

ROBERTO HEYER

**TECNOLOGÍAS DE ARMADO  
DE MÓDULOS ELECTRÓNICOS**

**EDITORIAL DUNKEN**

Buenos Aires

2004

Heyer, Roberto  
Tecnologías de armado de módulos electrónicos  
1° ed. Buenos Aires, Dunken, 2004  
128 p. 23x16 cm.  
ISBN 987-02-0847-9  
1. Tecnología I. Título  
CDD 600

*A mi esposa Graciela y nuestro hijo Alan.  
A mis padres Armin y Lola, a mi hermano Daniel  
y a mis socios Carlos, Urbano y Walter.*

Impreso por Editorial Dunken  
Ayacucho 357 (C1025AAG) - Capital Federal  
Tel/fax: 4954-7700 / 4954-7300  
E-mail: [info@dunken.com.ar](mailto:info@dunken.com.ar)  
Página web: [www.dunken.com.ar](http://www.dunken.com.ar)

Hecho el depósito que prevé la ley 11. 723  
Impreso en la Argentina  
© 2004 Roberto Heyer  
ISBN 987-02-0847-9

## CAPÍTULO 1.

### TECNOLOGÍAS DE MONTAJE DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Desde hace ya muchos años la tecnología de montaje superficial de componentes o SMT (Surface Mount Technology) ha ido desplazando en gran parte a su antecesora, la tecnología de agujeros pasantes o THT (Through-Hole Technology), también conocida como de montaje “convencional” o de “inserción”.

El objetivo del presente capítulo es hacer una reseña de las tecnologías de montaje existentes para luego, a lo largo de capítulos posteriores, ir ahondando “paso a paso” y de manera específica en la tecnología SMT.

**THT:** Así abreviado del inglés la tecnología de agujeros pasantes hizo su aparición con las Placas de Circuito Impreso, **PCI** o **PCB** del inglés **Printed Circuit Boards**, en reemplazo de la tecnología de montaje de componentes sobre chasis metálicos y/o sobre regletas aislantes con terminales de soldar y cableados estructurados como bien habremos visto en algún equipo de TV o radio antiguo.

Los materiales base de las PCI son de buenas propiedades aislantes y adecuada estabilidad térmica, química y mecánica, como ser fenólicos del tipo pértinax o la combinación de velos de fibra de vidrio con epoxi. Sobre esta base se halla laminado el circuito eléctrico en cobre. Los caminos conductores poseen islas con agujeros pasantes (o Through-Holes) a través de los cuales asomarán los terminales de los componentes montados y en donde se llevará a cabo la soldadura para la fijación mecánica y unión eléctrica de los componentes al circuito.

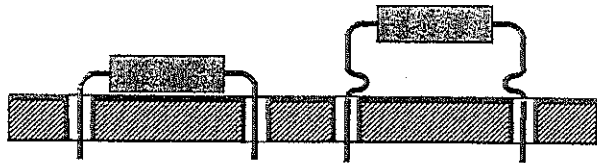
Existen PCI de simple o doble faz y multicapas. En las PCI de doble faz y multicapa los Through-Holes están metalizados por dentro y estañados e interconectan las diferentes caras y/o capas del circuito.

**THT - Montaje manual de componentes:** Para el montaje de prototipos o placas de muestra basta una pinza y un alicate para insertar los componentes en su correcta posición e ir cortando los terminales y doblando los extremos salientes para lograr cierto "anclaje" mecánico que permita soldarlo manualmente sin que caigan de la placa al invertirla.

Para bajos y medianos volúmenes de producción es indicado contar con un área de "corte y preformado" en el cual mediante dispositivos manuales o automáticos, que se pueden adquirir en el mercado, los componentes son cortados y sus extremos doblados en formas especiales para lograr el anclaje mecánico que los mantengan en posición hasta ser soldados sin que se levanten ni caigan por el orificio dejando terminales extremadamente largos.

Los componentes que por su baja disipación térmica no necesiten ser montados en forma elevada de la placa pueden ser doblados sus terminales en ángulo recto y cortados. En ambos casos para el montaje manual se arman puestos de trabajo individuales o en línea.

La PCI es equipada con los componentes y sometida luego al proceso de soldadura por baño de ola [1].



**THT - Montaje automático de componentes:** Para grandes volúmenes de producción se cuenta con máquinas insertadoras de componentes, dividiéndose según el tipo de encapsulado del componente en insertadoras **radiales**, **axiales** o de circuitos integrados **DIP**.

La insertadora DIP toma los componentes de las varillas de IC's, mientras que la radial y axial lo hacen directamente de los rollos provistos por el fabricante o bien, mediante el paso previo en una máquina secuenciadora, se arman nuevos rollos con la secuencia de componentes que luego será insertado.

En todos los casos un cabezal se encarga de tomar el componente, doblar sus terminales y posicionarlo en el ángulo de inserción programado mientras debajo una mesa X-Y que sostiene a la PCI se ubica en las coordenadas programadas. En ese momento el cabezal baja introduciendo los terminales en los Through-Holes mientras un segundo cabezal, debajo de la PCI, termina el ciclo mediante un "cut&clinch", es decir cortando los terminales salientes y doblándolos para lograr el anclaje mecánico deseado. Una PCI así montada puede ser manipulada e invertida sin que se caigan los componentes.

De todos modos algunos componentes especiales como transformadores o conectores pueden requerir ser colocados a mano o mediante insertadoras especiales conocidas como ODD-FORMS

**SMT:** Así llamada la Tecnología de Montaje Superficial emplea componentes SMD (Surface Mount Device) que se diferencian de los THT o convencionales por no contar con alambres de conexión sino que el propio encapsulado posee sus extremos metalizados o con terminales cortos y rígidos de diversas formas. En el siguiente capítulo trataremos específicamente sobre denominaciones comerciales de estos encapsulados y cómo reconocer los llamados 0805, SOT23, PLCC y BGA, por nombrar solo alguno de ellos.

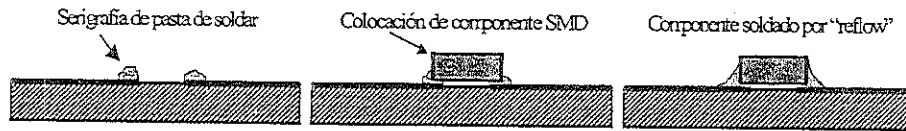
En la técnica SMT los componentes (SMD) pueden ir montados del lado de la soldadura de la PCI, del lado de los componentes o de ambos lados. Pueden compartir la placa con componentes THT teniéndose así una técnica de montaje MIXTA.

**SMT - Montaje sobre el lado de componentes:** El "Lado de componentes" es aquél sobre el cual también se montan los componentes THT o la cara que no posee circuito impreso en el caso de una PCI de simple faz. Como este lado no puede pasar por el baño de ola [1], se realiza una impresión serigráfica [2] de pasta de soldar, a base de una aleación de estaño microgranulado y flux, sobre los PAD's, así llamadas las áreas de contacto del circuito impreso en donde se soldará un SMD. Los componentes son tomados de sus embalajes y colocados en las coordenadas programadas mediante máquinas colocadoras

de componentes SMD, a veces llamadas "chipeadoras", Pick&Place o Collect&Place, tema que desarrollaremos más adelante.

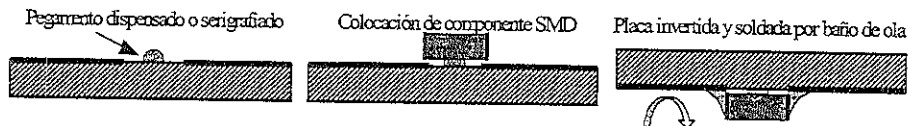
Por cuestiones de calidad, precisión, velocidad y practicidad, el equipamiento manual de SMD's solo es considerado para la realización de algunos prototipos.

Una vez puestos los componentes sobre esta pasta la placa es introducida en un horno continuo para desarrollar un ciclo térmico que incluye precalentamiento, fusión del estaño, reflujo del mismo y enfriamiento. Este proceso es conocido como soldadura "reflow" [3] y los hornos empleados pueden ser infrarrojos o de convección forzada. Existe también la opción de soldadura en atmósfera inerte, que mediante la inyección de nitrógeno logra desplazar el oxígeno para evitar oxidaciones durante la soldadura.

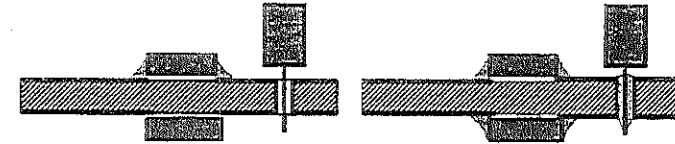


**SMT - Montaje del lado de soldadura:** Sobre este lado de la placa los componentes son fijados mediante un proceso de adhesivado el cual se lleva a cabo con una máquina dispensadora de gotas o mediante serigrafía de adhesivo [4]. La colocación de los componentes sobre las gotas se realiza con el mismo tipo de máquinas que para el paso anterior. Colocado el componente sobre la gota de adhesivo, que por su viscosidad permite un manipuleo cuidadoso, la PCI es introducida en un horno, estático o continuo, donde se desarrollará el proceso de "curado" o endurecimiento del adhesivo siguiendo una curva de temperatura adecuada.

Una vez curado el adhesivo la PCI queda lista para ser soldada por baño de ola o previamente equipada con componentes THT en caso de técnica mixta.



**Montaje MIXTO:** La técnica mixta no es más que el resultado de combinar THT con alguno o ambos procesos SMT descritos. Esto es muy común dado que si bien en SMD existen ya casi todo tipo de componentes, muchas veces por razones de costo o por no justificarse un cambio de proceso o por bajos volúmenes de producción, se siguen colocando THT's.



Referencias:

1. Ver capítulo 9.
2. Ver capítulo 4.
3. Ver capítulo 6.
4. Ver capítulos 3 y 4.

## CAPÍTULO 2.

### TIPOS DE ENCAPSULADO SMD

#### ¿Porqué SMD?

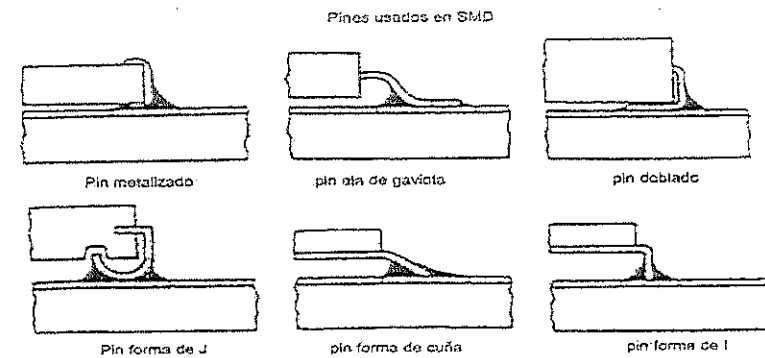
La evolución de los encapsulados de componentes electrónicos y su marcada tendencia a la miniaturización está ligada tanto a cuestiones técnicas como al gusto de los consumidores, ávidos por obtener sistemas cada día más compactos, livianos y portátiles, sin que esto vaya en detrimento de la funcionalidad y la alta performance.

Los nuevos desarrollos de IC's demandan gran cantidad de terminales lo cual en encapsulados THT resultaría extremadamente grande, imagínese por ejemplo un IC convencional con 232 terminales, bueno, con un encapsulado QFP esto solo ocuparía unos 40x40mm en su placa de circuito.

El menor tamaño y las conexiones más cortas benefician también a las aplicaciones en alta frecuencia así como ayudan a una mayor robustez mecánica del conjunto.

#### Tipos de terminales

Las formas de terminales o pines más habituales están representadas en las siguientes figuras:



De estos formatos de pines los de extremo metalizados son usados en chips de resistores y capacitores cerámicos, los de ala de gaviota (Gull Wing) y los de forma de "J" (J shaped) son los más usados en IC's.

Los terminales de pin doblado (strand) se usan en capacitores de tantalio mientras que los de forma de cuña (wedge shaped) y los de forma de "I" (I shaped) no han alcanzado importancia en la práctica.

**¿Que es el PITCH?**

El "pitch" no es más que la dimensión del "paso" en que se hallan distribuidos los terminales o pines de un IC entre sí.

No es el espacio que queda entre un pin y otro, sino la distancia entre centro y centro de pines

Se habla de "pitch" para pasos iguales o mayores a 0,8mm y de "fine pitch" para los menores de 0,8mm

El último "fine pitch" conocido es de 0,12mm, pero convengamos en que se torna inmanejable a la hora de mantener baja la tasa de error en un proceso seriado de fabricación. Esta complicación dió lugar a nuevas formas y diferente distribución de pines, tal el caso del Ball Grid Array, CSP, Flip-Chip, etc. [1].

**Tipos de componentes SMD (Surface Mount Device)**

La siguiente tabla muestra la denominación comercial de las formas de encapsulado SMD más conocidas y utilizadas:

<b>Componentes SMD</b>	Pasivos	Flat Chip's Melf
	Capacitores de tantalio	TANTA, TANTB, TANTC, TANTD
	Transistores	SOT
	Circuitos Integrados	SOJ, SOIC, TSOP, PLCC, QFP, BGA
	Diodos	SOD

**Pasivos:**

Los componentes pasivos como resistores y capacitores tienen forma de paralelepípedo y se los conoce como CHIP o FLAT CHIP. Sus extremos metalizados y estañados constituyen los terminales de conexión.

La denominación comercial se refiere a ellos por su largo y ancho como p.ej. 0805, lo que de modo codificado significa 0,08 x 0,05 de pulgada, por lo que si realizan los cálculos podrán ver las dimensiones más usadas en la siguiente tabla. La altura puede variar según el fabricante y no es crítica para el proceso de fabricación.

CHIP's (resistores y capacitores)	Código	0201	0402	0603	0805	1005	1206	1210	1805	1812	1825	2225
	Largo	0,50	1,02	1,52	2,03	2,54	3,05	3,05	4,57	4,57	4,57	5,59
	Ancho	0,25	0,50	0,76	1,27	1,27	1,52	2,54	1,27	3,05	6,35	6,35
	Alto	0,33	0,60	0,85	1,10	1,20	1,35	1,35	1,35	1,35	2,00	2,00



Resistor



Capacitor Cerámico  
CHIP's



MELF



SOD

Existen componentes pasivos de forma cilíndrica, conocidos como MELF y sus variantes maxi, mini y micro-MELF. Al igual que los anteriores sus terminales de conexión consisten en extremos metalizados y estañados. En este formato suelen encontrarse resistores y diodos recibiendo estos últimos el nombre de SOD

MELF (resistores y diodos)	Código	micro-MELF	mini - MELF	MELF	maxi - MELF
	Largo	2,0	3,5	3,6	5,9
	Diámetro	1,2	1,4	2,0	2,2

**Capacitores de tantalio:**

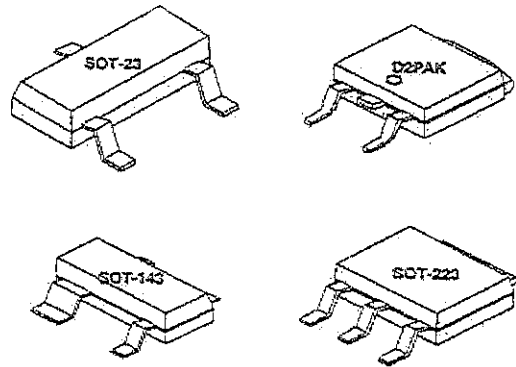
Si bien sus encapsulados son conocidos como TANTA, B, C y D su largo y ancho codificados como explicamos anteriormente serían 3216, 3528, 6032 y 7343 respectivamente.

Son típicos de estos componentes sus terminales de pin doblado, consistentes en una lámina que sale de cada extremo y simplemente se halla doblada hacia abajo del encapsulado.

**Transistores:**

Su sigla SOT significa Small Outline Transistor y generalmente el cuerpo es de plástico o cerámica.

Como se ve en la figura llevan pines tipo Gull Wing o "ala de gaviota" y si bien usualmente son transistores pueden contener diodos, tiristores, etc.

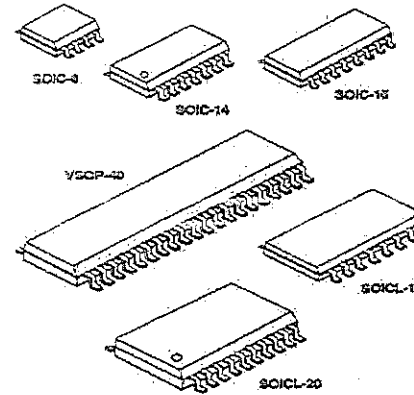
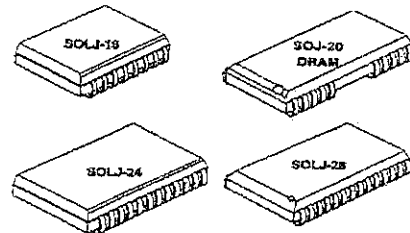


**Circuitos Integrados:**

Están agrupados por familia según lleven pines gull wing o "J" y por si llevan terminales en dos de sus lados o en sus cuatro lados. Cada familia a su vez posee algunas variantes.

**SOJs**

- SOJ Small Outline J-lead
- SOLJ Small Outline "Large" J-lead



**SOICs**

Small Outline Integrated Circuit (SOIC) -

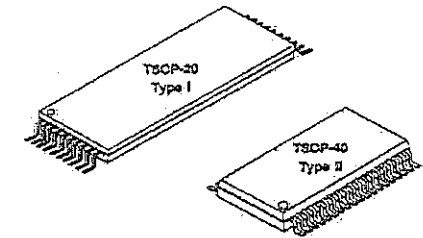
Encapsulado bajo, rectangular, usualmente de plástico con pines gull-wing en sus lados más largos. Típicamente usados en configuraciones de 8 a 56 pines. Existen numerosas variantes de SOIC, por ejemplo:

- SOIC-L or SOL Small outline "Large"
- SOIC-M or SOM Small outline "Medium"
- SCP Small outline package
- SSOP Shrink small outline package
- TSOP Thin small outline package
- VSOP Very small outline package

**TSOPs**

Thin Small Outline Package (TSOP) -

Este encapsulado pequeño y de bajo perfil, similar a un SOIC, es muy usado en aplicaciones de alta densidad como en las placas PCMCIA de computadoras. Lleva pines tipo gull-wing. Según el tipo I o II los pines van en los lados o en los extremos.

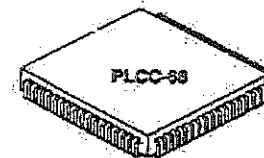


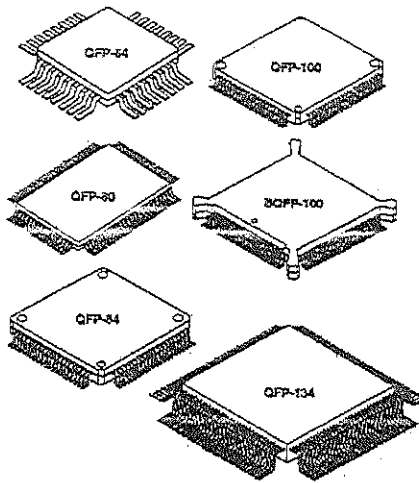
A fin de poder ubicar mayor cantidad de pines en menor superficie de encapsulado es que aparecen los llamados PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier), teniendo estos terminales del tipo "J" en sus cuatro lados y los QFP (Quad Flat Pack) con terminales tipo Gull Wing en sus cuatro lados.

**PLCC**

Plastic Leaded Chip Carrier

Tienen terminales tipo "J" y un pitch típico de 1,27mm. Muy usado en el rango de 18 a 124 pines.





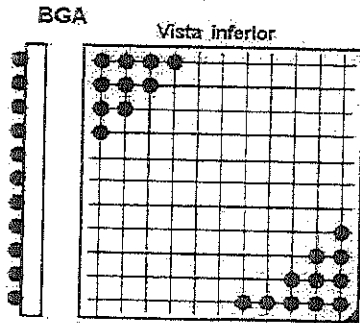
**QFPs (FlatPacks)**

Quad FlatPack (QFP) -

QFP es el término genérico para designar a los encapsulados de IC's SMD que poseen terminales en sus cuatro lados del tipo gull-wing. El pitch habitual va de 0,3mm a 1mm y los hay de 44 a 244 pines. Existen numerosas variantes como ser:

- BQFP Bumper quad flat pack
- CERQUAD Ceramic quad flat pack
- CQFP Ceramic multilayer quad flat pack
- MQFP Metric quad flat pack
- MQUAD\* Metal quad flat pack (\*Olin Corp.)
- PQFP Plastic quad flat pack
- SQFP Shrink quad flat pack
- TAPEPAK\* Molded carrier ring (\*National Semiconductor)
- TQFP Thin quad flat pack
- VQFP Very quad flat pack

Por último, y ante la necesidad de incrementar el número de entradas/salidas de los nuevos diseños de IC's, sin que esto volviera extremadamente grandes a los IC's o con pitch demasiado finos, es que aparece el BGA o Ball Grid Array el cual posee sus pines de soldadura en forma de bolas de estaño-plomo ubicadas en la superficie inferior del IC. Al distribuir así los pines contando con toda la superficie del IC se elimina la complicación de pitch demasiado finos, pero la soldadura deja de estar visible por quedar debajo del IC.



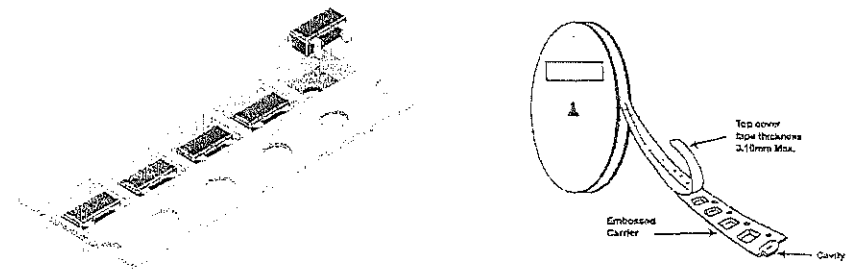
Existen además nuevas tecnologías llamadas FLIP-CHIP, CSP (Chip Scale Package) y COB (Chip On Board) [1].

**Formas de suministro**

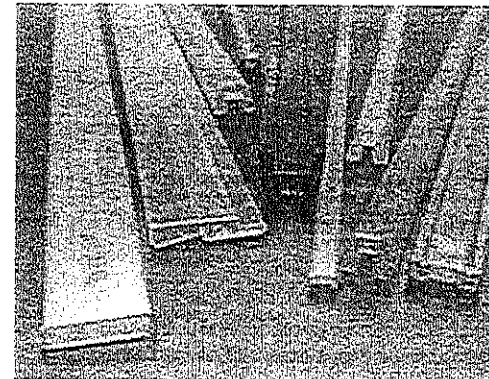
Ya tenemos un panorama de los tipos de encapsulados más comunes usados actualmente, pero nos falta tratar acerca de cómo vienen suministrados los mismos.

Basicamente las formas de suministro pueden ser, dependiendo del encapsulado, en cinta (tape & reel), en varillas (tubes o magazine), en planchas (tray o waffle pack) o a granel (Bulk Case)

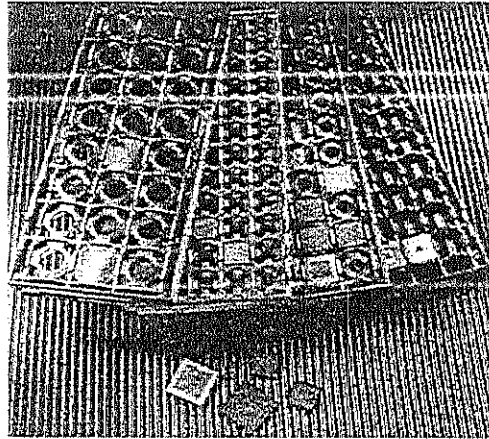
Las cintas "tape&reel" se clasifican por su ancho en 8, 12, 16, 24, 32 y 44 milímetros. Son de material plástico aunque las de 8 y 12mm pueden ser de papel. Las figuras ilustran una cinta con las cavidades para alojar los SMD y un rollo donde se puede ver la cinta cobertora que mantiene el SMD en su lugar hasta el momento de su utilización. A estas cintas también se las conoce como "blister".



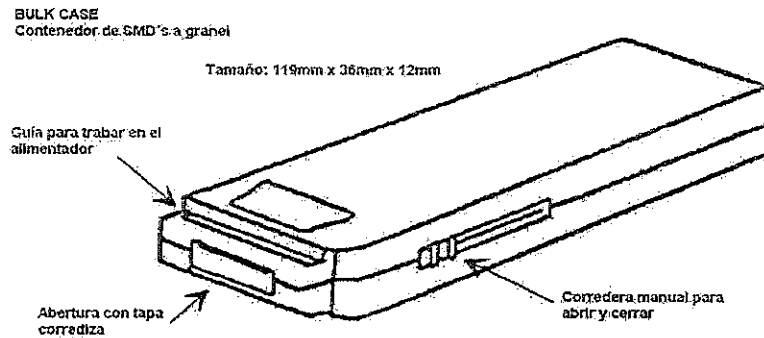
Las varillas suelen tener el perfil del componente que contienen de modo que estos puedan correr por su interior sin girar, conservando así el orden en que han sido cargadas por polaridad o número de pin.



Las planchas o trays son de material plástico antiestático y tienen alojamientos distribuidos en foma matricial para contener los componentes.



**Bulk Case** o provisión a granel consiste en un contenedor plástico hermético que posee una salida adaptable a las máquinas que se encargarán de tomar y colocar los componentes. Se recomienda para grandes producciones por menor costo.



Cada una de las formas de suministro descritas debe cumplir con determinadas medidas y tolerancias preestablecidas, ya que al momen-

to de usar los materiales serán introducidas en máquinas que, si bien pueden ser de diferentes fabricantes, poseen herramientas llamadas feeders ó alimentadores que dentro de esas medidas y tolerancias prepararán los componentes para ser tomados y colocados en las placas de circuito en forma automática.

La siguiente tabla detalla las posibles formas de suministro de los componentes por parte del fabricante dependiendo del tipo de encapsulado.

	CHIP	MELF	SOT	SOJ	SOIC	TSOP	PLCC	QFP
Tape & Reel	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
Varilla	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
Tray	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Bulk Case	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO

### Consideraciones ESD y DryPack

Al igual que algunos componentes THT los SMD también pueden ser sensibles a las cargas electrostáticas. La sigla **ESD** significa Electrostatic Sensitive Device (componente sensible a la electrostática) y viene indicada convenientemente en el embalaje. Esto indica que debemos manipularlos con las normas antiestáticas que se recomiendan para estos casos.

Asimismo existen componentes cuyos materiales de encapsulado poseen propiedades higroscópicas, es decir que absorben humedad. Estos son suministrados en bolsas herméticas llamadas **Dry-Pack** y contienen en su interior algún material desecante que acompaña a los componentes hasta su utilización para evitar la presencia de humedad durante el almacenamiento. Si no se respetan las recomendaciones exponiendo los componentes a fuentes de humedad puede suceder que llegado el momento de la soldadura la humedad absorbida forme vapor y provoque fisuras en el encapsulado, lo cual será causa de falla eléctrica a corto o largo plazo.

### Referencias:

1. Ver capítulo 11.

## CAPÍTULO 3.

### DISPENSADO DE ADHESIVO

El proceso de *dispensado de adhesivo*, ó *adhesivado*, es parte vital de la técnica de montaje de componentes electrónicos SMD sobre el lado de soldadura por ola de una placa de circuitos. Este adhesivado se lleva a cabo antes de la colocación de los componentes SMD y la función de las gotas de adhesivo es mantener fijados los SMD a la placa hasta tanto hallan sido soldados mediante un baño de ola. Para ello luego de ser colocados los SMD y previo a la soldadura tiene lugar el proceso de *curado*, en el cual el adhesivo se endurece.

#### Características de un adhesivo SMD:

La mayoría de los adhesivos usados para montaje superficial son del tipo *epoxi* por lo que deben ser almacenados en refrigerador (aprox. 5°C) para prolongar su vida útil, ya que de un solo componente y ya contienen el catalizador que lo hará endurecer.

#### *Algunas de las propiedades deseadas son:*

- buena dispensabilidad
- perfil y tamaño de gota consistente
- alta solidez(resistencia, fuerza) tanto fresco como ya curado
- curado rápido
- flexibilidad y resistencia a shocks térmicos
- permitir el dispensado a alta velocidad y tamaños muy pequeños de gota
- excelentes propiedades eléctricas sobre la placa una vez curado
- no debe hacerse ni dejar hilos
- la gota no debe desplomarse durante el ciclo térmico de curado

- colores que resalten sobre el substrato. Son muy comunes el rojo, naranja y amarillo

La resistencia mecánica de la juntura es crítica para la performance de un adhesivo SMD y está determinado por:

- grado de adhesión al componente y a la PCB
- tamaño y forma de la gota
- nivel de curado

Por otro lado las principales causas de falla son:

- curado inadecuado
- volumen de gota inadecuado
- nivel de adherencia pobre o malo

#### Características de una buena gota:

El cómo se formará la gota y el tamaño y perfil resultante es determinado por las características *reológicas* del mismo, que son las que describen sus propiedades de *viscosidad* y *tensión superficial*.

Los adhesivos para SMD están diseñados para ser *tixotrópicos* y esta condición también determinará su forma. La característica tixotrópica es la que le confiere la capacidad de disminuir la viscosidad al hallarse bajo presión permitiendo un buen flujo, mas cuando el adhesivo alcanza la PCB rápidamente se reestructura y recobra su viscosidad original.

Un ejemplo doméstico de un producto tixotrópico es la pasta dental, la cual fluye al presionar el envase pero que sin embargo queda firme una vez sobre el cepillo.

La gota debe ser de forma cónica, con pico o redonda hemisférica. No obstante el perfil también es determinado por el volumen dosificado, el diámetro de la boquilla y la distancia de la misma respecto de la placa, por lo que para un mismo volumen dosificado y jugando con estos parámetros es posible lograr gotas flacas y altas hasta bajas y

gordas, condicionado esto a que el tamaño final de la gota (una vez colocado el componente) no puede tener un diámetro mayor que la distancia entre PAD's (islas de soldadura) y que la altura debe ser suficiente como para cubrir el espacio entre la PCB y el componente, lo cual según el componente oscila entre los  $0,05mm$  y los  $0,3mm$ .

La relación ancho/altura de la gota es típicamente de  $1,5:1$  a  $5:1$  (o alto/ancho= $0,2$  a  $0,6$ )

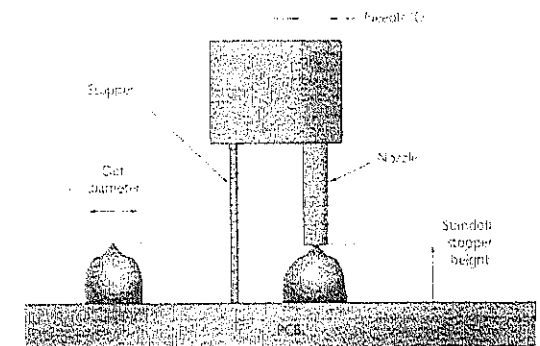
#### Sistemas de dosificación:

Básicamente las máquinas adhesivadoras para SMD se componen de:

- un sistema de transporte y posicionamiento de las placas de circuito
- un par de ejes de posicionamiento X e Y que posicionan al cabezal sobre la placa
- un eje Z (sobre el cual se halla montado el cabezal dosificador)
- uno o más cabezales dosificadores

Los ejes X e Y se van posicionando en las coordenadas programadas de antemano en la computadora que posee el sistema, y una vez en posición descenderá el eje Z llevando consigo al cabezal dosificador. Un sensor solidario a Z hará contacto con la placa y esta señal activará la dosificación de una gota de adhesivo en esta coordenada.

Z vuelve a subir y así sucesivamente mediante nuevas coordenadas de X e Y se irá completando el número de gotas programadas para dicha placa de circuito. La capacidad de una máquina adhesivadora de este tipo se mide en *gotas por hora* o *dph* (dots per hour). Dependiendo del número de cabezales por máquina y



de la tecnología de los mismos se pueden hallar en el mercado dispensadoras que van desde las  $3000dph$  hasta  $140.000dph$ , sujeto esto también a la aplicación específica a desarrollar.

Dentro de estos métodos llamados *de contacto* debido al sensor de Z existen 3 diferentes métodos de dosificación que se detallan a continuación con sus ventajas y desventajas:

#### Método de "Presión - Tiempo":

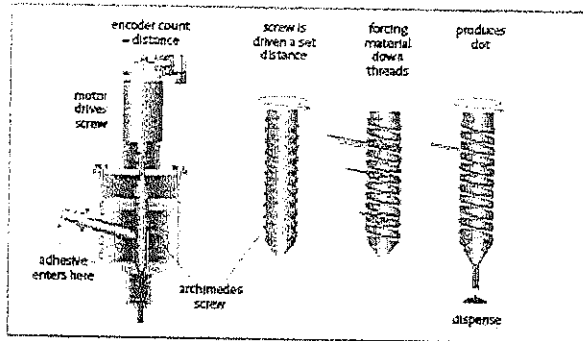
Consiste en una jeringa o cartucho hermético conteniendo el adhesivo y conectado a una fuente de aire comprimido a través de una electroválvula. El volumen dosificado dependerá de la presión de aire y del tiempo que éste se aplique a la jeringa. También dependerá del diámetro de la boquilla por la que saldrá el adhesivo y de la distancia respecto de la placa.

*Ventaja:* Fácil operación y preparación, limpieza simple

*Desventaja:* Mala repetibilidad. Se ve afectado por cambios de nivel en la jeringa y por cambios de la viscosidad del adhesivo.

#### Método de "Bomba a Tornillo":

Este sistema se basa en el tornillo de Arquímedes y es uno de los denominados de *desplazamiento positivo*. En este caso la jeringa que contiene el adhesivo es presurizada en forma permanente y el adhesivo es inyectado en



Archimedes Metering Valve Dispense Heads use screw-driven technology for precise material dispensing.

una cámara que contiene el tornillo de la bomba.

El eje de dicho tornillo se halla solidario a un embrague electromagnético que al actuar lo une a un motor que se halla girando a

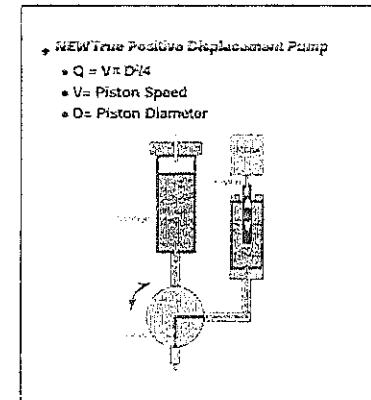
velocidad constante. Mediante un encoder se determina el número de giros dados por el tornillo lo cual se traduce en volumen de adhesivo desplazado. El tornillo se detiene al desactivar el embrague electromagnético.

*Ventaja:* Buena repetibilidad ( $\pm 5\%$ ) y buen desempeño con diferentes adhesivos.

*Desventaja:* Mayor costo del sistema y mayor complejidad a la hora de la limpieza.

#### Método de "Bomba Lineal":

También de desplazamiento positivo esta bomba posee una cámara que es alimentada por una jeringa presurizada como en el caso anterior. Al momento de dosificar una válvula cierra la entrada de adhesivo y abre la salida a la boquilla dispensadora. Dentro de esta cámara se halla un pistón que al avanzar un determinado largo desplaza una cantidad exacta de adhesivo que es dispensado sobre la placa.



*Ventaja:* Mayor repetibilidad, insensibilidad a los cambios de viscosidad

*Desventaja:* Más caro pero no más rápido que otros sistemas.

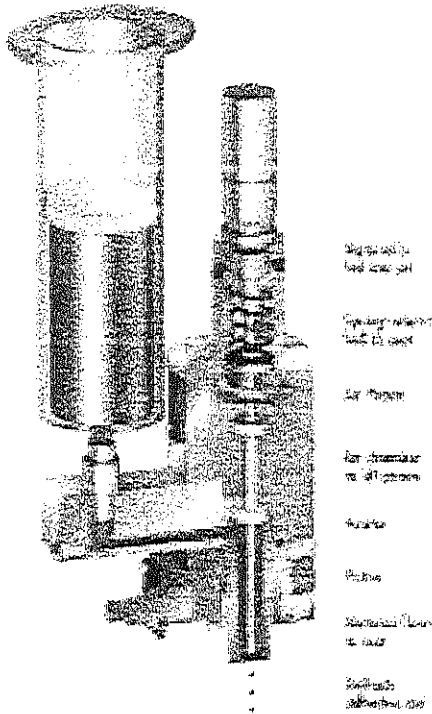
Los métodos *de contacto* antes descriptos se ven limitados en velocidad, ya que para compensar variaciones de altura una aguja de contacto debe tocar la placa en cada coordenada con el consiguiente movimiento del eje Z y sus tiempos de posicionamiento.

Más aún se complica cuando la placa a adhesivar requiere una variedad de tamaños de gota que exceden el rango determinado por el

diámetro de boquilla y el distanciador. En estos casos puede verse que aparecen máquinas con más de un cabezal para poder cubrir todos los rangos de tamaño de gota.

#### Método "Sin - Contacto":

Relativamente novedoso este sistema no posee sensor de altura ni eje Z, eliminándose así los correspondientes tiempos de sensado y posicionamiento, lo que permite a los ejes X e Y trabajar a mayor velocidad. Esta tecnología de dispensado por chorro conocida como *jetting* se basa en la inyección del adhesivo dentro de una cámara donde es atemperado para lograr la viscosidad óptima. Luego un diseño de *bola y asiento* permite al adhesivo ocupar el espacio dejado por la bola al retirarse del asiento. Cuando la bola regresa la fuerza debida a la aceleración vence el flujo del adhesivo, el cual es proyectado a través de la boquilla hasta chocar contra la placa y formar así una gota de adhesivo.



Esto se lleva a cabo desde una altura de 1 a 3,5mm de la placa. Para gotas de mayor tamaño el sistema puede dispensar hasta 5 gotas sobre la misma coordenada para lograr el volumen deseado.

**Ventaja:** Alta repetibilidad ( $\pm 3\%$ ). Alta velocidad de dispensado

**Desventaja:** Más caro (pero más rápido que otros sistemas)

#### Método serigráfico:

Este último será visto en detalle cuando tratemos la serigrafía de pasta de soldar [1], pero podemos adelantar que, si bien la velocidad de adhesivado es mucho mayor al lograr dispensar todas las gotas con una sola pasada de la espátula por el clisé, se pierde la flexibilidad que tienen los sistemas antes descritos de modificar individualmente el tamaño de una gota en particular o de corregir sus coordenadas. Esto en un sistema serigráfico motivaría la construcción de un nuevo clisé.

#### Etapa de "curado":

Una vez adhesivada la PCB tiene lugar la colocación de componentes, lo cual se detallará en el capítulo 5, e inmediatamente el adhesivo debe ser curado, es decir debe solidificarse para poder así sostener a los componentes SMD recién colocados.

El curado se lleva a cabo típicamente en línea mediante hornos tipo túnel de rayos infrarrojos (IR) o bien de reflujo por convección forzada [2].

Para bajas producciones el curado puede llevarse a cabo en hornos estáticos.

La mínima temperatura para iniciar el curado es de 100°C, oscilando en la práctica entre los 110°C y los 160°C. Por encima de esto se acelera el proceso pero se obtendrían juntas quebradizas.

#### Referencias:

1. Ver capítulo 4.
2. Ver capítulo 6.

## CAPÍTULO 4.

### SERIGRAFÍA DE PASTA DE SOLDAR Y ADHESIVO

Este capítulo describe básicamente el proceso de serigrafía de pasta de soldar por presentar este mayor complejidad que el de serigrafía de adhesivo. No obstante los conceptos, herramientas y maquinarias son comunes a ambos procesos.

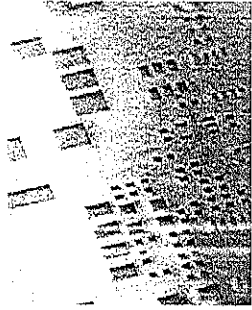
El proceso de impresión de pasta de soldar es de vital importancia en un proceso SMT ya que de él depende en gran manera la tasa de error que puede tener nuestro proceso de fabricación si no es bien atendido.

*La Pasta de Soldar:* Se compone básicamente de una aleación mayoritariamente de estaño microgranulado, formando esferas que pueden ir de los 20  $\mu\text{m}$  a los 75  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Este polvo viene mezclado con "flux", así conocido habitualmente el agente químico que actúa como decapante y que ayuda a la formación de una buena soldadura. Este puede ser de base acuosa u al solvente. Juntos forman la pasta o crema de soldar que debemos depositar sobre los PAD's o islas de soldadura de la PCB previo a la colocación de componentes SMD.

Una vez colocado el componente SMD con sus terminales sobre la pasta el conjunto será sometido a un ciclo de temperatura en un horno continuo siguiendo una curva tal que hará que el estaño se fusione, fluya y forme al enfriarse la necesaria soldadura que será la unión eléctrica y mecánica del componente con el circuito impreso.

Las pastas de soldar requieren almacenamiento refrigerado, pero previo a su utilización deben tomar la temperatura ambiente sin ser abierto para evitar la condensación de humedad lo cual es causa de posibles fallas en la soldadura. En todos los casos se recomienda observar las indicaciones del fabricante ya que estos productos son tóxicos.



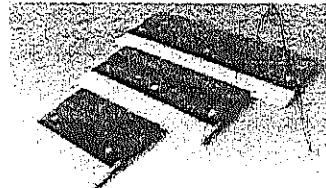
**El stencil:** El depósito de pasta de soldar sobre los PAD's o islas de la PCB se logra mayormente mediante un proceso serigráfico y como tal requiere de un stencil también conocido como clisé.

El stencil consiste en una hoja metálica de acero inoxidable o latón a la cual mediante un proceso de corte láser, electroerosión o por ataque químico se le han practicado aberturas de tamaño y forma adecuadas a los PAD's de la PCB y en las mismas coordenadas.

Existen también los llamados screen o bastidor, que están formados por una malla tramada porosa sobre la cual se ha depositado, por medios fotosensibles, una emulsión en un espesor conveniente pero dejando libre las aberturas para los PAD's.

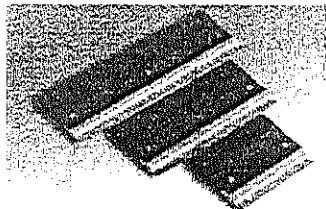
Para el uso del stencil o screen en las máquinas de serigrafía los mismos deben ser tensados y pegados a un marco metálico que les sirve de soporte.

En ambos casos, stencil o screen, a la hora de serigrafiar la pasta de soldar estos serán alineados sobre la PCB de modo que coincidan sus coordenadas y las aberturas queden centradas sobre los PAD's. Luego mediante una espátula la pasta de soldar será esparcida sobre el stencil pasando por las aberturas y quedando depositada sobre los PAD's al separarse el stencil de la PCB.



**Las espátulas:** También llamadas "squeegee" las más usadas son las de goma o poliuretano y las de metal.

Las de goma son menos usadas ya que si la presión aplicada es excesiva se puede filtrar pasta bajo el stencil ocasionando fallas en el proceso (puentes de soldadura) y requiriendo mayor frecuencia de limpieza de la cara inferior del stencil que hace contacto con las PCB's. Las de metal son más indicadas sobre todo para "fine pitch" y

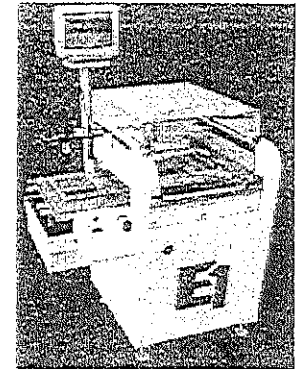


están hechas de flejes de acero inoxidable o latón y usadas en un ángulo de incidencia sobre el stencil de 30° a 45°. Requieren menos presión, no necesitan ser afiladas y no se desgastan fácilmente, pero son más costosas que las de goma y pueden causar desgaste del stencil.

**Máquinas de serigrafía:** Para desarrollos o pequeñas producciones que a su vez no requieran mucha precisión no es extremadamente necesario contar con una máquina serigrafiadora, sino que teniendo la pasta y el stencil solo será necesario adquirir o construir un dispositivo de banco que permita fijar la PCB, superponer el stencil, alinearlos a la PCB y mediante una espátula manual hacer correr la pasta por sobre los orificios de modo de forzar el paso a través de los mismos y conseguir así un depósito de pasta en cada PAD al levantar el stencil.

Dado lo delicado de este proceso y la gran tasa de fallas que nos puede ocasionar, en una fabricación seriada es absolutamente recomendable contar con una máquina serigrafiadora para SMD. En la jerga SMT también se las conoce como "empastadoras".

Las hay en diferentes grados de automatización y combinaciones varias. Las más avanzadas son computarizadas y cuentan con un sistema de transporte que permite tomar las placas desde un cargador automático, transportarlas hasta la zona de serigrafiado y una vez impresa la pasta transportarlas hasta la siguiente estación de la línea.



En las menos automatizadas las placas se colocan y quitan una a una en forma manual.

El sistema de fijación de la PCB puede ser por pernos posicionadores que coincidan con agujeros de la PCB diseñados para tal fin, por abrochado lateral mediante flejes muy finos que toman las PCB's por los bordes o por vacío, succionando la PCB contra una placa base metálica perforada.

Para la alineación stencil-PCB las más avanzadas cuentan con un sistema de visión con cámaras que visualizan las marcas de posiciona-

miento (fiduciales) que se hallan tanto en la PCB como en el stencil. Esta información es procesada, el error de alineación es determinado y la posición del stencil es corregida mediante servomotores.

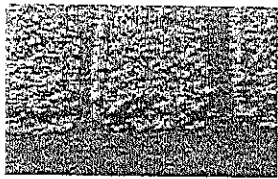
En las más sencillas el stencil es centrado visualmente contra una PCB que se halla fija por medio de pernos posicionadores.

La limpieza del stencil según la sofisticación del equipamiento va desde la forma manual, mediante alcohol isopropílico y papel absorbente (libre de pelusas) o paños especiales hasta los sistemas de limpieza automáticos que poseen un rollo de paño de limpieza y un contenedor con alcohol. En estos la frecuencia de limpieza se establece por SW y según la aplicación.

Al actuar el paño se embebe en alcohol, limpia el stencil, lo seca, y va enrollando el paño sucio. Por medio del SW se informa si es necesario recargar alcohol o reemplazar el paño.

#### Una buena impresión:

A tal punto algunos consideran que una buena impresión de pasta de soldar es la clave del éxito en un proceso SMT que se han desarrollado sistemas ópticos automáticos o AOI (Automated Optical Inspection) los cuales se emplean para verificar la correcta impresión de pasta y se montan en línea a continuación de la serigrafiadora. Estos sistemas dan alarma al detectar falta u exceso de pasta y evitan así que placas con impresión de pasta defectuosa continúen en el proceso así como alertan de fallas en la serigrafiadora.



La necesidad de un sistema AOI así como el de una serigrafiadora totalmente automatizada depende de la aplicación específica en que se empleará y a un conveniente análisis de costo-beneficio.

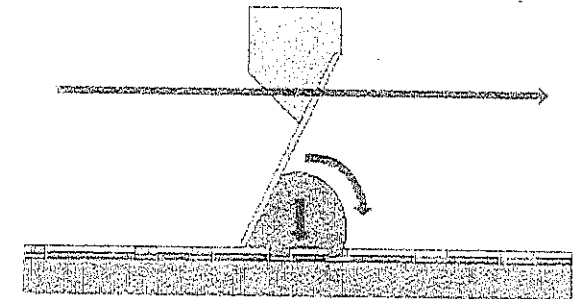
Mientras tanto hay ciertos parámetros que, automatizados o no, son la clave de un proceso limpio y eficaz:

**Presión de espátula:** Con una presión óptima no deben quedar restos de pasta sobre el stencil, lo cual provocaría que en algunos

PAD's quedase demasiado espesor de pasta aumentando el riesgo de puentes de soldadura. Es preferible presión de más que de menos.

La presión óptima dependerá entre otras cosas del estado de la espátula, la velocidad, la viscosidad de la pasta, frecuencia de las impresiones y tamaño de la placa. Como punto de partida podemos considerar razonable para baja velocidad una presión de 0,75Kg a 1,25Kg por cada 100mm de largo de placa.

**Velocidad de impresión:** Típicamente va de 20 a 80mm por segundo, pero lo que se debe cuidar es que la pasta vaya formando un rollo frente de la espátula mientras esta avanza. Del tipo de pasta usada dependerá la máxima velocidad que le podremos dar sin comprometer la calidad.



**Snap Off:** Así se denomina la distancia entre la PCB y la cara inferior del stencil en la posición de impresión pero sin la presión de la espátula. Para stencils metálicos debe ser "cero", lo que se denomina "contact printing" o impresión de contacto.

Para los screen de malla debe ser de 0,5 a 3mm y en este caso el snap off influye en la cantidad de pasta depositada.

**Velocidad de separación:** Una separación muy lenta aumenta el tiempo de ciclo, pero una muy rápida podría dejar bordes altos en la pasta depositada sobre los PAD's. La velocidad ideal depende del tipo de pasta y de la calidad del clisé.

**Area de impresión:** Para asegurarnos que la pasta vaya rodando correctamente frente a la espátula ésta debe comenzar a avanzar 80 a 100mm antes de alcanzar las aberturas. Hacia los costados del área de impresión la espátula debe sobresalir como mínimo 20mm.

**Factores ambientales:** La presencia de polvo o suciedad en el ambiente puede producir defectos como ser puentes de soldadura entre islas fine pitch. La temperatura del ambiente debe ser baja y relativamente constante a fin de que la pasta no presente cambios de viscosidad a lo largo del día, lo cual dificultaría un control de proceso efectivo.

Asimismo no deben haber corrientes de aire ya que esto acelera la evaporación del flux.

**Serigrafía de adhesivo:** La aplicación de adhesivo mediante serigrafía se realiza con el mismo equipamiento usado para pasta de soldar. Los parámetros y conceptos son los mismos pero el nivel de exigencias es mucho menor, por ser el adhesivo un producto mas estable y ser aplicado sobre la PCB en porciones comparativamente mucho mayores a los de un PAD de fine pitch con pasta de soldar.

## CAPÍTULO 5.

### COLOCACIÓN DE COMPONENTES SMD

La colocación de componentes o "PLACEMENT" es el punto del proceso donde los componentes son colocados sobre la PCB, ya sean PCB's serigrafiadas con pasta de soldar o sobre PCB's con gotas de adhesivo.

Es necesario contar con una máquina automática para esta tarea por razones de calidad, precisión y rapidez, aunque con paciencia y de modo artesanal se pueden equipar prototipos y pequeños lotes.

Factores involucrados				
Equipamiento	Método	Materiales	Entorno	Operadores
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina colocadora de SMD:</li> <li>• Ejes móviles</li> <li>• Cabezales</li> <li>• Boquillas</li> <li>• Soporte PCB</li> <li>• Sistema de vision</li> <li>• Precisión y repetibilidad</li> <li>• Alimentadores</li> <li>• Software de programación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Parámetros de colocación:</u></li> <li>• <u>Datos de visión</u></li> <li>• <u>Datos del componente</u></li> <li>• <u>Boquillas</u></li> <li>• <u>Soporte y sujeción de la PCB</u></li> <li>• <u>Rendimiento</u></li> <li>• <u>Cambios de producción</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Componentes</u></li> <li>• <u>PCB:</u></li> <li>• <u>planitud de PCB</u></li> <li>• <u>planitud de PAD's</u></li> <li>• <u>Pasta de soldar:</u></li> <li>• <u>espesor</u></li> <li>• <u>Adhesivo:</u></li> <li>• <u>espesor</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Área de producción:</u></li> <li>• <u>polvo y suciedad</u></li> <li>• <u>Circulación de aire</u></li> <li>• <u>Humedad del aire:</u></li> <li>• <u>Temperatura</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Entrenamiento</u></li> <li>• <u>Conocimiento</u></li> <li>• <u>Conciencia</u></li> <li>• <u>Autoridad</u></li> </ul>

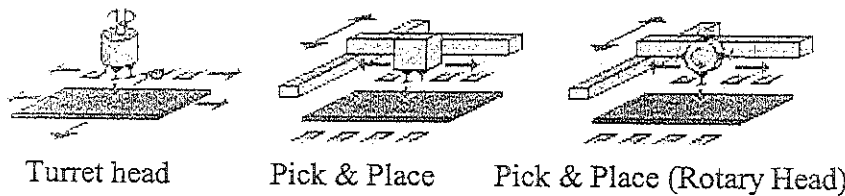
Todos los factores en los cinco grupos son de diferente importancia, pero todos cumplen su rol en el resultado final y es importante considerar todos los aspectos para alcanzar la calidad requerida en el producto final.

### LAS MÁQUINAS:

Existen diversos tipos de máquinas para la colocación de componentes SMD y se las puede clasificar básicamente por sus principios de funcionamiento.

Las primeras máquinas colocadoras de componentes SMD introducidas a principio de los 80's fueron del tipo "pick & place" con solo un cabezal mecánico. Eran muy lentas (1000 a 2000 cph) Pronto apareció otro tipo, el de cabezal tipo "torreta" con sistema de alineación por visión. Este tipo de máquinas fue diseñado para colocación rápida de pequeños chips y las máquinas pick & place fueron rediseñadas para trabajar con componentes grandes y de fine pitch. Esto cambió el concepto de producción con máquinas stand alone por el de líneas de producción SMD.

Desde mediados de los 90's el tipo de máquinas pick & place han emprendido un cambio muy grande. De máquinas de simple cabezal con solo pinzas mecánicas a máquinas de cabezales múltiples con visión integrada que pueden manejar componentes tanto pequeños como grandes y con la más alta relación productividad/superficie. Por esto las máquinas pick & place son las más flexibles. Manejan un amplio rango de componentes de diferentes encapsulados y pueden ser provistas de muchos opcionales. Ver figuras de los diferentes tipos abajo



Aquellas que poseen varias boquillas en el mismo cabezal y que colectan varios componentes para luego ir a colocarlos en la PCB reciben el nombre de Collect & Place y si el cabezal es rotativo también se lo llama cabezal revólver.

La mayor diferencia entre máquinas pick & place y las de cabezal torreta es el transporte de los componentes desde los alimentadores hasta la PCB. Las máquinas pick & place tienen una unidad de pick-up o toma de componentes montado sobre un portal X-Y que toma el componente desde el alimentador colocado en una posición fija y lo transporta a las coordenadas de colocación sobre la PCB que se encuentra también en una posición fija.

En una máquina con cabezal torreta los cabezales van rotando, tomando los componentes en una posición y colocándolos en otra. En este caso los alimentadores se mueven hasta la posición de toma y la PCB hasta la posición de colocación mientras que la torreta gira sobre un eje fijo.

La mayoría de las máquinas colocadoras de SMD transportan los componentes desde los alimentadores hasta las coordenadas de colocación en la PCB usando boquillas o "nozzles" con vacío. Algunas máquinas tienen la posibilidad de cambiar el tipo de boquillas mientras corre el programa a fin de tomar los componentes con la adecuada.

El sistema de soporte y fijación de la PCB mantiene la placa en una posición fija y asegura una superficie plana durante la colocación de los componentes. Muchas máquinas utilizan pines de posicionamiento para fijar la PCB, en cuyo caso se requiere contar con orificios en la placa en posiciones específicas a tener en cuenta durante el diseño de la misma.

Las máquinas de más reciente diseño utilizan un sistema de fijación lateral. Pistones neumáticos presionan contra los bordes de la PCB para fijarla en su lugar. El sistema pasa a ser flexible y no requiere de agujeros posicionadores en la placa. El soporte inferior de la PCB, para que no se pandee, se logra mediante pines de apoyo móviles o colocados en una matriz de agujeros.

Se conocen dos sistemas para el reconocimiento de las marcas fiduciales de posicionamiento y la corrección de las coordenadas. El más usado es mediante cámara y a modo alternativo algunas máquinas usan un rayo de luz. Las marcas de posicionamiento, también llamadas "fiduciales" son pequeñas figuras en el cobre de la PCB y se pueden emplear diferentes formas: círculos sólidos, cuadrados sólidos, cruces simples y dobles, triángulos sólidos, etc. dependiendo del sistema de visión a usar. Para asegurar un buen reconocimiento se requiere un área de 1mm alrededor de la marca sin máscara antisoldante.

El reconocimiento de la posición de estas marcas sirve para compensar las desviaciones en el posicionamiento de la PCB en la máquina. Usualmente se emplean 2 marcas situadas en los extremos y sobre la diagonal de la PCB. Algunas máquinas permiten usar 3 marcas para una mayor precisión en la corrección del ángulo de rotación de la PCB y para chequear alargamiento o tensiones en la placa. Para la colocación de componentes fine pitch se requieren marcas adicionales colocadas en diagonal en la zona próxima al componente.

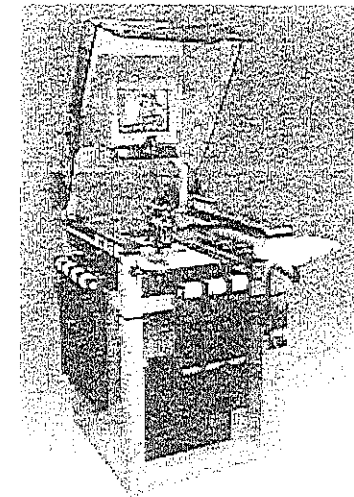
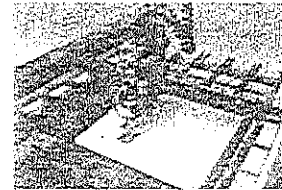
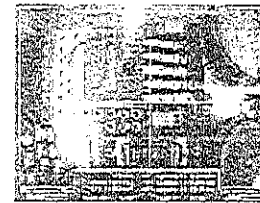
Para el reconocimiento de los componentes y su alineación se dispone de dos grupos de sistemas de visión, los de iluminación trasera o back-lighted y los de iluminación frontal o front lighted. En los sistemas con iluminación trasera la cámara solo ve la sombra del componente mientras que en los de iluminación frontal la cámara ve al componente en todos sus detalles en blanco y negro. Ambos sistemas tienen sus fortalezas y son recomendables máquinas que posean los dos a fin de asegurar la posibilidad de reconocer todo tipo de componentes.

Las formas de operación de los sistemas de visión pueden ser algo diferentes. El término "vision on the fly" o visión al vuelo es muy usado en máquinas del tipo pick & place con las siguientes operaciones: el componente tomado (picked up) es llevado sobre la cámara para su reconocimiento y alineación y luego es llevado a la posición de colocación sobre la PCB. Pero algunas máquinas usan lo que dan a llamar "real vision on the fly". Aquí también los componentes son tomados pero son llevados directamente a la posición de colocación sobre la PCB. Durante este movimiento el componente es reconocido y alineado mediante una cámara montada en el propio cabezal. En las máquinas de torreta giratoria el componente tomado pasa sobre una cámara mientras es rotado de la posición de toma a la de colocación.

Algunas máquinas usan sistemas láser o LED's para la alineación de chips pequeños en lugar de cámaras. Los componentes son iluminados desde uno de sus lados mientras del lado opuesto un sensor CCD registra el tamaño del componente y su orientación cuando rota en la boquilla de vacío.

La exactitud y repetibilidad de una máquina de colocación de SMD es el resultado de muchos parámetros: exactitud de los ejes de movimiento, resolución de las cámaras de visión o sistemas láser, algoritmos de visión, fijación de la PCB, coordenadas del programa, datos del componente, etc.

Las máquinas colocadoras de SMD pueden ser equipadas con muchos opcionales. Para nombrar algunos: verificación de códigos de barra de componentes, monitor del desempeño de máquina y alimentadores, sistema de chequeo de coplanaridad, sistemas de cambio automático de boquillas, carros de alimentadores intercambiables, etc.



#### FEEDERS:

Los componentes SMD son provistos en diferentes tipos de empaque dependiendo del encapsulado del componente. Por ello son necesarios diferentes tipos de feeders o alimentadores.

Los tape feeders o alimentadores de cinta se emplean para alimentar componentes envasados en cintas de papel o de plástico a

modo de blister que dependiendo del formato y tamaño del componente pueden ser de diferentes espesores y anchos. Son conocidos los anchos de 8, 12, 16, 24, 32, 44, 56 y 72mm. Los componentes son mantenidos en los alojamientos de la cinta portante mediante una fina cinta transparente que los cubre. Las especificaciones de las cintas pueden hallarse en la norma EIA-481-1-A. Estos alojamientos van de 2mm a 72mm de a 4mm. Según los diferentes fabricantes podremos encontrar alimentadores activados de forma mecánica, neumática o por motores eléctricos.

Los **stick feeders** o alimentadores de varillas se emplean como su nombre lo indica para alimentar componentes provistos en varillas o tubos. Los principales métodos de funcionamiento son por vibración e inclinación y por aire comprimido.

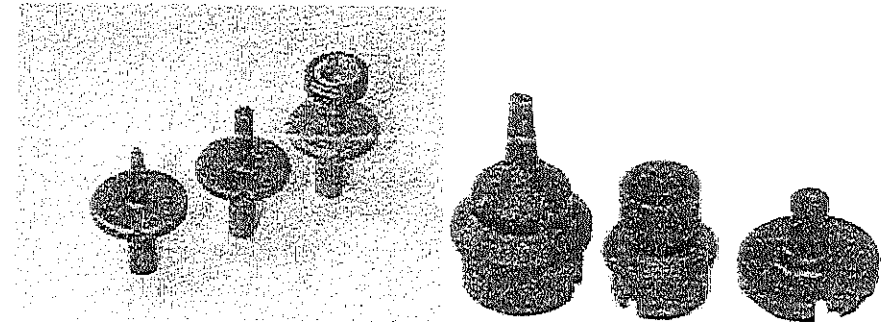
Los **bulk feeders** son alimentadores para componentes chip que vienen a granel en contenedores de 50.000 y más. El contenedor se conecta a la parte trasera del feeder y por medio de aire comprimido los componentes son llevados hasta la posición de toma o pick-up. Son de diseño específico para cada tipo de encapsulado.

Los **tray feeders** son alimentadores para componentes que por su tamaño vienen provistos en bandejas (tray). A estas bandejas también se las suele llamar waffle-pack. Los componentes se hallan distribuidos en forma matricial, p. ej. 5 x 20 comp. Se programan las coordenadas de las mismas y el cabezal los irá tomando de a uno hasta vaciar la bandeja. Existen soportes para 1 y 2 bandejas fijas como también equipos accesorios intercambiadores que permiten manejar 28 o 40 bandejas de componentes iguales o diferentes.

## NOZZLES

También llamadas boquillas, pipetas o toberas son las herramientas que emplea el cabezal a fin de poder tomar los componentes (pick-

up) y sostenerlos durante el transporte hasta el momento de colocarlos (place). Existen diferentes formas y tamaños de boquillas diseñadas para los diferentes tipos de encapsulados a manejar, todas ellas se basan en el empleo de vacío para retener los componentes. El vacío es generado en el propio cabezal. También existen boquillas especiales con pinzas mecánicas para manejar componentes especiales (odd-shape) que no permiten ser tomados por vacío.



## SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN

Cada fabricante posee un software para la programación de sus máquinas y podremos encontrar algunos más intuitivos y amigables que otros, pero básicamente todos necesitan la misma información: dimensiones de la PCB, coordenadas de las marcas de posicionamiento/pines posicionadores referenciadas a un punto "cero", coordenadas de cada componente en la PCB, datos de los encapsulados de los componentes.

Mucha de esta información se obtiene del CAD de cada PCB. A fin de realizar pequeñas correcciones algunas máquinas poseen una función "teaching" o enseñanza mediante la cual se moviliza la cámara hasta una posición deseada sobre la placa y se obtienen sus coordenadas.

## COMUNICACIONES Y COMPATIBILIDAD

Máquinas de diferentes fabricantes pueden conectarse en línea, pero siempre se deberá tener en cuenta que puedan compartir el mis-

mo protocolo de comunicación. Es muy usado el standard SMEMA y su función es mantener una "conversación" entre las diferentes estaciones de una línea a fin de que las PCB puedan ser transportadas de una a otra y el necesario manejo de alarmas para el caso de que existan inconvenientes.

La compatibilidad entre máquinas de diferentes fabricantes atañe también a factores como la altura del transporte desde el suelo, sentido de transporte, lado fijo izquierdo o derecho para transportes de ancho variable, etc. [1]

## EL OPERADOR

En general, independientemente de la marca o del principio de funcionamiento de cada máquina, el resultado que se pueda obtener de las mismas dependerá en gran medida de un operador atento y bien entrenado. La buena preparación de los feeders, la limpieza, los mantenimientos preventivos y el estado de las boquillas son entre otros algunos de los factores que un buen operador debe cuidar para obtener un alto rendimiento.

### Referencias:

1. Ver capítulo 10.

## CAPÍTULO 6.

### SOLDADURA POR REFUSIÓN Y CURADO DE ADHESIVO

En los capítulos anteriores hemos hablado de la impresión de pasta de soldar, del adhesivado y luego de la colocación de componentes SMD.

El siguiente paso para un proceso con impresión de pasta de soldar, luego de la colocación de los componentes, es el de **soldadura por refusión** o "reflow" en el cual se somete a la PCB a una determinada curva de temperatura para lograr fundir la pasta de soldar haciendo que esta fluya luego humectando los pads y terminales de los componentes, terminando con una etapa de enfriamiento y así formando la unión de soldadura entre el terminal del SMD y el pad o isla de soldadura de la PCB.

En el caso de que los componentes hayan sido colocados sobre gotas de adhesivo dispensadas el siguiente paso será el de **curado** para lograr el endurecimiento del adhesivo que mantendrá fijo al componente SMD hasta su soldadura por baño de ola.

Desde la impresión de pasta de soldar o el adhesivado hasta la soldadura por refusión o el curado del adhesivo, pasando por la colocación de componentes, los procesos deben llevarse a cabo inmediatamente uno después del otro, evitando la acumulación de PCB's por largos periodos de tiempo en los estados intermedios. Hasta tanto no se halla formado la unión de soldadura o solidificado el adhesivo las PCB deben ser manipuladas con suma delicadeza ya que un golpe puede hacer saltar los componentes o moverlos de su posición. En el caso de la pasta de soldar se van evaporando los solventes y se produce el resecamiento superficial lo que puede ocasionar fallas a la hora del "reflow".

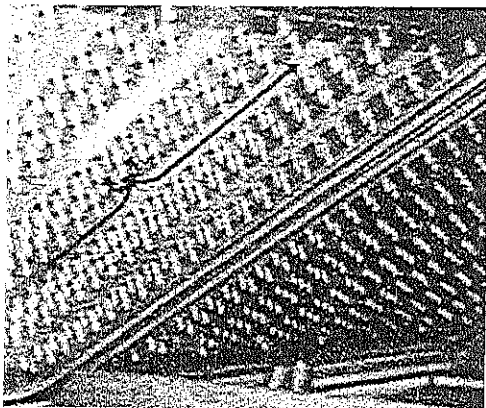
También se corre el riesgo de la acumulación de polvo que luego puede formar puentes de soldadura.

**SOLDADURA POR REFUSIÓN O "REFLOW"**

Factores involucrados				
Equipamiento	Método	Materiales	Entorno	Operadores
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Horno</u></li> <li>• <u>Transporte</u></li> <li>• <u>Soporte central</u></li> <li>• <u>Zonas de calentamiento</u></li> <li>• <u>Zonas de enfriamiento</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Perfil de soldadura</u></li> <li>• <u>Pre calentamiento</u></li> <li>• <u>Recalentado</u></li> <li>• <u>Reflujo</u></li> <li>• <u>Enfriamiento</u></li> <li>• <u>Velocidad del transporte</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Pasta de soldar</u></li> <li>• <u>Flux</u></li> <li>• <u>Composición de la aleación</u></li> <li>• <u>Tamaño de partículas</u></li> <li>• <u>Componentes</u></li> <li>• <u>Superficie de pad's</u></li> <li>• <u>Atmósfera de soldadura</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Área de producción</u></li> <li>• <u>Polvo y suciedad</u></li> <li>• <u>Circulación de aire</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Entrenamiento</u></li> <li>• <u>Conocimiento</u></li> <li>• <u>Conciencia</u></li> </ul>

• **Equipamiento de refusión:**

Actualmente el tipo horno de refusión mas comúnmente usado es el de convección forzada. En este se fuerza el ingreso de aire caliente a

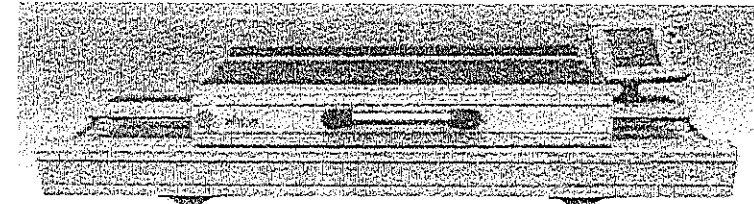


la cámara de proceso a través de un gran número de agujeros o toberas por encima de la PCB que avanza sobre un sistema de transporte o "conveyor". Este aire calienta la PCB. La figura muestra un ejemplo de una cámara de calentamiento en un horno de convección forzada. Las flechas muestran el flujo de aire.

Si bien el aire es un medio transmisor de calor relativamente pobre, el beneficio de este tipo de sistema es que las diferencias de temperatura o "delta T" medidas en una PCB son relativamente bajas.

Hace pocos años los hornos infrarrojos (IR) eran usados en todas partes. Había dos tipos principales de hornos IR, los de tubos IR y los de masa cerámica IR. La debilidad de estos sistemas era su sensibilidad a las sombras y a los diferentes colores. Los componentes grandes bloqueaban la luz infrarroja por lo que calentar el área alrededor de los mismos se tomaba dificultoso. Los diferentes colores de los componentes también causaban problemas. Un componente blanco simplemente reflejaba parte de la energía mientras que los de color negro la absorbían mucho mejor. Esto resultaba en delta T's de hasta 40 °C sobre una misma PCB.

Para todos los tipos de horno la cámara de proceso se divide en un cierto número de zonas. Las temperaturas de cada zona son determinadas cuidadosamente y en forma individual para alcanzar el perfil de soldadura deseado.



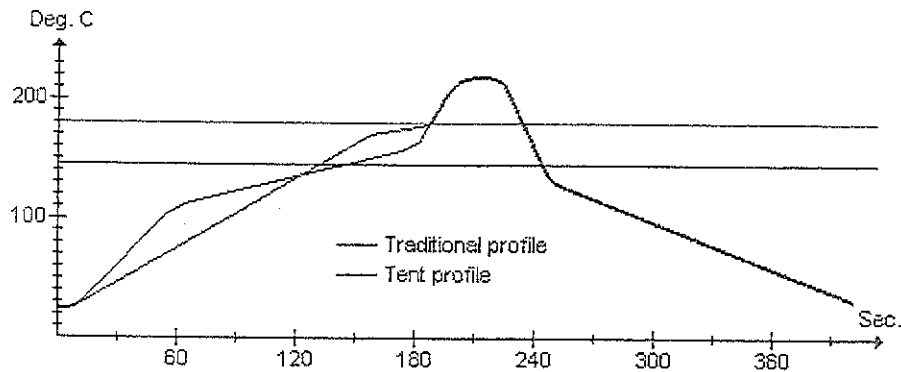
• **Método de soldadura (perfil)**

El perfil de temperatura de soldadura consiste en cuatro fases: precalentamiento, atemperado o "soak", refusión y enfriamiento. Para determinar un perfil de soldadura deben ser considerados parámetros como: temperatura de cada zona, velocidad de enfriamiento, velocidad del transporte y velocidad de los ventiladores en cada zona. Dicho perfil debe ser tomado sobre varios puntos de la PCB mediante termocuplas conectadas a un registrador o "profiler" que permitirá bajar los datos a PC para su posterior análisis y determinación de los parámetros a corregir.

El así llamado perfil de temperatura tradicional ha sido usado por muchos años. La razón de ello fue el uso de hornos de refusión infrarrojos (IR) que para minimizar los grandes delta T en las temperaturas pico necesitaban tener un largo período de atemperado o "soak" para equalizar las temperaturas en la PCB antes de ir a la zona de refusión.

Sin embargo hoy, cuando se usan modernos hornos de convección y nuevos tipos de pastas de soldar "no-clean", el así llamado perfil de "carpa" es el más utilizado (tent profile). El periodo de precalentamiento es prácticamente eliminado y la temperatura crece lentamente en línea recta hasta alcanzar la zona de refusión.

De los dos tipos de perfiles, es preferible el de tipo "carpa" porque tiende a reducir algunos de los defectos de soldadura.



En los siguientes cuatro párrafos se explican las diferentes fases de soldadura. Tenga en cuenta que al configurar un perfil de soldadura este debe ser el adecuado para la composición de la pasta de soldar utilizada.

**Precalentamiento:** Durante la fase de precalentamiento los solventes se evaporan de la pasta de soldar. Si la temperatura crece demasiado rápido en esta fase puede ocasionar dos problemas. En primer lugar pueden esparcirse bolas de soldadura cuando el solvente revienta la membrana superficial de flux. Esto se denomina "solder balling" o perlado. Además la pasta de soldar puede bajarse debido a que un ascenso muy rápido de temperatura modifica la viscosidad. Esto resul-

tará en puentes de soldadura. Usando un perfil de soldadura tradicional el delta T típico debe rondar los 2 °C por segundo hasta alcanzar los 95 a 120 °C al finalizar la fase de precalentamiento. Para un perfil tipo carpa el delta T debe encontrarse entre los 0,5 a 1 °C.

**Atemperado o "Soak":** Durante la fase de atemperado o "soak" la temperatura sube lentamente. El propósito es el de activar el flux y equalizar las temperaturas en la PCB. La mayoría de los fluxes se activan a los 145 °C. Si esta temperatura no es alcanzada durante el período de "soak" solo se llevará a cabo la limpieza de los pads de soldadura en forma parcial y esto puede ocasionar problemas de humectación.

Ya que la fase atemperado es usada para equalizar temperaturas en la PCB si esta fuese muy corta puede resultar en soldaduras frías o en el efecto lápida o "tomb stoning" en el cual los componentes chip se levantan y quedan parados debido a que la fusión en los dos pads de soldadura se realiza con una diferencia de tiempo. Esta falla era común verla en los antiguos hornos infrarrojos. En los modernos hornos de convección los delta T sobre la PCB son mucho menores por lo que los tiempos de atemperado pueden ser más cortos, dependiendo naturalmente del tipo de pasta de soldar utilizada.

Por otro lado si el tiempo de atemperado es demasiado largo, el flux habrá usado todo su potencial limpiador antes de llegar a la zona de reflujo. El tiempo de atemperado en un perfil tradicional se encuentra usualmente entre los 90 a 150 segundos debiéndose alcanzar al final de esta fase unos 150 a 170 °C. Para un perfil tipo carpa un tiempo de atemperado de 30 segundos es considerado adecuado y la temperatura final debe rondar los 180 °C

**Refusión o "reflow":** Durante la fase de refusión se eleva la temperatura para fundir la aleación de pasta de soldar y así formar la unión de soldadura. Para evitar una capa intermetálica muy gruesa la temperatura de soldado ideal es de 30 a 40 °C por encima de la temperatura de fusión de la pasta de soldar. Para pastas de soldar compuestas por Sn62Pb36Ag2 esto representará unos 209 a 219 °C y para la aleación eutéctica Sn63Pb37 de 213 a 223°C. Sin embargo en la prác-

tica se emplea una temperatura levemente superior, de 215 a 225°C para asegurar que todas las uniones se suelden correctamente. Un pico de temperatura muy alto se verá reflejado en una superficie rugosa y arenosa de la unión soldada debido a una alta oxidación, además de producirse la delaminación de la PCB por lo que las características eléctricas se ven alteradas. Una tercera falla causada por un pico alto de temperatura puede ser la carbonización del flux.

El tiempo de permanencia (tiempo por encima del punto de fusión de la pasta de soldar) tanto para el perfil tradicional de temperatura como para el tipo carpa debe ser de 30 a 90 segundos, pero preferiblemente menos de 60 segundos. El gradiente de temperatura debe encontrarse entre los 2 a 3,5 °C por segundo. El tiempo apropiado de permanencia depende del grado de población y masa de la PCB, pudiendo ser menor para una PCB poco poblada de componentes y con poca masa, pero mayor para una PCB muy poblada y de mucha masa. Si el tiempo de permanencia es muy corto resultará en una humectación pobre de los pads de soldadura debido a la falta de tiempo para que la aleación de soldadura moje completamente los pads. Por otro lado si el tiempo de permanencia es muy largo, típicamente más de 120 segundos, la capa intermetálica en la junta de soldadura será más gruesa y resultará en una junta dura pero quebradiza que se puede romper fácilmente.

**Enfriamiento o "cooling":** La fase de enfriamiento es tan importante como las otras fases del proceso. Muchas veces la importancia del enfriamiento es subestimada, pero la resistencia mecánica final del punto de soldadura depende de la velocidad de enfriamiento. Para lograr una unión fuerte entre el pad de soldadura y el terminal del componente el enfriamiento debe ser tan rápido como sea posible. Aunque parezca que si, el estaño y el plomo no se mezclan en la unión de soldadura. Cuando la unión de soldadura se enfría rápidamente las áreas de estaño y plomo resultan más pequeñas y existirá una mayor superficie de unión entre las dos aleaciones.

Un enfriamiento lento resultará en un excesivo crecimiento de la capa intermetálica y esto, como se describe en el párrafo de "reflow",

produce una unión dura pero quebradiza. Por otro lado el máximo gradiente de descenso de la temperatura queda limitado por la resistencia de los componentes. Los componentes simplemente se quiebran si la temperatura baja demasiado rápido. Por ello el enfriamiento debe ser de 3 a 4°C por segundo hasta bajar a 130°C. Por debajo de 130°C el régimen de enfriamiento deja de ser importante para la calidad de la unión de soldadura y puede ser menor.

**Velocidad de transporte:** La combinación de zonas de calentamiento, enfriamiento y velocidad de transporte resulta en un perfil de soldadura. Si se disminuye la velocidad la temperatura de refusión aumenta y el delta T de la rampa ascendente será menor y viceversa. Esto da la posibilidad de usar solamente un seteo de temperaturas y usar la velocidad de transporte como parámetro de ajuste. Una PCB grande y muy poblada de componentes puede entonces ser procesada a una velocidad menor que una PCB pequeña y poco poblada manteniendo aproximadamente el mismo perfil medido. Nótese que este procedimiento solo puede ser recomendado en hornos de convección forzada.

#### • Materiales

Varios materiales importantes toman parte en el proceso de refusión, p.ej. pasta de soldar, PCB, componentes y la atmósfera de soldadura.

**Pasta de soldar:** Generalmente es escasa la información del proveedor de pasta de soldar indicando el mejor perfil de soldadura. En consecuencia, para poder configurar (set-up) un buen perfil de soldadura, es importante conocer al menos la temperatura de evaporación del solvente, tiempo de evaporación, temperatura de activación del flux y tiempo de activación.

**PCB y componentes:** La soldabilidad de los pads de soldadura como la de los terminales de los componentes son muy importantes en el proceso de refusión. Una soldabilidad pobre puede resultar en una mala humectación de las superficies y uniones de soldadura pobres o abiertas.

**Atmósfera de soldadura:** La soldadura por refusión puede llevarse a cabo en un medio ambiente de aire, pero desde 1995 vino a ser más común aplicar nitrógeno para minimizar la oxidación dentro de la cámara del proceso. El uso de nitrógeno en el proceso de refusión puede ser una buena ayuda para minimizar los defectos de soldadura, pero debe tenerse en cuenta tampoco es una solución milagrosa.

#### • Medio ambiente

El polvo y la suciedad sobre la PCB's pueden ocasionar defectos como puentes o una humectación pobre. Una pequeña pieza de fibra o cabello entre dos pads de soldadura de fine pitch puede fácilmente ocasionar un puente.

Corrientes de aire en el área de producción o un ajuste incorrecto del escape de gases del horno pueden resultar en un proceso de refusión inestable.

#### • El operador

Desde que el moderno proceso de soldadura por refusión pasó a estar altamente automatizado y controlado por computadora dejó de ser "sensible" al operador. Básicamente el operador debe poder encender y apagar el horno de refusión y asegurarse que se esté empleando el perfil de temperatura indicado para el producto en proceso.

### CURADO DE ADHESIVO

El curado o endurecimiento del adhesivo se puede llevar a cabo en los mismos hornos de convección forzada o infrarrojos (IR) antes descritos. Los adhesivos para SMD no curan a temperatura ambiente sino que se los debe llevar a una cierta temperatura durante un cierto tiempo especificados por el fabricante del adhesivo. Estos valores oscilan según marca y modelo entre los 100 a 150 °C y tiempos de 2 a 4 minutos.

El perfil a utilizar no es crítico y puede tender a ser plano, siempre y cuando permanezca el tiempo necesario por encima de la temperatura indicada. Generalmente en este proceso no se producen fallas a no ser que se emplee un perfil erróneo y se llegue a una temperatura más elevada o un tiempo demasiado largo, en cuyo caso se producirá la cristalización del adhesivo por lo que pasa a ser quebradizo y pueden perderse componentes antes y durante la soldadura por ola posterior.

## CAPÍTULO 7.

### MEDIOS Y SISTEMAS DE TRANSPORTE

Desde los primeros capítulos se ha tratado de seguir una secuencia lógica del proceso de armado de plaquetas electrónicas con componentes SMD, o de montaje superficial. Ya se ha hablado sobre las tecnologías SMT y THT, los diferentes tipos de encapsulados y sus nombres comerciales, el adhesivado, la serigrafía de pasta de soldar, la colocación de componentes mediante máquinas pick&place y el proceso del horno para curado de adhesivo o la soldadura de los componentes.

En el presente capítulos se tratará sobre cómo realizar el manipuleo de las PCB's entre los diferentes pasos del proceso, qué opciones tenemos y cuales son las ventajas y desventajas con que corremos en cada caso.

Para empezar debemos saber que las máquinas de serigrafía, las pick&place para la colocación de componentes, los hornos continuos y otros equipamientos que veremos en futuras notas se dividen en dos grandes grupos.

Por un lado están las que no poseen transporte incorporado, es decir que son de carga y descarga manual. También se las denomina "stand alone".

Por otro lado tenemos las máquinas que sí tienen transporte incorporado y por lo tanto se las puede intercalar formando una línea en que las PCB's en proceso pasen de estación en estación automáticamente. Al transporte también se lo conoce como "conveyor"

#### Máquinas sin transporte

- *Máquina de Serigrafía:* son cargadas y descargadas en forma manual por el operador. Por lo general poseen pines de centrado para el posicionamiento de la PCB y la pasta de soldar o el adhesivo debe ser esparcido en forma manual mediante una espátula. Tam-

bién existen las semiautomáticas en las que las espátulas realizan el trabajo en forma motorizada, pero que igual requieren la carga y descarga manual.

- *Máquina de Pick&Place:* al no tener transporte son de carga y descarga manual, lo que por un lado parece ser un inconveniente, pero debe tomarse en cuenta que al no tener transporte se aprovechan los 4 lados del área de trabajo, incrementándose así el número de "feeders" o alimentadores de componentes que son factibles de ubicar en la máquina. Esto hace que logren una muy buena relación entre la superficie que ocupan en la planta y la variedad de componentes que son capaces de manipular.
- *Horno de reflow/curado por convección forzada:* todos los hornos continuos necesariamente poseen algún sistema de transporte. El más sencillo, y que requiere de carga y descarga manual, consiste en una malla metálica circular que ocupa todo el ancho del transporte. Sobre la misma se depositan las PCB a soldar/curar para que la malla al avanzar las haga pasar por las diferentes zonas de temperatura del horno logrando así la soldadura o el curado.
- *Medios auxiliares de transporte:* Al no contarse con un transporte automático, y por ser tan delicado el proceso en los estadíos intermedios hasta que estén los componentes soldados o adheridos, son necesarios medios de transporte auxiliares. Tal es el caso de los llamados racks, magazines o "PCB buffer". Son estructuras que permiten mantener las PCB's en proceso en posición horizontal y debidamente separadas una de otra para evitar corrimientos de la pasta de soldar por contacto accidental, pérdida de componentes, etc. Por lo general se componen de dos laterales ranurados sujetos por base y tapa con correderas mediante mariposas, que al aflojarlas permiten ajustar el ancho al de las PCB's a alojar en los mismos. Estos PCB buffer son usados tanto en SMT como en THT

### Máquinas con transporte

El transporte está constituido por dos laterales, uno fijo y otro móvil, por cuyo interior circulan correas dentadas movidas por moto-

res. Las correas en movimiento solo asoman unos milímetros desde los laterales y las PCB's son transportadas apoyadas sobre el lado plano de las mismas. El lateral móvil es posicionado al ancho adecuado con cada cambio de modelo. Dicho ajuste puede ser manual, semiautomático o automático. Los transportes de cada máquina se dividen en zonas, típicamente zona de entrada, de proceso y de salida, y en cada una de las mismas tienen sensores que van detectando y activando las zonas sucesivas.

Entre las zonas de una misma máquina y entre diferentes máquinas el sistema de transporte posee un protocolo de comunicación que por lo general es el SMEMA (Surface Mount Equipment Manufacturers Association) Interface Standard 1.2

Demás está decir que todos los tipos de transporte deben cumplir con las normas de protección antiestática.

- *Máquina de Serigrafía:* las máquinas de serigrafía o "screen printers" con transporte incorporado van tomando las PCB's del transporte anterior y las llevan hasta la zona de proceso. Allí son sujetas automáticamente mediante mordazas laterales. Poseen sistema de visión para determinar la posición de la PCB en el transporte y así corregir automáticamente la posición del clisé de serigrafía para hacerlo coincidir. La colocación de pasta es automática y también lo puede ser la limpieza del clisé. La PCB con la pasta de soldar serigrafiada es llevada hasta la siguiente estación de la línea.
- *Máquina de Pick&Place:* al igual que la máquina de serigrafía el transporte automático toma la PCB que viene de la estación anterior y la fija en el área de proceso. Una vez equipados los SMD la PCB es llevada a la siguiente estación. La presencia del transporte en la máquina obliga a perder la posibilidad de colocar feeders en dos de sus cuatro lados, pero se agiliza e independiza del operador la carga y descarga de PCB's. Una máquina así ocupará mucho más espacio que una "stand alone", pero por lo general son de más capacidad en cuanto a componentes por hora (cph) que pueden colocar, hecho que justifica la incorporación de un transporte en el diseño.

- *Horno de reflow/curado por convección forzada*: el transporte del horno puede ser concatenable con el de la línea. Existen hornos que vienen equipados con los dos métodos, el de malla y el de cadena.

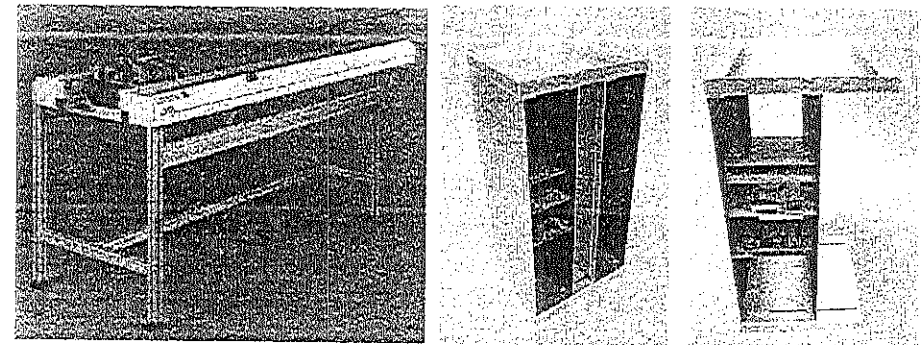
### Estaciones especiales de transporte

Hasta aquí solo he descripto brevemente las máquinas que ya conocíamos pero en su versión con transporte automático, lo que nos permite montar líneas de producción continuas. Existe toda una gama de estaciones de transporte que cumplen diferentes funciones y que describiré a continuación:

- *Unstacker*: aloja la pila (stack) de PCB's y va tomando de a una para introducirlas a la línea de transporte. Por su función siempre va antes de la estación de serigrafía, por lo que suele ser la primera en la línea.
- *Estaciones de entrada y salida*: son las que permiten alimentar el inicio de una línea o acumular los PCB ya procesadas al final de la misma. Utilizan racks o "magazines" que son cargados o descargados en forma automática. También se los conoce con los nombres de "loader" y "unloader"
- *Unidades de inspección*: son tramos de transporte de diferentes longitudes que se intercalan entre estación y estación, p. ej. a la salida de la impresión de pasta de soldar, y que tienen la opción de detener la PCB a fin de someterla a una inspección visual.
- *Unidades de rotación*: permiten rotar la PCB 180° en líneas continuas donde ambas caras vayan a ser equipadas.
- *Unidades de acumulación o "buffer"*: permiten absorber ciertos desbalances de tiempos en línea acumulando y luego liberando las PCB.
- *Unidades de paso*: en líneas muy largas es necesario proveer cruces por donde el personal pueda pasar de un lado al otro. Para ello existen unidades telescópicas que se retraen liberando un paso momentáneo. Como variante existen unidades con forma de pórti-

co en las cuales las PCB son elevadas, pasadas por arriba y bajadas para continuar su camino mientras uno pasa caminando a travéz de la misma.

- *Unidades de desvío*: en líneas automatizadas con código de barras y que posean sistema de inspección óptico (AOI – Automated Optical Inspection) suelen usarse unidades de desvío que derivan a otro ramal las PCB con fallas detectadas durante el proceso.
- *Unidades de giro*: permiten configurar líneas en forma de "L" o de "U" desviando 90° el sentido del transporte. Son una buena alternativa para mejorar los layout.



### Línea automática vs. "stand alone"

A simple vista una línea automática para el montaje de SMD parece ser el ideal a seguir, pero existen muchos factores a considerar por el ingeniero de proceso a la hora de tomar decisiones.

- *Estaciones de transporte*: Se toman costosas si el ajuste del ancho es automático. Se deberá tener en cuenta que si en la variedad de modelos a producir existen PCB's de muy diversos anchos y no son de ajuste automático se perderá tiempo en el ajuste.
- *Impresora de pasta/adhesivo*: Las que incluyen transporte son mas costosas y complejas. Algunas requieren cartuchos de pasta de formatos especiales
- *Pick&Place*: Se logra una buena relación n° de feeders/superficie con las que no poseen transporte, pero esta relación empeora hasta

en un 50% por lo que se sacrifica en el diseño de las máquinas al incorporarles el transporte.

- **Hornos:** La potencia consumida por los mismos es considerable por lo que se recomienda tener en cuenta que al estar en línea el horno deberá estar encendido todo el tiempo. Una variante para medianas producciones con máquinas "stand alone" y PCB Buffers consiste en trabajar acumulando parte de la producción y pasandola por el horno a partir de cierta hora del día minimizando así el tiempo que el horno permanece encendido. Otra consideración es que si el horno va en línea con una pick&place de alta capacidad debe también poder soldar mayor cantidad de PCB's por hora, y como la curva de temperatura debe respetar ciertos tiempos y gradientes los hornos de gran capacidad son más largos, llegando a medir 6 metros o más.
- **Paradas de máquina:** Tener todas las máquinas en línea implica que si una de ellas falla la línea completa queda detenida hasta que la misma sea reparada. Si en vez de tener una sola máquina de gran capacidad en línea se contase con dos de mediana capacidad se podría continuar a "media máquina" hasta resolver el problema.
- **Lay-out:** Puede resultar cansador tener que rodear una y otra vez la línea a lo largo del día para atender ambos lados de las máquinas.
- **Balanceo de línea:** El dimensionamiento correcto de todos los componentes de una línea es fundamental ya que un error de cálculo puede terminar en que p.ej. el horno sea chico y se convierta en el cuello de botella de la línea o que la impresora de pasta sea lenta y toda la línea esté vacía esperando a la primer estación.
- **Cambio de producto:** al tener las pick & place con transporte una menor capacidad de feeders o alimentadores de componentes (salvo que sean mucho más grandes) al cambiar de modelo es muy probable que se deban cambiar algunos o casi todos los componentes que estaban armados en los feeders con una considerable pérdida de tiempo, mientras que quizás una máquina "stand alone" sin transporte, que posee mayor capacidad de feeders, puede albergar toda la variedad de componentes de la gama de productos por lo que

solo pasaría a hacerse un cambio de programa de equipamiento por software, sin necesidad de desarmar o cambiar feeders.

### Mi opinión

He dicho antes que una línea automática para SMD parece ser el ideal a seguir y seguramente que lo es, ya que las grandes plantas del mundo lo utilizan. Pero para que se justifique la inversión tendríamos que estar hablando de altos volúmenes de producción, líneas dedicadas a poca variedad de productos y de más de una línea en la planta.

Conociendo el mercado local, en cuanto a la variedad y los volúmenes de PCB's que se están procesando, es recomendable no hacer depender toda la producción de una sola línea de máquinas. Preferentemente es conveniente equiparse con varias máquinas iguales, de mediana capacidad de producción, que con una sola de alta.

Esto da la posibilidad de equipar modelos diferentes en cada máquina en forma simultánea o el mismo modelo en más de una máquina a la vez. Asimismo asegura un mínimo de producción en caso de rotura de una de ellas ya que se puede continuar con otra o implementar un segundo o tercer turno para cubrir picos de producción hasta tanto se solucione el problema en caso de una rotura de envergadura. El hecho de compartir repuestos abarata mucho los costos, más aún considerando que son más económicos los de máquinas de mediana capacidad que los de alta.

## CAPÍTULO 8.

### MEDIOS DE INSPECCIÓN

Al referirnos a “medios de inspección” estos por lo general son ópticos y permiten inspeccionar en forma visual diferentes puntos del proceso. Pueden ser tanto manuales como automáticos. Se emplean desde lupas o microscopios hasta complejos sistemas automáticos de inspección o AOI (Automated Optical Inspection)

Los puntos de inspección habituales en el proceso SMT son:

- inspección del serigrafiado → luego de la impresión de pasta de soldar
- inspección de la colocación de componentes → luego de la colocación de componentes
- inspección de soldadura → a la salida del horno

#### Inspección del serigrafiado

Muchos consideran a este punto del proceso SMT como el de mayor importancia a ser inspeccionado. Obviamente para lograr una buena soldadura es imprescindible que exista la cantidad suficiente de pasta de soldar y que la misma se encuentre prolijamente depositada sobre los PAD's.

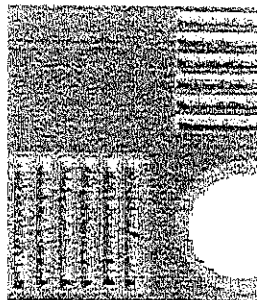
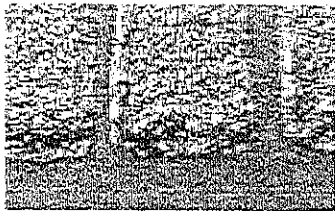
A continuación se describen los diferentes parámetros a inspeccionar en este punto:

- *Altura de la pasta de soldar:* Para el caso específico del control de altura de pasta este se hace tanto más necesario cuanto más fino sea el pitch a trabajar, ya que una leve variación de altura puede resultar rápidamente en un exceso o escacés de pasta de soldar lo cual

puede resultar en puentes de soldadura o en uniones abiertas según sea el caso. Para llevar a cabo esta medición existen sistemas ópticos simil-microscopio que poseen un reloj comparador solidario al eje vertical. Esto permite tomar como referencia el material base de la PCB haciendo foco sobre el mismo y luego mover la PCB y hacer foco sobre la superficie de la pasta. La diferencia de alturas a las que se debió ajustar el eje vertical para hacer foco en cada caso es mostrada por el reloj comparador acusando este la altura de la pasta. Esta medición se realiza al iniciar la producción y cada cierta cantidad de placas y se toma nota de los valores con fines estadísticos.

Existe un sistema más moderno para realizar esta medición y consiste en una cámara CCD enfocada sobre la PCB a examinar. Un haz de laser es proyectado en forma oblicua sobre la PCB en un ángulo muy preciso y en la zona de foco de la cámara. El sistema va conectado a una PC en cuyo monitor se podrá observar la silueta de la pasta depositada sobre el PAD, el haz de laser incidente sobre la pasta y el haz de laser incidente sobre la PCB. En el monitor aparecen dos cursores que debo hacer coincidir con las zonas iluminadas por el laser (sobre la pasta y sobre la PCB). A partir de aquí y por simples fórmulas trigonométricas el sistema calculará e indicará la altura de pasta permitiendo además registrar la medición en la PC para fines estadísticos.

En caso de detectarse una desviación de la altura especificada se deberá controlar la presión de las espátulas, el estado del clissé y verificar que este haga buen contacto con la PCB.



- *contorno de la pasta:* El contorno de la impresión de pasta debe estar bien definido, el PAD completo y sin que exceda el mismo ya que si queda pasta sobre la PCB se pueden formar puentes de soldadura o bien desparramarse el fundirse en el horno formando el peligroso "perlado". La escacés de pasta sobre los PAD's puede deberse a orificios tapados en el clissé o a poca cantidad de pasta en la impresora serigráfica, lo cual hace que queden huecos en el rollo que se forma delante de la espátula al esparcir la pasta.
- *alineación de la impresión con los PAD's:* Una mala alineación del clissé de serigrafía respecto de la PCB resultará en pasta de soldar depositada fuera de los PAD's con los riesgos de que se forme "perlado" durante la soldadura.

#### Inspección de la colocación de componentes

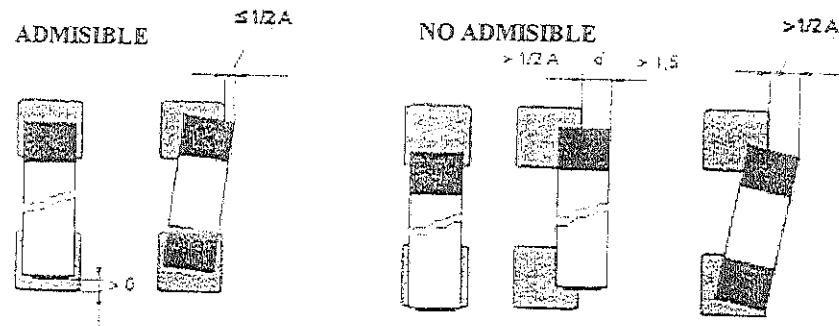
Algunos implementan un puesto de inspección visual a continuación de las máquinas colocadoras de componentes o Pick&Place y previo a la entrada de las PCB's equipadas al horno de refusión.

Dependiendo de la complejidad de los componentes utilizados la inspección podrá llevarse a cabo mediante un muestreo utilizando una lupa hasta un control 100% mediante sistemas de inspección automáticos (AOI).

Los defectos que podrán hallarse en este punto son:

- componentes faltantes
- componentes invertidos
- componentes mal alineados, rotación angular
- componentes mal alineados, desplazamientos en X o Y

La finalidad es poder tener una rápida realimentación o *feedback* de la calidad de la colocación de los componentes. En algunos casos el defecto encontrado puede corregirse en forma manual antes de llevar la PCB al horno de soldadura.

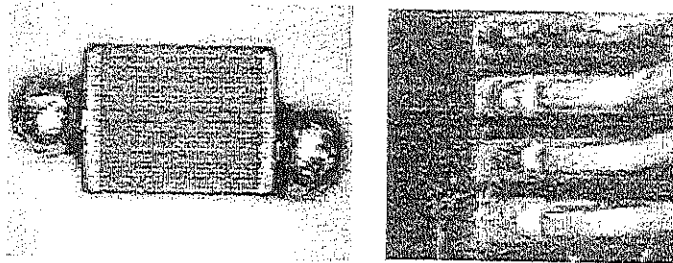


### Inspección de soldadura

A la salida del horno de soldadura por refusión se puede implementar un puesto de inspección con lupa, microscopio o automático.

Los defectos que podrán hallarse en este punto son:

- componentes faltantes
- componentes invertidos
- componentes mal alineados, rotación angular
- componentes mal alineados, desplazamientos en X o Y
- defectos de soldadura (perlado, mala soldabilidad, falta o exceso de soldadura, etc)



### Inspección óptica automática

También llamados AOI por Automated Optical Inspection consiste en un cabezal con una o más cámaras de video montado sobre un

par de ejes X e Y para poder desplazarse y posicionarse sobre las coordenadas programadas de cada componente a verificar. Poseen sistemas de iluminación programables en intensidad y que inciden desde diferentes ángulos, sobre todo para el control de la soldadura en el que se busca poder detectar el formato cóncavo deseado.

El corazón de estos sistemas es la unidad de procesamiento de imágenes y sus algoritmos, que permitirán comparar lo que se está captando por las cámaras con imágenes de referencia almacenadas en el sistema. Como esto puede ser muy complejo pasa a ser crítico el tiempo que el sistema necesita para examinar cada plaqueta, sobre todo si se trata de una línea continua.

Existen desde sistemas de banco, que trabajan conectadas a una PC y que se cargan y descargan en forma manual hasta sistemas para ser colocados en líneas automáticas con transporte.

## CAPÍTULO 9.

### SOLDADURA POR OLA

Los sistemas de soldadura por ola, también conocidos en la jerga como “baños de ola” son usados tanto en THT como en SMT, pero para este último solo en el caso de componentes adhesivados.

Basicamente estos sistemas de soldadura cuentan con un sistema de transporte que se puede concatenar a una línea de producción continua o bien usarlo a modo “stand alone”. En él se introducen las PCB's a ser soldadas y el transporte las hace pasar por las siguientes etapas en forma consecutiva: fluxeado, precalentamiento y soldadura por ola.

#### Tipos de transporte

En los más modernos el acarreo de las PCB se logra mediante dos cadenas laterales, una en cada lado del transporte, que cuentan con “fingers” o dedos metálicos. Estos “fingers” toman las PCB's por sus bordes y las llevan a lo largo del proceso hasta que a la salida se pueda concatenar con otro transporte o implementando una rampa hacer que las PCB's ya sueltas se deslicen libremente hasta el área de inspección visual o para ser colocadas manualmente en racks portamódulos.

Existen además otros sistemas que emplean unos marcos especialmente diseñados para alojar y sostener las placas durante el proceso y que son acarreados por una cadena lateral. Cada cierto número de pasadas se les debe practicar una limpieza para quitar los restos de flux.

No existe sistema de soldadura por ola sin transporte, ya que la velocidad de pasada por la ola es uno de los parámetros que influyen en el resultado final.

Existen si bateas de soldadura en las cuales las PCB's son introducidas en forma manual en la aleación de soldadura fundida, pero aquí no existe la ola. Estas bateas solo son aptas para bajas producciones ya

que el resultado final depende en gran manera del operador, lo que lo convierte en un sistema de soldadura "artesanal".

### Tipos de fluxeado

El fluxeado consiste en aplicar flux a la cara de la PCB a soldar, es decir la que va hacia abajo en el transporte. La función del flux es la limpieza de las superficies a soldar, islas de soldadura y terminales de componentes, en forma previa a la ola.

Existen varios métodos de aplicar el flux sobre las PCB's, los más comunes son:

**Piedra porosa:** Consiste en una piedra mineral porosa sumergida en el flux, generalmente disuelto en alcohol isopropílico. Esta piedra se halla en la base de una tobera cuyo borde superior está próximo al nivel del transporte. Al venir una PCB por el transporte un sensor activa una electroválvula que envía aire comprimido a la parte inferior de la piedra. El burbujeo del aire al salir por los poros de la piedra produce una espuma que desborda por la parte superior de la tobera mojando así la cara inferior de la PCB que viene pasando.

**Spray:** Consiste en una boquilla que mediante aire comprimido y ultrasonido pulveriza el flux y lo proyecta contra la cara inferior de la PCB que viene pasando por el transporte. Esta boquilla se encuentra montada sobre un eje móvil transversal al sentido de transporte y que mediante un movimiento de vaivén realiza un barrido para proyectar así el flux sobre toda la superficie de la PCB.

Existen diversos tipos de flux y debe elegirse el que sea indicado para el sistema de fluxeado a utilizar. La variedad está dada entre otras cosas por la cantidad de residuos sólidos que contenga, el grado de agresividad química, la necesidad o no de un lavado posterior, etc.

En algunos sistemas a continuación de esta etapa de fluxeado se le agrega un "air knife" o cuchilla de aire que elimina el excedente de flux para evitar que gotee sobre las etapas posteriores

### Precalentamiento

Inmediatamente después del fluxeado comienza la etapa de precalentamiento de la PCB que tiene por finalidad la evaporación de los solventes del flux, la activación del flux, para que realice la limpieza o decapado superficial de las partes a soldar, y también tiene el objeto de evitar un shock térmico de la PCB y componentes al pasar a la ola de soldadura en la siguiente etapa.

El precalentamiento se logra mediante resistencias eléctricas blindadas o de placas cerámicas dispuestas bajo el transporte que trabajan aproximadamente a 330°C y que deberán llevar la cara a soldar de la PCB a una temperatura máxima de 120°C con un gradiente de 3°C/seg.

### Soldadura por ola

En esta etapa del sistema la cara inferior de la PCB, con los terminales salientes de los componentes THT y/o los SMD adheridos, toma contacto con la aleación de soldadura fundida por lo que las partes soldables retienen parte de este material, que al enfriarse solidificará formando los así denominados "puntos de soldadura". De la longitud de la PCB que tome contacto con la aleación fundida dependerá en gran manera la velocidad del transporte que se podrá utilizar y por ende la capacidad del sistema en PCB/hora que será capaz de soldar.

Existen cuatro métodos o tipos de ola, el de arrastre, la ola Lambda, la ola hueca y el de doble ola.

### Soldadura por arrastre

Es el método más antiguo, hoy día poco visto, y a diferencia de los otros no posee bomba alguna que genere una "ola". Consiste en una batea o crisol en el cual descansa la aleación de soldadura en estado líquido (aprox. 250-260°C). El transporte que acarrea la PCB no es totalmente horizontal, sino que al llegar a la batea se desvía hacia abajo haciendo que la PCB tome contacto con la superficie de la

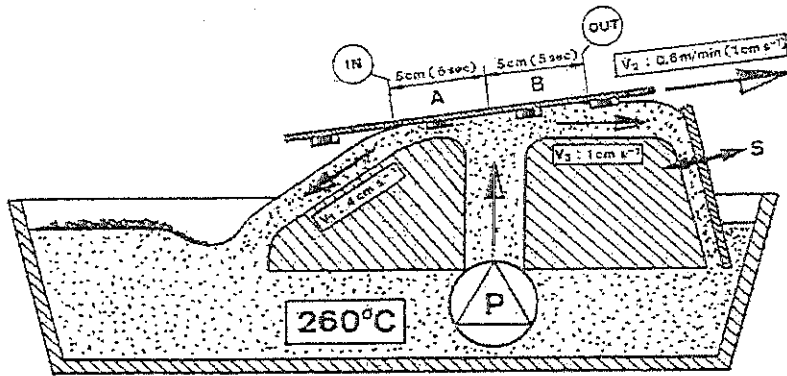
aleación de soldadura fundida por unos instantes y luego vuelve a subir separándolo de este.

Los parámetros aquí influyentes son entre otros la temperatura de la aleación de soldadura, el tiempo de contacto de la PCB con la misma, el ángulo de despegue y la velocidad del transporte.

### Soldadura por ola Lambda

En el caso de la ola Lambda o full-wave (ola completa) existe una bomba dentro del crisol que al pasar la PCB fuerza la circulación de la aleación de soldadura fundida a través de una tobera vertical. Por la forma de la tobera parte del material fundido desbordará hacia adelante y parte hacia atrás de la misma fluyendo de modo laminar. Demás está decir que dicha tobera es perpendicular al transporte y ocupa todo el ancho del mismo.

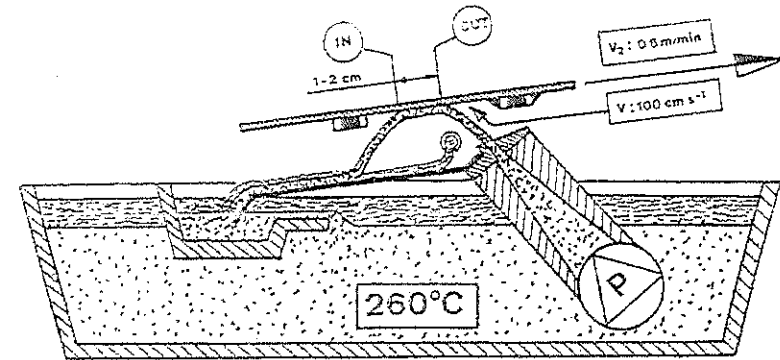
La zona de contacto de la PCB con la soldadura ronda los 10 cm. El ángulo en que el transporte hace pasar a la PCB por la ola pasa a ser otro parámetro a tener en cuenta.



### Soldadura por ola hueca

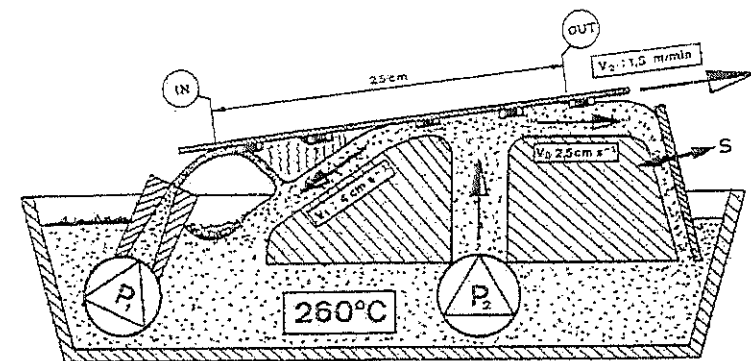
En los sistemas con ola hueca también existe una bomba dentro del crisol, pero a diferencia de la ola Lambda esta hará pasar el caudal por una restricción logrando así un aumento de la velocidad del

fluido (aleación de soldadura en estado líquido). Dicho sistema da como resultado una ola que choca contra la parte inferior de la PCB y que por el alto peso específico de la aleación vuelve a caer rápidamente quedando un "hueco" debajo. La longitud de contacto con la PCB es de solo 1 a 2 cm, pero como la ola tiene mayor velocidad se logra una buena transferencia térmica.



### Soldadura por doble ola

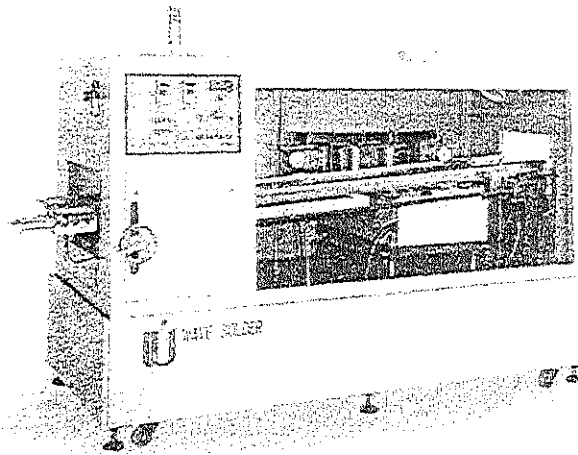
La doble ola no es más que una combinación de ola hueca y ola Lambda, esta última ubicada en sentido contrario. Este sistema da mejores resultados en PCB con componentes SMD adhesivados, ya que la primera ola logra penetrar en lugares donde no lo haría la ola Lambda por causa del así llamado "efecto sombra". Una variante consiste en reemplazar la ola hueca por una ola de fluido turbulento.



Los últimos diseños contemplan la ubicación de las toberas con un ángulo del orden de los 15° respecto de la perpendicular al transporte para poder acceder aún más entre los intersticios entre componentes SMD.

### Mantenimiento y elementos de protección

El mantenimiento de los sistemas de soldadura por ola consiste básicamente en controlar la densidad del flux, aunque ya existen sistemas que lo hacen en forma automática, mantener el crisol libre de escorias, para lo cual existen aditivos especiales que se agregan al material fundido. También es necesario reponer el material consumido en la soldadura agregando barras de estaño-plomo.



Usar guantes y antiparras para la recarga o limpieza. Tomar en cuenta que partes de la máquina están a 330°C y que a su vez se emplea flux disuelto en alcohol isopropílico, lo cual es altamente inflamable.

Hay que tener en cuenta que el sistema libera vapores del solvente del flux y humos al pasar la PCB por la ola, por lo que se debe contar con una campana con un conducto de venteo con tiraje forzado.

## CAPÍTULO 10.

### SMEMA

SMEMA es la sigla para la "Surface Mount Equipment Manufacturers Association, una organización sin fines de lucro de compañías que fabrican equipamiento o producen software para el montaje de placas de circuito con montaje superficial (SMT)

Sus objetivos son promover standards para las interfaces de comunicación y operación de equipos, establecer un vocabulario común a todos los fabricantes que permita reconocer los parámetros de un proceso en equipos de diferentes fabricantes y así proveer a los usuarios la posibilidad de seleccionar equipos con la seguridad de que podrán interconectarlos y entenderlos fácilmente. Avanzar en la tecnología SMT, promover su uso e investigar áreas donde la asociación pueda actuar en beneficio de todas las compañías miembros es otra de las funciones de SMEMA.

El presente capítulo es de interés para quienes quieran interiorizarse de la terminología empleada en SMD, para quienes deban analizar y comparar características de máquinas y así definir una compra o para quienes se dediquen al diseño de placas de circuito impreso, ya que así podrán saber si un equipo o un diseño de PCB es "compatible con SMEMA".

A continuación se describen brevemente algunos de los estándares más conocidos. Quienes deseen ahondar más en el tema pueden acceder a [www.smema.com](http://www.smema.com) donde algunos de estos documentos están disponibles *free download*, pero otros deben ser abonados.

#### SMEMA Interface Standard 1.2:

##### *SMEMA Mechanical Equipment Interface Standard:*

Este standard tiene por objetivo unificar criterios entre los fabricantes de máquinas para asegurar la interconectabilidad entre

equipos de diferentes fabricantes, ya sea en sus características eléctricas como mecánicas. En este caso en particular solo es aplicable a máquinas destinadas a trabajar en líneas de producción continuas, es decir con un sistema de transporte que las una, de modo que la PCB vaya pasando por las estaciones de serigrafía de pasta de soldar, colocación de componentes, inspección y horno de soldadura reflow, por ejemplo. Para equipos isla o *stand alone* este standard no sería aplicable.

Algunas de las especificaciones contempladas en este standard son:

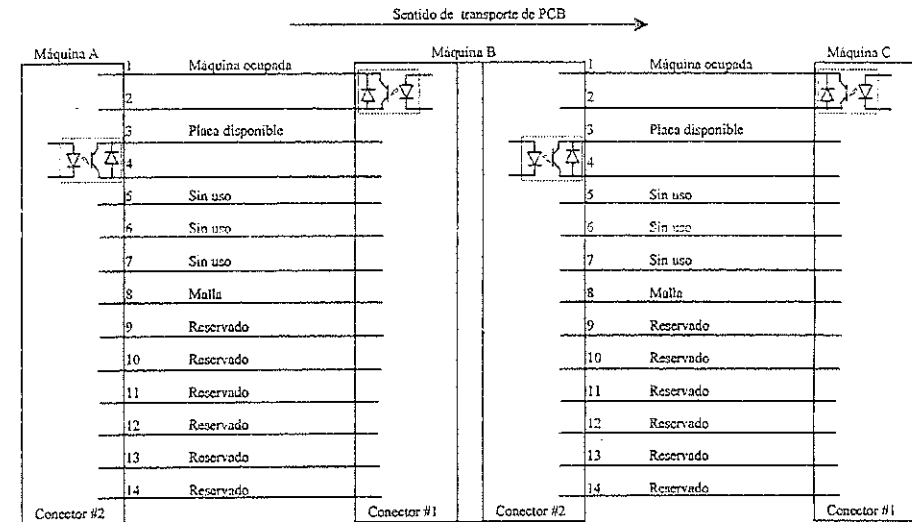
- 1) Altura del transporte (o *conveyor*): Debe ser ajustable entre 37 y 38 pulgadas desde el piso hasta la cara inferior de la PCB
- 2) Ancho del transporte: Para equipos con ancho de *conveyor* ajustable el riel del frente debe ser el fijo y el del fondo el ajustable.
- 3) Bordes libres: El sistema de transporte no debe requerir mas de 0,187 pulgadas de espacio libre en los bordes laterales de la PCB (tener en cuenta para los diseños de PCB!!)

#### SMEMA Electrical Equipment Interface Standard:

A fin de estandarizar las interfaces eléctricas entre los diferentes equipos, SMEMA propone los requerimientos mínimos que un equipo debe cumplir.

En el esquema a continuación se pueden ver las señales de control mínimas que requiere una interfaz SMEMA.

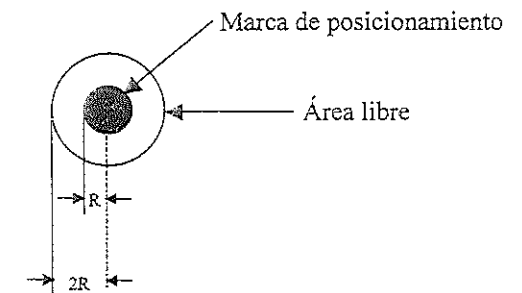
Las señales de control deben poder manejar un mínimo de 30V 10mA y la señal LOW no debe exceder de los 0,8V, también deben cumplir una secuencia y respetar ciertos tiempos detallados en el citado standard SMEMA.



Esquema de conexiones de interfaz eléctrica SMEMA entre conectores #1 y #2

#### SMEMA Fiducial Mark Standard 3.1:

Este standard trata sobre las condiciones que deben cumplir las marcas de posicionamiento que se hacen en las PCB y que son empleadas por los sistemas de visión con los que cuentan algunas máquinas de serigrafía y de pick&place a fin de determinar el punto cero de las coordenadas de la PCB y su ángulo de rotación a fin de compensarlos por software.



En este standard podrán encontrar la terminología empleada, cómo definir marcas de posicionamiento en paneles múltiples y datos concretos como ser que el diámetro de una marca de posicionamiento debe estar comprendido entre 1 y 3 mm y que alrededor debe existir una zona libre de 2 veces el radio de la marca.

### SMEMA Reflow Terms and Definitions Standard 4.0

En este documento podrán encontrar la terminología empleada para la tecnología de soldadura REFLOW y sus definiciones así como los diferentes principios de funcionamiento.

### SMEMA Screen Printing Terms and Definitions Standard 5.0

Aquí podrán encontrar toda la terminología y la definición de los diversos parámetros empleados en el proceso serigráfico.

### SMEMA Fluid Dispensing Terms and Definitions Standard 7.0

En este caso también se encuentran las definiciones y terminologías empleadas en la jerga del dispensado de fluidos, por lo general de adhesivos para componentes SMD, y de los diversos principios de funcionamiento.

### SMEMA Standard Recipe File Format Specification

Este último es un intento de SMEMA por estandarizar el formato de los archivos de control de procesos internos de cada máquina y conocidos como recetas (recetas) que hasta el momento son propias de cada fabricante de máquinas.

## CAPÍTULO 11.

### NUEVAS TECNOLOGÍAS, BGA Y FLIP CHIP

Ya en los primeros capítulos hablamos sobre las diferentes formas de encapsulado en que se presentan los componentes electrónicos, pero quedaba pendiente este capítulo acerca de las nuevas tecnologías, ya que la miniaturización de los nuevos encapsulados trae aparejada nuevos procesos y técnicas de montaje.

En cuanto a los componentes pasivos como resistores y capacitores lo último en encapsulados son los 0201, recordemos que esto significa 0,02" x 0,01", unos 0,5mm x 0,25mm. La colocación de los mismos requiere de máquinas pick & place de alta precisión y se los monta sobre pasta de soldar de grano fino o adhesivo conductor aplicados mediante el proceso de serigrafía. En sí el proceso es el mismo y solo se ve reducido el tamaño.

Lo que sí es novedoso en resistores es la integración de los mismos a la placa de circuito mediante la aplicación serigráfica de adhesivos conductores resistivos durante el proceso de fabricación de la PCB, con lo que se logran formar resistores liberando así espacio en la placa. Como desventajas veremos que no permite el retrabajo o reparación y que un cambio de valores implica un cambio en la PCB, pero se ahorra espacio en la PCB.

Donde más se observa el desarrollo de nuevas tecnologías es en los circuitos integrados.

A partir del encapsulado QFP, en el cual se disponen de pines de conexión en los 4 lados, se colocaron pines de paso fino o "fine pitch" del orden de los 0,3mm con proyección a llegar a los 0,2mm. La precisión requerida de las máquinas pick&place las hace más costosas debido a la alta precisión mecánica que deben tener y a sofisticados sistemas de visión y corrección del posicionamiento.

La demanda del mercado por mayor cantidad de pines en menor espacio sigue en pie y muchas veces empujada por la tendencia al "one chip solution", donde se busca optimizar al máximo el diseño del chip de silicio reduciendo o eliminando en algunos casos la necesidad de componentes periféricos externos al circuito integrado. En algún punto el seguir reduciendo el pitch hace que la tecnología de montaje sea costosa y extremadamente delicada, pero por otro lado aumentar el tamaño del encapsulado para no reducir el pitch lo hace inaceptable. Es aquí donde surgieron las nuevas ideas y se optó por dejar de utilizar la periferia del encapsulado para distribuir los pines procediéndose a utilizar el área ocupada debajo del encapsulado para la distribución de los pines. Así nace el BGA o "Ball Grid Array" nombre dado así debido a que los pines tienen forma de bolas y se hallan distribuidas formando una grilla.

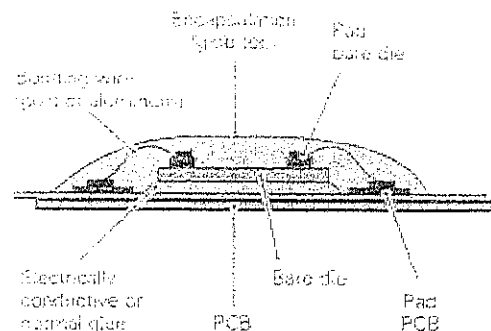
En sí la revolución tecnológica viene desde el interior de los IC's y tiene que ver con las diferentes formas en que se logra conectar la pastilla de silicio o "die" al mundo exterior. Demos un vistazo somero a las diferentes técnicas empleadas internamente en los nuevos IC's.

### Chip on Board

En esta técnica se toma la pastilla o chip de silicio al desnudo, sin encapsulado, conocido

como "Bare Die" y se lo adhiere a la PCB con el lado de conexiones hacia arriba, en un proceso conocido como "Die Bonding".

Una vez que el adhesivo ha endurecido se procede a unir eléctricamente los pad's del chip con los pad's de la PCB mediante finos



alambres de oro o aluminio en un proceso conocido como "Wire Bonding" y que utiliza ultrasonido y presión para lograr la fusión del alambre.

Para proteger tanto los finos alambres de conexión como la superficie del chip contra daños mecánicos se dispensa encima una porción de adhesivo encapsulante para formar una gota redondeada conocida como "Glob Top".

### BGA

Pocos avances en la técnica SMD han causado tanta sensación como el BGA. Ya hemos descripto que se trata de ubicar los pines de contacto distribuidos bajo la superficie del encapsulado en lugar de emplear la periferia. Se puede decir que fue una evolución del PGA o Pin Grid Array, aquellos IC's con pines para insertar en zócalos con pasos o pitch de 1,27mm o 2,54mm, formato en los cuales solían venir los microprocesadores 386 o 486 de las PC's. En el BGA los pines fueron reemplazados por bolas soldables de diferentes aleaciones. Los pitch habituales son de 1mm, 1,27mm y 1,5mm con encapsulados de 7x7 mm hasta 50x50 mm.

Para visualizar la ventaja de un BGA respecto de un QFP diremos que mientras un BGA de 31x31mm con un pitch de 1,5mm posee 400 pines, o 900 pines con un pitch de 1mm, un QFP de 32x32mm con pitch de 0,5mm posee solo 208 pines.

Demás está decir que el incremento en el tamaño de los pines, en este caso bolas de soldadura, reduce considerablemente la tasa de errores de soldadura.

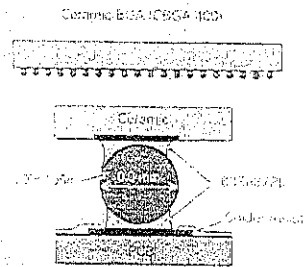
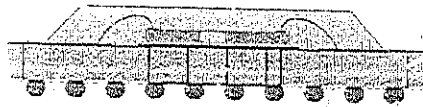
Por otro lado la desventaja del BGA es la imposibilidad de inspección óptica de la soldadura, lo cual solo se logra mediante rayos X, y la complejidad de los retrabajos o reparaciones en caso de ser necesarios.

Internamente un BGA no es más que una base portante o carrier que posee los caminos conductores que llevan a cada bola de conexión. Sobre este carrier se ha adherido el chip de silicio y se han realizado las conexiones de wire bonding terminando el proceso con la

formación del encapsulado protector. Una de las principales funciones de los carriers es la absorción de los esfuerzos mecánicos provocados por coeficientes de dilatación térmica diferentes, evitando así la rotura de las conexiones con el chip de silicio.

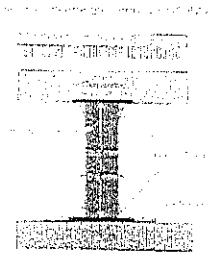
### Variantes de BGA

**PBGA - Plastic Ball Grid Array:** El carrier es de material fenólico como el FR4 o FR5, emplea bolas de conexión casi eutécticas de Sn60-Pb40 de 0,75mm de diámetro y lleva un moldeado plástico para proteger al chip a modo de "glob top"

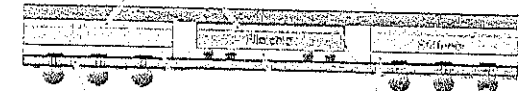


**CBGA - Ceramic Ball Grid Array:** En este caso el carrier es de material cerámico conocido como MLC o Multilayer Ceramic que le proporciona mejor performance eléctrica, térmica y de coplanaridad. En este caso se emplean bolas de conexión de Sn10-Pb90 típicamente de 0,9mm de diámetro que no funden en el proceso de soldadura reflow.

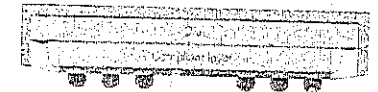
**CCGA - Ceramic Column Grid Array:** En lugar de bolas se emplean columnas de Sn10-Pb90 de 0,5mm de diámetro y hasta 2,2mm de altura. Con esto se logra mejorar la absorción del stress mecánico debido a los diferentes coeficientes de dilatación térmica de la PCB y del carrier.



**TBGA - Tape Ball Grid Array:** Con una altura total de 1,5mm y un carrier de cobre/poliamida/cobre esta variante de IBM ofrece buenas características eléctricas gracias a una pantalla de cobre a masa en la parte inferior. Emplea bolas de soldadura Sn10-Pb90.



**Micro - BGA o CSP:** La sigla CSP se define como Chip Size Package en los casos en que el tamaño del encapsulado es igual al del chip y como Chip Scale Package para los casos en que es mayor al 20% del mismo. En este caso el chip o die se encuentra cableado a una placa flexible mediante "wire bonding". La placa flexible posee las bolas de soldadura y se halla separada del chip mediante una capa de elastómero que absorbe la gran diferencia de coeficientes térmicos que existe entre ambos. El "wire bonding" se halla protegido mediante un encapsulante siliconado.



### El proceso de montaje con BGA

Para montar un BGA es necesaria la presencia de pasta de soldar, la cual se aplica mediante el tradicional método serigráfico en espesores de 200  $\mu\text{m}$ . Para el caso de Micro-BGA o CSP en los cuales las bolas de soldadura son de 0,25/0,30mm de diámetro solo es necesario un espesor de 100  $\mu\text{m}$ , pero si no es posible lograr que los demás componentes de la PCB suelden correctamente con este espesor de pasta, se puede dejar el CSP sin pasta aplicar el mismo proceso que para Flip-Chip incluyendo el fluxeado del componente. El componente BGA es colocado con máquinas de pick&place siempre y cuando éstas tengan un sistema de centrado adecuado. Téngase en cuenta que el pitch es mucho mayor que un QFP por lo que el requerimiento de precisión por parte de la máquina es menor.

En cuanto a la soldadura se recomienda el uso de hornos reflow con convección forzada debiéndose tomar en cuenta que un BGA requiere mucho más calor que el resto de los SMD para llegar al punto de soldadura. La inspección posterior solo es posible mediante rayos X y las fallas más comunes son puntos sin soldar debidos a deficiencias en la altura de pasta de soldar de algún punto. Un exceso de pasta puede ocasionar un corto entre pines.

Para la reparación existen equipos especiales que realizan un precalentamiento controlado de la PCB y luego mediante aire caliente llevan al BGA a la temperatura en que funde la soldadura. Para la colocación y soldadura de un nuevo BGA se emplea el mismo equipamiento, previo serigrafiado manual de pasta de soldar en la zona mediante pequeños clisés que se venden como accesorios. El equipo precalienta la PCB por debajo y el BGA por arriba desarrollando en la zona una curva de temperatura que llega a reproducir el "reflow" de un horno. De todos modos no deja de ser artesanal y requiere de capacitación y experiencia adecuados.

### Flip Chip

En la tecnología de flip chip (FCT) el chip de silicio, provisto usualmente de protuberancias (bumps) de aleaciones estaño-plomo en sus contactos, es colocado cara abajo sobre los pads correspondientes de la PCB. Recibe el nombre de "flip" dado que en los wafer las pastillas de silicio vienen adheridas a un folio por su parte trasera, debiendo ser tomados por el lado de los contactos para despegarlos y luego rotarlos (flip) tomándolos nuevamente por su parte trasera y así manipularlos hasta su colocación.

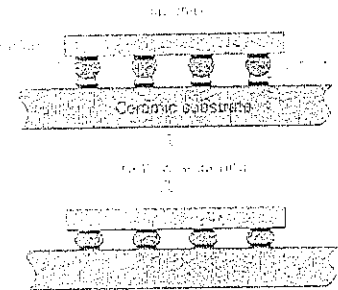
Ya IBM en los 60's había desarrollado esta técnica y la empleaba en sus computadoras mainframe. A comienzos de los 70's se incorpora la técnica a la industria automotriz americana y desde 1989/1990 es utilizada por las industrias japonesas Hitachi, NEC y Fujitsu. Otras aplicaciones actuales son los pagers, los celulares, las PALM's, sensores, equipos de ayuda auditiva, etc. Nuevas aplicaciones en crecimiento son las tarjetas de identificación por RF (RFID) o "smart labels" en reemplazo de los códigos de barra.

Habitualmente solo se montaban flip chips sobre substratos cerámicos ya que estos al tener un coeficiente de dilatación térmica similar al silicio minimizaban los riesgos de fractura de las uniones soldadas. Hoy día ya existen técnicas que permiten colocar flip chips sobre substratos fenólicos u orgánicos como el FR4.

### Variantes del proceso

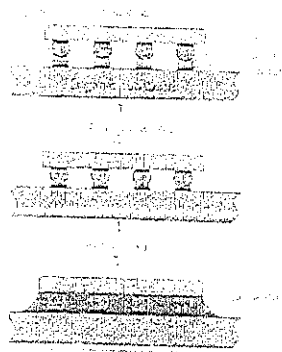
**Tecnología convencional:** Utilizando pasta de soldar y un horno de "reflow" solo es aplicable para pitch mayores a 0,4mm

**Proceso clásico "C4":** Derivado de "Controlled Collapse Chip Connection" se emplean bumps de aleaciones estaño plomo 97Pb3Sn con puntos de fusión de 320°C. Mayormente usada en substratos cerámicos el proceso consiste en aplicar flux, posicionar el componente y llevar el conjunto a un horno de soldadura reflow. Durante este proceso las esferas de soldadura colapsan hasta alcanzar una altura determinada. Aquí la aleación ya no es eutéctica (Sn63Pb37) por lo que presenta un estado plástico antes de fundir.



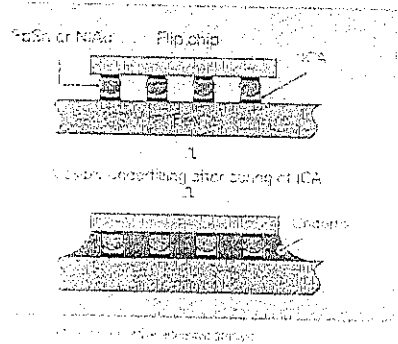
**Direct Chip Attach (DCA):** También se conoce esta técnica como Flip Chip On Board (FCOB) y se la puede aplicar utilizando substratos orgánicos como el FR4.

Las bolas de soldadura siguen siendo de aleación con alto punto de fusión lo que me impide aplicar la técnica "C4" ya que el material FR4 de la PCB no resistiría los 320°C. Lo que se hace es aplicar pasta de soldar tradicional sobre los pad's o disponer de una capa de soldadura sólida sobre los pads de menor punto de



fusión. Colocado el chip y llevado a soldadura reflow lo que se obtiene es una gran altura de la unión de soldadura ya que las bolas no funden. Esto resulta en una mayor capacidad de absorción del stress mecánico en las uniones. Por último se recomienda el rellenado con adhesivo del área bajo el chip, proceso conocido como underfill.

**Tecnología de adhesivo conductor isotrópico (ICA):** Mediante el empleo de adhesivo conductor se realiza una impresión serigráfica del mismo sobre los pads o como variante se puede mojar el flip chip



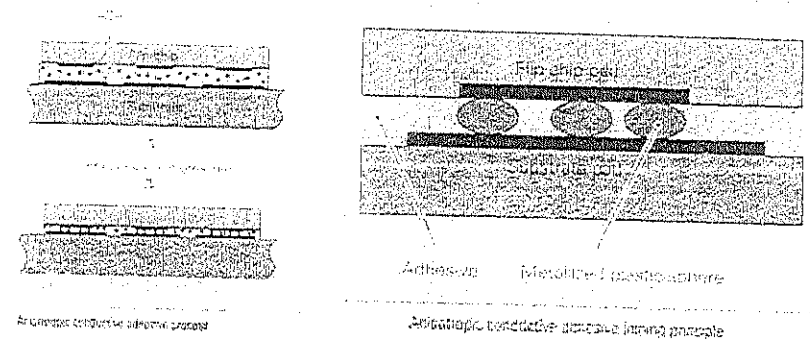
en adhesivo conductor. Luego el chip es colocado en la PCB y sometido a un proceso de curado del adhesivo en horno. Aquí no hay fusión alguna, el adhesivo cura a bajas temperaturas, lo que posibilita usar sustratos orgánicos. Esta técnica irá en crecimiento ya que por razones ambientales se está tendiendo a evitar el uso de plomo y por otro

lado la posibilidad de usar sustratos flexibles más económicos lo hace atrayente para su uso en productos masivos como pueden ser las tarjetas de identificación smart card o RFID.

**Tecnología de adhesivo conductor anisotrópico (ACA):** En esta técnica el adhesivo posee microesferas plásticas metalizadas en suspensión en el material adhesivo que es aislante.

Puede ser aplicado sobre el sustrato a modo de film y luego requiere que al posicionar el componente se ejerza una presión sobre

el mismo durante un cierto tiempo mientras que el conjunto es sometido a calentamiento. Esto hace que no sea aplicable mediante las máquinas de pick&place convencionales. La interconexión se logra mediante las esferas metalizadas, siendo estas de un tamaño tan pequeño que no permiten la formación de puentes o cortos entre pads.



**Underfill**

En todos los casos, incluyendo a los BGA, se recomienda aplicar el "underfill". Consiste en un material adhesivo de baja viscosidad que aplicado en los laterales fluye por capilaridad bajo el chip hasta cubrir todos los intersticios. Una vez curado con temperatura protegerá las uniones soldadas de polvo y humedad a la vez que le confiere mayor rigidez mecánica al conjunto y mejora la disipación térmica.

## CAPÍTULO 12.

### REPARACIONES Y RETRABAJOS EN MÓDULOS ELECTRÓNICOS

Cuando hablamos de “reparaciones” por lo general partimos de la base que existió un daño en alguno de los componentes y que el mismo debe ser reemplazado, lo cual ocurre por lo general en un producto que ya estuvo en funcionamiento.

Cuando hablamos de “retrabajo o *rework*” por lo general se trata de errores ocurridos durante el proceso de armado del módulo y que deben ser corregidos, por lo que el término “retrabajo” pasa a ser más usado en el ámbito de las empresas que manufacturan plaquetas electrónicas y el de “reparaciones” para las de service.

Las fallas típicas del armado que requieren de retrabajos son componentes faltantes, invertidos y de valor equivocado. También debemos considerar las fallas de los procesos como ser puentes de soldadura, faltante de soldadura, restos de soldadura en forma de perlas o telarañas, etc.

Existen además fallas en las placas de circuito como ser pistas cortadas o islas de soldadura levantadas.

En cambio las fallas en productos que ya estuvieron en funcionamiento y vuelven a service pasan por lo general por componentes “quemados” o daños en el impreso, pero se descarta la existencia de fallas como ser las de componentes faltantes o invertidos o los puentes de soldadura ya que nunca habría funcionado.

Todo esto abarca tanto a módulos armados con tecnología convencional o THT como a módulos con componentes de montaje superficial SMD, y ya sea para una reparación o un retrabajo los insumos y herramientas necesarias son las mismas y se pueden agrupar en:

- Flux
- Alambre de estaño-plomo
- Equipo de soldadura y desoldadura
- Puesto de reparaciones o retrabajos

#### El flux:

El flux también tiene un papel preponderante en las reparaciones o retrabajos, ya que facilita la transferencia térmica de la punta del soldador/desoldador al componente o punto de soldadura además de propiciar una excelente fluidez del estaño-plomo fundido lo que resulta en soldaduras brillantes y con buena humectación. Se recomienda el uso de fluxes NO-CLEAN y se los puede hallar en forma líquida para aplicar con pincel o en forma de gel en jeringas.

Los fluxes que no son NO-CLEAN son más agresivos y decapan mejor por lo que la soldadura resultará excelente, pero debo tener la precaución de "lavar" los restos ya que los mismos siguen actuando y pueden atacar al circuito impreso de la placa.

#### El alambre de estaño plomo:

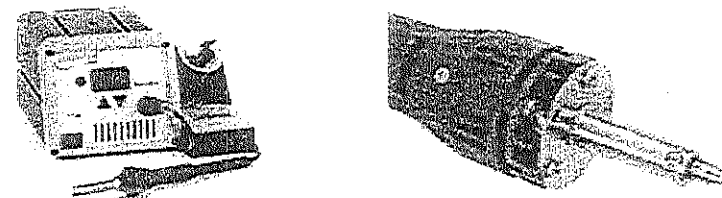
Se recomienda el alambre de estaño plomo 63/37 con alma de flux. Se proveen en rollos habitualmente de diámetro 0,8mm o 1mm para soldaduras de componentes convencionales y de diámetro 0,5mm para la soldadura de los SMD. Se recomienda verificar que el flux que contienen sea del tipo NO-CLEAN.

#### Equipos de soldadura y desoldadura:

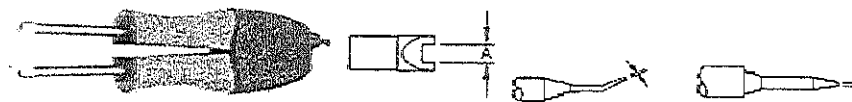
Existe una gama muy amplia de modelos según sea su aplicación en THT o en SMD:

- **Equipos para THT:** Un equipo básico para trabajar con componentes convencionales o THT consta de una punta de soldador tipo

lápiz con puntas intercambiables y de una punta de desoldadura también con puntas intercambiables según el tamaño de punto de soldadura a trabajar. En ambos casos la temperatura es controlada y seteada desde la estación a la cual van conectados. La misma también posee una bomba de vacío que es empleada por el desoldador para succionar el estaño fundido.



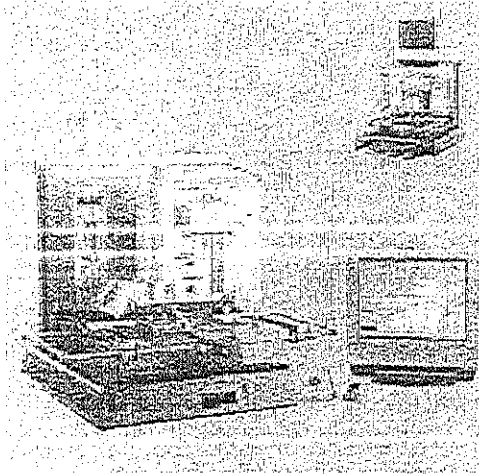
- **Equipos para SMT:** Son similares a los de THT, pero las puntas del soldador tienen formas específicas para cada forma de encapsulado a tratar. Para desoldar IC's tipo QFP, SOIC o PLCC existen puntas especiales que distribuyen el calor tomando contacto con todas los pines del chip al mismo tiempo. Existen también desoldadores tipo pinza, con dos puntas calefactoras, para la remoción de componentes SMD tipo chip como son los resistores y capacitores.



Para componentes más complejos como los BGA se requiere de equipos especiales los que para la soldadura del BGA cambiado desarrollan una curva de temperatura en función del tiempo de modo que reproducen la soldadura reflow de un horno pero solo en forma local para ese componente.

El sistema de calentamiento tradicional de los soldadores y desoldadores utiliza una resistencia calefactora, pero también hay sistemas que calientan a partir de un núcleo excitado por radiofrecuencia.

Para SMD existen equipos que en lugar de transferir el calor por contacto lo hacen por medio de aire caliente.



La diferencia tecnológica que distingue unos equipos de otros pasa por la estabilidad térmica de la punta, la capacidad de responder ante cambios bruscos de carga térmica (p.ej. al apoyar el soldador en un componente muy grande), funciones de ahorro de energía que llevan al soldador a trabajar por debajo del valor de temperatura seteada si el mismo no está siendo usado, lo cual también

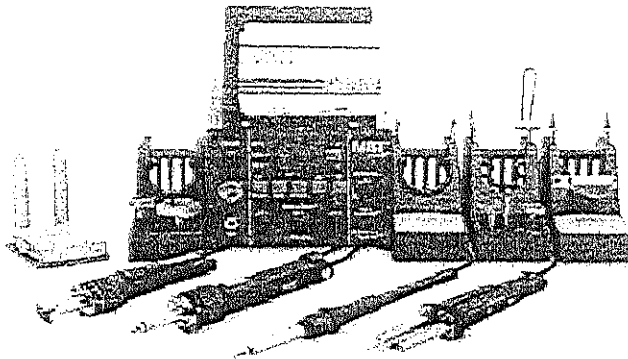
contribuye a prolongar la vida útil de las puntas.

Por supuesto también entran en juego factores económicos que nos llevarán a decidir por la mejor ecuación costo-beneficio.

#### Puesto de reparaciones o retrabajos:

Una manera correcta y prolija de realizar esta tarea consiste en armar un puesto de trabajo donde ubicar los equipos y materiales necesarios, los cuales ya hemos nombrado, pero además teniendo en cuenta que la electricidad

estática puede dañar a algunos semiconductores, por lo que es necesario tomar algunas precauciones.



#### Consideraciones antiestáticas:

Si bien es difícil o casi imposible determinar si un semiconductor MOS que falla fue dañado por una descarga estática las medidas recomendadas apuntan a la prevención. Un puesto de reparaciones o retrabajos con protección antiestática cuenta con:

- *Tapete de material conductor antiestático:* Existen en el mercado materiales vinílicos con grafito que se emplean para la construcción de pisos conductores y con el cual se puede tapizar una mesa o simplemente utilizar un recorte para la zona de trabajo.
- *Pulsera antiestática:* La misma va colocada en la muñeca del operador. Por lo general poseen internamente un resistor de unos 200Kohm para limitar la corriente que circulará a través del cuerpo del operador en caso de que el mismo tome contacto accidental con los 220 Volts de la red.
- *Equipo de soldadura/desoldadura:* Debe tener un borne de conexión disponible para la descarga electrostática
- *Bornera y puesta a tierra:* Tanto el tapete como la pulsera y el equipo de soldadura deben unir sus conexiones de descarga electrostática en una misma bornera de modo de equiparar los potenciales. Asimismo esta bornera debe tener conexión con una jabalina de puesta a tierra. Dicha jabalina debe ser de uso exclusivo para el circuito de protección antiestática y no debe tener conexión alguna con la puesta a tierra de la instalación eléctrica.

Existen otros accesorios o variantes para conformar un puesto de trabajo con protección antiestática y las mismas consisten en zapatos de suela conductora, pisos conductores, guardapolvos conductores o de materiales que no se cargan estáticamente, pinturas conductoras, ionizadores, herramientas con mangos de materiales antiestáticos, etc.

#### Preparación de los componentes:

Para los componentes THT no existe mucha preparación previa, si se trata de desoldar solo se acerca el desoldador con la punta indicada para el diámetro de terminal en cuestión y una vez en contacto con el punto de soldadura y que el mismo haya fundido se procede a activar

el vacío para que el desoldador succione el estaño fundido. Se deben evitar durante este proceso el exceso de tiempo y los forcejeos que podrían dañar las pistas del impreso.

Para la soldadura basta con setear la temperatura acorde al terminal a soldar, siempre la más baja posible, y utilizar alambre de estaño-plomo con alma de flux. Si existiese algún tipo de dificultad por mala soldabilidad del componente o el impreso se puede agregar flux líquido o en pasta previo a la soldadura.

Siempre se debe procurar que las dos partes a soldar reciban temperatura antes del aporte de estaño-plomo, por lo que se debe buscar que la punta tome contacto con el componente y con el circuito impreso simultáneamente. Una vez aportado el estaño-plomo se debe dejar el soldador en la misma posición esperando a que la soldadura fluya y entonces sí retirar el mismo. Toda esta operatoria no debería tardar más de 2 o 3 segundos.

Cuando se trata de desoldar componentes SMD utilizando alguna punta específica, de las que tienen la forma del componente y distribuyen la temperatura uniformemente a todos los terminales en forma simultánea como es el caso de QFP's, se deberá proceder a una preparación previa del componente, la cual puede llevarse a cabo con alguno de los siguientes métodos:

- Cortocircuitando todos los terminales usando un soldador y mediante el aporte de soldadura
- Rodeando la periferia del componente con una o dos vueltas de alambre de soldadura con alma de flux
- Aplicando flux mediante un pincel o usando el flux en gel que viene en jeringas

Hecho esto se procede a aplicar el desoldador el tiempo adecuado como para que fundan todas las soldaduras, pero sabiendo que si ese tiempo es excesivo se dañará el circuito impreso.

Una vez fundidas las soldaduras que tenían fijo al componente se procede a levantarlo. Dependiendo del tamaño del componente y del modelo o marca del equipo utilizado el adaptador puede o no utilizar vacío para levantar el componente.

## CAPÍTULO 13.

### INSUMOS

#### El Flux

La función primaria del flux es la limpieza química de las superficies a soldar, tanto de la PCB como de los terminales de los componentes, a fin de que la soldadura fundida pueda lograr una buena humectación y así tener una unión metalúrgica de buena calidad entre las partes. El flux remueve las capas de óxido y otros residuos compuestos, promueve la humectación y previene la reoxidación de las superficies durante el calentamiento. A esta función se la conoce como *fluxeado*. Se lo utiliza en todos los procesos de soldadura de plaquetas electrónicas, ya sea en la soldadura manual en la que el estaño plomo en forma de alambre posee una o más almas de flux y en la soldadura por ola, en la que el flux es esparcido por diferentes métodos sobre PCB y terminales previo a la soldadura.

Cuando hablamos de pasta de soldar el flux forma parte de la misma y además de limpiar las superficies de PAD's y terminales realiza la limpieza de la superficie de las partículas de la aleación de soldadura en polvo. Una función adicional en el caso de la pasta es la de servir de vehículo para el polvo de soldar y proveer cierta pegajosidad que permita sostener los componentes SMD hasta que estén soldados.

Los fluxes líquidos se componen básicamente de dos partes, un *solvente* y un *vehículo* pero en formulaciones más elaboradas se le agregan *activadores* y *aditivos*.

El *solvente* cumple el rol de fluidizar los activadores y vehículos a temperatura ambiente para permitir la aplicación del flux en forma uniforme y se evaporan en la fase de precalentamiento. Habitualmente se emplea alcohol isopropílico cuyo punto de ebullición es de 100°C.

El *vehículo* tiene por objeto efectuar la desoxidación y limpieza, prevenir la reoxidación de las superficies ya limpias y facilitar el intercambio térmico, permitiendo una rápida y homogénea transferencia de calor entre las superficies a soldar. A temperatura de soldado disuelve los residuos por la acción desoxidante. El más común es la resina colofónica. Esta resina resulta de la destilación de la secreción resinosa de los pinos y se compone básicamente de ácidos orgánicos como el ácido abiético. Los fluxes de base colofónica fueron los primeros en usarse y lo siguen siendo en los casos que requieran un medio no corrosivo, empleándose disuelta en alcohol isopropílico en una concentración de 35 al 46%. Además se emplean compuestos químicos combinados de glicol, poliglicol, poliglicol surfactante y glicerol. Son estas sustancias viscosas con alto punto de ebullición, como ser el del glicerol a 290°C, las responsables de dar el aspecto pegajoso a los residuos del flux.

Los *activadores* se agregan cuando se requiere una mayor acción limpiadora, y por ende corrosivo, del flux. Pueden ser ácidos orgánicos, componentes halogenados y aminas. Como los fluxes agresivos poseen ácidos fuertes, ácidos minerales, aminas y haluros, por razones ecológicas los fabricantes de flux están buscando otras soluciones como ser "halide free".

Los *aditivos* usados permiten mejorar algunas de las características ya existentes en el flux. Se unen al vehículo y pueden ser agentes espumantes (para el caso de fluxeadores por piedra porosa), agentes reológicos, estabilizadores térmicos, etc.

#### *Tipos de flux:*

La efectividad con que un flux es capaz de remover óxidos y contaminantes de una superficie es conocida como "nivel de actividad" y se refiere directamente a su índice de acidez.

• *Fluxes resinosos:* la resina más usada es la colofónica, tiene un punto de fusión de 125 a 130°C y para mejorar el nivel de actividad se le adicionan activadores que dan lugar a las siguientes categorías:

Tipos de flux y niveles de actividad		
Sigla	Significado	Nivel de Actividad
R	Rosin	muy bajo
WW	Water White	muy bajo
RMA	Mildly Activated Rosin	Moderada
OA	Organic Acid	Fuerte
RA	Activated Acid	Fuerte
SA	Synthetic Activated	Fuerte
SRA	Super Activated Rosin	muy fuerte

Es necesario conocer la temperatura de activación en cada caso y el grado de agresividad ya que de este depende el proceso de limpieza post-soldadura. A menudo un flux muy activo deja residuos corrosivos que pueden corroer la soldadura y el impreso con el pasar del tiempo.

• *Fluxes sintéticos:* No son resinosos sino que se obtienen por síntesis orgánica.

• *Fluxes solubles en agua:* El principal solvente es agua o una mezcla de alcohol con agua. Necesita un buen control de precalentamiento para evitar la ebullición. Son más agresivos que los resinosos ya que son más ácidos. Por ello es imperativo una limpieza intensa con agua caliente luego de la soldadura.

• *Flux "No-Clean":* Estos tipos de flux dejan sobre los componentes una cantidad controlada de residuos y teóricamente no requieren de limpieza alguna luego de la soldadura. Estos residuos provienen básicamente de una reacción de polimerización entre el activador y el vehículo formando una capa de barniz eléctricamente aislante que previene al flux de diseminarse, contaminar y corroer la PCB y los com-

ponentes. Esta es la razón por la que teóricamente no se requiere de limpieza. Los residuos sólidos son escasamente visibles por ser menores al 5% comparados con el 15% usual. Por otro lado la ventana de proceso temperatura/tiempo pasa a ser muy crítica. Si la rampa de temperatura es muy lenta debido a la inercia térmica del producto puede ocurrir una polimerización completa antes de haber alcanzado la temperatura en la cual se vuelve líquido. Esta capa de barniz puede ser eliminada mediante baños de solvente orgánico caliente. Los flux no-clean pueden usarse con solventes orgánicos o agua.

### Las aleaciones de soldadura

En la jerga cotidiana se lo llama simplemente "estaño", pero lo cierto es que es una aleación mayoritariamente de estaño (Sn) y plomo (Pb) en las proporciones habituales de Sn63/Pb37 o Sn60/Pb40. Se proveen en barras para uso en soldadoras por ola o en alambre para la soldadura manual.

En el caso de los polvos que conforman las pastas de soldar existen aleaciones especiales con metales como plata (Ag), bismuto (Bi) o indio (In) que tienden a lograr un punto de fusión más bajo.

Del tipo y cantidad de impurezas que contenga la aleación dependerá en gran manera la calidad final de la soldadura.

### La aleación eutéctica:

Al fundir la aleación de soldadura lo que se logra es llevarlo del estado sólido al estado líquido que necesitamos para que humecte las partes a soldar y que luego al enfriarse y volver al estado sólido conforme la deseada unión de soldadura. En la fusión de cualquier metal existe sin embargo un estado intermedio entre el sólido y el líquido que es el llamado estado plástico. El estado plástico no es el deseado cuando se trata de realizar una soldadura de un componente electrónico ya que si en ese instante se produce un movimiento del componente por causa del transporte o manipulación el material puede no quedar totalmente adherido obteniéndose así una soldadura defectuosa.

Un ejemplo casero del estado plástico es la soldadura realizada por un plomero en las cañerías de hidrobronz, si alguna vez lo observaron podrán ver que una vez calentada la unión a soldar aprovecha el momento en que el material se encuentra en estado plástico para moldear la soldadura.

Una aleación eutéctica es aquella que debido a una exacta proporción de sus componentes logra la propiedad de poder pasar de sólido a líquido y viceversa sin pasar por el estado plástico.

La aleación estaño-plomo eutéctica es la conformada por el 63% de estaño y el 37% de plomo. En estas proporciones la aleación se presentará en estado sólido por debajo de los 183°C y líquido por encima de los 183°C.

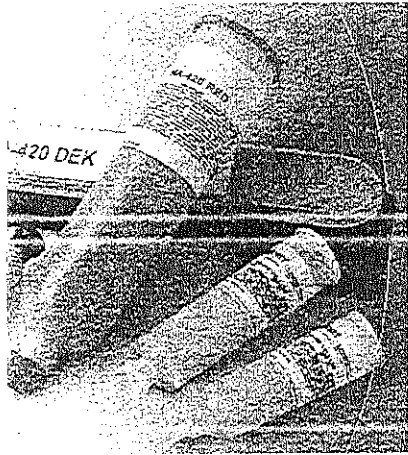
Una aleación Sn60%-Pb40%, que también se puede encontrar en el mercado, se presentará en estado sólido por debajo de los 183°C y líquido por encima de los 190°C, por lo que tendremos un rango de 7°C en que el material estará en estado plástico.

### Los adhesivos

Los adhesivos para componentes SMD son del tipo epoxi y los hay en colores amarillo, naranja o rojo para poder ser bien vistos en contraste con el verde de la máscara antisoldante de las PCB.

Son suministrados en potes de 0,25 a 1Kg o en jeringas de dispensado de 10 o 30ml. Se almacenan a baja temperatura hasta el momento de ser utilizados para extender su vida útil, p. ej. hay adhesivos que mantenidos entre 2°C y 25°C duran hasta 9 meses. Lo normal es mantener el adhesivo en una heladera a 34°C con la precaución de mantener las jeringas en posición vertical con el extremo de salida hacia abajo y debiendo retirarse las mismas con más de 12 horas de anticipación a su uso para que equilibren la temperatura con el ambiente. No es recomendable acelerar este calentamiento por ningún medio.

El curado o endurecimiento se lleva a cabo a temperaturas de 100 a 150°C por espacio de 1 a 4 minutos, pero en cada caso se deberá consultar la hoja de datos propia del producto utilizado.



Según sea el método de aplicación a utilizar el adhesivo puede ser más viscoso, en el caso de serigrafía, o menos viscoso para la dosificación con jeringas y a alta velocidad. De una u otra forma en que sea aplicado debe mantener las características reológicas necesarias para lograr una gota consistente, con pico o redonda, sin que se formen hilos ni que se desplome. Una vez colocado el componente y curado también debe poseer ciertas características particulares, como ser una alta aislación eléctrica, un coeficiente de expansión térmica adecuado a fin de que no se quiebre al pasar por la ola de soldadura, una cierta resistencia mecánica a esfuerzos laterales que soporte el proceso, pero que permita su posterior remoción en el caso de efectuarse reparaciones en las que el componente deba ser reemplazado.

### La pasta de soldar

La pasta de se compone básicamente de una aleación de metales de soldadura en polvo y flux.

Existen aleaciones compuestas solo por estaño y plomo como ser Sn63-Pb37 y otras con agregados de plata, cobre, antimonio, etc. que le otorgan características particulares como ser un menor punto de fusión o en otros casos logran una pasta libre de plomo o "lead-free". Esto último responde a razones ecológicas.

Otra característica de las pastas es el tamaño de las partículas de metal. A menor pitch, o paso de los terminales de un componente, se deberán usar pastas con partículas más pequeñas. El tamaño de partículas es clasificado en rangos y los hay de 15-32mm, 20-38mm, 20-45mm, etc.

El flux con el que se mezcla la aleación de soldadura en polvo podría ser cualquiera de los descriptos, pero se tiende a emplear los

menos agresivos, como los colofónicos, para obtener un producto "no-clean", es decir que no requiera una limpieza posterior a la soldadura para remover los residuos.

El almacenamiento y transporte se debe realizar refrigerado para que las propiedades de la pasta se mantengan. Para el uso de la misma será necesario retirarla del refrigerador con anticipación a fin de que tome la temperatura ambiente. Esto debe llevarse a cabo sin abrir el pote para que no condense ni absorba humedad hasta el momento de ser usado. Debido a la evaporación de los solventes se deben evitar largos períodos de permanencia de la pasta en el clisé, retirando la misma y guardándola en un pote con tapa hasta que sea necesario usarla nuevamente. Se pueden mezclar restos de pasta de un día anterior con pasta nueva, pero será necesario realizar ensayos previos.

La aplicación sobre los PAD's de soldadura se realiza por proceso serigráfico o en algunos casos mediante jeringas por dosificación gota a gota. Según el caso se requiere del agregado de algunos agentes que le dan consistencia de gel o que la hacen más fluida, pero que deben ayudar a mantener las partículas metálicas en suspensión hasta que llegue el momento de la soldadura.

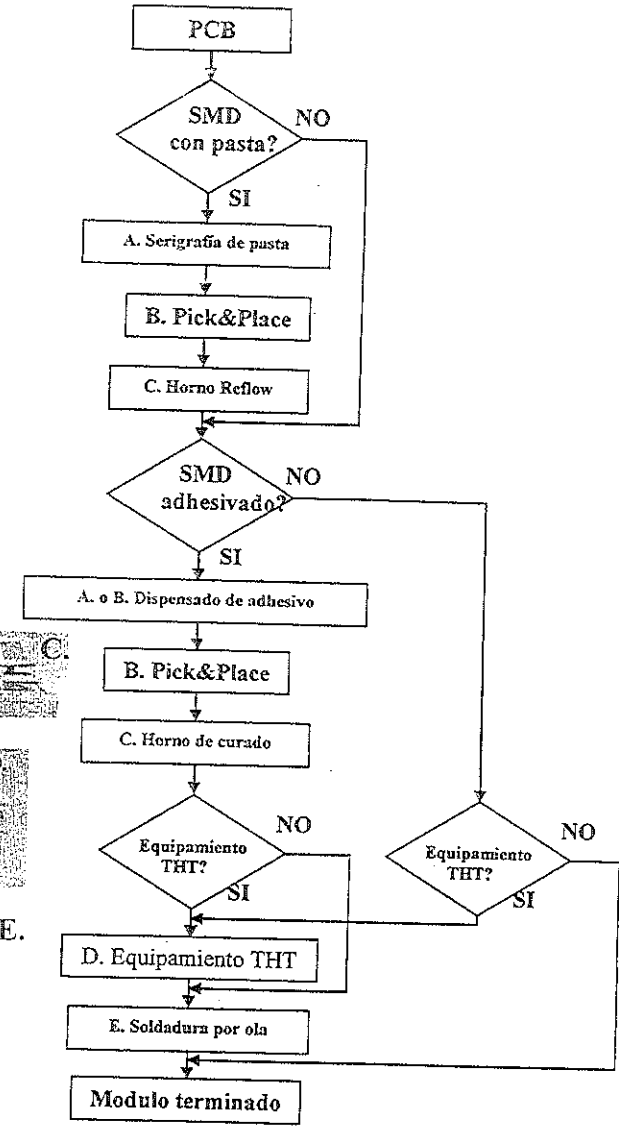
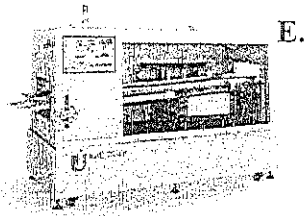
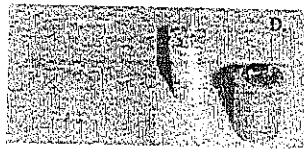
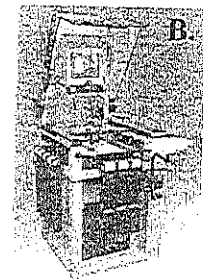
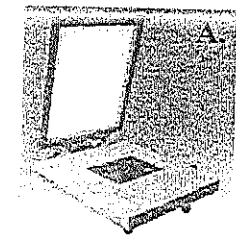
Las formas de suministro son jeringas de 40 y 75gr, tubos de 0,25 y 0,5Kg o cartuchos para marcas específicas de serigrafiadoras automáticas de 0,5 y 1Kg.

Algunas características deseables de una pasta de soldar y que pueden diferenciar una marca o modelo de otras son el tiempo que pueden durar en el clisé, el tiempo que pueden conservar la pegajosidad una vez serigrafiado, la humectación lograda una vez realizada la soldadura y la estabilidad ante la humedad, entre otras.

Las recomendaciones acerca de temperaturas, tiempos y gradientes que conforman el perfil de soldadura "reflow" son generales, pero en cada caso particular se deberá consultar la hoja de datos de la pasta utilizada para verificar si se mantiene dentro de estos parámetros.

# CAPÍTULO 14.

## GUÍA PRÁCTICA DE MANUFACTURA ELECTRÓNICA



## 1. Almacenamiento y manipulación de materias primas:

### 1.1 PCB

- Respetar FIFO (First In First Out).
- No acumular PCB's por más de 6 meses para evitar problemas de soldabilidad.
- Almacenar en posición horizontal y en lugar seco, la presencia de humedad en PCB's multicapa puede devenir en una delaminación a la hora de la soldadura por ola.

### 1.2 Adhesivo

- Respetar FIFO.
- Tener en cuenta fechas de vencimiento.
- Mantener en heladera a  $\geq 4^{\circ}\text{C}$  (ver hoja de datos del adhesivo adquirido).
- Mantener en posición vertical con el pico hacia abajo.
- Sacar la jeringa a usar con 12 horas de anticipación para que estabilice la temperatura con la del ambiente.
- Ver lo indicado en la hoja de datos de seguridad que acompaña al material acerca de las medidas de protección personal en el manipuleo.

### 1.3 Pasta de soldar

- Se debe mantener refrigerado y sacarlo con al menos 6 horas de anticipación para que tome la temperatura ambiente.
- Una vez a temperatura ambiente no se debe volver a refrigerar.

### 1.4 Componentes

- Los componentes sensibles a la electrostática: vienen indicados con las siglas ESD o EGB y no corren riesgo en su embalaje original.
- Manipular componentes sueltos con la debida descarga a tierra.

- Componentes sensibles a la humedad (MSD-Moisture Sensitive Device), conservar en Dry-Pack hasta su utilización u homearlos para su secado previo a ser utilizados según lo recomendado por el fabricante.
- Respetar FIFO, tomar en cuenta que p.ej. los capacitores electrolíticos sufren degradación con el paso del tiempo y aumentan su corriente de fuga de manera irreversible en algunos casos. También el envejecimiento degrada la soldabilidad de los terminales.

## 2. Adhesivado

### 2.1 Aplicación con dosificador (sistemas de presión-tiempo)

- Al colocar la aguja en una jeringa nueva purgar un poco de adhesivo para eliminar posibles burbujas de aire contenidas en la punta.
- El tamaño y forma de la gota es determinada por el diámetro de la aguja, distancia de la aguja respecto de la PCB, presión de aire, tiempo de aplicación de la presión y viscosidad del adhesivo (depende de la temperatura).
- Una vez concluida la tarea la jeringa puede ser dejada en la máquina siempre que se la vuelva a usar a corto plazo (hasta una semana aprox.) Tener en cuenta que una vez sacada de la heladera comienza un proceso de envejecimiento.

### 2.2 Aplicación por serigrafía (sistemas de serigrafía manual)

- El clisé habitualmente es de 0,2mm de espesor y los orificios para que pase el adhesivo son circulares y de un diámetro de 1 a 1,5mm.
- Verificar la limpieza del clisé, orificios destapados y superficie libre de restos. Limpiar con alcohol isopropílico o solvente específico.
- Verificar el correcto centrado del clisé con la primera PCB a serigrafiar tomando en cuenta que la mayor desviación se notará en las esquinas diagonalmente opuestas de la PCB.

- Usar espátula de poliuretano inclinándola 30° a 45° respecto del clisé y así esparcir el adhesivo ejerciendo una fuerza moderada hacia abajo y avanzando de 10 a 40mm/segundo.
- Una vez concluida la tarea retirar el adhesivo sobrante que podrá ser reutilizado y guardarlo a temperatura ambiente. Limpiar el clisé con alcohol isopropílico o solvente específico.

La gota resultante debe ser de forma cónica, con pico o redonda hemisférica. El tamaño final de la gota (una vez colocado el componente) no puede tener un diámetro mayor que la distancia entre PAD's y la altura debe ser suficiente como para cubrir el espacio entre la PCB y el componente, lo cual según el componente oscila entre los 0,05mm y los 0,3mm. La relación ancho / altura de la gota es típicamente de 1,5:1 a 5:1 (o alto/ancho = 0,2 a 0,6).

### 3. Serigrafía de pasta de soldar

- Sacar la pasta de la heladera con al menos 6 horas de anticipación.
- Utilizar guantes de látex para su manipulación, evitar el contacto con la piel (ver demás indicaciones en hoja de datos del material).
- Verificar que el clisé y la pasta correspondan al modelo y versión de placa a serigrafar.
- Fijar el clisé al dispositivo o máquina de serigrafía y verificar el centrado respecto de la placa a serigrafar.
- Esparcir la pasta sobre el clisé a unos centímetros de las perforaciones.
- Colocar una PCB en los pernos posicionadores, bajar el clisé y esparcir la pasta mediante una espátula de acero en un ángulo de 30 a 45° y a una velocidad de 10 a 40mm/seg verificando que frente a la misma la pasta avance formando un "rollo" y no formando "arrugas".
- Retirar la pasta del clisé si el mismo no va a ser utilizado por la siguiente hora (el tiempo puede variar según el tipo de pasta y la temperatura ambiente). Colocar la pasta en un pote con tapa y reservar sin refrigerar nuevamente.

- Al terminar la tarea proceder inmediatamente a la limpieza del clisé y espátulas con alcohol isopropílico o líquidos limpiadores específicos para la pasta utilizada. Secar con paños o papel libres de pelusas.
- Los restos de pasta así como los paños sucios con ella deben ser reservados y clasificados como RESIDUOS PELIGROSOS debido al contenido de plomo. No deben ser arrojados a la basura común ni echarse en cursos de agua.

### 4. "Pick&Place", colocación de componentes SMD.

- Definir unívocamente los programas de equipamiento correspondientes a cada modelo de placa.
- Cargar el programa de equipamiento que corresponda al modelo de placa a equipar.
- Verificar el correcto armado de las mesas, ubicaciones y polaridades de los componentes.
- Mantener al día los mantenimientos preventivos de la máquina, el orden y la limpieza.
- Para todos estos controles es útil confeccionar planillas a modo de "checklist".

### 5. Horno

- Definir unívocamente los programas de curvas de temperatura a utilizar para cada modelo de placa.
- Cargar el programa de soldadura / curado que corresponda al modelo de placa en proceso.
- Esperar a que el horno entre en régimen de temperatura antes de pasar las placas a soldar / curar.
- Tener definido qué distancia debe existir entre placa y placa cargada en el transporte.
- Mediante un "Profiler", una placa patrón y programa patrón realizar un control periódico del horno.

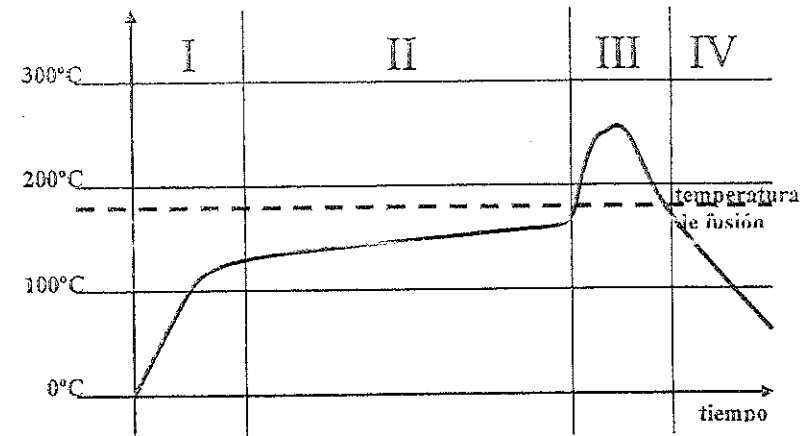
- Mantener al día los mantenimientos preventivos de la máquina.
- Para todos estos controles es útil confeccionar planillas a modo de "checklist".

### 5.1 Curado del adhesivo

- Tener definido unívocamente el programa de curado en el horno según el tipo de adhesivo empleado.
- Los parámetros habituales rondan los 60-90 segundos a 150°C o 3 minutos a 120°C.

### 5.2 Soldadura "Reflow"

- Tener definido unívocamente el programa de soldadura en el horno según el modelo de placa en proceso y la pasta utilizada.
- El programa de soldadura consiste en asignar diferentes valores de temperatura a las distintas zonas de calentamiento del horno y también setear la velocidad de avance de modo de lograr que sobre los componentes se desarrolle una curva de temperatura tal como la indicada más abajo. Esta curva debe respetar algunos gradientes mínimos y máximos de temperatura para garantizar la calidad final de la soldadura. Lo ideal es verificar estos parámetros para cada modelo de PCB mediante un Profiler.
- ZONA I o Pre calentamiento: Usar un gradiente de 2°C/seg hasta llegar a los 95 a 120°C.
- ZONA II, Soak o Atemporado: La temperatura crece lentamente en esta zona por espacio de 90 a 150 seg y al final de esta fase debe haber llegado a los 150 a 170°C.
- ZONA III o Reflow: Con un gradiente de 2 a 3,5°C/seg elevar la temperatura por encima del punto de fusión de la pasta utilizada por unos 30 a 90 segundos, típicamente hasta los 215 a 225°C por menos de 60 seg.
- ZONA IV o Enfriamiento: Debe realizarse un enfriamiento con una pendiente de 3 a 4°C/seg hasta llegar a los 130°C, por debajo de esta temperatura carece de importancia.



### 6. Montaje THT

- La preparación previa de los componentes consistente en el corte de los terminales y el doblado o formado de los mismos.
- Evitar tensiones mecánicas sobre el cuerpo del componente durante el corte y doblado de terminales.
- Evitar los ángulos muy rectos en los que puedan quedar marcados los alambres terminales.
- Garantizar que los terminales asomen del lado de soldadura como para que luego de la misma su contorno sea visible (aprox. 2 mm).

### 7. Soldadura por ola

- Verificar que el flux a utilizar y los parámetros de velocidad de transporte, temperatura de pre calentamiento, temperatura del crisol y ángulo del transporte sean los adecuados para la PCB a soldar.
- Activar la ola turbulenta solo cuando se deban soldar PCB's que posean SMD's adhesivados.
- Medir periódicamente la densidad del flux utilizado y corregir si fuese necesario.
- Para conseguir la activación del flux y la evaporación del solvente, previo a que la PCB tome contacto con la ola, debo garantizar que

sobre la cara superior de la PCB se hallan alcanzado los 100 a 120°C de temperatura.

- Verificar el nivel de carga de estaño-plomo en el crisol y reponer según necesidad.
- Setear la altura de ola necesaria como para que ejerza una leve fuerza contra la PCB sin que se monte sobre la misma ni brote por los orificios.
- La PCB no debe estar en contacto con la ola por más de 10 segundos.
- Para todos estos controles es útil confeccionar planillas a modo de "checklist".

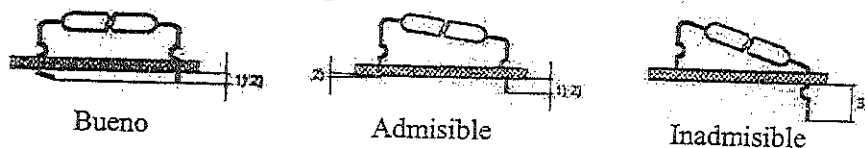
### 8. Control de calidad de montaje y soldadura

Existen normas de calidad para la industria electrónica que establecen los parámetros a controlar en forma visual para el armado y soldadura de módulos electrónicos, tal es el caso la norma ANSI/J-STD-001 - clase 2 o la ANSI/IPC-A-610 A clase 2.

Básicamente se observa el posicionado y la conformación de la unión de soldadura, tanto para THT como para SMT.

*NOTA: Los ejemplos abajo detallados fueron extractados de las normas mencionadas a fines de presentar un criterio, pero en caso de que el fabricante deba cumplir con algunas de estas normas deberá remitirse al original.*

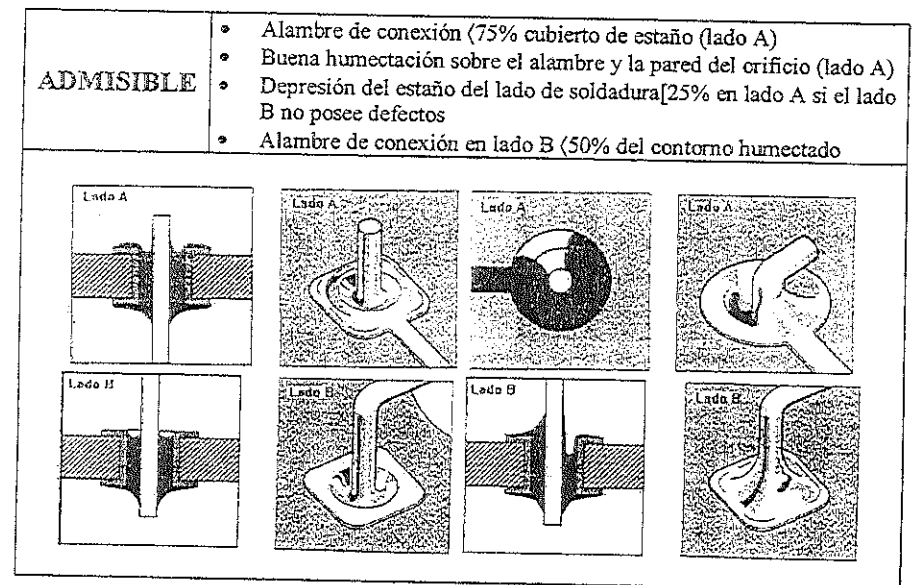
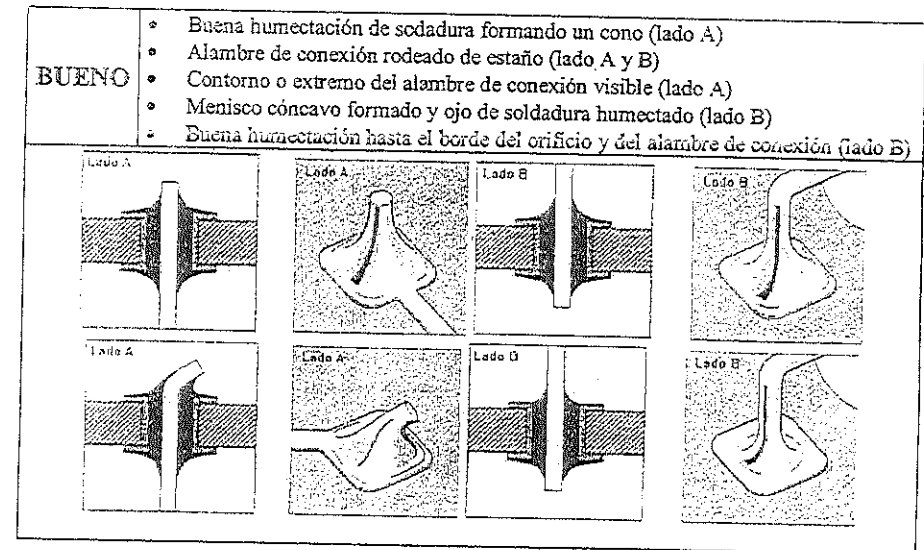
#### Posicionamiento de componentes THT



donde:

1. cumple con el largo máximo permitido.
2. Contorno o extremo del alambre de conexión visible.
3. Largo máximo excedido.

### Conformación del punto de soldadura THT



MALO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad excesiva de estaño, contorno de alambre de conexión no visible (lado A)</li> <li>• Alambre de conexión lado A con humectación &lt;50%</li> <li>• Pared del orificio o alambre de conexión sin humectar o [75% del espesor de placa (lado B)</li> <li>• Alambre de conexión lado B &lt;50% humectado de estaño</li> </ul>			
	Lado A	Lado A	Lado A	Lado A
	Lado B	Lado B	Lado B	Lado B
	Lado A	Lado A	Lado A	Lado A
	Lado B	Lado B	Lado B	Lado B
	Lado A	Lado A	Lado A	Lado A
	Lado B	Lado B	Lado B	Lado B
	Lado A	Lado A	Lado A	Lado A

Calidad de posicionamiento SMT

POSICIÓN	BUENO	ADMISIBLE	MALO
SMD cúbicos			
SMD cilíndricos			
con contactos "Gull Wing"			
con contactos "J"			

Calidad de soldadura SMT

SOLDADURA	BUENO	ADMISIBLE	MALO
SMD cúbicos			
SMD Cilíndricos			
Con contactos "Gull Wing"			
con contactos "J"			

## CAPÍTULO 15.

### GUÍA PRÁCTICA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

#### 1. Problemas en el adhesivado

Defecto	Causa Posible / Solución posible
Gotas faltantes	<ul style="list-style-type: none"><li>• burbujas de aire en el adhesivo</li><li>• verificar que las jeringas estén siendo almacenadas en forma vertical con el pico de salida hacia abajo</li><li>• verificar que el adhesivo halla sido retirado del refrigerador con la suficiente antelación como para tomar la temperatura del ambiente</li></ul>
Gotas demasiado pequeñas	<ul style="list-style-type: none"><li>• si sucede solo en algunos puntos verificar tamaño programado</li><li>• el componente puede desprenderse con facilidad aún luego del curado</li><li>• incrementar la presión de aire si sucede con todas las gotas</li></ul>
Gotas demasiado grandes	<ul style="list-style-type: none"><li>• el adhesivo no debe cubrir la zona de soldadura del PAD</li><li>• si sucede en algunos puntos verificar tamaño programado</li><li>• si todas las gotas son grandes disminuir la presión del aire</li></ul>
La gota dosificada forma hilos, mala repetibilidad	<ul style="list-style-type: none"><li>• Adhesivo envejecido, características reológicas deterioradas, descartar</li></ul>

#### 2. Problemas en la serigrafía de pasta de soldar

Defecto	Causa Posible / Solución posible
Falta pasta en PAD's	<ul style="list-style-type: none"><li>• verificar limpieza del clisé, ausencia de incrustaciones</li><li>• cantidad insuficiente o mala distribución de pasta en el clisé permite la formación de huecos vacíos durante el avance de la espátula</li></ul>
Puentes de pasta entre PAD's	<ul style="list-style-type: none"><li>• la pasta fluyó debajo del clisé, verificar que el mismo se halle bien apoyado e incrementar la presión de la espátula durante el avance</li><li>• verificar limpieza del clisé</li></ul>

#### 3. Problemas en la colocación de componentes SMD

Defecto	Causa Posible / Solución posible
Componentes SMD mal posicionados, torcidos	<ul style="list-style-type: none"><li>• verificar que se esté empleando la boquilla que corresponde al componente colocado</li><li>• verificar el estado de la boquilla, golpes, incrustaciones, etc.</li><li>• verificar si sucede con un tipo de componente en particular, verificar coordenadas</li><li>• si sucede con todos los componentes verificar calibración y mantenimiento</li></ul>
Componentes faltantes o caídos sobre la PCB	<ul style="list-style-type: none"><li>• verificar que se esté empleando la boquilla que corresponde al componente colocado</li><li>• verificar el estado de la boquilla, golpes, incrustaciones, etc.</li></ul>

## 4. Problemas en el horno

### 4.1 Curado de adhesivo

Defecto	Causa Posible / Solución posible
Unión quebradiza	<ul style="list-style-type: none"> <li>El adhesivo epoxi tiende a cristalizarse y volverse quebradizo si es curado a excesiva temperatura o por demasiado tiempo. Verificar que se estén respetando los valores de temperatura y tiempo de curado recomendados por el fabricante.</li> <li>Esta falla puede que sea detectada como componentes SMD faltantes luego de pasar por la soldadura de ola.</li> </ul>
Los componentes se desprenden con facilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Posible curado incompleto, faltó tiempo o temperatura</li> <li>Esta falla puede que sea detectada como componentes SMD faltantes luego de pasar por la soldadura de ola</li> </ul>


### 4.2 Soldadura "Reflow"








Defecto	Causa Posible / Solución posible
Bolas de soldadura	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Perlado</b> es el más común de los defectos de bolas de soldadura y es causado por una evaporación explosiva de los solventes. Los solventes evaporados se encuentran encapsulados dentro de la pasta de soldar, hasta que la presión crece y eventualmente el solvente revienta a través de la membrana superficial de flux y esparce pequeñas partículas de soldadura sobre la PCB. El uso de hornos de refusión parece incrementar este problema debido a que la gran circulación de aire hace que se forme una membrana sobre la superficie del flux. Esta membrana dificulta la evaporación lenta de los solventes. Puede ser resuelto mediante un ascenso menor de la temperatura en la zona de precalentamiento (0,75 a 1,0 °C) y una menor temperatura en la zona de soak (150 °C)</li> <li><b>Grandes bolas de soldadura cerca del pad.</b> Si la impresión serigráfica se llevó a cabo en forma imprecisa y parte de la pasta de soldar quedó impresa fuera del pad, al fundirse puede formar una gran bola de soldadura cerca del pad.</li> <li><b>Mala humectación y bolas de soldadura</b> sobre el pad pueden ser causados por una fase de soak demasiado larga. El flux activado limpia el área de soldadura pero el largo tiempo de soak hace que se re-oxide. Esto resulta en una humectación pobre y puede formarse una gran bola de soldadura. Mayormente se ve esto cuando se usa pasta de soldar para fine pitch debido a que las muy pequeñas partículas de soldadura tienen una gran área superficial que necesita ser limpiada de óxidos. El uso de pasta de soldar con bajos residuos incrementa este problema puesto que habrá menos resina para cubrir y proteger la pasta de soldar y la unión durante la soldadura. Por eso el uso de hornos de convección tiende a incrementar este problema debido a la gran circulación de aire que causa la oxidación de los puntos de soldadura.</li> </ul>

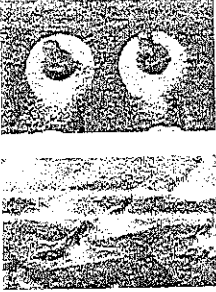


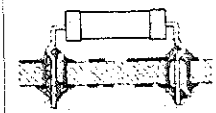
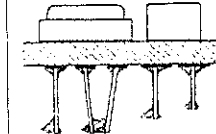
	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Reborde de soldadura (bolas laterales)</b> son muchas veces el resultado de una combinación de demasiada pasta de soldar presente en el pad y gaseo de solventes excediendo la fuerza cohesiva de la pasta de soldar durante la fase de precalentamiento. El gaseo forma un grumo de pasta debajo del componente chip y cuando se funde la aleación de soldadura es presionada hacia afuera formando pequeñas o grandes bolas al lado de los componentes chip. Este problema puede ser resuelto reduciendo la cantidad de pasta de soldar, bien reduciendo el tamaño del orificio en el stencil de impresión o reduciendo el espesor del stencil. También se puede solucionar reduciendo el gradiente de temperatura durante el precalentamiento.</li> </ul>
wicking	<ul style="list-style-type: none"> <li>El efecto "wicking" aparece cuando el terminal pre-estañado de un componente absorbe la aleación de soldadura fundida resultando una junta abierta. Esto sucede si existe una diferencia de temperatura muy grande entre el pad de soldadura y el terminal del componente. Si el terminal del componente está más caliente que la isla de soldadura de la PCB la pasta de soldar cercana al terminal funde primero y flota sobre los terminales del componente.</li> <li>Las soluciones a este problema son usar componentes con buena coplanaridad de sus terminales y prolongar el tiempo de "soak" para asegurar que los componentes y la PCB alcancen la misma temperatura.</li> </ul>
Humectación pobre	<ul style="list-style-type: none"> <li>Una <b>humectación pobre</b> puede ser el resultado de una oxidación excesiva previa a la fundición de la pasta de soldar. El tiempo y la temperatura incrementan la oxidación. Para resolver este problema es necesario reducir el impacto de calor sobre la pasta de soldar, ya sea minimizando el tiempo de calentamiento o decremantando el delta T creciente de temperatura en las zonas de precalentamiento y soak.</li> <li>Mala Humectación. El "de-wetting" se produce al sobrecalentarse la pasta de soldar durante la refusión. Debe bajarse el pico de temperatura o acortar el tiempo de permanencia en este para resolver este problema.</li> </ul>
Efecto lápida y desplazamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>El efecto lápida o "Tomb Stoning" puede ser causado por una humectación desigual sobre los dos terminales de un componente chip. La tensión superficial sobre el terminal que flota primero hace subir al componente y este permanece parado sobre un extremo.</li> <li>La humectación desigual puede deberse a un diseño erróneo del pad de soldadura, mala soldabilidad del componente o del pad, cantidad desigual de pasta de soldar sobre los dos pads o temperatura desigual sobre las zonas de soldadura. Para reducir la diferencia de temperatura el delta T de temperatura creciente en el precalentamiento debe ser reducido y el tiempo de soak prolongado.</li> <li>El uso de nitrógeno en la soldadura por refusión puede incrementar el efecto lápida debido a una mayor tensión superficial de la aleación de soldadura fundida.</li> <li>El desplazamiento es causado por una humectación desigual sobre los terminales de un componente chip. La tensión superficial sobre el terminal que flota primero hace que el componente se desplace. La solución es la misma que para el efecto lápida explicado arriba.</li> </ul>

Puentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los puentes son vistos generalmente en componentes fine pitch y mayormente causados por una impresión serigráfica imprecisa o con salpicaduras. Pero también puede ser el resultado de la caída de la pasta de soldar causado por un ascenso demasiado rápido de la temperatura en la zona de precalentamiento. Polvo y suciedad sobre la PCB pueden resultar en puentes. Por ejemplo, si una fina fibra de papel, plástico o un pelo yace a través de una fila de pad's, las pequeñas partículas de soldadura tienden a trasladarse a lo largo de la fibra y al fundirse formarán un puente. El uso de nitrógeno durante la soldadura por refusión puede incrementar este problema debido a una mayor tensión superficial de la aleación de soldadura fundida. En este caso es necesario tener el total control del proceso de impresión de la pasta.</li> </ul>
Unión o soldadura fría	<ul style="list-style-type: none"> <li>Una soldadura fría es el resultado de un pico de temperatura muy bajo. Se debe incrementar la temperatura hasta entre 215 y 225°C</li> </ul>
Ahuecamiento o voiding	<ul style="list-style-type: none"> <li>El ahuecamiento es un fenómeno causado principalmente por el gaseo de solventes encapsulados en áreas no humectadas, entre la unión de soldadura y el pad o extremo del componente. También puede suceder que quede flux encapsulado en el medio de la unión de soldadura. Este efecto puede ser minimizado acortando el tiempo de soldadura o haciendo disminuir la pendiente de subida durante el precalentamiento. También el uso de nitrógeno puede ayudar a minimizar este problema.</li> </ul>
Intermetalización excesiva.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intermetalización excesiva. Tiempo y temperatura son los factores que aumentan el espesor de la capa intermetálica. Una capa intermetálica muy gruesa entre el pad y la soldadura determinará una unión dura y quebradiza. Para minimizar el crecimiento de la capa intermetálica se debe bajar el pico de temperatura acortar el tiempo de permanencia por encima del punto de fusión.</li> </ul>
Gran tamaño de grano	<ul style="list-style-type: none"> <li>Un tamaño de grano grande en la soldadura es el resultado de una baja tasa de enfriamiento. La tasa de enfriamiento debe ser de 3 a 4 °C por segundo.</li> </ul>
Fisuras	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fisuras en componentes son causadas por estrés térmico dentro del propio componente. Esto ocurre si el calentamiento o el enfriamiento de la PCB suceden demasiado rápido.</li> <li>Fisuras en la soldadura raramente son causadas por un mal perfil de soldadura, pero esto puede aumentar el riesgo. Por ejemplo, si la tasa de enfriamiento es muy baja y la superficie de unión del estaño con el plomo es muy pequeña. Las fisuras en la soldadura muchas veces son causadas por pads (footprints) de soldadura mal diseñados, demasiada pasta de soldar o una tensión mecánica aplicada luego de la soldadura.</li> </ul>

### 5. Problemas en la soldadura por ola

Defecto	Causa Posible / Solución posible
<b>MALO</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>altura de ola demasiado baja</li> <li>superficie de PCB oxidada</li> <li>flux demasiado suave o inerte</li> <li>fluxeado insuficiente</li> </ul>

<b>ADMISIBLE</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>tiempo de precalentado demasiado corto</li> <li>PCB oxidada, usar un flux más activo</li> <li>dejar enfriar e intentar una nueva pasada</li> </ul>
<b>BUENO</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>unión de soldadura ligeramente cóncava</li> <li>contorno del terminal visible</li> </ul>
<b>ADMISIBLE</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>temperatura de soldadura ligeramente baja</li> <li>tiempo de precalentado ligeramente corto</li> <li>velocidad de soldadura ligeramente alta</li> <li>rastros de óxido en la soldadura</li> </ul>
<b>MALO</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>unión de soldadura convexa (silueta de bola)</li> <li>óxido entremezclado en la soldadura</li> <li>temperatura de soldadura muy baja</li> <li>tiempo de precalentado demasiado corto</li> <li>velocidad de soldadura demasiado alta</li> <li>flux demasiado suave</li> <li>contaminación con aluminio (Al) o cinc (Zn)</li> </ul>
<b>Mala Humectación</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>defectos de fabricación de la PCB, estañado sobre cobre oxidado</li> <li>en caso de estañado galvánico, demasiado tiempo de almacenamiento</li> <li>usar flux altamente activado</li> <li>intentar una segunda pasada</li> <li>devolver al proveedor de PCB para su reproceso</li> </ul> <p><sup>*)</sup> las PCB actuales traen máscara antisoldante y las islas pueden o no venir estañadas</p>
<b>Defecto</b> <b>BUENO</b> 	<b>Causa Posible / Solución posible</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>unión de soldadura ligeramente cóncava</li> <li>contorno del terminal visible</li> </ul>
<b>ADMISIBLE</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>PCB con problemas de "humectación" o soldabilidad</li> <li>usar flux altamente activado</li> <li>aumentar el tiempo de precalentamiento</li> <li>reducir la velocidad de soldadura</li> <li>intentar una segunda pasada</li> </ul>

<p><b>MALO</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• terminales de componentes insoldables</li> <li>• tratar los terminales de los componentes en forma previa con flux altamente activado</li> <li>• componentes demasiado viejos, terminales presentan oxidación bajo la superficie, reemplazarlos</li> </ul>
<p><b>PUENTES</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• soldadura contaminada con óxidos, regenerar o reemplazar la carga de estaño-plomo</li> <li>• temperatura de soldadura muy baja</li> <li>• flux demasiado suave o inerte</li> <li>• velocidad de soldadura demasiado alta</li> </ul>
<p><b>Soldadura Abierta</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• agujero demasiado grande con relación al diámetro del terminal (falla de diseño)</li> <li>• reducir el tiempo de precalentamiento</li> <li>• reducir la temperatura de soldadura (min. 230°C)</li> <li>• reducir la inclinación del transporte a 3-4°</li> </ul>
<p><b>Defecto</b></p>	<p><b>Causa Posible / Solución posible</b></p>
<p><b>Sopladuras</b></p> 	<p>Defectos de fabricación de la PCB:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• alto contenido de humedad en la PCB</li> <li>• curado incompleto del epoxi</li> <li>• residuos químicos debajo de la laminación del cobre</li> <li>• probar de atemperar las PCB por 2 horas a 120°C</li> </ul>
<p><b>Flags (banderas)</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• terminales de componentes demasiado largos (más de 4 cm)</li> <li>• idem "PUENTES"</li> </ul>

## ÍNDICE

### CAPÍTULO 1.

#### Tecnologías de montaje de componentes electrónicos

THT .....	7
THT - Montaje manual de componentes .....	8
THT - Montaje automático de componentes .....	8
SMT .....	9
SMT - Montaje sobre el lado de componentes .....	9
SMT - Montaje del lado de soldadura .....	10
Montaje MIXTO .....	11

### CAPÍTULO 2.

#### Tipos de encapsulado SMD

¿Porqué SMD? .....	13
Tipos de terminales .....	13
¿Que es el PITCH? .....	14
Tipos de componentes SMD (Surface Mount Device) .....	14
Formas de suministro .....	18
Consideraciones ESD y DryPack .....	21

### CAPÍTULO 3.

#### Dispensado de adhesivo

Características de un adhesivo SMD: .....	23
Características de una buena gota: .....	24
Sistemas de dosificación: .....	25
Etapas de "curado": .....	29

**CAPÍTULO 4.****Serigrafía de pasta de soldar y adhesivo**

La Pasta de Soldar .....	31
El stencil .....	32
Las espátulas .....	32
Máquinas de serigrafía .....	33
Una buena impresión .....	34
Presión de espátula .....	34
Velocidad de impresión .....	35
Snap Off .....	35
Velocidad de separación .....	35
Area de impresión .....	36
Factores ambientales .....	36
Serigrafía de adhesivos .....	36

**CAPÍTULO 5.****Colocación de componentes SMD**

Las máquinas .....	37
Feeders .....	41
Nozzles .....	42
Software de programación .....	43
Comunicaciones y compatibilidad .....	43
El operador .....	44

**CAPÍTULO 6.****Soldadura por refusión y curado de adhesivo**

Soldadura por refusión o "reflow" .....	46
Equipamiento de refusión: .....	46
Método de soldadura (perfil) .....	47
Materiales .....	51
Medio ambiente .....	52
El operador .....	52
Curado de adhesivo .....	52

**CAPÍTULO 7.****Medios y sistemas de transporte**

Máquinas sin transporte .....	55
Máquinas con transporte .....	56
Estaciones especiales de transporte .....	58
Línea automática vs. "stand alone" .....	59
Mi opinión .....	61

**CAPÍTULO 8.****Medios de inspección**

Inspección del serigrafiado .....	63
Inspección de la colocación de componentes .....	65
Inspección de soldadura .....	66
Inspección óptica automática .....	66

**CAPÍTULO 9.****Soldadura por ola**

Tipos de transporte .....	69
Tipos de fluxeado .....	70
Pre calentamiento .....	71
Soldadura por ola .....	71
Soldadura por arrastre .....	71
Soldadura por ola Lambda .....	72
Soldadura por ola hueca .....	72
Soldadura por doble ola .....	73
Mantenimiento y elementos de protección .....	74

**CAPÍTULO 10.****SMEMA**

SMEMA Interface Standard 1.2: .....	75
SMEMA Fiducial Mark Standard 3.1: .....	77
SMEMA Reflow Terms and Definitions Standard 4.0 .....	78
SMEMA Screen Printing Terms and Definitions Standard 5.0 .....	78
SMEMA Fluid Dispensing Terms and Definitions Standard 7.0 .....	78
SMEMA Standard Recipe File Format Specification .....	78

**CAPÍTULO 11.****Nuevas tecnologías, BGA y FLIP CHIP**

Chip on Board .....	80
BGA .....	81
Variantes de BGA .....	82
El proceso de montaje con BGA .....	83
Flip Chip .....	84
Variantes del proceso .....	85
Underfill .....	87

**CAPÍTULO 12.****Reparaciones y retrabajos en módulos electrónicos**

El flux: .....	90
El alambre de estaño plomo: .....	90
Equipos de soldadura y desoldadura: .....	90
Puesto de reparaciones o retrabajos: .....	92
Consideraciones antiestáticas: .....	93
Preparación de los componentes: .....	93

**CAPÍTULO 13.****Insumos**

El flux .....	95
Tipos de flux .....	96
Las aleaciones de soldadura .....	98
La aleación autéctica .....	98
Los adhesivos .....	99
La pasta de soldar .....	100

**CAPÍTULO 14.****Guía práctica de manufactura electrónica**

1. Almacenamiento y manipulación de materias primas .....	104
1.1 PCB .....	104
1.2 Adhesivo .....	104
1.3 Pasta de soldar .....	104
1.4 Componentes .....	104
2. Adhesivado .....	105
2.1 Aplicación con dosificador (sistemas de presión-tiempo) .....	105
2.2 Aplicación por serigrafía (sistemas de serigrafía manual) .....	105
3. Serigrafía de pasta de soldar .....	106
4. "Pick&Place", colocación de componentes SMD .....	107
5. Horno .....	107
5.1 Curado del adhesivo .....	108
5.2 Soldadura "Reflow" .....	108
6. Montaje THT .....	109
7. Soldadura por ola .....	109
8. Control de calidad de montaje y soldadura .....	110
Posicionamiento de componentes THT .....	110
Conformación del punto de soldadura THT .....	111
Calidad de posicionamiento SMT .....	112

**CAPÍTULO 15.****Guía práctica de solución de problemas**

1. Problemas en el adhesivo .....	115
2. Problemas en la serigrafía de la pasta de soldar .....	115
3. Problemas en la colocación de componentes SMD .....	115
4. Problemas en el horno .....	116
4.1 Curado de adhesivo .....	116
4.2 Soldadura "Reflow" .....	116
5. Problemas en la soldadura por ola .....	118