



UNIVERSIDAD PANAMERICANA
CAMPUS GUADALAJARA

"UN DISEÑO EXPERIMENTAL A UN PROCESO
AUTOMATIZADO SMT DE IMPRESIÓN DE SOLDADURA EN
PASTA Y EL HORNEADO DE LA MISMA EN TARJETAS PARA
COMPONENTES ELECTRÓNICOS "

EDUARDO HERNANDEZ PLASCENCIA

Tesis presentada para optar por el grado de Maestro en
Optimación de Sistemas Productivos con
Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,
según acuerdo número 994189 con fecha 09-VII-99.

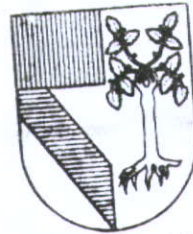
Zapopan, Jalisco, Septiembre del 2005





UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA



UNIVERSIDAD PANAMERICANA
CAMPUS GUADALAJARA
BIBLIOTECA

**“UN DISEÑO EXPERIMENTAL A UN PROCESO
AUTOMATIZADO SMT DE IMPRESIÓN DE SOLDADURA EN
PASTA Y EL HORNEADO DE LA MISMA EN TARJETAS PARA
COMPONENTES ELECTRÓNICOS ”**

EDUARDO HERNÁNDEZ PLASCENCIA

Tesis presentada para optar por el grado de Maestro en
Optimización de Sistemas Productivos con
Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,
según acuerdo número 994189 con fecha 09-VII-99.

Zapopan, Jal., Septiembre del 2005

CLASIF: ~~TE~~ MOS : 005 HEP

ADQUIS: _____ - 61161 ej 1

FECHA: 06-01-06

DONATIVO DE _____

\$ _____

iii, 92 h. : il., gráps., tablas ; 29 cm.

500 Publicado también en forma electrónica en formato PDF a través de World Wide Web

502 Tesis (Maestría) - Universidad Panamericana Campus Guadalajara, 2005

504 Incluye referencias bibliográficas

1. Tesis y disertaciones académicas - Universidad Panamericana Campus Guadalajara, 2005
2. Ingeniería de la producción
3. Procesos de manufactura



UNIVERSIDAD PANAMERICANA
CAMPUS GUADALAJARA

MAESTRÍA EN OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO.

SR. Eduardo Hernández Plascencia
P r e s e n t e.

En mi calidad de presidente de Comisión de Exámenes de Grado y después de haber analizado el trabajo de titulación presentado por usted en la alternativa de TESIS, titulado;

**“UN DISEÑO EXPERIMENTAL A UN PROCESO
AUTOMATIZADO SMT DE IMPRESIÓN DE SOLDADURA EN
PASTA Y EL HORNEADO DE LA MISMA EN TARJETAS PARA
COMPONENTES ELECTRÓNICOS”**

Le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado del Examen de Grado por lo que deberá de entregar siete ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

ATENTAMENTE

Mtro. Francisco Innmarol Ertze Encinas
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

MAESTRÍA EN OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

Septiembre 28, 2005

ING. FRANCISCO ERTZE
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE
EXÁMENES DE GRADO.
P R E S E N T E:

Me permito hacer de su conocimiento que el Ing. Eduardo Hernández Plascencia de la Maestría en Optimización en Sistemas Productivos, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de titulación con la alternativa TESIS , titulado:

**“UN DISEÑO EXPERIMENTAL A UN PROCESO
AUTOMATIZADO SMT DE IMPRESIÓN DE SOLDADURA EN
PASTA Y EL HORNEADO DE LA MISMA EN TARJETAS PARA
COMPONENTES ELECTRÓNICOS”**

Manifiesto que, después de haber dirigida y revisada previamente, reúne todos los requisitos técnicos para solicitar fecha de Examen de Grado.

Agradezco de antemano la atención prestada y me pongo a sus órdenes para cualquier aclaración.

ATENTAMENTE

Ing. Francisco Eduardo Anguiano Covarrubias
ASESOR DE TESIS

Agradecimientos:

Quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de estar aquí en este mundo, que a pesar de sus farsas y sueños fallidos, sigue siendo un mundo hermoso.

Gracias a mamá y a papá por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por jalar la rienda cuando se debe y por esos consejos que hacen engrandecer mi vida.

Gracias a mis hermanas y hermanos, ellos forman parte de este logro.

A todas mis sobrinas y sobrinos, y a mi hijo Eduardo IV para que luchen sin descanso por lo que anhelan.

Especial agradecimiento a Francisco Ertze "Patxi" por creer y confiar en mí.

Gracias a todos por su amor, amistad y sobre todo, el apoyo incondicional

Ing. Eduardo Hernández Plascencia

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE LA TECNOLOGÍA DE MONTAJE SUPERFICIAL.....	2
1.1. Tipos de Montaje Superficial.....	5
1.2. Beneficios del Montaje Superficial.....	10
1.3. Equipo SMT.....	12
1.3.1. Colocadoras de componentes.....	12
1.3.2. Impresora de soldadura en pasta.....	13
1.3.3. Curado y horneado.....	14
1.3.4. Soldadura por reflujo.....	14
1.3.5. Limpieza.....	14
1.3.6. Soldadura de ola.....	15
1.3.7. Reparación e inspección.....	16
1.4. Cuando Utilizar el Montaje Superficial.....	16
1.5. Técnicas de Montaje Superficial.....	17
2. LA MANUFACTURA CON MONTAJE SUPERFICIAL.....	20
2.1. El Adhesivo y sus Aplicaciones.....	20
2.1.1. El adhesivo ideal.....	20
2.1.1.1. Propiedades del pre-curado.....	20
2.1.1.2. Propiedades del curado.....	21
2.1.1.3. Propiedades del post-curado.....	21
2.1.2. Clasificación general de los adhesivos.....	22
2.1.3. Adhesivos para el montaje superficial.....	22
2.1.3.1. Adhesivos de Epoxy.....	23
2.1.3.2. Adhesivos de acrílico.....	23
2.1.3.3. Otros adhesivos.....	24
2.1.4. Métodos de aplicación.....	24
2.1.4.1. Impresión por Stencil.....	25
2.1.4.2. Por terminales.....	25
2.1.4.3. Por inyección.....	26
2.2. Soldadura en Pasta y sus Aplicaciones.....	27
2.2.1. Propiedades de la soldadura en pasta.....	27
2.2.1.1. Composición metálica.....	28
2.2.1.2. Perfil y tamaño de las partículas.....	29
2.2.1.3. Acción del activador fundente.....	30
2.2.1.4. Viscosidad.....	31
2.2.1.5. Asentamiento.....	34

2.2.1.6. Tiempo de vida	34
2.2.1.7. Bolas de soldadura	35
2.2.2. Proceso de impresión de pasta	36
2.2.2.1. Configuración de la impresora en pasta	36
2.2.2.2. Impresión Screen	38
2.2.2.3. Impresión con Stencil	39
2.2.3. Defectos en la impresión	40
2.2.4. Variables en la impresión	41
2.2.4.1. Viscosidad de la soldadura	42
2.2.4.2. Espesor de la soldadura	42
2.2.4.3. Pala barredora: desgaste, presión, dureza, tipo y orientación	44
2.2.4.4. Velocidad de impresión	44
2.2.4.5. Tipo de Stencil	44
2.3. Componentes de Montaje Superficial	46
2.3.1. Partes colocadas manualmente	46
2.3.2. Partes colocadas automatizadamente	47
2.3.3. Tipos y tamaños de componentes	48
2.4. Soldado de Componentes de Montaje Superficial	48
2.4.1. Soldadura tipo ola	49
2.4.1.1. Proceso y equipo en la soldadura tipo ola	50
2.4.2. Soldadura por reflujo	51
2.4.2.1. Zona de precalentamiento	51
2.4.2.2. Zona de filtro	52
2.4.2.3. Zona de reflujo	52
2.4.2.4. Zona de enfriamiento	52
2.4.3. Defectos más comunes en el reflujo	52
2.4.3.1. Movimiento de partes	53
2.4.3.2. Choques térmicos en componentes	53
2.4.3.3. Decoloración de la máscara	53
2.5. Fundentes y Limpieza	54
2.5.1. ¿Por qué preocuparnos por la limpieza?	54
2.5.2. La función del fundente	55
2.5.3. Clasificación de los fundentes	55
2.5.3.1. Fundentes inorgánicos	56
2.5.3.2. Fundentes ácido-orgánicos	56
2.5.3.3. Fundentes con resina	56
2.5.3.4. Fundentes tipo No-Limpieza	57
2.5.4. Los contaminantes y sus efectos	57
2.5.4.1. Partículas contaminantes	58
2.5.4.2. Consideraciones ambientales	58
3. CONTROL DE CALIDAD E INSPECCION	61

3.1. Control Estadístico del Proceso	61
3.2. Defectos Relacionados con Materiales y el Proceso	63
3.2.1. Defectos relacionados al sustrato	63
3.2.2. Defectos relacionados al componente	64
3.2.3. Defectos relacionados con la soldadura	64
3.2.4. Defectos relacionados al proceso	65
3.2.5. Defectos relacionados al diseño	66
3.3. Requisitos de Calidad en las Uniones de Soldadura	66
3.3.1. Requisitos generales para uniones de soldadura	68
3.4. Inspección en las Uniones de Soldadura	70
3.4.1. Inspección visual	70
3.4.2. Inspección automatizada	71
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	72
5. DESARROLLO DEL EXPERIMENTO	77
5.1. Elaboración del Análisis de Varianza	82
6. CONCLUSIONES	87
APÉNDICE A: BIBLIOGRAFÍA	89
APÉNDICE B: GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS	90
APÉNDICE C: REFERENCIAS	92

INTRODUCCIÓN

La tecnología de montaje superficial (SMT por sus siglas en inglés) hace posible que los ensamblajes o productos con componentes electrónicos estén al alcance de un mayor mercado al reducir el peso, volumen y costo.

En este trabajo de tesis se explica la tecnología SMT en la manufactura de ensamblajes electrónicos desde todas las variantes que actualmente existen en su aplicación así como también los problemas más comunes que se presentan en su ambiente de trabajo.

Se explican los diferentes tipos de componentes y sus tecnologías, los flujos de proceso más comunes y las características que deben tomarse en cuenta para su control, donde podemos encontrar la impresión de pasta, adhesivos, componentes SMT y tipo inserción y fundentes.

Se maneja también el uso del control estadístico del proceso, la inspección y sus estándares internacionales.

Esta tesis se enfoca en la solución de un problema con un componente de alto valor, el cual forma el principal detractor en la pérdida de eficiencia de la línea de producción. El problema se presenta en un circuito integrado el cual está desplazado en la tarjeta PCB después del proceso de soldado por un horno de reflujo.

Para la solución de éste se utiliza la metodología de diseño de experimentos Taguchi, la cual nos permite realizar las corridas sin la necesidad de detener la producción, lo cual lo hace atractivo para los directivos, ya que se atacan las causas raíz sin la pérdida de volúmenes de producto terminado.

Se emplean varias técnicas para el planteamiento del problema y recolección de datos, entre las cuáles se pueden encontrar el diagrama de causa y efecto, el gráfico de Pareto, corridas experimentales y el desarrollo del análisis de varianza: ANOVA.

En los primeros tres capítulos se maneja el marco teórico para ofrecer al lector una introducción mas detallada del proceso de montaje superficial. En dichos capítulos se podrá observar una explicación de fácil comprensión.

Los siguientes tres capítulos ofrecen el planteamiento del problema, el desarrollo del experimento y las conclusiones finales.

El mundo moderno esta unido a la tecnología de punta, donde se tiene que involucrarse en la misma para garantizar una supervivencia en el mercado, ya que la minimización del costo de manufactura y una maximización de la eficiencia de producción se han convertido en factores importantes en la industria manufacturera mexicana. Todo este enfoque va encaminado a ganar el mercado que aún se está quedando en la mano de obra de Oriente, en países como China, Singapur, Malasia, Taiwán, entre otros.

Capítulo 1

INTRODUCCION AL PROCESO DE LA TECNOLOGÍA DE MONTAJE SUPERFICIAL

La Tecnología de Montaje Superficial (SMT por sus siglas en inglés) es empleada para montar componentes electrónicos en una superficie o tarjeta de circuito impreso. La tecnología convencional, hace contraste, ya que inserta los componentes en la tarjeta de circuito impreso, mediante pequeños orificios. Obviamente esto implica que se presentaron diferencias en el diseño, materiales, procesos y ensambles.

En los años 50's, los dispositivos de montaje superficial eran llamados paquetes planos y sus aplicaciones eran militares solamente. Estos paquetes planos pueden ser considerados como los primeros dispositivos de montaje superficial. De cualquier manera, dichos elementos necesitaban conductores con chapa de oro, por lo tanto, eran muy costosos y poco populares. En los 60's, los paquetes planos fueron remplazados por los DIP's (Paquetes Duales en Línea), los cuales eran más fáciles de insertar y podían ser soldados en el proceso de soldadura de ola, el cual será ilustrado en capítulos posteriores.

Otra contribución importante fue la tecnología híbrida. Estos componentes llegaron a ser muy populares en los años 60's, de hecho aun son empleados. Los substratos híbridos son generalmente de cerámica, pero el plástico híbrido es empleado para reducir costos en aplicaciones comerciales. La mayoría de los componentes pasivos (resistencias y capacitores) empleados actualmente, fueron originalmente fabricados por la industria del híbrido. Las técnicas desarrolladas por la industria híbrida para la colocación y soldado de los componentes, ha hecho una contribución significativa para el proceso SMT.

Otras de las raíces de SMT han sido los trabajos de investigación y desarrollo efectuados en los Estados Unidos para aplicaciones militares. Por ejemplo, para obtener dispositivos con un número grande de terminales, los militares necesitaron sellar herméticamente el componente. Esto permitió el desarrollo de los dispositivos LCCC's (Circuitos Integrados portadores de menos cerámica) a finales de los 60's.

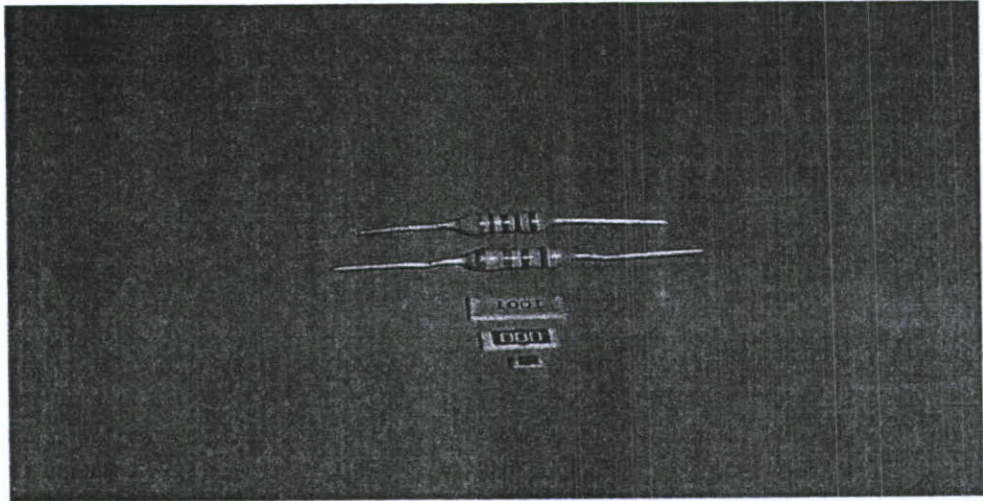
Los LCCC's también presentaban sus propios problemas, éstos necesitaban substratos muy costosos para poder alcanzar los coeficientes térmicos de expansión (CTE's), para prevenir que las uniones de soldadura sufrieran fisuras debido al no acoplamiento entre el CTE y los componentes cerámicos y los substratos de vidrio epoxy. Los militares han gastado considerables recursos financieros y humanos en desarrollar substratos para los LCCC's, pero los resultados han sido menos que satisfactorios.

Mientras las industrias electrónicas en Estados Unidos estaba preocupadas en desarrollar substratos para los LCCC's, en Europa y Japón estaban respondiendo a un mercado mas amplio. En los años 60's, la compañía europea N.V.Philips, inventó unos dispositivos de montaje superficial para la industria de la televisión. Dichos elementos son conocidos hoy en día como paquetes pequeños fuera de línea (SO) o circuitos integrados fuera de línea (SOIC). Al inicio de los años 70's los japoneses estaban produciendo calculadoras con dispositivos cuadrados plásticos, los cuáles eran similares a los paquetes planos pero tenían terminales en sus cuatro lados. El término "cuadrado" es utilizado para paquetes de montaje superficial que tienen terminales en todos sus lados, doblados hacia abajo y hacia fuera como alas de gaviota. Esta configuración de terminales es susceptible a doblarse y dañarse durante el manejo y embarque. Sin embargo, este tipo de componentes ahorran espacio, debido a que son muy pequeños con respecto a sus contrapartes tipo inserción. El empleo de estos dispositivos a provocado un gran impacto en las tecnologías de manufactura en los campos de manejo, técnicas de soldado, limpieza e inspección.

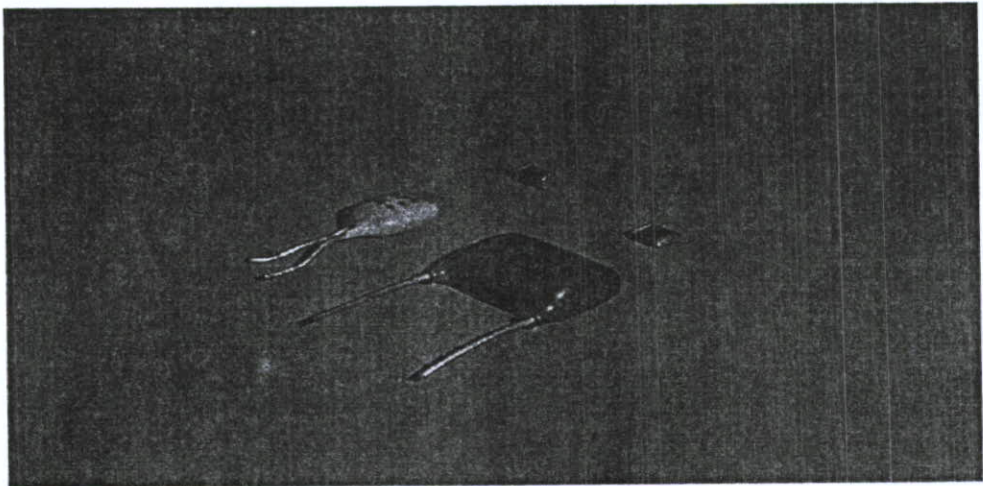
Los japoneses también tuvieron su aportación al producir a grandes volúmenes equipos como radios, televisiones y video gravadoras. La mayoría de éstos productos necesitó dispositivos pasivos de montaje superficial para sus circuitos analógicos. Los componentes pasivos tienen terminaciones en lugar de terminales, y ello los hace más pequeños. La Figura 1.1 compara los componentes pasivos de montaje superficial contra sus equivalentes tipo inserción.

Así como en los 70's se desplomó el uso de componentes pasivos en productos comerciales en Japón, los 80's se caracterizaron por el uso de componentes activos en aplicaciones a grandes volúmenes a nivel mundial en el área de las telecomunicaciones y

computadoras. En Estados Unidos empezaron a aparecer aplicaciones con circuitos digitales en computadoras, telecomunicaciones y artículos militares.



(a)



(b)

Figura 1.1 Componentes SMT pasivos y sus equivalentes tipo inserción. (a) Resistencias, (b) Capacitores.

Aparecieron los PLCC's (Circuitos Integrados de Plástico), éstos tienen terminales en sus cuatro lados al igual que los paquetes cuadrados comentados anteriormente, sólo que los PLCC's tienen sus terminales dobladas hacia abajo simulando una letra "J", es por ello, que también son conocidos como paquetes o componentes "terminales tipo J". Estos dispositivos son menos propensos al daño durante su manejo y son más eficientes sobre el sustrato. La Figura 1.2 muestra un PLCC y su equivalente tipo inserción.

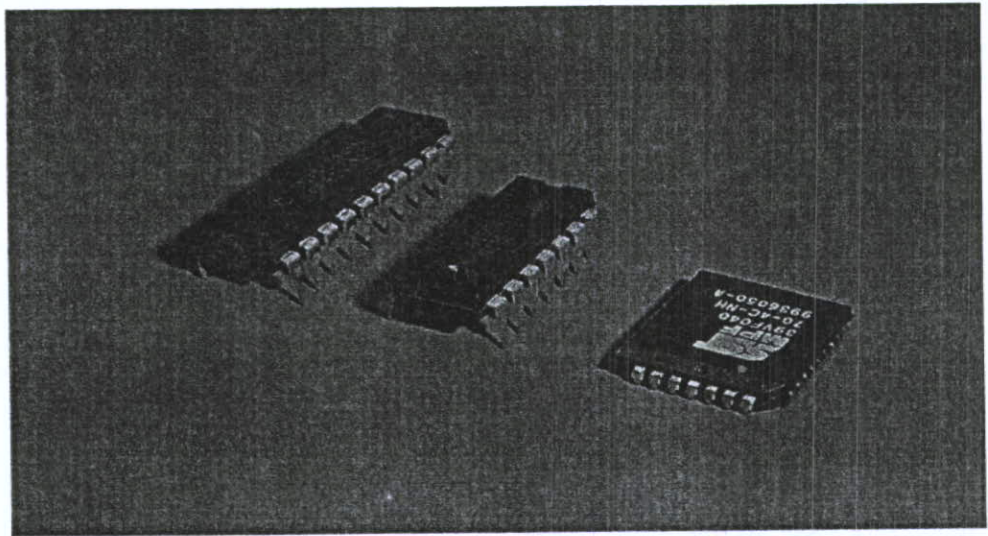


Figura 1.2 Componente PLCC terminal tipo J y sus equivalentes tipo inserción.

Los PLCC's fueron desarrollados para solucionar el problema del CTE entre el dispositivo y el sustrato. Las terminales tipo J evitan deformaciones en el componente cuando éste está en uso. Hoy en día existe una gran variedad de componentes de montaje superficial, donde la principal variable es la distancia entre sus terminales, dicha distancia es medida de centro a centro entre las terminales. Existen componentes de 50 mils como los PLCC's y los SOIC's. Hay dispositivos de 25 mils, conocidos como "fine pitch" por sus siglas en inglés. Los detalles se discutirán en el Capítulo 2.

1.1 TIPOS DE MONTAJE SUPERFICIAL.

Debido a que todavía no están disponibles muchos componentes en el formato de montaje superficial, el proceso de SMT debe recurrir a dispositivos tipo inserción. Los

componentes SMT, activos y pasivos, cuando son montados en la tarjeta de circuito impreso, se dividen en tres tipos de ensamble. Normalmente se conocen como, Tipo I, Tipo II y Tipo III, tal y como lo muestra la Figura 1.3. La secuencia de los procesos es distinta en cada tipo y cada tipo necesita diferente equipo.

El ensamble SMT Tipo III, contiene solamente componentes discretos como resistencias, capacitores y transistores, los cuáles son pegados a la tarjeta en el lado inferior de la misma. Los ensambles Tipo I contienen solamente componentes de montaje superficial y éstos pueden estar en uno o ambos lados de la tarjeta. Los ensambles Tipo II es una combinación de los Tipo I y III. Generalmente éstos no contienen componentes activos tipo SMT en su lado inferior, pero pueden contener dispositivos discretos en ese lado.

La complejidad de los ensambles en SMT está dada por la distancia “pitch” (distancia equidistante de centro a centro de cada terminal), por ejemplo, “fine pitch” (componente con mas de 208 terminales y 0.5 mm de pitch), “ultra fine pitch” (pitch menor a 0.5 mm), QFP (paquetes cuadrados delgados), TCP (paquetes con cinta), BGAs (arreglos tipo rejilla) y los componentes muy pequeños (0603, 0402 o mas pequeños). Los ensambles que contienen este tipo de componentes se conocen como Tipo IC, Tipo IIC y Tipo IIIC.

Si el “pitch” es mayor que 20 milésimas, se toma la notación “mils”, pero si es 20 mils o menor, entonces se toma la notación mm (milímetros), esto esta regido por el estándar EIA (Electronics Industries Association) y el EIAJ (EIA de Japón).

Los ensambles Tipo I y Tipo II llegan a ser Tipo IC y Tipo IIC si poseen componentes “fine pitch”, “ultra fine pitch”, TCP, BGAs y 0603 (60 mils de largo y 30 mils de ancho), 0402 (40 mils de largo y 20 mils de ancho) o componentes mas pequeños como capacitores y resistencias. El Tipo IIIC se presenta cuando los SOICs y los componentes pequeños (0603, 0402 o mas pequeños) son depositados en la parte inferior de la tarjeta, con componentes tipo inserción en la parte superior solamente. La Figura 1.4 nos muestra este tipo de ensambles.

La Figura 1.5 muestra la secuencia clásica del proceso SMT para el Tipo III. La Figura 1.6 nos muestra el Tipo I y la Figura 1.7 el Tipo II.

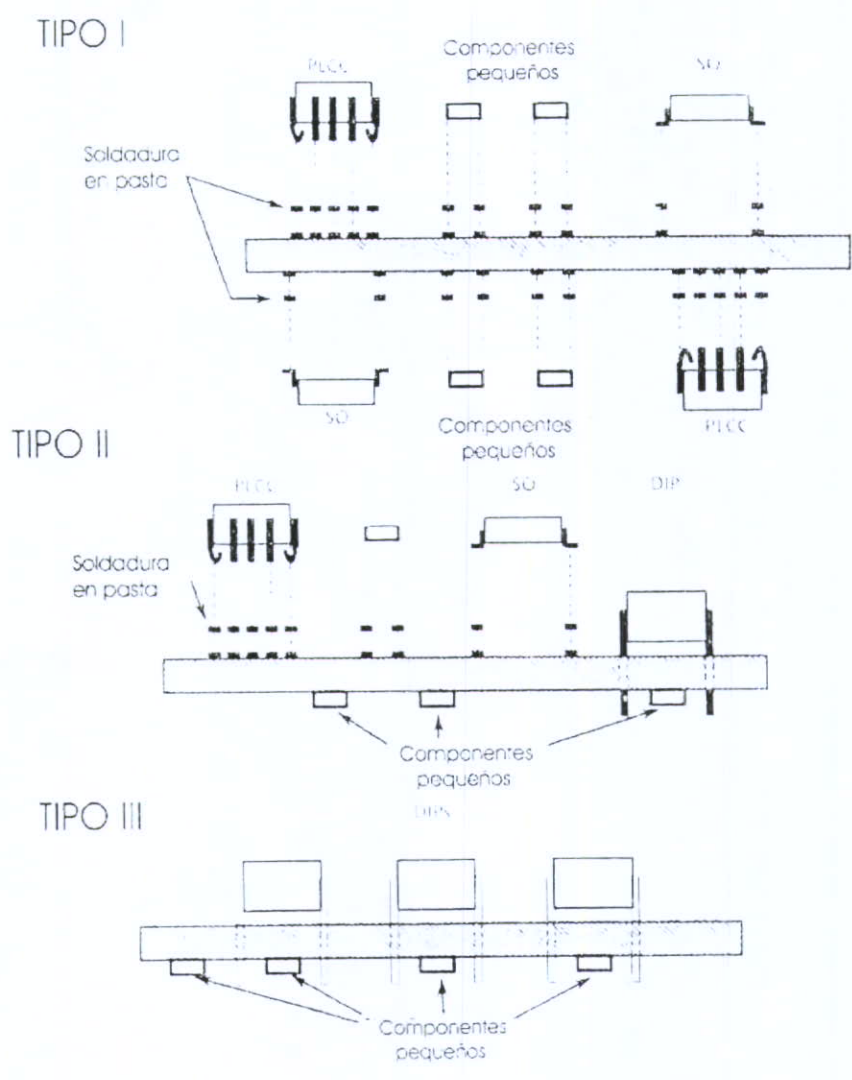


Figura 1.3 Los tres principales tipos de ensamble en SMT.

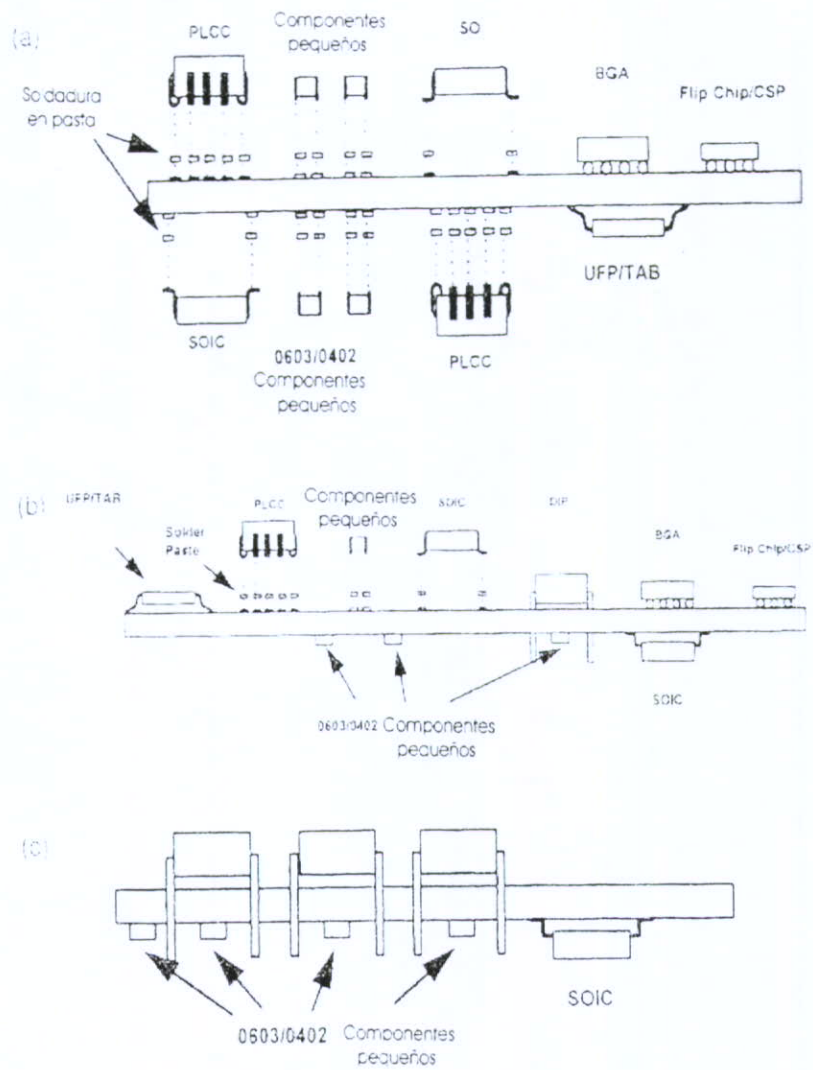


Figura 1.4 Ensamblés SMT (a) Tipo IC, (b) Tipo IIC, (c) Tipo IIIC

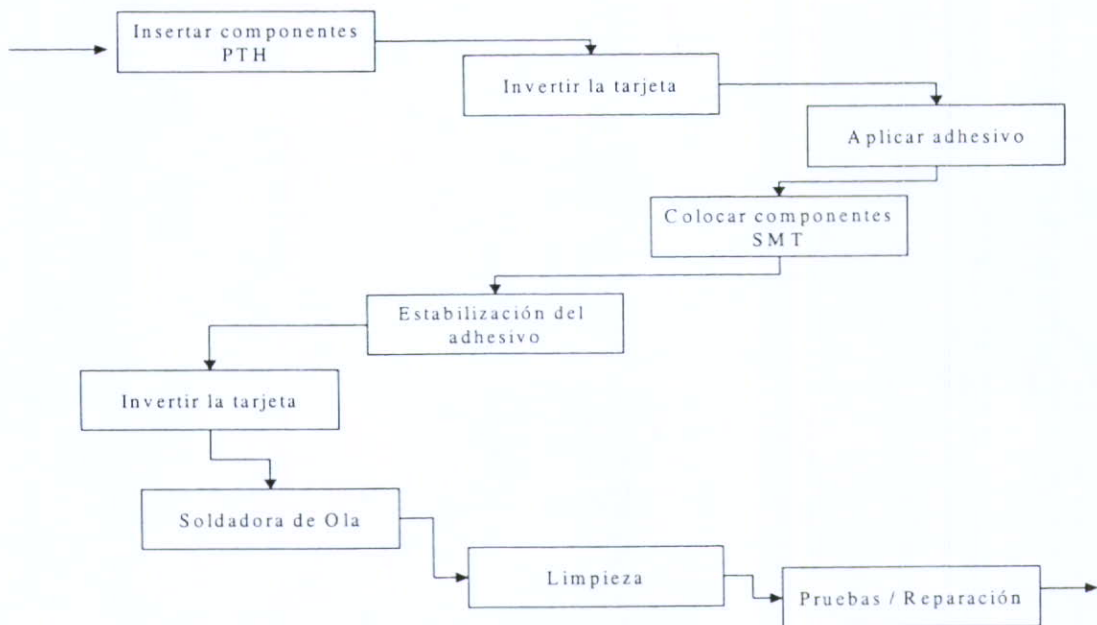


Figura 1.5 Proceso SMT típico para el Tipo III.

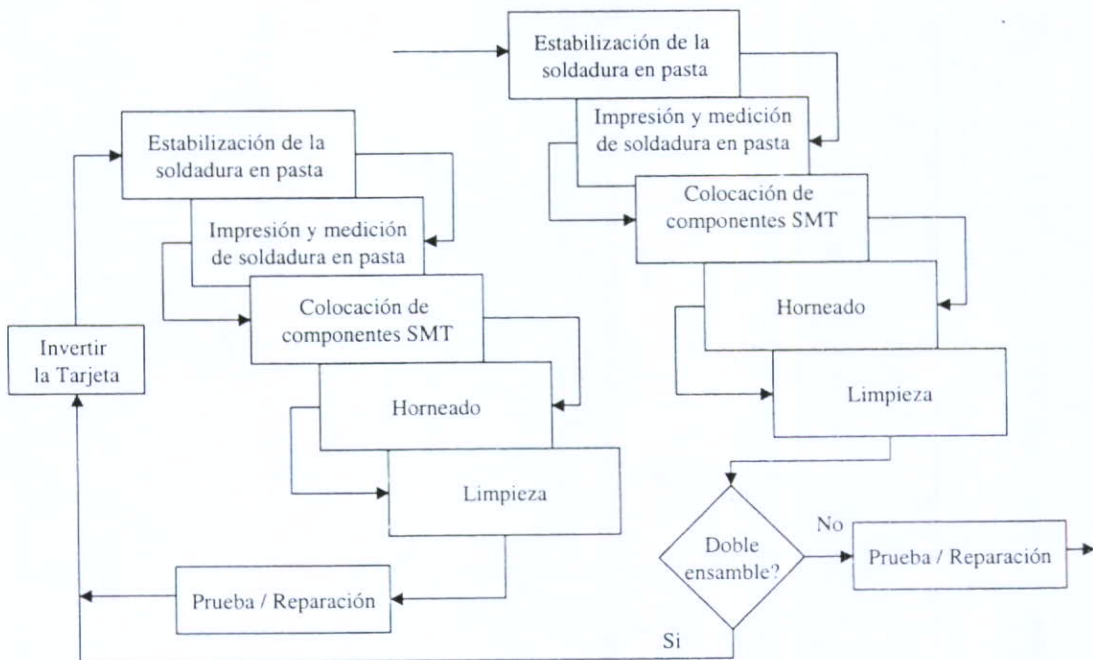


Figura 1.6 Proceso SMT típico para el Tipo I.

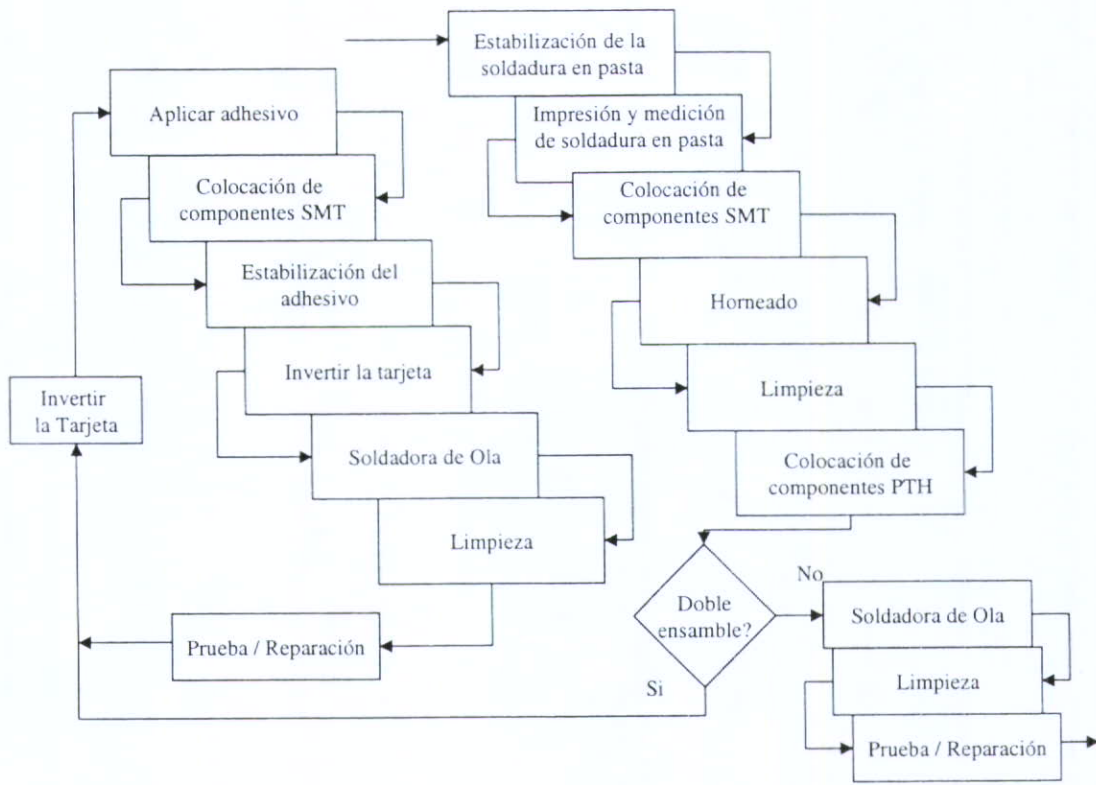


Figura 1.7 Proceso SMT típico para el Tipo II.

1.2 BENEFICIOS DEL MONTAJE SUPERFICIAL

Uno de los principales objetivos de ésta tecnología es optimizar el área de la tarjeta, de manera, que sea utilizada en su máxima capacidad, obviamente esto se consigue también por el empleo de componentes pequeños y el ensamble en ambos lados de la tarjeta.

Existe también una reducción considerable en el peso del producto. La Figura 1.8 muestra cómo los componentes SMT pueden ser hasta 1/10 parte más livianos que los usados convencionalmente. Esta significativa reducción de peso es muy importante en aplicaciones espaciales y aéreas.

La reducción del tamaño está también en función de la mezcla de componentes SMT y de Tipo inserción, debido a que no todos los componentes existen en versión SMT. Por lo tanto, la optimización del área, dependerá del porcentaje de componentes Tipo inserción empleados.

SMT también proporciona mejoras en la vibración debido a sus componentes pequeños. También, debido a que los pines son pequeños, existen menos señales parásitas (ruido) con respecto a las que presentan los componentes de Tipo inserción.

Existen otras ventajas, por ejemplo, en manufactura se reduce el costo de las tarjetas, bajos costos por almacenamiento, bajo costo en el embarque y mejor control en el proceso.

Mejor calidad por la automatización en la colocación de componentes. ¿Qué implican todos éstos beneficios en términos de costo? Dependiendo de la aplicación, pueden existir ahorros hasta un 30% o más. Junto con esto hay reducciones de material y mano de obra. Debido a lo automatizado del proceso, se tienen menos reparaciones y, por consecuencia, menos desperdicios.

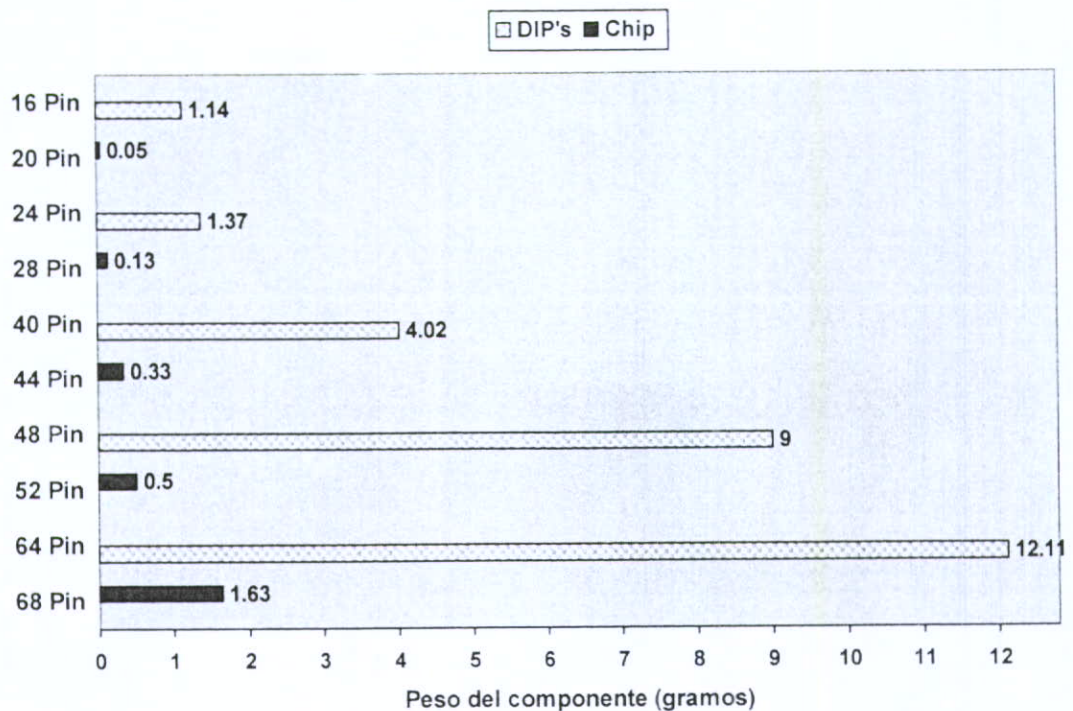


Figura 1.8 Comparación de peso entre componentes SMT y sus equivalentes DIP.

En SMT existen otros beneficios menos tangibles. Por ejemplo, las máquinas colocadoras de componentes generan menos ruido ambiental que los equipos de autoinserción. También, debido a que los componentes SMT son más pequeños, éstos necesitan menos espacio en los almacenes, reduciendo considerablemente el área de almacenaje. El tamaño y peso tan reducidos en el producto final, permiten tener menos costos de embarque y manejo.

1.3 EQUIPO SMT

1.3.1 Colocadoras de componentes.

A pesar de que existe bastante equipo involucrado en un proceso SMT, el corazón del montaje superficial se encuentra en las máquinas colocadoras de componentes SMT en las tarjetas de circuito impreso, justo antes de ser soldados. Estos equipos generalmente constituyen el 50% del costo total de una línea completa.

Algunas de éstas maquinas son muy versátiles, con capacidad para manejar una gran variedad de componentes, mientras que otras son dedicadas a solo algunos de ellos. Estos equipos utilizan herramientas con tecnología al vacío para sujetar los componentes y muchas de ellas poseen equipo de alineación asistido por equipo óptico. En general, estos maquinas ofrecen mejor velocidad, perfección y flexibilidad comparado contra las maquinas de inserción.

El número de maquinas que se necesitan para ensamblar todos los componentes SMT variará dependiendo del tipo de componentes a ensamblar y de la capacidad de producción que se quiera alcanzar. El tener equipo dedicado dará mejores niveles e producción. La versatilidad y flexibilidad del equipo para colocar diferentes tipos de componentes reducirá la velocidad y efectividad de la maquina.

Algunas compañías utilizan robos dedicados para la colocación de componentes. Generalmente el equipo no es tan costoso comparándolo con el software y hardware especializado que se pudiera requerir la aplicación.

1.3.2 Impresora de soldadura en pasta.

La impresión de la soldadura en pasta debe ser efectuada en la tarjeta de circuito impreso antes de que le sean colocados los componentes de montaje superficial. Este tipo de equipos es utilizado mundialmente por la industria de tarjetas de circuito impreso. El costo de este equipo varia dependiendo del grado de automatización y del tamaño de las tarjetas que van a inspeccionar.

Los sistemas de impresión pueden ser de forma manual, semi-automática y automática. La mayoría de los equipos semi-automáticos y todos los automáticos poseen sistemas de alineación visual.

Actualmente se emplean moldes de impresión conocidos como “stencil”, éstos son de alta precisión y tienen un considerable tiempo de vida. El acero es el material más común para la fabricación del stencil, pero también se emplea el latón, bronce y molibdeno. El grabado en ácido es comúnmente empleado en la fabricación del stencil. Existen otro

métodos que han sido desarrollados para aplicaciones mas precisas por ejemplo, corte con láser, electrodeposición y electropulimiento. La altura del stencil es otro factor muy importante para conseguir buenos resultados en la calidad del soldado. Una explicación mas detallada de este proceso se dará en el Capítulo 2.

1.3.3 Curado y horneado.

En los procesos SMT donde se necesita pegar algunos componentes por el lado inferior de la tarjeta, es necesario dejar curar dicho pegamento antes de pasar a la soldadura de ola. El horno es necesario tanto para el curado del adhesivo como para la soldadura en pasta, de hecho puede usarse el mismo para ambas actividades. La decisión de combinar el mismo horno depende del volumen requerido.

1.3.4 Soldadura por reflujo

La selección del equipo de reflujo es la segunda decisión mas importante, después de las maquinas colocadoras. Existen varios tipos de métodos para el soldado por reflujo, cada uno con sus ventajas y desventajas, pero ninguno puede considerarse perfecto para la aplicación. El costo del equipo, el costo de mantenimiento y su eficiencia son algunos de los factores a considerar. Los equipos comúnmente mas utilizados son los que poseen fases de vapor e infrarrojo. El proceso de vapor es muy versátil y puede ser empleado casi en todas las aplicaciones. El costo de ambos es casi similar, pero el costo de operación puede ser mayor en los de vapor.

Los equipos con fase infrarroja han sido utilizados por la industria de los híbridos, pero a muy altas temperaturas, para depositar películas delgadas o substratos cerámicos.

1.3.5 Limpieza

Después del proceso de soldado, los componentes electrónicos deben ser limpiados para eliminar los residuos del fundente. La selección del solvente y del equipo de limpieza depende del solvente empleado y los requisitos de limpieza.

Al proceso de limpieza se le ha dado mayor importancia debido a los esfuerzos para eliminar los cloro-floruro-carbonatos y otros químicos que dañan la capa de ozono. Los ensamblajes electrónicos actualmente son soldados utilizando varios tipos de fundentes, cuyos residuos pueden requerir limpieza después del proceso del soldado.

La limpieza puede ser requerida para eliminar contaminación iónica o para efectos cosméticos. En la mayoría de las aplicaciones comerciales se emplean fundentes y soldadura en pasta solubles al agua. Aquí se utiliza agua des-ionizada. Algunas compañías han elegido utilizar pastas y fundentes que no requieren limpieza.

No importa cual sea la alternativa, pero existen varias tecnologías de limpieza. Debemos elegir con respecto al producto que estamos fabricando, el costo y el impacto ambiental.

1.3.6 Soldadura de ola

La soldadura tipo ola es el método mas empleado en el mundo de la industria de SMT para soldar los componentes tipo inserción. Una forma de geometría de la ola que ha llegado a ser popular mediante la vibración es la llamada ola omega. Otro tipo de geometría es la ola doble, ambas ayudan en la reducción de defectos en la soldadura. La agitación en las geometrías de vibración o la de doble ola proviene por las trampas de gas fundente que se forman durante el contacto de la ola y fuerza la soldadura dentro de áreas con ángulos difíciles de acceder. La orientación de los componentes juega un papel muy importante también.

Los fundentes tipo ola o espuma son usualmente empleados para aplicar dicha composición a la tarjeta. Los fundentes tipo atomizador están siendo utilizados para controlar mejor la cantidad de fundente, especialmente cuando se emplean fundente tipo no-limpieza. El desarrollo de un apropiado perfil de soldadura es muy importante para obtener buenos resultados.

1.3.7 Reparación e inspección.

Existen principalmente dos tipos de equipo automatizado de inspección en el mercado: láser y rayos x. De cualquier manera, la mayoría de las empresas utilizan inspección visual de 2 a 10X de aumento, donde se emplean microscópios o magnificación por lupa.

El equipo de reparación utiliza puntas conductivas o aire caliente para quitar y reemplazar los componentes. Las herramientas o cautines con puntas conductivas de fierro son muy baratas. Las puntas pueden tener diferentes configuraciones dependiendo del tipo de componente, aunque tienen aplicaciones limitadas. Los equipos de reparación basados en aire caliente son más costosos, estos también utilizan diferentes tipos de boquillas según el tipo de componente. Este tipo de equipo es el más utilizado debido a que ayuda a evitar el daño causado por la reparación. De cualquier manera, cuando pensemos en el tipo ideal de reparación, debemos tener en mente que no necesariamente tendremos que disponer de un equipo automatizado. Si tenemos un número grande de tarjetas a reparar, el equipo automatizado no es la respuesta correcta. Mejor, pensemos que nuestro proceso debe estar mejor controlado para mantener un número pequeño de reparaciones.

1.4 CUANDO UTILIZAR EL MONTAJE SUPERFICIAL

Aún con todos los beneficios que nos brinda SMT, parecería una tontería no emplear esta tecnología en todos nuestros productos. Por muchas razones técnicas pudiera no ser apropiado. Aún cuando así se requiera, SMT exige una infraestructura muy completa. En algunas ocasiones la tecnología de montaje superficial pudiera generar más desperdicio que la técnica convencional de tipo inserción. Aquí algunas razones que debemos considerar:

- El proceso opera a gran velocidad.
- Debe ser automatizado.
- Debemos tener mano de obra especializada en el equipo para poder entender todos los parámetros del mismo.
- Costos considerables de la mano de ingeniería en entrenamiento e investigación.

- La mayoría de los proveedores sólo tratan de vender en lugar de asesorar.

Si con la tecnología convencional puede efectuarse la aplicación deseada, debe pensarse muy bien antes de invertir en la tecnología de montaje superficial. SMT requiere una infraestructura fuerte en inversión, tanto humana como en equipos. No cambiemos solo por tener lo mas avanzado en tecnología.

En ocasiones el mercado se inclina mas por la funcionalidad de los productos que por la tecnología. Es por eso también que debemos hacernos algunas preguntas básicas antes de decidir, por ejemplo, ¿qué tipo de SMT se ajusta a mis necesidades? ¿existen todos los componentes disponibles en montaje superficial?

Muchos componentes no se encuentran disponibles en el formato SMT. Por ejemplo, componentes muy grandes y electromecánicos, como conectores e interruptores.

1.5 TECNICAS DE MONTAJE SUPERFICIAL

Varias características técnicas deben ser resueltas antes de implementar SMT. Existen básicamente dos diferencias entre la tecnología de montaje superficial y la de tipo inserción. Los componentes SMT son mucho mas pequeños y son montados sobre la superficie de la tarjeta. Estas dos simples diferencias provocan cambios en el diseño y en los procesos de fabricación. La Figura 1.9 nos muestra un resumen de las principales características que debemos tomar en cuenta en esta tecnología.

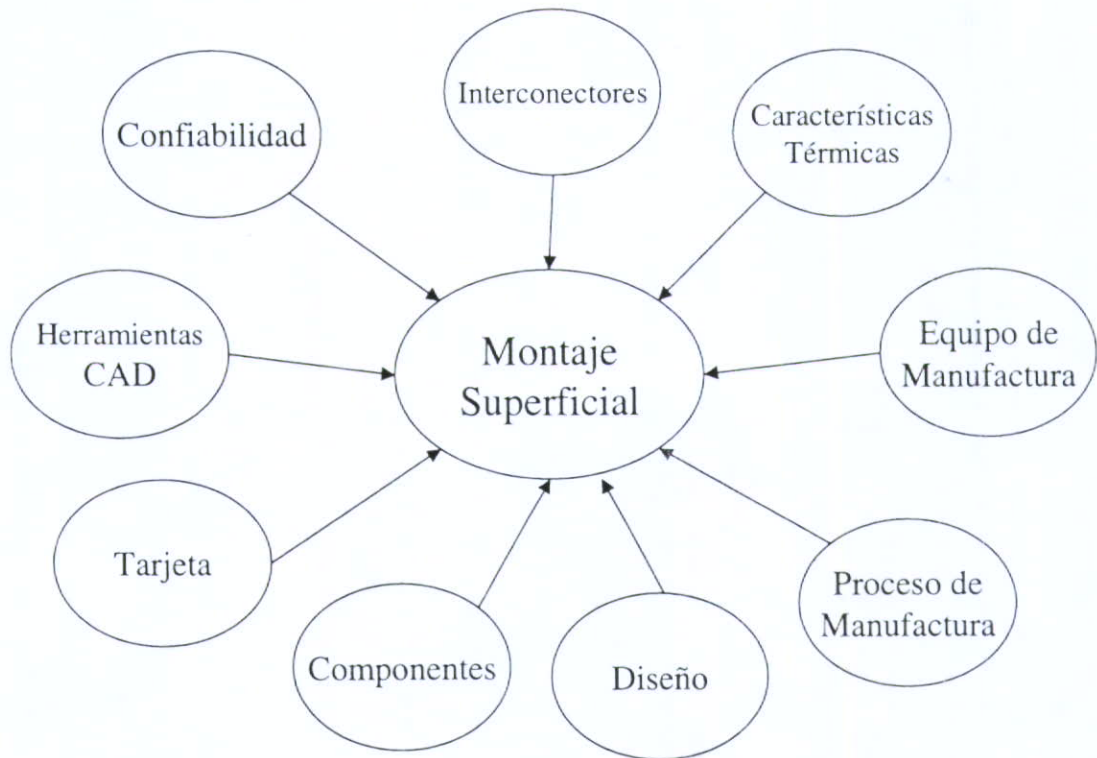


Figura 1.9 Principales características que envuelven a la tecnología de montaje superficial.

Comencemos hablar de los componentes. Los principales aspectos que debemos tomar en cuenta son el precio y la existencia de los mismos en el mercado. En el Capítulo 2 se profundizará en el tema.

Los componentes plásticos de SMT absorben humedad mientras están almacenados. De tal manera, que cuando pasan por el proceso de soldado por reflujo, son sometidos a temperaturas de 200° a 240°C, entonces la humedad se expande y puede llegar a romper el componente. Este fenómeno es conocido comúnmente como el “efecto popcorn”.

No todos los componentes de SMT son susceptibles a la humedad. Esto depende del diseño de los mismo, tamaño, grosor y su contenido de humedad. El hornear los

componentes antes de procesarlos en el horno de soldado puede ayudar a reducir este tipo de problema. Los componentes fabricados a base de cerámica empleados en la industria militar no presentan este problema, debido a que la cerámica no absorbe la humedad.

Regresando a la Figura 1.9 las características térmicas, la confiabilidad de unión de la soldadura, el diseño asistido por computadora (CAD) y los interconectores se ven afectados cuando empleamos SMT. Por ejemplo, en los ensambles convencionales tipo inserción, los orificios están laminados lo cual proporciona una buena conexión mecánica. En SMT necesitamos una buena unión de soldadura para garantizar una buena conexión, debido a la ausencia de orificios laminados. Las herramientas CAD también son una característica importante en SMT. Con CAD deberíamos tener la capacidad de diseño. El sistema que utilizemos debe ser capaz de producir los programas para las máquinas colocadoras de componentes. SMT también genera un impacto en los procesos y equipos de manufactura. Como ya se ha mencionado anteriormente, se requiere de una fuerte inversión económica.

Capítulo 2

LA MANUFACTURA CON MONTAJE SUPERFICIAL

2.1 EL ADHESIVO Y SUS APLICACIONES

Un adhesivo en SMT es empleado para sostener los componentes por el lado inferior de la tarjeta durante el soldado de la ola. Esto es necesario para evitar que los componentes se muevan en este proceso.

Los tipos de componentes donde comúnmente se emplea el adhesivo en los ensambles Tipo III y Tipo II son los capacitores y resistencias rectangulares, los transistores cilíndricos conocidos como MELFs, transistores pequeños fuera de línea llamados también SOTs, y los SOICs. Rara vez se emplea adhesivo en componentes PLCCs y PQFPs. La soldadura de ola en dispositivos con terminales en sus cuatro lados no es recomendable por razones de confiabilidad y corto circuitos. El problema de los corto circuitos puede solucionarse con pasar la tarjeta a 45° con respecto a la ola.

Otras aplicaciones poco comunes del adhesivo, es aplicar éste para sostener componentes tanto pasivos como activos colocados después de la impresión de soldadura en pasta para garantizar que éstos no se muevan durante el proceso de soldado por reflujo.

2.1.1 El adhesivo ideal

Existen básicamente dos tipos de adhesivos, los conductivos y los no conductivos. Los mas empleados son los no conductivos. Los adhesivos conductivos se utilizan para remplazar soldadura generalmente.

2.1.1.1 Propiedades del pre-curado

El adhesivo debe ser lo suficientemente fuerte para poder mantener los componentes en la tarjeta en su posición y orientación correcta. Esta propiedad es similar a la que se

requiere en la soldadura en pasta, la cual debe tener los componentes en su lugar, justo antes del reflujo. No es necesario que se almacene en un área con temperatura controlada una vez que se coloque el adhesivo y los componentes. Debemos agregar el suficiente volumen de adhesivo para llenar el área donde caerá la terminal a soldar. Este debe ser no tóxico, no debe tener olor, no flamable y debe ser seguro para el medio ambiente.

La mayoría de los adhesivos se almacenan en refrigeradores para incrementar su tiempo de vida. Por último, el adhesivo debe ser compatible con el método de stencil que estemos aplicando. Debemos verificar sus propiedades de viscosidad. Una vez que hemos sacado el adhesivo del refrigerador, debemos dejarlo reposar a temperatura ambiente para que se aclimate a la misma.

2.1.1.2 Propiedades del curado

Las propiedades de curado están relacionadas con el tiempo y la temperatura que se necesitan para adquirir la fuerza de adhesividad. Los adhesivos de montaje superficial requieren poco tiempo de curado a bajas temperaturas. Si la fuerza de adherencia es demasiada, el retrabajo será muy difícil de efectuar. En cambio, si la fuerza de adherencia es poca, perderemos componentes, ya que éstos se caeran de la tarjeta.

El adhesivo debe ser curado a bajas temperaturas para prevenir daños al sustrato y componentes. En otras palabras, es preferible que sea curado por debajo de la temperatura de transición del vidrio o del sustrato. De cualquier manera, un tiempo corto de curado arriba de la temperatura de transición del vidrio es aceptable.

2.1.1.3 Propiedades del pos-curado

Aunque el adhesivo pierde sus funciones después de la soldadura de ola, éste algunas veces no llega a degradarse. Este punto debe ejecutarse de manera adecuada, ya que algunas veces deberemos retrabajar las unidades, por lo tanto, necesitaremos quitar los componentes con adhesivo. La mayoría de los adhesivos alcanzan su temperatura de fundición cuando son calentados para quitarlos de la tarjeta. Dicho rango de temperatura se sitúa de 75° a 95° C.

La temperatura debajo de los componentes llega a exceder los 100° C durante el retrabajo. Entonces como la temperatura de fundición del adhesivo está por debajo de los 100° C, y si la cantidad no es excesiva, el retrabajo no debería causar problema alguno.

2.1.2 Clasificación general de los adhesivos

Los adhesivos pueden ser clasificados por sus propiedades eléctricas (aislantes o conductivos), propiedades químicas (acrílico o epoxy), propiedades de curado (térmicos o ultra violetas), o por sus características físicas después del curado (termoplásticos). Todas éstas características se interrelacionan.

Basándose en la conductividad, los adhesivos pueden ser clasificados en aislantes y conductivos. Pueden tener alta resistencia aislante. Algunas veces los adhesivos conductivos son empleados para propósitos de interconexión. Existen adhesivos que contienen combinaciones de plata para una mejor capacidad conductiva. Pero de cualquier manera, los adhesivos aislantes son los de mayor uso en las compañías de este ramo.

También pueden ser clasificados como termoplásticos y, elásticos. Los tipo elásticos, como su nombre lo indica, están fabricados con materiales muy elásticos. Éstos adhesivos pueden ser manufacturados bajo fórmulas basadas en solventes polímeros naturales o sintéticos.

Los adhesivos termoplásticos no se endurecen por la combinación con polímeros. En lugar de eso, éstos se endurecen por la evaporación de solventes o por el enfriamiento por temperatura.

2.1.3 Adhesivos para el montaje superficial

Tanto los adhesivos conductivos como los no conductivos son empleados en SMT. Pero aquí analizaremos sólo los no conductivos, por ser los más empleados. Los de mayor uso son los de epoxy y acrílico.

2.1.3.1 Adhesivos de epoxy

Generalmente se encuentran dos tipos de adhesivos con epoxy. El Tipo I y el Tipo II. Éstos últimos se curan en cuartos con temperatura controlada, pero necesitan de una mezcla cuidadosa entre sus proporciones. Esto los hace menos preferidos en la industria. Los del Tipo I se curan a elevadas temperaturas, donde el tiempo de curado depende de dicha temperatura. Los adhesivos de epoxy son curados en forma general a través de temperaturas, y son empleados en diferentes métodos de aplicación.

Para la mayoría de los adhesivos Tipo I, su tiempo de vida es 2 meses aproximadamente, manteniéndolos a una temperatura de 25 °C. Ese tiempo puede prolongarse a más de 3 meses si lo guardamos a 0 °C. Los adhesivos de epoxy, como la mayoría de los adhesivos empleados en SMT, deben ser manejados con mucho cuidado ya que pueden causar irritación en la piel. Una buena ventilación es muy importante.

2.1.3.2 Adhesivos de acrílico.

Como los epoxy, los adhesivos de acrílico utilizan la temperatura para el curado, también se encuentran como Tipo I y Tipo II, pero ambos tienen la misma combinación química para un rápido curado. Éstos adhesivos se endurecen a través de una reacción de polimerización como en los epoxy, pero el mecanismo de curado es diferente. Aquí se emplea luz ultra violeta (UV) o calor. La UV causa la descomposición de los peróxidos en el adhesivo y genera una especie de un radical o electrón extraño. Este radical causa una reacción en cadena para curar el adhesivo formando un polímero de mayor peso molecular (el adhesivo curado).

El curado generalmente se lleva a cabo a través de la luz UV y de calor para asegurar el curado y para reducir el tiempo del mismo. Este tipo de adhesivos han sido empleados mundialmente en los procesos SMT por su rápida aplicación y porque el curado se ejecuta en el proceso mismo de manufactura, entre la colocación de componentes y la soldadura de ola. Como los epoxy, los acrílicos pueden emplearse en varios métodos.

Los acrílicos difieren de los epoxy en varias cosas. La mayoría de los adhesivos acrílicos son anaeróbicos (por ejemplo, pueden ser curados con la ausencia de aire). Para prevenir el curado natural, no debemos almacenarlos en contenedores a base de aire. Los adhesivos de acrílico no son tóxicos, pero irritan la piel. La ventilación y protección para la piel es requisito para su manejo, aunque equipos automatizados evitan el contacto físico con éste. Pueden ser almacenados por más de 6 meses mientras se refrigeren a 5 °C y por dos meses a 30 °C.

2.1.3.3 Otros adhesivos

Existen otros tipos de adhesivos no conductivos como los cianoacrílicos y los uretanos. Éstos últimos son muy sensibles y requieren ser almacenados en lugares secos para prevenir una polimerización prematura. No son resistentes al agua o a algún solvente después de la polimerización. Estos materiales raramente son empleados en SMT.

Los cianoacrílicos tienen un efecto de unión más rápido, generalmente son conocidos por sus nombres comerciales (Pegamento Instantáneo, Súper Pegamento, etc.). su curado es a través de absorción sin aplicación de calor. El tiempo de curado es demasiado rápido para SMT, por lo cual su empleo se complica. Además, son termoplásticos y no pueden resistir el calor de la soldadora de ola.

2.1.4 Métodos de aplicación

Los métodos más comunes para la aplicación del adhesivo en SMT son por inyección, presión y por terminales. La selección del método depende de una serie de consideraciones como por ejemplo, el tipo de adhesivo, volumen y velocidad de la aplicación. Sin importar cual método se empleará, debemos seguir una serie de indicaciones, enseguida se listan las mismas.

1. Los adhesivos que serán utilizados, deberán ser retirados del refrigerador y llevarlos a los cuartos con temperatura controlada antes de que sean abiertos de sus paquetes.

2. El adhesivo no debe extenderse hacia las pistas del circuito.
3. Deberá aplicarse la cantidad suficiente de adhesivo para asegurar que cuando el componente sea depositado en la tarjeta, el espacio entre el sustrato y el componente esté lleno con adhesivo. Para componentes largos, más de un punto de adhesivo será necesario.
4. Es muy importante que la cantidad adecuada de adhesivo sea colocada. Como ya se mencionó anteriormente, muy poca cantidad causará que se caigan los componentes en la soldadora de ola y cuando aplicamos una cantidad en exceso causará problemas de presión sobre el componente, y por consiguiente tendremos una mala unión.

2.1.4.1 Impresión por Stencil

El uso del stencil para impresión del adhesivo, es el método más empleado. El stencil puede depositar diferentes alturas de adhesivo. Este método emplea una especie de palas para empujar el adhesivo a través de los hoyos del stencil o molde. Este proceso es muy rápido. Éste permite depositar el adhesivo en todas las localidades en una sola pasada. La profundidad y tamaño de los puntos de adhesivo, están determinados por la altura del stencil.

La limpieza del stencil después de la impresión es una tarea difícil. También se debe tener cuidado para evitar dejar residuos de adhesivo junto a las pistas de la tarjeta y con ello no afectar la soldabilidad del componente.

2.1.4.2 Por terminales

Este método como el de stencil es muy rápido ya que aplica adhesivo en masa. El control de la viscosidad es muy crítico en este proceso para prevenir residuos. Este método puede ser controlado por hardware o software.

En los sistemas controlados por hardware se emplea una rejilla con terminales, la cual es instalada sobre un plato donde se tienen las localidades donde el adhesivo será depositado sobre la tarjeta. Dicha rejilla va hasta donde se encuentra el contenedor de adhesivo para

tomar a éste. Entonces la rejilla baja para depositar el adhesivo en el sustrato. Cuando la rejilla es levantada de nuevo, una cantidad de adhesivo se pega al sustrato. La gravedad asegura que una cantidad uniforme de adhesivo sea transportada por las terminales. Los sistemas controlados por hardware son mucho más rápidos que los controlados por software, pero no son flexibles. Por ejemplo para controlar el tamaño de los puntos de adhesivo es necesario cambiar las boquillas de las terminales, pero esto no es tan fácil.

Los sistemas controlados por software ofrecen mayor flexibilidad a una velocidad menor, pero tienen sus variantes. Por ejemplo, algunos equipos japoneses toman la parte y aplican el adhesivo al componente, no al sustrato. Este método aplica el adhesivo a un componente a la vez.

También se puede realizar la aplicación del adhesivo por terminales manualmente. De hecho brinda una gran flexibilidad. Por ejemplo, el punto del adhesivo puede ser depositado en el cuerpo de un componente largo en lugar del sustrato, si esto es necesario para asegurar una adecuada seguridad.

2.1.4.3 Por inyección

Este es el método más empleado en la aplicación del adhesivo, aunque no es tan rápido como los otros, es mucho más flexible. El adhesivo se deposita en una jeringa por donde se inyecta a través de dispositivos neumáticos, hidráulicos o eléctricos. En todos los casos, es necesario controlar la velocidad del flujo del adhesivo para asegurar una uniformidad.

Los dispositivos que se emplean para depositar dos o tres puntos de adhesivo son generalmente una parte integral de las colocadoras de componentes en SMT.

2.2 SOLDADURA EN PASTA Y SUS APLICACIONES

En la soldadura por reflujo de componentes de montaje superficial, la soldadura en pasta es empleada para la conexión entre las terminales del componentes SMT y las terminales de la tarjeta de circuito impreso. La soldadura en pasta es aplicada a las terminales de la tarjeta mediante varios métodos, dónde cada uno tiene sus pros y contras.

Aunque las imperfecciones se encuentran después de la soldadura, comúnmente se les llama “defectos de soldadura”. Pero se debe aclarar que la calidad del producto está determinada por varios factores. Por ejemplo, la impresión de pasta juega un papel importante en la calidad final.

2.2.1 Propiedades de la soldadura en pasta

La soldadura en pasta está compuesta esencialmente por partículas de metal pulverizado en una delgada capa de fundente como la muestra la Figura 2.1. El proceso que generalmente se utiliza para estabilizar el metal pulverizado y la composición de la pasta se consigue enfriando ésta sobre una rueda rotatoria para formar finas partículas de soldadura. El proceso toma lugar en un ambiente inerte para minimizar la oxidación de las partículas.

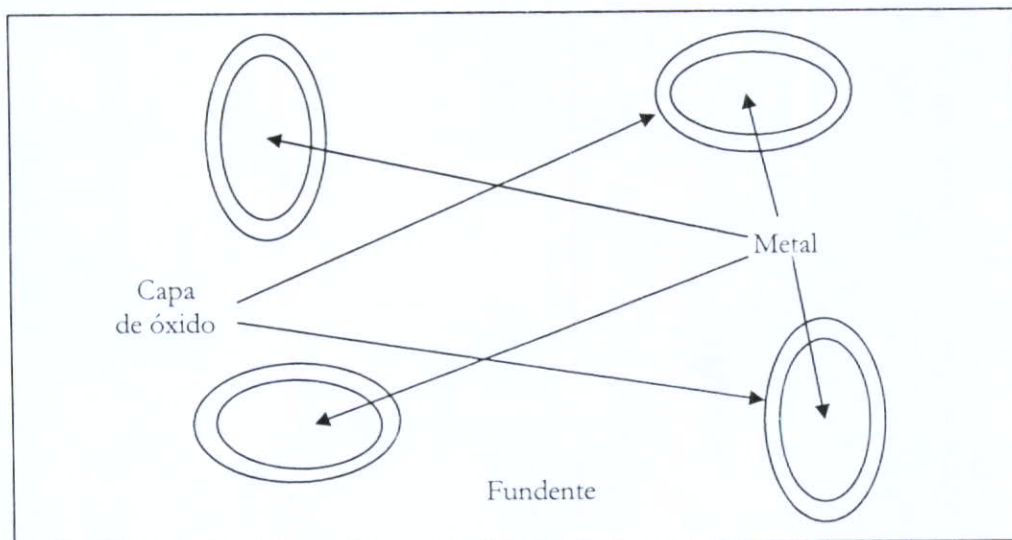


Figura 2.1 Componentes de la soldadura en pasta.

Aunque las barras de soldadura utilizadas en la soldadora de ola y la soldadura en pasta empleada en montaje superficial tienen básicamente los mismos componentes químicos, ésta última tiene un costo casi de 20 veces mayor. La razón es de que la soldadura en pasta debe tener un nivel de calidad más estricto que la barra de soldadura.

La soldadura en pasta es primordial en los ensamblajes Tipo I y Tipo II, ya que debido a que contiene el fundente necesario para llevar a cabo el soldado de los componentes, no es necesario agregar fundente por separado. El fundente actúa además, como un adhesivo temporal para sostener los componentes de montaje superficial en las máquinas colocadoras mientras la tarjeta llega al reflujo. La selección de la soldadura en pasta es muy importante para mantener un nivel de calidad óptimo.

Existen varias maneras de evaluar una soldadura en pasta. Debemos analizar los datos del fabricante, además se tiene el estándar J-STD-005 (Joint Industry Standard) [1], el cual nos proporciona las reglas de unión de componentes.

También debemos realizar varias pruebas antes de certificar al proveedor, dichas pruebas consisten en evaluar la viscosidad y las bolas de soldadura para evitar retrabajos, limpieza excesiva o por último desechar por mala calidad o funcionamiento.

2.2.1.1 Composición metálica

Los factores críticos que se deben tomar en cuenta para determinar la composición de la soldadura son los siguientes:

1. Los materiales del sustrato y de los componentes SMT. Normalmente se emplean altas temperaturas para soldar componentes cerámicos (mayor a 225 °C) a sustratos cerámicos. Por ejemplo se pueden emplear soldaduras con una combinación de 63% de estaño y con 37% de plomo para terminales delgadas. También existen combinaciones con plata, para una mejor calidad en productos críticos, por ejemplo 62% de estaño, 36% de plomo y 2% de plata.

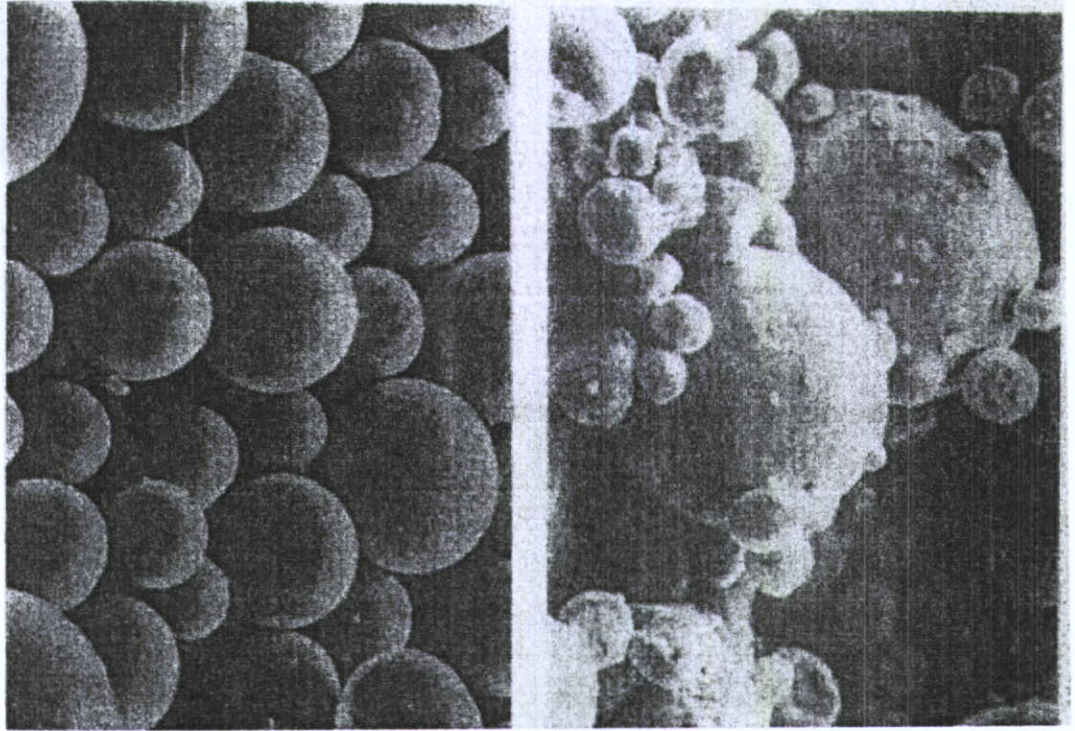
2. La compatibilidad de la soldadura con la composición metálica del sustrato y los componentes de las terminales del PCB.
3. La fuerza de la soldadura. Si existe una alta tensión a altas temperaturas, una soldadura con aleación de estaño y antimonio es recomendada.
4. El costo. La plata es generalmente agregada a las terminales de estaño para disminuir la disolución de la plata de los componentes (por ejemplo, los capacitores). Una terminal de estaño que contiene 2% de plata es más recomendada con respecto a una que tenga 4% de plata debido en primer término, por el costo y en segundo porque tiene un efecto más positivo en disminuir la disolución de la plata en las terminales.
5. El medio ambiente. Existen varios componentes de la soldadura, pero el estaño y plomo son los más empleados mundialmente en la industria electrónica.

2.2.1.2 Perfil y tamaño de las partículas

La forma de las partículas pulverizadas determina el contenido de óxido de la impresión de la pasta. La forma esférica es preferida con respecto a la forma elíptica. La irregularidad de la forma del pulverizado y en ocasiones de área grande, provoca que se tenga un alto contenido de óxido de metal en las esferas. La razón es porque el tamaño de la partícula llega a ser más pequeño mientras el radio de la superficie se incrementa.

La Figura 2.2 muestra partículas de soldadura aceptables y no aceptables en una soldadura en pasta. Se puede observar que la pasta no contiene partículas completamente esféricas. Puede haber variaciones en los tamaños y formas de las mismas.

Los problemas de impresión se presentan cuando la soldadura en pasta contiene partículas pulverizadas de diámetro grande, éstas obstruyen la impresión. Por el contrario, cuando cuando las partículas son muy pequeñas es muy factible que se formen bolas de soldadura durante el reflujo.



(a)

(b)

Figura 2.2 (a) Partículas esféricas aceptadas. (b) Partículas no aceptadas.

2.2.1.3 Acción del activador fundente

El fundente es uno de los principales acompañantes de la soldadura en pasta. El activador del fundente provoca la apariencia de mojado después del horneado de la soldadura, en las terminales de los componentes; esto se consigue eliminando los óxidos y otros contaminantes. En el montaje superficial debido a la baja indiferencia entre el componente y el sustrato, el fundente puede ser un colector contribuyendo con los problemas de confiabilidad. El activador es empleado en los rangos de la soldadura en pasta desde la resina hasta los compuestos por ácidos orgánicos.

En estándar industrial J-STD-004 en su apartado de Requerimientos de Fundentes de Soldadura [2], clasifica a éstos en tres categorías basados en su actividad fundente. Desde que el fundente en la soldadura en pasta determina su actividad, la soldadura se clasifica también

con respecto al fundente que este aplicando. La soldadura en pasta se encuentra disponible generalmente en tres categorías, éstas son: pastas basadas en resina, pastas solubles en agua y las pastas tipo no-limpieza.

2.2.1.4 Viscosidad

La viscosidad está definida en la ley de Newton como el coeficiente del esfuerzo contra su contribución.

La viscosidad también puede ser definida como la fricción interna de un fluido, causada por la atracción molecular, la cual provoca que exista una tendencia a la resistencia para el flujo. Esta se expresa en dina segundos por centímetro cuadrado. En otra expresión más sencilla, la viscosidad es el grado de grosor de un fluido.

La viscosidad es un aspecto muy importante en el proceso de impresión de pasta. Ésta es una forma de medir la consistencia de la soldadura. El valor de la viscosidad depende del equipo y la temperatura sobre la cual se medirá. La viscosidad de la soldadura cambia cuando ésta se someta a una tensión. Cuando la pasta es sometida a una velocidad constante, su viscosidad disminuirá con el tiempo. La pasta es delgada cuando se le aplica tensión o movimiento (por ejemplo, cuando se aplica con las palas barredoras o squeegees) y es mas gruesa cuando está estática.

Una vez que la pasta ha sido depositada en la tarjeta, la tensión de las palas barredoras se elimina y la pasta se vuelve más viscosa. En resumen, la fuerza de depositado, el tamaño de las partículas y la temperatura ambiente tienen un efecto en la viscosidad de la soldadura en pasta.

La Figura 2.3 muestra el efecto que tienen los elementos mencionados arriba ante a viscosidad. Ésta también se decrementa con partículas grandes, las partículas finas incrementan la viscosidad.

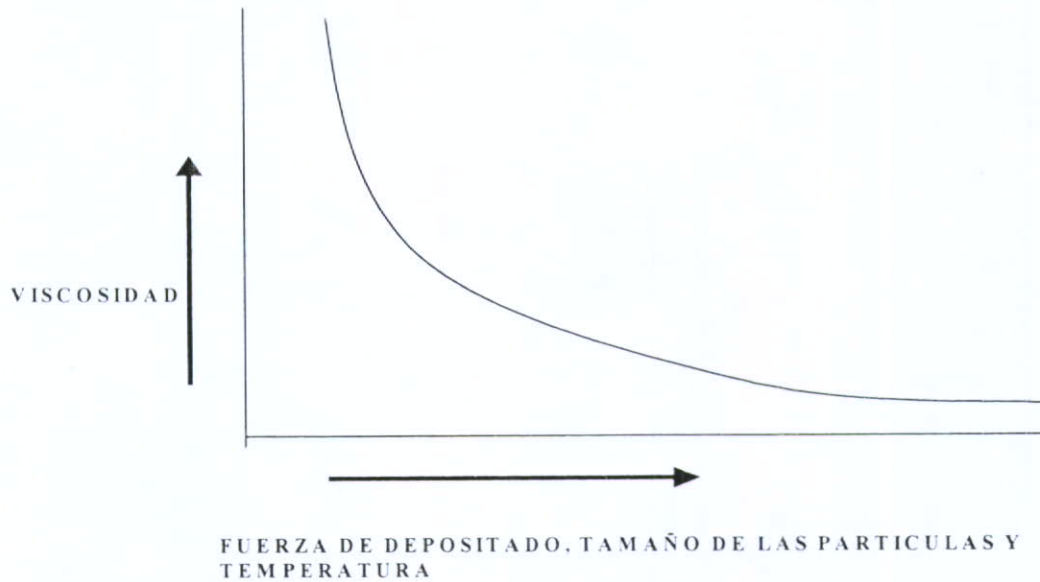


Figura 2.3 Impacto de la fuerza de depositado, tamaño de las partículas y temperatura sobre la viscosidad de la soldadura en pasta .

Existen básicamente dos herramientas para medir la viscosidad de una pasta. Una de ellas es el viscosímetro Brookfield, el cual se aprecia en la Figura 2.4. La viscosidad deberá ser medida a una temperatura de generalmente 25 °C.

La otra herramienta es el viscosímetro Malcom, mostrado en la Figura 2.5, éste utiliza una técnica basada en una bomba de espiral .

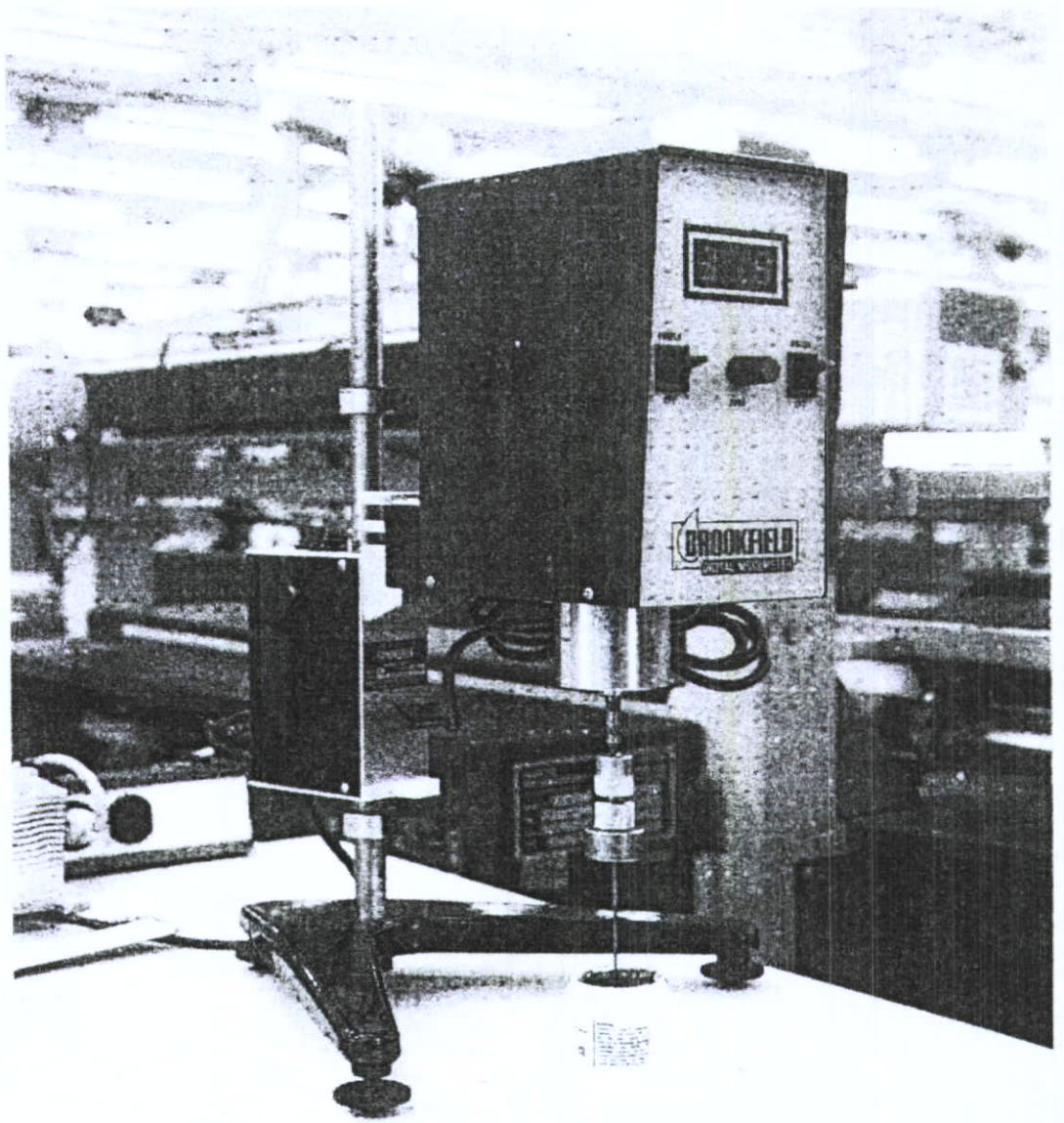


Figura 2.4 Viscómetro Brookfield.

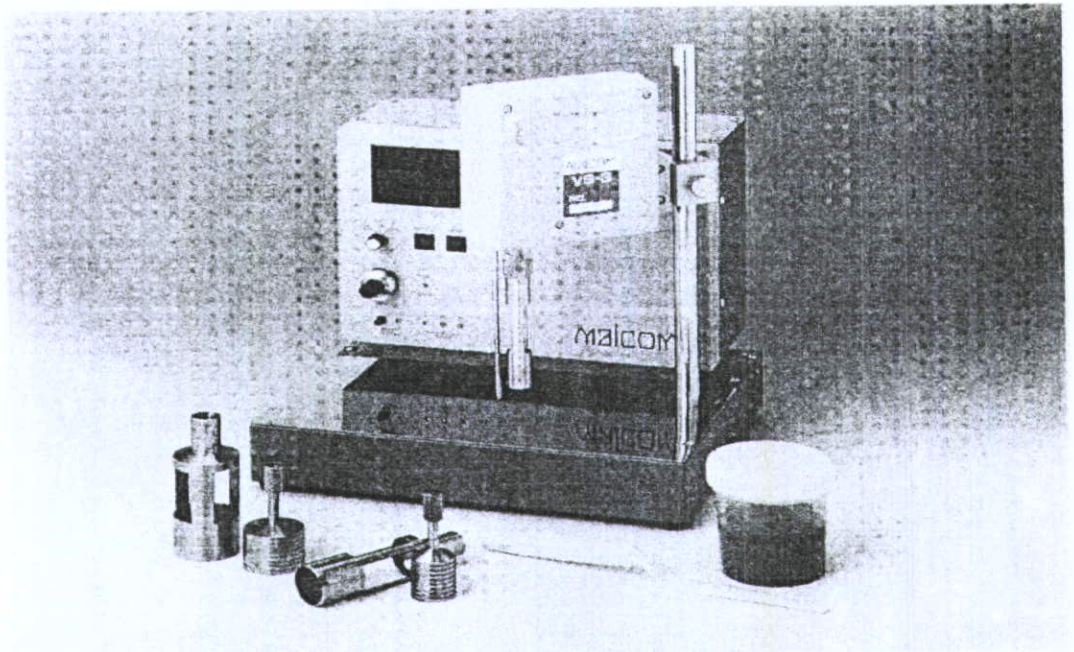


Figura 2.5 Viscómetro Malcom.

2.2.1.5 Asentamiento

Asentamiento es la habilidad de la pasta de estacionarse una vez que fue depositada en la tarjeta. Para conseguir buenos resultados en el soldado, el derrame de la pasta debe ser mínimo. Dicho derrame también depende del porcentaje de metal que contenga la soldadura. El exceso de derrame de soldadura puede provocar cortos circuitos. Es por ello la gran importancia de un buen asentamiento de la pasta.

2.2.1.6 Tiempo de vida

El tiempo de vida de una soldadura en pasta está definido como: el tiempo máximo que debe pasar entre una vez que se abrió el tarro de la soldadura hasta llegar al horno de reflujo sin degradar sus propiedades. Esta información es de gran ayuda, ya que define el tiempo máximo que se tiene para colocar los componentes de montaje superficial.

2.2.1.7 Bolas de soldadura

Las bolas de soldadura son pequeñas partículas esféricas de soldadura, generalmente con un diámetro entre 2 y 5 milésimas de metro, las cuáles se encuentran en las zonas no metálicas de la tarjeta. Estas bolas causan un problema potencial de confiabilidad del producto ya que provocan cortos circuitos. Existen generalmente dos causas del porqué se forman las bolas de soldadura.

- Son causadas por partículas pulverizadas muy pequeñas en la soldadura. Ellas son alejadas del depósito de la soldadura por el fundente y se refluyen antes de que la soldadura se vuelva a su estado sólido después del calor. Esto ocurre generalmente cuando la pasta es depositada fuera de su área, lo cual puede ocurrir por mal diseño o una mala aplicación de la impresión. Es entonces cuando esas partículas pulverizadas pierden contacto con el depósito de soldadura y cuando ésta se funde, cada partícula forma una pequeña bola de soldadura.
- Las bolas de soldadura también son formadas cuando la capa de óxido sobre la superficie de las partículas pulverizadas de soldadura es demasiado delgada que la resina del fundente y el activador de la pasta no son eliminados. Una vez que el óxido no puede fundirse a las temperaturas del soldado, éste es movido a un lado de la bola de soldadura por la liberación de óxido circundante del fundido de la soldadura. Las bolas de soldadura que se forman por esta causa generalmente son más grandes que las que provoca la causa primera, esto es debido a la presencia del óxido el cual es menos denso que el metal.

2.2.2 Proceso de impresión de pasta

En ésta sección se mencionarán los métodos de impresión de pasta más comunes: stencil y screen. Debido a que las tarjetas son únicas, el stencil y el screen también lo son, por lo tanto no pueden ser empleados para otros productos. El empleo de cada uno de ellos puede variar de acuerdo a las aplicaciones y a los costos.

2.2.2.1 Configuración de la impresora de pasta

La configuración de impresoras de pasta puede ser manual o semi-automática. La forma manual se puede observar en la Figura 2.6. La soldadura es manualmente colocada sobre el *stencil* con las palas barredoras a un extremo del *stencil*. (en impresoras automáticas la pasta se dispersa automáticamente.) Durante el proceso de impresión, la palas barredoras presionan hacia abajo en el stencil al grado que el fondo del stencil toca la superficie superior de la tarjeta. La pasta de soldadura esta impresa sobre las terminales por las aperturas en el estencil.

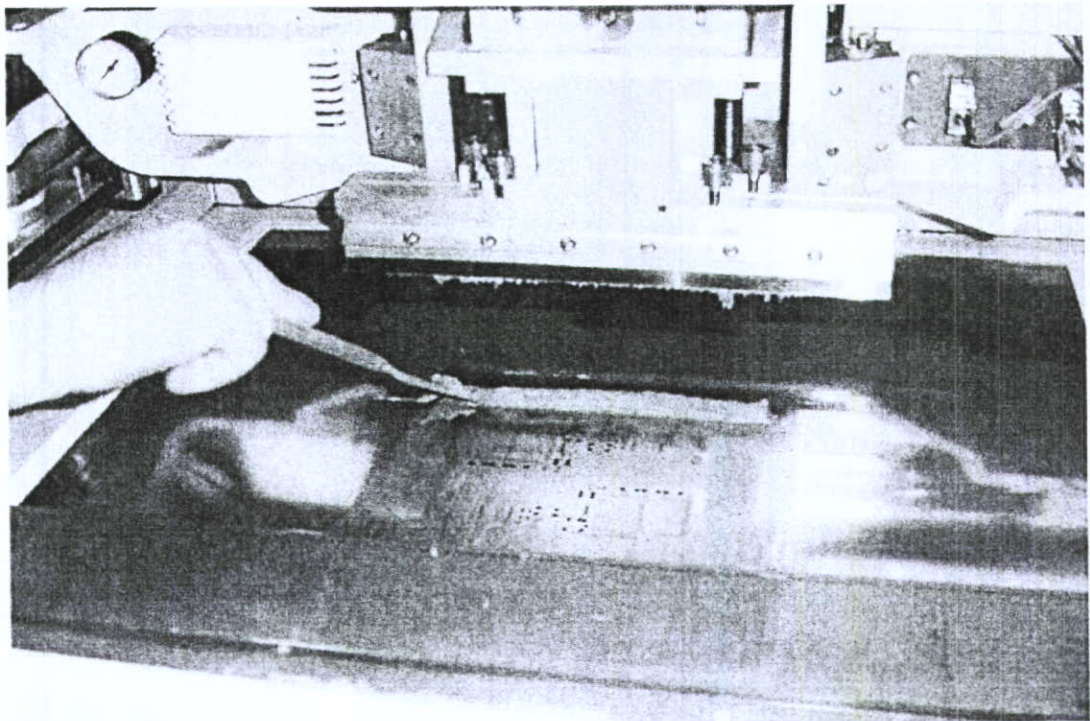


Figura 2.6 Aplicación de la soldadura en pasta antes de la impresión.

Después de que la pasta ha sido depositada, las palas barredoras regresan a su posición original. La presión de éstas y la distancia desde dónde se sueltan, son dos variables importantes de los equipos que contribuyen a una buena calidad de impresión, si no se suelta, la operación se llama impresión en contacto. Si se suelta, el proceso se llama impresión sin contacto. El proceso de secuencia para la aplicación de la soldadura en pasta es la siguiente:

- Preparar la soldadura en pasta.
- Organizar y registrar el stencil.
- Imprimir la soldadura en pasta.
- Limpiar el stencil después de la impresión.

Para obtener una buena aplicación e impresión de la soldadura, cuide el seguir las siguientes instrucciones:

- No importa cual método de aplicación es utilizado, asegúrese que la pasta haya sido almacenada propiamente. Un contenedor sellado, sin haber sido abierto, generalmente puede durar hasta seis meses a una temperatura de 4 a 29°C (40-84°F). Es mejor usar la pasta lo más fresca posible. Si está abierto, almacénala en un ambiente refrigerado.
- Usa pasta fresca todos los días. Para lograr esto, utiliza pequeños frascos que contengan la cantidad suficiente para una aplicación o contenedores grandes con la cantidad suficiente para un día. Esto ayuda a mejorar el rendimiento de la pasta. Este paso sencillo puede ahorrar miles de dólares cada mes en un ambiente típico manufacturero de volumen mediano.
- Permite que un contenedor refrigerado llegue a temperatura ambiente antes de su uso. Es recomendable sacar el contenedor del refrigerador una noche anterior para el uso del día siguiente para evitar esperar.
- Revisa las características de la pasta respecto a las bolas de soldadura y viscosidad.

- La limpieza de los *stencils* es por lo general una operación manual hecha en conjunto con solventes de limpieza. Existen solventes de limpieza que están comercialmente disponibles para hacer el trabajo más ameno para el operador.
- Descarte (recicle) cualquier pasta utilizada. Algunas compañías verifican la viscosidad de la pasta utilizada agregando diluyente. Esto no es recomendado. Sin embargo, si uno cree que la pasta esta en buenas condiciones, asegúrese que pasa aunque sea el examen de la bola de soldadura antes de utilizarlo en la producción.

2.2.2.2. Impresión Screen

El principio básico al aplicar la pasta es esencialmente el mismo usando el screen o el *stencils*. En el método de screen se utiliza una malla de alambres tejidos, la cual está unida a un marco con goma de emulsión fotosensible. La malla de alambres soporta la emulsión, la cual es depositada donde la pasta de soldadura sea necesitada. El screen es unido a un marco de aluminio, que imparte rigidez y tensión.

El screen contiene una malla abierta de alambres alrededor, de la cual debe de fluir la soldadura en pasta al substrato en la superficie de la tarjeta. La malla usualmente esta hecha de monofilamentos de poliéster o de acero inoxidable. El poliéster es más elástico que el acero inoxidable y más duradero. El diámetro del alambre y el tamaño de la apertura determina el numero de la malla, esto es, el número de los agujeros por pulgada cuadrada. El diámetro de alambre y el grosor de la emulsión básicamente determina el grosor de la soldadura en pasta que puede ser depositada.

La impresión screen ha sido ampliamente utilizada en la industria híbrida para la impresión de soldadura en pasta y para la impresión en la industria de circuitos impresos para los procesos de máscaras filmicas. Esta metodología de impresión también es utilizada para la impresión de delgadas capas de polímero, como lo son las tintas de carbón para teclados que son ampliamente utilizadas en la industria de las telecomunicaciones. Ha sido adoptada para el montaje superficial por su cantidad de ventajas, pero principalmente por el bajo costo. Su

mayor desventaja es la dificultad de alineación con respecto a las terminales en la tarjeta de circuito impreso. También se requiere mucho consumo de tiempo en el proceso debido a que las terminales en la tarjeta no pueden leerse a través de la malla.

Este método está restringido a la impresión sin contacto porque es necesaria cierta distancia para depositar la suficiente pasta. Cuando utilice *screen*, es conveniente seguir las siguientes recomendaciones:

- Usualmente la impresión *screen* requiere una velocidad más baja comparada con la aplicada en la impresión por estencil. También, las pastas con baja viscosidad deben de ser usadas para una impresión con más facilidad.
- Una tira calibradora u otros medios adecuados pueden ser utilizados para ajustar los paros en el eje Z para que el *screen* y el receptáculo de trabajo sean paralelos dentro de 0.002 pulgadas.

2.2.2.3 Impresión con Stencil

El *screen* y el *stencil* son funcionalmente lo mismo, pero tienen algunas diferencias. En la aplicación de *stencils*, en vez de utilizar malla, la apertura deseada es químicamente grabada, ya sea por hojas metálicas o en mallas de alambre cubiertas con emulsión, para que las aperturas del *stencil* no obstruyan el flujo de la pasta de soldadura. En vez del grabado químico, los *stencils* también son cortados con láser o a través de procesos aditivos.

Dependiendo del material con el que estén fabricados, los *stencil* pueden clasificarse en tres categorías:

- Los grabados a través de emulsión.
- Los metálicos (bronce, acero inoxidable, aleación de cobre con berilio o níquel).
- Los flexibles (combinación de las dos categorías anteriores).

Cada tipo de stencil tiene sus ventajas y desventajas. Los de tipo emulsión están hechos de la misma manera como el screen,. La principal desventaja de este tipo de stencil es su costo elevado. Su aplicación está muy limitada hoy en día.

Los stencils metálicos varían según el metal de elaboración. No están sujetos a una tensión constante por lo que pueden emplearse en aplicaciones de contacto o no contacto.

Los stencils flexibles combinan las ventajas de los metálicos y la flexibilidad de los tipo screen. La porción metálica de la máscara está sostenida en tensión por el borde de la malla flexible para permitir la impresión sin contacto. Este stencil es el más ampliamente utilizado.

Las siguientes recomendaciones deben seguirse cuando utilice stencils flexibles. Primero, la malla de poliéster es preferida en contraste con la malla de acero inoxidable como borde para el montaje porque permite que una mejor tensión. Sin embargo, el poliéster no limpia tan bien como un borde de malla inoxidable. Segundo, el área del borde debe ser aproximadamente 3 pulgadas alrededor. Si dicha área es pequeña, forzará que las fibras del poliéster se estrechen más allá que el punto de elasticidad, y serán dañados durante la impresión. Finalmente, las palas barredoras deben quedarse en la máscara metálica; no debe permitir imprimir a través del borde de poliéster.

2.2.3 Defectos en la impresión

Los defectos de la soldadura pueden ser clasificados en varias categorías llamadas: embarrado, saltos, filos desiguales y desalineados. El embarrado ocurre cuando la soldadura en pasta es impresa en áreas sobre las cuales no es requerida (por ejemplo, entre las pistas de la tarjeta). El embarrado es inaceptable debido a que provoca cortos y bolas de soldadura.

Los saltos ocurren cuando hay una impresión insuficiente sobre la tarjeta. Este defecto es inaceptable, ya que causa uniones con soldadura insuficiente, por lo tanto, puede no haber una buena conexión. Una causa de éste defecto puede ser que exista demasiada presión en las palas barredoras ó que éstas sean muy blandas.

El defecto de filos desiguales provoca uniones de soldadura no uniformes. Una impresión desalineada ocurre cuando las terminales de la tarjeta y las aberturas del stencil o screen no están alineadas adecuadamente. Otro defecto común es el desplome de la soldadura, que ocurre cuando ésta pierde su forma o figura.

La incidencia de los defectos de impresión puede ser minimizada a través de una limpieza regular del stencil, obviamente se debe monitorear la calidad de la pasta así como las variables del equipo.

2.2.4 Variables en la impresión

Al inicio de un proceso típico de montaje superficial, varios parámetros de los equipos de impresión de soldadura en pasta deben ser ajustados para garantizar una buena calidad de impresión. La Tabla 2.1 nos muestra algunas variables.

Algunos de esos parámetros cambian con el curso de la producción. Para obtener esa calidad debemos mantener a los parámetros críticos dentro del rango permitido.

Tabla 2.1 Variables a controlar en los equipos de impresión de pasta.

Estructura	<ul style="list-style-type: none"> • Precisión de las partes mecánicas. Que se ajusten al movimiento. • Rigidez, inflexible.
Pala barredora	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad. • Aceleración. • Desaceleración. • Presión. • Paro al bajar. • Paralelismo con el sustrato.

2.2.4.1 Viscosidad de la soldadura

La viscosidad de la soldadura es muy crítica para obtener una impresión aceptable. Ocurrirá un embarrado si ésta es demasiado baja, y habrá saltos si es demasiado alta.

Dependiendo del método de aplicación, la pasta debería tener uno de las siguientes valores de viscosidad a 25 °C.

- Dispensador: 200,000 (centi poise) a 450,000 cP.
- Screen: 450,000 (centi poise) a 800,000 cP.
- Stencil: 750,000 a 950,000 cP para componentes de 50 mil pitch.
- Stencil: 900,000 a 1,200,000 cP para componentes “fine pitch”.

La viscosidad se incrementa con el número de tarjetas impresas. Generalmente después de tres impresiones o de un cambio de 5 °C en la temperatura, la viscosidad de la pasta que se encuentra en el stencil/screen puede verse degradada lo suficiente para afectar la calidad. Así, para minimizar los cambios de la viscosidad provocados por la cantidad de impresiones, debemos agregar pasta fresca al stencil/screen después de cada tres impresiones. No todas las pastas se degradan rápidamente, de cualquier manera, éste debe ser un factor a considerar cuando se seleccione la pasta.

Para minimizar los cambios de la viscosidad inducidos por la temperatura, la pasta debería ser impresa en un área con temperatura controlada. Algunas impresoras automáticas proveen contenedores de pasta con temperatura controlada. En cualquiera de los casos la pasta debe ser removida del stencil/screen al final del día de producción, debido a que se volatiliza, perdiendo así sus propiedades.

2.2.4.2 Espesor de la soldadura

El espesor de la impresión determina el volumen de las uniones en el soldado e los componentes. Demasiado espesor provocará exceso de soldadura o cortos en las uniones, y

poco espesor causará insuficiencias. El espesor está determinado principalmente por el ancho de la máscara de metal del stencil.

La Figura 2.7 muestra un aspecto general sobre los requerimientos del ancho del stencil, dependiendo de los diferentes pitches. De cualquier forma, debemos tener en cuenta que las tarjetas poseen diferentes tamaños de pitches. En tal caso, el requerimiento estará gobernado por el pitch más fino que tenga la aplicación.

Generalmente la impresión obtenida con un stencil de 8 a 10 milésimas de grosor será lo suficientemente aceptable para uniones de soldadura de componentes 50 mil de pitch. Para un pitch más fino (25 mil o menos), el grosor estaría entre 6 milésimas. La altura de la pasta para los componentes BGA es aproximadamente el mismo para componentes de 50 mil de pitch.

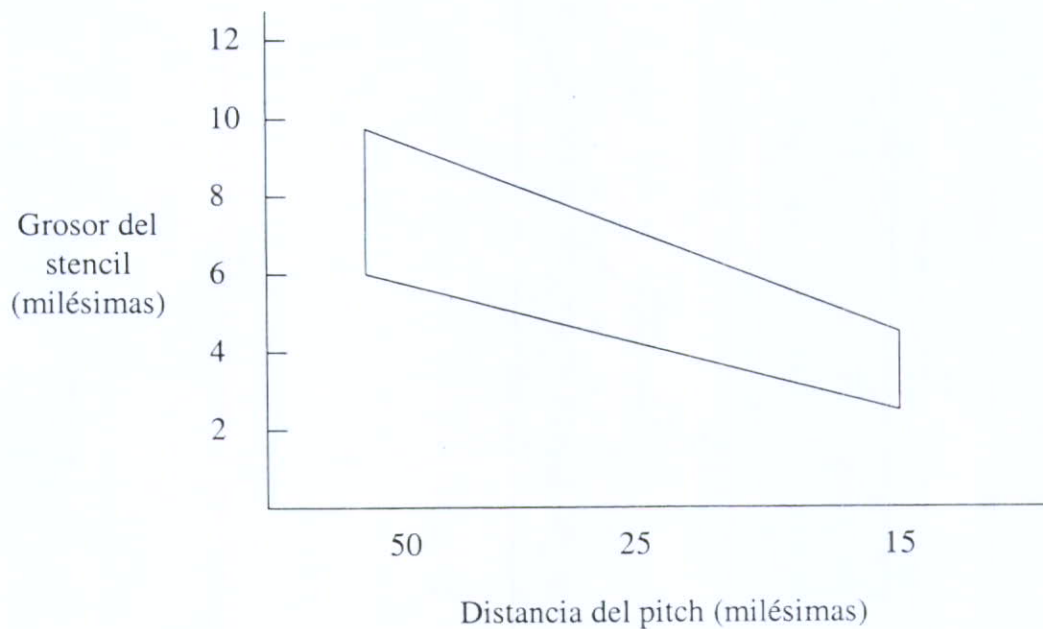


Figura 2.7 Rango recomendado para el grosor del stencil según el pitch.

2.2.4.3 Pala barredora: desgaste, presión, dureza, tipo y orientación.

El desgaste, presión y dureza de la pala barredora determinan la calidad de la impresión por lo que debería ser monitoreada cuidadosamente. Para una impresión aceptable, los filos de la pala barredora deberían estar puntiagudos y rectos una presión baja provocará defectos de saltos y filos desiguales. En cambio, una presión alta o una pala blanda causarán un embarrado en la impresión, además puede causar daños al stencil o screen.

Existen dos tipos de palas barredoras más comunes: los hechos a base de poliuretano o goma y los metálicos. Las pastas con alta viscosidad (más de 750,000 centi poise) requieren palas duras, especialmente si se utilizará un “fine pitch”. Cuando se emplea palas duras de goma, la presión debe ajustarse alrededor de 30 libras.

La regla general es comenzar con una baja presión e incrementarla hasta conseguir que el stencil quede limpio después de cada pasada de la pala barredora. No debe haber pasta sobre el stencil.

2.2.4.4 Velocidad de impresión

La velocidad de impresión es crítica para obtener una buena calidad. Una velocidad rápida provocará defectos de saltos. La pala barredora no tendrá el tiempo suficiente para llenar las aberturas del stencil con la cantidad óptima de pasta, resultando un llenado insuficiente. Una baja velocidad es generalmente la que se emplea para la impresión, pero un barrido demasiado lento provocará defectos de filos desiguales o embarrados.

2.2.4.5 Tipos de stencil

Una de las variables más importantes para obtener una buena calidad de impresión es la precisión y planicidad de las paredes de las aberturas del stencil. Una de las variables que controlan la precisión de las aberturas es la manera que los datos son transferidos al proveedor del stencil. Existen tres formas de transferir dicha información: a través de una película Mylar, por un vidrio maestro o por archivos Gerber. La película Mylar depende de la

temperatura y humedad y se puede dañar fácilmente. El vidrio maestro se puede romper o rayar. Los archivos Gerber es la mejor y más rápida manera de transferir la información.

Existen tres procesos comunes para fabricar stencils: grabado químico, corte por láser y por proceso aditivo. Los stencil por grabado químico utilizan una máscara metálica y flexible, y se les aplica el grabado a través de dos imágenes positivas. Los tipo láser se producen directamente de los archivos Gerber, de tal forma, la precisión de las aperturas es mucho mejor que los de grabado químico. Los datos pueden ser ajustados en los archivos Gerber para cambiar las dimensiones en caso de ser necesario.

Los stencils de proceso aditivo son los más nuevos. Se le conoce con otros nombres tales como electroformado o Galvano. El término de electroformado es el más común. En este proceso, el níquel es depositado sobre un contenedor de cobre para hacer las aperturas. Primero una película seca fotosensitiva es laminada sobre el cobre (alrededor de 0.25 pulgadas de espesor). La película es polimerizada por luz UV a través de una foto máscara de un stencil patrón. Después del revelado, una imagen negativa es creada donde sólo las aperturas del stencil son cubiertas por el fotoresistivo. La Figura 2.8 resume los principales atributos de los tres procesos para fabricar stencils.

Atributos \ Tipo de Stencil	Stencil por grabado químico	Stencil por corte de láser	Stencil por electroformado
Control del tamaño de las aperturas.	Regular	Bueno	Muy bueno
Planicidad en paredes de aperturas	Bueno	Regular	Muy bueno
Forma en paredes de aperturas	Regular	Bueno	Muy bueno
Aplicación para "Ultra fine pitch"	Regular	Bueno	Muy bueno
Costo	Bajo	Medio	Alto

Figura 2.8 Principales atributos para los diferentes tipos de stencil.

2.3 COMPONENTES DE MONTAJE SUPERFICIAL

Los componentes de montaje superficial son colocados en la tarjeta de circuito impreso después de que es depositado el adhesivo o la soldadura en pasta. Generalmente la pasta y el adhesivo son colocados en estaciones separadas por una máquina impresora o un dispensador. Algunos equipos colocadores de componentes poseen dispensadores de adhesivo. Los equipos colocadores son comúnmente conocidos como equipos “pick-and-place” (toma y deja).

Éstos equipos son la pieza más importante para la colocación del componentes con confiabilidad y precisión. Típicamente el equipo colocador junto con sus alimentadores de componentes constituyen cerca del 50% del total del capital invertido para líneas de manufactura con volúmenes medios. También, la capacidad de producción está determinada por las colocadoras.

El tipo de alimentador de componentes también juega un papel importante en la capacidad de producción y la confiabilidad de la colocación de los mismos.

2.3.1 Partes colocadas manualmente

Una vez que muchos componentes pasivos no poseen marcas o referencias, uno de los principales problemas en la colocación manual es prevenir la mezcla de partes, por lo que se debe establecer un procedimiento para ejecutar esta tarea. Un método común es utilizar contenedores marcados con los números de parte o valores.

Otro problema de la colocación manual es el riesgo potencial de colocar los componentes mal orientados. El operador debe saber cómo identificar la terminal número uno de los dispositivos activos (observe un punto sobre la terminal uno) y la polaridad de los capacitores de tantalio (el lado positivo puede tener el filo biselado o una muesca).

Solamente una persona con buen pulso puede colocar con precisión los componentes. Algunos operadores pueden colocar un “fine pitch” exactamente en su localidad, pero esto es relativamente raro.

En la colocación manual, los componentes son tomados tanto por pinzetas o lápices de vacío. Para los componentes pasivos las pinzetas es lo más adecuado, pero para los componentes activos multiterminales un lápiz de vacío es lo más eficaz. Las siguientes recomendaciones nos ayudarán a realizar mejor esta tarea:

- Se debe tener cuidado de no mezclar las partes, particularmente aquellas que se ven idénticas pero que tienen valores distintos.
- Las pinzetas u otras herramientas que puedan dañar los componentes no deben ser utilizados.
- Los componentes deben ser tomados de sus cuerpos, nunca de sus terminales.
- Ten cuidado de mantener limpias las pinzetas de adhesivo o soldadura en pasta. Las puedes limpiar con solvente como el alcohol isopropílico.

2.3.2 Partes colocadas automatizadamente

Los requerimientos de precisión es la razón principal para utilizar los equipos automatizados de colocación de componentes. Éstos equipos son los más importantes dentro de los que se emplean en el montaje superficial. En ellos se invierte la mayor parte del capital.

El equipo puede clasificarse según su flexibilidad y capacidad de producción. La flexibilidad para colocar los componentes de diferentes tipos viene con su precio: mayor precio a mayor flexibilidad, menor precio a mayor capacidad. Por ejemplo, los robots colocadores de componentes proveen una gran flexibilidad. Pueden ser empleados para colocar componentes para máscaras de soldado, dispensadoras de pasta, terminales pequeñas, etc. El costo del hardware es relativamente bajo, pero el software y el desarrollo de nuevo hardware puede ser demasiado caro. Los robots son muy flexibles pero pueden ser muy lentos y requieren desarrollos específicos según el tipo de aplicación.

2.3.3 Tipos y tamaños de componentes

La selección de equipo es muy dependiente de los tipos y tamaños de los componentes que deben ser colocados. Por ejemplo, el equipo que se necesita para componentes 0805, 1206 y más pequeños es distinto que el que se emplea para componentes 0602, 0402, BGA y “fine pitch”. También, el tamaño máximo del componentes debe ser tomado en cuenta. Cada máquina tiene sus límites de tamaño máximo y peso de los componentes.

En muchas aplicaciones, dependiendo de los volúmenes requeridos, es muy sabio considerar dos tipos de máquinas integradas en la misma línea de producción para complementarse entre ellas. En otras palabras, una máquina versátil no puede ser tan buena opción como dos máquinas diferentes complementándose entre ellas.

2.4 SOLDADO DE COMPONENTES DE MONTAJE SUPERFICIAL

Los procesos de soldado para uniones metálicas básicamente difieren con respecto a la temperatura del soldado. Por ejemplo, en el soldado de uniones de metales ferrosos se emplean temperaturas de 815° a 1093 °C (1500° a 2000 °F). Para las uniones metálicas no ferrosas se emplean temperaturas más bajas, como 426° a 583 °C (800° a 1000 °F). El soldado de los componentes más comunes emplean temperaturas de 210° a 230 °C (410° a 445 °F).

El mecanismo de unión está gobernado por la formación intermetálica entre los metales que serán soldados. Un conocimiento básico de propiedades metalúrgicas es necesario para entender los principios en las uniones de soldadura.

Los primeros productos electrónicos fueron soldados manualmente. En la década de 1950 el soldado manual fue remplazado por los procesos de soldado tipo ola. En los 80's el soldado por reflujo apareció para dar un cambio a este tipo de procesos.

El soldado tipo ola es el de mayor uso para los componentes discretos en los procesos tipo inserción. La selección de un proceso específico de soldado de montaje superficial depende de la mezcla de componentes y del ensamble SMT (Tipo I, II o III). Cada proceso tiene sus pros y contras y ninguno es configurable para todas las aplicaciones.

Actualmente no existe un proceso que pueda competir en costo con el soldado tipo ola para componentes tipo inserción y ensamblajes de SMT Tipo III. De cualquier manera, para el ensamble Tipo I el soldado de ola no debería ser considerado. En cambio, el soldado por reflujo es el más apto para ese ensamble. Para el Tipo II (ensamble mezclado), ambos procesos ola y reflujo son los empleados.

2.4.1 Soldadura tipo ola

el soldado tipo ola es el proceso más utilizado para componentes tipo inserción. También es el más empleado para componentes discretos (resistencias, capacitores, diodos, etc.) que están pegados en la parte inferior de la tarjeta en los ensamblajes de SMT Tipo II y III.

Existen varios puntos a considerar en este proceso. La Tabla 2.2 nos muestra dichos rubros.

Tabla 2.2 Puntos técnicos a considerar y su solución en el proceso de soldadura tipo ola.

Puntos a considerar	Posible solución
Diferentes tamaños de tarjeta	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar un conveyor con ajuste de anchura automático. • Estandarizar el tamaño de las tarjetas.
Mantenimiento del dispensador del fundente	<ul style="list-style-type: none"> • Emplea un sistema de roseado. • Verifica los sistemas de control y monitoreo automáticos. • Controla la densidad del fundente.
Pre calentamiento de las tarjetas	<ul style="list-style-type: none"> • Verifica los controles de monitoreo de temperatura automáticos. • Verifica los precalentadores. • Valida la velocidad del conveyor.

2.4.1.1 Proceso y equipo en la soldadura tipo ola

Las variables importantes en el soldado tipo ola, son presentadas en la Figura 2.9. Éstas deben ser configuradas y controladas para obtener un buen funcionamiento del equipo. Respecto a las variables del fundente deben ser monitoreadas muy de cerca. De echo debe existir un sistema que lo esté haciendo constantemente.

La geometría en la soldadora de ola es la variable más importante para minimizar los defectos. Ésta ayuda a prevenir cortos y saltos, entre otros defectos.

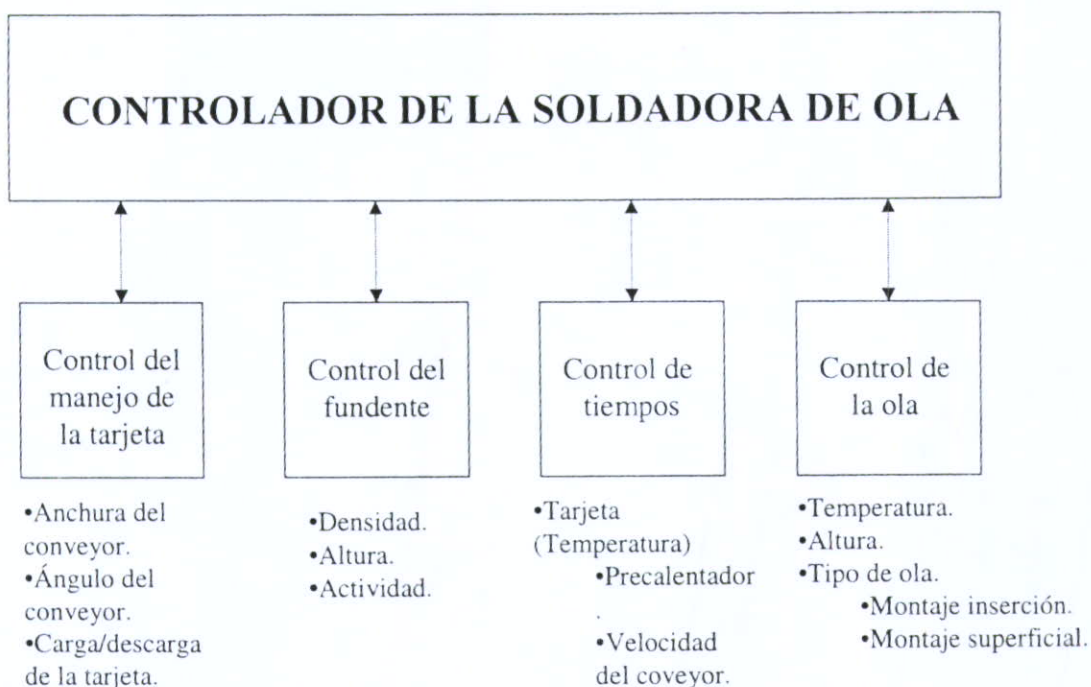


Figura 2.9 Variables de un equipo común en una soldadora tipo ola.

2.4.2 Soldadura por reflujo

En esta sección se revisarán las zonas con las que cuenta el proceso de soldadura por reflujo.

2.4.2.1 Zona de precalentamiento.

La velocidad de calentamiento en la zona de precalentamiento debería estar de 2° a 3°C/segundo y la temperatura deberá oscilar entre 100° a 125°C. Durante el precalentamiento si la rampa de la temperatura es demasiado rápida, la soldadura en pasta puede explotar y causar bolas de soldadura. También, para evitar un choque térmico a los componentes sensitivos tales como los cerámicos, la velocidad máxima de precalentamiento deberá ser controlada.

2.4.2.2 Zona de filtro

La zona de filtro pretende someter a toda la tarjeta a una temperatura uniforme. La velocidad de rampa en esta zona debe ser muy lenta. La temperatura se levanta hasta casi alcanzar el punto de fundición de la soldadura (183°C). Las consecuencias que pueden ocurrir si no mantenemos el rango especificado en ésta zona son bolas de soldadura y desparrame de la soldadura, debido al exceso de óxido de la pasta. Esta zona también actúa como la zona de activación del fundente.

2.4.2.3 Zona de reflujo

después de las zonas de precalentamiento y de filtro, la tarjeta entra a la zona de reflujo. En esta zona, si la temperatura es muy alta puede llegar a quemar la tarjeta. En cambio, si es muy baja, se obtendrán uniones frías de soldadura provocando falsos contactos en la aplicación. El pico de la temperatura en esta zona deberá ser lo suficientemente alto para que el fundente realice una buena aplicación. De cualquier manera, ésta no debe ser muy alta ya que causará daños al componente o decoloraciones en la tarjeta, o en el peor de los casos, quemará la tarjeta.

En algunos hornos, las temperaturas pico llegan hasta 240°C, pero deberían evitarse. La temperatura máxima no debería exceder los 230°C. De cualquier forma, la temperatura pico debe ser al menos 20°C menor que el punto de fundición de la soldadura. Idealmente esta temperatura debe oscilar entre 210°C y 220°C.

2.4.2.4 Zona de enfriamiento

La velocidad de enfriamiento después del reflujo es muy importante. Ésta deberá ser la más rápida posible. Una velocidad adecuada es 10°C/segundo.

2.4.3 Defectos más comunes en el reflujo

Los defectos más comunes en la soldadura por reflujo son insuficiencias, exceso de soldadura, cortos, partes levantadas y componentes movidos o desalineados.

2.4.3.1 Movimiento de partes

Si la velocidad de calentamiento durante el reflujo es muy alta, los compuestos volátiles de la pasta se disolverán rápidamente provocando que los componentes se levanten por alguno de sus lados. El diseño de los componentes también juega un papel importante en este defecto. Si el ancho de las terminales o la diferencia entre ellas es demasiado larga, el movimiento de la parte puede ocurrir.

Los componentes con pobre soldabilidad pueden causar también movimientos en el reflujo, especialmente si están desalineados. Las máquinas colocadoras también juegan un rol importante, una rápida aceleración y desaceleración de la tabla X-Y durante la colocación del componente puede causar el movimiento antes del reflujo, especialmente si la altura de la pasta no es la adecuada.

2.4.3.2 Choques térmicos en componentes

Un rápido precalentamiento y enfriamiento causa un choque térmico debido a que no existe el suficiente tiempo para que el centro y la superficie del componente alcance la misma temperatura. Durante la aplicación del calor, la temperatura de la superficie es más alta que la que existe en el interior del componente. Esta discrepancia genera un estrés termomecánico. Dicho estrés es combinado con materiales que son pobres conductores de calor.

2.4.3.3 Decoloración de la máscara

Algunas máscaras de soldadura, especialmente las de capa seca filmica, tienden a decolorarse. Este es generalmente un defecto cosmético y puede ocurrir a temperaturas bajas como 160°C. En el caso de la capa seca filmica, tal decoloración es atribuida a la oxidación de un polímero colorante.

La reducción de la presión parcial de oxígeno en la zona de reflujo al utilizar una atmósfera inerte (por ejemplo, el nitrógeno) disminuye en forma potencial esta decoloración. Cuando se pretenda utilizar una nueva máscara, ésta debe ser calificada antes de su aprobación, para determinar si la decoloración no afectará la funcionalidad de la tarjeta.

2.5 FUNDENTES Y LIMPIEZA

La selección del fundente y el proceso de limpieza juega un rol crítico en la manufactura de ensamblajes electrónicos en la mejora de su eficiencia y confiabilidad del producto. El fundente y la limpieza están interrelacionados; uno no puede ser discutido sin el otro. La función del fundente es remover los óxidos y otras impurezas no metálicas de la soldadura y preparar la limpieza para las uniones de soldadura. Después del soldado, la limpieza puede ser utilizada para remover residuos del fundente.

Los tipos de residuos del fundente o contaminantes que requieren limpieza son determinados en primer término por el tipo de fundente empleado, pero los óxidos y otros contaminantes son generados durante el almacenamiento y manejo.

Los procesos de limpieza dependen del tipo de fundente, del tipo de contaminantes y del ensamble (Tipo I, II y III). Éstos pueden utilizar solventes o agua desionizada o una combinación de ambos. En el pasado, los solventes comúnmente utilizados eran los CFCs (cloro-fluoruro-carbonatos), tales como el Freon. Pero como resultado de un acuerdo internacional, en el Protocolo de Montreal de 1987, el uso de los CFCs fue prohibido para el final de 1995. Se ha determinado que los CFCs consumen la capa de ozono.

2.5.1 ¿Porqué preocuparnos por la limpieza?

La principal preocupación en la limpieza tanto en ensamblajes tipo inserción como de montaje superficial es la adecuada limpieza del fundente para prevenir problemas de corrosión en el campo de aplicación. Para los ensamblajes SMT éste trabajo es difícil debido a que el fundente puede quedarse en el espacio que queda entre el componente y el sustrato. También, como resultado de las altas temperaturas y los tiempos de soldado por reflujo relativamente grandes, el fundente, especialmente los de resina, llegan a ser más tenaz, por consiguiente más difícil de limpiar.

2.5.2 La función del fundente

Todos los metales, excepto el oro puro y el platino, se oxidan con el aire. La velocidad de oxidación puede incrementar con un aumento en la humedad y temperatura. Según el metal, existen diferentes afinidades para el oxígeno, por lo tanto, ellos difieren en su susceptibilidad de oxidación, la cual es una forma de corrosión. El mecanismo básico de unión de dos superficies metálicas es controlar la solubilidad de un metal con otro.

En el proceso de soldado, la función del flux es reaccionar químicamente con los óxidos y producir una superficie fresca y libre de manchas con las temperaturas de soldado de tal manera que tome lugar la unión intermetálica. Cuando existen superficies similares ellas simplemente se disuelven una sobre la otra. Cuando son distintas, existe una aleación formando así una capa intermetálica.

Aunque la principal función del fundente es remover el óxido, éste puede también ser capaz de contener los efectos de la grasa contraída durante el almacenamiento y manejo. Lo pegajoso del fundente, en la soldadura en pasta, es esencialmente para prevenir el movimiento de las partes durante el manejo entre las operaciones de colocación y soldado de reflujo.

2.5.3 Clasificación de los fundentes

Los fundentes se clasifican según su actividad y sus constituyentes, los cuáles determinan la actividad. La actividad del fundente es un indicador de su efectividad para remover los contaminantes. Basándonos en la actividad del fundentes, éstos se clasifican como ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos (AO), resina y resina (no-limpieza).

Existen varias pruebas tales como la de espejo de cobre, corrosión, balance del soldado, entre otras, que los fundentes deben pasar para poder ser clasificados en una categoría en especial. En general, los fundentes son clasificados como altamente corrosivos (ácidos inorgánicos), corrosivos (AO), medianamente corrosivos (basados en resina), y los no corrosivos (no-limpieza).

2.5.3.1 Fundentes inorgánicos

Los fundentes inorgánicos son altamente corrosivos, son comprimidos en ácidos orgánicos y sales tales como ácidos hidrociorídicos, ácidos hidrofiorúricos, floruro de sodio o potasio y cloridio de zinc. Estos fundentes son capaces de remover los óxidos de las películas ferrosas y metales no ferrosas como el acero inoxidable.

Los fundentes inorgánicos no deberían ser considerados para aplicaciones electrónicas, debido a sus problemas potenciales de confiabilidad. Su mayor desventaja es que dejan residuos activos químicos que pueden ocasionar corrosión y por consiguiente problemas serios en la aplicación de campo.

-
- Fundentes ácido-orgánicos
-

Estos fundentes son más fuertes que los de resina, pero más débiles que los inorgánicos. Tienen un buen balance entre la actividad del fundente y su acción de limpieza, especialmente si su contenido de sólidos es bajo (1-5%). Estos fundentes contienen iones polares, los cuales son fácilmente removidos por un solvente polar como el agua. Debido a que son solubles en agua, los fundentes ácido-orgánicos son deseados por el cuidado del medio ambiente, aunque los fundentes de no-limpieza son los preferidos. Como su nombre lo indica, los fundentes AO contienen ácidos orgánicos que se encuentran en ciertos alimentos como el ácido cítrico, ácido láctico, entre otros. Debido a que éstos fundentes no son reglamentados por algún gobierno, su contenido químico es controlado por los fabricantes.

El uso de los fundentes AO es empleado para ensambles Tipo II y III, tanto para aplicaciones militares como comerciales.

-
- Fundentes con resina
-

La resina es un producto natural que es extraído de la corteza de los pinos. Su fórmula general consiste principalmente de ácido abiético (70-85%) con un 10-15% de ácido primárico. Las resinas contienen un alto contenido de hidrocarbonos, de tal manera que, para

remover este tipo de fundentes, se deben agregar químicos alcalinos para enjabonar con el agua.

Estos fundentes son inactivos a los cuartos con temperatura controlada, pero llegan a ser activos cuando se calientan con las temperaturas del proceso de soldado. Son solubles en una variedad de solventes o agua con algún químico alcalinos. El punto de horneado de la resina es de 172° a 175°C (342° a 347°F), sólo por debajo del punto de horneado de la soldadura (183°C).

2.5.3.4 Fundentes tipo No-Limpieza

Muchas compañías, especialmente en Europa, han considerado a los fundentes de resina como uno no-limpieza. Generalmente no limpian sus productos, al no hacer esto, las unidades se tornan pegajosas. Para evitar problemas en sus procesos, algunas veces limpian la tarjeta con un cepillo, sólo por el lado de las uniones de soldadura.

Por otro lado, en Estados Unidos, los fundentes de resina generalmente son limpiados para obtener los requerimientos de limpieza: visual e iónica. De esta manera, los Europeos han estado a la vanguardia de los procesos no-limpieza.

Desde que los fundentes no-limpieza han llegado a ser más comunes a nivel mundial que los fundentes que requieren limpieza, en los Estados Unidos, muchas compañías como Intel, Northern Telecom., AT&T, entre otras, han adoptado las pastas de soldadura y los fundentes tipo no-limpieza. AT&T desarrolló un atomizador de fundente a precisión para minimizar los residuos de éste y fue una de las primeras compañías en utilizar los fundentes no-limpieza. El uso de éstos fundentes es muy raro en aplicaciones de alta confiabilidad y las militares.

2.5.4 Los contaminantes y sus efectos.

Después del proceso de soldado, varios residuos son dejados en la superficie de la tarjeta. La mayor razón para eliminarlos es prevenir fallas eléctricas potenciales debido a la

electromigración. El impacto de diferentes tipos de contaminantes sobre los ensamblajes electrónicos se puede observar en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Impacto de los contaminantes sobre las tarjetas de circuito impreso

• CONTAMINANTE	• EFECTO
• Polar o iónico	<ul style="list-style-type: none"> • Rompimiento dieléctrico. • Escape eléctrico. • Corrosión del circuito.
• No polar o No iónico (resina)	<ul style="list-style-type: none"> • Puede atraer contaminantes iónicos a través de la suciedad. • Pobre contacto eléctrico durante las pruebas. •

•

2.5.4.1 Partículas contaminantes

El polvo, la pelusa y las bolas de soldadura son ejemplos de partículas que deben eliminarse de la superficie de las tarjetas. Dichos residuos son mejor removidos por dispositivos mecánicos tales como un atomizador o boquilla a presión o una limpieza ultrasónica.

Aunque las bolas de soldadura son un tipo de defecto debido a la pasta, más no así del fundente, éstas son consideradas como contaminantes debido a que pueden removerse a través de la limpieza. Este defecto puede ocasionar cortos eléctricos si existe alguna vibración en los equipos del proceso.

2.5.4.2 Consideraciones ambientales

Los cloro-floruro-carbonatos (CFCs) son inflamables y de baja toxicidad. Sus usos típicos antes de ser prohibidos fue:

- Sistemas de refrigeración y aire acondicionado.
- Espumas flexibles para muebles, camas y empaques.

- Limpieza de componentes eléctricos y electrónicos.
- Esterilización de instrumentos médicos.

Es importante mencionar que la producción de CFC está prohibida. El consumir lo que ya se produjo no está prohibido. De cualquier manera, la producción de CFCs no se ha prohibido en todos los países. Por ejemplo, los países del tercer mundo están permitidos para producir CFCs hasta el año 2010. La excusa ha sido que éstos países necesitan tiempo para desarrollar algún químico en lugar de importarlos. Una vez que ellos no crearon este problema, siguieron argumentando que no pagarían los costos elevados de los químicos alternos, especialmente para los refrigerantes.

Lamentablemente algunos de éstos refrigerantes destruyen la capa de ozono. Demos una revisada a este punto para entenderlo mejor.

En la formación de la capa de ozono, las primeras moléculas de oxígeno (O_2) son divididas en dos átomos de oxígeno (O) cuando éstas absorben la radiación ultravioleta proveniente del sol. Éstos átomos se combinan con moléculas de oxígeno para formar la capa de ozono (O_3). El ozono es un gas picante azulado. Cerca del 90% del ozono está localizado arriba de la superficie terrestre en una región frígida de la atmósfera conocida como estratosfera. La capa de ozono actúa como un escudo contra la radiación ultravioleta.

Cuando los CFCs alcanzan la estratosfera, la radiación ultravioleta rompe los átomos clorinos de los CFCs. Uno de esos átomos reacciona con una molécula de ozono (O_3) para formar un monóxido clorino (CO) y una molécula de oxígeno (O_2). Este es el mecanismo básico del consumo de la capa de ozono. De cualquier manera, el átomo clorino es dividido en monóxido de clorino para repetir el proceso. Los átomos de oxígeno (O) formados por la división del ozono (O_3) por la radiación ultravioleta mencionada anteriormente, se combinan con el monóxido clorino para formar una molécula O_2 y un átomo clorino libre. Ahora, el mismo átomo clorino es liberado de nuevo para repetir la formación de monóxido clorino para repetir el ciclo. De tal manera que el átomo clorino liberado reacciona repetidas veces con la capa de ozono, causando su consumo. Esto es razonable, ya que un solo átomo clorino

consume 100 moléculas de ozono. Una vez que algunos CFCs tienen una vida de 120 años, podemos imaginar sin demasiado trabajo el daño ambiental causado por éstos compuestos.

Capítulo 3

CONTROL DE CALIDAD E INSPECCIÓN

El control de la calidad es la clave para lograr una competencia efectiva a nivel internacional. Una diferencia considerable en la efectividad del costo se logra cuando la manufactura se lleva a cabo con procesos controlados. ¿Cómo podemos lograr esa meta? Primero, el control estadístico de calidad (SQC, por sus siglas en inglés. Statistical Quality Control) deberá ser utilizado para minimizar los defectos en los ensambles. Se debe introducir el concepto de SQC y después discutir los requerimientos de calidad, los cuáles deben ser claros para que todo el personal los comprenda y los ejecute.

La inspección ya sea visual o automática es empleada para verificar los requerimientos de calidad del producto. Cuando éstos no son alcanzados, es necesario re TRABAJAR para obtener la calidad deseada. Los defectos que no se visualizan con la inspección de recibo del material, y los de la inspección del ensamble, son generalmente detectados por las pruebas eléctricas.

No necesariamente se necesitan herramientas específicas como SQC, inspección, reparación y pruebas para controlar la calidad del producto, aunque un sistema de calidad debería enfocarse a que los productos alcancen los niveles de calidad requeridos sobre una base consistente. ISO 9000 ha llegado a ser uno de los sistemas de calidad más empleados en el mundo.

3.1 CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO

El SQC también es conocido como control estadístico del proceso (SPC por sus siglas en inglés. Statistical Process Control). Esta es la mejor manera para coleccionar , analizar datos y tomar acciones correctivas. El SQC llegó a ser una disciplina en los años 20 cuando en

las aplicaciones de los laboratorios Bell fue inventada esta metodología por Walter Shewhart. Durante la Segunda Guerra Mundial el gobierno de los Estados Unidos adoptó el SQC en algunas aplicaciones. Después de eso, existió una desilusión general cuando las regulaciones del gobierno permitieron a muchas compañías Americanas descartar el sistema SQC por generar papeles innecesarios.

En Japón, existen regulaciones estrictas y el SQC no solamente ha sido adoptado, sino que ha llegado a ser una fuente de orgullo nacional. La recuperación de la industria Japonesa después de la guerra y su dominio en el mercado mundial han sido atribuciones del SQC.

Aún con todo esto, los Japoneses han seguido los consejos de un Americano llamado W. Edwards Deming. El Dr. Deming enseñó a los gerentes Japoneses que el SQC puede ser una herramienta poderosa que permite medir la variación de un proceso o producto y entonces tomar acciones correctivas y preventivas. El mayor beneficio del SQC es el de identificar, medir y reducir la complejidad del proceso.

El Dr. Deming pronosticó que con el uso del SQC, una operación de manufactura con problemas puede ser transformada en una eficiente, mientras se reducen los defectos y se incrementa la productividad [3].

¿Qué es el SQC? De acuerdo a Peter Gluckman [4], un estudiante del Dr. Deming, el SQC consiste principalmente en tres elementos:

- Análisis del proceso para entender el sistema.
- Monitorear las entradas al proceso para medir al sistema.
- Liderazgo para cambiar el sistema.

Los tres elementos del SQC son: estadística, calidad y control. La estadística puede ser descrita como un grupo de conceptos, métodos y herramientas utilizadas para la toma de decisiones. El segundo elemento es la calidad. ¿Qué es la calidad? Es obtener la conformidad de los requerimientos del cliente. El tercer elemento del SQC es el control, al cual Gluckman

llama liderazgo para cambiar el sistema. Este envuelve la administración y manejo de los sistemas, procesos, operaciones, personal y máquinas.

El Dr. Deming cree que sólo el 15% de los problemas de una organización están relacionados a los empleados; el resto se presentan en el proceso y sólo una buena administración puede ajustarlos a sus requerimientos.

El gráfico de control y los registros de datos son utilizados para monitorear la precisión de un proceso y medir su cantidad de variación de acuerdo a sus promedios. Los límites de control superior e inferior son definidos en base a ese promedio.

3.2 DEFECTOS RELACIONADOS CON MATERIALES Y EL PROCESO

Un producto con buena calidad es fruto de un diseño, procesos y materiales estandarizados. Los estándares de calidad para las uniones de soldadura establecen la meta de calidad, definiendo lo que es aceptable y lo que no lo es. El diseño y proceso de los materiales requieren de una ruta a seguir para alcanzar la meta definida.

No importa la categoría de los defectos, debe investigarse la causa del impacto para minimizar su costo y aumentar la confiabilidad del producto. Aún los defectos pequeños pueden ser un indicador de un problema serio que debería ser corregido, sin importar cual sea su aplicación.

3.2.1 Defectos relacionados al sustrato

Uno de los problemas que presentan los proveedores de sustratos, es la uniformidad y el grosor de las terminales o pistas de la tarjeta, el grosor y el espacio, el terminado de los orificios, la selección del oro (si aplicara), y el tipo y calidad de la máscara de soldadura que debe emplearse. El proceso de SMT generalmente obliga a utilizar pistas pequeñas y delgadas.

El calentamiento y las torceduras son las principales preocupaciones en el montaje superficial respecto a los sustratos. Un calentamiento del 1%, el cual es generalmente

aceptado para ensambles convencionales, viene combinado con problemas de coplanaridad. El exceso de calentamiento hace que el ajuste del eje Z sea difícil para la máquina colocadora de componentes y puede causar defectos de soldadura.

3.2.2 Defectos relacionados al componente

Para componentes pasivos los requerimientos críticos son la soldabilidad y las marcas del componente. Para los dispositivos activos, uno de los puntos críticos son las rupturas ocasionadas por la humedad. Los componentes pueden necesitar ser horneados antes de soldarse en el reflujo para prevenir este problema.

La coplanaridad de las terminales es otro aspecto que debe cuidarse. Una diferencia mayor a las 4 mils entre terminales puede causar soldaduras abiertas. Este tipo de problemas es ocasionado por un mal manejo o empaque impropio. Cinta y carrete son generalmente preferidos sobre otras formas de contenedores.

Otro tipo de defecto son las rupturas que ocurren con componentes pasivos como los capacitores cerámicos multicapa. Dichas rupturas son generalmente muy pequeñas para poderlas observar a simple vista, aunque éstas pueden crecer en el campo de aplicación y causar fallas.

Existen varias causas para este defecto, pero la calidad del componente juega un rol muy importante. Algunos materiales dieléctricos son más susceptibles a una ruptura que otros. Algunos equipos de colocación de componentes se exceden en la presión sobre el componente y pueden llegar a romperlos. Otra causa de esta ruptura es el choque térmico durante el proceso de soldado.

3.2.3 Defectos relacionados a la soldadura

Algunos requerimientos de la soldadura en pasta son críticos y variarán según el tipo de proceso. Las bolas de soldadura son causa generalmente de un exceso de óxido en la pasta, pero un rápido calentamiento de la pasta antes del reflujo es también otro defecto atribuible a

ésta misma causa. Las bolas de soldadura son una buena preocupación cuando se utiliza un fundente tipo no-limpieza, ya que no existe un proceso de limpieza para removerlas.

Otra propiedad importante de la soldadura, es su viscosidad y su asentamiento. Por ejemplo, si la viscosidad es demasiado alta, puede ocasionar una impresión inconsistente o incompleta. Si la apariencia de la soldadura depositada es redondeada en lugar de cuadrada, la pasta puede ser muy pobre en asentamiento, lo cual es causa de una baja viscosidad o bajo contenido de metal. Estas propiedades se vuelven más críticas cuando se tienen dispositivos fine pitch. Si las propiedades de la impresión no son controladas, también pueden ocasionar excesos, lo cual provocará cortos.

3.2.4 Defectos relacionados al proceso

Los defectos que son atribuidos al proceso de soldadura incluyen soldaduras abiertas, componentes de canto, puentes, desalineados, movimiento de partes y bolas de soldadura. Hay muchas causas para estos defectos. Por ejemplo, pobre soldabilidad, mala impresión de la pasta, mala colocación del componente y pobre perfil de soldadura.

El movimiento de partes, componentes de lado o canto, y la mala alineación están relacionados. Todos estos defectos se presentan después del proceso de soldado, pero la causa raíz puede en estaciones anteriores tal como en la impresión de la pasta o en la colocadora de componentes. Por ejemplo, si la pasta no fuera tan poco viscosa, el componente no se hubiera movido durante la colocación, o la máquina colocadora puede no estar poniendo correctamente los componentes, o el perfil del horno pudo haber sido muy rápido.

El defecto de los puentes es común, especialmente en fine pitch y en componentes pequeños como resistencias y capacitores 0603 y 0402. Reduciendo el espesor y el tamaño de la apertura del stencil y usando una mascara de soldadura entre las terminales adyacentes minimizara este problema.

3.2.5 Defectos relacionados al diseño

Las causas de los defectos de los ensamblados electrónicos caen en tres grandes categorías: (a) defectos relacionados al material de entrada tales como la pasta, adhesivos, fundentes, componentes y tarjetas; (b) defectos relacionados al equipo y proceso y (c) defectos relacionados con el diseño.

Hay formas de solucionar algunos problemas relacionados con el diseño, sin embargo, para alcanzar una solución permanente y con un costo efectivo, es importante diseñar el producto correctamente en primer lugar, para que así la manufactura pueda enfocarse en solucionar problemas relacionados a materiales y el proceso.

Muchos de los problemas pueden ser debidos al diseño. Por ejemplo, un mal diseño de patrones y orientación incorrecta del componente, puede causar puentes entre las terminales de un componente o entre componentes adyacentes. Cambios laterales, soldadura insuficiente y componentes de lado o canto pueden ser consecuencia de un mal diseño y esto hace más difícil la inspección, limpieza, el retrabajo y ensamble.

3.3 REQUISITOS DE CALIDAD EN LAS UNIONES DE SOLDADURA

Los estándares de trabajo fijan la meta para la calidad o de lo que es aceptable y que no lo es. ¿Qué es una unión perfecta? Es una unión que muestra completamente una apariencia húmeda de las terminales entre el componente y la tarjeta. Este requisito aplica tanto a la tecnología de montaje superficial y a la tipo inserción, para aplicaciones comerciales como militares, la confiabilidad es importante en cualquier aplicación. Si una unión no es perfecta, no se preocupe por la reparación, pero encuentre la causa del problema y repárelo.

Para el ensamble de tarjetas, el IPC-A-610 y J-STD-001 son los estándares de trabajo mas comunes usados por la industria, incluyendo la militar IPC-A-600 que es mas comúnmente usado para las tarjetas simples. Estos estándares son actualizados a menudo así que debemos estar seguros de utilizar la versión mas reciente.

Aun cuando este usando estándares de la industria, algunos requisitos pueden ser modificados o adheridos si el proveedor y el usuario así lo deciden.

Los requisitos discutidos en esta sección están basados en estándares de la industria IPC-A-610 y J-STD-001. De acuerdo a estos estándares, los requisitos de aceptabilidad de las uniones de soldadura dependen de su uso en el ambiente. Las clases son definidas de la siguiente manera:

Clase 1. Consumidores (radio, TV, Juegos)

Clase 2. Comercial (computadoras, negocios)

Clase 3. Alta confiabilidad, misión critica

Debe notarse que ambos estándares IPC-A-600 y J-STD-001 establecen los requisitos de mínima aceptabilidad para el soldado de tarjetas. El IPC-A-610, es un compendio de interpretaciones graficas de los requisitos de J-STD-001. El IPC-A-610 maneja adicionalmente los criterios del manejo, los requisitos mecánicos y otros mas. Es de gran ayuda tener estos documentos a la mano en el piso de producción para una rápida consulta.

Los defectos de la soldadura son generalmente clasificados como mayores , menores y cosméticos. Defectos mayores como los puentes pueden afectar el comportamiento del circuito y deben ser solucionados de inmediato. Las uniones que muestran un mojado poco uniforme pueden pasar las pruebas eléctricas, pero es seguro que fallen en el campo de aplicación.

Los defectos menores tales como la descoloración de la mascara de la soldadura, puntos blancos, bolas de soldadura, movimiento de componentes e insuficiencias o excesos de soldadura cuando las uniones están mojadas completamente, puede no causar fallas en el desempeño del circuito. Sin embargo, los defectos menores para una aplicación pueden ser mayores para otras.

Los defectos cosméticos incluyen uniones rugosos y granientas, texturas de tejidos expuestos en el sustrato, y terminales expuestas.

3.3.1 Requisitos generales para uniones de soldadura

Aunque los estándares especifican las dimensiones para los filetes de la soldadura, la intención no es de medir físicamente cada dimensión y rechazar, para luego retrabajar las tarjetas, por que la dimensión dada estaba ligeramente fuera de las especificaciones. La verdadera intención es la de dar dirección y tomar una acción correctiva para tener al proceso bajo control, para que el objetivo sea alcanzado. Por ejemplo, si las uniones son constantemente excesivas o insuficientes, una acción apropiada en el diseño del stencil o la tarjeta debe ser tomada para corregir el problema.

Las condiciones que llevan al rechazo son una soldadura sin apariencia húmeda o mojada, puentes, bolas de soldadura, desalineación de los componentes y componentes de lado o canto.

Los defectos deberían ser monitoreados y corregidos apropiadamente, tomando acciones en tres grandes áreas: diseño, proceso y la calidad del material del proveedor.

En general, las uniones de soldadura deben de mostrar evidencia de un correcto mojado por todo el componente para lograr una interfase entre el dispositivo y el circuito impreso. Las uniones deben mostrar un filete o terminado cóncavo como indicador de una buena unión.

En seguida algunas condiciones que se derivan de los requerimientos:

1. **Soldadura mínima.** Cuando las superficies metálicas de las terminales de los componentes están mojadas, las uniones de soldadura son aceptables.
2. **Soldadura insuficiente.** El filete de soldadura no es evidente e incluso se puede observar un hueco en la terminal del componente y la tarjeta. La soldadura insuficiente es lo contrario al puente. En la soldadora de ola, la

insuficiencia es generalmente causada por una mala orientación del componente sobre la ola.

3. **Exceso de soldadura.** El exceso de soldadura se observa generalmente cuando la misma altura de la pasta es depositada en la tarjeta donde existen componentes de tamaño estándar y dispositivos más pequeños como un fine pitch u otros tales como 0603 y 0402 en la misma tarjeta. Si el grosor de la pasta es el correcto para el componente estándar, puede ser demasiado para los pequeños. En tales casos, debería emplearse un stencil con doble grosor en su plantilla o las aperturas del stencil deberán ser modificadas para depositar diferentes volúmenes de pasta en diferentes lugares.

4. **Componentes desalineados.** Dada la precisión de los equipos colocadores de componentes de hoy en día, este defecto ya no es tan común. Es difícil determinar en componentes pequeños una desalineación ya que no existe una herramienta de medición.

La mejor manera para prevenir este problema es emplear equipo con alta precisión. Un rápido calentamiento durante el reflujo también puede ser una causa del desalineamiento.

5. **Puentes de soldadura.** Es otra forma de exceso de soldadura, es un defecto mayor y debe ser corregido. Una causa común de éste defecto, es la presencia de un espacio insuficiente entre las terminales de la tarjeta o componentes.

En la soldadura de reflujo, los puentes pueden ser causados por un grosor excesivo de la pasta o un contenido excesivo de metal. Alternativamente, la pasta puede hundirse o su viscosidad puede ser baja. La desalineación de los componentes o una mala impresión pueden causar puentes.

En soldaduras de ola, los puentes pueden estar relacionados con el diseño (por ejemplo, los conductores pueden estar muy cerca unos de otros) o relacionados al proceso (por ejemplo, la velocidad del conveyor es demasiado lenta, la geometría de la ola es impropia, o existe una cantidad inadecuada de aceite en la ola o fundente insuficiente).

6. **Componentes de canto o lado.** Es una forma severa de un componente desalineado donde los componentes se levantan sobre sus terminales. El grosor no nivelado de las terminales, el diseño de la superficie mal hecho, o la aplicación de la soldadura de una manera no correcta pueden ser alguna de las causas. Las variaciones de este defecto incluyen a los componentes que se voltean boca abajo o sobre sus posiciones.

7. **Contaminación de adhesivo.** Es una de los mayores defectos en la soldadura de ola o en dispositivos pegados a la parte inferior de la tarjeta. El adhesivo que contiene pobre viscosidad, puede acabar en las terminales de la tarjeta, causando una falta de filete de soldadura. Los mismos defectos pueden resultar de una mala precisión en el sistema de colocación de componentes, movimiento de los componentes sobre el adhesivo después de su colocación, o simplemente un exceso en la cantidad de adhesivo.

3.4 INSPECCIÓN EN LAS UNIONES DE SOLDADURA

Una manera mas efectiva de tomar acciones preventivas, es la de implementar un control del proceso para asegurar que los problemas no ocurran. ¿Esto significa que la inspección no es necesaria? Lejos de esto, la inspección deberá continuar para completar el ciclo en la colección de defectos, de monitorear el proceso y para implementar acciones correctivas, de tal manera, que el problema no vuelva a ocurrir. Existen dos métodos de inspección: visual y automatizada.

3.4.1 Inspección visual

La inspección visual es el método de inspección mas ampliamente usado en magnificaciones de 2 a 10X usando un microscopio. El estándar J-STD-001 requiere una inspección de 2 a 4X para todo los dispositivos con un pitch mayor a 20 mils. Las magnificaciones de 10X son requeridas para dispositivos de fine pitch de 20 mils o menores. Una magnificación mayor deberá usarse solo para referencia.

El mayor problema con la inspección visual es que depende del criterio del operador, por lo tanto es subjetiva.

3.4.2 Inspección automatizada

Dependiendo si la inspección es visual o a través de un sistema automatizado, ¿debería ser el objetivo de la inspección el definir acciones correctivas o simplemente asegurar que el proceso está dentro de control? Se sugiere que la inspección sea para controlar el proceso, especialmente para cuando se utiliza inspección automatizada. Todavía la inspección es utilizada de una manera tal, que ayude a definir una acción correctiva, para que así los defectos no comprometan la integridad del producto.

Algunas veces se cree malamente que el sistema de inspección automatizado se puede usar para el control del proceso cambiando las variables apropiadas para corregir defectos en base a tiempo real.

No existe un sistema que realmente pueda señalar un defecto, mucho menos identificar su causa. El análisis de un defecto requiere la intervención humana y el criterio de un ingeniero especializado. Los defectos tienen generalmente mas de una causa.

En cualquier evento, la inspección automatizada ayuda a identificar algunos problemas o defectos en base a un objetivo previamente señalado, en otros, términos, realiza comparaciones contra un patrón. Depende del ingeniero de procesos determinar la causa.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema de estudio se basa en un proceso de manufactura con tecnología de montaje superficial, donde se enfoca particularmente al estudio del defecto de desalineamiento en un componente de circuito integrado (IC) QFP de 208 terminales con un pitch de 20 mils.

El análisis de pareto obtenido a través de la historia de defectos de este producto nos llevó a la decisión de definir un plan de acciones correctivas y preventivas para minorizar el costo, bajando el nivel de desperdicio y el índice de reparación. Además, este componente es de alto valor económico. Al minimizar los dos rubros mencionados anteriormente, automáticamente mejoramos la eficiencia de la línea de producción.

La Figura 4.1 nos muestra el historial de este componente con respecto a las fallas que se han presentado en ese intervalo de tiempo.

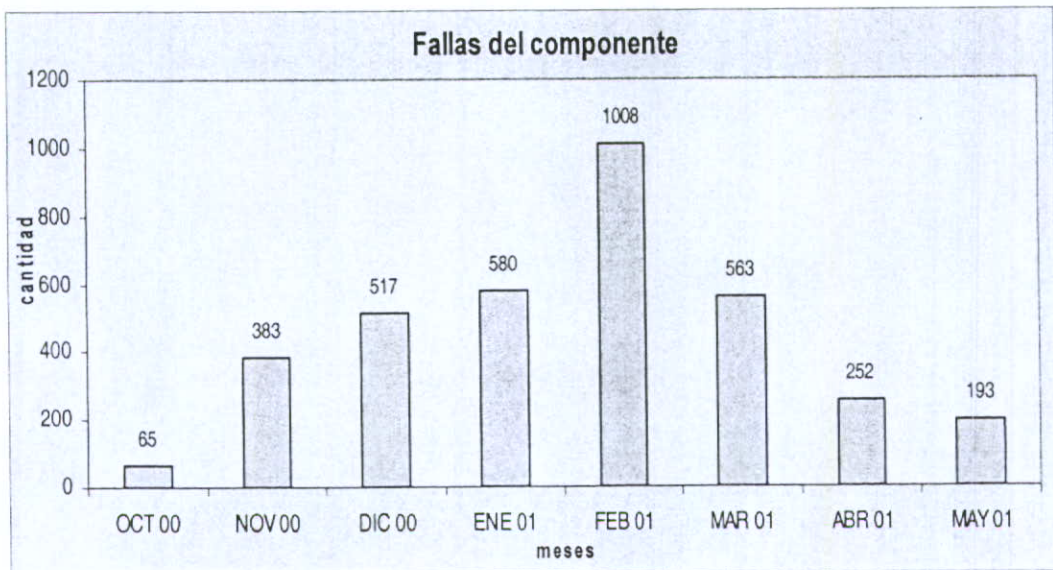


Figura 4.1 Historial de fallas del componente.

Una vez que se identificó una baja eficiencia en el área de SMT, se procedió a seccionar el área en sus distintos procesos, la Figura 4.2 nos muestra el flujo.

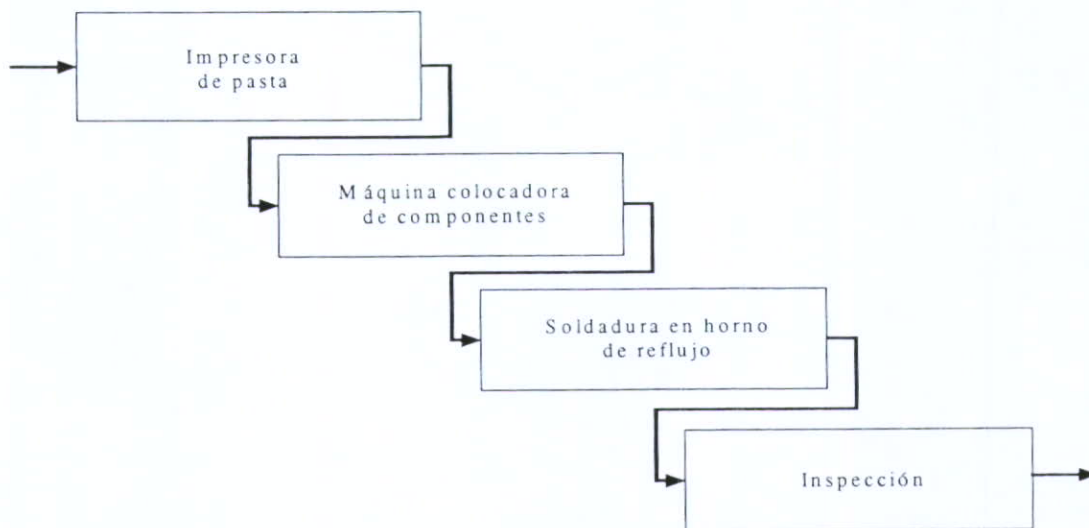


Figura 4.2 Flujo del proceso en el área de SMT.

La Figura 4.3 nos muestra el gráfico de pareto, con el cual visualizamos los defectos mas comunes en el IC.

El 80% de los defectos se concentra en cinco categorías, ellas, son: componente desalineado, soldadura insuficiente, soldadura fría, cables mal soldados y puentes de soldadura. Como se puede apreciar en la misma gráfica, el defecto de componente desalineado es el que presenta mayor impacto, con un 38% de índice defectivo, es por ello que hemos decidido atacar este defecto en primer instancia. La solución a los demás defectos, se trata de un cambio en el diseño del stencil.

Una vez que se determinaron los defectos más impactantes, se procedió con una serie de juntas con el personal especializado entre ellos: ingenieros de calidad, procesos, equipos y producto, técnicos de diagnóstico de fallas y supervisores de manufactura.

La meta de dichas reuniones, fue determinar un diagrama causa – efecto, el cual es presentado por la Figura 4.4.

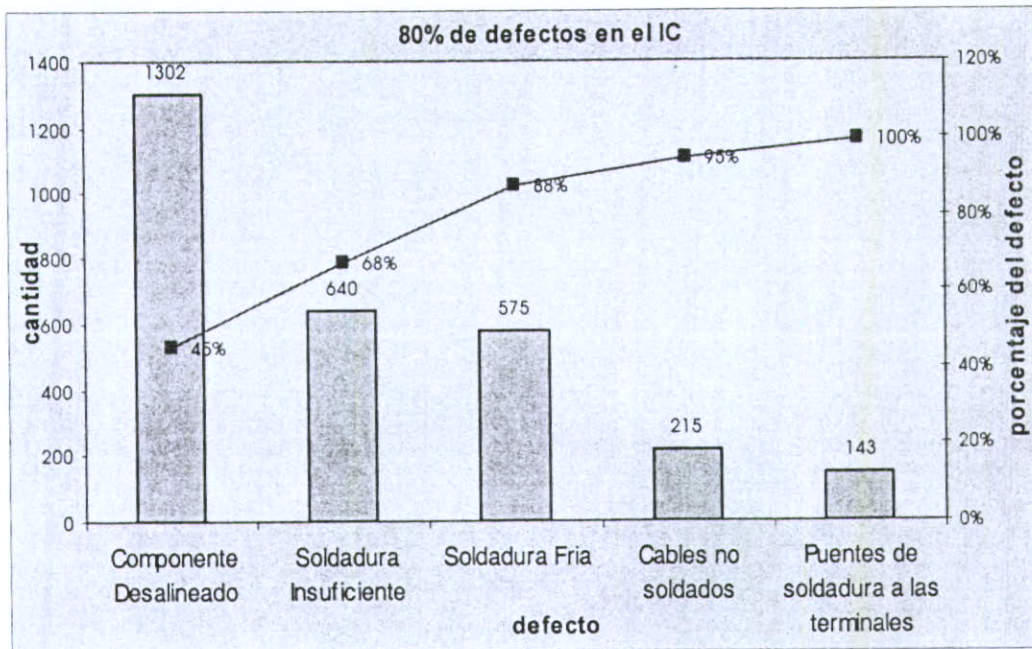


Figura 4.3 Gráfico de pareto para los defectos del IC.

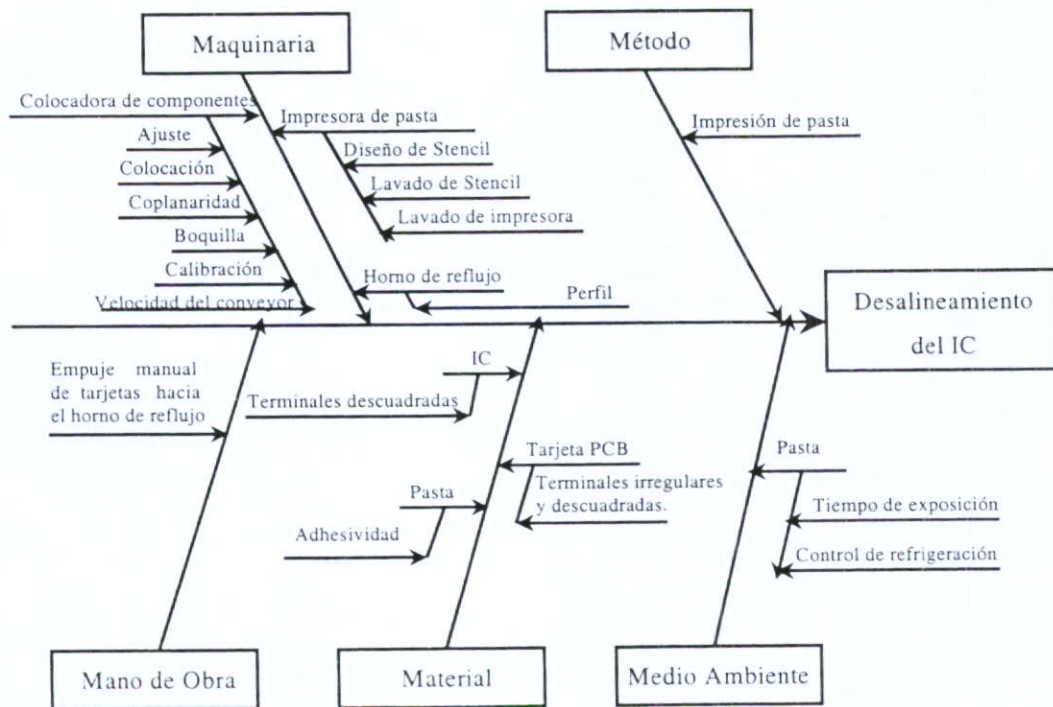


Figura 4.4 Diagrama Causa-Efecto.

Una vez definidas las posibles causas de acuerdo a la lluvia de ideas de los ingenieros expertos, se comenzó estudiando algunas de ellas para ir eliminando variables. Por lo tanto, aquí las conclusiones:

- **Mano de Obra.**

- Causa: Empuje manual de las tarjetas hacia el horno de reflujo.
- Acción/Experimento: Se inspeccionaron 50 tarjetas antes y después del horno, con el mismo operador, para eliminar la variable de criterios visuales.

Se utilizaron las mismas tarjetas para ambas inspecciones para conocer el efecto del horno, ya que se pretendía descubrir si éste contribuye al desplazamiento del IC durante este proceso, o ayuda a eliminarlo por el flujo de aire que existen dentro de él. Las tarjetas fueron marcadas para no perder su seguimiento. Todas las unidades fueron ensambladas para ser probadas en los equipos de simulación funcional, para determinar si cumplían con las especificaciones de producto terminado y así poder embarcarse al cliente. Se empleo la Tabla 4.1 para la colección de datos.

Tabla 4.1 Colección de datos para el experimento de tarjetas en el horno de reflujo.

Corrida	Número de serie	Inspección antes de horno	Inspección después de horno	Prueba funcional
1				
2				
-				
-				
49				
50				

- Resultado: En la inspección antes del horno se observó un 10% de defectivo (5 piezas), mientras que al final de éste se obtuvo un 4% (2 piezas).
- Conclusión: El horno de reflujo ayuda a eliminar algunos problemas de desalineación. No es causa raíz del problema.

- **Material.**

- Causa: Terminales descuadradas del IC.
- Acción/Experimento: Se inspeccionaron visualmente al 100% los contenedores del integrado justo antes de introducirlo al proceso, es decir, se inspeccionó en su empaque original, para determinar la posibilidad de un mal manejo por parte del proveedor o del departamento de recibo de materiales de la compañía. Esta labor se ejecutó durante cinco días para tomar varios lotes. Aproximadamente se inspeccionaron 7,000 componentes donde ni siquiera se llegó al 1% de defectivo.
- Resultado: No se encontraron signos de defecto en la inspección visual sobre mal manejo como golpes, terminales dobladas, empaques húmedos o componentes revueltos.
- Conclusión: La calidad de las terminales del componente es aceptable. No es causa raíz del problema.

Para eliminar la variable del componente, éste se comparó contra las especificaciones del proveedor, donde se tomó una muestra de mas de 100 unidades, donde todas estuvieron dentro de lo esperado, de tal manera, se determinó que el componente no es causa raíz.

Respecto al horno de reflujo, se revisó el perfil que recomienda el proveedor de la pasta contra el que calculó ingeniería de procesos, encontrándose ambos muy parecidos, sin desviaciones preocupantes. Descartándose alguna posible influencia en nuestra variable de respuesta.

Capítulo 5

DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

Para la evaluación de las variables restantes sobre el impacto del desalineamiento del IC, se realizó un diseño de experimentos Taguchi L32. Pero ¿por qué se eligió Taguchi? Este autor permite realizar las corridas experimentales sin parar la línea de producción, lo cual, lo hace atractivo para situaciones donde realizar un paro a la producción provoca pérdidas considerables para la compañía. Esta fue la razón por la que se decidió efectuar el experimento bajo la metodología Taguchi.

Se tomaron siete variables, que a partir de este momento les llamaremos factores, donde cada uno de ellos tiene dos niveles, es decir, un valor inferior y otro superior.

La Tabla 5.1 muestra la distribución de los factores y sus niveles, además de las unidades de medición.

Tabla 5.1 Factores del experimento y sus niveles.

FACTORES	NIVELES		UNIDADES
	INFERIOR	SUPERIOR	
Altura de la soldadura en pasta (stencil)	5	6	mils
Tipo de tarjeta	1	2	1=HASL (Lisa), 2= Dome Shape (Concava)
Boquilla	9.15	14	mm (diámetro)
Velocidad del conveyor (Máquina colocadora)	45	60	ipm
Viscosidad Soldadura / Temperatura impresora	22	26	°C
Coplanaridad en la colocadora	1	2	1= Activada 2=Desactivada
Altura de colocacion	1	2	1= Ajustada, 2=Normal

El experimento se realizó bajo un arreglo ortogonal L32 debido al número de factores y de interacciones. La Figura 5.1 muestra el gráfico de un arreglo L32.

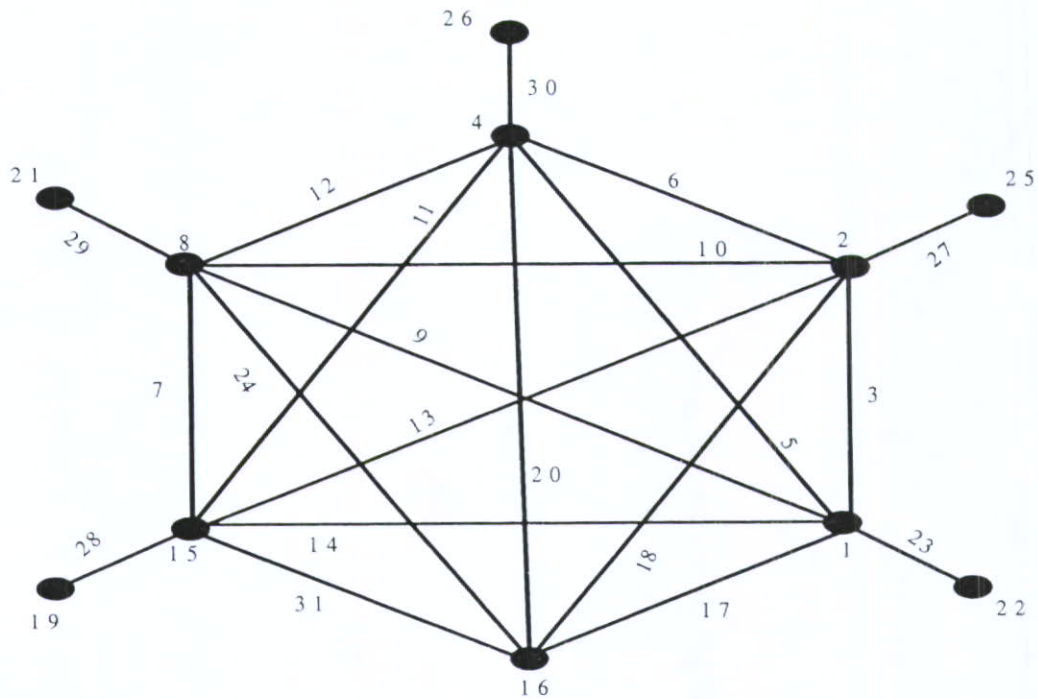


Figura 5.1 Arreglo gráfico del arreglo ortogonal L32.

Los factores que se tomaron en cuenta para el desarrollo del experimento, se obtuvieron una vez que fueron quedando seleccionados debido a que los demás se excluyeron por considerarse no impactantes. Esta decisión fue dada por el equipo de ingenieros expertos y por las acciones correctivas y preventivas tomadas.

Los factores se ordenaron de acuerdo a su grado de dificultad, es decir, al factor que implica mayor problema el moverlo o modificarlo se le asignó el número 1 y así sucesivamente. Además, se tomaron en cuenta tres interacciones de factores, los cuales contribuyen a la variable de respuesta. De tal forma, la Tabla 5.2 nos muestra el orden de dificultad y las interacciones.

La variable de respuesta se dividió en tres atributos:

- 1 = Alineado.
- 2 = Poco desalineado, pero dentro de criterio.
- 3 = Desalineado. Necesita reparación.

Tabla 5.2 Orden de dificultad de los factores y sus interacciones.

Orden de dificultad	Etiqueta de la variable	Factores	Interacciones
1	A	Altura de la soldadura en pasta (stencil)	AB
2	B	Tipo de tarjeta	AE
3	C	Boquilla	BD
7	D	Velocidad del conveyor (Máquina colocadora)	
4	E	Viscosidad Soldadura / Temperatura impresora	
6	F	Coplanaridad en colocadora	
5	G	Altura de colocación	

Tomando la base del arreglo gráfico del diseño L32 que muestra la Figura 5.1, el modelo para este experimento queda de la siguiente forma, tal y como lo muestra la Figura 5.2

El orden de dificultad que aparece en la Tabla 5.2 se toma para asignar los nodos que muestra la Figura 5.2, es decir, a la variable A se le asigna el nodo 1. En el caso de las interacciones se les asigna el número que una a los nodos que interactúan entre sí. Por ejemplo, para AB se la asigna el número 3 porque así lo indica la línea que une al nodo 1 con el 2, ya que a B le corresponde el nodo 2, por ser el segundo factor con mayor orden de dificultad.

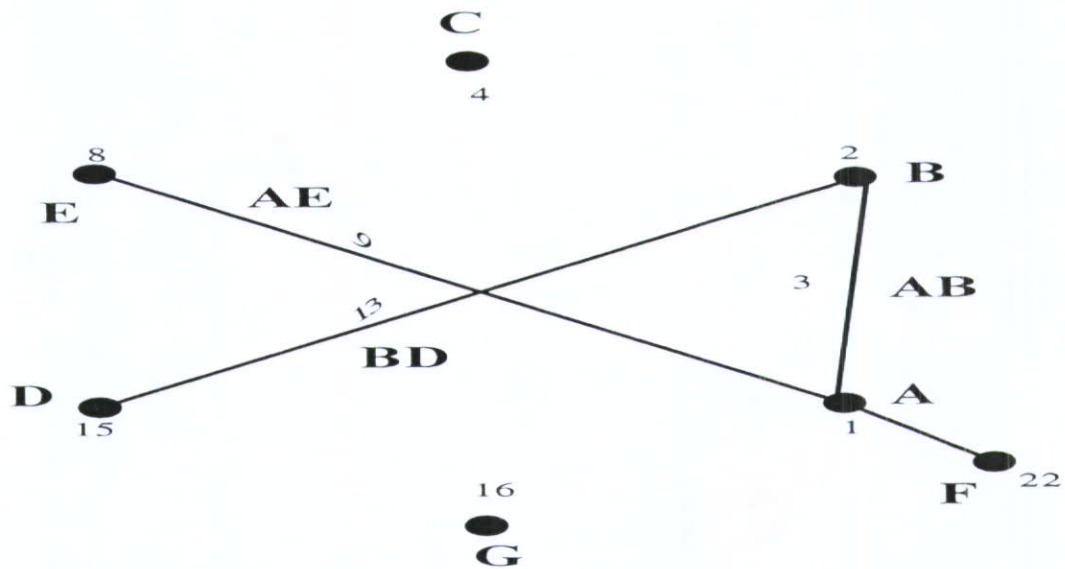


Figura 5.2 Arreglo gráfico para el experimento.

La manera en que se lee dicha tabla es la siguiente, en la fila de los nodos e interacciones, se acomodan los factores de acuerdo al orden que se les asignó en el gráfico del mismo arreglo L32. Los valores 1 y 2 son los niveles inferior y superior respectivamente con que estará cambiando el factor. Cada fila de las corridas, muestra una combinación distinta entre factores y sus niveles, obteniéndose así una variable de respuesta para cada una de dichas combinaciones.

Tabla 5.3 Configuración de las corridas experimentales.

Nodos e interacciones		A	B	AB	C	E	AE	BD	G	F	D
Corridas experimentales	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
	3	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2
	4	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1
	5	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1
	6	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2
	7	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2
	8	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1
	9	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1
	10	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2
	11	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2
	12	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1
	13	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1
	14	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2
	15	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2
	16	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1
	17	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
	18	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1
	19	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1
	20	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2
	21	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2
	22	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1
	23	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1
	24	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1
	25	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2
	26	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1
	27	2	2	1	1	2	1	1	1	2	1
	28	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2
	29	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2
	30	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1
	31	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1
	32	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2

La Tabla 5.3 muestra la manera en que deben ejecutarse las corridas experimentales para el arreglo L32.

5.1 ELABORACION DEL ANÁLISIS DE VARIANZA

Iniciamos con los resultados de la tabla de respuesta obtenida de las 32 corridas experimentales. Nótese que en la Tabla 5.4 los valores de los niveles son de 1 y -1 , donde por cuestiones de simplificación del análisis es conveniente manejarlos así y manejamos letras para reconocer a las diferentes variables, dichas letras se especifican en la Figura 5.2. Entonces el nivel inferior toma el valor de -1 , mientras que el superior toma 1. La tabla de respuesta entonces queda como lo muestra la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Tabla de respuesta del experimento.

corridas	A	B	AB	C	E	AE	ED	G	F	D	Variable de respuesta
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2
2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	3
3	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	3
4	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	2
5	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	2
6	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	3
7	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	2
8	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	2
9	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	3
10	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	3
11	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	3
12	-1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	2
13	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	2
14	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	2
15	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	2
16	-1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	2
17	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	2
18	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	2
19	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	2
20	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	2
21	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	2
22	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1
23	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1
24	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1
25	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	2
26	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	2
27	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	2
28	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	2
29	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	3
30	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	2
31	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
32	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1

Ahora procederemos a realizar el análisis de varianza siguiendo los siguientes pasos:

1. Promedio de la variable de respuesta.

y: valores de la variable de respuesta.

n: número de corridas

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{\sum y}{n} \\ &= \frac{2 + 3 + 3 + + 2 + + 2 + 1 + 1}{32} \\ &= 2.06 \end{aligned}$$

2. Tabla 5.5 Respuestas de los efectos por niveles de cada factor.

	A	B	AB	C	E	AE	BD	G	F	D
NIVEL 1	2.38	2.00	2.13	2.31	2.25	2.00	2.19	2.13	2.06	1.88
NIVEL 2	1.75	2.13	2.00	1.81	1.88	2.13	1.94	2.00	2.06	2.25
Diferencia	0.63	0.13	0.13	0.50	0.38	0.13	0.25	0.13	0.00	0.38

3. Suma total de cuadrados.

$$\begin{aligned} ST &= \sum y^2 \\ &= 2^2 + 3^2 + 3^2 + 2^2 + + 2^2 + 1^2 + 1^2 \\ &= 148 \end{aligned}$$

4. Suma de cuadrados de la media.

$$\begin{aligned} Sm &= n \bar{y}^2 \\ &= 32 (2.06)^2 \\ &= 136.13 \end{aligned}$$

5. Suma de cuadrados de los factores.

$$\begin{aligned}SA &= n_{A1} * \overline{A1}^2 + n_{A2} * \overline{A2}^2 - Sm \\n_{A1} &= n_{A2} = 16 \\ \therefore SA &= 16(\overline{A1}^2 + \overline{A2}^2) - Sm \\ &= 16[(2.38)^2 + (1.75)^2] - 136.13 \\ &= 3.12\end{aligned}$$

SA = Suma de cuadrados del factor A.

$n_{A1} = n_{A2}$ = Número de corridas por cada nivel

$\overline{A1}^2$ = Promedio de la variable de respuesta para el nivel inferior del factor A.

$\overline{A2}^2$ = Promedio de la variable de respuesta para el nivel superior del factor A.

La suma de cuadrados para los demás factores se calcula de la misma manera.

6. Suma de cuadrados del error.

$$\begin{aligned}Se &= ST - Sm - SA - SB - SAB - SC - SE - SAE - SBD - SG - SF - SD \\ &= 148 - 136.13 - 3.12 - 0.12 - 0.12 - 2 - 1.12 - 0.12 - 0.5 - 0.12 - 1.12 \\ &= 3.5\end{aligned}$$

7. Media de la suma de cuadrados.

Es calculada dividiendo la suma de cuadrados del factor entre el número de grados de libertad. Para el factor A, queda de la siguiente manera:

v_A : grados de libertad del factor A.

$$\begin{aligned}Mq_A &= \frac{SA}{v_A} \\ &= \frac{3.12}{1} \\ &= 3.12\end{aligned}$$

La media de los demás factores se calcula de forma similar.

8. F calculada.

Se calcula dividiendo la media de la suma de cuadrados por la media de la suma de cuadrados del error.

Primero calculamos la media de la suma de cuadrados del error, la cual se obtiene dividiendo la suma de cuadrados del error por sus grados de libertad. Entonces la ecuación queda así:

$$\begin{aligned}Mq_e &= \frac{Se}{vSe} \\ &= \frac{3.5}{21} \\ &= 0.166\end{aligned}$$

Para el factor A, la F calculada quedaría de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 F_A &= \frac{Mq_A}{Mq_e} \\
 &= \frac{3.12}{0.166} \\
 &= 18.75
 \end{aligned}$$

Para los demás factores, el análisis es igual.

Con los resultados obtenidos podemos ahora formar nuestra tabla de análisis de varianza, la cual se muestra en la Figura 5.3.

Aquellas variables donde la columna de la F calculada sea mayor a la F de tablas para un intervalo de confianza del 99%, serán las que tengan una influencia significativa en la variable de respuesta. En este caso las que sean mayores a 8.02.

TABLA ANOVA

F de tablas (99%)

8.02

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	MEDIAS CUADRADAS	F Calculada
A	3.13	1.00	3.13	18.75
B	0.13	1.00	0.13	0.75
AB	0.13	1.00	0.13	0.75
C	2.00	1.00	2.00	12.00
E	1.13	1.00	1.13	6.75
AE	0.13	1.00	0.13	0.75
BD	0.50	1.00	0.50	3.00
G	0.13	1.00	0.13	0.75
F	0.00	1.00	0.00	0.00
D	1.13	1.00	1.13	6.75
Se	3.50	21.00	0.17	1.00
St	11.88	31.00		51.25
ST	148.00	32.00		

Figura 5.3 Tabla ANOVA. (Análisis de varianza)

Capítulo 6

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla del análisis de varianza del capítulo anterior Figura 5.3, se define que los factores A y C son los que tienen un mayor impacto en la variable de respuesta. Cabe mencionar que esos resultados son obtenidos bajo un intervalo de confianza del 99%, de tal manera, que cuando analizamos un intervalo al 95%, además de estar involucradas las variables antes mencionadas, también se involucran D y E., porque son mayores a la F de tablas al 95%, en este caso mayor a 4.32.

Para el factor A, Altura de soldadura en pasta (stencil), se tomó la decisión de trabajar solamente con el stencil de 6 mils, ya que deja un mayor volumen y por lo tanto, mayor altura de soldadura en pasta, lo cual ayuda a una mejor unión de los componentes.

Se implementó un control estadístico de procesos en la operación de impresión de soldadura en pasta, para la variable de altura. Para ello, se utilizan gráficos XR, tomando seis mediciones cada hora. Esto se lleva a cabo, para garantizar que la altura de la pasta sea la adecuada para evitar insuficiencias y así, provocar que el componente sea desplazado en el horno de reflujo.

Durante algunas evaluaciones de inspección rutinaria, se observó que las terminales de la tarjeta estaban demasiado justas con respecto a las terminales del componente en cuestión, incluso en algunos casos, éstas eran más pequeñas que las del componente mismo. Esto provocaba que con cualquier leve desplazamiento se saliera de especificaciones de inspección y así provocar un retrabajo. Para dar solución a este problema, fue necesario realizar un rediseño a las terminales de la tarjeta, es decir, hacerlas más grandes, cuidando no provocar cortos circuitos entre las mismas.

Para el factor C, boquilla de colocación de componente, se trabajó con dos medidas, la primera de 9.15 mm puede sostener un componente con un peso de 40 gramos.

El experimento indica que la boquilla de 14mm de diámetro tuvo un mejor desempeño. En las evaluaciones de dicha boquilla se observó que cuando el componente se colocaba con la opción de paso-a-paso se conseguía una mejor exactitud que en el modo normal. Esto se debió a que la velocidad afecta la precisión de colocación debido a la relación entre la inercia del movimiento y la fuerza de succión.

Debido a la inestabilidad económica actual, este proyecto ha bajado su demanda cerca del 75%, por lo que se decidió omitir la presentación del estado actual del mismo ya que dicha información no es representativa con respecto a la Figura 4.1.

APÉNDICE A: BIBLIOGRAFÍA

- Chaudhuri, A.K., Majumdar, Anup. *Ingeniería de calidad mediante el enfoque Taguchi*. IMECCA (Instituto Mexicano de Control de Calidad, A.C.) <http://www.imecca.com.mx>
- Prasad, Ray P., *Surface Mount Technology "Principles and practice"*, USA 1999 Second edition, Kluwer Academic Publishers ISBN: 0-412-12921-3
- Kuehl, Robert O., *Diseño de Experimentos*, 2da. edición, Thomson Editores ISBN (inglés) 0-534-36834-4
- SMT: The Magazine for Electronics Assembly. *Zero defect inspection*, July 2001. Volume 15, No.7
- SMT: The Magazine for Electronics Assembly, *Test and Inspection*, October 2000. Volume14, No.10
- SMT: The Magazine for Electronics Assembly, *Adhesive Deposition*, December 2000. Volume 14, No.12.
- SMT: The Magazine for Electronics Assembly. *Moisture sensitive devices*. March 2001. Volume 15, No.3
- Zarrow, Phil, *SMT Manufacturing workshop* Durham, New Hampshire 03824 USA. ITM Consulting E-mail: ITM@itm-smt.com
- Montgomery, Douglas C., *Diseño y Análisis de Experimentos*, Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F., ISBN (inglés) 0-471-52000-4 ISBN (español) 968-7270-60-8
- SMT: The Magazine for Electronics Assembly, *Guide to Inspection*, March 2001 Special supplement.
- SMT: The Magazine for Electronics Assembly, *Guide to Printing and Soldering* September 2000, Special supplement.
- SMT: The Magazine for Electronics Assembly, *Guide to Component Placement* November 2000, Special supplement.
- SMT: The Magazine for Electronics Assembly, *Placement Accuracy*, November 2000. Volume 14, No.11

APENDICE B: GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

BGA's: Dispositivo con terminales cilíndricas.

CAD: Diseño Asistido por Computadora.

Componente Pasivo: Clasificación de los componentes electrónicos donde se incluyen los inductores, capacitores y resistores.

Componente Activo: Clasificación de los componentes electrónicos donde se incluyen los transistores, diodos, circuitos integrados, BGA's y memorias.

CTE's: Coeficiente Térmico de Expansión.

DIP's: Dispositivos de doble línea.

Estándar J-STD-004: Estándar de la industria electrónica para las uniones de soldadura.

Fine Pitch: Dispositivo con una distancia entre sus terminales de 25 milésimas.

Hardware: Dispositivos físicos de un equipo de cómputo.

LCCC's: Dispositivos integrados cerámicos.

MELF's: Transistores cilíndricos.

Mils: Milésimas.

PCB Tarjeta de Circuito Impreso.

Pitch: Distancia entre terminales del dispositivo.

PLCC's: Dispositivo integrado plástico.

PQFP's: Dispositivo delgado cuadrado plástico.

QFP: Dispositivo delgado cuadrado.

SMT: Tecnología de Montaje Superficial.

SO: Dispositivos pequeños fuera de línea.

Software: Componentes no visibles que administran el funcionamiento de una computadora.

SOIC: Circuito Integrado pequeño fuera de línea.

SOT's: Transistores pequeños fuera de línea.

Squeegee: Pala barredora.

Stencil: Molde para impresión de soldadura en pasta.

TCP: Dispositivo con tecnología de cinta.

Ultra Fine Pitch: Dispositivo con una distancia entre sus terminales de 5 milésimas o menos.

Yield: Eficiencia de productividad.

APÉNDICE C: REFERENCIAS

- [1] J-STD-005. Requirements for soldering pastes. Available from IPC, Northbrook, IL.
- [2] J-STD-004. Requirements for soldering fluxes. Available from IPC, Northbrook, IL.
- [3] Roome, D.R., "Cutting through complexity. How SQC can help" Printed Circuit Assembly, July 1987, pp. 16-18.
- [4] Keane, T.P., "JIT and SPC, a checklist" Manufacturing Systems, October 1987, p.22.

