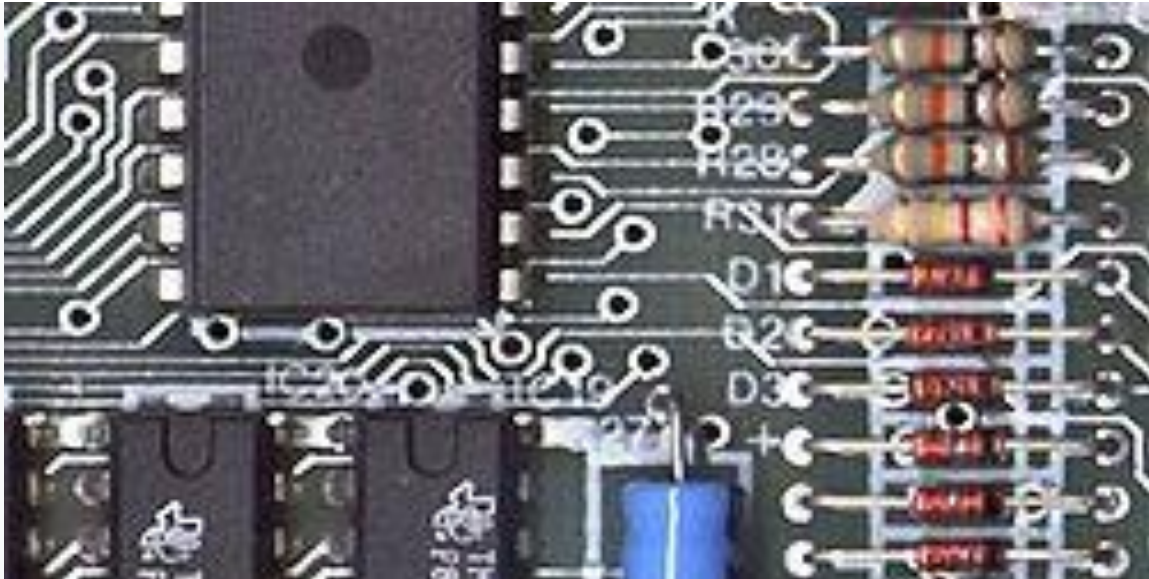


# Circuito impreso



Parte de una placa base de una computadora de 1983: Sinclair ZX Spectrum. Se ven las líneas conductoras, los caminos y algunos componentes montados.

En electrónica, “**placa de circuito impreso**” (del inglés: *Printed Circuit Board*, PCB), es la superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora. El circuito impreso se utiliza para conectar eléctricamente a través de las pistas conductoras, y sostener mecánicamente, por medio de la base, un conjunto de componentes electrónicos. Las pistas son generalmente de cobre mientras que la base se fabrica generalmente de resinas de fibra de vidrio reforzada, Pertinax, pero también cerámica, plástico, teflón o polímeros como la baquelita.

También se fabrican de celuloide con pistas de pintura conductora cuando se requiere que sean flexibles para conectar partes con movimiento entre sí, evitando los problemas del cambio de estructura cristalina del cobre que hace quebradizos los conductores de cables.

La producción de las PCB y el montaje de los componentes puede ser automatizada.<sup>1</sup> Esto permite que en ambientes de producción en masa, sean más económicos y fiables que otras alternativas de montaje (p. e.: wire-wrap o entorchado, ya pasado de moda). En otros contextos, como la construcción de prototipos basada en ensamblaje manual, la escasa capacidad de modificación una vez construidos y el esfuerzo que implica la soldadura de los componentes<sup>2</sup> hace que las PCB no sean una alternativa óptima. Igualmente, se fabrican placas con islas y / barras conductoras para los prototipos, algunas según el formato de las *Protoboards*.

La organización **IPC** (*Institute for Printed Circuits*), ha generado un conjunto de estándares que regulan el diseño, ensamblado y control de calidad de los circuitos impresos, siendo la familia IPC-2220 una de las de mayor reconocimiento en la industria. Otras organizaciones,

también contribuyen con estándares relacionados, como por ejemplo: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (**ANSI**, *American National Standards Institute*), Comisión Electrotécnica Internacional (**IEC**, *International Engineering Consortium*), Alianza de Industrias Electrónicas (**EIA**, *Electronic Industries Alliance*), y Joint Electron Device Engineering Council (**JEDEC**).

## Historia

---

Probablemente, el inventor del circuito impreso fue el ingeniero austriaco Paul Eisler (1907-1995), que mientras trabajaba en Inglaterra, fue quien fabricó un circuito impreso como parte de una radio, alrededor de 1936.<sup>[*cita requerida*]</sup> Aproximadamente en 1943, en los Estados Unidos comenzaron a usar esta tecnología a gran escala para fabricar radios robustas, con la finalidad de usarlas en la Segunda Guerra Mundial. Después de la guerra, en 1948, EE.UU. liberó la invención para su uso comercial.<sup>[*cita requerida*]</sup> Los circuitos impresos no se volvieron populares en la electrónica de consumo hasta mediados de 1950, cuando el proceso de “auto-ensamblaje” fue desarrollado por la Armada de los Estados Unidos.<sup>[*cita requerida*]</sup>

Antes que los circuitos impresos (y por un tiempo después de su invención), la conexión “punto a punto” era la más usada. Para prototipos, o producción de pequeñas cantidades, el método *wire wrap* puede considerarse más eficiente.<sup>[*cita requerida*]</sup>

Originalmente, cada componente electrónico tenía pines de cobre o latón de varios milímetros de longitud, y el circuito impreso tenía orificios taladrados para cada pin del componente. Los pines de los componentes atravesaban los orificios y eran soldados a las pistas del circuito impreso. Este método de ensamblaje es llamado *agujero pasante* o *through-hole*.<sup>[*cita requerida*]</sup> En 1949, Moe Abramson y Stanilus F. Danko, de la *United States Army Signal Corps*, desarrollaron el proceso de auto-ensamblaje, en donde las pines de los componentes eran insertadas en una lámina de cobre con el patrón de interconexión, y luego eran soldadas.<sup>[*cita requerida*]</sup> Con el desarrollo de la laminación de tarjetas y técnicas de grabados, este concepto evolucionó en el proceso estándar de fabricación de circuitos impresos usado en la actualidad. La soldadura se puede hacer automáticamente pasando la tarjeta sobre un flujo de soldadura derretida, en una máquina de soldadura por ola.<sup>[*cita requerida*]</sup>

El costo asociado con la perforación de los orificios y el largo adicional de las pines, se elimina al utilizar dispositivo de montaje superficial (*tecnología de montaje superficial*).

## Composición física

---

La mayoría de los circuitos impresos están compuestos por entre una a dieciséis capas conductoras, separadas y soportadas por capas de material aislante (sustrato) laminadas (pegadas) entre sí. Normalmente, la cantidad de capas de una PCB depende de la cantidad de señales que se quieren rutar.

Las capas pueden conectarse a través de orificios, llamados vías. Los orificios pueden ser electorrecubiertos; para conectar cada capa del circuito, el fabricante mediante un proceso químico, deposita en todas las superficies expuestas del panel, incluyendo las paredes del agujero una fina capa de cobre químico, esto crea una base metálica de cobre puro; o también se pueden utilizar pequeños remaches. Los circuitos impresos de alta densidad pueden tener “vías ciegas”, que son visibles en sólo un lado de la tarjeta, o “vías enterradas”, que no son visibles en el exterior de la tarjeta.

### Sustratos

*Artículo principal:* Substrato (electrónica)

Los sustratos de los circuitos impresos utilizados en la electrónica de consumo de bajo costo, se hacen de papel impregnado de resina fenólica, a menudo llamados por su nombre

comercial: Pértinax. Usan designaciones como XXXP, XXXPC y FR-2. El material es de bajo costo, fácil de mecanizar y causa menos desgaste de las herramientas que los sustratos de fibra de vidrio reforzados (la más conocida es la FR-4). Las letras "FR" en la designación del material indican "retardante de llama" (*Flame Retardant*, en inglés).

Los sustratos para los circuitos impresos utilizados en la electrónica industrial y de consumo de alto costo, están hechos típicamente de un material designado FR-4. Estos consisten en un material de fibra de vidrio, impregnados con una resina epóxica resistente a las llamas. Pueden ser mecanizados, pero debido al contenido de vidrio abrasivo, requiere de herramientas hechas de carburo de tungsteno en la producción de altos volúmenes. Debido al reforzamiento de la fibra de vidrio, exhibe una resistencia a la flexión alrededor de 5 veces más alta que el Pertinax, aunque a un costo más alto.

Los sustratos para los circuitos impresos de circuitos de radio en frecuencia de alta potencia usan plásticos con una constante dieléctrica (permitividad) baja, tales como Rogers® 4000, Rogers® Duroid, DuPont Teflón (tipos GT y GX), poliamida, poliestireno y poliestireno entrecruzado. Típicamente tienen propiedades mecánicas más pobres, pero se considera que es un compromiso de ingeniería aceptable, en vista de su desempeño eléctrico superior.

Los circuitos impresos utilizados en el vacío o en gravedad cero, como en una nave espacial, al ser incapaces de contar con el enfriamiento por convección, a menudo tienen un núcleo grueso de cobre o aluminio para disipar el calor de los componentes electrónicos.

No todas las tarjetas usan materiales rígidos. Algunas son diseñadas para ser muy o ligeramente flexibles, usando *DuPont's Kapton film* de poliamida y otros. Esta clase de tarjetas, a veces llamadas "circuitos flexibles", o "circuitos rígido-flexibles", respectivamente, son difíciles de crear, pero tienen muchas aplicaciones. A veces son flexibles para ahorrar espacio (los circuitos impresos dentro de las cámaras y auriculares son casi siempre circuitos flexibles, de tal forma que puedan doblarse en el espacio disponible limitado. En ocasiones, la parte flexible del circuito impreso se utiliza como cable o conexión móvil hacia otra tarjeta o dispositivo. Un ejemplo de esta última aplicación es el cable que conecta el cabezal en una impresora de inyección de tinta.

## Características básicas del sustrato

---

### Mecánicas

1. Suficientemente rígidos para mantener los componentes.
2. Fácil de taladrar.
3. Sin problemas de laminado.

### Químicas

1. Metalizado de los taladros.
2. Retardante de las llamas.
3. No absorbe demasiada humedad.

### Térmicas

1. Disipa bien el calor.
2. Coeficiente de expansión térmica bajo para que no se rompa.
3. Capaz de soportar el calor en la soldadura.
4. Capaz de soportar diferentes ciclos de temperatura.

### Eléctricas

1. Constante dieléctrica baja, para tener pocas pérdidas.
2. Rigidez dieléctrica (punto de ruptura dieléctrica) elevada.

## Diseño

---

Usualmente un ingeniero (eléctrico o electrónico) diseña el circuito y un especialista diseña el circuito impreso. El diseñador debe obedecer numerosas normas para diseñar un circuito impreso que funcione correctamente y que al mismo tiempo sea barato de fabricar.

### Automatización de diseño electrónico

*Artículo principal:* Automatización de diseño electrónico

Los diseñadores de circuitos impresos a menudo utilizan programas de automatización de diseño electrónico (EDA, por sus siglas en inglés), para distribuir e interconectar los componentes. Estos programas almacenan información relacionada con el diseño, facilita la edición, y puede también automatizar tareas repetitivas.

La primera etapa es convertir el esquema en una lista de nodos (*net list* en inglés). La lista de nodos es una lista de los pines (o patillas) y nodos del circuito, a los que se conectan los pines de los componentes. Usualmente el programa de “captura de esquemáticos”, utilizado por el diseñador del circuito, es responsable de la generación de la lista de nodos, y esta lista es posteriormente importada en el programa de ruteo.

El siguiente paso es determinar la posición de cada componente. La forma sencilla de hacer esto es especificar una rejilla de filas y columnas, donde los dispositivos deberían ir. Luego, el programa asigna el pin 1 de cada dispositivo en la lista de componentes, a una posición en la rejilla. Típicamente, el operador puede asistir a la rutina de posicionamiento automático al especificar ciertas zonas de la tarjeta, donde deben ir determinados grupos de componentes. Por ejemplo, a las partes asociadas con el subcircuito de la fuentes de alimentación se les podría asignar una zona cercana a la entrada al conector de alimentación. En otros casos, los componentes pueden ser posicionados manualmente, ya sea para optimizar el desempeño del circuito, o para poner componentes tales como perillas, interruptores y conectores, según lo requiere el diseño mecánico del sistema.

El programa luego expande la lista de componentes en una lista completa de todos los pines para la tarjeta, utilizando plantillas de una biblioteca de *footprints* asociados a cada tipo de componentes. Cada *footprint* es un mapa de los pines de un dispositivo, usualmente con la distribución de los *pad* y perforaciones recomendadas. La biblioteca permite que los *footprint* sean dibujados sólo una vez, y luego compartidos por todos los dispositivos de ese tipo.

En algunos sistemas, los *pads* de alta corriente son identificados en la biblioteca de dispositivos, y los nodos asociados son etiquetados para llamar la atención del diseñador del circuito impreso. Las corrientes elevadas requieren de pistas más anchas, y el diseñador usualmente determina este ancho.

Luego el programa combina la lista de nodos (ordenada por el nombre de los pines) con la lista de pines (ordenada por el nombre de cada uno de los pines), transfiriendo las coordenadas físicas de la lista de pines a la lista de nodos. La lista de nodos es luego reordenada, por el nombre del nodo.

Algunos sistemas pueden optimizar el diseño al intercambiar la posición de las partes y puertas lógicas para reducir el largo de las pistas de cobre. Algunos sistemas también detectan automáticamente los pines de alimentación de los dispositivos, y generan pistas o vías al plano de alimentación o conductor más cercano.



Luego el programa trata de rutear cada nodo en la lista de señales-pines, encontrando secuencias de conexión en las capas disponibles. A menudo algunas capas son asignadas a la alimentación y a la tierra, y se conocen como plano de alimentación y tierra respectivamente. Estos planos ayudan a blindar los circuitos del ruido.

El problema de ruteo es equivalente al problema del vendedor viajero, y es por lo tanto NP-completo, y no se presta para una solución perfecta. Un algoritmo práctico de ruteo es elegir el pin más lejano del centro de la tarjeta, y luego usar un “algoritmo codicioso” para seleccionar el siguiente pin más cercano con la señal del mismo nombre.

Después del ruteo automático, usualmente hay una lista de nodos que deben ser ruteados manualmente.

Una vez ruteado, el sistema puede tener un conjunto de estrategias para reducir el costo de producción del circuito impreso. Por ejemplo, una rutina podría suprimir las vías innecesarias (cada vía es una perforación, que cuesta dinero). Otras podrían redondear los bordes de las pistas, y ensanchar o mover las pistas para mantener el espacio entre estas dentro de un margen seguro. Otra estrategia podría ser ajustar grandes áreas de cobre de tal forma que ellas formen nodos, o juntar áreas vacías en áreas de cobre. Esto permite reducir la contaminación de los productos químicos utilizados durante el grabado y acelerar la velocidad de producción.

Algunos sistemas tienen “comprobación de reglas de diseño” para validar la conectividad eléctrica y separación entre las distintas partes, compatibilidad electromagnética, reglas para la manufactura, ensamblaje y prueba de las tarjetas, flujo de calor y otro tipo de errores.

La serigrafía, máscara antisoldante y plantilla para la pasta de soldar, a menudo se diseñan como capas auxiliares.

## Manufactura

### Patrones



A la izquierda la imagen de la PCB diseñada por computadora, y a la derecha la PCB manufacturada y montada.

La gran mayoría de las tarjetas para circuitos impresos se hacen adhiriendo una capa de cobre sobre todo el sustrato, a veces en ambos lados (creando un circuito impreso virgen), y luego retirando el cobre no deseado después de aplicar una máscara temporal (por ejemplo, grabándola con percloruro férrico), dejando sólo las pistas de cobre deseado. Algunos pocos circuitos impresos son fabricados al ‘agregar’ las pistas al sustrato, a través de un proceso complejo de electro-recubrimiento múltiple. Algunos circuitos impresos tienen capas con pistas en el interior de este, y son llamados **circuitos impresos multicapas**. Estos son formados al aglomerar tarjetas delgadas que son procesadas en forma separada. Después de que la tarjeta ha sido fabricada, los componentes electrónicos se sueldan a la tarjeta.

## Métodos típicos para la producción de circuitos impresos

---

1. La impresión serigráfica utiliza tintas resistentes al grabado para proteger la capa de cobre. Los grabados posteriores retiran el cobre no deseado. Alternativamente, la tinta puede ser conductiva, y se imprime en una tarjeta virgen no conductiva. Esta última técnica también se utiliza en la fabricación de circuitos híbridos.
2. El fotograbado utiliza una fotomecánica y grabado químico para eliminar la capa de cobre del sustrato. La fotomecánica usualmente se prepara con un fotoplóter, a partir de los datos producidos por un programa para el diseño de circuitos impresos. Algunas veces se utilizan transparencias impresas en una impresora láser como fotoherramientas de baja resolución.
3. El fresado de circuitos impresos utiliza una fresa mecánica de 2 o 3 ejes para quitar el cobre del sustrato. Una fresa para circuitos impresos funciona en forma similar a un plóter, recibiendo comandos desde un programa que controla el cabezal de la fresa los ejes x, y, y z. Los datos para controlar la máquina son generados por el programa de diseño, y son almacenados en un archivo en formato HPGL o Gerber.
4. La impresión en material termosensible para transferir a través de calor a la placa de cobre. En algunos sitios comentan de uso de papel *glossy* (fotográfico), y en otros de uso de papel con cera, como los papeles en los que vienen los autoadhesivos.

Tanto el recubrimiento con tinta, como el fotograbado requieren de un proceso de atacado químico, en el cual el cobre excedente es eliminado, quedando únicamente el patrón deseado.

### Atacado

El atacado de la placa virgen se puede realizar de diferentes maneras. La mayoría de los procesos utilizan ácidos o corrosivos para eliminar el cobre excedente. Existen métodos de galvanoplastia que funcionan de manera rápida, pero con el inconveniente de que es necesario atacar al ácido la placa después del galvanizado, ya que no se elimina todo el cobre.

Los químicos más utilizados son el cloruro férrico, el sulfuro de amonio, el ácido clorhídrico mezclado con agua y peróxido de hidrógeno. Existen formulaciones de ataque de tipo alcalino y de tipo ácido. Según el tipo de circuito a fabricar, se considera más conveniente un tipo de formulación u otro.

Para la fabricación industrial de circuitos impresos es conveniente utilizar máquinas con transporte de rodillos y cámaras de aspersión de los líquidos de ataque, que cuentan con control de temperatura, de control de presión y de velocidad de transporte. También es necesario que cuenten con extracción y lavado de gases.

### Perforado

Las perforaciones o vías del circuito impreso se taladran con pequeñas brocas hechas de carburo tungsteno. El perforado es realizado por maquinaria automatizada, controlada por una

cinta de perforaciones o archivo de perforaciones. Estos archivos generados por computador son también llamados “taladros controlados por computadora” (NCD, por sus siglas en inglés) o “archivos *Excellon*”. El archivo de perforaciones describe la posición y tamaño de cada perforación taladrada.

Cuando se requieren vías muy pequeñas, taladrar con brocas es costoso, debido a la alta tasa de uso y fragilidad de estas. En estos casos, las vías pueden ser evaporadas por un láser. Las vías perforadas de esta forma usualmente tienen una terminación de menor calidad al interior del orificio. Estas perforaciones se llaman “micro vías”.

También es posible, a través de taladrado con control de profundidad, perforado láser, o pre-taladrando las láminas individuales antes de la laminación, producir perforaciones que conectan sólo algunas de las capas de cobre, en vez de atravesar la tarjeta completa. Estas perforaciones se llaman “vías ciegas” cuando conectan una capa interna con una de las capas exteriores, o “vías enterradas” cuando conectan dos capas internas.

Las paredes de los orificios, para tarjetas con dos o más capas, son metalizadas con cobre para formar “orificios metalizados”, que conectan eléctricamente las capas conductoras del circuito impreso.

## **Estañado y máscara antisoldante**

Los *pads* y superficies en las cuales se montarán los componentes, usualmente se metalizan, ya que el cobre al desnudo no es soldable fácilmente. Tradicionalmente, todo el cobre expuesto era metalizado con soldadura. Esta soldadura solía ser una aleación de plomo-estaño, sin embargo, se están utilizando nuevos compuestos para cumplir con la directiva RoHS de la Unión Europea, la cual restringe el uso de plomo. Los conectores de borde, que se hacen en los lados de las tarjetas, a menudo se metalizan con oro. El metalizado con oro a veces se hace en la tarjeta completa.

Las áreas que no deben ser soldadas pueden ser recubiertas con un polímero ‘resistente a la soldadura’, el cual evita cortocircuitos entre los pines adyacentes de un componente.

## **Serigrafía**

Los dibujos y texto se pueden imprimir en las superficies exteriores de un circuito impreso a través de la serigrafía. Cuando el espacio lo permite, el texto de la serigrafía puede indicar los nombres de los componentes, la configuración de los interruptores, puntos de prueba, y otras características útiles en el ensamblaje, prueba y servicio de la tarjeta. También puede imprimirse a través de tecnología de impresión digital por chorro de tinta (*inkjet/Printar*) y volcar información variable sobre el circuito (serialización, códigos de barra, información de trazabilidad).

## **Montaje**

En las tarjetas *through hole* (“a través del orificio”), los pines de los componentes se insertan en los orificios, y son fijadas eléctrica y mecánicamente a la tarjeta con soldadura.

Con la tecnología de montaje superficial, los componentes se sueldan a los *pads* en las capas exteriores de la tarjetas. A menudo esta tecnología se combina con componentes *through hole*, debido a que algunos componentes están disponibles sólo en un formato.

## **Pruebas y verificación**

Las tarjetas sin componentes pueden ser sometidas a “pruebas al desnudo”, donde se verifica cada conexión definida en el *netlist* en la tarjeta finalizada. Para facilitar las pruebas en producciones de volúmenes grandes, se usa una “Cama de pinchos” para hacer contacto con las áreas de cobre u orificios en uno o ambos lados de la tarjeta. Una computadora le indica a la unidad de pruebas eléctricas, que envíe una pequeña corriente eléctrica a través de cada

contacto de la cama de pinchos, y que verifique que esta corriente se reciba en el otro extremo del contacto. Para volúmenes medianos o pequeños, se utilizan unidades de prueba con un cabezal volante que hace contacto con las pistas de cobre y los orificios para verificar la conectividad de la placa verificada.

## Protección y paquete

Los circuitos impresos que se utilizan en ambientes extremos, usualmente tienen un recubrimiento, el cual se aplica sumergiendo la tarjeta o a través de un aerosol, después de que los componentes hayan sido soldados. El recubrimiento previene la corrosión y las corrientes de fuga o cortocircuitos producto de la condensación. Los primeros recubrimientos utilizados eran ceras. Los recubrimientos modernos están constituidos por soluciones de goma silicosa, poliuretano, acrílico o resina epóxida. Algunos son plásticos aplicados en una cámara al vacío.

## Tecnología de montaje superficial

---

*Artículo principal:* Tecnología de montaje superficial

La **tecnología de montaje superficial** 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 tener pequeñas pestañas metálicas 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. Estos dispositivos pueden reducir su tamaño entre una cuarta a una décima parte, y su costo entre la mitad y la cuarta parte, comparado con componentes *through hole*.

## Listado de máquinas industriales que intervienen en la fabricación de PCB

---

1. **Perforadoras de control numérico con cambio automático** de mechas.
2. Perforadora de control numérico 6 de 4 cabezales.
3. Laminadora.
4. Iluminadora de 2 x 1000 W de una bandeja doble faz.
5. Iluminadora 60/75 de 2 x 5000 W de doble bandeja doble faz.
6. **Reveladora** de fotopolímeros de 4 cámaras.
7. Desplacadora de fotopolímeros de 4 cámaras.
8. Grabadora amoniacal de 2 cámaras + doble enjuague.
9. **Grabadora** amoniacal.
10. Impresoras serigráficas semiautomáticas.
11. **Impresora**.
12. Pulidoras simples.
13. **Pulidora**.
14. Fotoplóter de película continua de triple rayo láser.
15. Reveladora continua de películas fotográficas.
16. Router de control numérico de 1 cabezal de capacidad de 600 x 600 mm.



17. Perforadora/apinadora de doble cabezal.
18. Compresores de pistón seco de 10 HP.
19. **Compresor** de tornillo de 30 HP.
20. Guillotina.
21. **Hornos** de secado.
22. **Afiladora** de mechas de vidia de 6 piedras.
23. Máquina de *V-scoring*.
24. **Reveladora con 2 cámaras de enjuague.**
25. Máquina *Bonding* por inducción para el registro de multicapas.
26. Prensa para el prensado de multicapas.

## Programas para el diseño de circuitos impresos

---

- ExpressPCB
- OrCAD<sup>(en)</sup>