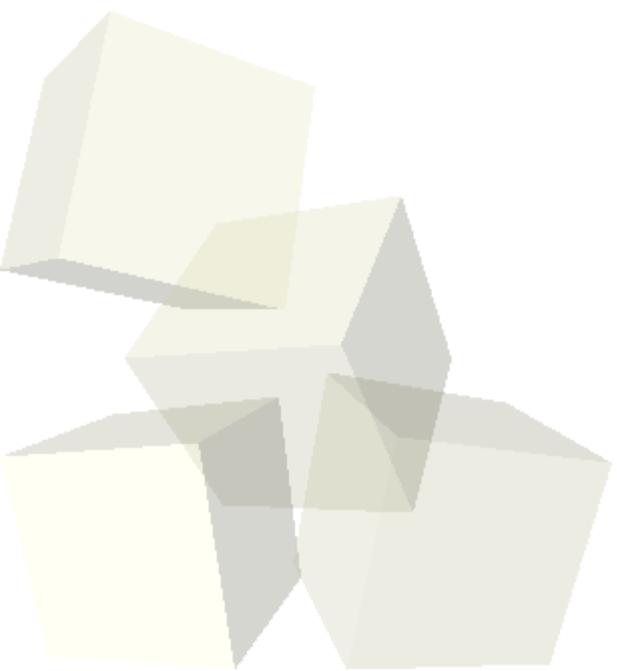




# Diseño y Fabricación de PCBs

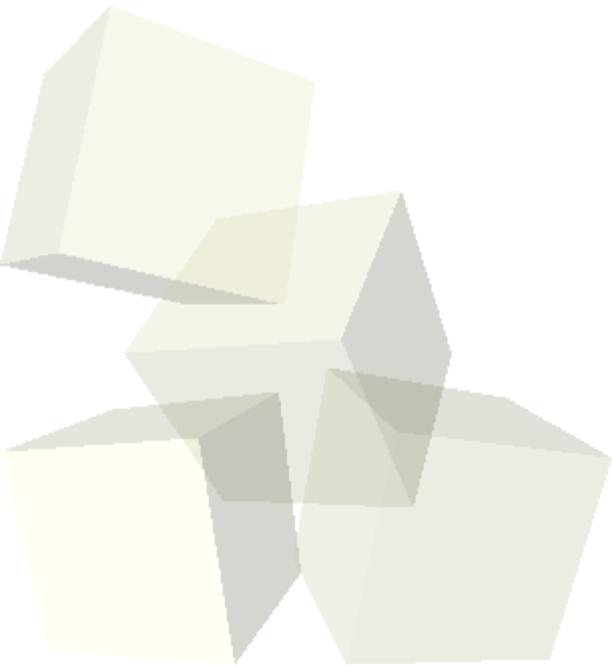
Manuel J. Bellido Díaz  
Germán Cano Quiveu

Octubre de 2023





- **¿Que es una PCB?**
- Alternativas a la PCB: sistemas de prototipado
- Clasificación de los PCB
- Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico





- **PCB: Printed Circuit Board** (Placa de circuito impreso)
- **Definición de PCB:** placas de sustrato no conductor que se emplean para el montaje e interconexión de componentes electrónicos a través de rutas o pistas de un material conductor grabadas sobre el sustrato
- **Ventajas de las PCBs** (tomado de Printed circuits boards, design, fabrication and assembly, R.S. Khandpur, Ed. Mc-Graw-Hill)
  - ♦ The size of component assembly is reduced with a corresponding decrease in weight.
  - ♦ Quantity production can be achieved at lower unit cost.
  - ♦ Component wiring and assembly can be mechanized.
  - ♦ Circuit characteristics can be maintained without introducing variation in inter-circuit capacitance.



- **Ventajas de las PCBs** (tomado de Printed circuits boards, design, fabrication and assembly, R.S. Khandpur, Ed. Mc-Graw-Hill )
  - They ensure a high level of repeatability and offer uniformity of electrical characteristics from assembly to assembly.
  - The location of parts is fixed, which simplifies identification and maintenance of electronic equipment and systems.
  - Inspection time is reduced because printed circuitry eliminates the probability of error.
  - Printed wiring personnel require minimal technical skills and training. Chances of miswiring or short-circuited wiring are minimized.

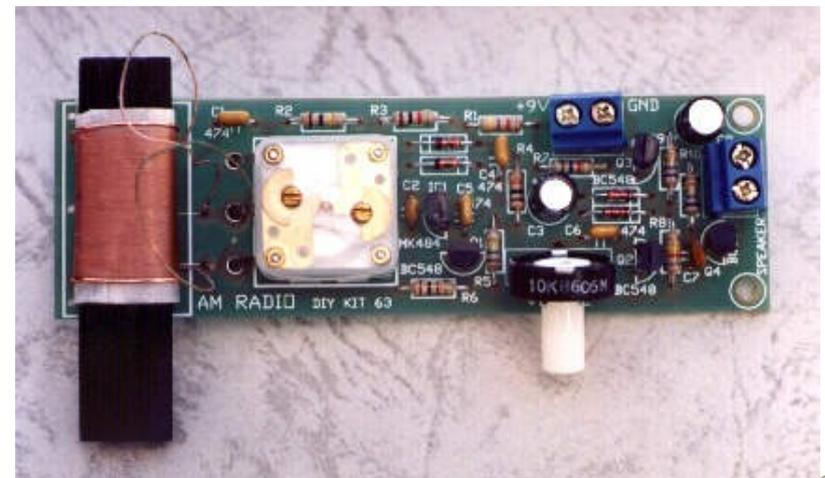
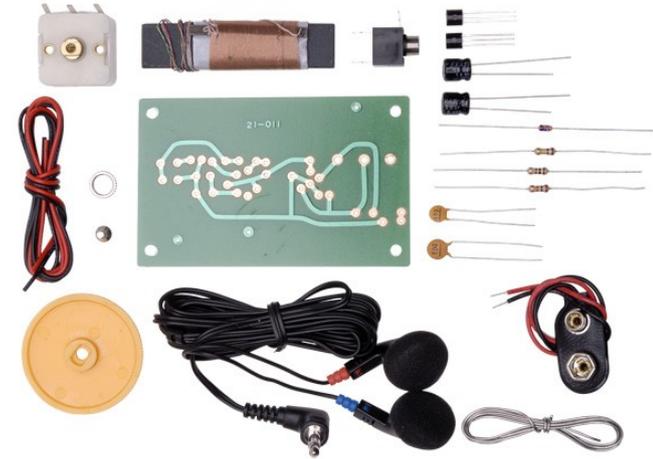


# ¿Que es un PCB?

- Ventajas de las PCBs
  - ◆ Antes de PCBs



Con PCB

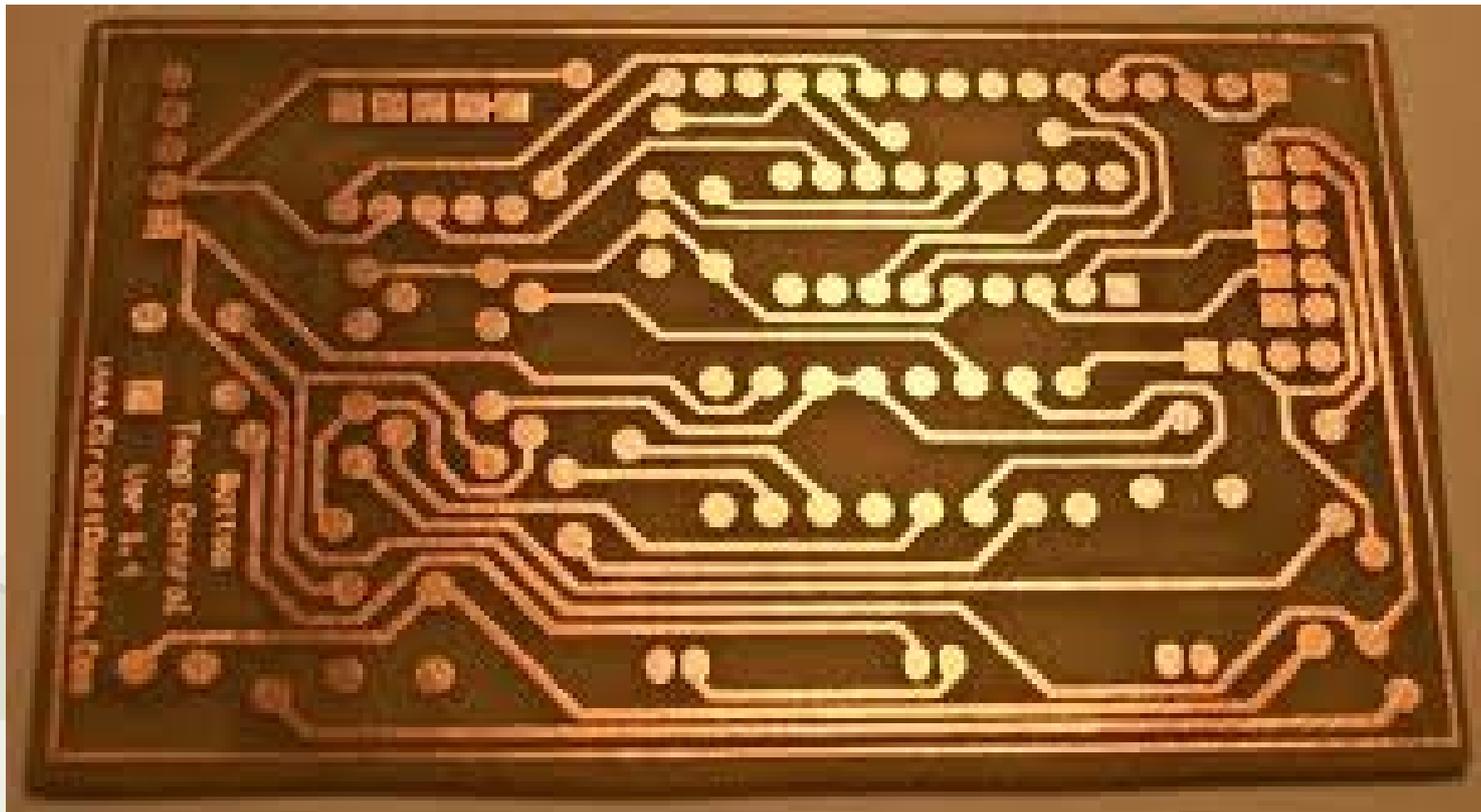




- **Historia de las PCBs** (tomado de Printed circuits boards, design, fabrication and assembly, R.S. Khandpur, Ed. Mc-Graw-Hill)
  - A mediados de los años 30, siglo XX, Dr. Paul Eisler, propone emplear un hoja de material aislante revestida de cobre como material base.
  - A esa hoja se le aplica, se le superpone, el patrón del circuito impreso de manera que el cobre descubierta se elimina por ataque químico
  - Estas ideas dieron lugar a una reducción del peso, espacio y una producción en masa de los sistemas que dio lugar a una reducción de los precios y, como consiguiente, una aplicación de esta técnica a todo tipo de sistemas eléctricos/electrónicos
  - Otro paso que dio lugar a una gran mejora en los procesos de automatización de fabricación de los PCBs es la técnica de SMT (source mounted-technology, técnica de montaje superficial)

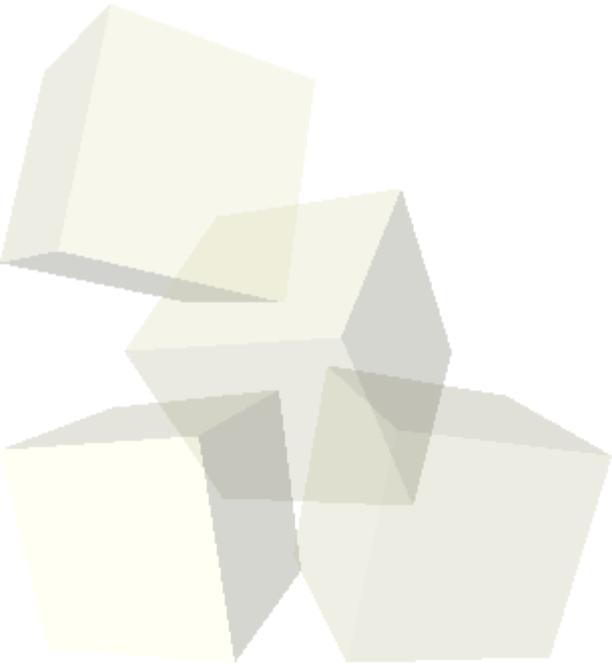
# ¿Que es un PCB?: Componentes de un PCB

- La base: una lamina o placa de material aislante que soporta sobre sus caras material conductor y componentes electrónicos
- Conductores: tiras de material conductor de muy alta calidad (cobre) que están firmemente sujetas a la base. Los conductores proveen las interconexiones entre distintos componentes eléctricos así como los puntos de soldadura de los mismos.





- ¿Que es un PCB?
- **Alternativas a la PCB: sistemas de prototipado**
- Clasificación de los PCB
- Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico





- Sistemas de prototipado de sistemas electrónicos

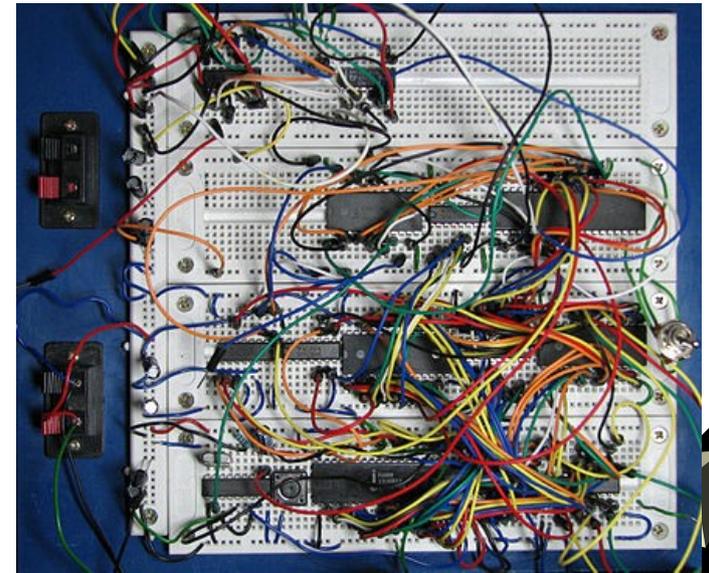
- ♦ **Regleta** (protoboard, breadboard)

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Breadboard>

- Está compuesta por bloques de plástico perforados y numerosas láminas delgadas, de una aleación de cobre, estaño y fósforo, que unen dichas perforaciones, creando una serie de líneas de conducción paralelas. Las líneas se cortan en la parte central del bloque para garantizar que dispositivos en circuitos integrados de tipo dual in-line package (DIP) puedan ser insertados perpendicularmente y sin ser tocados por el proveedor a las líneas de conductores. Distancia estándar entre agujeros: 0.1inch

- Problemas: Alta capacidad y resistencia parásita Opera bien a bajas frecuencias.

- A altas temperaturas puede fundirse la protoboard



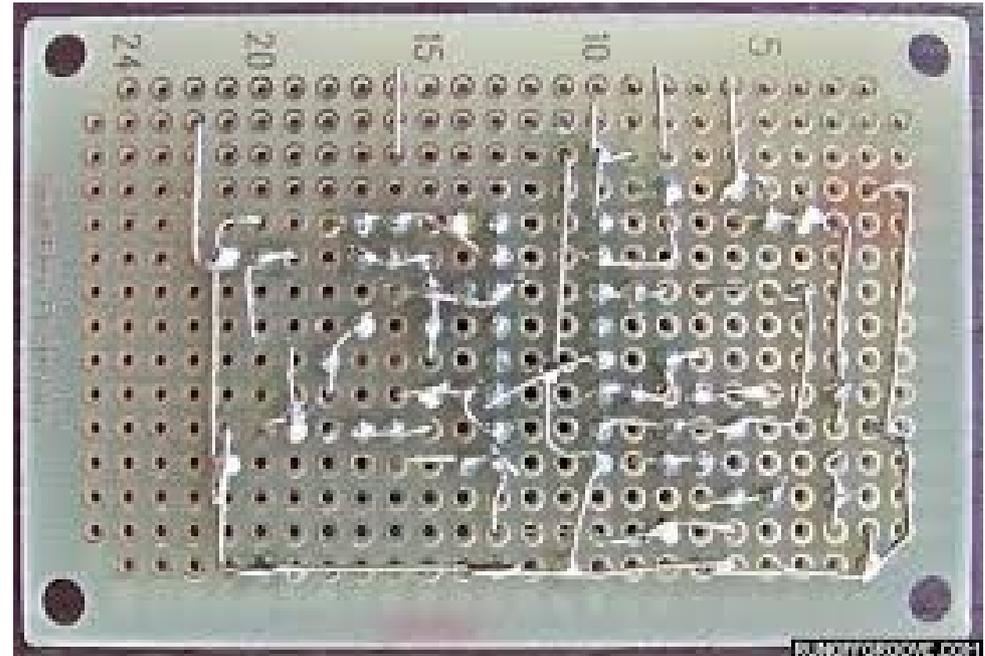
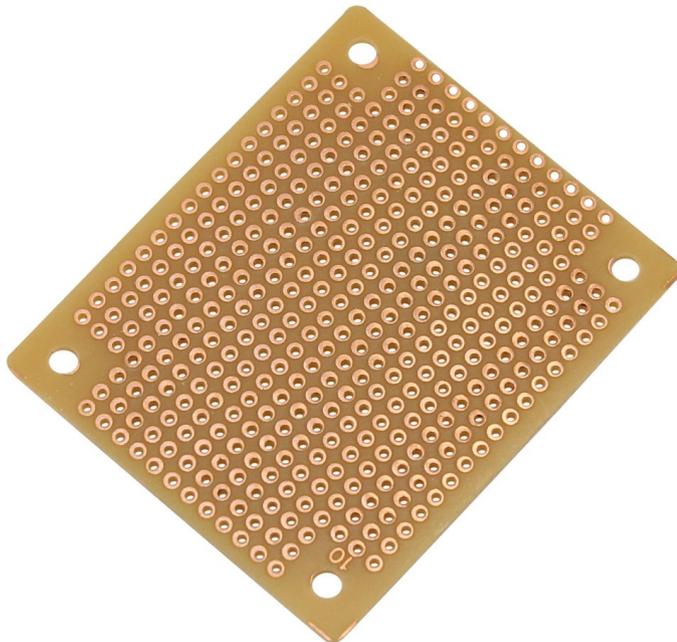


- Sistemas de prototipado de sistemas electrónicos

- ♦ **Perfboard**

<https://en.wikipedia.org/wiki/Perfboard>

→ placa de circuito perforada (distancia 0.1inch = 2,54mm) cuyos huecos están circundados por material conductor, usualmente cobre, pero que no están interconectados entre sí. Este tipo de placas requieren que cada componente esté soldado a la placa y además las interconexiones entre ellos sea realizada a través de cables o caminos de soldadura.



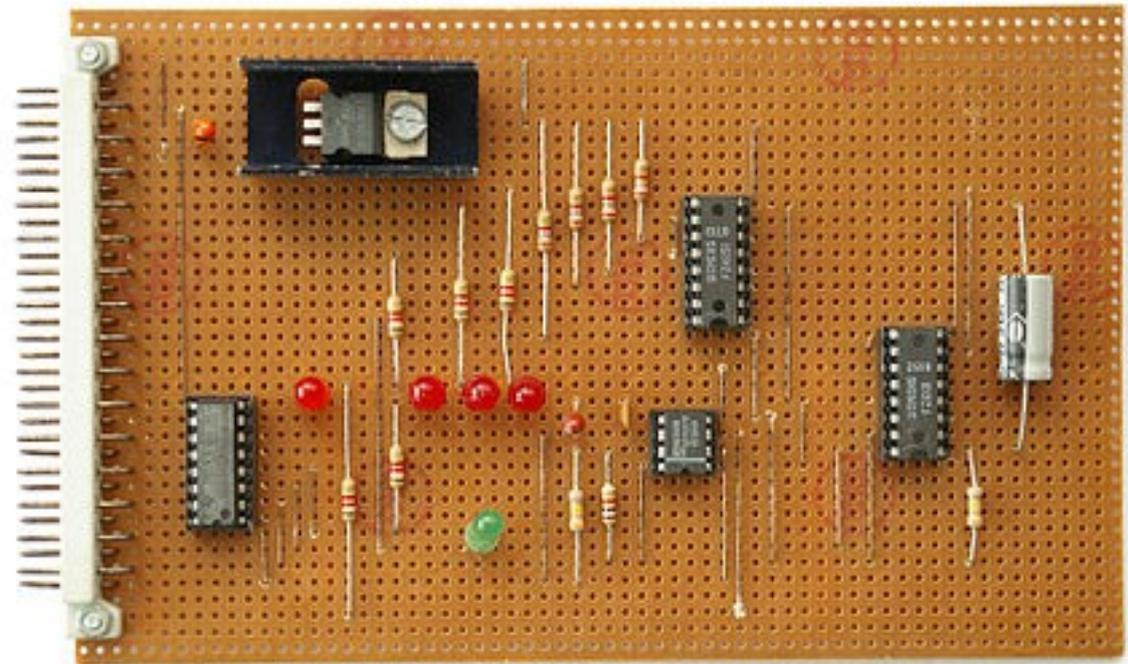
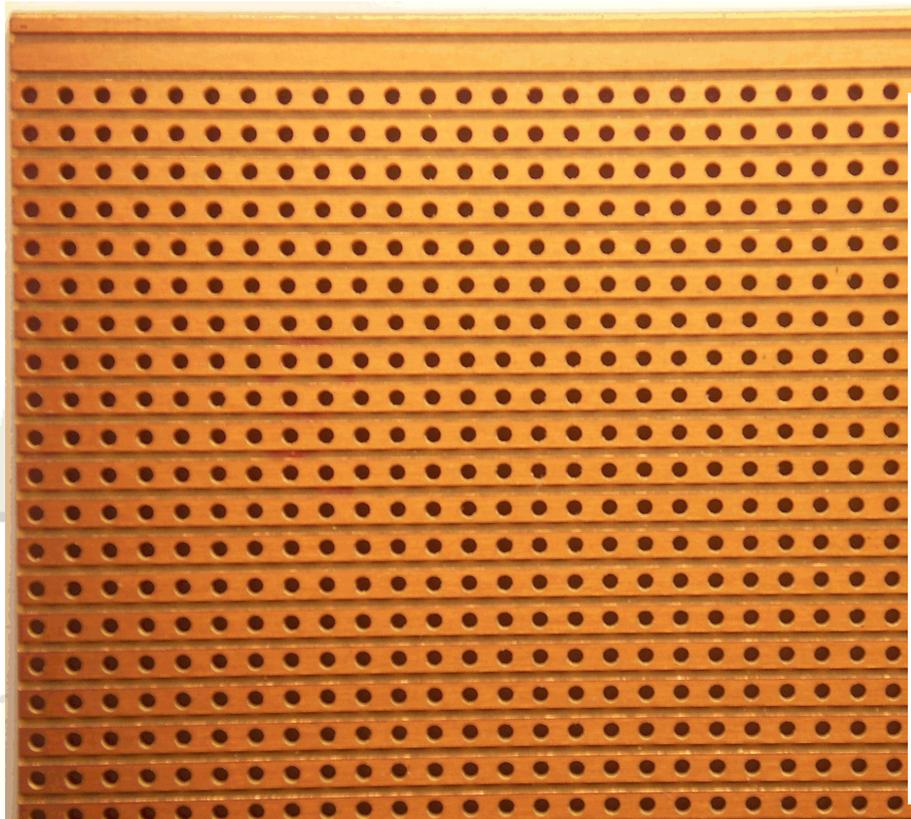


- Sistemas de prototipado de sistemas electrónicos

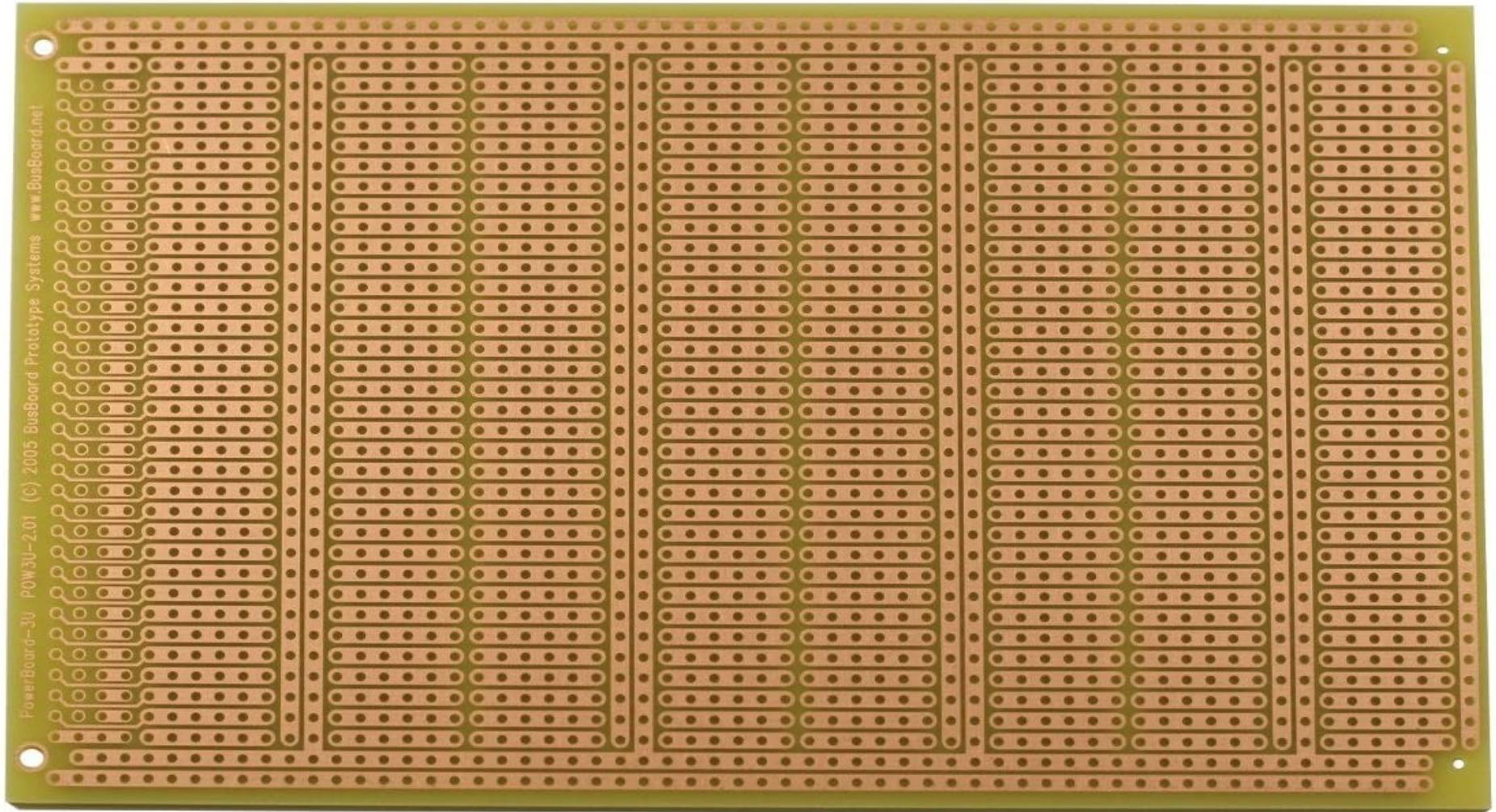
- ◆ **Stripboard**

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Stripboard>

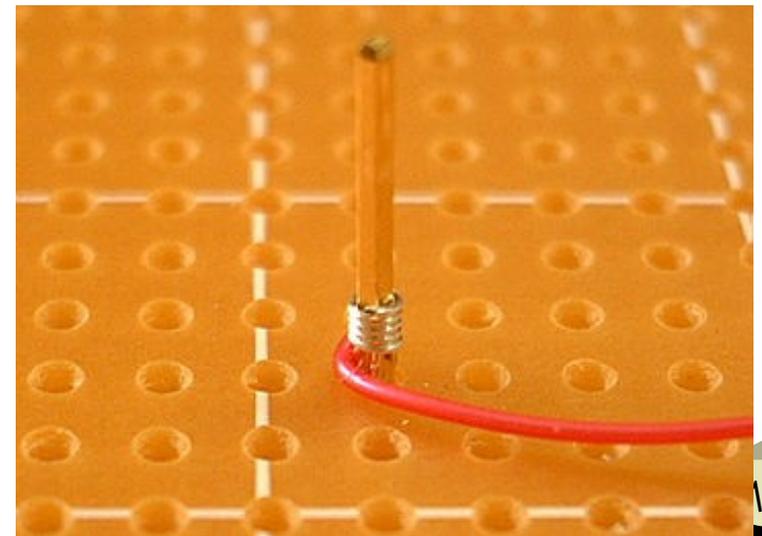
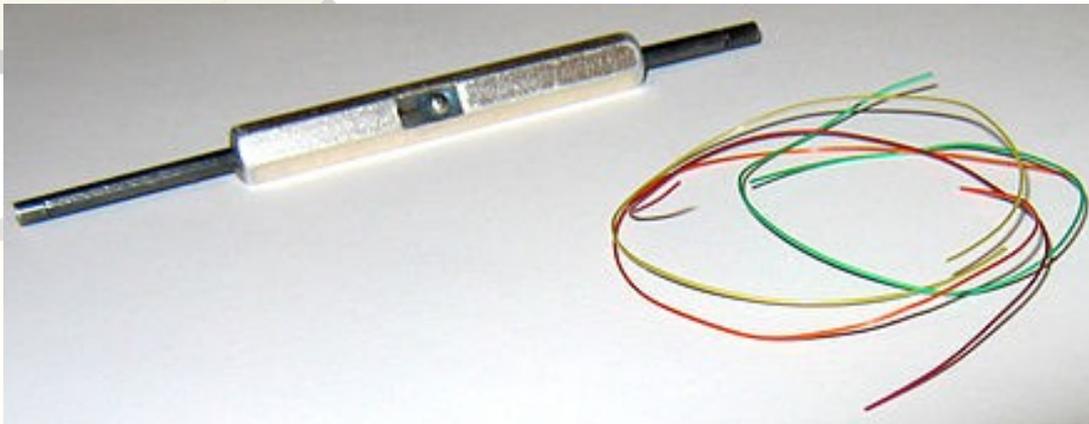
- Similar a la perfboard, pero los agujeros están conectados entre si en líneas.



- Sistemas de prototipado de sistemas electrónicos
  - ◆ **Existen otras alternativas en este tipo de placa de prototipado:**

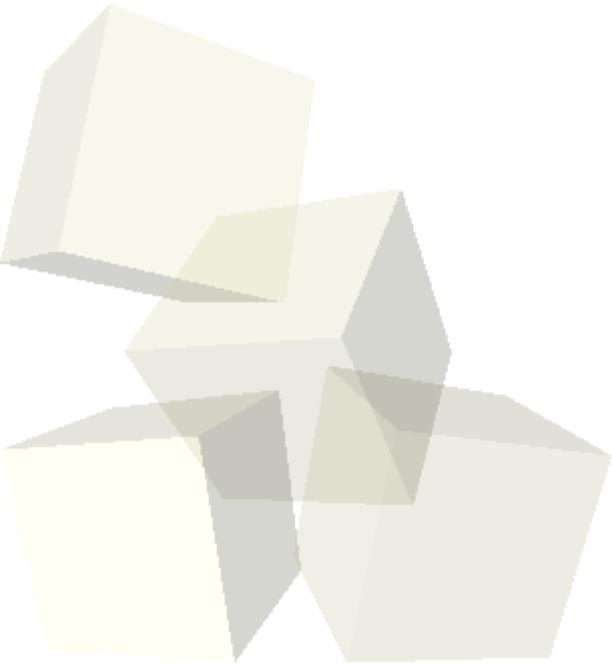


- Prototipado de sistemas electrónicos
  - ♦ Técnica de **ensamblaje sin soldadura**: **wire wrap**
    - Es una técnica para conectar entre si diferentes pines de componentes sin soldarlos sino a través de un enrollamiento del cable.
    - Se puede realizar de manera manual y automática.
    - Se puede emplear una placa perfboard para la colocación de componentes y el sistema wire wrap para su ensamblaje.
    - Hoy en día esta en desuso. Sin embargo es una técnica muy fiable

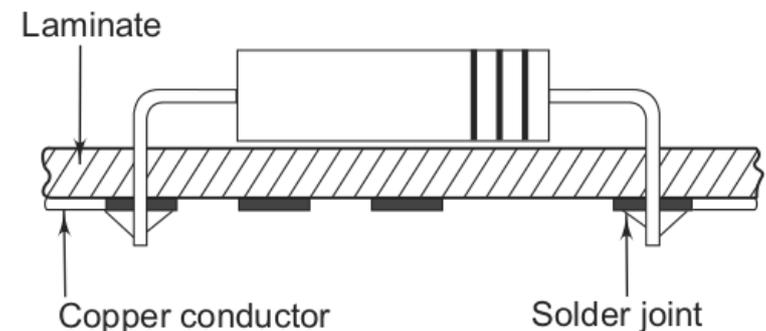




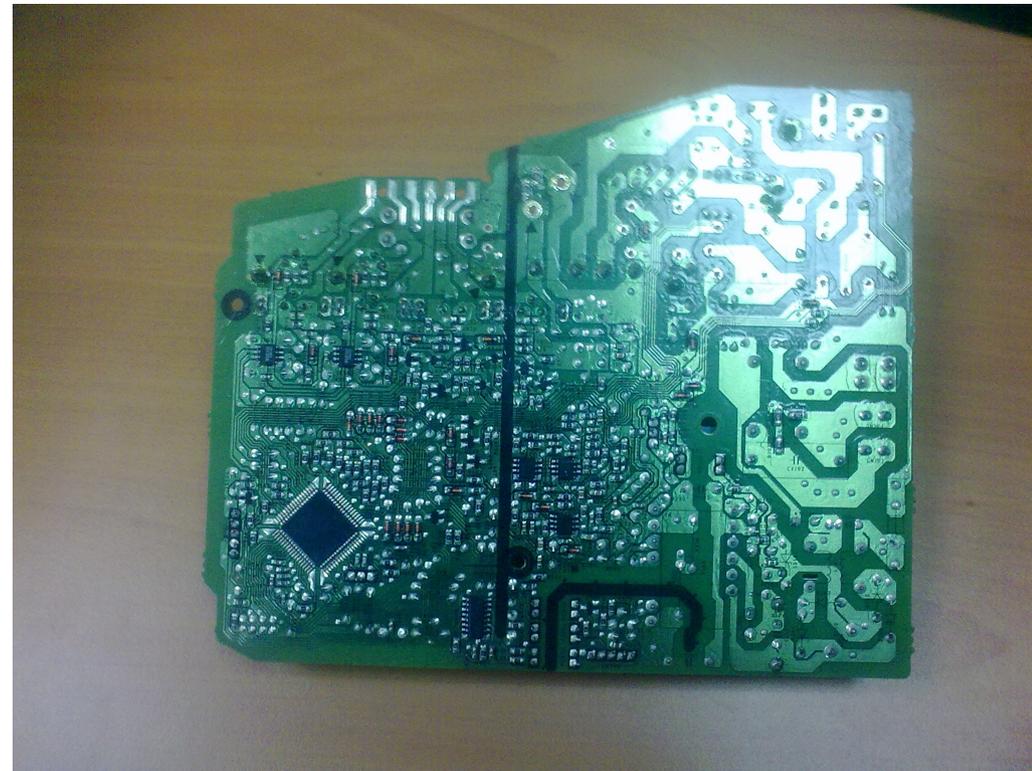
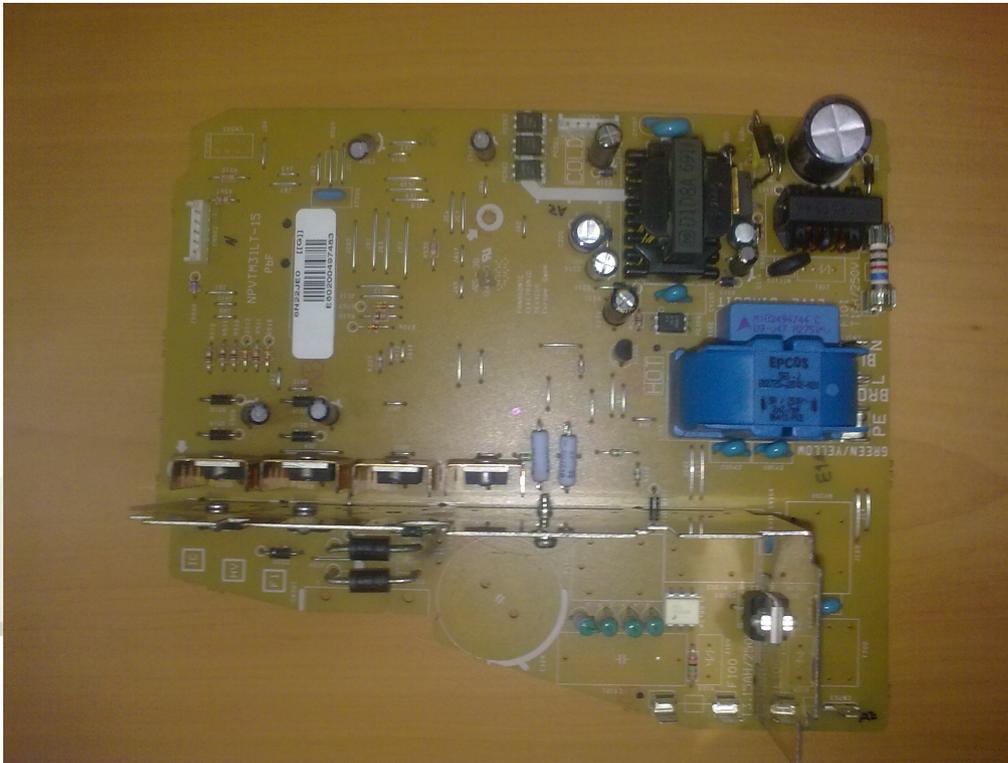
- ¿Que es un PCB?
- Alternativas a la PCB: sistemas de prototipado
- **Clasificación de los PCB**
- Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico



- En general, la clasificación de PCBs se hace en función de las **capas de interconexión de elementos** y la presencia o no de **agujeros metalizados (vias)**
  - ♦ **Single-sided Printed Circuit Boards (PCB de una cara)**
    - La interconexión de elementos se hace en una sola cara del substrato, la cara de soldadura (solder side). Los componentes se colocan en la otra cara del substrato.
    - Se emplean principalmente en casos de circuitos simples y cuando es necesario mantener los costes de fabricación al mínimo. Suponen un alto porcentaje del volumen total de pcbs
    - Las placas de una sola cara se fabrican en su mayoría por el método 'impresión y grabar' o por la técnica de 'troquelada' mediante el uso de un troquel que lleva una imagen del patrón de cableado
    - Si no es posible trazar todas las pistas en una cara se puede utilizar cables sueltos para algunas pistas, siempre que su número sea reducido

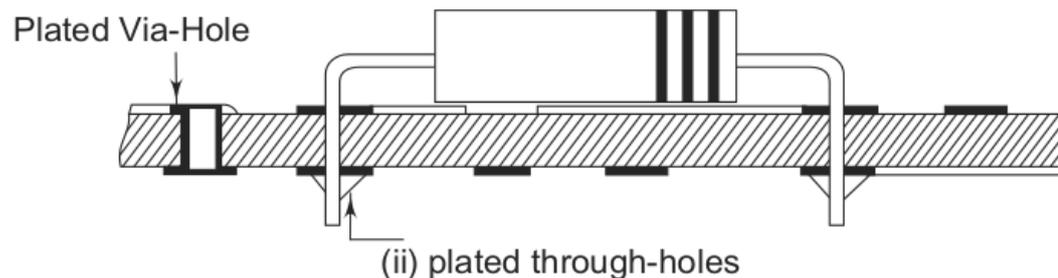
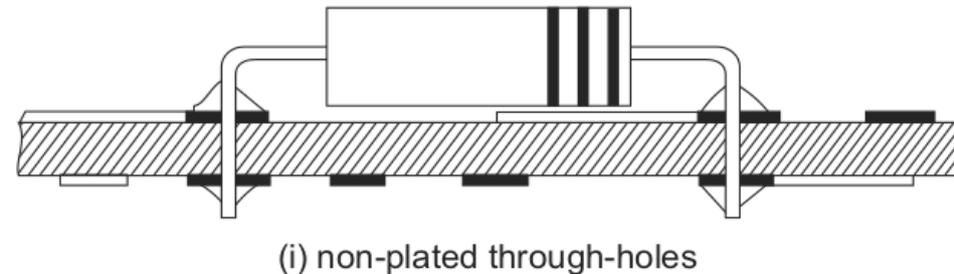


- Ejemplo aparato con Single-side PCB: Termomix



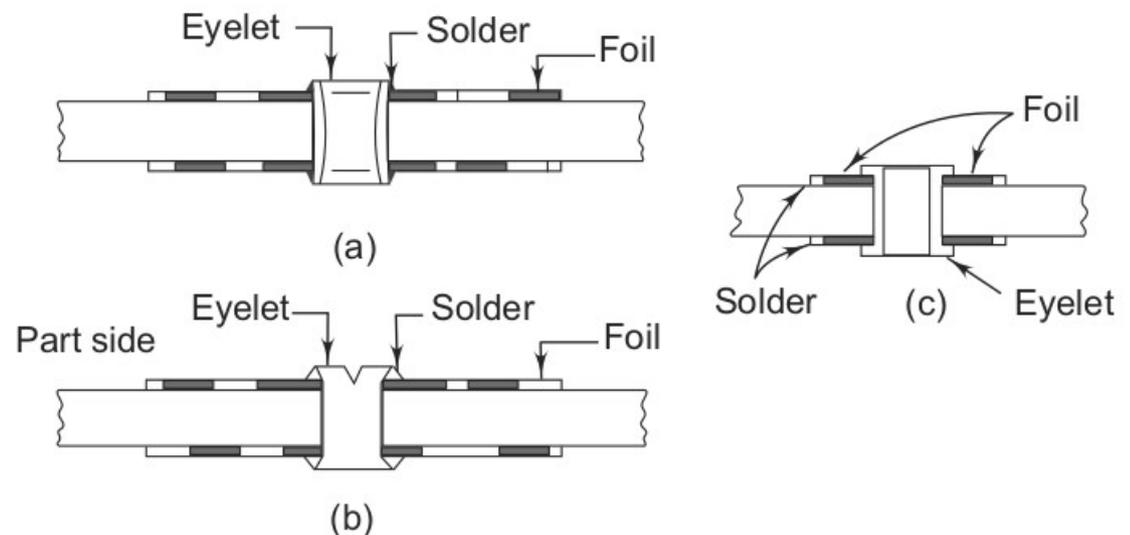
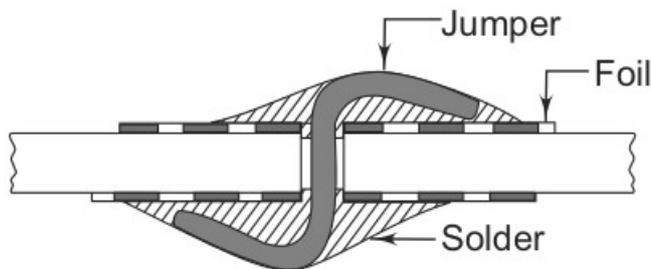


- **Double-sided Printed Circuit Boards (PCB de dos caras)**
  - La interconexión de elementos se hace en las dos caras del substrato. Generalmente, una cara es la cara de soldadura y la otra de componentes
  - Se emplean principalmente en casos de circuitos de mayor densidad de componentes y pistas que las pcbs de una cara
  - **PCBs double-side con PTH** (Plated through-hole connection, metalización a través de los agujeros)
  - **PCBs double-sided sin PTH**



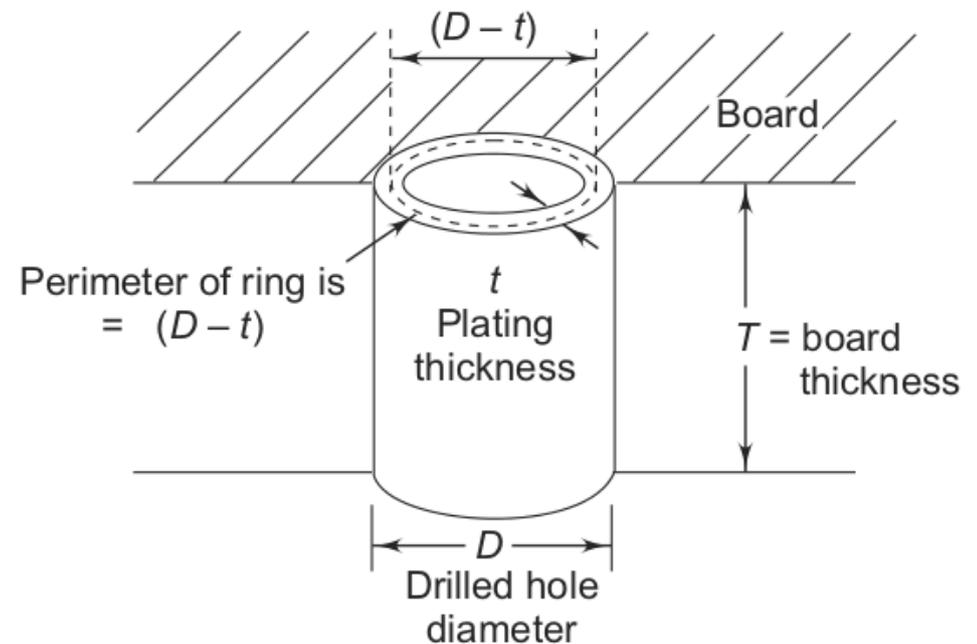
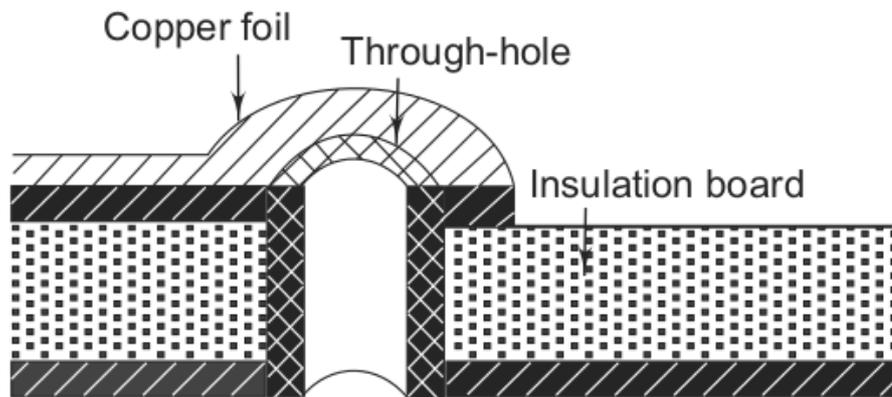
## ■ Double-sided sin PTH

- La circuitería de ambas caras se realiza bien soldando los componentes en ambas caras o bien con cables a través de agujeros o con algún tipo de ojales (“eyelets”)
- Debido a que no se hace la metalización de los agujeros esta tecnología es significativamente mas barata que la otra
- Es aconsejable minimizar el número de componentes con soldaduras en ambas caras: para facilitar el cambio y por la dificultad de soldadura en la cara de componentes.



## ■ Double-sided con PTH

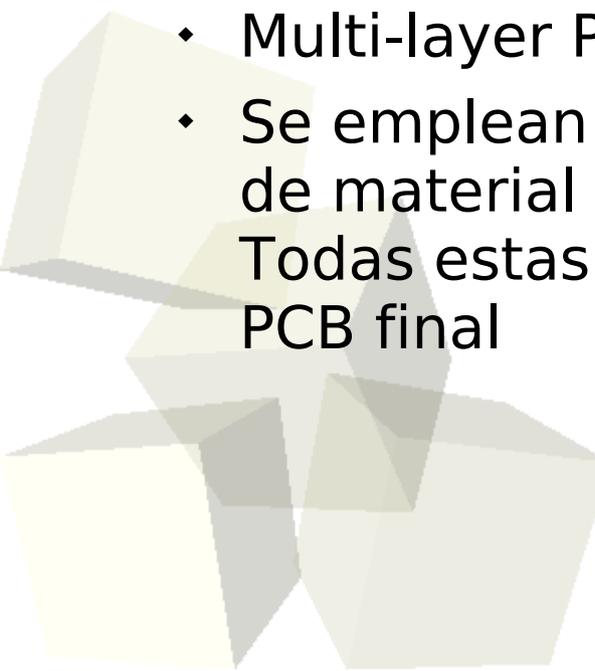
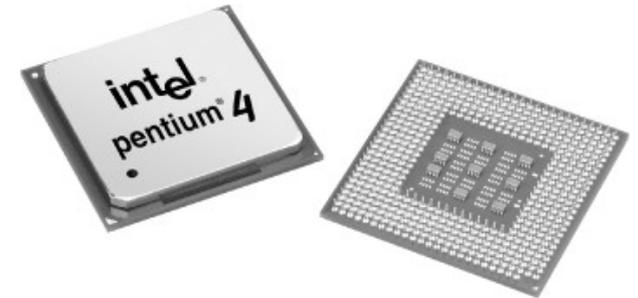
- La circuitería de ambas caras se interconecta con la metalización de las paredes de los agujeros en el substrato.
- Hoy en día esta tecnología es la mas ampliamente usada cuando el circuito es complejo y de alta densidad





## ■ Multi-layer PCB (PCB multicapa)

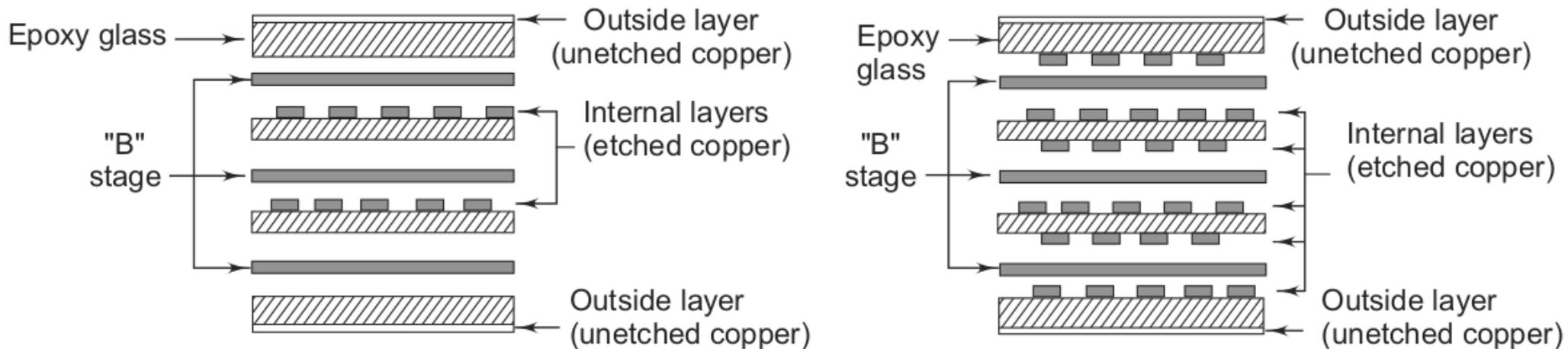
- Los circuitos VLSI actuales han aumentado drásticamente la densidad de empaquetado así como el número de líneas de interconexión debido al enorme número de pines in/out de muchos chips
- Problemas de interconexión:
  - Ruido, cross-talk, capacidades parásitas, caídas de tensión, etc
- Necesidad de mas de dos capas de interconexión
- Multi-layer PCB: PCB con mas de dos capas de interconexión
- Se emplean laminas de substrato mas finas junto con capas de material aislante conocidos como 'prepreg' ("B stage"). Todas estas laminas son prensadas entre si para formar el PCB final





## ■ Multi-layer PCB:

- La interconexión de capas se hace mediante la técnica de agujeros metalizados (PTH).
- Se han llegado a fabricar PCBs de hasta 50 capas



- Las PCB multicapas han facilitado la reducción del tamaño, peso y volumen de los sistemas en global al permitir una mayor densidad de empaquetado e interconexión

## ■ Multi-layer PCB, áreas de aplicación :

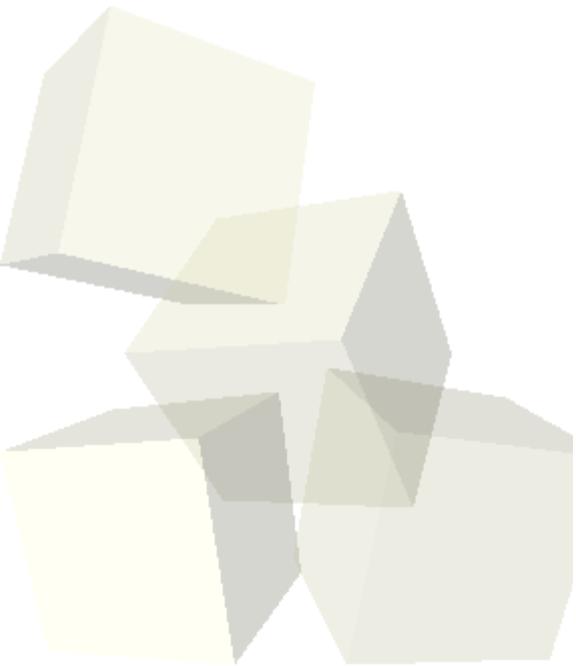
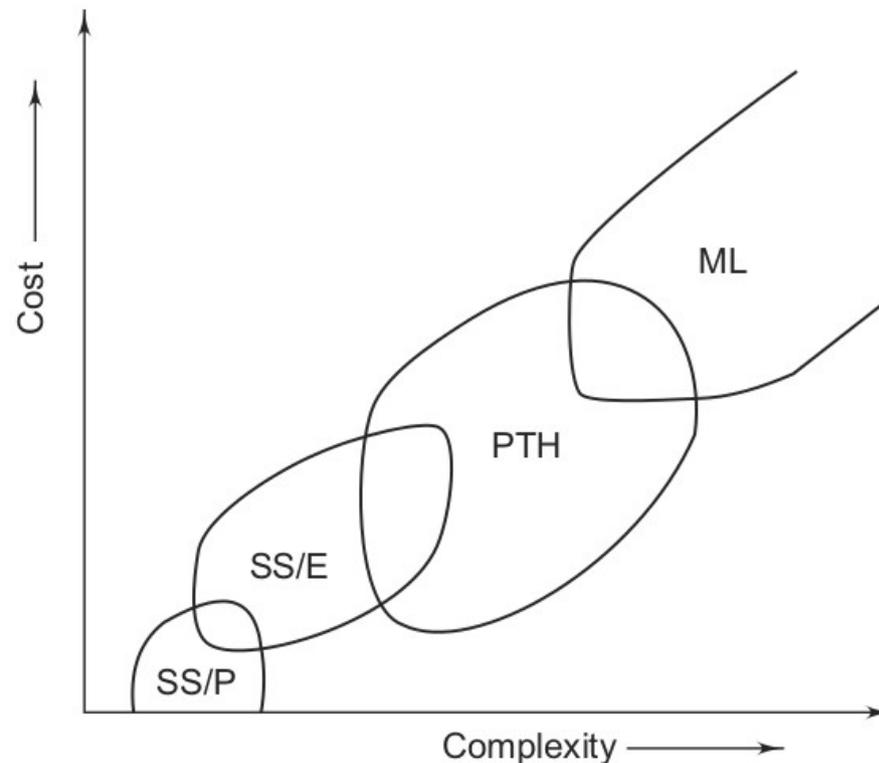
- Cualquier área donde reducir el volumen y peso sean razones principales, como los sistemas militares, o las aplicaciones del espacio
- Cuando la complejidad del sistema de interconexión así lo requiera
- Cuando la integridad de las señales es fundamental para un buen funcionamiento (para reducir distorsiones y/o tiempos de retraso)
- Cuando se necesite blindar muchas señales del acoplo a la fuente de polarización. Es habitual en multi-layer dejar la interconexión de la fuente de alimentación en capas asiladas del resto de interconexiones
- Cuando se necesite disipar calor. Las interconexiones se suelen colocar en capas internas y las externas se utilizan como capas para disipar correctamente el calor



## ■ Multi-layer PCB:

- ♦ Gracias al avance en la tecnología de laminación, la tecnología multi-capas de 4 o 6 capas se ha abaratado lo suficiente como para poder aplicarla a multitud de productos de aplicaciones comunes en el mundo de electrónica

## ■ Relación entre coste y complejidad de las PCBs





## ■ Avance de la tecnología:

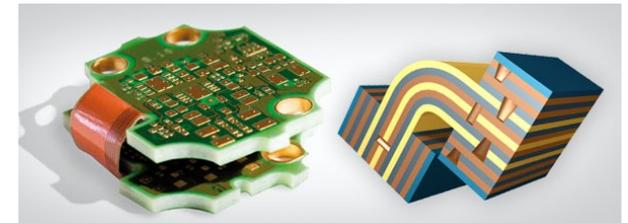
### ◆ PCBs flexibles

- La utilización para los substratos de las placas de PCBs de material flexible como poliéster o poliamida están dando lugar a una nueva innovación en el mundo de las PCBs, las PCBs flexibles
- Existen diferentes alternativas respecto de la flexibilidad en una PCB <http://www.ats.net/products-technology/product-portfolio/flexible-rigid-flexible-pcb/>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Flexible\\_electronics](https://en.wikipedia.org/wiki/Flexible_electronics)

- **Tecnología Rígida Flexible PCB (Rigid-Flex PCB):** Combinan PCB rígidas con tecnologías flexibles. La idea es sustituir los cables de conexión y conectores entre distintas placas

- **Tecnología Flex printed circuits (FPC):**

Son circuitos impresos en materiales flexibles. La idea fundamental es poder adaptar el circuito impreso al volumen disponible en el producto.

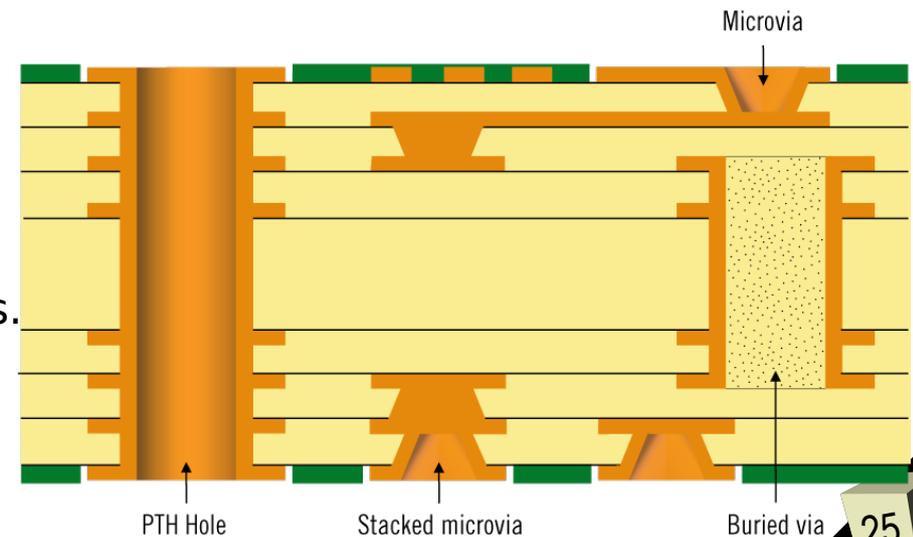




## ■ Avance de la tecnología:

### ◆ HDI PCB (High Density Interconnect -HDI- Printed Boards)

- IPC-2226 define HDI como una placa de circuito impreso con una densidad de pistas por unidad de superficie mayor a las de las placas de circuito impreso (PCB) convencionales. Poseen líneas y espacios entre ellas  $\leq 100 \mu\text{m}$  / 0.10 mm, vías más pequeñas ( $<150 \mu\text{m}$ ), pads de captura  $< 400 \mu\text{m}$  / 0.40 mm y una densidad del pad de conexión mayor ( $> 20 \text{ pads/cm}^2$ ) que las empleadas en la tecnología convencional de PCB.
- La diferencia principal entre la tecnología Multicapas Standard y HDI es el uso de vías PTH (standard) o microvias (HDI)
- Microvia: Son vías ciegas (blind via) o enterrados (buried via), que son  $<0,15 \text{ mm}$  de diámetro y tienen diámetros de pad, que son  $<0,35 \text{ mm}$ .
  - Microvia ciega (blind): aquella que va desde una capa exterior a una interior
  - Microvia enterrada (buried): va desde una capa interior a otra interior
- Debido al tamaño de la vía se emplea tecnología laser para el taladrado en vez de un taladro mecánico con brocas.

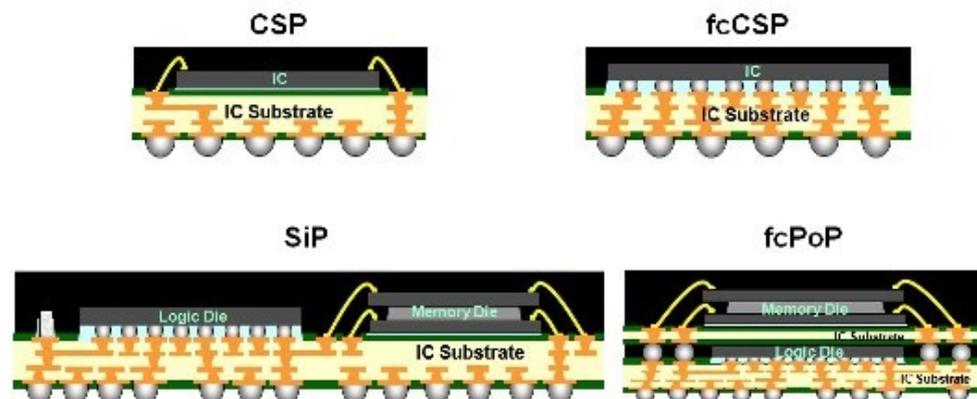




## ■ Avance de la tecnología:

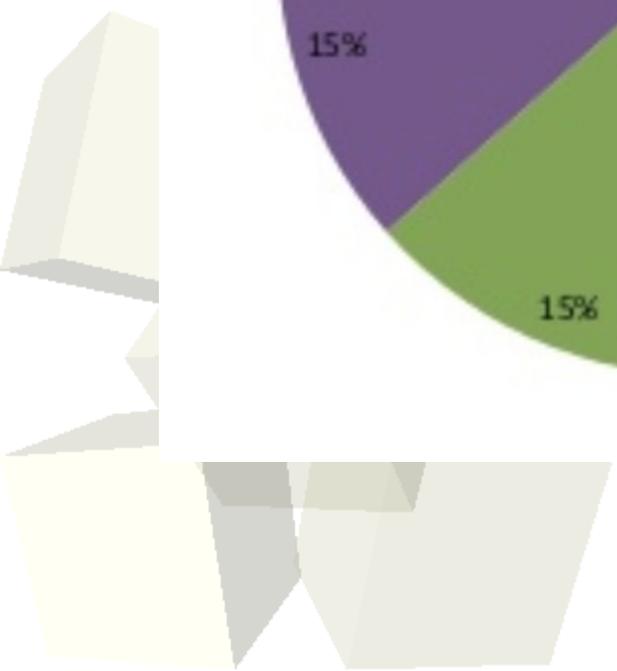
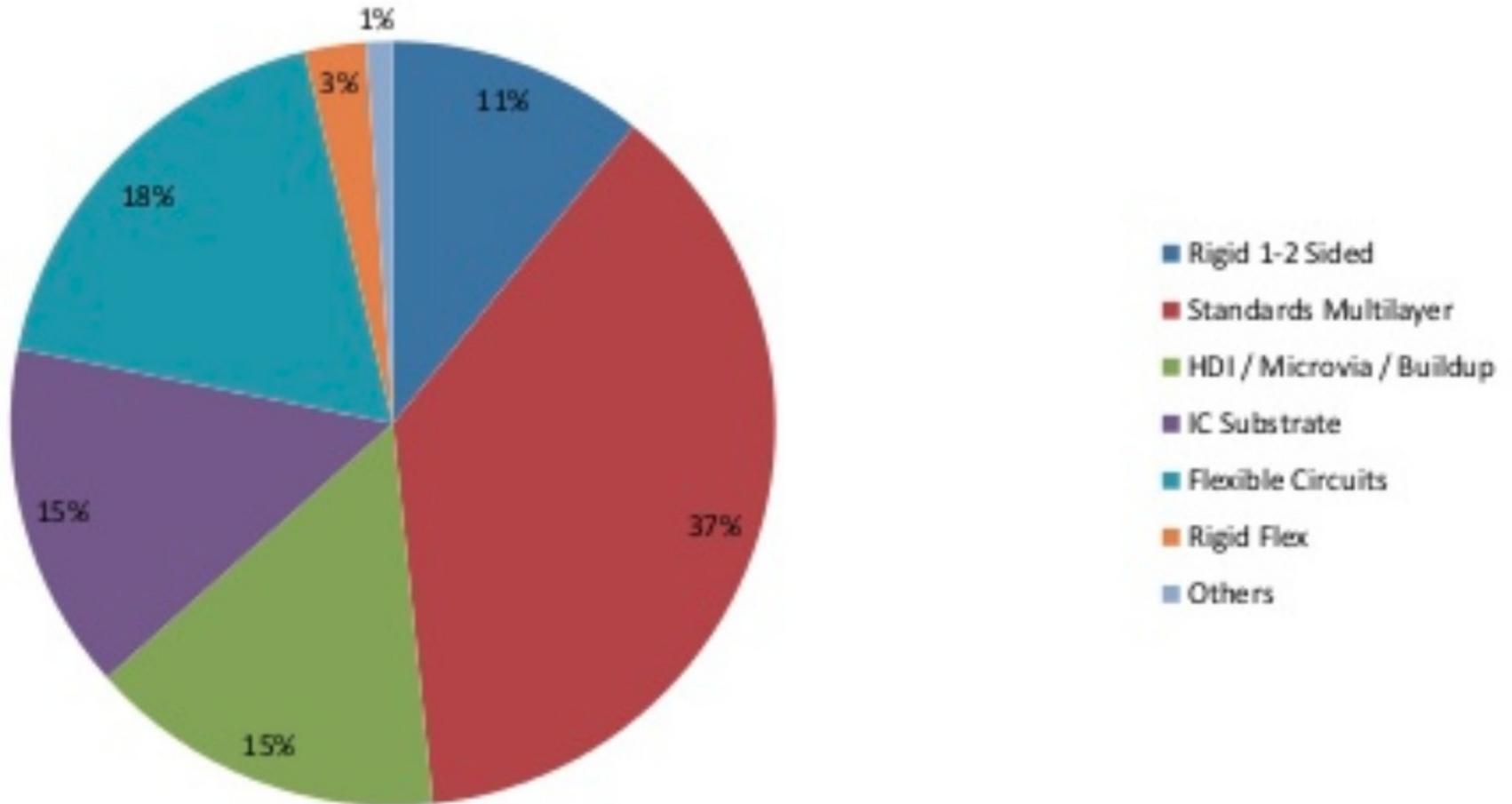
### ♦ IC substrate PCB

- Las tecnologías más avanzadas en la industria de PCB. Se utilizan para transmitir señales de CIs a PCB
- Es una tecnología a medio camino de los CI y de la fabricación de PCB
- De tamaño pequeño, peso ligero y de alta densidad
- ICS es considerado como el componente de nivel superior en el proceso de encapsulado de chips
- En función de los diferentes métodos de encapsulado, se pueden distinguir:
  - CSP: Chip Scale Package
  - FcCSP: Flip Chip CSP
  - SIP: System in Package
  - FcPoP: Package on Package





## Global PCB Market: Based on Technology





- ¿Que es un PCB?
- Alternativas a la PCB: sistemas de prototipado
- Clasificación de los PCB
- **Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico**
  - ◆ **Fase de Diseño**
  - ◆ **Fase de Fabricación**
  - ◆ **Fase de ensamblaje**
  - ◆ **Fase de Test**

## ■ Aclarando ideas:

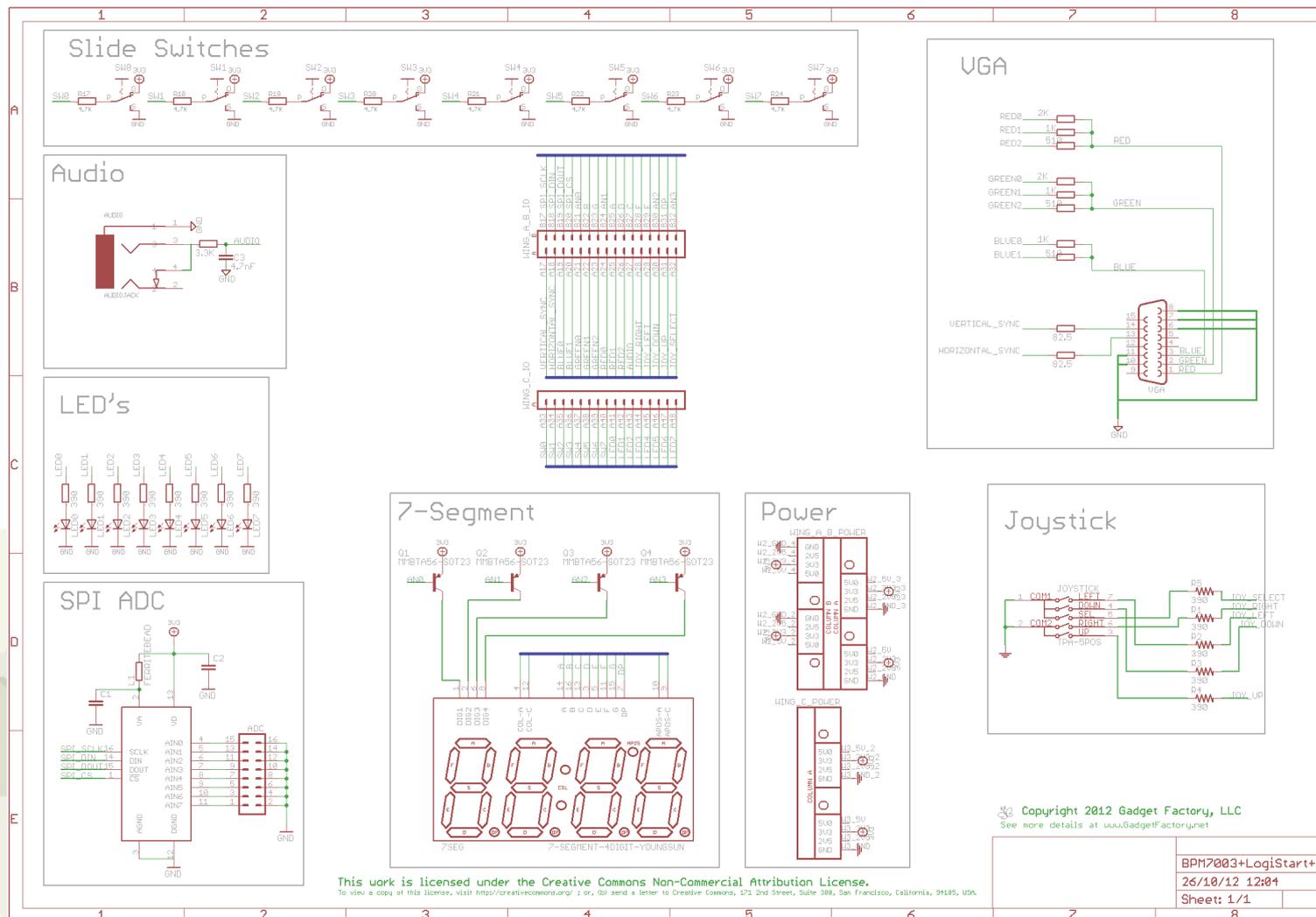
- ♦ Proceso de “Creación” de un Sistema Electrónico a grandes rasgos:
  - **Paso 1:** Especificaciones del sistema
  - **Paso 2:** Elección de la tecnología que se va a emplear
  - **Paso 3:** Diseño del sistema electrónico
    - Se sigue alguna metodología específica de la tecnología que se va a emplear
  - **Paso 4:** Verificación del sistema electrónico
    - La metodología de diseño suele incluir métodos de verificación generalmente a través de procesos de simulación del sistema
  - **Paso 5:** Prototipado del sistema electrónico
    - Para comprobar el sistema se suele implementar en un prototipo. Para ello se emplean placas de desarrollo con la tecnología con la que se quiere diseñar el SE. En muchos casos habrá que añadir HARDWARE a través de algún sistema de prototipado (Regleta, Tarjeta perforado, miniPCB etc....)
  - **Paso 6: IMPLEMENTACIÓN EN PCB DEL SISTEMA ELECTRONICO**
    - Fase Final del desarrollo en la que se implementa en una PCB específica el SE.

- Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico
  - ♦ Fase de Diseño:
    - En esta fase se va a crear el “Layout” o “Artwork” de la PCB del SE
  - ♦ Fase de Fabricación:
    - Es la fase en la que se fabrica la PCB y queda lista para añadirle los componentes
  - ♦ Fase de ensamblaje:
    - En la que se ensamblan los componentes electrónicos a la PCB
  - ♦ Fase de Test:
    - En esta fase se realiza la comprobación definitiva de que el SE cumple las especificaciones del mismo

# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Diseño

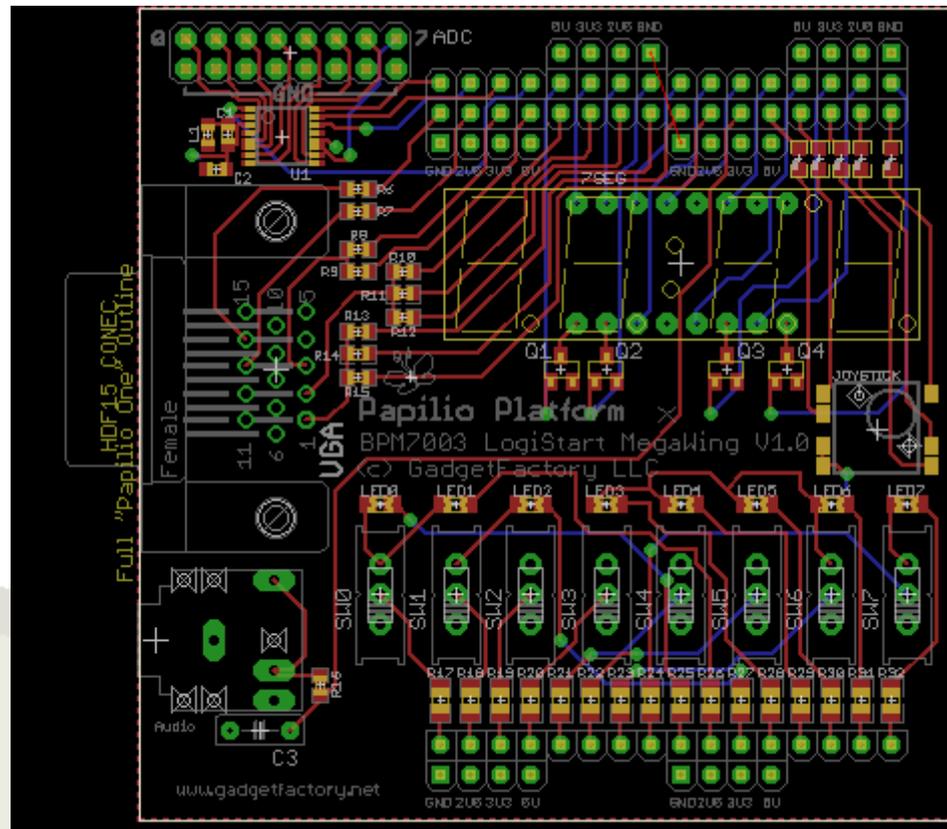
## ■ Fase de Diseño:

→ **Esquemático:** es el diagrama del circuito electrónico donde aparecen los diferentes componentes electrónicos y la interconexión entre ellos



- ◆ **Fase de Diseño:**

- **“Layout”** (dibujo físico de la placa -*artwork generation*): Es el dibujo donde aparecen los componentes electrónicos con sus huellas a tamaño real (“footprint”) en la posición que van a ocupar en la PCB final (colocación de componentes- placed-) y los caminos de interconexión entre pines (interconexionado-routing-)



## ■ Fase de Diseño:

- ♦ Hoy en día el procedimiento de diseño se hace mediante herramientas CAD adecuadas a este propósito. Existen muchas herramientas para realizar el diseño de la PCB, comerciales y abiertas o de uso gratuito, como por ejemplo:
  - **ALTIUM** (<http://www.altium.com/>) : herramienta comercial. Alto coste de licencia. Quizás la más usada en entornos profesionales.
  - **Design Spark** (<http://www.rs-online.com/designspark/electronics/>) : Herramienta gratuita. Proporcionada por RS, multinacional dedicada a la venta de componentes electrónicos
  - **EAGLE** (<https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>): Herramienta multiplataforma, adquirida en Junio de 2016 por Autodesk. En la versión de 2017 la opción premium (sin restricciones) es gratuita para el nivel educativo (profesores/estudiantes)

## ■ Fase de Diseño:

- ♦ Herramientas que veremos en clase:

→ **KICAD** (<http://kicad-pcb.org/>):

- Es un conjunto de herramientas software abiertas (OPEN SOURCE) para la automatización del diseño electrónico.
- <http://kicad-pcb.org/about/kicad/>

→ **EASYEDA** (<https://easyeda.com/>):

- Herramientas de diseño y simulación de PCB. Se puede usar en un navegador. Con servicio de fabricación de PCB (JLPCB)

→ **Comparación de herramientas CAD de diseño PCB:**

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_EDA\\_software](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_EDA_software)

## ■ Fase de Diseño:

- ♦ Los procesos básicos que hay que realizar en las diferentes herramientas de diseño de PCBs son comunes:
  - **Creación de librerías de componentes.** Antes de poder realizar un esquemático y posterior layout de la PCB es necesario asegurar que se tienen todos los componentes en alguna librería con su visión de símbolo (esquemático) y de huella (footprint- para layout). Si no se dispusiese de todos los componentes será necesario crear una librería propia y realizar el diseño de símbolo y huella de cada componente que falte
  - **Diseño del esquemático.** A partir del diseño del sistema electrónico, y con los componentes de las librerías adecuados en su visión de símbolo, se realiza el diseño del esquemático. La mayoría de herramientas permite realizar un chequeo de reglas eléctricas (**ERC- Electric Rules Check**) para detectar posibles errores importantes en el diseño

## ■ Fase de Diseño:

- **Diseño del Layout (board)**. A partir del esquemático, las herramientas generan una primera visión de la placa, donde aparecen todos los componentes, en su visión de huella, y las conexiones existentes entre los pines de los componentes. Para diseñar la *Board* hay dos pasos importantes:
  - Colocación de componentes: sobre el área que se disponga para la PCB se deben colocar cada uno de los componentes. Proceso manual
  - Rutado de Pistas: se trazan las pistas de la PCB. La mayoría de las herramientas tienen autorouter (proceso automático). La experiencia dice que, solo en casos muy simples funciona bien. La mayoría de PCBs se trazan manualmente.
- Las herramientas de diseño layout suelen incorporar un chequeador de reglas de diseño (**DRC- Design Rule Check**)

## ■ Fase de Diseño:

→ **Generación de GERBERS:** La información que se pasa al fabricante en si de la PCB es a través de unos ficheros que se denominan GERBERS. Es un formato especial de ficheros con información geométrica de las diferentes capas de la PCB:

- Gerber de la solder side
- Gerber de la CMP side
- Gerber de los taladros usados
- Gerber del posicionamiento de agujeros (drills)
- Gerber de la dimensión de la PCB
- .....

- **Sobre el formato GERBER:** ([https://en.wikipedia.org/wiki/Gerber\\_format](https://en.wikipedia.org/wiki/Gerber_format))
  - Formato de fichero ASCII con información de imágenes binarias en 2D
  - Se dice que es el formato estándar para PCBs
  - Se suele usar un fichero por capa del diseño PCB
  - Existen tres estándares de ficheros GERBER:
    - **Standar Gerber o RS-274-D** --> obsoleto desde 2012
    - **Gerber X o RS-242X** --> nuevo estándar gerber desde 2012
    - **Gerber X2** --> Standard desde 2014, compatible con gerber x pero añade en cada fichero metadatos útiles sobre todo en el proceso de test.
- **Formato Excellon:** ([https://en.wikipedia.org/wiki/Excellon\\_format](https://en.wikipedia.org/wiki/Excellon_format))
  - Formato ascii con información para realizar el taladrado de la PCB
  - Se les suele llamar de forma más correcta “NC drill file” (NC Numeric Control)

- Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico
  - ♦ ~~Fase de Diseño:~~
    - ~~En esta fase se va a crear el “Layout” o “Artwork” de la PCB del SE~~
  - ♦ **Fase de Fabricación:**
    - **Es la fase en la que se fabrica la PCB y queda lista para añadirle los componentes**
  - ♦ Fase de ensamblaje:
    - En la que se ensamblan los componentes electrónicos a la PCB
  - ♦ Fase de Test:
    - En esta fase se realiza la comprobación definitiva de que el SE cumple las especificaciones del mismo

## ■ Fase de Fabricación:

- Características y tipo de Sustratos empleados
- Técnicas de traslado del patrón de circuito a sustrato
  - Serigrafía, fotograbado, fresado, Proceso químico eliminación cobre
- Últimas fases: mascara antisoldante o de soldadura, metalización de pads y/o vias, silk-screen

## ■ Fase de Fabricación:

### ◆ Características de los sustratos

#### - Mecánicas:

- Suficientemente rígidos para mantener los componentes; Fácil de taladrar; Sin problemas de laminado.

#### - Químicas:

- Metalizado de los taladros; Retardante de las llamas (FR); No absorbe demasiada humedad.

#### - Térmicas:

- Disipa bien el calor; Coeficiente de expansión térmica bajo para que no se rompa; Capaz de soportar el calor en la soldadura; Capaz de soportar diferentes ciclos de temperatura.

#### - Eléctricas:

- Constante dieléctrica baja para tener pocas pérdidas a altas frecuencias; Punto de ruptura dieléctrica alto.

- ♦ **Características básicas de los sustratos parte no conductora:**
  - Grosor variable entre 0.8 y 3.2mm, típico de 1.6mm (lamina de 1/16 inches).
  - Temperatura de transición del vidrio normalmente inferior a 170°C.
  - Aguante del laminado a picos de temperatura mientras ocurre la soldadura.
  - Coeficiente de expansión térmica razonable y constante.
  - Constante dieléctrica: Pérdidas a altas frecuencias.

- **Características básicas del material conductor:**
- Material conductor empleando principalmente: Cobre
- Las láminas de cobre suelen tener diferente grosor (altura para las pistas de alimentación). Suele estar en orden de decenas de micras. Valor estándar de 1 onza:
  - . 1onza =  $35\mu\text{m}$
  - . Otros valores 1/2 onza, 2 onzas, 3 onzas
- Las alternativas al cobre son el aluminio y el níquel, aunque en realidad son poco comunes.

# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Fabricación

## ■ Sustratos empleados:

- **Resina Fenólica y fibra de papel (baquelita, pertinax):** Bajo costo, pobres características mecánicas y eléctricas. Orden de MHz.
- **Resina Epoxi y tela de vidrio (FR4):** Costo razonable, muy buenas características mecánicas y eléctricas. Orden de Centenares de MHz.
- **Politetrafluoroetileno (PTFE):** Costo elevado, muy buenas características eléctricas y mecánicas pero requiere soporte mecánico adicional. Orden de GHz.
- **Alúmina:** Material cerámico de costo elevado, muy buenas características eléctricas, no puede ser maquinado con facilidad. Orden de GHz.
- **Kapton:** Polímero de altísima flexibilidad y duración ante reiteradas flexiones. Se emplea en la fabricación de circuitos flexibles.
- Ejemplo de material base de un fabricante de PCB:

<https://www.lab-circuits.com/es/materiales>

<http://www.eurocircuits.com/pcb-prototype-and-small-series-services-offered-by-eurocircuits-made-in-europe>

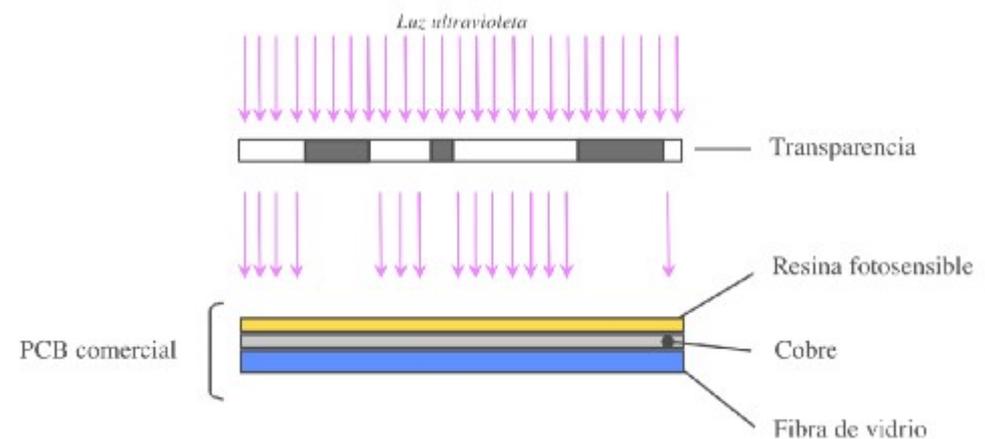
## ■ Fase de Fabricación:

- ♦ Técnicas de traslado del patrón de circuito a sustrato
  - **Impresión serigráfica:** se utilizan tintas especiales resistentes al grabado para marcar el patrón en la capa de cobre. La pintura se puede aplicar con plantillas o con un plotter específico para PCBs. Posteriormente se utilizan productos químicos para eliminar el cobre sobrante, no cubierto por la tinta.
  - Otra modalidad es imprimir con tintas conductoras sobre un sustrato

# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Fabricación

## • Técnicas de traslado del patrón de circuito a sustrato

- **Fotograbado**: Esta técnica utiliza una transparencia del patrón en negativo, para transferir el patrón a la placa utilizando luz UV (Ultravioleta). Este tipo de grabado requiere placas fotosensibles, placas que tienen la capa de cobre cubierta con una resina fotosensible, para que se transfiera la transparencia del patrón a la placa utilizando. En las zonas en las que la transparencia deje pasar la luz UV, la resina reaccionara con ella.
- **Por revelado**, la resina desaparecerá de la placa menos en las zonas del patrón aplicado. Posteriormente, por ataque químico se elimina el cobre sin resina
- **Insoladora**: caja que dispone de varios tubos fluorescentes de luz UV separados de la superficie por un cristal esmerilado



# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Fabricación

- Técnicas de traslado del patrón de circuito a sustrato
  - Fresado: Es una máquina tipo plotter que hace un “dibujo” sobre la placa empleando fresas que eliminan el cobre de la misma.
  - <http://www.youtube.com/watch?v=4YD4hx-lyno>



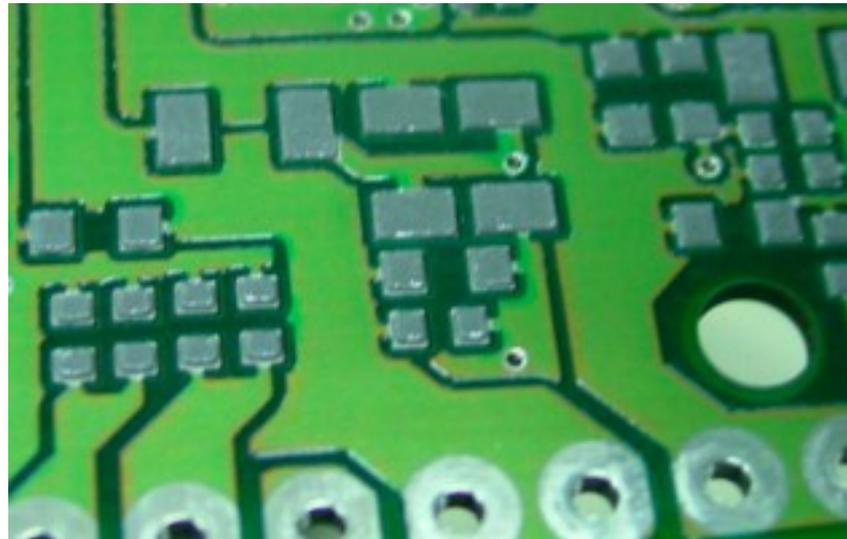
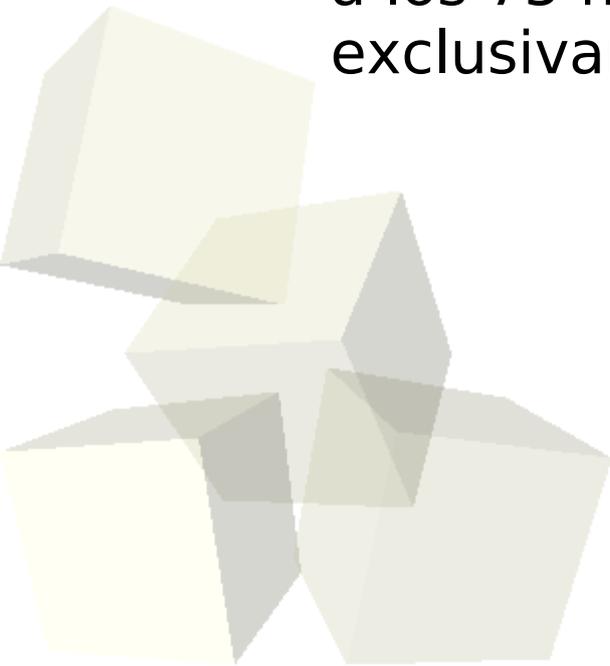
# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Fabricación

- Técnicas de traslado del patrón de circuito a sustrato
  - **Impresión en material termosensible:** Esta técnica consiste en aplicar calor para transferir el patrón desde un material termosensible a la placa virgen.
    - Esta es una de las técnicas de fabricación casera de PCBs mas usadas.
  - Se imprime el diseño del circuito sobre un papel fotográfico con una impresora láser o bien una fotocopiadora. Luego mediante calor el tóner de la impresión se transfiere a la placa. En este método la impresión tiene que ser de buena calidad y el calor debe ser aplicado de forma uniforme. El cobre no cubierto se elimina con ataque químico.



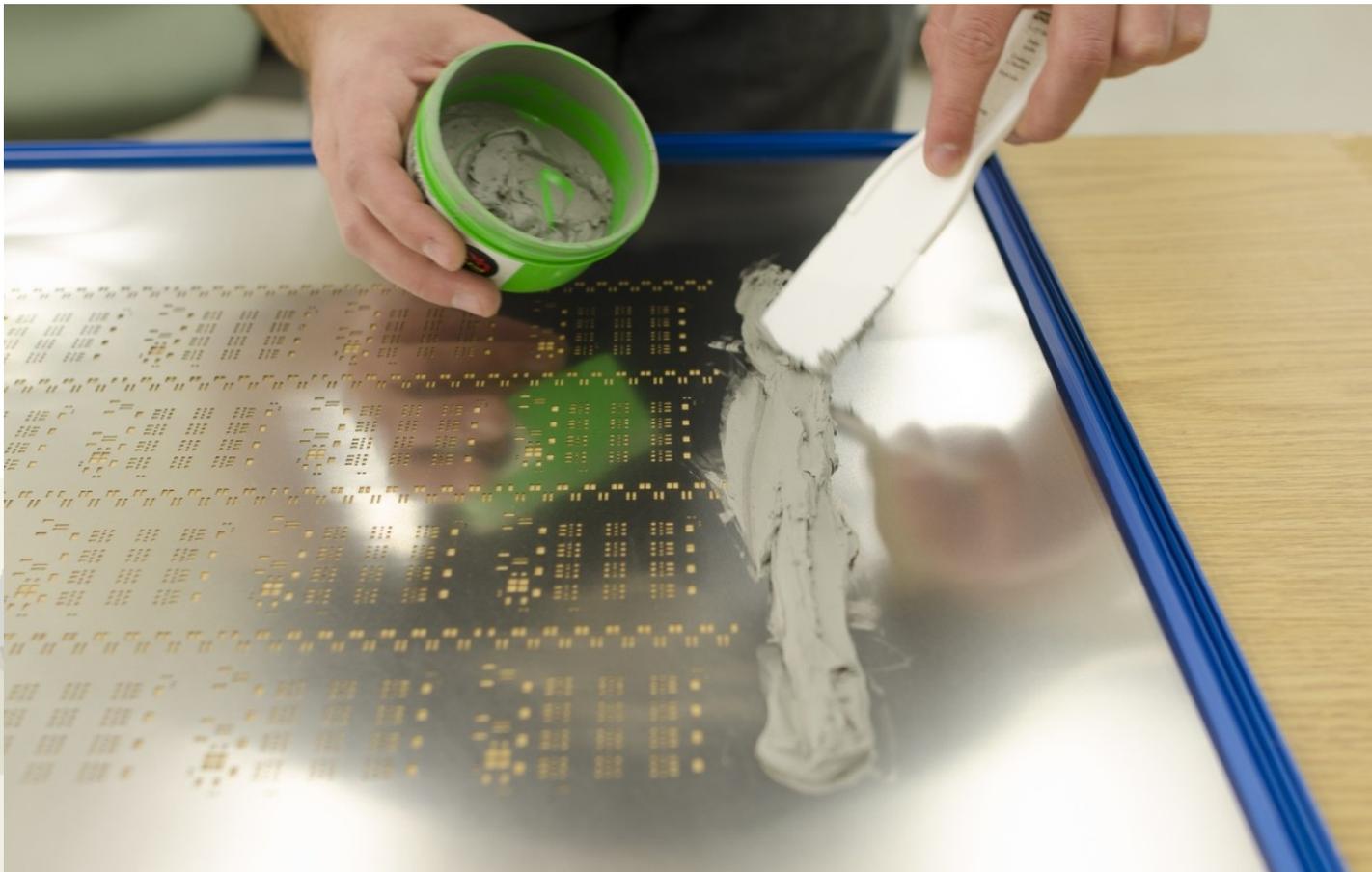
- ♦ **Fase de Fabricación: Proceso químico eliminación cobre**
  - Menos la técnica de fresado, el resto terminan con un **ataque químico ("etching")** para eliminar el cobre sobrante.
  - Para ello se utilizan ácidos o corrosivos como el Percloruro Férrico, el Sulfuro de Amonio, el Ácido Clorhídrico mezclado con Agua y el Peróxido de Hidrógeno
  - No hay que olvidar que tras el ataque químico, viene el taladrado (drilling):
    - Para los procesos químicos de eliminación de cobre es necesario realizar este proceso que en muchos casos puede llegar a ser manual.
    - Las máquinas de fresado hacen el taladrado automáticamente con brocas adecuadas. El resto de procesos pueden requerir un taladrado manual.

- ♦ **Fase de Fabricación: Otras capas a aplicar sobre PCB**
  - **Metalización o pasta de soldadura:** Tiene dos funciones básicas: facilitar la soldadura de los componentes de montaje superficial; y hacer el proceso de metalización de las vías (agujeros que interconectan pistas de distintas caras).
  - En este proceso se añade una capa que se compone de una aleación mayoritariamente de estaño microgranulado, formando esferas que pueden ir de los 20 mm a los 75 mm de diámetro. Esta capa se aplica exclusivamente a los pads de soldadura y a las vías



# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Fabricación

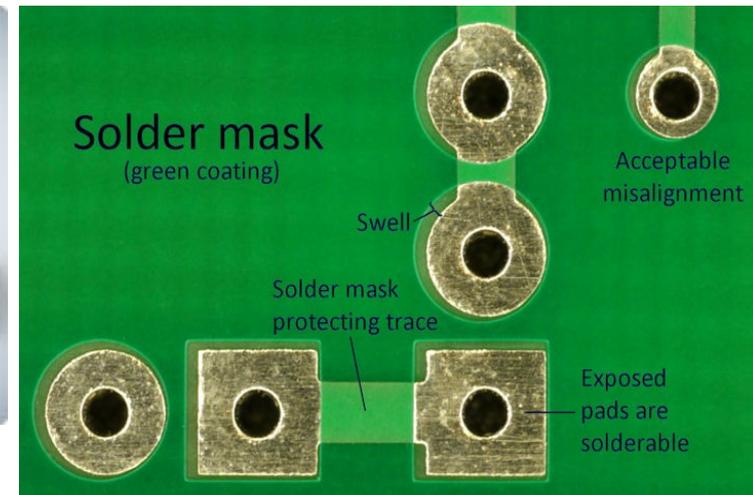
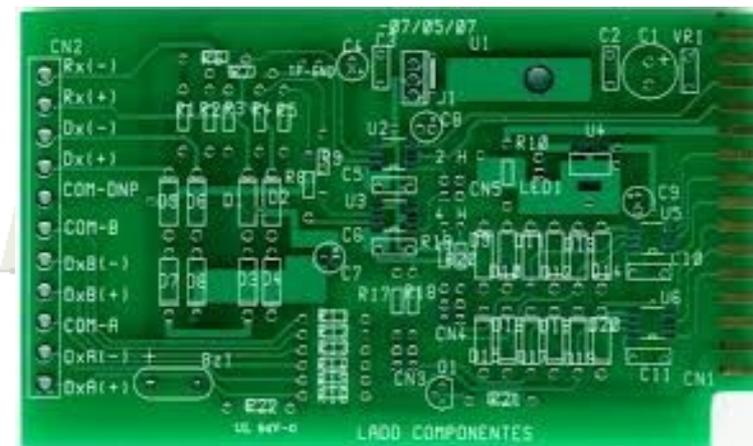
- ♦ **Fase de Fabricación:** Metalización o pasta de soldadura:
  - **STENCIL:** Es la máscara que se superpone a la placa dejando al descubierto los pads/vias que deben metalizarse.
  - Suelen estar hechos en acero inoxidable o níquel.



# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Fabricación

## ♦ Fase de Fabricación: Últimas fases

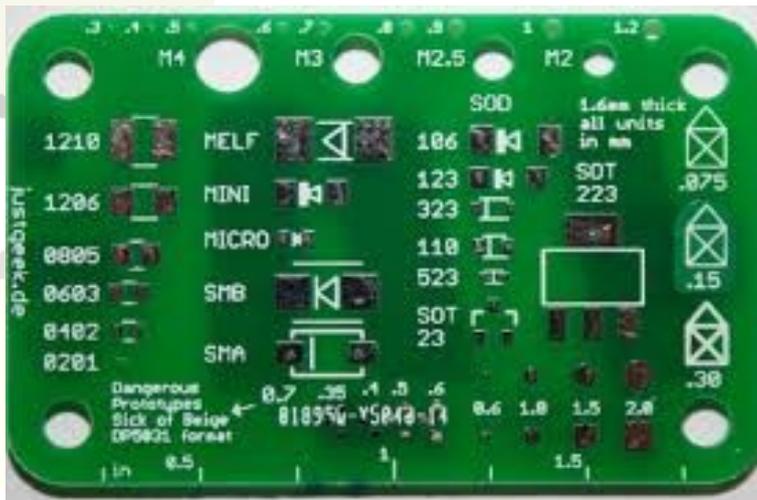
- **Mascara antisoldante o de soldadura (soldermask):** Para proteger el cobre de la oxidación del aire se recubre la PCB con un material aislante y no oxidante, dejando solo al descubierto solo las zonas de soldadura (pines de componentes o pads de interconexión). Esta mascara es la que da al color típico de las PCBs.



# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Fabricación

## ♦ Fase de Fabricación:

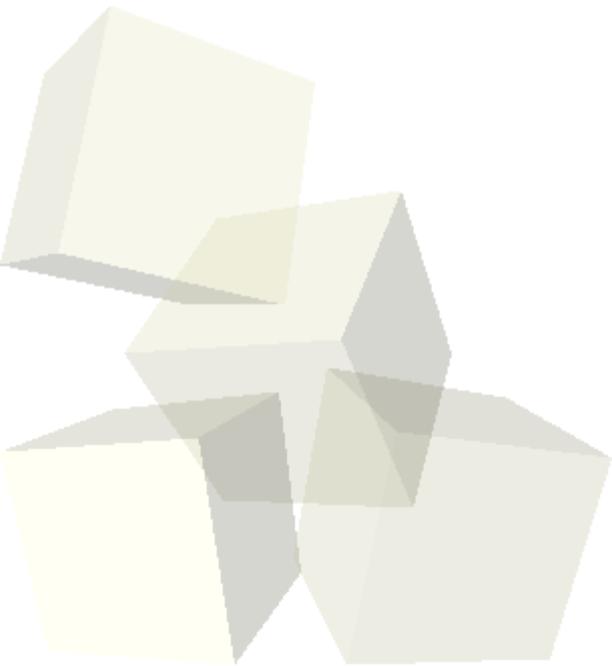
- **Silk-screen:** Esta es una capa con información de los componentes de la PCB. Suelen dibujarse los contornos de los componentes, se suelen identificar (R1, C1, IC7404....), aparece el valor del componente (10K....) y se puede añadir información textual que interese que aparezca en la PCB.
- Esta capa suele imprimirse sobre la PCB con máscara de soldadura y metalización con una tinta no conductora. Las herramientas de diseño suelen tener un capa específica para colocar esta información en el layout de la PCB. Importante: nunca debe colocarse sobre los PADS de soldadura



- ◆ **Fase de Fabricación:**

- Ejemplo de proceso de fabricación de PCB de un fabricante:

- <http://www.eurocircuits.com/making-a-pcb-pcb-manufacture-step-by-step>

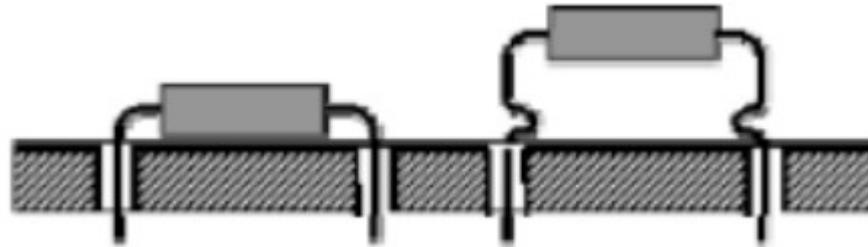


- Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico
  - ♦ ~~Fase de Diseño:~~
    - ~~En esta fase se va a crear el “Layout” o “Artwork” de la PCB del SE~~
  - ♦ ~~Fase de Fabricación:~~
    - ~~Es la fase en la que se fabrica la PCB y queda lista para añadirle los componentes~~
  - ♦ **Fase de ensamblaje:**
    - **En la que se ensamblan los componentes electrónicos a la PCB**
  - ♦ ~~Fase de Test:~~
    - En esta fase se realiza la comprobación definitiva de que el SE cumple las especificaciones del mismo

- ♦ **Fase de ensamblaje:**

- **Montaje de componentes**

- **Montaje Through Hole:** montar los componentes introduciendo sus pines a través de los PADs y fijarlos eléctrica y mecánicamente al circuito con soldadura.

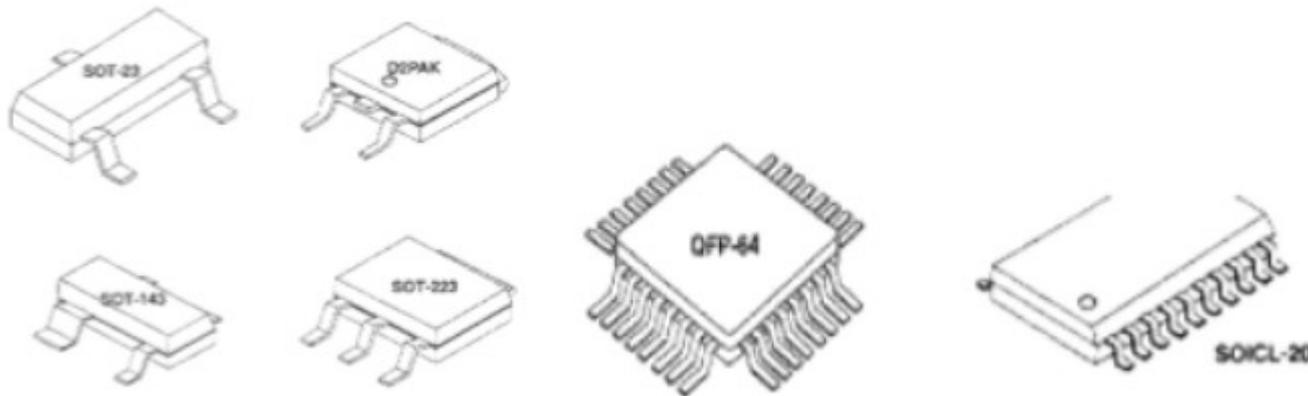


- Esta técnica generalmente requiere la soldadura de componentes manual, ya que es difícil la automatización del proceso de insertar el componente

- ♦ **Fase de ensamblaje:**

- **Montaje de componentes**

- **Montaje superficial:** montaje de los componentes electrónicos sobre la superficie del circuito
- Es la técnica usado sobre todo en los procesos de fabricación de PCBs automatizados a través de los sistemas pick and place
- Tiene la ventaja de que se pueden miniaturizar mas los componentes
- Generalmente requiere de la mascara de soldadura y la metalización para fijar los componentes a la placa



## ♦ Fase de ensamblaje:

### → Soldadura:

- La soldadura es un proceso para la unión de piezas metálicas mediante el uso de cualquiera de las diversas aleaciones fusibles (soldadura), cuya temperatura de fusión es más bajo que el del material a unir, y en el que la superficie de las partes se crea un enlace intermolecular, sin llegar a ser derretidas.

### → Tipos de soldadura:

- Soldadura blanda: Tiene lugar por debajo de 450°C
- Soldadura dura: Tiene lugar por encima de 450°C
  - Se suele emplear en metales como plata, oro, acero, bronce y da lugar a una soldadura entre 20 y 30 veces mas resistente.

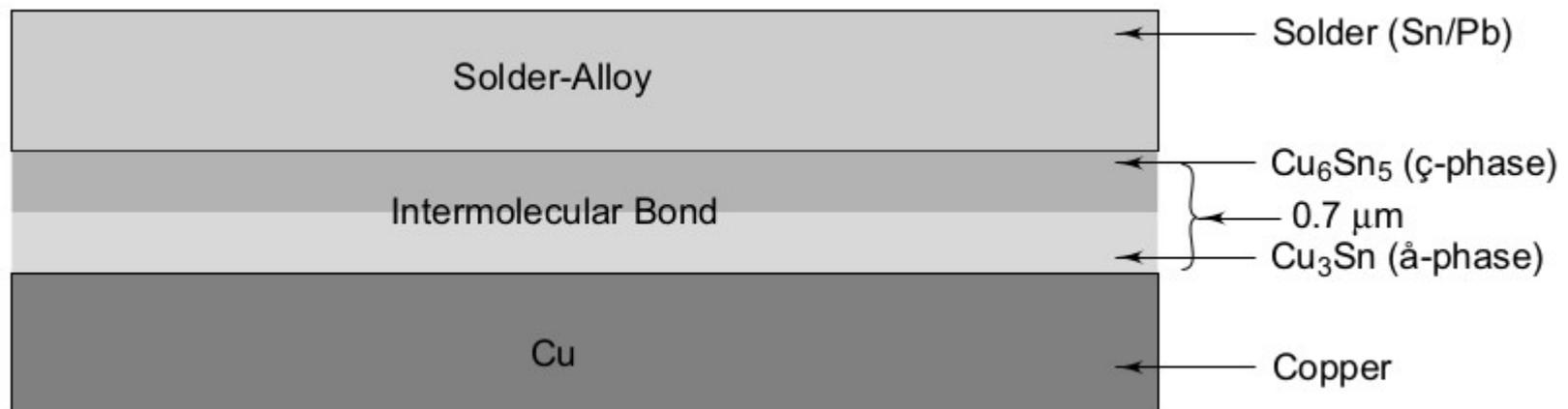
### → Soldadura frente a unión mecánica de metales:

- Oxidación y Vibración o otros movimientos ==>
  - puede dejar de haber conexión

## ♦ Fase de ensamblaje:

### → Teoría de la Soldadura:

- La acción por la que el material de soldadura en estado líquido se disuelve y penetra en la superficie de metal a soldar, es lo que se conoce como que se "moja el metal" o "el metal se humedece" ("wets the metal" o "the metal is wetted")



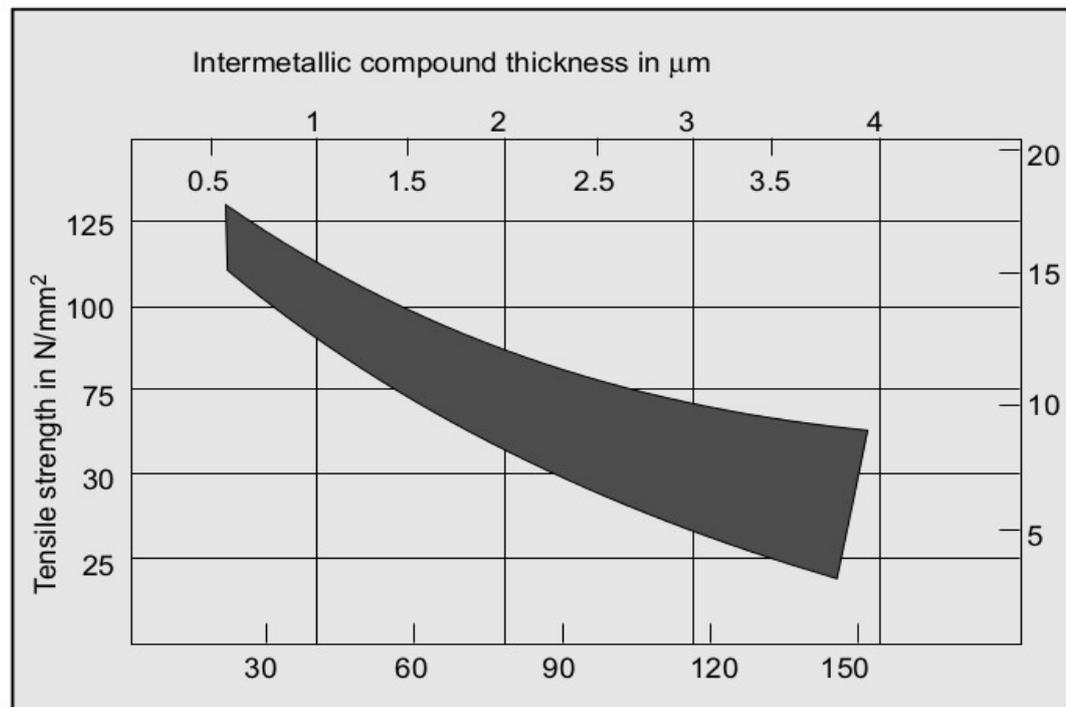
- La unión intermolecular de cobre y estaño forma granos cristalinos cuya forma y tamaño está determinado por la duración y la intensidad de la temperatura durante la soldadura.

# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

## ♦ Fase de ensamblaje:

### → Teoría de la Soldadura:

- La fuerza de cizalladura depende del espesor de la capa intermetálica
- Como se observa en el gráfico el espesor de mayor fuerza de cizalladura está entorno a 0,5 micras , de la unión entre el material metálico Cu<sub>3</sub>Sn y Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>.



## ♦ Fase de ensamblaje:

### → Teoría de la Soldadura:

- El espesor de la capa intermetálica depende de la temperatura y el tiempo de aplicación de la temperatura.
- Menor aplicación térmica dan lugar a estructuras cristalinas finas, lo que resulta en excelentes juntas de soldadura que tienen una resistencia óptima.
- Tiempos de aplicación térmica mas largos o temperaturas más altas o ambos, resultan en estructuras cristalinas gruesos que tienen menos fuerza de cizalladura y son por tanto mas quebradizas las uniones

## ♦ Fase de ensamblaje:

### → Teoría de la Soldadura:

- La fuerza de cohesión de la aleación de soldadura es grande y da lugar a que el material de soldadura forme esferas, ya que tiende a minimizar el área de superficie (una esfera tiene la superficie más pequeña de cualquier configuración geométrica con igual volumen con el fin de satisfacer los requisitos del estado más bajo de energía).
- Por este motivo es necesario emplear un catalizador en el proceso de soldadura para poder lograr el espesor ideal en la mayor área de superficie. Este catalizador recibe el nombre de **Fundente** (“**Flux**”)
- El **Fundente** (“**flux**”) es un material que actúa de manera similar como el detergente hace con la grasa, es decir reduce significativamente la tensión superficial de la aleación, ayudando por tanto, a conseguir un mayor grado de “mojado” del metal.

## ♦ Fase de ensamblaje:

### → Variables en el proceso de Soldadura:

- temperatura, tiempo, la superficie libre de impurezas, el fundente ("flux") adecuado, y la aleación adecuada. Estas variables son importantes para todas las técnicas de soldadura y deben siempre mantenerse en mente.
- **Regla de oro del proceso de soldadura:** "La aplicación de la temperatura adecuada tanto para la soldadura, como para las terminaciones a soldar durante el tiempo correcto, sobre una superficie limpia utilizando el fundente adecuado y el material de soldadura adecuado proporcionará una excelente unión con un aspecto luminoso y brillante"
- La temperatura para la soldadura depende del punto de fusión de la soldadura, y su aplicación. Para cada combinación de metal y soldadura, hay una temperatura crítica por debajo del cual no se produce el "mojado" del metal o tiene lugar en una muy pequeña medida. Como regla general, la temperatura por encima del punto de fusión de la soldadura:
  - soldadura de reflujo (refusión): de 30 ° a 50 °
  - soldadura por ola: de 45 ° a 60 °
  - soldadura manual: 85 °

## ♦ Fase de ensamblaje:

### → Variables en el proceso de Soldadura:

- La soldadura solo humedecerá (“mojará”) el metal sólo cuando esté libre de cualquier impurezas.
- Aunque las superficies a ser soldadas pueden parecer limpias, siempre hay una película delgada de óxido que las cubre. La capa exterior del metal atrae el agua y diversos gases llegando a crear una capa de oxidación.
- Para obtener una buena unión de soldadura, todos los óxidos de la suciedad, la grasa y la superficie deben ser eliminados antes y, durante el proceso de soldadura, empleando el fundente (“flux”).

# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

## ◆ Proceso de soldadura:

- Material de soldadura (soldaduras o aleaciones y fundentes)
- Herramientas de soldadura
- Procedimiento de soldadura

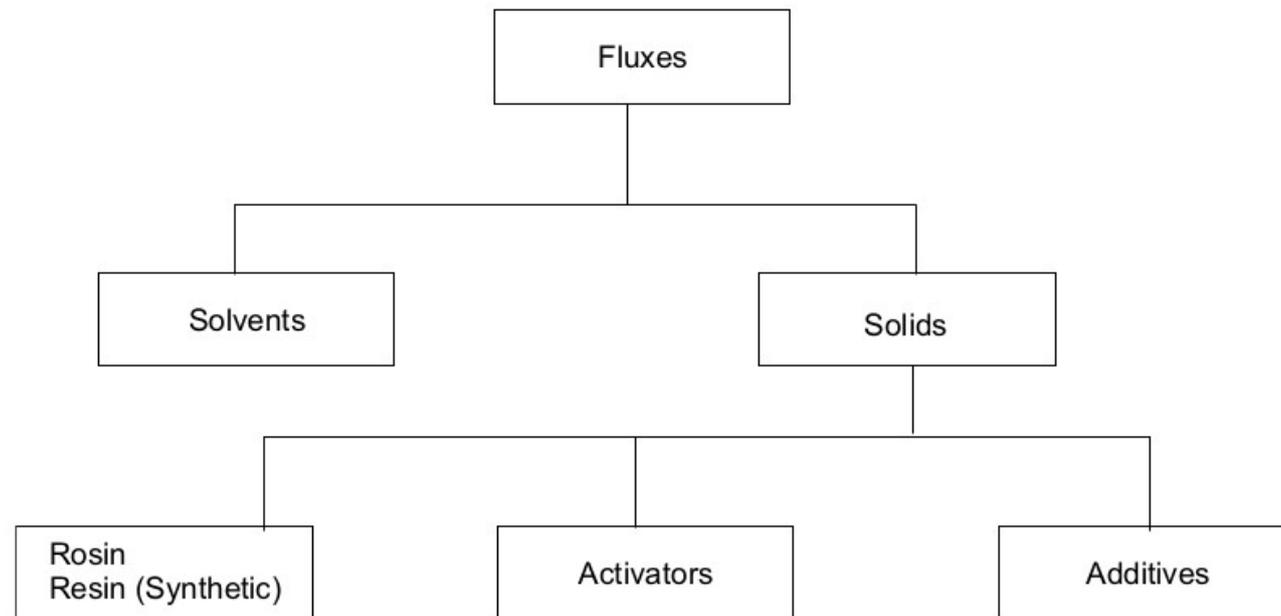
## ◆ Material: Aleaciones de soldadura:

- La aleación mas típica ha sido una aleación de plomo (37%) y estaño (63%).
- El punto de fusión de la soldadura de plomo/estaño 37/63 es de 183°C
- Sin embargo por la directiva europea **RoHS de 2003** esta prohibido el uso de PLOMO
- Alternativas al SnPb: La aleación que ha mostrado mejores propiedades es SNAgCu. Existen otras SnAgBi, etc.
- Generalmente las aleaciones sin Pb tienen un punto de fusión mas alto.
- Recomendación: El grosor de la soldadura debe ser un poco menor que la mitad del diámetro del pad a soldar.



# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

- ♦ **Material:** Fundentes (flux o pasta de soldadura)
  - Substancia que se emplea en el proceso de soldadura con la misión de:
    - Eliminar las impurezas y capas de oxido en la superficie del metal
    - Evitar que la base de metal se vuelva a oxidar durante el proceso de soldadura
    - Ayudar en la transferencia de calor al metal que se suelda
  - Composición de los Fundentes: disolventes y solidos



# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

- ♦ Composición de los fundentes:
  - Aditivos: son agentes humectantes para reducir la tensión superficial del fundente con el fin de promover su capacidad de humectación , también usados como agentes espesantes en pasta de soldadura.
  - Activadores: son agentes capaces de eliminar las capas de óxidos e impurezas en la superficie del metal a soldar
- ♦ Clasificación de los fundentes:
  - Se clasifican en tres tipos:
    - L: baja actividad
    - M: actividad media
    - H: alta actividad



## ♦ Herramientas de soldadura:

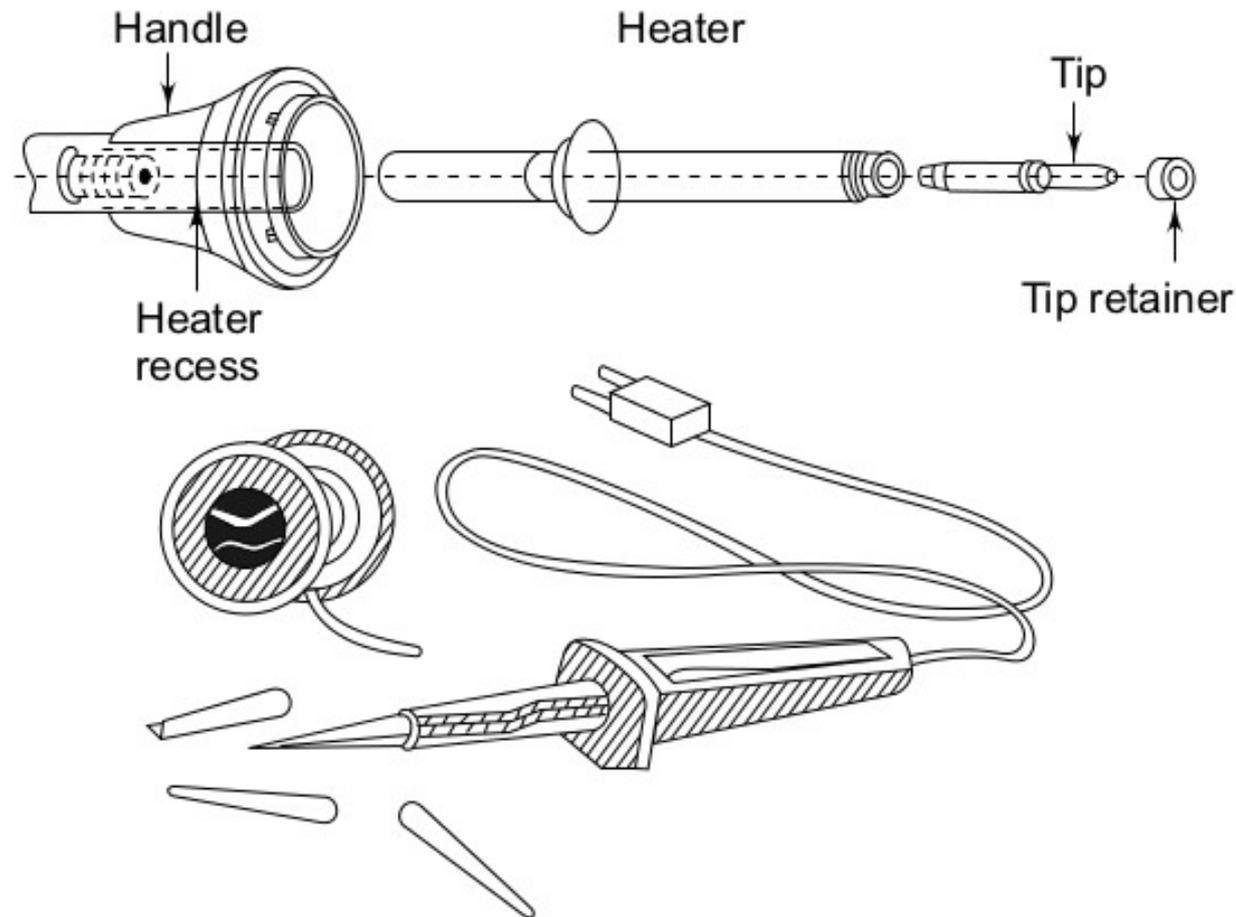
- **Soldador:** debe generar el calor necesario para calentar las superficies a soldar y fundir el material de soldadura. Consta de tres partes: un mango, un elemento de transferencia de calor y una punta
- **Mango:** hecho de material aislante tanto térmicamente como eléctricamente y con forma ergonómica
- **Elemento de transferencia de calor:** Debe poseer una muy buena capacidad térmica para transferir el calor a la punta. Hoy en día los soldadores forman parte de una estación de soldadura controlada por microprocesador que mantiene estable la temperatura elegida en la punta
- **Punta:** Suele ser de cobre por su muy buena transferencia de calor. Esta metalizada para evitar su disolución, normalmente de hierro que no es atacado por los fundentes. Además, la punta suele estar recubierta por níquel o cromo para proveer una superficie exterior dura que se humedezca adecuadamente con el material de soldadura.
- Con el uso, la metalización se disuelve y es necesario cambiar la punta

# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

## ♦ Herramientas de soldadura:

### → Tipos de Soldador:

- En forma de lapiz: generan entre 12watts hasta 50watts de calor (para soldar en PCBs, 25watts es una buena potencia de calor)
- 



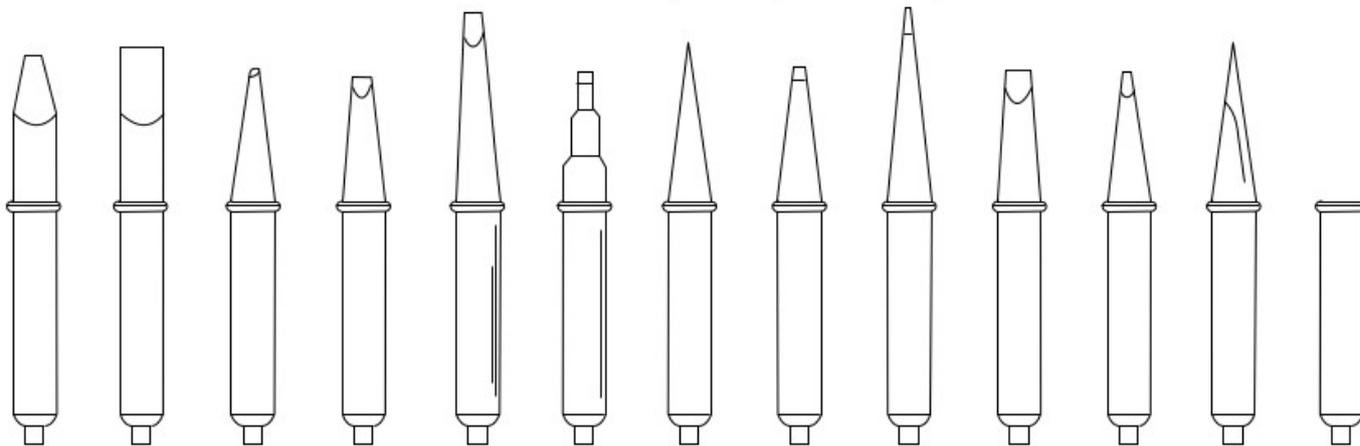
# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

## ♦ Herramientas de soldadura:

### → Tipos de puntas:

- Puntas finas: la mas habitual en PCBs; espaciados pequeños entre pads
- Puntas más grande, en forma de cincel o pirámidal: pueden almacenar y transferir grandes cantidades de calor para conectores grandes, muy separados entre sí.
- Puntas tipo cincel dobladas: pueden entrar en áreas difíciles de alcanzar.

Iron clad, chrome plated, pre-tinned tips



# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

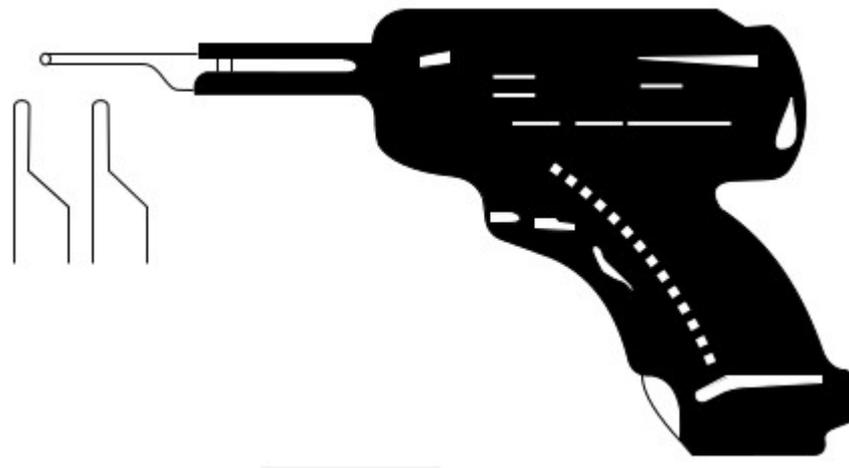
- ♦ **Herramientas de soldadura:**
  - **Soporte de soldador de lápiz:** Un soldador de lápiz tarda varios minutos en alcanzar la temperatura deseada. Por ello, suele dejarse permanentemente encendido mientras se trabaja. Para evitar accidentes es recomendable usar un soporte para el soldador. Suele ser una espiral de acero en la que se puede insertar el soldador caliente.
  - Los soportes suelen incluir un lugar para colocar la **esponja** que debe permanecer húmeda (se usa agua destilada) a no ser que sea una **“esponja” seca**, para limpiar frecuentemente la punta



# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

- ♦ **Herramientas de soldadura:**

- Soldador de Pistola: Generan mas calor que los soldadores tipo ,lápiz, se emplean para conductores o conectores pesados que requieren mayor fuente de calor. El disparador es un interruptor de la fuente de alimentación sobre el elemento de calor. Alcanzan la temperatura casi inmediatamente. Pueden tener un conmutador para seleccionar diferentes niveles de temperatura



# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

- ♦ **Herramientas de soldadura:**
  - Estaciones de soldadura: Contienen un soldador (normalmente tipo lápiz) mas una consola de control de la temperatura. La temperatura suele ser programable. Las estaciones de soldadura ofrecen mucha mas precisión en el control de la temperatura de la punta que un soldador más básico.



# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

- ♦ **Herramientas de soldadura:**
  - Mantenimiento de la punta: se debe eliminar el sobrante de material de soldadura y fluente frotando la punta en la esponja.
  - Consideraciones a tener en cuenta con la punta:
    - Nunca limpiar la punta con material abrasivo
    - Nunca frotar la punta con el material que va a ser soldado
    - Limpiar y estañar la punta antes de apagar
    - Apagar el soldador en caso de no usarse por mas de 15 min.
    - Tras finalizar el trabajo, humedecer con flux de tubo la punta y después limpiar
    - Mantener el soldador en su soporte siempre que no se tenga agarrado

# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

- ♦ **Proceso de soldadura manual:**
  - Si bien la mayoría de PCBs nuevas y de gran tirada tienen automatizado este proceso, todavía se sigue empleando en PCBs de pequeña y media escala (p.ej. generación de prototipos) y, sobre todo, en reparación de productos
  - De manera general se dice que un buen proceso de soldadura solo se puede llevar disponiendo de unos equipos aceptables (soldadores con buen control de temperatura, con una punta en buen estado) y con un alto grado de limpieza, antes, durante y después del proceso
- ♦ **Pasos en el proceso de soldadura manual**
  - Selección de la punta adecuada:
    - Conexiones con poca área de soldadura: puntas cónicas
    - Conexiones con mayor área de soldadura: puntas planas
  - Temperatura adecuada del soldador (la punta):
    - Habitual (aleación sin plomo): 300°-350°
  - Limpiar la punta en la esponja y estañarla
  - Aplicar fundente (flux) a las áreas de contacto

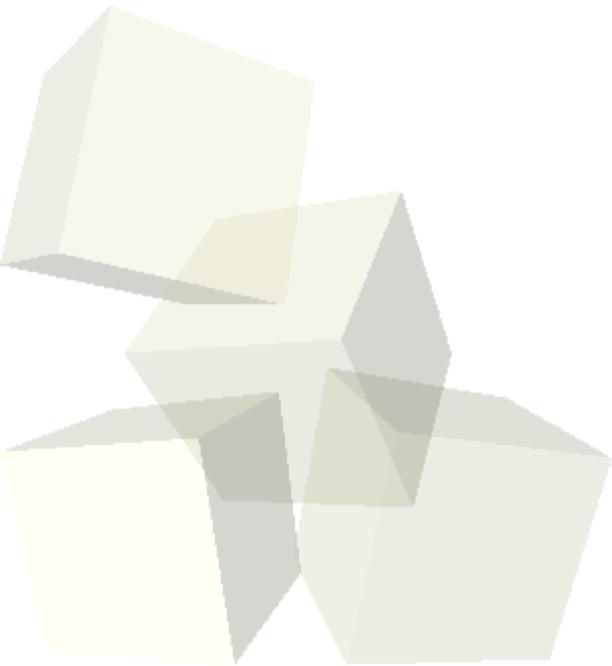
# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

- ♦ Pasos en el proceso de soldadura manual (continuación)
  - Paso Optativo: Pre-estañar las áreas de contacto
  - Preparar los conductores de los componentes, doblándolos y cortando el sobrante. Insertar los componentes
  - Cable de soldadura: diámetro, ligeramente menor que la mitad del diámetro del área de conexión
  - Colocar el soldador en ángulo de 45° con la punta tocando tantos componentes como sea posible de la conexión
  - Acercar el cable de soldadura y dejar que fluya; pasarlo por todo el área de soldadura si esta es grande
  - Retirar el cable de soldadura y después el soldador. Tres segundos suelen ser suficientes para completar el proceso. Mas tiempo podría causar daños a la placa o componente
  - Intentar no mover placa y componente durante el proceso de soldadura y solidificación
  - Limpiar la punta en la esponja y estañar la punta
  - Limpiar la unión realizada para eliminar restos del fundente



# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

- ♦ Pasos en el proceso de soldadura manual en SMDs
  - Las técnicas mas usadas son conducción térmica o convección térmica (aire caliente).
  - La soldadura de SMDs implica. Básicamente varios pasos que son:
    - Estañar los pads de conexión
    - Colocar los componentes en su lugar (“pick and place”)
    - Aplicar calor para fundir el estaño de los pads y lograr la unión de componentes y placas



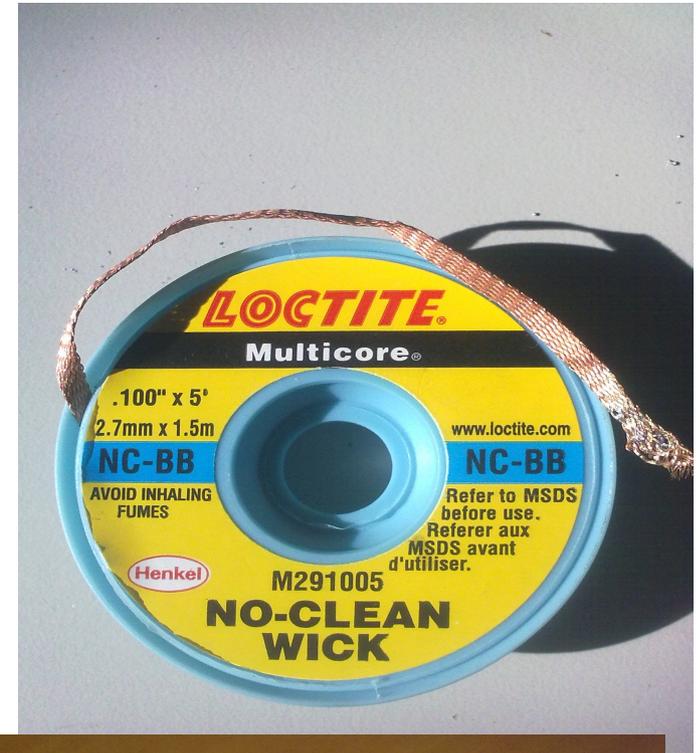
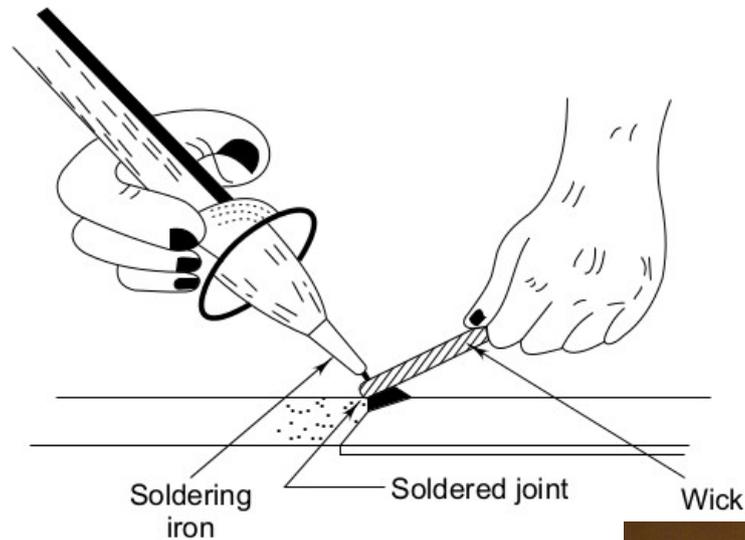
## ♦ Proceso de de-soldadura

- En muchas ocasiones es necesario eliminar una soldadura realizada sobre una placa, por ejemplo, cuando un componente funciona mal o cuando la soldadura se ha realizada de forma inadecuada
- El proceso de eliminar una soldadura se denomina desoldar
- Técnicas de desoldar: por capilaridad y por absorción
  - Por capilaridad:
    - Se emplea una especie de “cepillo” o componente multihilo de cobre por ejemplo. Se llena de resina y se aplica a la soldadura a eliminar. Este cepillo se calienta con la punta, y por capilaridad la aleación pasa al cepillo
  - Por absorción:
    - Se emplea una bomba de vacío para absorber. Se calienta la soldadura con la punta y con la bomba se absorbe la aleación.

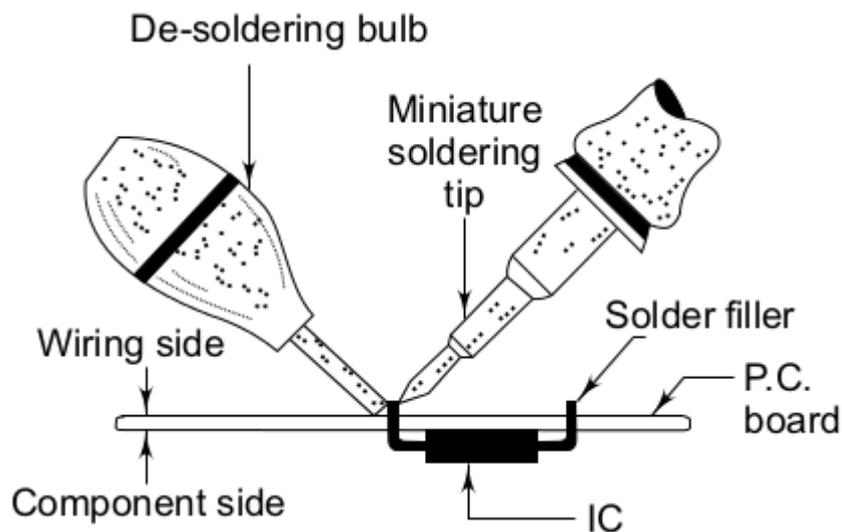
# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Ensamblaje

- ◆ **Proceso de de-soldadura**

→ Capilaridad:



→ Absorción:



- Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico
  - ♦ ~~Fase de Diseño:~~
    - ~~En esta fase se va a crear el “Layout” o “Artwork” de la PCB del SE~~
  - ♦ ~~Fase de Fabricación:~~
    - ~~Es la fase en la que se fabrica la PCB y queda lista para añadirle los componentes~~
  - ♦ ~~Fase de ensamblaje:~~
    - ~~En la que se ensamblan los componentes electrónicos a la PCB~~
  - ♦ **Fase de Test:**
    - **En esta fase se realiza la comprobación definitiva de que el SE cumple las especificaciones del mismo**

## ♦ Fase de Verificación o Test de PCBs:

- Durante el proceso de fabricación de PCBs es fundamental comprobar (verificar) que el resultado final es el esperado.
- Realmente la verificación de la fabricación de la PCB requiere de varios tests:
  - Verificación de la PCB desnuda (antes del ensamblaje de los componentes)
  - Verificación con los componentes
- Test sobre placa sin componentes:
  - De manera visual y con polímetro se debe comprobar si existen cortos, o pistas rotas, en el caso de PCBs de doble cara, comprobar la conexión de las vías. Si es posible se deben arreglar los problemas detectados
- Test con componentes:
  - Se debe tener preparado un test basado en aplicación de patrones para comprobar la correcta funcionalidad de la placa diseñada

# Proceso de implementación en PCB de un sistema electrónico: Pasos finales

- Una vez fabricada la PCB, ensamblados los componentes y verificada la PCB se suelen aplicar dos tipos de productos a la misma:



- Limpiadores o disolventes de fundentes (flux). Debido a que el flux es activo, puede ir corroyendo el cobre y degenerar las pistas. Para evitarlo hay que aplicar limpiadores o disolventes de los restos de Flux.



- Revestimiento protector del circuito: El cobre se oxida con facilidad, por esto y para dar una mayor durabilidad a las placas se suele revestir las placas con algún tipo de material tipo laca o barniz: Barniz soldable (líquido o aerosol): Aleación de estaño-plomo, Dorado del cobre con oro electrolítico, Goma Silicosa, Poliuretano, Acrílico, Resina epóxica

- Estandarización en los Procesos de Fabricación de PCBs:
  - ♦ El proceso de diseño, fabricación ensamblaje y test de los PCBs involucra muchas partes diferentes. Por este motivo, es necesario una estandarización en determinadas partes de estos procesos
  - ♦ Organizaciones que estandarizan en este campo:
    - International Organization for Standardization (ISO)
    - the International Electrotechnical Commission (IEC)
    - **Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits (IPC)**

## ■ Algunos estándares:

- **IPC-2221** (Generic Standard on Printed Board Design): permite determinar el ancho de una pista para una corriente deseada, según el espesor del cobre, la temperatura de operación, el material del sustrato y si se trata de pistas ocultas o de superficie con y sin máscara antisoldante.
- **IPC-2221 e IPC-SM-782** (Surface Mount Design and Land Pattern Standard) se puede saber como la orientación y ubicación que lleven los circuitos integrados DIP en su tarjeta influye en el índice de soldaduras defectuosas, o como el tamaño y posición incorrecto de los pads para montar un componente de montaje superficial (SMT) puede ocasionar serios problemas a cualquier línea de armado SMT del mundo.
- Entre los estándares IPC también están los de "aceptabilidad", como el IPC-A-610, "Aceptabilidad de Ensamblajes Electrónicos" (disponible en español). Este estándar muestra, que es lo que se considera universalmente como "lo ideal", "lo aceptable" y "lo defectuoso" en la industria del ensamblado de componentes electrónicos y otros elementos. Esta norma proporciona además consejos para evitar errores en el armado y lograr ensamblajes electrónicos fiables, verificables y robustos.

- Automatización del proceso de ensamblado
- - ◆ Pick and place
    - <https://www.youtube.com/watch?v=tn0EKtLOVx4>
  - ◆ Aplicación de pasta de soldadura y pick and place
    - <https://www.youtube.com/watch?v=LDpc1-IV5Ns>
  - ◆ Soldadura:
    - <https://www.youtube.com/watch?v=bQHqZd12vf0>
    - <https://www.youtube.com/watch?v=keKoeIYYe04>