posición x=00581 y=0122 con la herramienta
T16	Cargar la herramienta 16
X00625Y02191	Perforar la posición x=00625 y=02191 con la herramienta
T00	Descargar herramienta
M30	Fin de programa

2.7 Ataque Químico

Uno de los últimos pasos en el proceso de un circuito impreso consiste en la remoción del cobre no deseado, o ataque químico, mediante el empleo de una solución química o mordiente. Los buenos resultados de un ataque químico dependen en gran parte de una adecuada impresión del arte de circuito.

2.7.1 Requerimientos Ambientales.-

El área para ataque químico debe estar preparada para realizar básicamente las acciones de limpieza del material a procesar antes y después del ataque químico, enjuague y remoción del fotopolímero.

El piso del ambiente debe ser resistente a sustancias químicas, se acostumbra emplear baldosa cerámica recubierta de preferencia con un compuesto epóxico. Debe tener además una pendiente tal que facilite un rápido drenaje. Los tanques, tuberías, ductos, etc., deben ser de un material adecuado y estar lo suficientemente alejados del piso.

El mobiliario necesario debe ser de material adecuado o debidamente protegido, así como mantenerse siempre limpios.

Deberán además existir sistemas de ventilación, áreas para almacenaje y dispositivos para seguridad tanto de la instalación como del personal que trabaje en ella.

2.7.2 Equipos y técnicas.-

En la selección del equipo necesario para este proceso se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Tamaño máximo de placa a procesar.
- Cantidad de tarjetas a procesar por día.

Espacio disponible para el proceso.

- Tipo de tarjetas a procesar (metalizadas, convencionales, de líneas finas, etc.).

Las técnicas empleadas hoy en día son básicamente cuatro: por inmersión, burbujeo, rueda de paletas y rocío.

a. Inmersión.- Este método es el más simple y adecuado para producción de prototipos. Consiste en la inmersión de las piezas en la solución de ataque, contenida en un recipiente. El calentamiento y agitación de la solución aceleran el proceso.

b. Burbujeo.- Este método es una modificación del anterior y consiste en la inyección de aire en la solución, de esta forma, el aire inyectado incrementa la efectividad del mordiente mediante la introducción de oxígeno.

En este caso se emplea un tanque vertical de PVC u otro material químicamente resistente, en el cual se puede poner más de una placa, apartadas 0,5" una de la otra, y en la base del tanque se instala un tubo de PVC de 0,5", con

agujeros de 1/32" perforados aleatoriamente en la parte inferior del mismo. El aire se inyecta con una presión de aproximadamente 2 psi. La figura 2.23 nos muestra un tanque con calefactor y sistema de inyección de aire.

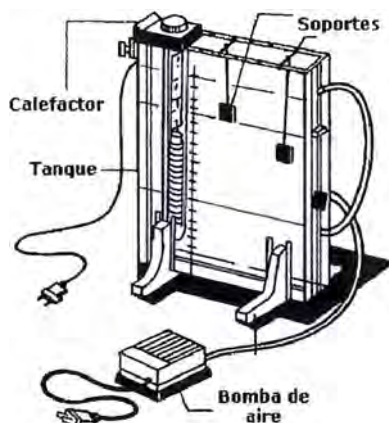


Figura 2.23 Sistema para ataque químico con bomba de aire y calefactor

c. Rueda de paletas.- El ataque químico mediante equipos con ruedas de paletas representa una mejora respecto a los métodos descritos anteriormente, principalmente en lo referente a uniformidad del proceso y disminución del sobre-ataque.

En este caso se emplea un recipiente de gran volumen en el cual se aloja la solución, la que es impulsada sobre la placa por un par de ruedas de paletas. La velocidad de giro y el diseño de las paletas determinan la fuerza con que la solución cae sobre la placa. Las paletas pueden construirse con acero inoxidable, jebe, plástico o cerámica. La figura 2.24 ilustra la técnica.

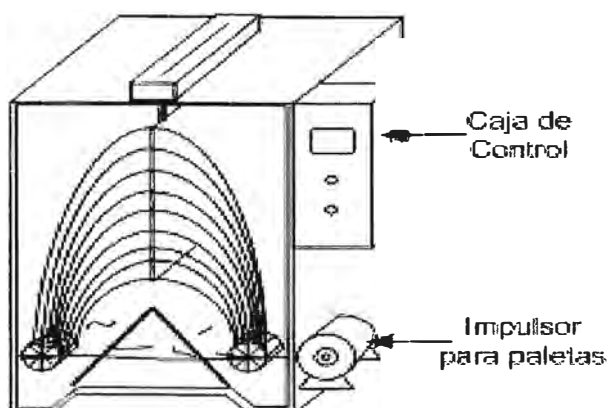


Figura 2.24 Sistema para ataque químico por rueda de paletas (splash)

d. Rocío.- El método de ataque químico por rocío es el más usado a nivel industrial, debido a su rapidez, adecuación a grandes volúmenes de producción y capacidad para procesar líneas delgadas. La técnica de rocío incluye el ataque de tarjetas de una o dos caras, así como el posicionamiento horizontal o vertical del trabajo. La figura 2.25 muestra un sistema para ataque químico por rocío.

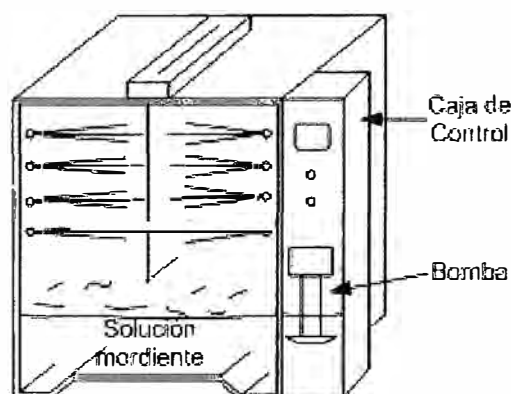


Figura 2.25 Sistema para ataque químico por rocío

En su construcción se emplea generalmente PVC para el recipiente y titanio para el calentador, serpentines de enfriamiento, arandelas, tornillos y otros elementos que requieren de una buena resistencia mecánica, resistencia al calor y agentes oxidantes.

Mientras que los impulsores de las bombas, rociadores y otras partes que requieren de buena estabilidad dimensional además de resistencia química se fabrican con resinas de policarbonato. Es muy importante tener en cuenta que los solventes orgánicos, tales como removedores de fotopolímero, pueden afectar a estos plásticos, por lo cual debe mantenerse los equipos alejados de los mismos.

Un equipo para este tipo de proceso consta de una cámara o cuba con una tapa en la parte superior y recipiente para el ácido en la parte inferior. La solución es bombeada desde el recipiente y descargada por los rociadores hacia la superficie(s) de la placa, de esta forma siempre caerá solución renovada sobre la placa, lo cual tiene como resultado un rápido ataque. La uniformidad en el ataque depende del patrón de rociado, fuerza y otros factores relacionados con el material en proceso.

Ambos lados de la placa deben estar a igual distancia de los rociadores, así como igual debe ser la presión distribuida a los mismos. Es conveniente que la línea

de entrada a la bomba tenga un filtro para prevenir que sales cristalizadas u otros materiales en suspensión puedan obstruir los rociadores.

2.7.3 Soluciones para Ataque Químico.-

Hoy en día se emplean una serie de soluciones para ataque químico de tarjetas para circuito impreso, que han permitido a la industria evolucionar de los sistemas de trabajo por lotes a los de flujo continuo. A continuación se mencionan las más comúnmente usadas:

a. Amoniaco alcalino.- El ataque químico con soluciones que tienen como base el NH_4OH ha tenido gran aceptación debido a sus posibilidades de operación tanto por lotes como de forma continua, compatibilidad con la mayoría de fotopolimeros y soldadura electrodepositada, alta capacidad de absorción de cobre, y rapidez de ataque.

Las primeras formulaciones de soluciones alcalinas se trabajaban por lotes, tenían poca capacidad de remover cobre, disminuyendo la eficiencia del ataque a medida que se incrementaba el contenido de cobre en la solución, teniéndoseles que añadir entonces agentes oxidantes.

La operación en forma continua permite obtener velocidades de ataque constantes, alta capacidad de trabajo, regeneración y un mejor control ambiental, sin embargo los costos son relativamente altos.

Las soluciones se trabajan a temperaturas de aproximadamente 50°C y son adecuadas para la técnica de rocío. Se requiere de buenos sistemas de ventilación, debido a las emanaciones de amoníaco.

b. Cloruro cúprico.- Las soluciones en base a cloruro cúprico representan algunas de las innovaciones para sistemas de ataque químico de flujo continuo por su bajo costo y predictibilidad de su comportamiento, la regeneración de las soluciones sin embargo es algo compleja pero posible. La capacidad de absorción de cobre es alta comparada con los métodos de operación en lotes. Se emplea principalmente en el proceso de tarjetas multicapas, no siendo recomendables en el ataque de tarjetas convencionales ni metalizadas. Su temperatura de operación es de aproximadamente 50°C .

c. Persulfatos.- Los persulfatos de amonio, sodio y potasio, modificados por determinados catalizadores han sido adoptados con buenos resultados para el ataque químico de tarjetas para circuito impreso.

Actualmente se emplean sistemas de regeneración continua en base a persulfato de amonio y sistemas de trabajo por lotes en base a persulfato de sodio. El mayor uso de los persulfatos es para un primer ataque en el proceso de metalización. Estas soluciones son compatibles con todos los tipos de fotopolímeros, soldadura y níquel, no siendo adecuadas para el ataque químico de recubrimientos con oro.

En general, las soluciones de persulfatos son inestables y presentan descomposición, bajas velocidades de ataque y baja capacidad de absorción de cobre. El uso del ataque químico con persulfatos ha declinado en años recientes por razones de costo y el desarrollo de los mordientes en base a amoníaco alcalino.

d. Cloruro férrico.- Las soluciones en base a FeCl_3 tienen una amplia gama de uso como mordientes para cobre y sus aleaciones, aleaciones Ni-Fe, oro, en aplicaciones de circuitos impresos, grabación en artes gráficas y acabado de metales. Es compatible con la mayoría de fotopolímeros, pero no puede usarse en tarjetas con soldadura o estaño.

En determinado momento el cloruro férrico fue el más aceptado y usado de los mordientes, quizás porque en esos momentos los mordientes no se regeneraban y el cloruro férrico tenía una alta tolerancia al cobre disuelto así como resultaba barato. El cloruro férrico resulta aún atractivo para los trabajos en lotes, y con algunos aditivos tiene la ventaja de un ataque rápido y parejo con una baja emanación de gases.

e. Ácidos sulfúrico-crómico.- Las soluciones en base a estos ácidos se usaron durante bastante tiempo en el ataque químico de tarjetas con soldadura y estaño. La disponibilidad de mordientes alcalinos y persulfatos de amonio modificados, han reducido el empleo de este tipo de soluciones, que además de ser altamente contaminantes son antieconómicas en lo referente a su regeneración.

2.8 Maquinado

Esta técnica consiste de los procesos mecánicos mediante los cuales las tarjetas para circuito impreso se preparan para los procesos de impresión, metalización, ataque químico y acabados. Tales procesos mecánicos como el corte a medida y taladrado de agujeros son de vital importancia en la calidad final de la placa impresa.

2.8.1 Taladrado.-

Este proceso es uno de los más importantes para obtener una placa de circuito impreso de calidad aceptable. Teniendo esto en cuenta, los fabricantes de circuitos impresos controlan la calidad y productividad de agujeros por medio de la selección adecuada de los taladros, velocidades de alimentación del trabajo y taladrado, materiales de entrada/ salida y las brocas.

Partes fundamentales en este proceso son las brocas, que tienen por función cortar y remover el material de base de la placa de circuito impreso, y el taladro que maneja la broca. La figura 2.26 muestra brocas y taladro para circuitos impresos.

Las brocas adecuadas para esta operación son vistas en muchos casos como una facilidad o un lujo, pero en realidad, las mismas son productos de precisión diseñadas y fabricadas de acuerdo a rigurosas exigencias de calidad. El fabricante de brocas debe seleccionar los materiales adecuados, desarrollar los métodos de fabricación para mantener las tolerancias necesarias y generar superficies de trabajo pulidas, y escoger además la mejor combinación de detalles geométricos para proporcionar al usuario una herramienta de alto desempeño aplicada a una amplia variedad de materiales de circuito impreso.

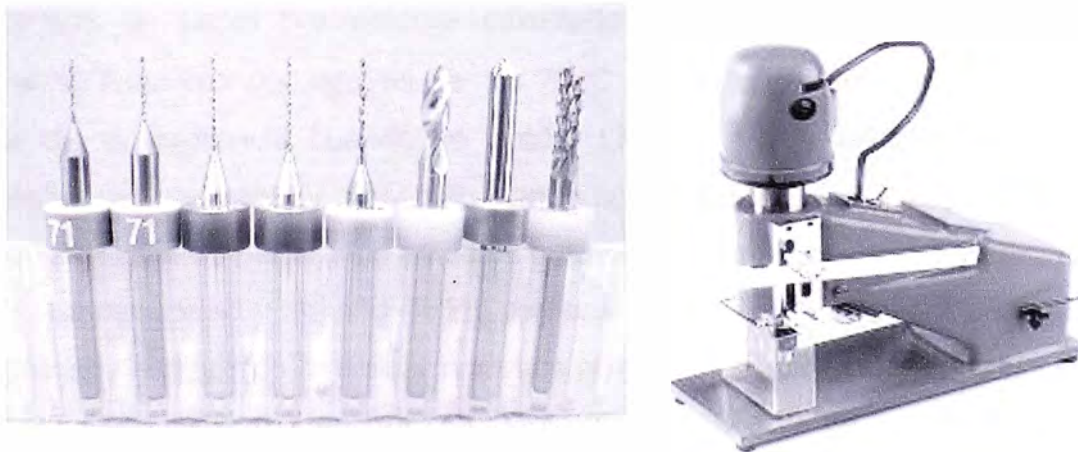


Figura 2.26 Distintos tipos de brocas y taladro manual para circuitos impresos

Las brocas se fabrican en base a una aleación carburo tungsteno, y tienen la dureza necesaria para perforar la mayoría de materiales de base sin perder rápidamente el filo ni dejar rebabas, sin embargo son extremadamente delicadas y pueden romperse por una mala operación. Las velocidades de trabajo de las brocas

van generalmente de 10000 hasta 50000 RPM; velocidades superiores que van hasta los 80000 RPM se emplean en el proceso de circuitos impresos multicapas.

Los taladros pueden ser manuales o de control numérico. Los taladros manuales requieren de un operador para el posicionado y taladrado de los trabajos, mientras que el taladro con control numérico realiza estas tareas automáticamente.

2.8.2 Troquelado.-

El troquelado de tarjetas para circuito impreso se realiza para las operaciones de perforación de agujeros, áreas libres dentro de la placa o forma final de la misma. Su aplicación es apta para grandes volúmenes de producción en electrónica de consumo.

Los materiales aptos para troquelado son generalmente los substratos de papel o fibra de vidrio con cobre por un solo lado, realizándose la operación de troquelado con la superficie de cobre mirando hacia el troquel. No es recomendable el troquelado de substratos con dos capas ya que se pueden levantar los pads de la capa opuesta.

En el diseño del troquel se debe tener en cuenta la resistencia mecánica y elasticidad del material a troquelar. Esta técnica se realiza más fácilmente sobre substratos de papel previamente calentados a una temperatura de 30°C, el sobrecalentamiento por encima de los 37°C ocasiona que el material se encoja fuera de su tolerancia cuando se enfríe. Los substratos de fibra de vidrio no requieren calentamiento y presentan ciertas imperfecciones en el acabado, por este motivo los agujeros perforados en estos materiales no son aptos para metalización.

La capacidad y tamaño de las prensas para troquelado estará en función de la cantidad de agujeros a realizar por cada golpe. La resistencia mínima al corte del sustrato de papel es de aproximadamente 12000 PSI y la de la fibra de vidrio de 20000 PSI.

2.8.3 Guillotinado.-

La operación de guillotinado se efectúa tanto para cortar las tarjetas a las dimensiones de proceso o para darles su tamaño final.

Una guillotina para corte de tarjetas consta de dos hojas (superior e inferior), las mismas que tendrán el espacio libre entre ellas (generalmente de 0,025 a 0,05mm) y ángulo de corte adecuados al material a procesar. Tanto el ángulo de corte como el espacio libre entre hojas variarán en proporción directa con el espesor del material a

procesar. Por tanto las guillotinas con hojas fijas pueden producir piezas dobladas o torcidas.

Los materiales con substratos de papel son susceptibles de presentar pequeñas rajaduras a lo largo del borde de corte, si es que no son previamente calentadas. Los materiales con substratos de fibra de vidrio usualmente no se rajan, sin embargo el material puede deformarse sino se gradúa adecuadamente las hojas de la guillotina.

2.8.4 Aserrado.-

El aserrado al igual que el guillotinado es una técnica que se emplea tanto en substratos de papel como de fibra de vidrio. En ambos casos se recomienda el empleo de sierras circulares de aleación carburo-tungsteno, con 10 a 12 dientes por pulgada de diámetro y velocidades de 10000 a 15000 pies/min. El principal inconveniente con esta técnica es la vibración que se genera cuando existe algún desajuste mecánico en la herramienta, que puede malograr el trabajo.

La figura 2.27 muestra una guillotina y sistema de aserrado (scoring)

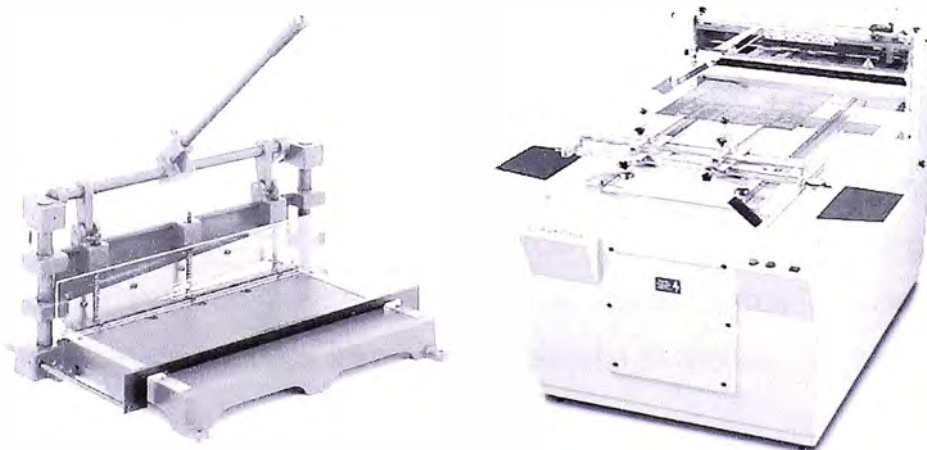


Figura 2.27. Guillotina y máquina para aserrado

CAPITULO III

TALLER PARA CIRCUITOS IMPRESOS

3.1 Determinación de Procesos a Emplear.

Dado que el taller estará orientado a la fabricación de prototipos de tarjetas, se plantea trabajar en un inicio con el proceso de transferencia térmica, que por ser un proceso sencillo presenta las ventajas siguientes:

- Permitirá a los estudiantes de los primeros años de la Facultad, familiarizarse con los materiales y procesos que la técnica requiere.
- Baja inversión inicial para la adquisición de los equipos básicos.
- Bajo costo de materiales para impresión
- No se manejan productos químicos para el revelado.
- Manejo de tarjetas pequeñas, de un solo lado, con el mínimo costo.
- Ocupa poco espacio

En una segunda etapa y dado que el desarrollo de proyectos les planteará requerimientos técnicos más exigentes, se implementará el método fotolitográfico utilizando un fotopolímero de película seca, el cual es más seguro de manejar por los estudiantes que los fotopolímeros líquidos (que tienen generalmente como base solventes orgánicos). Cabe resaltar que el uso de fotopolímeros líquidos se orienta hacia la fabricación de circuitos integrados mediante la técnica de micro litografía. En esta etapa será posible:

- Proceso de circuitos con líneas delgadas (hasta 4mils ó 0,1 mm).
Mejorar la técnica de proceso por el uso de fotopolímeros y equipos relacionados.
- Enfrentar proyectos de dos capas y SMD.
- Aplicación de máscara antisoldante, tipo fotopolímero.

Seguidamente y con el financiamiento debido se podrá enfrentar la adquisición de sistemas para micro fresado, que permiten:

- Fuerte reducción en el tiempo de fabricación
- Liberación total del uso de productos químicos para la fabricación.

- Opcionalmente se podrá implementar el proceso de metalización de agujeros.
- Implementar accesorios para montaje semi automatizado de componentes de montaje superficial.

La tabla 3.1 muestra los pasos de proceso para cada uno de las tecnologías planteadas. Los tiempos promedio para el proceso del mismo diseño, aparecen al final de cada columna.

Tabla 3.1 Comparación de procesos propuestos

Transferencia térmica	Fotopolímero de Película seca	Microfresado
Imprimir arte en impresora laser	Encargar o elaborar fotolito	Generar archivos Gerber
Transferir arte a tarjeta	Precalentar placa y preparar laminador	Generar secuencia de taladrado y ruteo
Inspección y retoque	Laminar fotopolímero	Inicialización de sistema de microfresado
Ataque químico	Exposición	Correr secuencias de taladrado y fresado de trazos de conexión
Taladrado	Revelado	Correr secuencia de corte de tarjeta
Corte de tarjeta	Inspección y retoque	
	Ataque químico	
	Taladrado	
	Corte de tarjeta	
Tiempo: 1,5 horas	Tiempo: 3 horas	Tiempo: < 1 hora

3.2 Determinación del área necesaria

Las necesidades de espacio para un taller de fabricación de circuitos impresos dependen en gran parte del proceso elegido, además de la cantidad y tipo de tarjetas que se quieran fabricar.

Para el dimensionamiento físico debemos entonces preparar una lista, en función de los requerimientos del párrafo anterior, de la cantidad de equipos, herramientas, materiales, productos químicos, ventilación y utilización adecuada del taller.

La tabla 3.2 lista los equipos y la tabla 3.3 los consumibles para las tres propuestas.

Tabla 3.2 Lista de Equipos para taller de circuitos impresos

Item	Cant	Descripción	Proveedor	Modelo	Precio FOB U.S. \$
1	1	PC Compatible	Local	P4	600,00
2	1	Impresora Laser	Local	hp-1022	250,00
3	1	Laminador	Think & Thinker	ModuLam	800,00
4	1	Guillotina de 45 cm	Mega Electron.	Model 45	810,00
5	1	Cuba ataque químico	Mega Electron.	Rota spray	1700,00
6	1	Taladro	Mega Electron.	FX-5	790,00
7	1	Luz ultravioleta, dos lados	Mega Electron.	AZ220	1850,00
8	1	Horno	Mega Electron.	Mino 30 F	1500,00
9	1	Sistema microfresado	Mega Electron.	CCD/2	10250,00
10	1	Isolation routing software y Black Box p/Windows	Mega Electron.	Isocam, Black box	2150,00
11	1	Campana extractora	Local	PVC	700,00
12	1	Extractor de aire	Local	Centrifugo	200,00
13	1	Armario	Local	A medida	150,00
14	1	Juego de bandejas	Mega Electron.	Plástico	65,00
15	3	Mesas	Local	A medida	300,00
16	1	Lavadero fibra de vidrio	Local	1 poza	100,00

TOTAL U.S.\$ 22215,00

Tabla 3.3 Lista de consumibles para taller de circuitos impresos

Item	Cant.	Descripción	Proveedor	Modelo	Precio FOB U.S. \$
1	100	Laminas PnP	Techniks	Blue	105,00
2	30	Cloruro Férrico (kg)	Local	Hexahidratado	30,00
3	2	Rollo Fotopolímero	Mega Electron.	305mm x 30m	195,00
4	5	Revelador fotopolímero concentrado	Mega Electron.	Develop. 5L	100,00
5	1	Tarjetas PCB (1m ²)	Local	1CFR4	50,00
6	1	Tarjetas PCB (1m ²)	Local	2CFR4	75,00
7	100	Brocas carburadas	Drill Bit City	Varios	125,00
8	1	Rollo Fotopolímero máscara antisoldante	Mega Electron.	305mm x 5m	75,00
9	1	Otros	Varios	Varios	150,00

TOTAL U.S.\$ 910,00

Las dimensiones aproximadas son de 5m de largo y 4m de ancho. Se recomienda que para labores de instrucción el ambiente deba ser ocupado por seis personas como máximo.

El plano para la propuesta se muestra en la figura 3.1

3.3 Estimación del consumo eléctrico

Los requerimientos de consumo están en función de las cargas utilizadas, las mismas que se listan a continuación:

Tabla 3.4 Estimación del consumo eléctrico

Carga Eléctrica	Consumo (W)
Iluminación	500
Horno Infrarrojo	1000
Laminador fotopolímeros	500
Insoladora	200
Revelado	500
Ataque químico	500
Sistema microfresado	200
Impresora Laser	200
PC	200
Total	3800

En la iluminación se tendrá en cuenta luz de seguridad amarilla para cuando se trabaje con fotopolímeros.

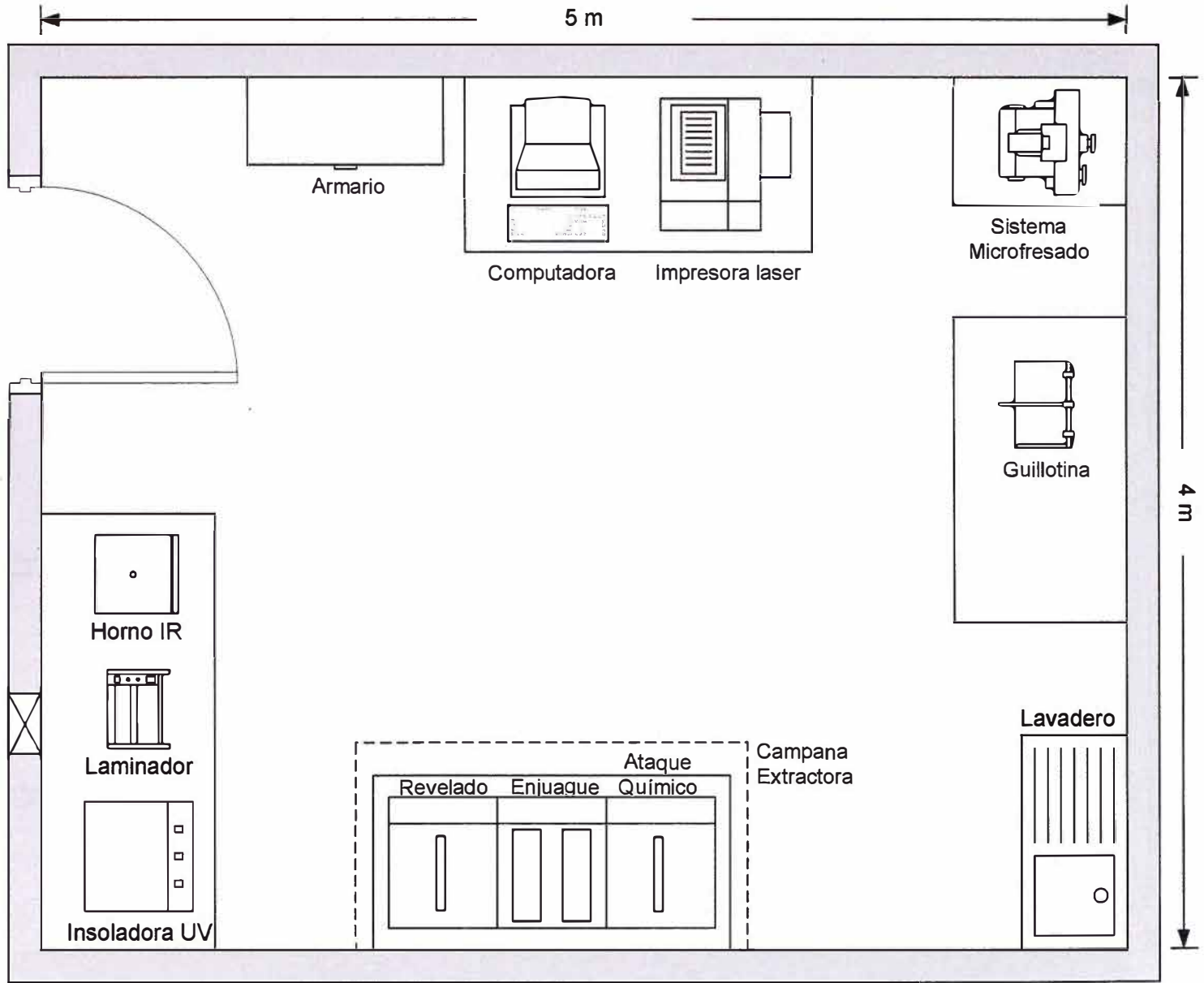
De acuerdo al total de consumo, se recomienda una potencia instalada de 5kW.

El plano para la instalación eléctrica se muestra en la figura 3.2, el costo estimado para la misma es de U.S. \$ 700,00

3.4 Acondicionamiento de ambiente

Adicionalmente se considerará un monto de U.S. \$ 800,00 para acondicionar un ambiente, que tenga como mínimo el área planteada, en el que se instalará piso cerámico industrial y sistema de agua y desagüe.

Figura 3.1. Plano de Taller para circuitos impresos



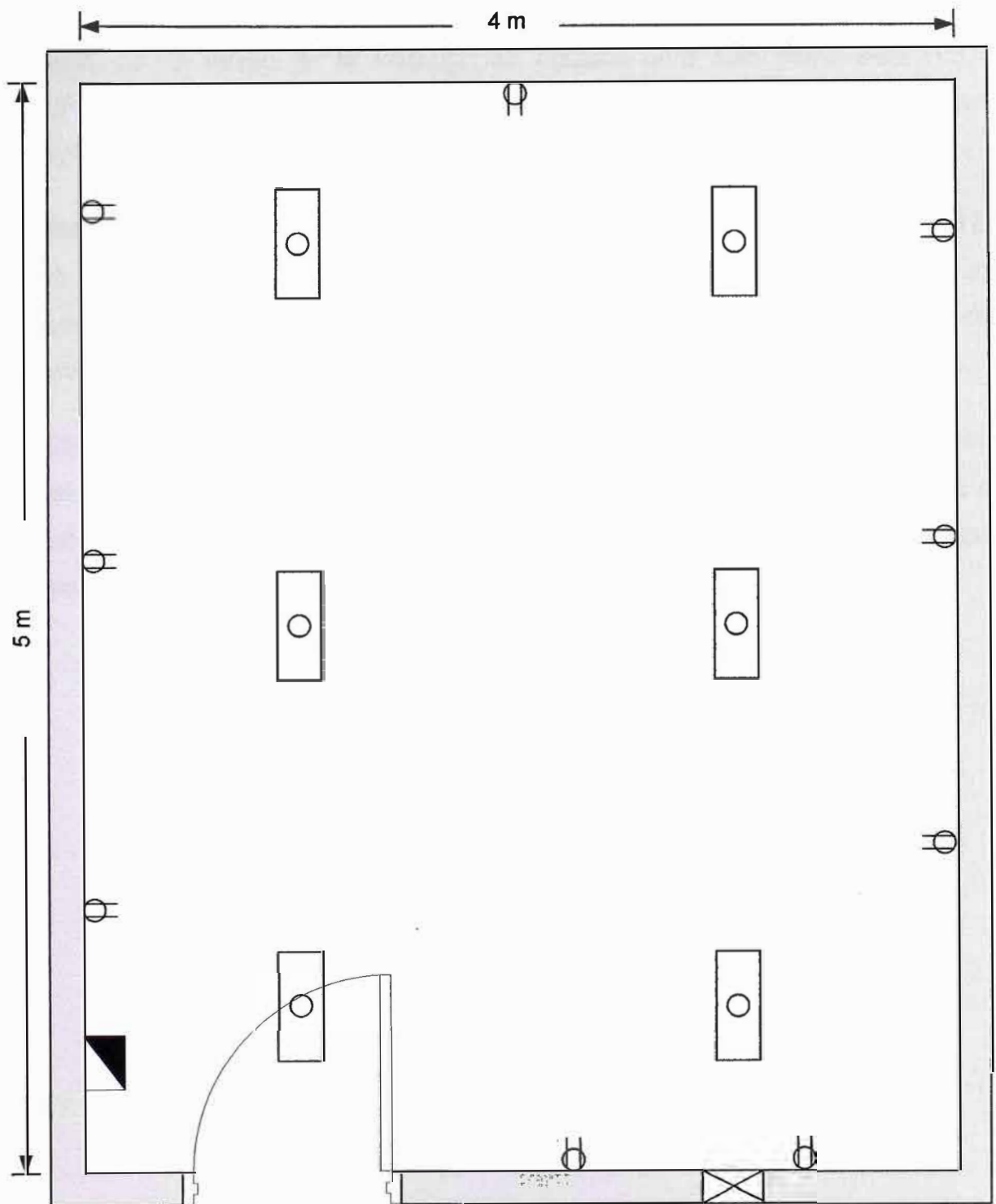


Figura 3.2. Plano de distribución eléctrica

CONCLUSIONES

1. Resulta más ventajoso para un centro de investigación o industria que se dedica al desarrollo, la fabricación de sus propios prototipos, porque se vuelve independiente del servicio de terceros y gana en flexibilidad.
2. El método de transferencia térmica representa una rápida opción para la implementación de un taller básico para construir prototipos.
3. El método de fotopolímero de película seca (dry film) permite el procesamiento de líneas delgadas (hasta 0,25mm) y son más seguro para las personas que los utilizan, que los fotopolímeros basados en solventes orgánicos.
4. El manejo de técnicas de fotolitografía permitirá proyectarse hacia las técnicas de microlitografía para la fabricación de circuitos integrados.
5. El método de fabricación de prototipos con sistemas para microfresado es el más rápido y pueda procesar líneas de hasta 0,1mm espaciadas 0,2mm
6. Este trabajo permitirá que otros egresados puedan profundizar en el manejo y eventual desarrollo de tecnología en circuitos impresos

ANEXO A

TERMINOS Y DEFINICIONES

Arte de circuito impreso (artwork).- Dibujo a escala y con determinada precisión a partir del cual se confecciona el fotolito que se empleará para fabricar la placa de circuito impreso.

Agujero de componente (component hole).- Agujero empleado para la fijación de los terminales de componentes a la placa impresa así como también para su conexión eléctrica al trazado conductor.

Agujero de montaje mecánico (mounting hole).- Agujero usado para el montaje mecánico de una placa impresa o para fijación mecánica de componentes sobre la misma.

Agujero de pasaje (feed thru).- Agujero metalizado empleado para la interconexión eléctrica entre trazos de capas conductoras de un circuito impreso.

Agujero de fabricación (tooling hole).- Agujero usado como punto de referencia, por lo general para el taladrado.

Agujeros de registro (registration holes).- Agujeros usados por el fabricante para posicionar correctamente, los fotolitos de producción.

Agujero metalizado (plated thru hole).- Agujero del circuito impreso sobre el cual se ha depositado una capa uniforme de material conductor.

Ancho de conductor (conductor width).- Ancho del trazo medido en cualquier punto de la placa impresa terminada, observada perpendicularmente.

Anillo anular (annular ring).- Anillo anular utilizado a menudo para especificar el espesor de metalizado de la pared de cobre (El valor mínimo recomendado es 2mils). Algunos diseñadores usan este termino cuando se refieren al tamaño del pad que excede el tamaño del agujero perforado (el valor mínimo recomendado es 18mils).

Apertura (aperture).- En filmación (photoplotting) la lista de aperturas o asignaciones de códigos D que se usan al definir las formas y tamaños de los objetos de los archivos Gerber.

Archivo de brocas (drill file).- Archivos para control numérico (NC) que contienen información sobre las herramientas para taladrado y sus coordenadas. Los formatos comúnmente aceptados son: EIA o Excellon, tanto en forma binaria como archivo de texto ASCII.

Barra de metalización (plating bar).- Trazo conductor provisional, para conectar las áreas del panel a ser metalizadas (ejm: niquelado y dorado de terminales de conexión).

BGA (ball grid array).- Dispositivo de montaje superficial (SMD) desarrollado en años recientes. A diferencia de los SMD tradicionales este tipo de dispositivos carece de terminales, en su lugar, en la base del dispositivo tiene bolas de soldadura que se funden y hacen contacto con el circuito impreso.

Biblioteca (Library).- Colección de información referente a componentes incluyendo símbolos, ubicación de terminales (footprint), padstacks y otra información relacionada. Usada en herramientas CAD/CAM.

Biselado (beveling).- Se refiere al ángulo de 45° en los terminales de contacto de las tarjetas para circuito impreso, que hace más fácil su inserción en el conector

Capa de circuito impreso (layer).- Capa de circuito impreso que contiene trazos conductores.

Capa protectora (conformal coating).- Capa aislante que se amolda a la configuración del objeto revestido por la misma, para protegerlo de humedad, hongos, polvo, corrosión, abrasión y otras tensiones ambientales. Los materiales

para recubrimiento más comunes, incluyen: silicona, acrílico, uretano, epóxica y parylene.

CEM-1 ó CEM-3.- Ambos materiales para circuito impreso, son de una combinación de resina epóxica y fibra de vidrio sobre un núcleo de papel, diferenciándose solamente en el tipo de papel utilizado. Son materiales baratos, mecánicamente más trabajables que el FR-4. No es un material de especificaciones militares

Circuito impreso (printed circuit).- Circuito donde las interconexiones entre componentes, terminales, módulos, etc., son trazos conductores impresos o grabados sobre un material base aislante.

Circuitos impresos multicapa (Multilayer pcb).- Capas de circuito impreso o cantidad de capas de cobre utilizados. Un circuito impreso con una capa de cobre se le denomina de un solo lado, con dos capas de cobre se le denomina de doble o de dos lados. Por encima de 4 capas se les llama multicapa.

Código D (D-code).- En filmación de archivos, la asignación de códigos D o lista de aperturas se usan para definir formas y tamaños de las entidades de los archivos Gerber.

Componentes con terminales axiales (axial leaded components).- Son aquellos componentes discretos que tienen sus terminales alineados con el eje del cuerpo del componente (i.e. resistencias). Los costos de montaje de los componentes axiales son menores que los radiales. Los componentes axiales pueden venir en cinta o carrete.

Conector de borde (edge board connector).- Serie de contactos impresos en el borde de la placa, destinados a encajarse en conector hembra.

Control de impedancia (Impedance control).- El control de impedancias tiene una estrecha relación con el diseño y fabricación de tarjetas para circuitos de alta velocidad. Cuando la frecuencia de un circuito llega a determinado valor (unos cuantos cientos de MHz), los trazos de conexión actúan como líneas de transmisión y requieren adaptar su impedancia. En este tipo de circuitos las características de los trazos están en función de su geometría y en su cálculo influyen parámetros como constante dieléctrica del material y espesor de la tarjeta. La fabricación de estos circuitos requiere un estrecho control del ancho de los trazos.

Curar (cure).- Acción de cambiar las propiedades físicas de un material (usualmente de líquido a sólido) por reacción química o por acción del calor y/o catalizadores, con o sin presión.

Definición (definition).- Grado de fidelidad de los márgenes del trazo conductor con relación al fotolito.

Designación referencial o Referencia (Reference designator).- Identificación de un componente empleada en el esquemático y en el diseño del arte del circuito impreso, tal como C1, C2, R1, R2, etc.

Deslaminación (delamination).- Separación total o parcial de las capas del material base, o entre el material base y el metal.

Dibujo de fabricación (Fabrication drawing).- Dibujo necesario para la manufactura. En la fabricación del circuito impreso, algunas veces se le denomina dibujo de perforado. Un dibujo de fabricación deberá incluir: el contorno de la tarjeta y recortes con centros y dimensiones apropiadas, tamaños y ubicaciones de todos los agujeros de matrizado y montaje.

Dibujo de montaje (assembly drawing).- Dibujo que muestra todas las partes identificadas por sus referencias (C1, R1, U1, etc igual al arte de serigrafía de componentes), boceto del panel con los centros y posiciones de los agujeros. Si se va a utilizar inserción automática sería muy útil una lista de las coordenadas x,y de los componentes.

Distancia entre conductores (Conductor spacing).-Distancia entre bordes adyacentes de dos conductores impresos sobre la misma capa de la placa impresa.

ERC (electrical rules check).- Comprobación de reglas eléctricas para verificar violaciones de diseño a parámetros preestablecidos tales como acoplamiento entrada/salida en el diagrama esquemático o reglas de espaciamiento en los sistemas CAD/CAM.

Espesor de cobre y cobre metalizado (copper thickness and copper plating).-

El espesor de cobre se especifica generalmente en términos del número de onzas/pie² que tiene la lámina de cobre (½ oz: 17,5 µm ó 0.0007"/pies²; 1 oz: 35 µm ó 0.0014"/pie², etc). El espesor final de cobre que se especifique será el espesor de la lámina de cobre más el espesor de cobre metalizado.

Espesor del conductor (conductor thickness).- Espesor del trazado conductor incluyendo los revestimientos metalizados.

Espesor del material base (base material thickness).-Espesor del material base sin considerar la lámina conductora o material depositado sobre su superficie.

Espesor de la placa (board thickness).- Espesor del material base revestido o placa impresa incluyendo el trazado conductor, exceptuando metalizaciones adicionales.

Espesor total de la placa (overall board thickness).- Espesor del material base revestido o placa impresa incluyendo el trazado conductor y otros revestimientos que serán parte de la placa impresa.

Filmación (Photoplotting).- Es un proceso electrónico óptico para registrar imágenes en película. También se le denomina ploteo laser. La película obtenida se emplea en la fabricación del circuito impreso.

Formato de datos GERBER (GERBER data format).- El formato de datos Gerber es un estándar de la industria empleado para artes de circuito impreso. Este tipo de datos es utilizado por equipos de filmación que hacen uso de un haz de luz, aplicado a una apertura o forma, para dibujar un trazo. Existen dos variantes de este formato: 275-D y 274-X (también llamado Gerber extendido o Gerber-X).

Formato DXF (DXF format).- Formato para intercambio de datos, utilizado comúnmente en sistemas mecánicos CAD.

Formato HPGL (HPGL format).- Es un formato de archivo para trazadores con lapiceros generado por casi todos los sistemas CAD.

Fotopolímero (Photoresit).- Polímero que adquiere su consistencia definitiva por acción de la luz. Se presentan en forma líquida y de película para laminar, el insolado para su polimerización se realiza mas eficientemente con luz UV.

Fotolito de producción (master pattern).- Fotolito en escala 1:1 empleado para la fabricación de la placa impresa con la precisión especificada en el arte original.

FR-4 (Fire retardant 4).- Material base para PCB de propósito general, combinación de tejido de fibra de vidrio con resina epóxica. El FR-4 es similar al G-10, pero autoextinguible. El FR-4 es usado más ampliamente que el G-10. El FR-4 también se le conoce como G10FR.

Holgura (clearance).- Separación entre elementos de un circuito. Generalmente se refiere a distancias entre isla e isla (pad to pad), isla y pista, pista y pista, isla de máscara antisoldante, borde de tarjeta de circuito, etc. Estas holguras son críticas para la fabricación de la tarjeta y deben ser establecidas en su máximo valor siempre que el diseño lo permita.

IPC.- Institución fundada en 1957 como Instituto para Circuitos impresos, a medida que se incorporan miembros relacionados con la industria electrónica, cambia su nombre a Instituto para la Interconexión y Empaquetamiento de Circuitos Electrónicos. En la actualidad permanecen solo las iniciales (IPC) a las cuales se les ha agregado la frase Asociación para el Enlace de las Industrias Electrónicas (Association Connecting Electronics Industries)

IPC-2221.- Norma Técnica sobre generalidades de Circuitos impresos

IPC-A-600.- Norma de calidad de tipo industrial para la aceptación de circuitos impresos.

IPC-D-356.- Formato desarrollado por el IPC para intercambio de datos CAD/CAM. Aceptado por algunos sistemas CAM para uso en filmación de archivos gráficos (photoplotting), pruebas eléctricas y otras funciones CAM.

GX/GT.- Material para PCB compuesto por resina Teflón sobre tejido de fibra de vidrio. Utilizado en circuitos que requieren constantes dieléctricas muy bajas.

Hendidura (pit).- Pequeñas imperfecciones que no penetran totalmente el conductor impreso.

Impresión (printing).- Acción de reproducir un trazo sobre una superficie mediante cualquier proceso.

Impresión serigráfica (silk screen printing).- Proceso de transferencia de una imagen, con tinta o pintura, sobre una superficie y mediante la presión adecuada de una espátula sobre una malla serigráfica.

Isla terminal (pad).- Porción de área conductora a la cual se fijan mecánicamente componentes, terminales, trazos, etc. Las formas utilizadas comúnmente son redondas, cuadradas, rectangulares, oblongas y disipadoras de calor.

Lado de componentes (components side).- Lado de la placa impresa donde se realiza el montaje de componentes.

Lado de soldadura (solder side).- Lado de la placa impresa opuesto al de componentes por donde se realizan la mayoría de soldaduras de los terminales de componentes.

Leyenda de componentes (Silk screen).- Impresión de siluetas y referencias de componentes en tarjetas para circuito impreso.

Lista de materiales (BOM).- Lista de materiales, que contiene referencias, números de parte, valores, tolerancia, descripción y datos adicionales.

Lista de conexiones (Netlist).- Listado en ASCII conexiones entre terminales de componentes. Se generan a partir de esquemáticos para transferir las conexiones a programas de trazado de circuitos impresos. También se utilizan por programas para prueba de tarjetas impresas.

Manufacturabilidad (Manufacturability).- Término que expresa la capacidad de un diseño de tarjeta para cumplir con los requerimientos de fabricación.

Marcas de esquina (corner marks).- Marcas posicionadas en las esquinas del arte de circuito impreso, siendo los ejes interiores los que usualmente delimitan los bordes y establecen el contorno de la tarjeta.

Marca de registro (register mark).- Símbolo o marca utilizado para establecer la posición relativa de uno o más patrones impresos, con respecto a posiciones específicas en el lado opuesto de la tarjeta.

Máscara antisoldante (solder mask).- Material de revestimiento, resistente al calor, aplicado en determinadas áreas de la placa impresa para impedir la deposición de soldadura en la misma, durante las operaciones de soldado.

Máscara antisoldante fotograbable (Liquid photo imageable mask).- Máscara antisoldante líquida, que se graba mediante luz, resultando un material más preciso que los sistemas tradicionales de impresión serigráfica. LPI requiere tolerancias de registro más estrechas (+/- 3mil) comparadas con la máscara antisoldante convencional (+/- 8mil). Tiene la ventaja adicional que se adhiere mejor a las áreas de cobre grandes, especialmente de cobre desnudo en procesos SMOBC.

Máscara antisoldante sobre cobre desnudo (SMOBC).- Superficie no conductora, impresa o laminada sobre la placa de circuito impreso para protegerla de la oxidación, aislamiento dieléctrico entre pistas conductoras y principalmente cortocircuitos durante el proceso de soldadura. Los tipos disponibles más comunes son: SR1000, PC-103/4, LPI.

Material base (base material).- Material aislante sobre el cual se forma el trazado conductor.

Metalización (plating).- Proceso de deposición química o electroquímica de un metal en el trazado conductor o parte de él, en el material base y/o en los agujeros.

Metalización del trazado (pattern plating).- Proceso por el cual se metaliza selectivamente el trazado o patrón circuital.

Metalizado oro/níquel (Gold/níquel plating).- Requerido generalmente para los terminales de contacto. Las especificaciones comunes para este tipo de metalizado son. 0,00002" de oro sobre 0,00015 de níquel.

Microfresado de circuito impreso (Pcb Milling).- Proceso de fabricación de circuito impreso empleando brocas y fresas, asociadas a un sistema mecatrónico diseñado para adquirir los datos de fabricación a partir de un sistema CAD.

Microfresado en V (V scoring).- Proceso de perfilado de una tarjeta de circuito impreso que involucra el corte de líneas desde ambos lados del circuito impreso. Este método de perfilado es más eficiente que el fresado tradicional (con brocas ruteadoras) y adecuado para producciones medianas y grandes donde las tarjetas individuales requieren sólo de cortes rectos. Con este proceso no se necesita dejar un espacio entre tarjetas para el corte.

Mils.- Unidad de medida que se emplea en describir el ancho de trazo, el espacio entre los mismos, tamaño de pads, vias, etc. Un mil equivale una milésima de pulgada (1 Mil = 0,001" ó 0,0254mm).

Modelo maestro (Master pattern).- Modelo a escala y con determinada precisión que se emplea para producir circuitos impresos que se ajustan a la precisión especificada en el dibujo maestro.

Nivelación de soldadura por aire caliente (Hot air solder leveling).- La nivelación de soldadura por aire caliente (HAL ó HASL) usado en conjunción con la máscara antisoldante sobre cobre desnudo (SMOBC), deposita soldadura solamente en las islas terminales (pads) de componentes (en vez de sobre los trazos e islas terminales). Una de las ventajas es que se elimina el efecto rugoso sobre los trazos.

Padstack.- En los sistemas CAD, se refiere a los datos de formas de pads, tamaños y distribución en las distintas capas de un circuito impreso.

Panelización (Panelization).- Término empleado en CAM, consiste en la edición de un circuito impreso para ser producido en un panel de múltiples circuitos idénticos.

Plano o diagrama de fabricación (fabrication drawing).- Plano que define ciertas características de la placa impresa, tales como: agujeros, ranuras, contornos, trazados conductores y sus localizaciones, terminación, etc.

Plano de tierra (ground plane).- Áreas no utilizadas del circuito impreso y que no son removidas por ataque químico. Estas áreas se unen a la tierra del circuito, y son usadas comúnmente como blindaje.

Plateado no electrolítico de oro (electroless gold plating).- Proceso de plateado en oro como reemplazo del plateado regular en estaño/plomo. Este plateado aplica una capa de oro delgado (fracciones de micra) a todo el circuito.

Pinhole (pinhole).- Agujero muy pequeño que penetra totalmente el conductor.

Proceso aditivo (additive process).- Proceso de obtención de trazos conductores mediante deposición selectiva de material conductor sobre el material base.

Proceso semi-aditivo (semiadditive process).- Proceso de obtención de trazados conductores a través de la combinación de metalización química con electro deposición, seguido de ataque químico.

Proceso subtractivo (subtractive process).- Proceso de obtención de trazados conductores por medio de la eliminación selectiva de partes no deseadas.

Recubrimiento sellante (conformal coating).- Aplicación de recubrimiento no conductor transparente, que cubre componentes y tarjeta de circuito para protegerlos contra la oxidación y medio ambiente.

Reflujo de soldadura (Tin/lead reflow).- Como parte del proceso de metalización se aplica una capa de estaño/plomo de 0.0004"(min.) a 0.0008"(max.) sobre todas las áreas conductoras y luego del ataque químico se pasa la tarjeta por aceite caliente para abrillantar la soldadura y liberar posibles cortocircuitos. Sin embargo no es adecuada para tarjetas que tienen componentes SMD.

Registro (registration).- Alineamiento de un pad en un lado de un circuito impreso con el pad correspondiente de una capa opuesta.

Relleno con cobre o sombreado con cobre (copper pouring or copper hatch).-

Término empleado en CAD/CAM: rellenar un área específica con cobre (definida generalmente por un polígono con líneas de ancho 0) con un patrón sólido o sombreado para así crear un plano de cobre.

Retícula o grilla (grid).- Red bidimensional que consiste de dos juegos de líneas paralelas superpuestas una sobre la otra de modo que las líneas de un juego sean perpendiculares a las líneas del otro, para formar cuadrados. Esta red ortogonal es usada para localizar exactamente puntos sobre la placa de circuito impreso.

Ruteo o cableado (Routing).- En un ambiente de CAD/PCB, el ruteo se refiere al cableado de conexiones entre los terminales de componentes que forman una net. Mientras que en la fabricación del circuito impreso, el término se refiere al perfilado de los bordes de la tarjeta mediante el empleo de una herramienta CNC.

Sobreataque (undercut).- Surco o excavación en el borde(s) del conductor, ocasionado por el ataque químico.

Soldadura (solder).- Proceso de unión de dos superficies metálicas con una aleación de estaño/plomo, sin la fusión de los metales base.

Soldadura de inmersión (immersion soldering).- Método de soldadura donde las tarjetas impresas son colocadas en contacto con una superficie estática de soldadura fundida, con la finalidad de soldar, en una sola operación, todo el trazado conductor expuesto.

Soldadura en pasta (Solder paste).- Patrón de soldadura en pasta, impresa mediante un plantilla sobre los pads de componentes SMD.

Soldadura por ola (wave soldering).- Método de soldadura donde las tarjetas impresas son colocadas en contacto con la cresta de una ola de soldadura en flujo continuo.

Solución para ataque químico o mordiente (etching solution).- Solución empleada para remover mediante reacción química partes no deseadas de material de una placa impresa.

SR-1000.- Tipo de máscara antisoldante, de secado al horno y acabado ligeramente mate un poco más oscuro que el tipo PC-103/4. Disponible generalmente en colores verde, azul, rojo, blanco y negro.

Tarjeta impresa (printed board).- Material base, cortado a medida, conteniendo todos los orificios necesarios y por lo menos un trazo conductor.

Tarjeta madre (Mother Board).- También llamado panel posterior o tarjeta matriz. Su tamaño permite alojar conectores para los módulos, sub ensamblajes y otros circuitos impresos que se ensamblan e interconectan por medio de trazos en la misma.

Tarjeta trozable (break- away).- Tarjeta de circuito impreso, compuesta por otras tarjetas, unidas por canales o perforaciones que permitan separarlas individualmente luego de ensambladas.

Trazado del circuito impreso (Layout).- Dibujo que representa el sustrato, tamaño y ubicación física de todos los componentes electrónicos y mecánicos, así como los trazos de interconexión.

Trazado de agujeros o matriz de agujeros (holes pattern).- Disposición de todos los agujeros en una placa impresa.

Vía (Via).- Interconexión entre capas de un circuito impreso. Una *vía común* conecta todos los trazos en todas las capas que van conectadas. Mientras que una *vía ciega (blind)* conecta una capa exterior con una o más capas interiores y una *vía enterrada* conecta sólo determinadas capas internas.

BIBLIOGRAFIA

1. Coombs, C.F., Printed Circuits Handbook. Editorial Mc Graw Hill, 1990
2. Lindsey, Darryl, Digital printed circuit design & drafting
3. Branson, J., Naber, J., Edelen, G. A simplistic printed circuits fabrication process for course projects, IEEE transactions on education vol 43, N° 3, August 2000
4. Juan E. Page, Alejandro Delgado, Carlos J. Blanco. Banco de CAD-CAM del laboratorio de alta frecuencia de la ETSIT-UPM, Universidad Politécnica de Madrid, <http://www.etc.upm.es/alcaf.htm>
5. IPC-2221 Generic standard on Printed Board Design, February 1998. Supersedes IPC-D-275, September 1991
6. IPC-4562 Metal Foil for Printed Wiring applications, May 2005. Supersedes IPC-MF-150F October 1991
7. IPC-A-600G Acceptability of Printed Wiring Boards, July 2004.
8. MIL-S-13949H General specification for printed wiring boards, February 1996.
9. LPKF Laser & Electronics AG, Manual Protomat C40, English version 1.0, September 2002
10. MEGA Electronics, Products catalog, www.megauk.com
11. ITINTEC 5:22-001, Esquema de norma técnica. Circuito impreso, Definiciones. Febrero 1980
12. ITINTEC I-PTHS-7810-8403 Instrucciones para la operación del sistema Kepro de matalización de agujeros. Documento de trabajo – División de Electrónica. Marzo 1984