

# CIRCUITOS IMPRESOS.

## Aplicaciones y algunas experiencias

KRISTELL NOVOA ROLDÁN\*  
 krisnova@hotmail.com  
 WILSON INFANTE MORENO\*\*  
 winfanter@hotmail.com

### 1. Introducción

Los procesos de investigación han demostrado ser un poderoso mecanismo de renovación del conocimiento y el enfrentamiento de los cambios del entorno. Ellos contribuyen al desarrollo de nuevas áreas del saber, como las tarjetas de circuito impreso en el área de la electrónica.

Quienes diseñan circuitos impresos deben tener una buena dosis de creatividad e ingenio para lograr, en el menor espacio posible, la ubicación ordenada y estética de los componentes y la unión correcta de una gran cantidad de puntos de conexión por medio de líneas que no se toquen unas con otras. La labor combina entonces ciencia, paciencia y arte; para llevarla a cabo se debe conocer acerca de materiales alternativos y de técnicas de fabricación.

En el presente documento se pretende informar al lector acerca del tema, y despertar mayor interés en el diseño y fabricación de tarjetas de circuito impreso (PCBs)<sup>1</sup>; así mismo, contribuir a la divulgación del trabajo realizado actualmente en el Laboratorio de Circuitos Impresos de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C., así como de sus perspectivas.



#### **PALABRAS CLAVES**

*TARJETA DE CIRCUITO  
 IMPRESO, FOTOLITO,  
 SERIGRAFÍA, FOTORESIST,  
 CIRCUITOS FLEXIBLES,  
 CIRCUITOS RÍGIDOS*

\* Ingeniera en Control e Instrumentación Electrónica, Especialización en Informática Industrial en curso, Universidad Distrital F.J.C. Docente medio tiempo adscrita a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C. Miembro activo del Grupo de Trabajo en Circuitos Impresos de esta Facultad

\*\* Ingeniero en Control e Instrumentación Electrónica, Especialización en Informática Industrial en curso, Universidad Distrital F.J.C. Docente medio tiempo adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C. Miembro activo del Grupo de Trabajo en Circuitos Impresos de esta Facultad

<sup>1</sup> Sigla derivada de su denominación inglesa, o Printed Circuit Board

## 2. Algo de Historia

Durante muchos años las conexiones de los diferentes componentes electrónicos de los circuitos se realizaron cableando y soldando a mano. No obstante, este procedimiento era bastante caro y generaba frecuentes averías en los equipos, que además resultaban de gran peso y tamaño.

Fue hasta 1942 que el ingeniero inglés Paul Eisler presentó un proyecto completo, con una demostración incluida de un circuito impreso; un año más tarde patentó el circuito impreso de doble cara. La utilización del producto a nivel industrial se impulsó durante la II Guerra Mundial, debido a la necesidad de fabricación de todo tipo de aparatos electrónicos de menor tamaño y peso, en grandes cantidades y en poco tiempo. Un ejemplo específico fue la fabricación masiva del mecanismo electrónico para una bomba con espoleta<sup>2</sup>.

Esta nueva alternativa tecnológica para el diseño de equipos electrónicos se desarrolló a grandes pasos: en 1961 se patenta en Estados Unidos la primera estructura de placa multicapa; en 1993 aparece el circuito impreso tridimensional (3D) o MCB (Moulded Circuit Board), cuyo material base es termoplástico moldeado por inyección; finalmente, en 1996 se comercializa el circuito impreso *rígido flexible* de 20 capas, con múltiples aplicaciones.

## 3. Características del producto

La tarjeta o placa de circuito impreso sirve de soporte físico aislante para la colocación y soldadura de los componentes que conforman un dispositivo electrónico; el trazado de las pistas conductoras de cobre realizan la unión de estos elementos.

Su forma es plana, puede ser rígida o flexible y tiene dos superficies o caras (ver Figura 1). Como lo indica su denominación, en la *cara de componentes* se encuentran situados los componentes electrónicos, los conectores de entrada-salida de la placa y la serigrafía, esto es, los nombres y

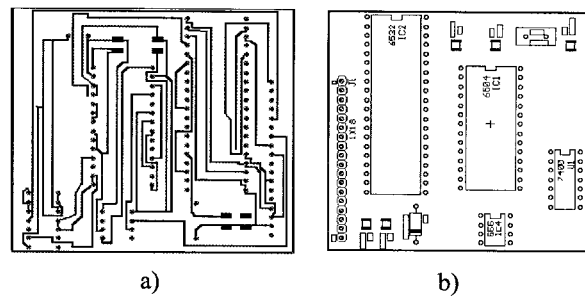


FIGURA 1. Caras o superficies de una placa: a) Cara de componentes; b) Cara de pistas

valores impresos en la placa de los componentes. En la *cara de pistas* se encuentran las pistas conductoras impresas y los topes - nodos o pads; es la superficie de contacto para la soldadura de los elementos con la superficie de cobre.

Cuando una placa solamente tiene una cara de pistas se le llama *placa de simple cara* o *monofaz*; cuando tiene pistas en las dos caras, es decir, que también lleva pistas en la cara de componentes, se le denomina *placa de doble cara* o *doblefaz*. En este último caso las pistas discurren por debajo de los componentes y entre ellos, sin producir ningún corto circuito.

Las placas de doble cara pueden ser fabricadas con hueco pasante o hueco metalizado (PTH) o sin esta técnica, la cual es un tipo de conexión para comunicar una pista de la cara superior con una de la cara inferior; se trata de un hueco normal al que se deposita por deposición galvánica o electroquímica una capa de material conductor (cobre, plata, oro, etc.), la cual lo convierte en un hueco de paredes metalizadas (ver Figura 2).



Figura 2. Tarjeta con Hueco Metalizado

<sup>2</sup> González, Calabuig José. "Circuitos Impresos. Teoría, Diseño y Montaje". Ed. Paraninfo S.A., Madrid, 1997

#### 4. Tipos de circuitos impresos

Los circuitos impresos pueden dividirse en tres grandes grupos a saber: rígidos, flexibles (ver Figura 3) y nuevas tecnologías; así mismo, de acuerdo con su número de capas conductoras se clasifican en de capa sencilla o monofaz, doble capa o doblefaz y multicapa (ver Figura 4). Los de tipo rígido, de una o doble cara, son los tipos más empleados para circuitos sencillos.

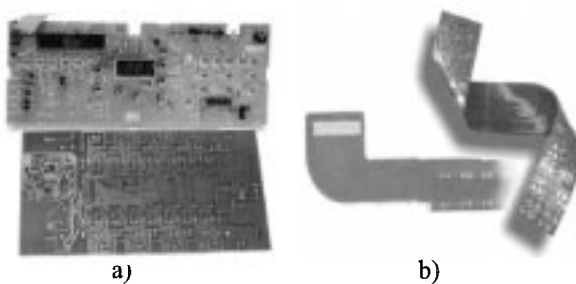


Figura 3. Tipos de Circuitos Impresos:  
a) Rígidos; b) Flexibles

- **Circuitos impresos rígidos:** en este caso la placa está constituida por una superficie plana de espesor variable y forma normalmente rectangular o cuadrada, compuesta por un material base o sustrato de tipo laminado rígido que sirve de soporte físico aislante; este sustrato debe ser buen aislante eléctrico y muy resistente al fuego, entre otros atributos; los materiales más comercializados actualmente se presentan en la Tabla 1. Una o ambas caras están revestidas de una delgada capa de cobre sólidamente encolada o pegada a la superficie que puede ser de un espesor de 0,035 mm (35  $\mu\text{m}$ ) o 0,070 mm (70  $\mu\text{m}$ ); en aplicaciones especiales tienen un espesor de 1,15 o 1,40 mm.
- **Circuitos impresos flexibles (FPC<sup>3</sup>):** aunque sus orígenes se remontan hacia 1960, ellos se han desarrollado con fuerza en los últimos 10 años. Pueden ser definidos como sistemas de cableado, ya que la función que desempeñan es similar a la de una red de cables. Así,

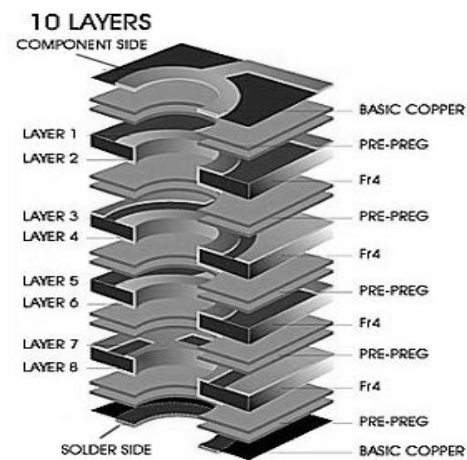


Figura 4. Circuito Multicapa de 10 capas

se diferencian de los circuitos rígidos en su forma y su función. El material básico de laminado de cobre está formado sobre un sustrato fino, por lo general película de poliéster o de poliamida, que puede doblarse sin que esta flexión le afecte. Considerando que su finalidad es establecer una conexión eléctrica entre una y otra pieza, similar a la de una red de cables o a la de un cableado discreto, los FPCs pueden doblarse en posición durante el montaje del equipo, o retirarse si así lo exige la modalidad de servicio. Los primeros circuitos impresos de este tipo se elaboraron a base de película de poliéster; no obstante este material tiene la desventaja de tener un punto de fusión relativamente bajo que no permitía realizar conexiones soldadas entre él y las demás partes del equipo (ver Tabla 2).

- **Circuitos impresos especiales:** a medida que aumenta la cantidad de componentes sobre una placa también se incrementa el número de conexiones y pistas conductoras. Cuando los circuitos impresos de doble cara resultan insuficientes surgen los multicapa; ellos llevan pistas internas de conexión en su estructura base. Las interconexiones eléctricas entre las distintas capas se realizan

.....

<sup>3</sup> Flexible Printed Circuit

Nombre	Características
Baquelita	Resistencia a la humedad, Resistencia a cambios de temperatura, Resistencia a disolventes y abrasivos.
Fibra de vidrio	Resistencia térmica, Resistencia mecánica, Resistencia al arco eléctrico, Resistencia a la humedad, Resistencia a cambios de temperatura, Resistencia a disolventes y abrasivos.
Resina hepóxica	Resistencia térmica, Resistencia mecánica, Constante dieléctrica buena
Politetrafluoretileno PTFE	Resistencia mecánica, Resistencia térmica, Resistencia a disolventes y abrasivos, Constante dieléctrica muy uniforme Soporta temperaturas de 260°C
PTFE – Fibra de cerámica	Resistencia al arco eléctrico
Diferentes mezclas entre ellos	

Tabla 1. Características de los Sustratos Base

	Unidades	Poliamida	Poliéster	Papel de Aramida	Fluoro-Polimero	Hepóxido de poliéster
Temperatura	°C	230	130	220	200	100
Resistencia al desgarro		Suficiente	Suficiente	Suficiente	Buena	Buena
Resistencia a la tracción	Mpa	172	172	72	21	24
Alargamiento máximo	%	70	120	8	300	20
Absorción de humedad	%	2,9	<0,8	>7	<0,01	0,8
Constante dieléctrica	10 <sup>3</sup> Hz	3,5	3,2	2	2,1	5
Rigidez dieléctrica	KV / mm	276	276	21	84	20
Factor de disipación	(10 <sup>3</sup> Hz)	0,0025	0,005	0,007	<0,0001	0,010

Tabla 2. Comparación de Materiales Eléctricos para Circuitos Flexibles

por medio de taladrado y una metalización posterior con cobre realizada mediante procesos electroquímicos.

El sustrato base de la tarjeta multicapa está constituido por varias láminas prensadas hasta formar una unidad compacta de tipo laminar; por lo tanto este tipo de tarjeta tiene un espesor mayor que una tarjeta doble cara, variable entre 1.0 y 3.5 mm; es entonces más gruesa y pesada.

Los procesos de fabricación actuales permiten construir placas de hasta 20 capas, incluso de diferentes tipos; ellas pueden ser rígidas, flexibles o mixtas, de acuerdo con los requerimientos de cada aplicación.

▣ **Nuevas tecnologías:** las exigencias de capacidad de interconexión sobre las placas de circuitos impresos inducen al desarrollo de otros conceptos. Otras técnicas en desarrollo son las de *chip on board* (COB) y *Tape – automated – bonding* (TAB), basadas ambas en la integración directa del sustrato de silicio sobre la placa de circuito impreso. Así como la placa de circuito impreso era anteriormente concebida como un componente pasivo diseñado para soportar e interconectar eléctricamente componentes discretos, ahora se empieza a concebir como un componente funcional de interconexión de circuitos altamente especializados; esto significa que las pistas

de cobre pasan a ser resistencias internas de la placa.

## 5. Métodos de fabricación de circuitos impresos

La parte más difícil del proceso de fabricación de este producto es el diseño de los trazos del circuito impreso, es decir, la ubicación de los componentes y la unión de sus terminales hasta completar el diagrama. Todos los procedimientos que aquí se describen tienen en común la utilización de una placa de material aislante revestida de cobre, sobre la cual se dispondrá posteriormente una lámina protectora anticorrosiva con la forma del futuro diseño de conductores.

En todos los procedimientos de fabricación inicialmente debe limpiarse la lámina de cobre para eliminar la suciedad, la grasa y las posibles capas de óxido. De acuerdo con la clase de suciedad esta limpieza puede hacerse con un detergente neutro o con una solución débilmente ácida; incluso en algunos casos puede ser necesario eliminar capas de suciedad con el uso de un cepillo de cerdas duras o con un estropajo metálico suave o con polvo esmeril fino, evitando que aparezcan estrías profundas en la capa de cobre. Luego se procede a la impresión del diseño sobre el cobre y para esto se tiene varios métodos.

### 5.1 Método de diseño manual

Puede ser utilizado en circuitos de poca complejidad y de especificaciones poco exigentes; su exactitud y calidad final dependen principalmente de la precisión del trazado en la fase de diseño. Existen varias formas de desarrollar métodos manuales:

- ▣ **Método con lápiz:** cuando las posibles tintas utilizadas (plásticas, PVC, tinta china, esmalte, tintas litográficas) se aplican con una herramienta en forma de lápiz o similares (marcadores, plumillas, pinceles finos, entre otros)

- ▣ **Método con película protectora:** cuando se emplea cinta común o película adhesiva, por lo general transparente y/o símbolos autoadhesivos para cubrir las zonas que deben quedar protegidas al ataque con corrosivo o líquido de mordentado
- ▣ **Método por medio de calor:** en este caso el diseño se fotocopia con alta calidad en un vinilo transparente (acetato), y luego es transferido a la placa por medio de un elemento generador de calor (usualmente una plancha doméstica), haciendo presión sobre el acetato y la placa.

### 5.2 Método serigráfico

Mediante esta técnica pueden imprimirse cualquier tipo de dibujos, figuras, letras, etc. sobre una superficie, utilizando una malla tratada especialmente para que deje pasar por ella una tinta o pintura en algunas partes de su tramado. El método se empleó inicialmente en China desde los 400 años A.C. con fines artísticos; desde 1935 se ha empleado en la industria electrónica en la fabricación de condensadores cerámicos, pero fue en los años 50s que se usó con mayor intensidad en aplicaciones electrónicas.

La serigrafía es la técnica de impresión que cuenta con mayor número de aplicaciones, al poderse imprimir sobre cualquier tipo de soporte, independientemente de su tamaño, espesor y forma. El taller básico requerido para ejecutarla se compone como mínimo de los siguientes elementos: a) una pantalla compuesta por un marco y un tejido denominado seda; b) emulsiones: su aplicación hace que la pantalla se haga sensible a la luz; c) escobillón para la aplicación de la emulsión sobre la pantalla; d) fuente de luz para la exposición de la pantalla; e) mesa de serigrafía (ver Figura 5): para montar la pantalla y realizar la impresión en varias placas; f) fuente de agua totalmente limpia y a una presión considerable.

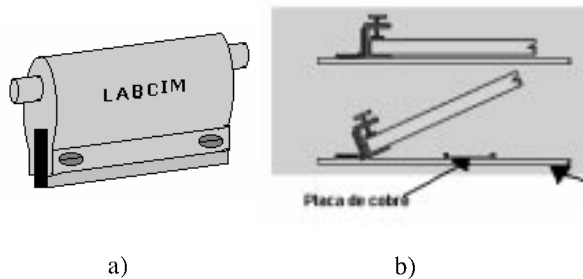


Figura 5. Elementos para serigrafía.  
a) Escobillín; b) mesa para screen

### 5.3 Método fotográfico o fotoresist

El *fotoresist* es un elemento fotopolimerizante, es decir, se polimeriza o endurece al contacto con la luz en cierta cantidad de tiempo. Puede venir en presentación líquida o seca (plástica), y en cualquiera de ellas es inflamable, tóxico y sensible a la luz UV. El compuesto trabaja conjuntamente con un revelador, el cual ataca químicamente las partes expuestas a la luz y las endurece; las partes que no fueron expuestas son disueltas en la reacción química en la cual el fotopolimerizante se estabiliza molecularmente (polimerización o endurecimiento).

Para la aplicación del *fotoresist* líquido existen varias técnicas: pulverización, centrifugado, inmersión o por rodillo. El film seco está compuesto por una película fotosensible dispuesta entre dos láminas. Su aplicación se realiza por medio de laminación al calor; para ello placa de cobre y film se hacen discurrir por debajo de un rodillo, como se muestra en la Figura 6; para la exposición se elabora una transparencia de las pistas del circuito, que puede ser en negativo o positivo.

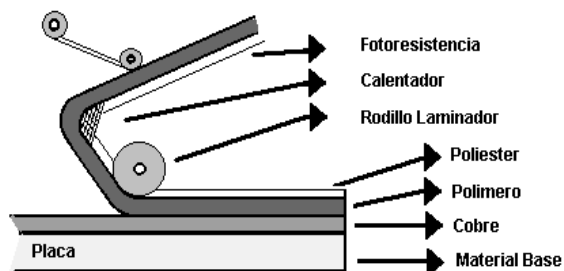


Figura 6. Laminado de placa con película seca

▣ **Placa negativa.** La Figura 7a muestra una transparencia negativa. Las pistas transparentes dejarán pasar la luz, por lo cual el barniz o polímero expuesto (fotosensible negativo) se protege y no será eliminado en el proceso de revelado.

▣ **Placa positiva.** La Figura 7b muestra una transparencia positiva; las pistas van en negro para proteger el barniz o polímero de la exposición, que en este caso permanecerá tras el proceso de revelado de la placa.

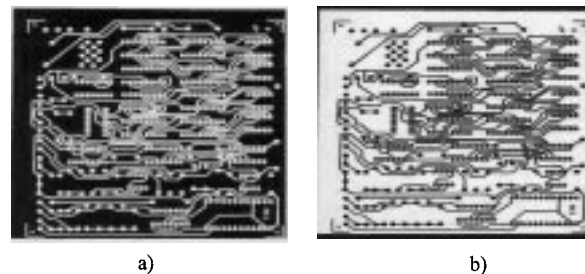


Figura 7. a) placa positiva; b) placa negativa

El material de fabricación de la lámina de transparencias es diverso: fotocopia de alto contraste en papel translúcido, papel diamante o vegetal, lámina transparente de acetato, lámina de PVC flexible y transparente, lámina de poliéster de 36 a 50 micras, película fotográfica de alta y baja densidad o película *Kodak Pagi-Set Anti Stat*. Una vez se tiene el diseño del circuito impreso sobre la placa de cobre se procede a retirar el cobre no necesario por medio de químicos como el persulfato de sodio, ácido nítrico o ácido ferroso; el proceso debe realizarse con precaución, para evitar lesiones en las vías respiratorias o la piel.

### 5.4 Métodos directos

Uno de ellos, estudiado desde hace años, consiste en la impresión de tintas conductoras directamente sobre la base aislante (fibra de vidrio, baquelita, resina fenólica, papel endurecido, etc.); mediante su uso pueden obtenerse importantes ahorros, quedando resuelto el dispendioso pro-

blema del grabado. Sin embargo, el método aún no ha podido estabilizarse totalmente porque las tintas conductoras (especialmente las de plata) tienen un precio muy elevado y no siempre se obtienen buenos resultados de conductividad con su uso. También se está trabajando el método de microfresado, que tampoco se ha podido estabilizar porque también es de alto costo y presenta limitaciones en la calidad de las pistas.

En la Tabla 3 se realiza una comparación de todos los métodos de fabricación de circuitos impresos.

## 6. La oferta nacional de circuitos impresos

En el subsector de producción de materiales, partes y accesorios de la industria electrónica mundial la actividad de elaboración de tarjetas de circuitos impresos ha tenido un crecimiento acelerado. Por ejemplo, las denominadas *salas blancas clase 10000* (traslado del diseño a la placa mediante fotolitografía inducida por rayo láser) se aplica para imprimir plaquetas de tecnología de paso ultrafino UFPT a placas multilayer de aproximadamente de 20 a 30 capas.

Método	Ventajas	Inconvenientes	Materiales	Aplicaciones
Manual	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se necesitan dispositivos fotográficos.</li> <li>Poco gastos en materiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No es muy preciso</li> <li>No queda patrón o copia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tinta anticorrosiva</li> <li>Elementos de dibujo</li> <li>Material autoadhesivo</li> <li>Tiralíneas y compás</li> </ul>	Piezas únicas con poca precisión y densidad de las pistas conductoras
Screen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poco tiempo por pieza en fabricación en serie</li> <li>Costos reducidos por la cantidad de piezas</li> <li>Se necesita la fonotécnica una sola vez para varias plaquetas</li> <li>Queda patrón de dibujo</li> <li>Más preciso que el manual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menos preciso que el fotográfico</li> <li>Mayor gasto de equipo</li> <li>Más tiempo de preparación</li> <li>Mayor atención por parte de personal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tinta de impresión anticorrosiva</li> <li>Materiales para las capas de la malla.</li> <li>Malla de impresión</li> <li>Cámara de revelado</li> <li>Rasqueta</li> <li>Patrón del circuito en positivo</li> </ul>	Fabricación en serie para la industria electrónica, publicidad y artes gráficas
Foto-Resist	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muy exacto</li> <li>Puede elaborarse cualquier número de placas reproducibles después de largos periodos de tiempo</li> <li>Queda patrón de dibujo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mucho consumo de tiempo en grandes series</li> <li>Demasiada atención en su transporte y almacenamiento</li> <li>Trabaja con luces de seguridad especiales</li> <li>Más costoso para un proceso en serie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revelador</li> <li>Solución decapante</li> <li>Cámara de revelado</li> <li>Patrón del circuito en negativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Piezas sueltas</li> <li>Confección de prototipos y series pequeñas</li> <li>Gran exactitud y densidad de pistas conductoras</li> </ul>

Tabla 3. Una Comparación de los Métodos de Fabricación de PSBs

Mientras esto sucede en los países industrializados, en el caso colombiano la oferta de circuitos impresos se realiza por pocas pero importantes empresas. Microcircuitos Ltda., en Cali, es la empresa más grande; ella ofrece sus servicios a nivel nacional e internacional desde hace más de 10 años. En Bogotá se destacan Dyetron Ltda., Cimpretec Ltda., Impeltronic Ltda. y Circuitos Impresos ESC, entre otras. Sin embargo, solamente Microcircuitos S.A. y Dyetron Ltda. realizan tarjetas de circuito impreso con *through hole* (PTH).

En el área de investigación, en el país existen pocas universidades o centros de estudios que trabajen en este campo; pueden citarse el trabajo de la Universidad del Valle, centrado en el estudio de superconductores, y de la Universidad de Pamplona. Así mismo, la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C. cuenta con un laboratorio y un grupo de trabajo para la fabricación, desarrollo e investigación de circuitos impresos; allí se emplea el método de *fotoresist*. El laboratorio cuenta con un fotoploter, una pelícu-

la fotográfica *Kodak Pagi-Set Anti Stat* para la obtención de los fotolitos positivos o negativos y el paquete de software CAD (Eagle); se cuenta por lo tanto con lo necesario para el diseño de tarjetas, e incluso para la impresión de la máscara de componentes.

### 7. El laboratorio de circuitos impresos de la Facultad Tecnológica

Con el slogan “*Diariamente superamos nuestra calidad para satisfacer sus necesidades*” el laboratorio de circuitos impresos y el grupo de trabajo LABCIM trabajan en la aplicación de estrictos controles de calidad y productividad que culminan en el ofrecimiento de los productos finales requeridos por sus clientes.

Las metas de corto plazo del grupo comprenden:

a) Realizar las pruebas y ensayos necesarios para el mejoramiento del proceso de fabricación de circuitos impresos con hueco metalizado; en este caso la principal dificultad es el mantenimiento de la idoneidad de los químicos necesarios para el proceso, los cuales se degeneran en cortos periodos de tiempo.

b) Incorporar al proceso productivo un mejor acabado final para las placas, aplicando la máscara de antisolder. Ella brinda una mejor presentación al producto final.

El grupo de trabajo, actualmente en formación y fortalecimiento, ha proyectado a mediano plazo

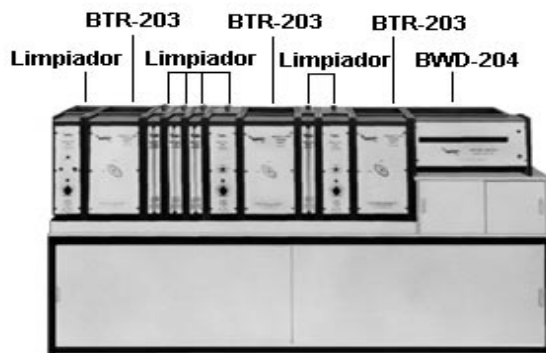


Figura 8. Línea de proceso de Trough hole

automatizar el proceso de taladrado de las tarjetas de circuito impreso, etapa fundamental para la fabricación de placas con hueco metalizado.

- **Servicios prestados:** en la actualidad el laboratorio de circuitos impresos presta los siguientes servicios: a) diseño de planos; b) elaboración de fotolitos de la cara de pistas, cara de componentes y general; c) elaboración de la placa, unifaz o doblefaz sin hueco metalizado, de tamaños máximos aproximados de 20\*30 cm.; d) máscara de componentes; e) protección de placas con aplicación de barniz (colofonia); f) inducción a estudiantes y profesores sobre los procesos y herramientas para elaboración de PCBs.

En las Figuras 9 y 10 se presentan algunas estadísticas de actividad del laboratorio; vale decir que en el 2001 aún no se contaba con la experiencia y dotación de materiales suficientes, por lo tanto se considera que fue este un periodo de adecuación y puesta en marcha.

### 6. Conclusiones

Se han explicado varios procesos para la elaboración de circuitos impresos, aunque solamente con uno de ellos se puede obtener una placa de circuito impreso.

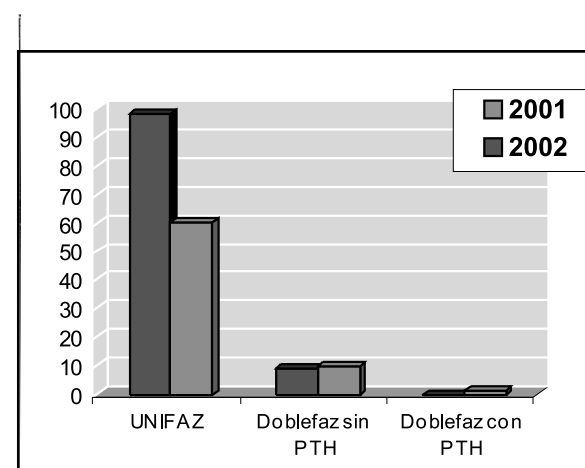


Figura 9. Estadísticas de Elaboración de PCBs en el Laboratorio de CI



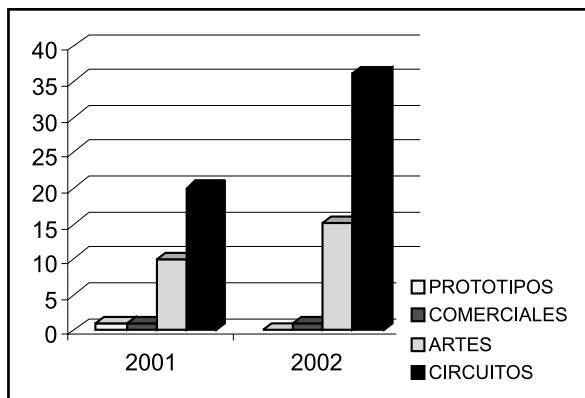


Figura 10. Diseños Realizados en el Laboratorio de CI

Para tener buenos resultados en esta actividad de producción no se debe adoptar sólo uno de ellos sino probar y desarrollarlos todos, pues cada uno tiene algo que aportar para la buena calidad del producto.

Los sondeos realizados entre varias empresas del sector y la buena aceptación recibida de estu-

diantes y profesores de esta Universidad, quienes confían la realización de sus prototipos al Laboratorio, son señales de las importantes potencialidades de la actividad de fabricación de circuitos impresos en el sector electrónico colombiano. En sólo 24 meses de actividades y trabajando en un mercado limitado el laboratorio ha podido autosostener su actividad; por lo tanto la expansión de los servicios a la industria y a otros centros educativos de la ciudad se considera viable, si además se tiene en cuenta la poca competencia existente en el campo de fabricación de tarjetas con hueco metalizado.

En otro sentido, el laboratorio de circuitos impresos también se constituye en un espacio de soporte académico para la cátedra impartida.

Es esta una oportunidad de observación de un proceso tangible, ilustrativo y aportante en los procesos de enseñanza - aprendizaje.

TC

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GONZÁLEZ, Calabuig José. “Circuitos Impresos. Teoría, Diseño y Montaje”. Paraninfo S.A. Madrid, 1997
- BAVER, Alfred. “Circuitos Impresos. Diseño y Realización”. Ed. CEAL. Barcelona, 1986
- CAZA, Michel. “Técnicas de Serigrafía”. Ed. R. Torres. España. 1990
- RUSIÑOL, Rafael Regui. Evolución y Tecnología del Circuito Impreso. En: Publicaciones Mundo Electrónico No. 190, España, 1988
- HEISERMAN, David L. Surface-Mount Devices (Troubleshooting & Repair). Ed. Prentice Hall, 1995
- WAKERLY, Jhon F. Digital Design, Principles & Practices”. Ed. Prentice Hall, Inc., 2ª. ed., 1994
- BOLAÑO, Cesar. “Guía del Mercado”. Grupo Ed. Norma, Bogotá, 1995
- NOVOA K., INFANTE W. Adecuación y Puesta en Marcha del Laboratorio de Circuitos Impresos de la Facultad Tecnológica. Tesis de grado para optar al título de Ingeniería en Instrumentación y Control. Universidad Distrital F.J.C., octubre de 2001
- KEPRO CIRCUIT SYSTEMS, Manual de Instrucciones, Estados Unidos
- Universidad Distrital F.J.C. Laboratorio de Circuitos Impresos LABCIM, 2001

## INFOGRAFÍA

www.lab\_circuit.com  
www.diselec.com

www.losa.com.uy  
www.proton.mx

www.centrojapones.com.