

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY**

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



**TECNOLOGIA MIXTA EN LOS PROCESO DE ENSAMBLE
DE TARJETAS ELECTRONICAS
PASTE IN HOLE REFLOW (PIHR)**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
CON ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE MANUFACTURA**

POR

JUAN PEDRO HINOSTROZA DIAZ

MONTERREY, N. L.

MARZO DEL 2002

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLOGÍA MIXTA EN LOS PROCESO DE ENSAMBLE DE TARJETAS
ELECTRÓNICAS
PASTE IN HOLE REFLOW (PIHR)**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS CON
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE MANUFACTURA**

POR:

JUAN PEDRO HINOSTROZA DIAZ

MONTERREY, N. L.

MARZO DE 2002

Dedicatoria

A Dios nuestro señor por permitirme llegar hasta esta nueva etapa de mi vida y brindarme la fortaleza necesaria para seguir adelante aun en los momentos más difíciles de mi vida y de mi carrera.

A mis Padres por apoyarme en todo momento y enseñarme los verdaderos valores de esta vida. A mi madre Lupe por haberme dado la vida y tenerme siempre presente en sus oraciones y por todo el amor que me ha brindado. A mi padre Juan Pedro por enseñarme a luchar en esta vida demostrándome con su ejemplo a ser perseverante en el trabajo sin descuidar los valores de una familia.

A mis hermanos con quienes he convivido gran parte de mi vida momentos tristes y momentos alegres, Rosa, Sandra, Ricardo y Geovanna, y que siempre me han alentado para seguir buscando lo que más deseo apoyándome en las decisiones que he tomado.

Agradecimientos

A mis maestros por ser un escalón para cumplir una nueva etapa en mi vida en mis estudios.

A mi asesor el Dr. Alejandro Manríquez por su valioso apoyo para la realización de este trabajo de tesis.

A M.C. Francisco Tamayo y el Dr. Oscar Molina por haber aceptado ser mis sinodales y contribuir así a la realización de esta tesis.

A mis amigos Alex, Jhonny, Oscar y Ernesto por su apoyo incondicional ante los momentos alegres y difíciles durante mis estudios de maestría, por su amistad que espero perdure por siempre.

A mi abuelita Carolina por brindarme su apoyo en mi decisión de estudiar mi maestría.

A todos mis amigos que me brindaron su amistad y que conocí durante mis estudios de maestría y que hicieron posible una estancia más agradable en ésta ciudad.

Al sistema de becas crédito FAPPI por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de maestría en el ITESM campus Monterrey.

Resumen

Actualmente las empresas de manufactura electrónica aún emplean en sus ensambles de tarjetas los dos tipos de tecnologías, la tecnología de montaje superficial (SMT) y la tecnología de sujeción por orificio (TH). Aunque en los últimos años el tamaño de los componentes ha ido disminuyendo y el montaje superficial de componentes va en aumento, aún existen componentes TH que son muy necesarios. Esto lleva a tener que utilizar una línea de producción para el ensamble de componentes superficiales y otra línea para el soldado y montaje principalmente de componentes TH. De esta manera resulta atractiva la forma de poder ensamblar los componentes TH a través de la línea de montaje superficial para poder eliminar tiempos de proceso, maquinaria, operadores y costos de mantenimiento principalmente. Esto hace que las instituciones o empresas del ramo de manufactura electrónica busquen una metodología que se adapte a los cambios de los componentes electrónicos, es decir, se busca una manufactura más flexible, la cual pueda ser capaz de reaccionar a los cambios de una manera más rápida y eficiente.

Esta tesis presenta una metodología para el cálculo de las aperturas que permite determinar el área adecuada de las aperturas que debe tener el estencil para poder depositar la cantidad de pasta suficiente en el PCB en los orificios donde se colocaran los componentes TH. Al análisis se hará de acuerdo a la norma de aceptabilidad de ensambles IPC-A-610. Para realizar la validación de esta metodología se requiere del ensamble de tarjetas electrónicas el cual se llevara a cabo en la línea de ensamble del programa SMT del ITESM. En este trabajo se comparan dos tipos diferentes de aperturas, 1) las obtenidas en base a la metodología propuesta y 2) las obtenidas en base a la experiencia. Los resultados se muestran utilizando una comparación de proporciones y determinar con base estadística cual de los tipos de aperturas produce menos defectos. Después de este análisis se realiza una validación de los datos a través de una segunda corrida (ensamble de tarjetas) para determinar si las condiciones obtenidas, efectivamente funcionan y son las adecuadas.

Índice

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Lista de figuras	VII
Lista de Tablas	VIII
Lista de Gráficas	VIII
Abreviaturas	IX
Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2. Definición del Problema	1
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivo	2
1.5. Hipótesis	2
1.6. Metodología	2
1.7. Alcance	3
1.8. Organización de la tesis	3
Capítulo 2. Marco Teórico	4
2.1 Clasificación de Productos electrónicos	4
2.2. Normas	5
2.2.1 Soldadura de la terminal del componente en el orificio del PCB	5
2.2.2 Soldadura de terminales superficiales	6
2.3 Material	8
2.3.1 Componentes electrónicos	8
2.3.2 Componentes SMD	8
2.3.3 Componentes TH	9
2.3.4 Odd components	9
2.3.5 PCB	10
2.4 Material para tecnología de montaje superficial y soldadura por reflujo (SMT)	10
2.4.1 Esténcil	10
2.4.2 Pasta de soldadura	11
2.5 Material para Tecnología de Soldadura por Ola	11
2.5.1 Barras de soldadura.	11
2.5.2 Flux	11
2.6. Tecnologías de ensamble	13
2.6.1 Introducción	13
2.6.2. Proceso SMT	13
2.6.3. Colocación de componentes Through Hole para soldadura por Ola	18

2.7. Procesos de soldadura	18
2.7.1 Soldadura por reflujo	18
2.7.2 Soldadura por ola	20
2.8. Tecnología Mixta por reflujo	23
2.8.1. Descripción	23
2.8.2. Tendencias	23
2.8.3. PIHR	24
2.8.4. Modelo empírico (Caso de estudio previo)	25
2.8.5. Otros casos	31
2.9. Línea de ensamble SMT del CSIM	34
2.9.1. Descripción de las máquinas	35
2.10. Diseño de Manufactura y Ensamble	36
Capítulo 3. Desarrollo del modelo	37
3.1 Introducción	37
3.2 Parámetros	37
3.3 Material proporcionado	37
3.4. Cálculo de volúmenes	38
3.4.1 Modelo	39
3.5 Aperturas	42
3.6 Comparación de proporciones	43
Capítulo 4. Procedimiento	45
4.1 Aperturas de la tarjeta	45
4.2 Elaboración de esténcil	46
4.3 Requisición de esténcil	47
4.4 Parámetros	48
4.5 Proceso de ensamble y soldadura para componentes SMD	48
4.6 Proceso del horno de reflujo	49
4.7 Pruebas de laboratorio	49
4.8 Ensamble de componentes TH	49
4.9 Pulido de las muestras	49
4.10 Preparación de la Resina	50
4.11 Uso del Perfilometro	50
Capitulo 5. Resultados	52
5.1 Desarrollo del caso de estudio	52
5.2 Componentes y datos requeridos	53
5.3 Resultados	54
5.4 Corrida de prueba / validación	55
5.4.1 Selección de parámetros de impresión	55
5.4.2. Tipo de pasta	56
5.4.3. Corridas para determinar parámetros del proceso SMD	56
5.4.4. Corridas de muestras con componentes TH	57
5.4.5. Pruebas de laboratorio de componentes TH	58
5.5. Comparación de proporciones	59
5.6 Validación de los datos	63

Descripción de los componentes	65
Capítulo 6. Conclusiones	67
6.1 Conclusiones	67
6.2 Recomendaciones	68
6.3 Consideraciones Futuras	69
Anexo A. Pastas de soldadura	70
Anexo B. Cálculos Geométricos	79
Anexo C. Formas de llenado	81
Anexo D. Diagramas de Causa-Efecto de los defectos de soldadura	85
Glosario	88
Referencias	90
Vita	92

Lista de figuras

Figura 2. 1 Soldadura en el <i>plated through-hole</i> sin terminales [1]	5
Figura 2. 2 Ángulos de contacto para componentes SMD [1]	6
Figura 2. 3 Criterios de dimensión para componentes SMD [1]	7
Figura 2. 4 Componentes SMT	8
Figura 2. 5 Componentes TH	9
Figura 2. 6 Clasificación de <i>odd components</i>	10
Figura 2. 7 Barras de soldadura Sn/Pb	11
Figura 2. 8 Tipos de flux	12
Figura 2. 9 Diagrama de flujo del proceso para una línea SMT con ensamble de SMDs únicamente.	15
Figura 2. 10 Línea de producción SMT típica	15
Figura 2. 11 Angulo de ataque del squeegee	16
Figura 2. 12 Perfil típico de temperatura en el proceso de reflujo para soldadura PbSn	20
Figura 2. 13 Proceso típico de soldadura por ola	21
Figura 2. 14 Máquina de soldadura por ola	22
Figura 2. 15 Tendencias en el desarrollo de componentes electrónicos.	24
Figura 2. 16 Fotos <i>cross section</i> del modelo empírico, primer análisis	26
Figura 2. 17 Fotos <i>cross section</i> del modelo empírico, segundo análisis	27
Figura 2. 18 Áreas de apertura para el tablero T2E	28
Figura 2. 19 Parámetros óptimos del proceso	32
Figura 2. 20 Línea de ensamble SMT	34
Figura 3. 1 Terminal en el PCB [20]	39
Figura 3. 2 Dirección de las áreas de apertura	42
Figura 3. 3 Algunos tipos de áreas de apertura para el estencil	42
Figura 3. 4 Ilustración de la apertura para el deposito de soldadura	43
Figura 3. 5 Gráfica de la distribución normal	44
Figura 4. 1 Aperturas del tablero T2	45
Figura 4. 2 Solder Mask	46
Figura 4. 3 Negativo del estencil	47
Figura 4. 4 Software del perfilometro (Analyzer)	51
Figura 5. 1 Diagrama del proceso	52
Figura 5. 2 Diseño de las aperturas para la elaboración del estencil. Las medidas están en pulgadas	55
Figura 5. 3 Especificaciones sobre la pasta de soldadura multicore [26]	56
Figura 5. 4 Sección transversal de los componentes ensamblados en SMT	56
Figura 5. 5 Sección transversal de los componentes ensamblados en SMT con una presión de 18 Mpa.	57
Figura 5. 6 Perfil para componentes TH para el horno de reflujo	57
Figura 5. 7 Muestras de cross section de componentes SMD del caso de estudio	58

Figura 5. 8 Gráfica de la distribución normal donde se muestra el estadístico de prueba en el área de rechazo de H_0 . 61

Lista de Tablas

Tabla 2. 1 Condiciones mínimas aceptables para componentes TH [1]	5
Tabla 2. 2 Criterios de dimensión [1]	7
Tabla 2. 3 Materiales de soldadura	19
Tabla 2. 4 Descripción de los componentes TH en el tablero T2E	28
Tabla 2. 5 Tiempos de producción	29
Tabla 2. 6 Distribución de personal	30
Tabla 2. 7 Prueba de dominancia	30
Tabla 3. 1 Componentes TH	38
Tabla 4. 1 Aperturas del tablero	45
Tabla 4. 2 Principales parámetros	48
Tabla 5. 1 Datos de los componentes TH	53
Tabla 5. 2 Datos requeridos para los cálculos de aperturas	53
Tabla 5. 3 Resultados de los cálculos realizados	54
Tabla 5. 4 parámetros de impresión	55
Tabla 5. 5 Datos obtenidos de las observaciones de laboratorio a las muestras.	59
Tabla 5. 6 Condiciones para el proceso PIHR	63
Tabla C. 1 Forma 1 de llenado para el ensamble de tarjetas electrónicas en el Programa SMT del ITESM	82
Tabla C. 2 Forma 2 de llenado para el ensamble de tarjetas electrónicas en el Programa SMT del ITESM	83
Tabla C. 3 Forma 3 Tabla de llenado para el ensamble de tarjetas electrónicas en el Programa SMT del ITESM	84

Lista de Gráficas

Gráfica 2. 1 Gráfica de los tiempos de producción	29
Gráfica 2. 2 Proceso vs Tiempo	30
Gráfica 2. 3 Proceso vs Costo	30
Gráfica 5. 1 Gráfica de distribución normal con zona de incertidumbre	62
Gráfica 5. 2 Gráfica del número de componentes con buena unión	65

Abreviaturas

ANSI	American National Standard Institute	Instituto de estándar nacional americano
BGA	Ball Grid Array	
CSIM		Centro de Sistemas Integrados de Manufactura
DFA	Design For Assembly	Diseño para Ensamble
DFM	Design For Manufacturing	Diseño para Manufactura
DOE	Design of experiments	Diseño de experimentos
IC	Integrated circuit	Circuito integrado
IEC	International Electrotechnical Comision	
IPC	Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits	
PCB	Printed circuit board	Tarjeta de circuitos impresos
PIHR	Paste in hole reflow	Reflujo de pasta en el orificio
PLCC	Plastic leaded chip carrier	
QFP	Quadratic flat pack	SMD del tipo cuadratico plano
SMD	Surface mount device	Componente de montaje superficial
SMT	Surface mount technology	Tecnología de montaje superficial
TH	Through hole technology	Tecnología de sujeción mediante orificios
DIP	Dual in-line package	Encapsulado doble en línea

Capítulo 1 Introducción

1.1 Antecedentes

El constante crecimiento del mercado de productos electrónicos hace necesario producir en altas cantidades y con muy buena calidad y a bajo costo, y esto hace que las empresas de la industria electrónica busquen constantemente formas nuevas en sus sistemas de producción.

El área de la industria electrónica es muy amplia y abarca tanto a la manufactura, ensamble y proveedores de los componentes para el ensamble de tarjetas electrónicas. En México como en las empresas del mundo, se busca implementar sistemas más automatizados que permitan el ensamble de volúmenes muy grandes en periodos de tiempo corto y a bajo costo.

Se busca también que al introducir un nuevo producto al mercado este tipo de industrias sea eficiente en el tiempo de respuesta al cliente en cuanto a cotizaciones. Esto ayuda a la empresa a tomar decisiones más prontas y de forma más segura.

Es indudable que el proceso de la globalización económica está modificando las estructuras organizacionales de la mayoría de las industrias a nivel mundial. Conforme la competencia comercial se incrementa, obliga a las plantas manufactureras en México a que sus productos sean competitivos a nivel internacional mediante la utilización de recursos humanos y técnicas avanzadas de manufactura, capaces de desarrollar procesos productivos que respondan con rapidez a los cambios del mercado.

1.2. Definición del Problema

En la industria de ensamble de tarjetas electrónicas se hace cada vez más necesario contar con sistemas que optimicen el proceso de elaboración de un nuevo producto, para cumplir con los requerimientos del cliente. Con los sistemas actuales de producción es posible elaborar cantidades muy altas de productos en periodos de tiempo relativamente cortos, pero se requiere todavía en muchas industrias de un gran tiempo para generar el plan de trabajo adecuado al introducir un nuevo producto, un plan que abarque todas las áreas que intervienen en el ensamble de este nuevo producto.

Además de esto es necesario que se logre reducir aún más el tiempo requerido para el ensamble de los componentes en las tarjetas que pueden ser ensambladas bajo las tecnologías de Through hole y Reflow. Aún cuando la fabricación de componentes sigue la tendencia hacia tamaños cada vez más pequeños y en formato SMD (Surface mount device) aún siguen existiendo componentes TH (Through Hole) que son necesarios para una gran mayoría de tarjetas electrónicas. Por esta razón el proceso de soldadura por ola aún se utiliza en todas las empresas que requieren de ensamblar este tipo de componentes en sus tarjetas. Buscando maximizar la eficiencia del proceso general, se identifica la

oportunidad de aplicar el proceso PIHR por el cual se puede combinar las dos tecnologías y ensamblar los componentes de TH en el horno de Reflujo.

1.3. Justificación

Para lograr economizar tiempo y recursos es necesario siempre buscar nuevas formas de proceso, como lo es el caso de ensamble de tarjetas electrónicas que se realiza en muchos casos todavía mediante soldadura por ola y soldadura por reflujo. Sin embargo debido a la constante reducción de componentes TH al ser sustituidos por SMD resulta costoso tener el proceso de soldadura por ola para soldar solo unos cuantos componentes TH.

Con la generación de un procedimiento para determinar las aperturas en el estencil se permitirá una rápida obtención de resultados al implementar el método de PIHR (Paste In Hole reflow) en el ensamble de una tarjeta electrónica.

Soldar componentes mediante el horno de reflujo resulta en una ventaja en cuanto al ahorro de tiempo y dinero. Esta trabajo de tesis busca mostrar el beneficio de un procedimiento para determinar la apertura requerida en el estencil para la colocación de pasta de soldadura en un proceso PIHR.

1.4. Objetivo

Determinar las condiciones bajo las cuales un proceso de ensamble por tecnología mixta PIHR en los que se utilizan componentes TH y SMD pueden ser soldados solo por reflujo, cumpliendo con la norma de aceptabilidad de ensambles IPC-A-610 [1], y mostrar el beneficio del nuevo proceso.

1.5. Hipótesis

Es posible realizar el proceso de colocación de componentes TH mediante el proceso de soldadura por reflujo, mediante la colocación de pasta en los orificios de TH, realizando los cálculos correctos para lograr depositar la suficiente cantidad de pasta requerida para una buena unión de soldadura.

1.6. Metodología

En la elaboración de este proyecto se utilizará el método científico, y se hará uso del método experimental, así como también la investigación de campo y la bibliográfica.

Se recopilará información referente a los componentes para determinar el tamaño de la apertura que tendrá el estencil para la colocación de pasta en la apertura del PCB para los componentes TH y la temperatura que pueden soportar, esto con el fin de saber si los mismos podrán ser soldados bajo el horno de reflujo.

Será necesario determinar el tamaño de la apertura y la forma de la misma, así como el orden y posición dónde se colocarán los componentes TH (cuales antes y cuales después de la colocadora de componentes SMD).

Una vez que pasen los componentes soldados se les realizaran pruebas para determinar si la soldadura esta adecuadamente distribuida.

Al final se corregirán los parámetros para encontrar el óptimo que nos dé el mejor resultado en la soldadura por reflujo de los componentes TH.

Así la metodología desarrollada contempla 9 etapas principales:

- Investigación de los parámetros importantes.
- Recopilación de conocimientos técnicos sobre las tecnologías
- Cálculo para la apertura adecuada del estencil
- Diseño del estencil
- Recopilación de componentes y PCB
- Ensamble de tarjetas
- Pruebas
- Ajuste en los parámetros
- Análisis y conclusiones

1.7. Alcance

La presente tesis pretende abarcar la determinación de las condiciones bajo las cuales podemos soldar componentes TH (*Through Hole*) mediante el proceso por reflujo de un caso de estudio tomado de una empresa de la localidad, comparándolo con un caso de estudio previo. Estas condiciones pueden variar de acuerdo la empresa que aplique el modelo, pero se busca establecer valores óptimos genéricos del proceso.

1.8. Organización de la tesis

La presente tesis esta organizada de la siguiente manera, en el capítulo 2 se presenta el marco teórico en el cual se describen todos los conceptos principales para la comprensión del trabajo de investigación y del experimento, además se exponen un caso de estudio previo con el cual se comparan los resultados obtenidos y dos casos de estudio más.

En el capítulo 3 se explica el desarrollo del modelo para que una vez que se aplican los procedimientos adecuados obtengamos los resultados. En el capítulo 4 se muestran todos los procedimientos involucrados en el presente trabajo desde la obtención del material hasta las pruebas de laboratorio.

Dentro del capítulo 5 se escriben los resultados de aplicar el modelo y los procedimientos para los experimentos, aquí se muestra gráficamente el rechazo de la hipótesis nula planteada en el desarrollo del modelo. Las conclusiones se muestran en el capítulo 6 donde se escriben además algunas consideraciones a tener en cuenta, factores críticos y consideraciones posteriores.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Clasificación de Productos electrónicos

En la clasificación de productos electrónicos, el IPC (Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits), de los Estados Unidos reconoce que los ensamblajes eléctricos y electrónicos están sujetos a clasificación por su finalidad de uso. [1]

Han sido establecidas tres clasificaciones generales de acuerdo a la finalidad del producto para reflejar las diferencias en productividad, complejidad, requerimientos de mejoramiento funcional y frecuencia de verificación (inspección y prueba). Se debe reconocer que puede haber equipos que contengan estas tres clases de productos.

Estas categorías básicas también han sido adoptadas o reconocidas por la comunidad internacional. La IEC (International Electrotechnical Comision), pero en lugar de ser denominadas en Clases las clasifican en Niveles; Nivel A, Nivel B y Nivel C.

Clase 1 Productos Electrónicos Generales (IEC Nivel A)

Incluye productos adecuados para aplicaciones donde el mayor requerimiento es la función del ensamble completo, incluye productos de consumo general, como computadoras o periféricos

Clase 2 Productos Dedicados al Servicio Electrónico (IEC Nivel B)

Incluye productos donde el desempeño continuo y larga vida son requeridos, y para el cual el servicio ininterrumpido es deseable pero no es crítico. Típicamente el uso en el medio ambiente no causaría fallas. Incluye equipo de comunicaciones, máquinas sofisticadas para negocios, máquinas de alto rendimiento

Clase 3 Productos Electrónicos de Alto Desempeño (IEC Nivel C)

Incluye productos donde la continuidad en el alto desempeño o la demanda sobre el desempeño es critica, equipo fuera de servicio no es tolerado, el propósito en el medio ambiente puede ser extraordinariamente áspero, y el equipo debe funcionar cuando es requerido, tal como el soporte a la vida u otros sistemas críticos [1].

2.2. Normas

Al momento de ensamblar el equipo electrónico, es decir, componentes al PCB, se deben considerar los requerimientos de soldadura establecidos en la norma IPC-A-610 o su equivalente ANSI/J-STD-001B.

2.2.1 Soldadura de la terminal del componente en el orificio del PCB

La unión de soldadura debe proveer evidencia de buen mojado y el llenado de soldadura del *plated through hole* debe reunir los requerimientos que se muestran en la Tabla 2. 1 y en la Figura 2. 1, con soldadura hacia la pared del orificio. Las tarjetas de ensamble por un solo lado reunirán las condiciones C y E de la tabla 2.1.

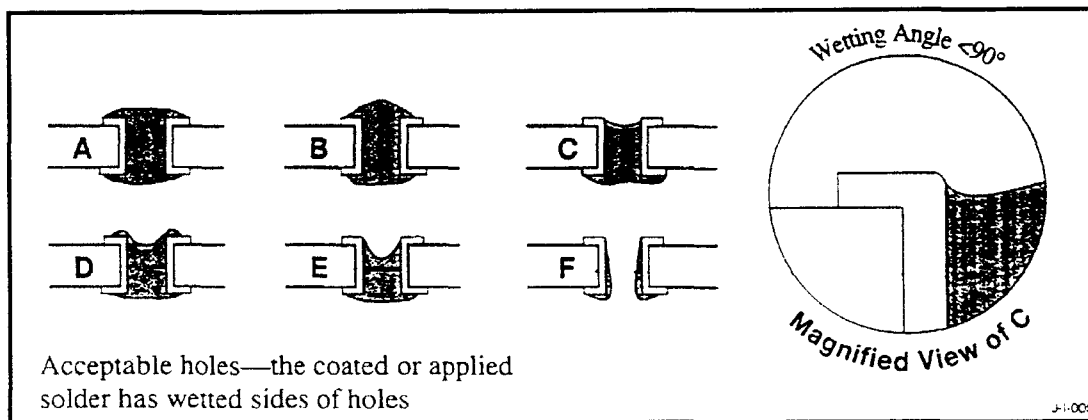


Figura 2. 1 Soldadura en el *plated through-hole* sin terminales [1]

Criteria	Class 1	Class 2	Class 3
A. Circumferential wetting on solder destination side of lead and barrel	Not specified	180°	270°
B. Vertical fill of solder ²	Not specified	75%	75%
C. Circumferential fillet and wetting on solder source side	270°	270°	330°
D. Percentage of original land area covered with wetted solder on solder destination side	0	0	0
E. Percentage of original land area covered with wetted solder on solder source side	75%	75%	75%

Notes: ¹Wetted solder refers to solder applied by the solder process.
²The 25% unfilled volume includes both source and destination side depressions.

Tabla 2. 1 Condiciones mínimas aceptables para componentes TH [1]

2.2.2 Soldadura de terminales superficiales

La unión de soldadura o acabado sobre los componentes diseñados para montaje superficial deben exhibir la unión de soldadura que reúna las descripciones generales sobre el ángulo de contacto y acabados sobre la terminal (Figura 2. 2 y Tabla 2. 2), con las dimensiones definidas en la Figura 2. 3.

Algunos componentes de montaje superficial se alinearán durante la soldadura por reflujo pero un grado de desalineamiento es permitido, pero no se debe violar el mínimo espacio del diseño del conductor.

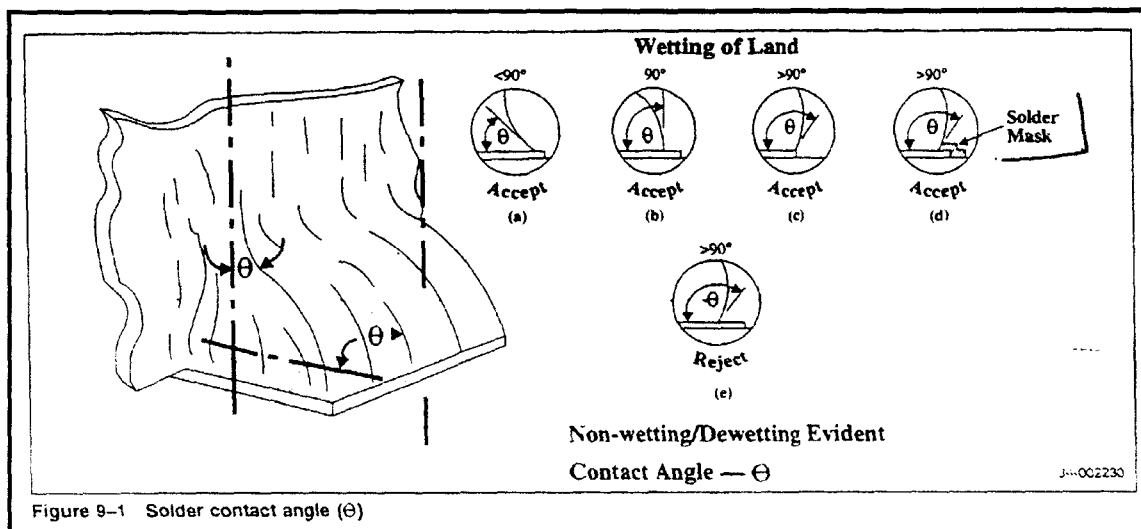


Figure 9-1 Solder contact angle (θ)

Figura 2. 2 Ángulos de contacto para componentes SMD [1]

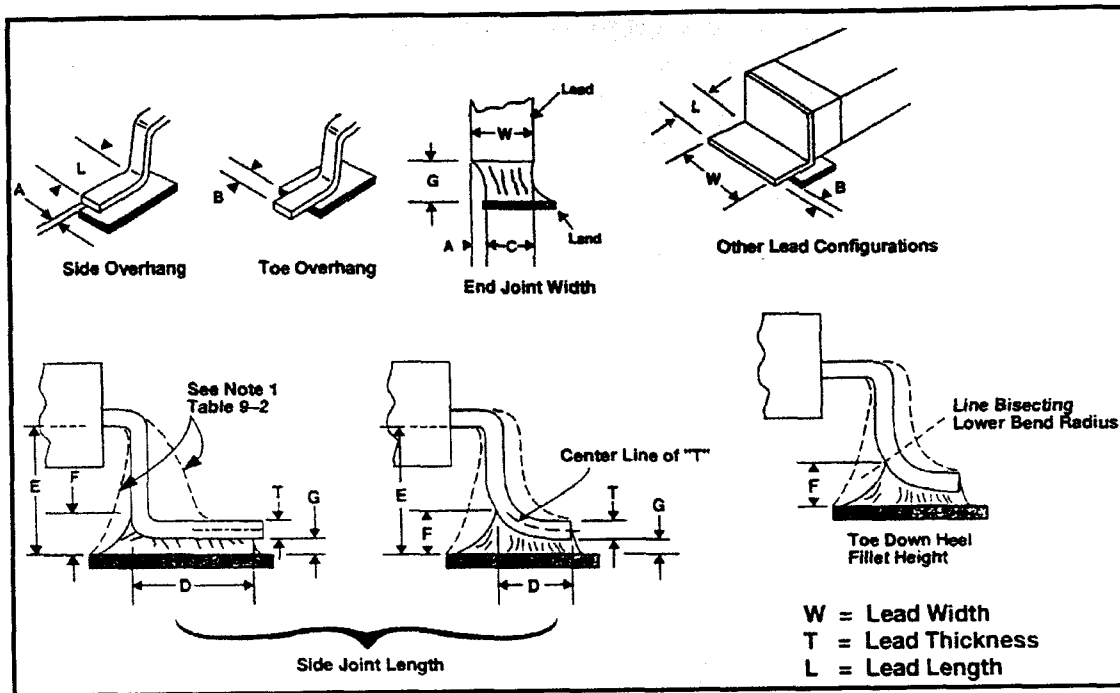


Figura 2. 3 Criterios de dimensión para componentes SMD [1]

Table 9-2 Dimensional Criteria - Flat, Ribbon, "L", and Gull Wing Leads (Dimensions in mm)

Feature	Dim	Class 1	Class 2	Class 3
Maximum Side Overhang	A	$\frac{1}{2} W$ or 0.5, whichever is less	$\frac{1}{2} W$ or 0.5, whichever is less	$\frac{1}{4} W$ or 0.5, whichever is less
Maximum Toe Overhang	B	-	-	-
Minimum End Joint Width	C	$\frac{1}{2} W$	$W - A$	$W - A$
Minimum Side Joint Length	D	W or 0.5, whichever is less	W	W
Maximum Heel Fillet Height (See Note 1)	E	**	See Note 1	See Note 1
Minimum Heel Fillet Height	F	**	$G + \frac{1}{2} T$ (See Note 2)	$G + T$ (See Note 2)
Minimum Thickness	G	**	**	**

*Must not violate minimum design conductor spacing.
 **Properly wetted fillet evident

Note 1: Solder fillet may extend through the top bend. Solder must not touch package body or end seal, except for low profile SMD devices, e.g., SOICs and SOTs. Solder should not extend under the body of low profile surface mount components whose leads are made of Alloy 42 or similar meta.s.

Note 2: In the case of a toe-down lead configuration, the minimum heel fillet height (F) shall extend at least to the mid-point of the outside lead bend radius (see Figure 9-4).

Tabla 2. 2 Criterios de dimensión [1]

2.3 Material

2.3.1 Componentes electrónicos

Los componentes electrónicos forman tres principales grupos: pasivos, discretos y activos.

Los componentes pasivos pueden ser resistores o capacitores. Un resistor simple para montaje superficial consiste en una pastilla rectangular de óxido de aluminio (Al_2O_3) con dos terminales externas. También existen redes de resistores y resistores variables con terminales múltiples disponibles en varios tipos de diseños de encapsulados[2].

Los componentes discretos pueden ser diodos o transistores. El cuerpo de estos dispositivos está construido de silicio y epoxy. Son componentes discretos típicos el SOT 23', el SOT 89' y el MELF.

Los componentes activos, también llamados circuitos integrados (IC) están presentes en una gran variedad de encapsulados, materiales, configuraciones de terminales y número de las mismas que van desde 8 hasta más de 1000 entradas / salidas. Algunos IC típicos son SOIC, PLCC, chip carrier, QFP, BGA, entre otros.

Las terminales de los componentes sean pasivos, discretos o activos están compuestos de paladio-plata, oro, plata, cobre u otras aleaciones; aunque no es regla, las terminales se recubren con una barrera de níquel o plata y en ocasiones con una protección externa de plomo-estaño para preservar su soldabilidad.

Los componentes electrónicos se dividen en dos principales grupos de acuerdo a la tecnología.

2.3.2 Componentes SMD

Estos componentes SMD (*Surface Mount Device*), de montaje superficial, son componentes que van colocados y soldados sobre un sololado del PCB (Printed Circuit Board) Figura 2. 4.

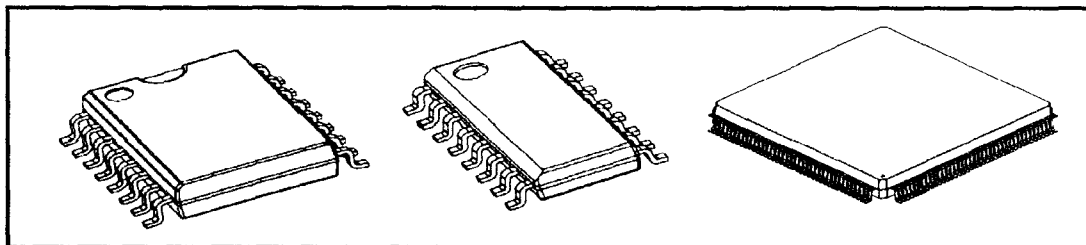


Figura 2. 4 Componentes SMT

2.3.3 Componentes TH

Los Componentes TH (*Through Hole*) son componentes que atraviesan el PCB por un orificio y son soldadas sus terminales en el lado opuesto. Figura 2. 5.

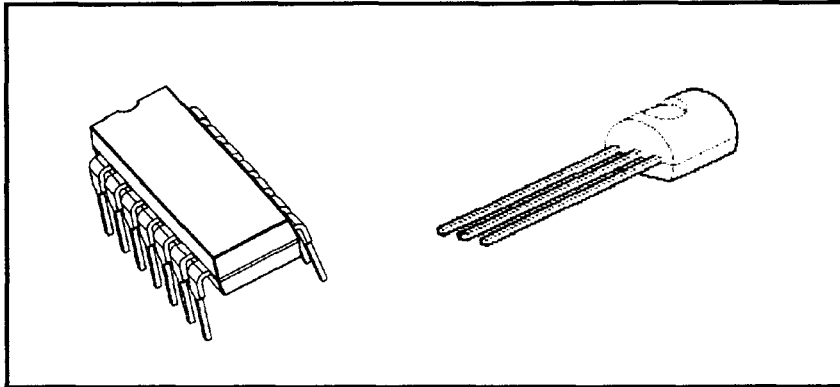


Figura 2. 5 Componentes TH

Existen otros componentes electrónicos que por su forma y función especial se clasifican dentro del grupo de *Odd components*.

2.3.4 Odd components

Estos son componentes que pueden ser *through hole* o de montaje superficial y que no pueden ser colocados automáticamente usando máquinas colocadoras para el ensamble, debido a la altura, forma o peso del componente. Estos componentes se clasifican en tres principales áreas que se muestran e la Figura 2. 6 [3].

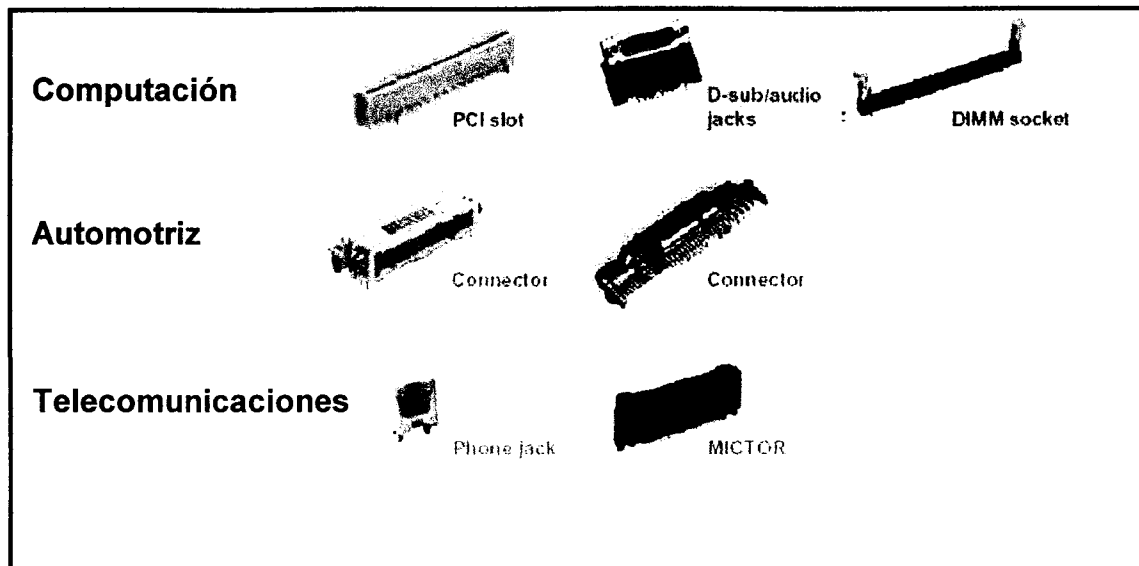


Figura 2. 6 Clasificación de *odd components*

2.3.5 PCB

Un PCB conocido comúnmente así por sus siglas en inglés *Printer Circuit Board*, que significa Tarjeta de Circuito Impreso, es una placa de material aislante (bakelita, fibra de vidrio, etc.), donde se depositan tiras de material conductor que constituyen los circuitos impresos o pistas. En la placa aislante se colocan los componentes del circuito como lo son resistencias, capacitores y circuitos integrados, los cuales se ponen eléctricamente en contacto con los circuitos impresos, siendo éstos los que sirven de conductores eléctricos entre los distintos componentes, formando un circuito de dimensiones reducidas.

2.4 Material para tecnología de montaje superficial y soldadura por reflujo (SMT)

2.4.1 Esténcil

El esténcil es una placa metálica que contiene aperturas, por las que se introduce la pasta de soldadura y se deposita en el PCB. Un esténcil es requerido generalmente para el ensamble de tarjetas electrónicas en tecnología de montaje superficial que se describirá más adelante. Para el diseño de un esténcil, hay algunos puntos que se deben de tener en cuenta:

- Tamaño de la apertura, largo y ancho
- Espesor del esténcil
- Tecnología a usar que puede ser: químico grabada, Corte con láser, híbridos, electro formado.
- Diseño de un esténcil para Tecnología Mixta SMT/ TH
- Diseño para aperturas pequeñas

2.4.2 Pasta de soldadura

La pasta de soldadura consiste de partículas de soldadura (generalmente soldadura de Pb-Sn) de un determinado diámetro, las cuales forman una mezcla con flux que a su vez está constituido por activadores, solventes, resinas estables y modificadores de viscosidad.

Las propiedades de la pasta de soldadura dependen en parte del contenido de metal (generalmente entre el 82 y 92%), la aleación de la soldadura y el rango del tamaño de partícula. Los polvos de soldadura de alta calidad requieren una forma esférica, con un tamaño y una distribución adecuada, un bajo contenido de óxido y un mínimo de impurezas.

2.5 Material para Tecnología de Soldadura por Ola

2.5.1 Barras de soldadura.

Para el proceso de soldadura por ola utiliza básicamente barras de soldadura que se funden en la máquina para producir la soldadura fundida que se aplica mediante una bomba al PCB que pasa por medio de un conveyor o banda transportadora. Algunos tipos de barras se presentan en la Figura 2. 7.

Estas barras se fabrican controlando la cantidad de oxido y de impurezas metálicas y no metálicas [4].

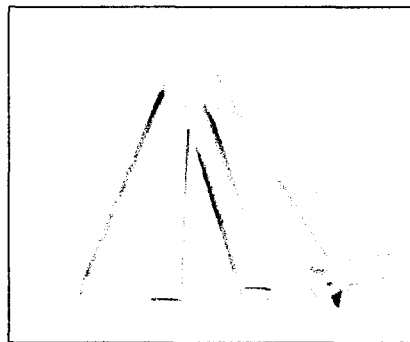


Figura 2. 7 Barras de soldadura Sn/Pb*

2.5.2 Flux

El flux es un líquido aplicado sobre la superficie del metal base previo a la aplicación de la soldadura. Aunque el flux tiene varios propósitos, el propósito primario es detener la oxidación del metal base, elimina la grasa y facilita el medio para la transferencia de calor.

* Kester solder bar

El flux cubre la superficie a ser soldada protegiéndola del oxígeno y por esa razón previene la oxidación durante el calentamiento. Algunos flux tienen un elemento ácido que es usado para remover la oxidación presente en el metal base. En la Figura 2. 8 se muestran los tipos de flux. Usando un ácido fuerte, debería ser virtualmente posible limpiar completamente la capa de oxidación, pero esto presenta algunos problemas. Muchos ácidos fuertes pueden dañar algunos componentes electrónicos y algunos ácidos permiten la corrosión aún después de que se ha completado el proceso de soldadura. Se debe utilizar un flux solo lo necesariamente corrosivo para que sus residuos puedan ser limpiados después del proceso de soldadura.

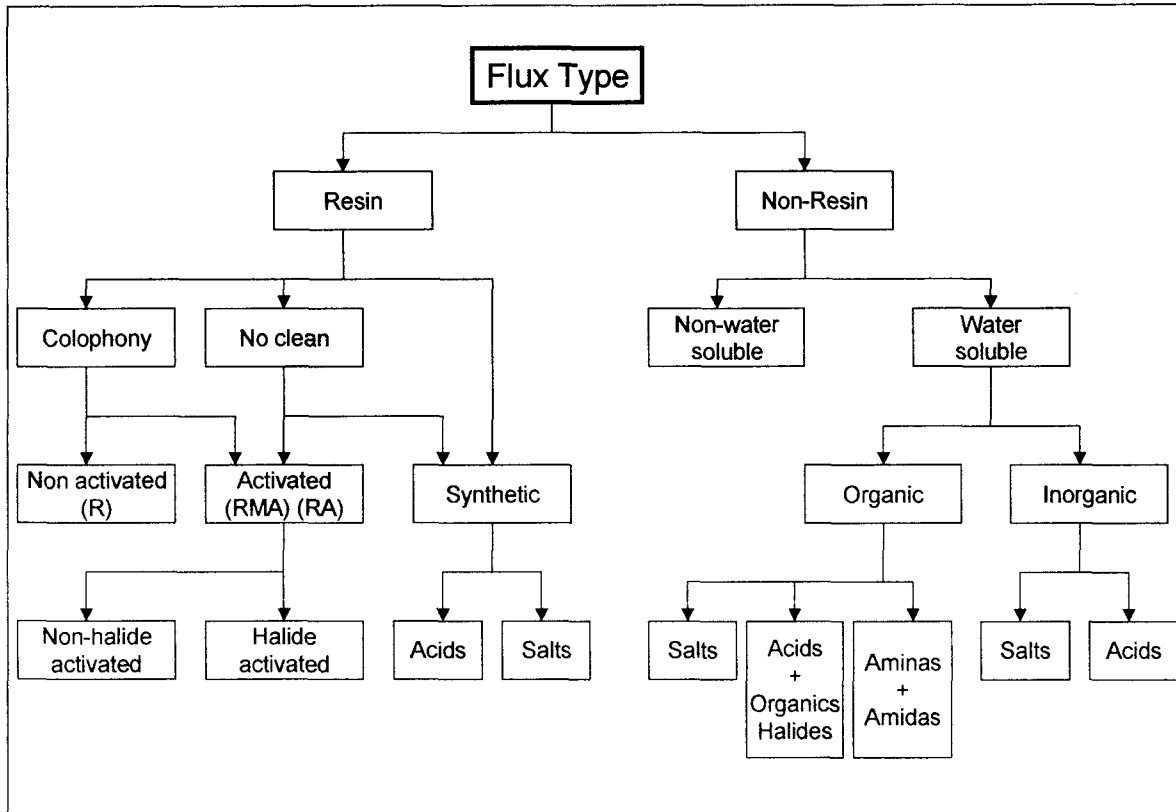


Figura 2. 8 Tipos de flux

2.6. Tecnologías de ensamble

2.6.1 Introducción

Los primeros montajes electrónicos que se llevaron a cabo hacia el año de 1925 se realizaban sobre un soporte metálico llamado chasis. Los distintos componentes se sujetaban mediante unos sencillos elementos aislantes de cerámica o de cartón, y se interconectaban mediante hilos y cables conductores, sirviendo el propio chasis como conductor de retorno[5].

En los años 50's este sistema se abandonó por no resultar práctico. Con el desarrollo de la electrónica se hizo imperiosa la necesidad de una reducción del volumen ocupado por los montajes, siendo entonces cuando, después de laboriosos trabajos, aparecieron las primeras tarjetas de circuitos impresos (PCB's).

Actualmente, para la soldadura de componentes electrónicos a la tarjeta se utilizan dos tecnologías de montajes: tecnología de sujeción mediante orificios (TH) y tecnología de montaje superficial (SMT). La sujeción mediante agujeros es la tecnología tradicional en donde los componentes son montados en agujeros que atraviesan la tarjeta. SMT usa dispositivos que se montan, como su nombre lo indica, sobre las superficies de la tarjeta.

Las primeras aplicaciones de SMT se dieron a mediados de los años 60's en dispositivos electrónicos militares y aeroespaciales. El dispositivo de montaje superficial que hizo posible esto es llamado encapsulado plano (flat pack). El flat pack que consistía en un encapsulado cerámico con terminales planas tipo cinta, vino a reemplazar al encapsulado doble en línea (DIP). La razón mayor por la los flat packs fueron usados en lugar de los DIPs era la habilidad de colocar estos componentes en ambos lados del PCB. Este fue precisamente el motivo por el cual se empezó a utilizar SMT, pues produce circuitos de más alta densidad en comparación con TH [6].

2.6.2. Proceso SMT

2.6.2.1 Equipo

El equipo empleado en una línea de ensamble SMT y soldadura por reflujo requiere principalmente del siguiente equipo:

Impresora de Pasta. Este equipo se encarga de colocar la pasta de soldadura a cada uno de los PCB's (Figura 2.9). El proceso de aplicación de pasta de soldadura se describe más adelante en el punto 2.6.2.2. La pasta de soldadura pasa a través de un esténcil para ser depositado en e PCB.

Colocadoras (Pick and Place). Es el equipo que se utiliza para colocar lo que pueden ser componentes pequeños o componentes grandes (Figura 2.9). La colocación de componentes se describe con mas detalle en el punto 2.6.2.3. Este equipo utiliza alimentadores para cargar los componentes que van a ser colocados en el PCB. Las principales tipos de alimentadores o “feeders” en que se pueden depositar los componentes en la máquina es:

- Charola
- Rollo
- Tubo

Horno de reflujo. En este equipo es donde se da el proceso de soldadura por reflujo, descrito en el punto 2.7.1 (Figura 2.9). Este equipo cuenta con zonas de calentamiento en las cuales se le pueden programar el nivel de temperatura para cada una de ellas por medio de una computadora. El número de zonas puede ser de 7, 9, 10, dependiendo del tamaño del horno.

Conveyors. Este equipo también llamado transportador, se utiliza para transportar los PCB's de una máquina a otra por medio de cadenas en este caso.

Contenedores. Al inicio y al final de la línea de ensamble de PCB's se encuentran los contenedores para colocar las tarjetas. Unos al inicio del proceso que pueden ser automáticos para alimentar la impresora de pasta y otros al final para colocar el PCB ensamblado.

El proceso mediante el cual trabaja la tecnología de montaje superficial con la soldadura por reflujo esta constituido por tres etapas principales:

Colocación de pasta
Colocación de componentes
Soldadura por reflujo

Los componentes pueden ser colocados de la siguientes formas:

1. Componentes SMDs montados en un solo lado de la tarjeta (sin componentes TH).
2. Componentes TH (convencionales) coexisten con SMDs en un solo lado del PCB.
3. Componentes SMDs montados en un lado del PCB y los TH del otro.
4. Los SMDs serán ensamblados a ambos lados del PCB y coexisten con componentes TH.

En la Figura 2. 9 se presenta un diagrama de flujo del proceso para una línea SMT para ensamble de SMDs únicamente.

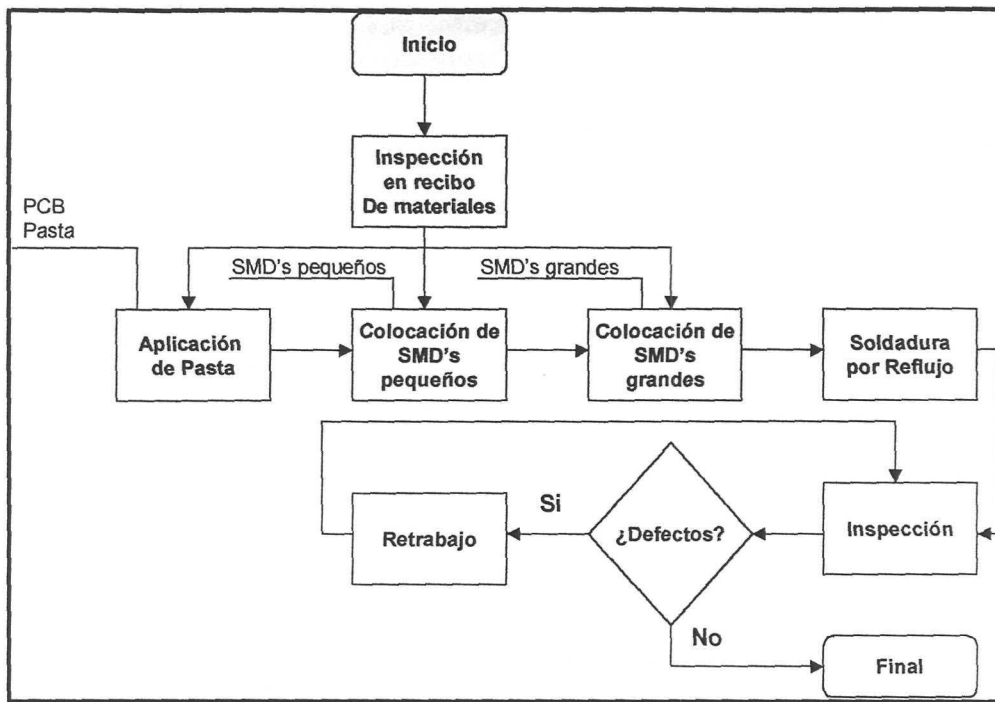


Figura 2. 9 Diagrama de flujo del proceso para una línea SMT con ensamble de SMDs únicamente.

En la Figura 2. 10 se muestra una línea de producción de SMT típica.

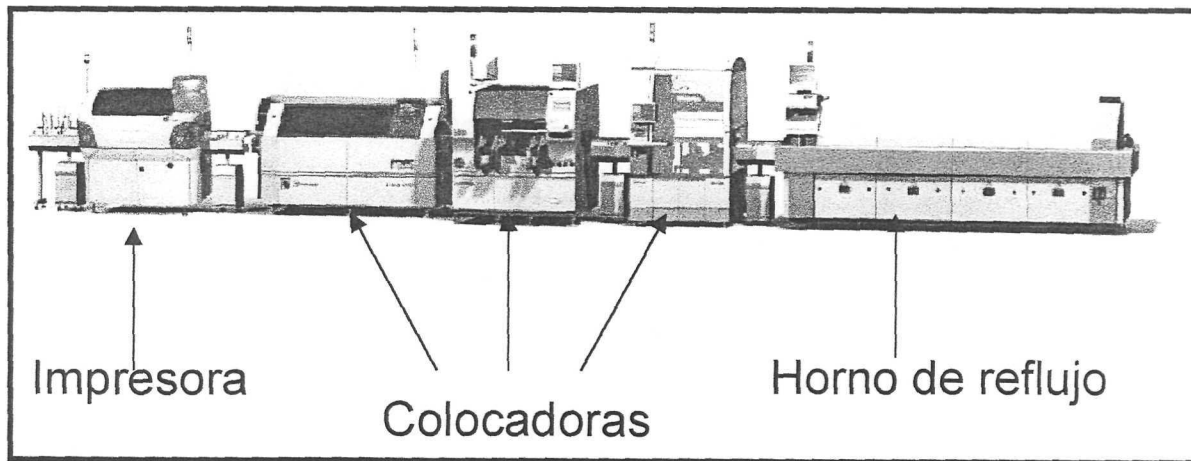


Figura 2. 10 Línea de producción SMT típica

2.6.2.2 Aplicación de pasta

Generalmente se utiliza la impresión mediante cedazo (screen printing), impresión mediante esténcil (stencil printing) o dispensación mediante jeringa (dispensing).

Impresión mediante cedazo. Screen consiste en una red de cables retenidos en una estructura y cubiertos con una emulsión fotosensitiva. Antes de su uso la emulsión es expuesta en el deseado patrón y procesada de tal forma que se producen aberturas en las regiones donde la pasta ha de ser depositada. Cuando esta en uso el screen se pone en contacto con el PCB, la pasta es aplicada sobre el screen y un aplicador de pasta en forma de cuchilla metálica o de polímero (squeegee) se hace pasar sobre el screen, esto fuerza a la pasta a pasar por las aberturas sobre la emulsión y sobre el PCB. El proceso requiere zonas de temperatura y humedad controladas [7].

El método más usado actualmente en SMT es la impresión mediante esténcil, este superó al Screen printing. Aquí, el esténcil metálico, que contiene aberturas es colocado sobre el PCB. Se aplica la pasta mediante un *squeegee* y la pasta de soldadura es forzada a pasar por los orificios del esténcil. Luego se retira el PCB dejando depósitos de soldadura sobre los pads apropiados. Una de las ventajas es la mayor duración del esténcil metálico y la fácil colocación de capas muy delgadas de soldadura sobre los pads del PCB. Además de que estos esténcil permiten una producción de alto volumen.

En este proceso el ángulo de ataque del squeegee (Figura 2. 11) juega un papel importante en la colocación óptima de pasta de soldadura. Al modificar el ángulo, la inserción de pasta de soldadura en el PCB se variaría por la rotación que ésta tiene al desplazarse el squeegee. El material del mismo puede afectar en la uniformidad de la colocación de la pasta.

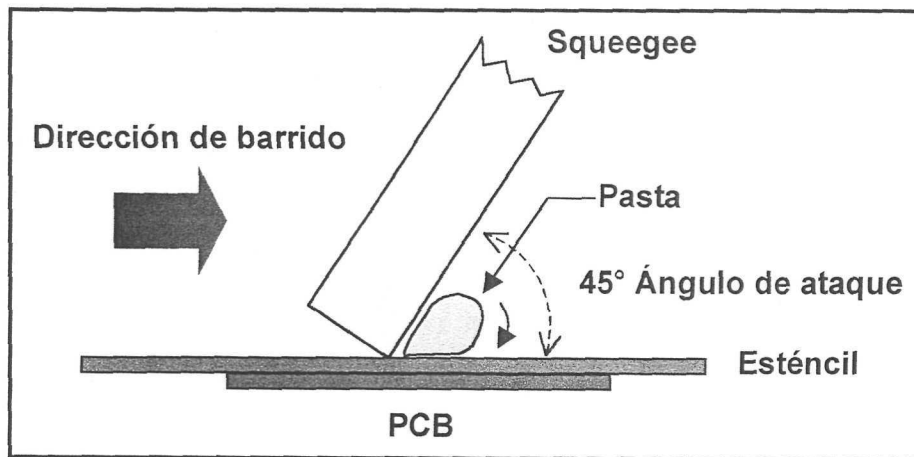


Figura 2. 11 Ángulo de ataque del squeegee

La dispensación mediante jeringa es usada para producción de bajo volumen preferentemente, en el cual se usa un tornillo que guía a un pistón para ejercer la presión que se necesita para liberar una cantidad controlada de pasta sobre el PCB.

2.6.2.3 Colocación de componentes

En este proceso se tienen cuatro métodos principales de colocación: colocación semiautomática, colocación automática (pick and place), colocación por robots y colocación manual.

En la colocación semiautomática (máquinas pick and place) se cuenta con un tablero para asistir al operador en la colocación de componentes; esto hace que los componentes sean absorbidos por un tipo de pipeta de aire, y después la colocación mecánica del componente. Tal máquina permite al operador ajustar en X y Y y compensación rotacional sobre la colocación, hecho mediante una operación manual mecánica.

Se utilizan unas marcas de referencia en las tarjetas (fiduciales) para centrar, ajustar y asegurar una precisión en la colocación del componente de ± 0.004 pulgadas o menos.

Generalmente en la mayoría de los casos los componentes SMDs son colocados mediante máquinas automáticas (pick and place). Este equipo fue diseñado para colocar componentes automáticamente, de un tamaño y forma determinada, en la que los componentes se suministran por charola, tubo o mediante rollo (tape and reel) Las máquinas vienen en una amplia variedad de tamaños y capacidades, pocas pero versátiles piezas que pueden colocar una amplia variedad de partes con una cantidad considerable de velocidad y precisión. Típicamente la colocación de partes se encuentra en el rango de 3000 a 5000 partes por hora.

En esta proceso existen generalmente 2 categorías: de alta velocidad y de colocación flexible.

Usualmente cerca del 80% de los componentes sobre las tarjetas son resistores y capacitores y necesitan colocarse rápidamente. En estos componentes la precisión no es tan crítica, como con otros componentes sobre la tarjeta. Componentes más complejos (IC, BGA, Chips) requieren de una colocación con más precisión, tal que la velocidad puede ser sacrificada en este caso.

La colocación por medio de robots se utiliza en casos donde se requiere una precisión o versatilidad extrema. El brazo del robot de propósito general es capaz de complejos movimientos necesarios para colocar muchas formas singulares de componentes. Los robots tienen mayor precisión en la colocación de componentes, sin embargo trabajan a una velocidad menor que las máquinas pick and place con un tiempo de colocación promedio de 3 a 10 segundos por componentes.

La colocación puede ser de muchas maneras otra de las cuales es usando un par de pinzas y una mesa, en este método la persona deberá de tomar los

componentes y ponerlos sobre el lugar apropiado. Hoy en día aún es usado este método en muchos lugares (principalmente para el retrabajo), o a veces para agregar un nuevo componente o en la construcción de pocos prototipos [8].

2.6.3. Colocación de componentes Through Hole para soldadura por Ola

La colocación de componentes TH se puede realizar de dos maneras: colocación manual o automática, cuando se tiene un gran volumen de componentes para colocar, se recomienda utilizar máquinas colocadoras. Mas sin embargo existen componentes que son difíciles de sujetar mediante una máquina automática , entonces es más recomendable la colocación manual.

Generalmente después de realizar la colocación de los componentes TH sobre el PCB se pasa al proceso de soldadura por ola que será descrito más adelante.

2.7. Procesos de soldadura

2.7.1 Soldadura por reflujo

Este proceso es definido como el proceso de unión metalúrgica que usa un metal con bajo punto de fusión (usualmente debajo de 315°C) como material de aporte. La soldadura requiere el mojado del metal a ser soldado por el material de aporte para la formación de la unión. Esta humidificación es la que genera la interfase de unión entre los materiales.

Una vez establecida la condición inicial de humidificación del metal base, habrá un área de agitación térmica entre la soldadura líquida y el metal base, lo cual originará difusión atómica y por lo tanto la formación de soluciones sólidas o compuestos intermetálicos. Una vez solidificada la soldadura, estos constituirán los medios de unión intermetálica. La continuidad metálica establecida constituye una unión con propiedades de conductividad térmica eléctrica, así como de resistencia mecánica [9].

La soldadura más comúnmente utilizada en la unión de componentes con los pads del PCB es la que contiene 61.9% de estaño (Sn) y 38.1 de plomo (Pb) el cual tiene un punto de fusión aproximado de 183°C. Existen otras opciones como las que se muestran en la Tabla 2. 3.

Aleación contenido en %	Temperatura de fusión °C
63 estaño 37 plomo	183/183
60 estaño 40 plomo	183/190
95 estaño 5 plomo	233/240
90 estaño 10 plomo	268/299
5 estaño 95 plomo	270/312
62.5 estaño 36.1 plomo 1.4 plata	170/179
70 estaño 18 plomo 14 bismuto	143/163
52 indio 48 estaño	118/118
97 indio 3 plata	143/143
50 plomo 50 indio	180/209
Libre de plomo	

Tabla 2. 3 Materiales de soldadura

Los parámetros de selección del tipo de soldadura a utilizar son:

- Temperatura de fusión
- Ductilidad
- Capacidad de mojado / Capacidad de flujo
- Resistencia a la fatiga
- Falla por termofluencia

Este proceso de soldadura en SMT se lleva a cabo por medio de un horno de reflujo, y se divide principalmente en cuatro subprocesos que son: el precalentamiento, la activación del flux, reflujo y enfriamiento (solidificación). La Figura 2. 12 muestra un perfil de temperatura para una pasta de soldadura usada en este proceso [Step by Step, Soldering, Dr. Jennie S. Hwang].

Previo a la activación del flux se tiene el precalentamiento para evitar daños a los componentes electrónicos debido a cambios bruscos de temperatura. Conforme se aumenta la temperatura el solvente empieza a evaporarse. La temperatura de activación del flux varia dependiendo del tipo que se utilice, generalmente es entre 150°C y 170°C, esta temperatura debe ser menor que la de la fusión de la soldadura. Aquí el flux se activa y limpia las superficies que van a ser soldadas.

En el reflujo, las partículas de soldadura tienen un reacomodo debido a la evaporación del solvente. El reflujo se empieza a propagar en una región pastosa frontal a la transferencia de calor, en donde se encuentran partículas líquidas y sólidas. Este comportamiento se observa entre 180°C y 200°C para la soldadura Sn/Pb 63/37. LA región líquida aparece siguiendo la formación de la zona pastosa. En este momento empieza a extenderse la soldadura, por la parte curva de la terminal, provocando que posteriormente se tenga el hundimiento de la misma para conservar el volumen de la soldadura. El proceso de extendimiento debe ocurrir entre 15°C y 30 °C arriba del punto de fusión de soldadura.

El punto más alto de temperatura tiene lugar al final del túnel de calentamiento, para inmediatamente salir de este y empezar el proceso de enfriamiento y solidificación que influye de manera importante en las propiedades mecánicas y microestructura de la unión[10].

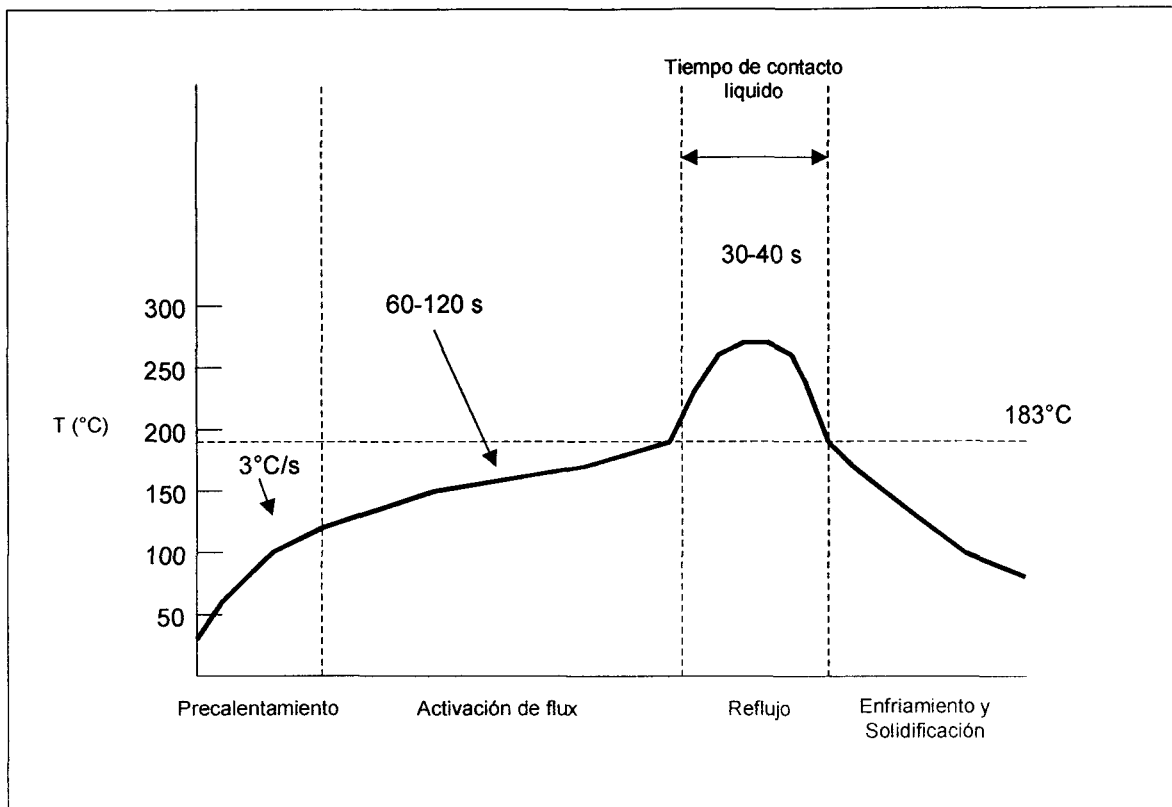


Figura 2. 12 Perfil típico de temperatura en el proceso de reflujo para soldadura PbSn

2.7.2 Soldadura por ola

El proceso de soldadura por ola es un proceso en el cual una tarjeta de circuito impreso (PCB) es pasado sobre una ola de soldadura fundida, la ola es producida por una bomba. Como el PCB es pasado sobre la ola, la soldadura une el *pad* de la tarjeta con la terminal del componente [11].

Este proceso es utilizado más frecuentemente para soldar componentes electrónicos TH, más sin embargo puede utilizarse para soldar componentes electrónicos SMDs.

Algunas características de este proceso son que es un proceso automático, requiere trabajo de inspección y prueba, aumenta la productividad a través de la velocidad y eficiencia. Este proceso consta de cinco etapas principales: aplicación

del flux, precalentamiento, aplicación de soldadura, enfriamiento, retrabajo. En la Figura 2. 13 se muestra un diagrama de un típico proceso de soldadura por ola.

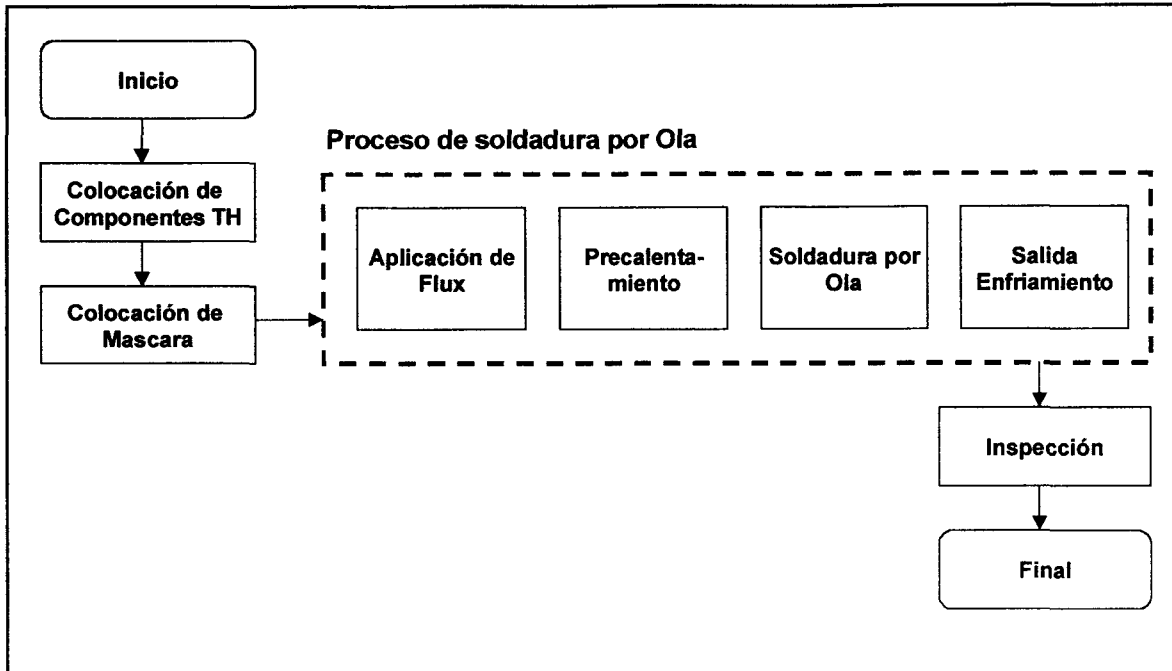


Figura 2. 13 Proceso típico de soldadura por ola

2.7.2.1 Aplicación de flux

El flux puede ser aplicado de diferentes formas. Algunos métodos anteriores involucran sumergir la tarjeta dentro del líquido de flux o cepillar con flux el PCB, similar a un lavado automático de autos. El más grande problema con este método fue que la cantidad de flux que se aplica no podía ser controlada. Grandes cantidades de flux son de inconveniencia para los componentes electrónicos.

Otra forma de aplicar el flux es tener una ola de flux, esta es muy similar a la soldadura por ola. La boquilla que bombea el flux contiene una malla para eliminar las ondas conforme el flux se aplica hacia arriba. El flux es aplicado sobre la tarjeta cuando esta pasa por la ola. Un aire cortante es usado para remover el exceso de flux. Este método es efectivo en la aplicación de flux pero requiere de continua limpieza y mantenimiento en el orden de operación.

También existe el método de aplicar el flux mediante spray, aquí la cantidad de flux aplicada puede ser controlada con mucha precisión, el flux puede ser aplicado mediante gas comprimido, similar al de los spray de pintura industrial, en este método el exceso de flux no es recuperable.

2.7.2.2 *Pre calentamiento*

Durante el pre calentamiento el PCB, con sus componentes, es calentado para incrementar poco a poco la temperatura del mismo. Calentando el PCB lentamente, ayuda a minimizar el choque térmico para la tarjeta y los componentes. Sin un pre calentamiento pueden originarse arqueos y cuarteadoras sobre el PCB.

Existen diferentes formas de pre calentamiento que son de uso común. Calentador eléctrico que trabaja similar al principio de una tostadora, y calentamiento por infrarrojo. Este ultimo tiene la ventaja de calentar rápidamente pero el equipo empleado es más caro que el usado en otro tipo de calentadores. Aún con las ventajas y desventajas de cada método, cada uno de ellos se acopla a los resultados que se deseen del pre calentamiento en la tarjeta, además la decisión para emplear uno u otro método también se basa en el costo, espacio y preferencia personal.

En la Figura 2. 14 se muestra una máquina para soldadura por ola.

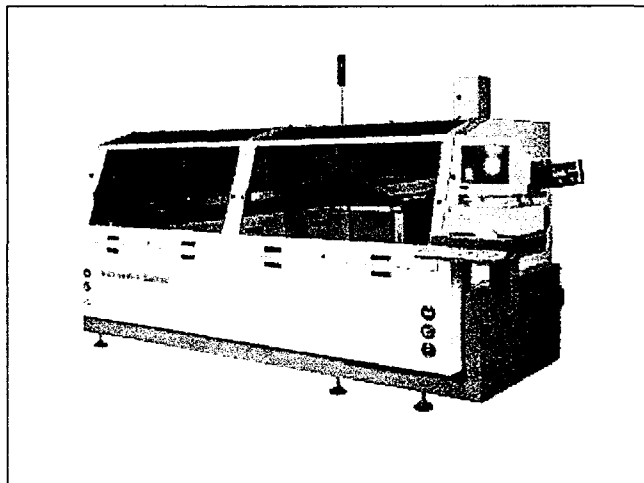


Figura 2. 14 Máquina de soldadura por ola *

2.7.2.3 *Componentes electrónicos*

Como se menciona anteriormente, también es posible soldar componentes SMD mediante este proceso, de tal manera que los componentes SMD para soldar se han descrito de manera general en el proceso de SMT.

Actualmente los componentes más utilizados por TH son los odd components, que por lo general son componentes grandes como conectores que requieren de una mejor sujeción.

* Vitronics Soltec DeltaMAX 6723-CC

2.8. Tecnología Mixta por reflujo

2.8.1. Descripción

El concepto de tecnología mixta se refiere a usar componentes electrónicos TH y SMD en un mismo PCB, cuando la principal preocupación de la manufactura de estos productos es hacerlos cada vez más rápido y mejor, un constante reducir de los costos del producto.

Después del costo de material el costo de manufactura es usualmente el área más significativa que contribuye al costo del producto.

Constantemente se analizan los procesos de ensamble para buscar áreas de oportunidad en las cuales reducción el costo, tales como la reducción en el equipo o cambio de este, eliminación de procesos innecesarios, distribución de la línea, uso de materiales y mano de obra.

En la línea de producción existen pasos que pueden ser eliminados algunas veces incorporando nuevas tecnologías o desarrollando nuevos procesos.

2.8.2. Tendencias

El creciente desarrollo en el campo de la electrónica implica una reducción en el tamaño de productos electrónicos y con un mayor grado de complejidad por lo que muchos componentes TH han ido transformando en SMD, reduciendo de tamaño considerablemente en muchos de los casos (Figura 2. 15). Además de que las tendencias indican también que el número de componentes TH en un PCB es cada vez menor, lo cual permite reducir el tamaño de los productos electrónicos [12].

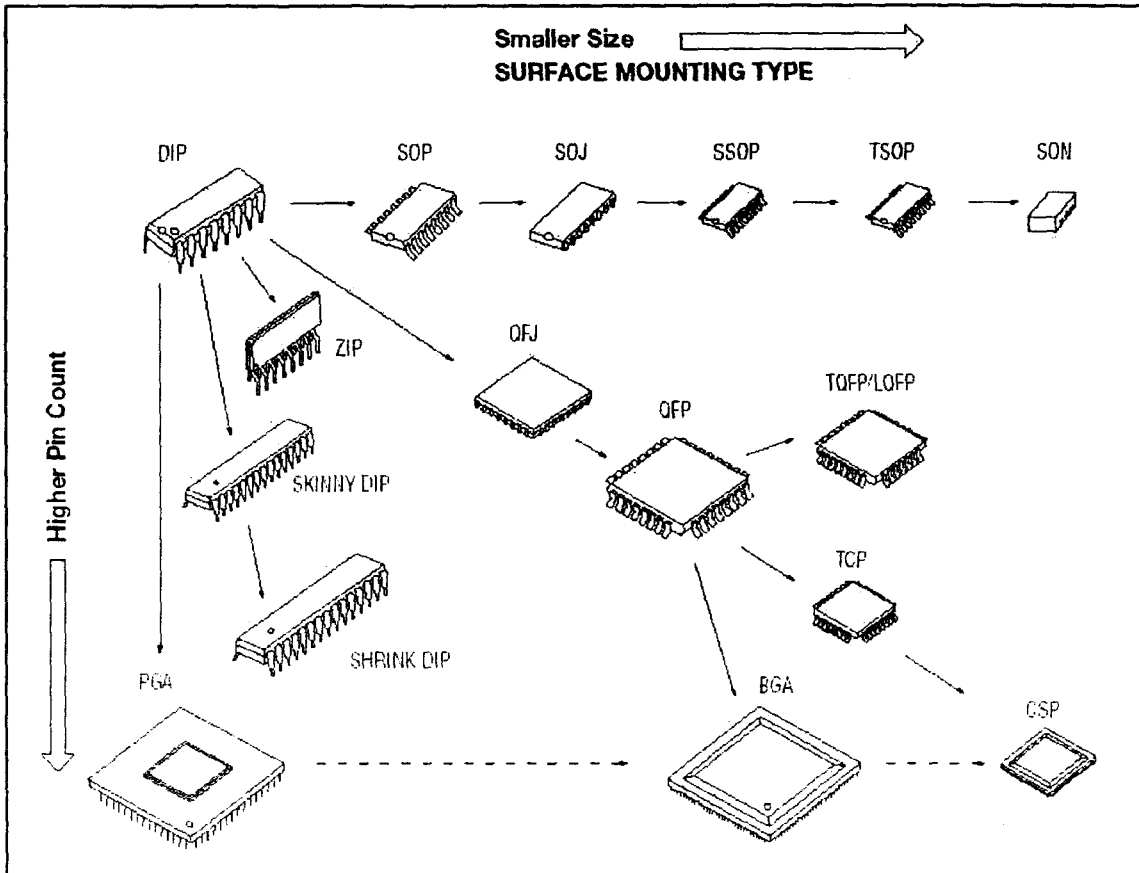


Figura 2. 15 Tendencias en el desarrollo de componentes electrónicos.

2.8.3. PIHR

Estas siglas significan Paste In Hole Reflow, y se denomina así al proceso por el cual los componentes electrónicos TH son soldados a través de reflujo. El proceso PIHR consiste en colocar la pasta de soldadura dentro del orificio por donde se insertara la terminal del componente TH, para que posteriormente se pase por el horno de reflujo.

Como se ha descrito anteriormente, se busca una disminución de tiempo y costo en el proceso de manufactura y ensamble de PCB. Actualmente, pese a la disminución del número de componentes TH en el ensamble de tarjetas electrónicas, aún siguen existiendo componentes que no pueden ser cambiados a SMD, ya sea por su forma o por su función, como por ejemplo componentes como los conectores que requieren de una buena unión o agarre en el PCB.

En los siguientes párrafos se describen un caso de estudio previo en el que se realiza el proceso de PIHR a un PCB, así como otros dos casos en el que se muestra cómo la aplicación de este proceso a sido un motivo de estudio para lograr los mejores resultados posibles.

2.8.4. Modelo empírico (Caso de estudio previo)

El siguiente caso de estudio se realizó para una empresa de la localidad y las pruebas se realizaron en el Programa SMT del CSIM del ITESM. [La información fue proporcionada por el Programa SMT del CSIM del ITESM].

Este estudio se clasifica como un modelo empírico ya que el cálculo de las aperturas en el estencil (para colocar la pasta de soldadura a los orificios donde entraran las terminales de los componentes TH) son determinadas en base a la experiencia de los trabajadores de la empresa.

PRIMER ANÁLISIS

- **Objetivo**

El ensamble de una tarjeta con componentes TH y SMD mediante el proceso de soldadura por reflujo

- **Descripción**

El estudio se realizó utilizando una tarjeta denominada Taurus T2E.

El ensamble de la tarjeta Taurus (T2E) incluye ambas tecnologías: SMD y Through hole (TH). La colocación de componentes SMD es automático y para los componentes TH es manual. El proceso de soldadura original esta hecho por Reflujo para los componentes SMD en la parte de arriba y por Ola para los componentes TH.

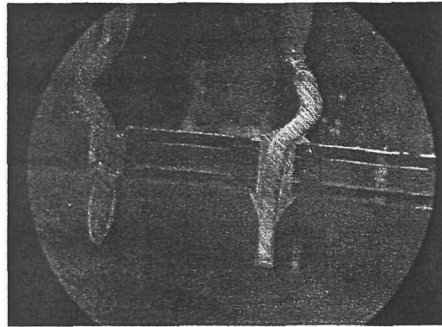
- **Resultados y Conclusiones**

Se realizaron dos tipos de pruebas. En la primera de ellas resultó que el proceso PIHR no paso los estándares de calidad (IPC A 610: llenado del hole es menor al 75%), por lo que se recomendó realizar ajustes en los perfiles de la temperatura del horno.

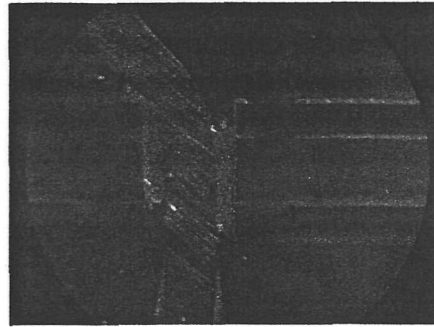
Para realizar este primer análisis se realizaron pruebas de Cross-section a los componentes de TH.

Las observaciones se realizaron en un estereoscopio para evaluar la calidad de la unión de la soldadura.

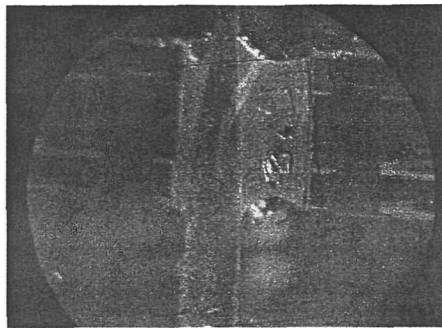
- a) Análisis de Cross-section (Figura 2. 16 a)
- b) Vista de uno de las terminales de los componentes. Malos fillets se pueden observar en esta unión (Figura 2. 16 b)
- c) Vista de uno de las terminales de los componentes. Se pueden observar espacios en esta unión. (Figura 2. 16 c)



a



b



c

Figura 2. 16 Fotos *cross section* del modelo empírico, primer análisis

SEGUNDO ANÁLISIS

- Objetivo

Determinar qué condiciones afectan al proceso de PIHR para lograr una buena unión en los componentes TH

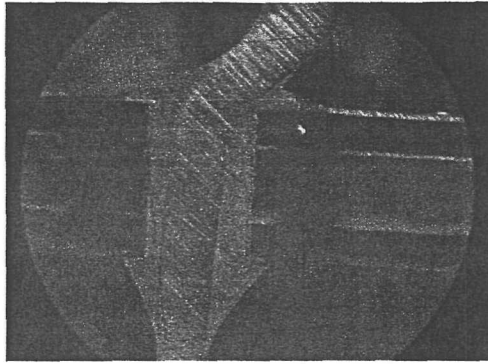
- Descripción

Realizar ajustes al proceso. Para Este análisis de nuevo se procedió a evaluar la calidad de la unión de la soldadura para los componentes TH.

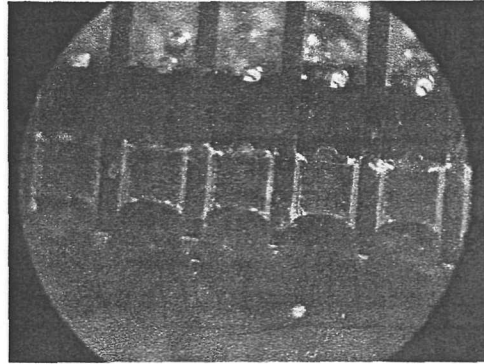
- Resultados

1. Se realizó una inspección global en los tableros de muestra usando el estereoscopio para identificar las calidad pobre en las zonas de soldabilidad.
2. Dos componentes TH parecieron no tener problemas de soldabilidad por lo que fueron cortados del tablero y montados en resina para preparar una sección transversal para favorecer la observación en el estereoscopio.

-
-
- a) Vista general de un Cross-section del T1 (20x Figura 2. 17 a). En esta unión se puede observar un buen filete.
- b) Vista general de un Cross-section del J5 (30x Figura 2. 17 b). En esta unión se puede observar un buen filete.



a



b

Figura 2. 17 Fotos cross section del modelo empírico, segundo análisis

Conclusiones

La valoración de la calidad de la soldadura reflejó que el proceso PIHR pasó los estándares de calidad (IPC-A-610: llenado del orificio de con más del 75 %).

Especificaciones técnicas para los componentes TH con el objetivo de validar el cambio de proceso porque estos componentes serán expuestos a temperaturas de Reflujo.

- Buscar especificaciones técnicas
- Revisar los datos de temperaturas. Los datos en la hoja de especificaciones del producto no muestran la temperatura máxima para componentes TH.
- Contactar al proveedor para obtener la especificación requerida
- Pruebas de laboratorio. Los componentes que pueden ser afectados por la temperatura son los capacitores.
- Riesgos:
 - Ruptura de la tarjeta. El proceso Th-reflow no usa pallets (soportes)
 - Desplazamiento de componentes SMD
 - Posible daño de componentes Th en el horno
 - Entrenamiento

Este estudio se realizó con aperturas de estencil para el depósito de soldadura, calculados de manera empírica Figura 2. 18. Las conclusiones fueron realizadas

analizando 5 tarjetas que se corrieron, lo cual no nos dice mucho acerca de si el proceso esta realmente bien, además de que no se tienen datos sobre en que se modificó para realizar el segundo análisis, solo la especificación de que se cambió el perfil de temperatura del horno de reflujo.

Los datos de los componentes (T2E) y las áreas de apertura se muestran en la Tabla 2. 4

Componente	Descripción	Área de apertura del estencil (mm ²)
		Práctica
	Conectores	3.0967
	Transformador	6.7748
	Inductancia	8.0645
	Conector telefónico	7.6774
	Varistor	2.3225

Tabla 2. 4 Descripción de los componentes TH en el tablero T2E

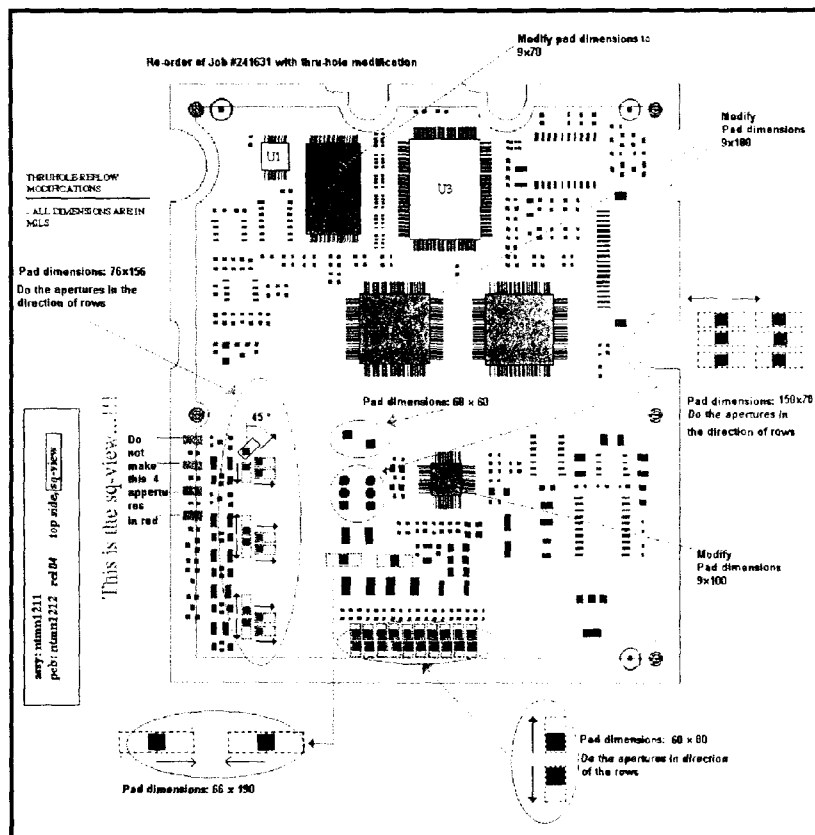


Figura 2. 18 Áreas de apertura para el tablero T2E

Análisis de Costo – Beneficio

Se realizó un análisis de costo beneficio para determinar la conveniencia de poner pasta a través de la impresora o soldar por reflujo los componentes TH y esto fue lo que se encontró.

Metodología del análisis costo-beneficio

- Tiempo de producción, distribución de personal prueba de dominancia.
- Evaluación de la calidad de la soldadura de acuerdo al standard IPC-A-610
- Riesgos

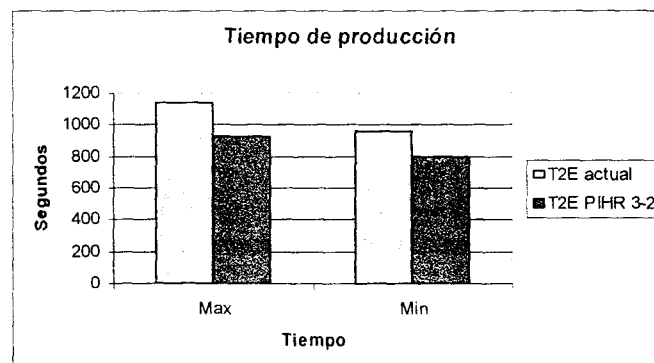
Tiempo de producción y distribución de personal

Tiempo de producción

El objetivo del tiempo de producción es observar la diferencia entre el tiempo proceso de soldadura T2E por ola y el tiempo de proceso de soldadura por reflujo (incluyendo componentes TH) T2E (Tabla 2. 5 y Gráfica 2. 1).

	Tiempo (seg)		
	Max	Min	Prom
T2E actual	1138.46	961.85	1050.155
T2E PIHR 3-2	928.66	798.27	863.465

Tabla 2. 5 Tiempos de producción



Gráfica 2. 1 Gráfica de los tiempos de producción

Distribución de Personal

El objetivo de la distribución de personal es observar la diferencia entre la distribución del personal en el proceso de soldadura por ola del T2E y el proceso de soldadura por reflujo de los componentes TH de la tarjeta T2E (Tabla 2. 6).

Proceso	Distribución de personal
T2E actual	2
T2E PIHR 3-25	5

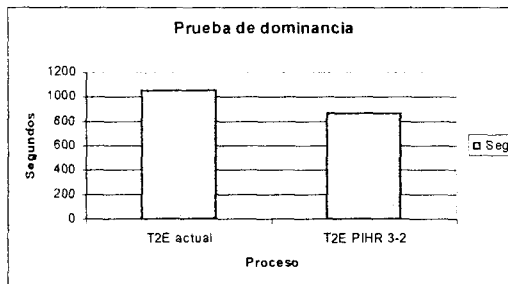
Tabla 2. 6 Distribución de personal

Prueba de dominancia

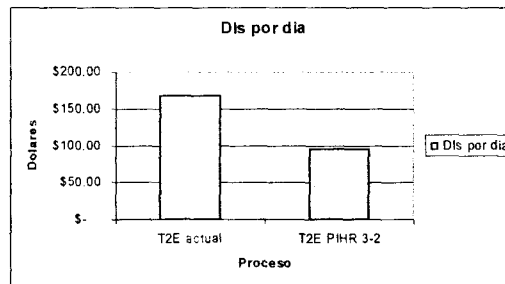
Esta prueba se realizó con el fin de determinar el ahorro que se obtendrá de aplicarse el método de tecnología mixta PIHR. La Tabla 2. 7 se muestra el costo por día y el tiempo en segundos de cada uno de los procesos para el ensamble de los componentes TH en la tarjeta T2E. Este ahorro tanto en tiempo como en dinero lo podemos ver en la Gráfica 2. 2 y Gráfica 2. 3 respectivamente.

Proceso	Seg	(Dls por día)
T2E actual	1050.155	\$ 168.00
T2E PIHR 3-2	863.465	\$ 96.00
Ahorro	186.69	\$ 72.00

Tabla 2. 7 Prueba de dominancia



Gráfica 2. 2 Proceso vs Tiempo



Gráfica 2. 3 Proceso vs Costo

Conclusión del análisis

El análisis del costo-beneficio muestra que el proceso ganador es el T2E-PIHR 3-2 porque el proceso tiene la mejor reducción de tiempo y la mejor distribución de operadores. El costo del tiempo de personal puede resultar en una reducción substancial [13].

2.8.5.Otros casos

2.8.5.1 OPTIMIZACION DEL PROCESO DE SOLDADURA PIHR

Se han realizado otros estudios como el que aquí se describe [14], y el cual tiene como objetivo determinar el diámetro de apertura del estencil por donde se colocará la pasta de soldadura y así obtener las condiciones optimas bajo las cuales este proceso funcione adecuadamente.

Este estudio busca la relación entre las variables independientes tales como las aperturas del estencil, diámetro del orificio, diámetro de la terminal del componente y proceso de impresión y la calidad en la unión formada por el proceso PIHR.

Para determinar la optimización del proceso es necesario:

- Optimización y selección de la pasta de soldadura
- Diseño y fabricación de la tarjeta de prueba, así como el estencil
- Definir las variables independientes de respuesta para el Diseño de Experimentos (DOE)
- Optimizar el perfil de la soldadura por reflujo
- Ejecutar los experimentos y análisis de datos

Se realizaron tres análisis en los cuales el tercero fue para verificar los dos anteriores, mostrando que el diámetro del orificio tiene el más grande efecto, seguido por la apertura, diámetro de la terminal, barrido (veces que el squeegee recorre el estencil), espesor del estencil y la pasta, en este tercer análisis la velocidad de impresión no mostró un significativo efecto. Los parámetros óptimos para el proceso (Figura 2. 19) se determinaron en base a los tres análisis realizados [14].

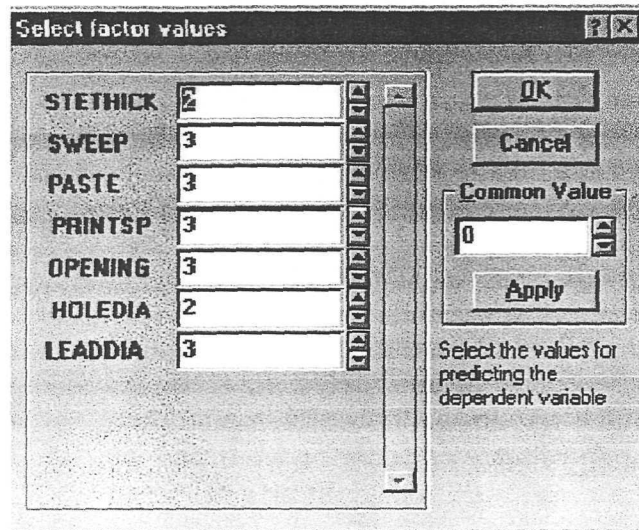


Figura 2. 19 Parámetros óptimos del proceso

El significado de las variables de la Figura 2. 19 es, descrito de arriba hacia abajo:

- Espesor del estencil
- Barridos
- Pasta de soldadura
- Velocidad de impresión
- Apertura
- Diámetro del orificio
- Diámetro de la terminal

Los valores mostrados para cada una de las variables son el resultado del DOE.

Las conclusiones de implementar esta metodología en el proceso PIHR fueron: que la unión de soldadura formada por la pasta en el orificio fue tan buena como la formada en el proceso de soldadura por ola. Muchos productos han sido introducidos a la línea de manufactura desde que esta técnica ha sido optimizada [14].

2.8.5.1 UNION DE SOLDADURA DE UN CONECTOR TH CON PASTA DE SOLDADURA POR REFLUJO

En el presente estudio [15] las observaciones se realizaron sobre otros factores del diseño del proceso, el cual pueden afectar el rendimiento del mismo.

El objetivo fue determinar el rango aplicable de la terminal al radio del orificio.

Para esto se realizó la selección de las variables como espesor del estencil, espesor del PCB diámetro del orificio diámetro de la terminal, los parámetros de impresión y las características de la pasta de soldadura.

La pasta de soldadura se aplicó por una máquina automática de impresión y los componentes fueron insertados manualmente y el proceso de reflujo se realizó en un horno de convección de nitrógeno inerte usando el perfil de temperatura de la pasta de soldadura.

Como resultados se obtuvo lo siguiente:

- Que la compatibilidad de el cuerpo del componente con la temperatura dentro del horno de reflujo es importante
- El cuerpo del conector debe mantenerse a 0.10" (0.254 mm) arriba del PCB.
- Las terminales redondas proveen la más grande razón de terminal orificio.
- La longitud de la terminal no debería exceder 0.050" (1.27 mm) más que el espesor del PCB.
- Un importante factor en la impresión es la presión del squeegee, típicamente altas presiones proveen mejores resultados pero sólo en estenciles metálicos.
- Incrementar la temperatura requerida por los conectores largos del ensamble excede la máxima temperatura deseada, una corrección en el perfil del reflujo es necesaria [15].

2.9. Línea de ensamble SMT del CSIM

La línea de ensamble SMT se encuentra ubicada en el Centro de Sistemas Integrados de Manufactura del ITESM campus Monterrey. En la Figura 2. 20 se muestra el diagrama de flujo de esta línea de ensamble. Esta línea esta destinada para realizar pruebas, y actualmente es posible elaborar prototipos de nuevos productos.

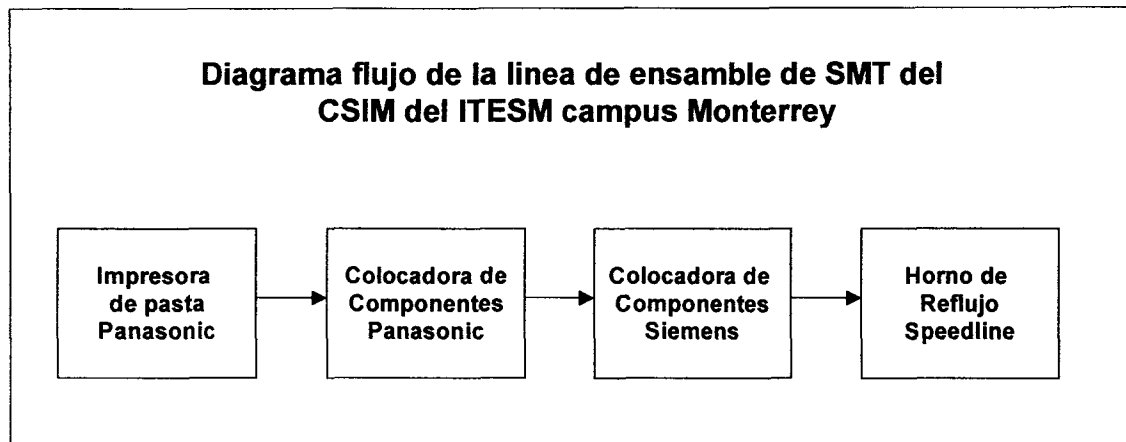


Figura 2. 20 Línea de ensamble SMT

2.9.1. Descripción de las máquinas

2.9.1.1 Impresora de pasta: *Panasonic*

La impresora Panasert SPPG3 es una máquina que permite la impresión de pasta sobre PCB con una gran precisión.

Su cabeza digital permite imprimir de manera rápida y sencilla. El reconocimiento visual permite correcciones automáticas en el posicionamiento de la tarjeta y del estencil.

Su limpieza automática le permite quitar el exceso de pasta que se queda en la parte inferior del estencil y en las aperturas [16].

Características

Alimentación	
Máquina	2 fases AC200 V =± 10V/ 1 fase AC 200V
Limpieza por vacío de aire	AC 200V = ±10V
Control de temperatura	AC 200V = ±10V
Alimentación en aire	0.5 Mbar
Temperatura	20° C ± 10° C
Tarjetas aplicables	
Dimensión de la tarjeta	Min 50x50 mm a Max. 330x250 mm
Superficie de impresión	Min 50x50 mm a Max. 330x242 mm
Material recomendado	Phenolic, epoxy
Espesor	0.5 a 4 mm

2.9.1.2 Colocadora de componentes *Siemens*

Siemens S/23 HM: 2300 componentes por hora
HM por Head Modularity (modularidad de cabezal) [17]

Gama de componentes	De 0402 hasta PLCC44, SO32, µBGA
Rendimiento máximo con un cabezal revolver de 12x	2300 componentes por hora
Duración del ciclo en el cabezal revolver	125 ms independientemente del tipo de componentes
Precisión	90 µm para 4 sigma
Formato de placas de circuitos	50x50 hasta 460x460 2"x2" hasta 18"x18"
Capacidad de disponibilidad	Máx. de 80 pistas de cinta 8 mm
Módulos de alimentación	Cinta, Bulk cases
Sistema Operativo	Microsoft Windows NT/RMOS
Espacio necesario	4 m2 / módulo

2.9.1.3 Colocadora de componentes Panasonic

La colocadora de componentes Panasonic se caracteriza por su precisión durante la colocación y por la variedad de componentes que puede colocar.

Gracias a sus cámaras de reconocimiento, la máquina disminuye el número de errores y aumenta la confiabilidad. La máquina es capaz de colocar 3600 componentes QFP por minuto. Esto debido a sus 3 cabezales, que disminuyen los viajes, feeders de tarjetas. Los componentes que puede colocar son de 0.4 mm de pitch hasta componentes de tamaño 50x50 mm. Tiene 2 tipos de alimentadores, los feeders (componentes de tamaño chiquito) y en charolas (componentes más grandes tipo QFP) [18].

2.9.1.4 Horno de reflujo

Horno de reflujo Speedline

Electrovert / omniflo series Cookson

7 Zonas

2.10. Diseño de Manufactura y Ensamble

DFM (Design for Manufacturing).

El diseño para manufactura en este caso será indispensable pues podría ser necesario modificar el diseño del PCB, así DFM es el proceso de comunicación iterativa que toma lugar entre los diseñadores y el personal de manufactura enfocándose puramente sobre el mejorando la forma en que un producto es hecho de acuerdo a los requerimientos del cliente.

El concepto de DFA se puede resumir en los siguientes puntos:

- Lograr la simplicidad para reducir el costo
- Usar materiales y componentes estándar
- Racionalizar el diseño del producto
- Usar las más amplias tolerancias permisibles
- Escoger los materiales que convengan para su función y el proceso de producción
- Minimizar las operaciones que no son de valor
- Realizar el diseño para e proceso
- Trabajar en equipo

Con estos puntos el DFA nos da la oportunidad de reducir los costos hasta encontrar un valor optimo en el cual el diseño resulte ser el más adecuado [19].

En la industria del ensamble de componentes electrónicos el DFM y DFA resultan ser muy importantes ya que el área de la manufactura electrónica esta creciendo muy rápido y constantemente se modifican procesos y se trabaja con nuevos materiales y tipos de componentes.

Capítulo 3. Desarrollo del modelo

3.1 Introducción

El desarrollo del modelo fue con base a un caso de estudio de una empresa de la localidad. El ensamble y pruebas se realizaron en la línea SMT del CSIM del ITESM campus Monterrey.

El modelo es para PIHR. Con este modelo se busca determinar el área correcta de cada apertura en el esténcil, para lograr un correcto llenado del orificio donde se introducirá la terminal del componente TH. Para ello es necesario seleccionar las variables que pueden afectar en el proceso de soldadura por reflujo en la unión de los componentes TH.

3.2 Parámetros

Para realizar el experimento se definieron los principales parámetros que afectan a un proceso de soldadura por reflujo. Estos parámetros son:

- Parámetros para la impresión de pasta

Velocidad de Impresión
Presión del Squeegee
Velocidad de separación
Un solo barrido

- Parámetros de pasta

Aleación
Viscosidad

- Parámetros del Horno de reflujo

Temperatura dentro del horno de reflujo (se usa un perfilometro que se describe en el capítulo 4)

3.3 Material proporcionado

Para el caso de estudio se necesitaron PCB's y componentes tanto through hole como SMD.

El Programa SMT del ITESM, proporcionó las tarjetas y componentes SMD para la primer corrida en donde se determinan las condiciones bajo las cuales el ensamble de estos componentes es el adecuado.

Las materiales proporcionados fueron:

5 tarjetas panasert
25 componentes SMD
Esténcil

Una empresa de la localidad proporcionó las tarjetas y componentes TH para las pruebas. El material proporcionado fue el siguiente:

15 tableros con cuatro tarjetas cada uno, la empresa denomina estas tarjetas como T2.

La cantidad y descripción de los componentes se muestran en la Tabla 3. 1

Cantidad	Local. en tablero	Descripción del componente	Descripción
60	J1	CONN. TELEDAPT TEL ARRAY	Conector Tel
60	J6	CONN. TELEDAPT TEL ARRAY	Conector Tel
60	J5	CONN. STR HEADER 2x10 ARRAY	Conector 2x10
60	T1	TRANSFORMADOR QTK263A7	Transformador
60	RV1	DIODO VARISTOR 47 V 100 A QV-V47ZA05	Diodo Varistor
60	L1	EMI INDR Z10.000 OHM FEB07A1	Resistencia

Tabla 3. 1 Componentes TH

3.4. Cálculo de volúmenes

Para el cálculo de las aperturas en el esténcil de prueba se investigaron casos de estudio previos que sirvan como base para entender el proceso de tecnología mixta. Es esencial que para que en el orificio de la tarjeta se deposite la cantidad de pasta suficiente, se tengan las aperturas correctas, y de esta manera poder asegurar una buena unión, aunque para ello también depende el perfil de temperatura y algunos otros aspectos que se mencionarán adelante.

El cálculo de áreas de apertura se basa en determinar el volumen de soldadura de pasta requerida. Este volumen se determina calculando la diferencia entre el volumen del orificio y el volumen de la terminal. El siguiente método es un modelo

geométrico en el que se utiliza el cálculo de volúmenes para determinar las aperturas en el esténcil y obtener así el volumen óptimo de soldadura en el orificio.

El procedimiento para determinar el tamaño de las aperturas se ilustra a continuación:

3.4.1 Modelo

En la figura 3.1 se muestran las partes principales de una unión de un componente TH en el PCB.

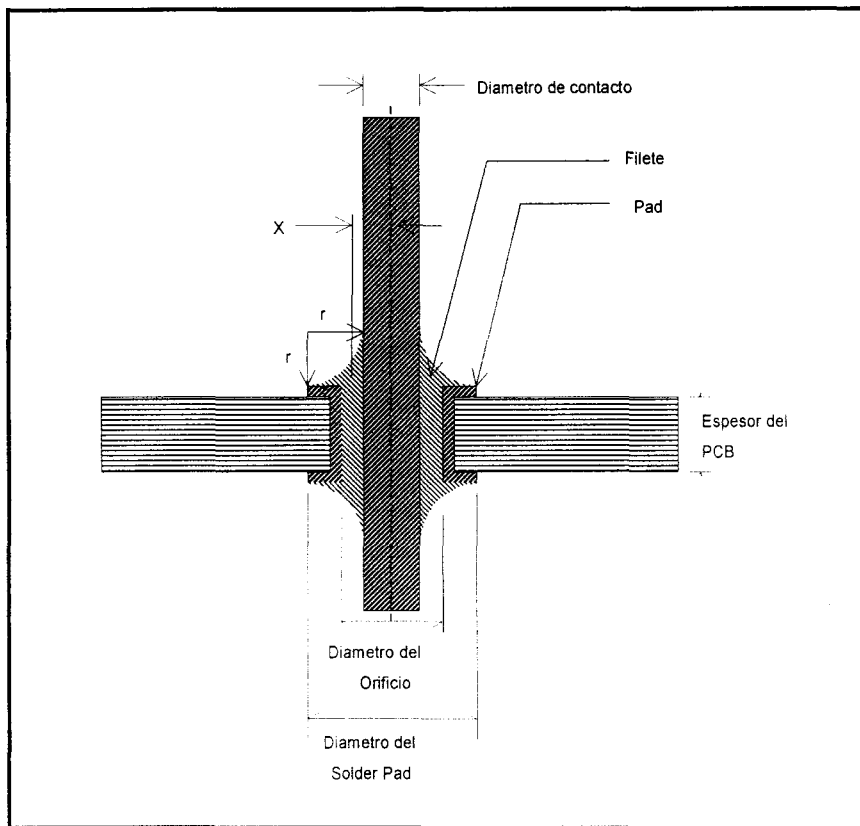


Figura 3. 1 Terminal en el PCB [20]

El volumen de pasta de soldadura, VPS, necesario para determinar la cantidad requerida dentro del orificio se estima como:

$$VPS = (V_{Orificio} - V_{Terminal}) \times 2 \quad (3.1)$$

La pasta de soldadura es 50% de metal por volumen, lo que hará que la cantidad de pasta se reduzca a la mitad una vez refluida, y por ello se multiplica por dos.

Esto es de suma importancia al calcular el volumen de soldadura requerido, ya que una insuficiencia en la cantidad de pasta depositada traerá como consecuencia filetes de soldadura incompletos.

El volumen del orificio es calculado de la siguiente forma:

$$VC = \pi \frac{D^2}{4} h \quad (3.2)$$

VC = Volumen del cilindro
D = Diámetro del orificio
h = altura del orificio

El volumen de una terminal cuadrada se calcula mediante

$$VT = Longitud \times Ancho \times h \quad (3.3)$$

VT = Volumen de la terminal
h = altura correspondiente al espesor de la tarjeta (PCB)

Cuando se tiene una terminal circular en un orificio circular podemos simplificar la fórmula por

$$VPS = 2 \times \left(\pi \frac{D_{Orificio}^2 - D_{Terminal}^2}{4} h \right) \quad (3.4)$$

Se requiere que las terminales soldadas cuenten con un filete en la parte de arriba y en la parte de debajo del PCB. Esta pasta de soldadura adicional se calcula:

El área del filete es:

$$A = 0.215r^2 \quad (3.5)$$

A = área
r = radio

La localización del centro de gravedad para encontrar la longitud del camino

$$X = 0.2234r + a \quad (3.6)$$

X = localización en x del centro de gravedad
a = radio de contacto (figura 3.1)

La longitud del camino se determina por:

$$LC = 2\pi X \quad (3.7)$$

Por lo tanto el volumen del filete es:

$$V_{Filete} = 0.215r^2 \times 2\pi(0.2234 \times r + a) \quad (3.8)$$

y obtenemos el volumen de pasta requerido

$$VPR = (V_{Orificio} - V_{Terminal} + V_{Filete}) \times 2 \quad (3.9)$$

Finalmente para obtener el área de apertura se usa la siguiente fórmula:

$$AA = \frac{VPR}{Espesor \ Estencil} \quad (3.10)$$

AA = Área de apertura

En el documento "Reflow Soldering of Through Hole Components, Phil Zarrow" [21], se determina un factor llamado "Factor de Inspección". De acuerdo a los experimentos realizados que presenta el autor, se encontró que con este factor de inspección se podía controlar la geometría y el tamaño de los filetes en el proceso PIHR. En ocasiones los filetes que resultaban de usar aperturas calculadas con el modelo anteriormente descrito se extendían demasiado y en ocasiones podía causar problemas de defectos, sobre todo en casos donde el espacio entre componentes es muy reducido. Por lo tanto el reporte mencionado sugiere reducir ligeramente la cantidad de soldadura calculada con el modelo. Se sugieren factores de aproximadamente 0.9 y 0.8. El factor de 0.7 elimina por completo la formación de filetes.

El factor que se escogió para desarrollar el cálculo de las aperturas en este trabajo de tesis fue el factor de 0.9, ya que se deseaba obtener filetes en ambos lados de la unión en el PCB.

3.5 Aperturas

Una vez que las dimensiones son determinadas, podemos realizar las aperturas en forma redonda o cuadrada.

Si las áreas de apertura son rectangulares se deberán diseñar en medida de lo posible de acuerdo al desplazamiento del estencil, esto se muestra en la Figura 3. 2.

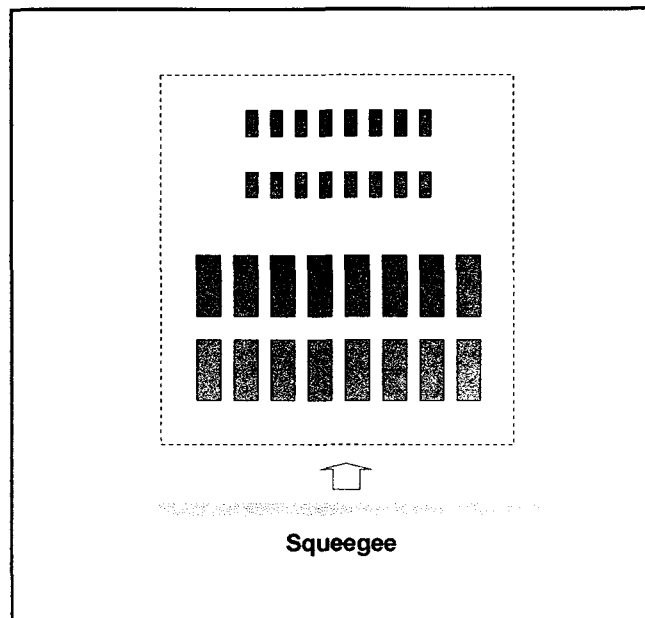


Figura 3. 2 Dirección de las áreas de apertura

En la Figura 3. 3 se muestran algunas formas posibles de diseñar las áreas de apertura.

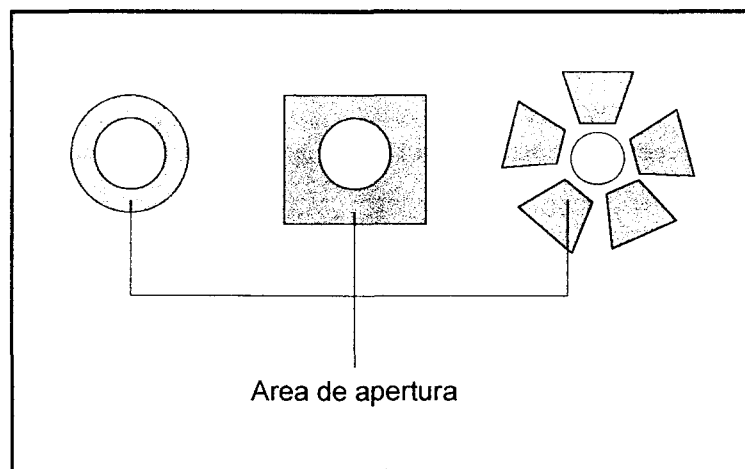


Figura 3. 3 Algunos tipos de áreas de apertura para el estencil

Otras técnicas comunes para el diseño de las aperturas es el que se muestra en la Figura 3. 4 en el cual se deben de tener en cuenta espacios entre un área de apertura y otra.

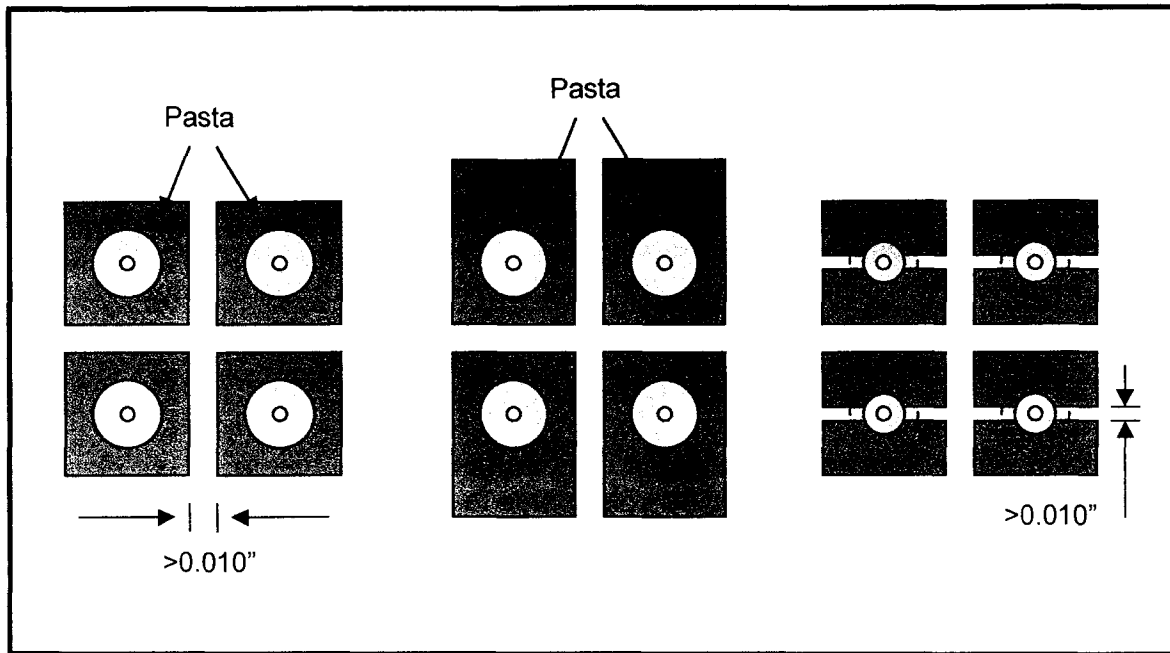


Figura 3. 4 Ilustración de la apertura para el deposito de soldadura.

3.6 Comparación de proporciones

Para determinar el estadístico de prueba en esta prueba de proporciones, se aplicó el Teorema de Limite Central para efectuar las pruebas de hipótesis de la forma:

$$H_0 : p_1 = p_2$$

donde p_1 y p_2 son las proporciones de éxito en 2 poblaciones binomiales.

El estadístico de prueba:

$$Z_{EP} = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\hat{p}(1 - \hat{p}) \left[\frac{1}{n} - \frac{1}{m} \right]}, \quad (3.11)$$

donde n es el número de éxitos de la proporción 1 y m es el número de éxitos de la proporción 2.

La región de rechazo es:

$$H_a : p_1 > p_2$$

Los estimados los obtenemos de:

$$\hat{p}_1 = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3.12)$$

$$\hat{p}_2 = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3.13)$$

$$\hat{p} = \frac{n}{n+m} \hat{p}_1 + \frac{m}{n+m} \hat{p}_2 \quad (3.14)$$

En la Figura 3. 5 se muestra una gráfica de la distribución normal en donde se señala el estadístico de prueba con un nivel de confianza de 95% [22].

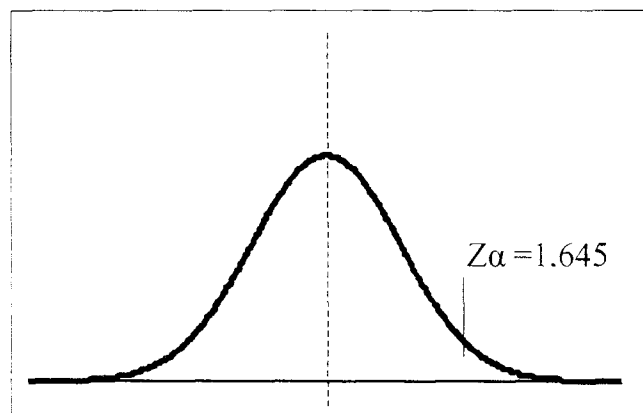


Figura 3. 5 Gráfica de la distribución normal

Para obtener las observaciones totales de las muestras, se realizó la prueba de sección transversal a componentes seleccionados aleatoriamente para ambos tipos de apertura, en los que se pudiera observar a simple vista una buena o mala unión y comprobarlo mediante el análisis en el microscopio.

Una vez que se realizó esta prueba y se pudo comprobar el tipo de unión se procedió a determinar el tipo de unión a 60 componentes de cada uno de los tipos de apertura.

Capítulo 4. Procedimiento

4.1 Aperturas de la tarjeta

Se consideraron dos tipos de aperturas. El primer tipo de apertura se obtuvo de los cálculos del volumen de soldadura. El segundo tipo de apertura se refiere para las áreas de apertura obtenidas en base a la experiencia (práctica). Para determinar las condiciones bajo las cuales se obtienen mejores resultados en la unión de soldadura de los componentes TH mediante el proceso SMT, se realizó una comparación entre los resultados de estas dos diferentes áreas de apertura. A cada una de las tarjetas se les denominará como se muestra en la Tabla 4. 1.

Tablero	Aperturas	
Tarjetas T2	Cálculos	Práctica
1	T2C	
2	T2C	
3		T2P
4		T2P

Tabla 4. 1 Aperturas del tablero

Las aperturas obtenidas en los cálculos se muestran en la Figura 4. 1

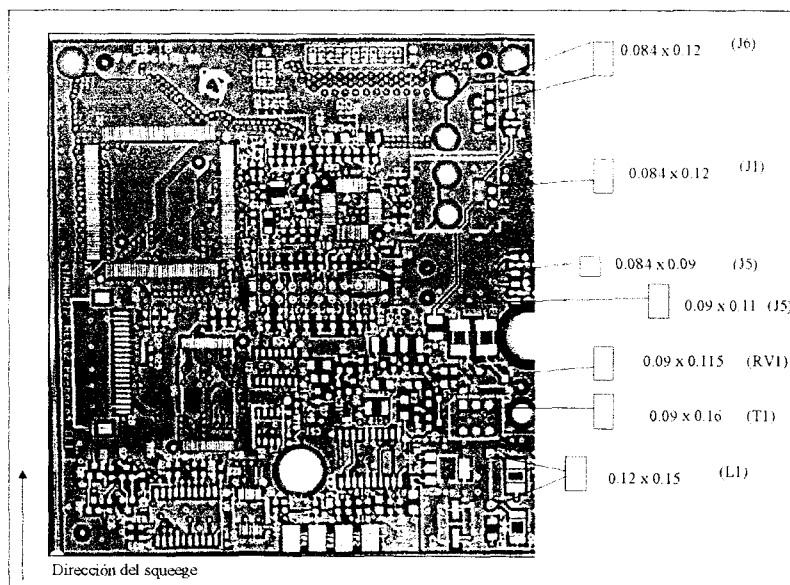


Figura 4. 1 Aperturas del tablero T2

4.2 Elaboración de estencil

Para la elaboración del estencil fue necesario obtener el archivo Gerber para proporcionárselo al proveedor y pudiera hacer los orificios en el material, además de proporcionarle la localización y el área de apertura de los nuevos orificios donde será colocada la pasta para la colocación de los componentes TH.

Los archivos *Gerber* son programas que se generan al elaborar el diseño de un PCB (Figura 4. 2). Estos se llaman *solder mask* y se utilizan para conocer el lugar de las aperturas para el estencil. También es posible que un estencil se realice mediante un negativo de la tarjeta, aquí se podrán observar el área donde serán colocados las terminales de los componentes SMD y por consiguiente el área de apertura requerida para la colocación de pasta de soldadura [23].

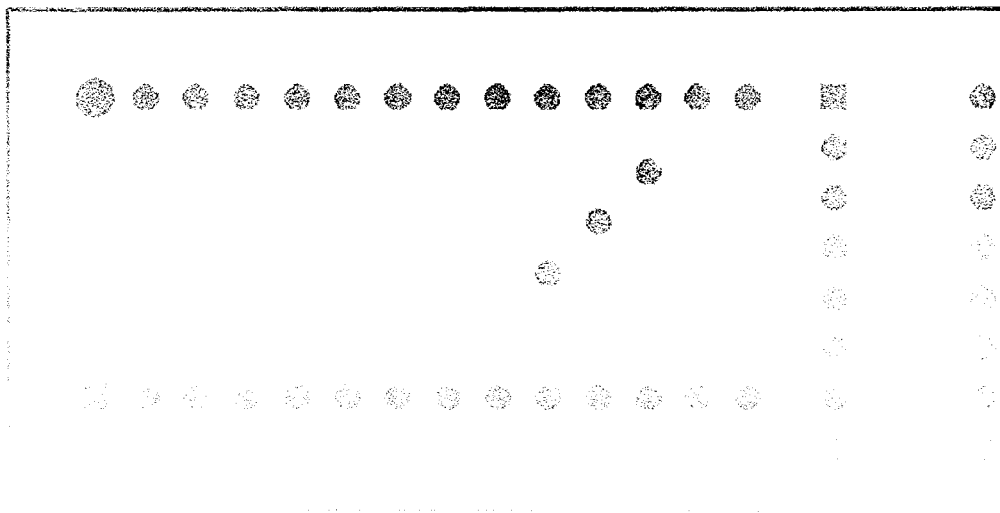


Figura 4. 2 Solder Mask

Las aperturas en el estencil se realizó mediante un corte con láser (esto por parte del proveedor). Este tipo de técnica nos da una mejor exactitud en el tamaño de las aperturas requeridas.

En la Figura 4. 3 Se muestra un negativo del estencil.

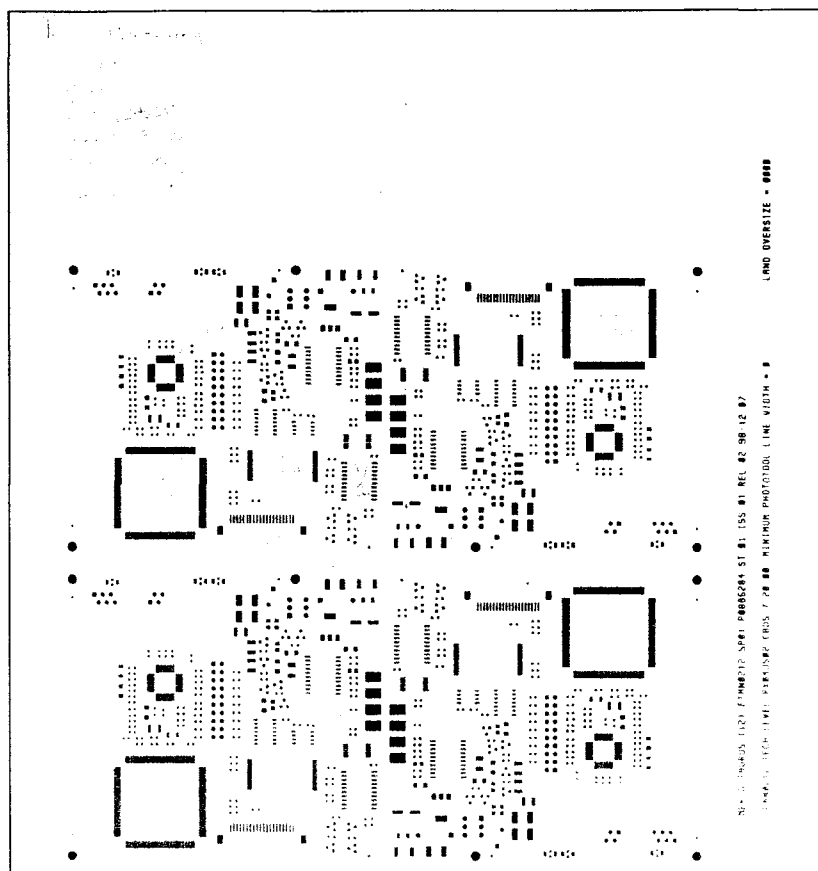


Figura 4. 3 Negativo del esténcil

4.3 Requisición de esténcil

1. Cálculo de las nuevas aperturas
2. Obtención del archivo *Gerber* por parte de la empresa que proporcionó los tableros.
3. Solicitud de una cotización a la empresa
4. Envío de localización y áreas de las nuevas aperturas archivo *Gerber* y tablero al proveedor
5. Envío de un tablero al proveedor para escanear y obtener el negativo del PCB.
6. Autorización del departamento
7. Solicitud al departamento de compras
8. Solicitud del esténcil al proveedor
9. Recepción del esténcil
10. Facturación del esténcil
11. Pago del esténcil

Es necesario definir las condiciones bajo las cuales el proceso de soldadura por reflujo es el adecuado para soldar los componentes SMD, es decir el proceso mediante el cual se obtiene una buena unión de soldadura en estos componentes.

4.4 Parámetros

Descripción	
Velocidad de Impresión	30 mm/s
Presión del Squeegee	0.18 y 0.30 Mpa
Velocidad de separación	0.5 mm/s
Un solo barrido	
Pasta	Multicore
Aleación	Sn63/Pb37
Viscosidad (cP)	660,000

Tabla 4. 2 Principales parámetros

El perfil que se utilizó para soldar los componentes SMD fue el que ya se había utilizado por pruebas anteriores en las cuales se había obtenido una buena unión de soldadura.

Para determinar el perfil de temperatura del horno de reflujo se utilizó un aparato llamado perfilómetro el cual se conecta a los componentes de la tarjeta que pasara a través del horno, por medio de unos termopares, y va almacenando las lecturas a lo largo de todo el interior del horno. Al salir de este el perfilómetro es conectado a la computadora y mediante un software nos arroja las gráficas de las lecturas obtenidas, en este caso son tres (una por cada termopar).

4.5 Proceso de ensamble y soldadura para componentes SMD

1. Colocar estencil
 - a. Revisar posición
2. Configurar Impresora
 - a. Cargar programa
 - b. Determinar posición del estencil
 - c. Configurar el conveyor
3. Colocar la pasta de soldadura
4. Introducir las tarjetas panasert a la impresora
5. Introducir la tarjeta con la pasta en la colocadora
6. Colocación de los 6 componentes
 - a. Configurar colocadora
 - b. Introducir tarjeta
7. Introducir al horno de reflujo (aprox. 6 mins.)

4.6 Proceso del horno de reflujo

1. Cargar el perfil que se va a utilizar
2. Configurar el tamaño del conveyor

4.7 Pruebas de laboratorio

1. Corte de los componentes
2. Colocación de los componentes en recipientes mediante pegamento
3. Preparación de la resina (agitar 20 min)
4. Vaciar la resina
5. Esperar a que la resina solidifique (aprox. 5 a 6 hrs.)
6. Separar el vaso de la resina solidificada
7. Cortar las partes grandes (cortadora)
8. Pulir (varios tamaños de lijas)
9. Pulir con Alumina 0.05 μ
10. Limpiar muestra
11. Observar en el microscopio
12. Fotografiar
13. Determinar las condiciones de la unión de soldadura

4.8 Ensamble de componentes TH

Después de que se determinan las condiciones adecuadas para el ensamble de tarjetas con componentes SMD se procede a ensamblar los componentes TH en las tarjetas T2, el proceso fue el siguiente.

1. Colocar estencil
 - a. Revisar posición
2. Configurar Impresora
 - a. Cargar programa
 - b. Determinar posición del estencil
 - c. Configurar el conveyor
3. Colocar Pasta de soldadura
4. Introducir tarjeta T2 a la impresora
5. Colocar los componentes manualmente
6. Introducir al horno de reflujo

4.9 Pulido de las muestras

Para pulir las muestras se utilizaron cuatro tamaños de lijas, estos tamaños son de 320 , 500, 800 y 1200 granos por plg² (de la más fina a las más gruesa).

Se colocaron las cuatro lijas en las pulidoras.

Se comienza a pulir por la más gruesa para eliminar material de una manera más rápida.

La forma de pulir es mantener la muestra sobre la lija e una sola orientación y rotarla 90° al pasar al siguiente tamaño de lija hasta terminar con la de 1200 granos por plg².

Después se pasa a pulir con Alumina de 0.05μ, hasta lograr un acabado en el que se pueda apreciar claramente el componente.

Cada pulida dependerá de la cantidad de material a desbastar.

El tiempo total para pulir una muestra es de entre 30 y 40 min. aproximadamente.

4.10 Preparación de la Resina

Para la preparación de la resina que es en la que se montara la muestra se prepara utilizando:

Resina REM 001

Polimerizador Hy 956

La porción para mezclar es de 3 partes de resina por 1 de polimerizador, y agitar durante 20 min. aproximadamente. Si la mezcla es la correcta y el tiempo de agitado es el suficiente se tendrán buenos resultados al solidificar sobre la muestra, es decir se evitará la formación de burbujas principalmente [24].

Otro tipo de resina que se puede utilizar para montar las muestras es:

Resina Poliéster M70 x 60 y un catalizador

Este tipo de resina requiere de aproximadamente un minuto para lograr una mezcla homogénea. Para que solidifique requiere de 10 a 15 minutos a 50°C y de 3 horas aproximadamente a 30°C

4.11 Uso del Perfilometro

El uso del perfilómetro es necesario para determinar las temperaturas a las cuales estarán expuestos los componentes dentro del horno de reflujo. Este aparato realiza una colección de datos dentro del horno y obtiene un promedio en determinada distancia para darnos la temperatura que vemos en la gráfica de la Figura 4. 4.

La forma de llevar a cabo este procedimiento es soldar los termopares (en este caso 3) a cada una de las terminales, y sujetarlas con una cinta adhesiva de preferencia que soporte las temperaturas dentro del horno por arriba de los 230°C. una vez soldadas, se conectan en el perfilometro, y este se envuelve en un material aislante como corcho por ejemplo, se introduce al horno de reflujo con la tarjeta a la que se soldaron los termopares por delante y se espera hasta que sale del otro lado del horno.

Posteriormente se conecta a través de un cable a la computadora y mediante el software leemos los datos recopilados por el aparato y se obtienen las 3 gráficas en las que podemos ver claramente las temperaturas en diferentes tiempos [25].

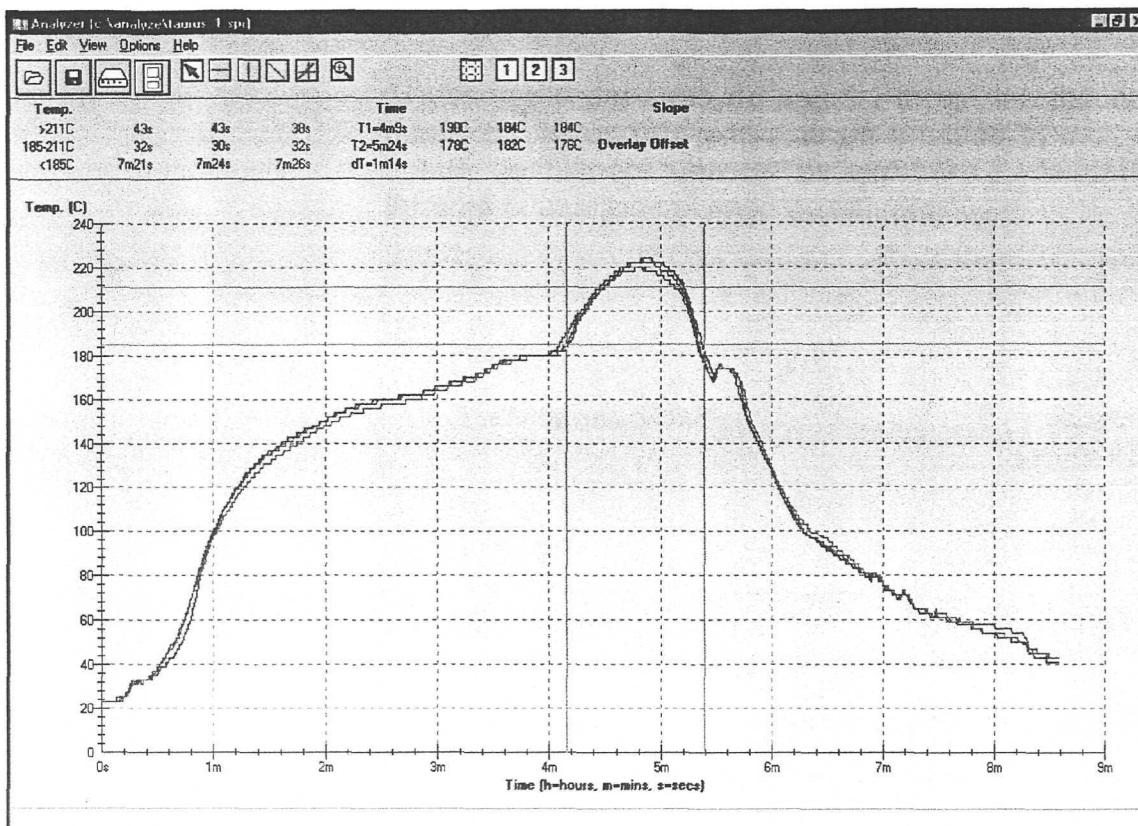


Figura 4. 4 Software del perfilometro (Analyzer)

Capítulo 5. Resultados

5.1 Desarrollo del caso de estudio

El desarrollo del caso de estudio arrojó los resultados que en este capítulo se muestran, estos provienen de un proceso el cual se muestra en la Figura 5. 1 donde de manera general se expresan cada una de las actividades a seguir durante el análisis del caso de estudio.

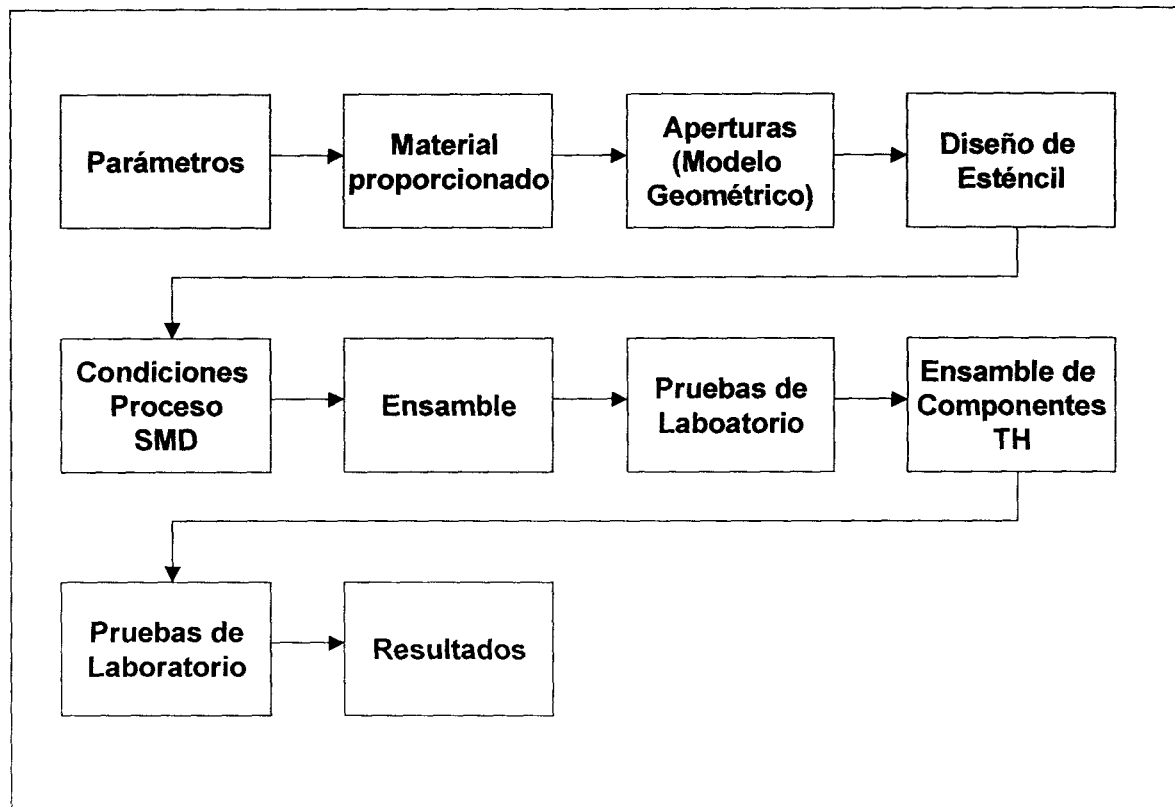


Figura 5. 1 Diagrama del proceso

5.2 Componentes y datos requeridos

Los datos y el número de los componentes que cada tarjeta del caso de estudio contiene se muestran en la Tabla 5. 1.

Cantidad	Local. en tablero	Descripción del componente	Descripción
1	J1	CONN. TELEDAPT TEL ARRAY	Conector Tel
1	J6	CONN. TELEDAPT TEL ARRAY	Conector Tel
1	J5	CONN. STR HEADER 2x10 ARRAY	Conector 2x10
1	T1	TRANSFORMADOR QTK263A7	Transformador
1	RV1	DIODO VARISTOR 47 V 100 A QV-V47ZA05	Diodo Varistor
1	L1	EMI INDR Z10.000 OHM FEB07A1	Resistencia

Tabla 5. 1 Datos de los componentes TH

La Tabla 5. 2 muestra las dimensiones del PCB y del estencil, así como también el factor de inspección que se determinó de 0.9 debido a que se requiere de un filete en los dos lados.

	mm
Espesor PCB	1.0602
Espesor Estencil	0.1524
Factor	0.9

Tabla 5. 2 Datos requeridos para los cálculos de aperturas

5.3 Resultados

Los resultados obtenidos de los cálculos de acuerdo al modelo descrito se muestran en la Tabla 5. 3, así como los que se determinaron en base a la experiencia del personal de una empresa de manufactura electrónica de la localidad. Los cálculos de las fórmulas se realizaron en Excel.

Taurus 2 (mm ²)			
Nombre	Design	Cálculos	Práctica
Conector Tel	J1	6.494261	7.649017
Conector Tel	J6	6.494261	7.649017
Conector 2x10	J5	6.592733	3.096768
Transformador	T1	16.031547	6.774180
Diodo Varistor	RV1	6.679811	2.322576
Inductancia	L1	11.689670	8.090306

Tabla 5. 3 Resultados de los cálculos realizados

Las áreas de apertura se determinaron de acuerdo al mínimo espacio que debe existir entre una y otra. Este mínimo espacio es de 0.254 mm (10 mils), aunque se puede que sea más y es mejor. La Figura 5. 2 muestra las aperturas que se diseñaron de acuerdo a la dirección del desplazamiento del estencil. Se recomienda que el lado más pequeño del rectángulo este perpendicular a como correrá el estencil durante la impresión.

Se pueden colocar ladrones de soldadura en casos en que sea necesario por si una área de apertura quedo muy cerca de otra, esto hará que no se genere un puente de soldadura.

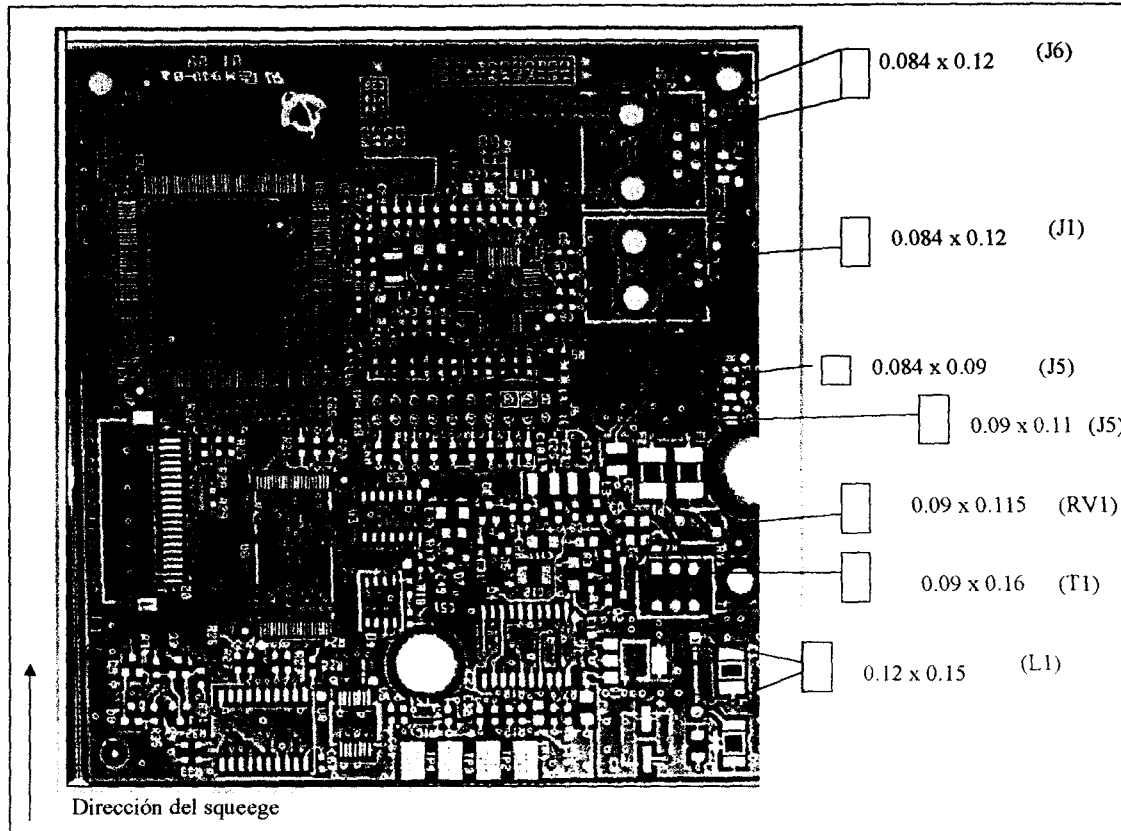


Figura 5. 2 Diseño de las aperturas para la elaboración del estencil. Las medidas están en pulgadas

5.4 Corrida de prueba / validación

5.4.1 Selección de parámetros de impresión

Los parámetros de impresión que utilizan para la impresión de pasta se muestran en la Tabla 5. 4

Vel. de Impresión	30 mm/s
Presión del Squeegee	0.0306 y 0.0184 Kg/mm ² (0.18 y 0.30 Mpa)
Velocidad de separación	0.5 mm/s
Un solo barrido	

Tabla 5. 4 parámetros de impresión

De acuerdo a las pruebas de laboratorio, se determinó que se obtiene una mejor unión de soldadura usando una presión del squeegee de 0.30 Mpa.

5.4.2. Tipo de pasta

El tipo de pasta para estas corridas fue la pasta Multicore Sn63/Pb37, algunos datos se muestran en la Figura 5. 3 (Ver Anexo A)

Recommended Metal Content, % in Multicore CR36 Solder Pastes for Stencil Printing			
Application	Solder Powder Particle Size		
	Code	J-STD-005	Type 3
		Multicore	AGS
Alloy		Sn63	Sn62
Stencil Printing	Metal Content (%)	89.5	89.5
	Viscosity (cP)	660,000	660,000

Figura 5. 3 Especificaciones sobre la pasta de soldadura multicore [26]

5.4.3. Corridas para determinar parámetros del proceso SMD

Después de realizar el ensamble de las tarjetas Panasert y los componentes SMD, se realizaron las pruebas de sección transversal en el laboratorio de materiales.

- Con una presión de 0.0306 Kg/mm² (0.3 Mpa)

En la Figura 5. 4(a) y 5.4(b) se puede observar una buena soldadura, que cumple con los requerimientos mínimos que pide la norma de la ANSI/J-STD-001B octubre 1996.

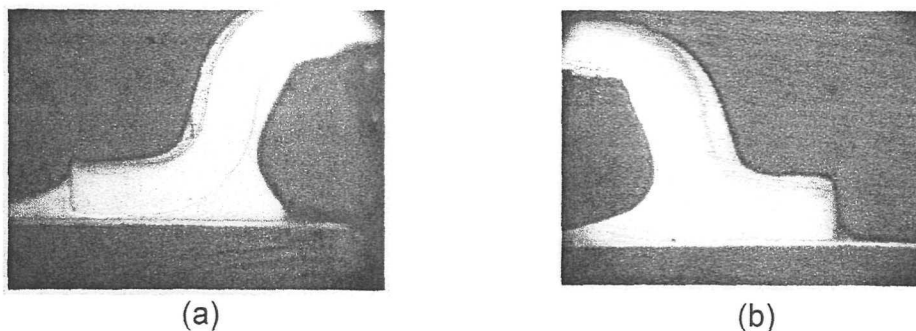


Figura 5. 4 Sección transversal de los componentes ensamblados en SMT

- Con una presión de 0.0184 Kg/mm² (0.18 Mpa.)

No se obtuvieron tan buenos resultados como podemos observar en las Figura 5. 5 a y b.

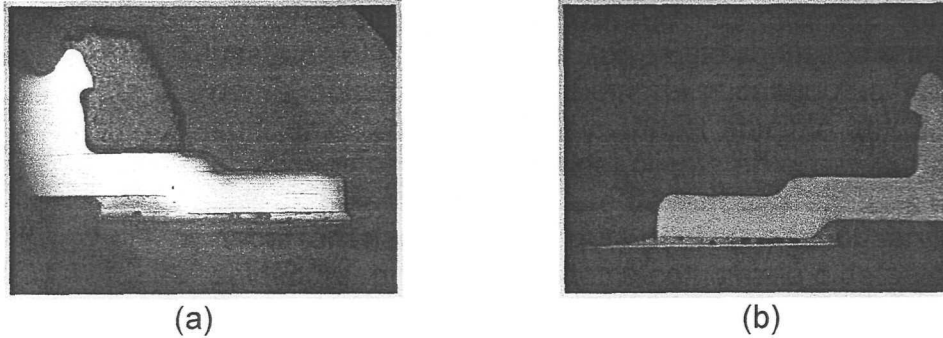


Figura 5. 5 Sección transversal de los componentes ensamblados en SMT con una presión de 0.18 Mpa.

5.4.4. Corridas de muestras con componentes TH

Se realizaron las corridas para la inserción de componentes TH y poder soldarlos a través del horno de reflujo, se utilizaron los parámetros para con los cuales se observó una buena soldadura para los componentes SMD, estos datos se muestran en la Tabla 5. 2.

Para determinar las temperaturas a las cuales los componentes se exponen dentro del horno de reflujo, se obtuvo el perfil, con el perfilometro, la Figura 5. 6. muestra el perfil obtenido con el que se llevó a cabo el proceso de soldadura.

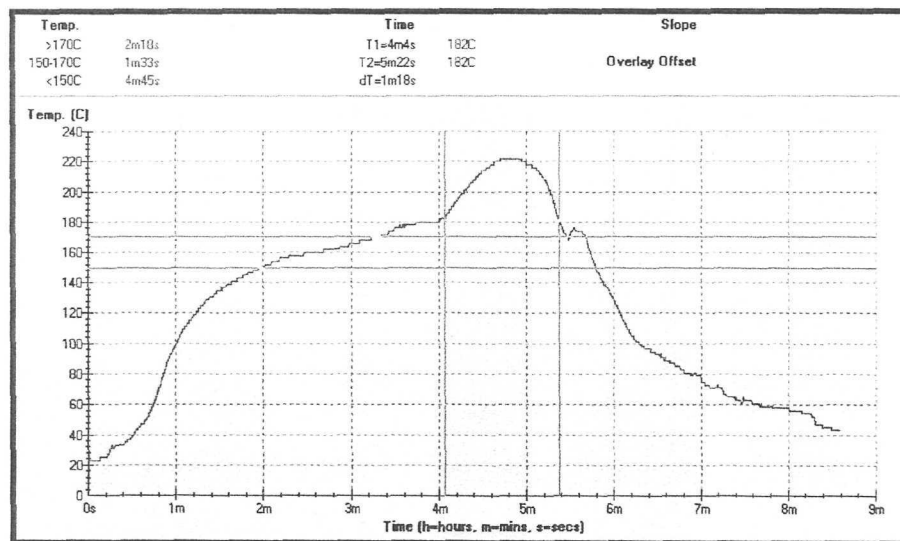


Figura 5. 6 Perfil para componentes TH para el horno de reflujo

5.4.5. Pruebas de laboratorio de componentes TH

Para realizar las pruebas del laboratorio se siguieron los pasos mencionados en las pruebas de laboratorio para componentes SMD.

El criterio IPC-A-610 que se utilizó fue si al analizar el ensamble, éste cumplía o no con la norma IPC-A-610, que nos dice que el mínimo aceptable de llenado de pasta en el orificio es de 75%. Esto implicaba también el observar burbujas dentro de la soldadura. Esto siempre y cuando la cantidad de burbujas no sea la suficiente como para afectar el mínimo de llenado permisible. En muchas ocasiones esto depende del cliente en el sentido que éste puede aceptar la unión con un determinado número de burbujas en cada unión o simplemente la unión no debe tenerlas. En la Figura 5. 7 (a) se observa un componente con falta de soldadura, por lo que se toma como mala o defectuosa la muestra y en la Figura 5. 7 (b) se puede ver que existe una buena soldadura, por lo que es una muestra que se toma como buena.

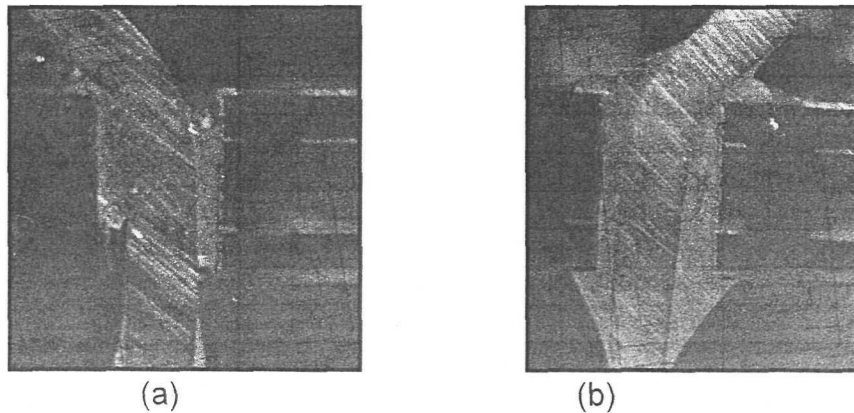


Figura 5. 7 Muestras de cross section de componentes SMD del caso de estudio

5.5. Comparación de proporciones

Una vez que se realizaron las observaciones se procedió a determinar cual de los dos tipos de aperturas fue la mejor. Esto se realizó por medio de una comparación de proporciones.

Primero se determinó cuales componentes presentaban una buena soldadura y cuales no. Aquellos componentes en los que se presentó una buena soldadura se les asignó un 1, a los que no un 0. Los resultados que se obtuvieron fueron los que se muestran en la Tabla 5. 5, en la que se determinan la cantidad de buenas (1) y la cantidad de malas (0).

No.	Cálculos	Práctica	No.	Cálculos	Práctica
1	1	0	31	1	0
2	1	0	32	1	0
3	1	0	33	1	0
4	1	1	34	1	1
5	0	1	35	0	1
6	0	1	36	0	1
7	1	0	37	1	0
8	1	1	38	1	1
9	1	1	39	1	1
10	1	1	40	1	1
11	0	0	41	0	0
12	1	0	42	1	0
13	1	0	43	1	0
14	1	0	44	1	0
15	1	1	45	1	1
16	0	1	46	0	1
17	1	1	47	1	1
18	1	0	48	1	0
19	1	1	49	1	1
20	0	0	50	0	0
21	1	1	51	1	1
22	1	0	52	1	0
23	1	1	53	1	1
24	1	0	54	1	0
25	0	1	55	0	1
26	1	1	56	1	1
27	1	0	57	1	0
28	1	0	58	1	0
29	1	1	59	1	1
30	0	1	60	0	1

Tabla 5. 5 Datos obtenidos de las observaciones de laboratorio a las muestras.

$n = 46,$
 $m = 32,$

donde n es el número de buenos de las muestras provenientes de aperturas con cálculos y m es el número de buenos de las muestras con áreas de aperturas de la práctica.

Se plantearon la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

$H_0 : p_1 = p_2,$
 $H_a : p_1 > p_2,$

donde p_1 es la proporción referente al resultado de las muestras analizadas, en las que se depositó soldadura con las aperturas mediante cálculos, p_2 es la proporción que se refiere a las muestras en las que se utilizaron las aperturas calculadas en base a la experiencia (práctica).

En la prueba de hipótesis donde la estadística de prueba es discreta, la región crítica se puede elegir de manera arbitraria y determinar su tamaño. Si α es demasiado grande, se puede reducir al hacer un ajuste en el valor crítico. Puede ser necesario aumentar el tamaño de la muestra para compensar la disminución que ocurre de manera automática en la potencia de la prueba.

Por generaciones enteras de análisis estadístico, se ha hecho costumbre elegir una α de 0.05 o 0.01 y seleccionar la región crítica en consecuencia. Entonces, por supuesto, el rechazo o no rechazo estricto de H_0 dependerá de esa región crítica [22].

Se utilizó un nivel de confianza del 95 %, $\alpha = 0.05$

El resultado de los \hat{p} estimados fue el siguiente:

De (3.12) obtenemos:

$$\hat{p}_1 = 0.767$$

De (3.13) obtenemos:

$$\hat{p}_2 = 0.5$$

De (3.11) obtenemos:

$$EP = 2.157(\text{estadístico de prueba})$$

Obteniendo $Z\alpha$ de tablas tenemos:

$$Z\alpha = 1.645$$

El p valor = 0.015492347

Este valor se encuentra lejos del 0.05

Gráficamente lo podemos observar en la Figura 5. 8 en la que el estadístico de prueba cae por fuera del área que se obtuvo de tablas.

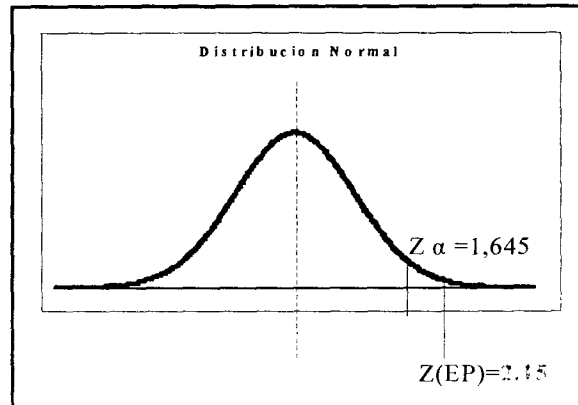


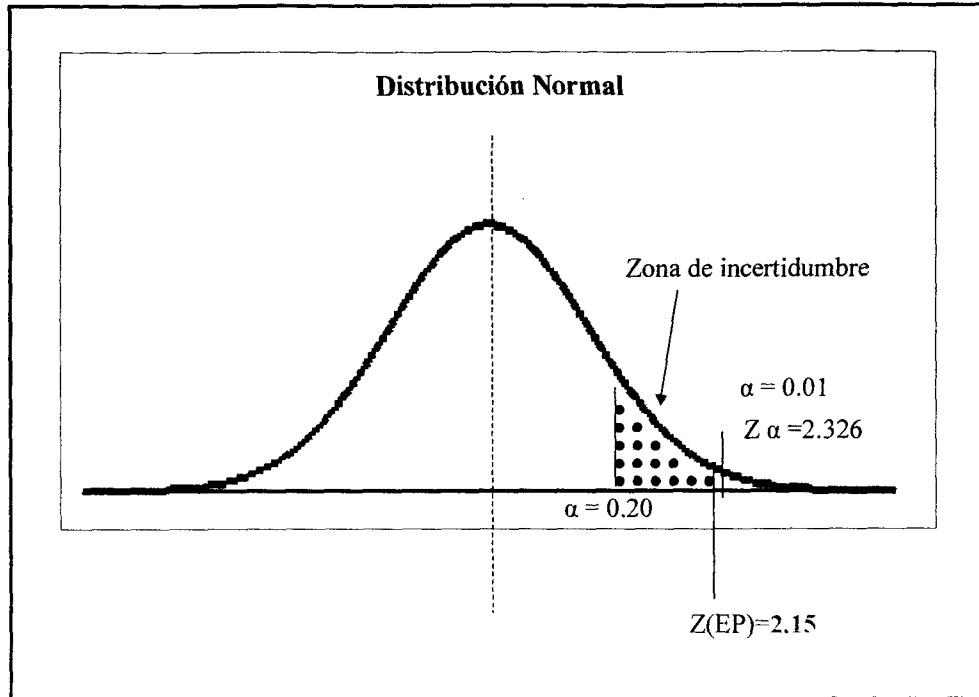
Figura 5. 8 Gráfica de la distribución normal donde se muestra el estadístico de prueba en el área de rechazo de H_0 .

Con esto concluimos que se *Rechaza H_0* por lo que podemos determinar estadísticamente, y de acuerdo al número de muestras, que las aperturas por cálculos resultan ser más efectivas para el suficiente llenado del orificio en la tarjeta y la obtención una buena soldadura.

Ahora, utilizando un nivel de confianza del 99 %, $\alpha = 0.01$

Obtenemos $Z\alpha$ de tablas:

$$Z\alpha = 2.326$$



Gráfica 5. 1 Gráfica de distribución normal con zona de incertidumbre

El valor del estadístico de prueba (2.15, valor que no cambia aunque se modifique el nivel de confianza) se encuentra dentro de la zona de incertidumbre y muy cerca del valor Z_{α} (2.326) de tablas el cual se obtuvo con el nivel de confianza del 99%.

La zona de incertidumbre es la que se encuentra definida, por costumbre, a partir de un valor de confiabilidad del 80% ($\alpha = 0.20$) y llega hasta el valor de rechazo que en este caso es para un valor de confiabilidad del 99% ($\alpha = 0.01$). Cualquier valor Z que se encuentre dentro de la zona de incertidumbre ($\alpha = 0.20$ a $\alpha = 0.01$) será sujeta a evaluación, es decir, podrá sugerir aceptar o rechazar de acuerdo al criterio y experiencia del analista. Para decidir aceptar se puede proceder a evaluar de nuevo según el costo de un nuevo estudio en cuestión de tiempo, dinero y recursos.

Por tal motivo, en nuestro caso se puede rechazar H_0 . Es decir, aunque el valor de Z cae antes de la zona de rechazo, este valor está tan cerca que se puede determinar que la Hipótesis nula se rechaza, ya que realizar otro estudio nos consumiría más tiempo y recursos (materia prima) y por supuesto un costo adicional.

Para el caso de estudio y los componentes mencionados en la tabla 5.1, las condiciones bajo las cuales el proceso de Tecnología Mixta PIHR es adecuado son las que se describen a continuación, en la Tabla 5. 6

Condiciones		Especificaciones				
Línea de ensamble		SMT del CSIM del ITESM campus Monterrey				
Parámetros de impresión						
Velocidad. de Impresión		30 mm /s				
Velocidad de separación		0.5 mm /s				
Distancia de separación		1 mm				
Presión del Squeegee		0.0306 Kg/mm ² (0.30 Mpa)				
Número de barridos		uno				
Tipo de Pasta		Multicore Tipo de Flux: No Clean Aleación: 63/37 Sn/Pb Contenido de metal:89.5% en peso Tamaño de partícula: Type 3 Viscosidad cP: 660,000				
Colocación de componentes TH		Manual				
Perfil de temperatura °C						
Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
172	165	165	165	178	215	230

Tabla 5. 6 Condiciones para el proceso PIHR

5.6 Validación de los datos

Para realizar la validación de los resultados encontrados se procedió a realizar un segundo ensamble de componentes TH de 10 tableros (4 tarjetas cada uno) del mismo modelo T2 anteriormente analizado. Esto para corroborar las condiciones bajo las cuales el proceso resultó eficiente. Para este ensamble se utilizaron las aperturas obtenidas de acuerdo a cálculos y además se buscó optimizar las condiciones del proceso.

Se realizó el ensamble en la línea del Programa SMT del ITESM de acuerdo a los procedimientos anteriormente descritos.

Se cortaron las terminales del componente RV1 y de J6 aproximadamente un milímetro, para que la pasta de soldadura pudiera refluir hacia arriba al momento de fundirse. Se utilizó un análisis de sección transversal a los componentes TH para determinar el porcentaje de llenado de los componentes y con esto establecer si el proceso fue el adecuado. En esta prueba se utilizó una pasta de soldadura diferente a la aplicada en la primer corrida. El tipo de pasta se muestra en el análisis de los componentes abajo mostrados. Las demás condiciones fueron

las mismas que las que se utilizaron en las primeras 20 muestras. Los resultados de las 20 tarjetas analizadas fue el siguiente:

Análisis de los componentes

Responsable: Juan Pedro Hinostrroza Díaz
 Fecha: 22 de feb de 2002
 Presión: 0.0306 Kg/mm²
 Tipo de pasta: Multicore RP15 63/37 Sn/Pb (Anexo A)

Componentes	Tarjetas																				Total ✓
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
J1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20
J6	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	16
J5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20
T1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20
RV1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20
L1	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	19
Total	5	6	6	4	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	

- ✓ Componentes que se encuentran con buena unión de soldadura, además de suficiente cantidad de pasta.
- x Componentes con insuficiencia de pasta de soldadura.

En la tabla podemos observar los resultados del ensamble de los componentes, con los cuales podemos determinar las partes defectuosas por millón (DPPM). Esto se calcula con la siguiente formula:

$$DPPM = \frac{\text{Unidades defectuosas}}{\text{Total de unidades procesadas}} \times 1,000,000$$

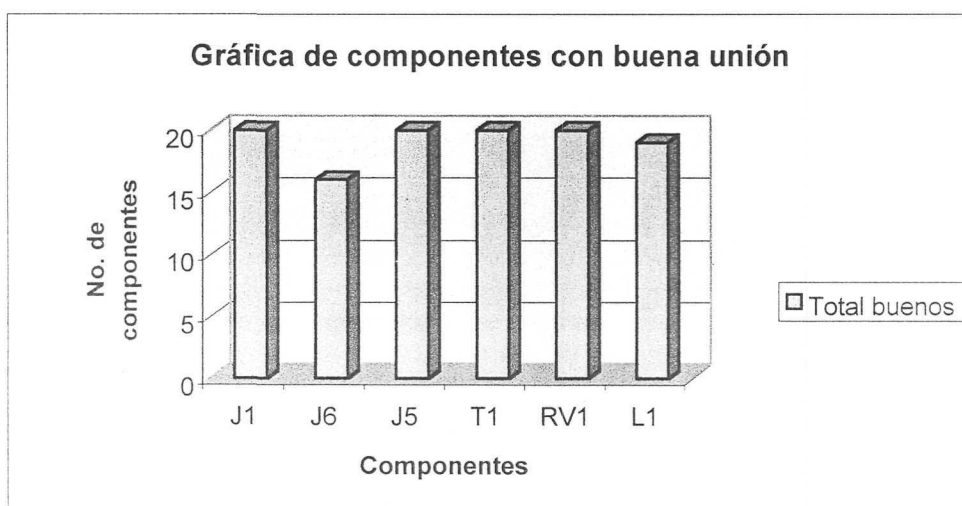
El total de unidades defectuosas en el ensamble es 5, y tenemos un total de unidades procesadas de 120, por lo tanto:

$$DPPM = 41,667$$

Aunque siempre es posible mejorar cualquier proceso, los resultados nos indican que las condiciones del proceso PIHR, las cuales se habían establecido anteriormente, funcionan adecuadamente.

Descripción de los componentes

Cant.	Local. En Tablero	Descripción del componente	Diam terminal mils.	Diam. Del Pad mils.
1	J1	CONN. TELEDAPT TEL ARRAY	0.01772	0.03750
1	J6	CONN. TELEDAPT TEL ARRAY	0.01772	0.04143
1	J5	CONN. STR HEADER 2x10 ARRAY	0.02362	0.05324
1	T1	TRANSFORMADOR QTK263A7	0.02362	0.04794
1	RV1	Diodo Varistor 47 V 100 A QV-V47ZA05	0.02362	0.04340
1	L1	EMI INDR Z10.000 OHM FEB07A1	0.02559	



Gráfica 5. 2 Gráfica del número de componentes con buena unión

Gráficamente podemos observar que solo los componentes J6 y L1 son los que presentaron insuficiencia de pasta en pocos de ellos. Estas fallas se pudieron presentar debido a algún error al ensamblar el componente por parte del operador. El obtener mejores resultados en este ensamble podría atribuirse también al tipo de pasta que se utilizó, Multicore RP15 63/37 Sn/Pb (Anexo A). Esta pasta de soldadura presenta las mismas características que la Multicore CR36 excepto la viscosidad. (Multicore RP15 10,000 cP más que la Multicore CR36, más datos en Anexo A). La variación en los resultados puede ser que al presentar mayor viscosidad, permite que la pasta quede mejor distribuida en el área deseada o que abarque una mayor superficie y que esta no se corra. Para estar seguro de estos resultados debería realizarse un estudio más detallado (donde se involucren varios

tipos de pasta con diferentes características) para determinar si efectivamente el tipo de pasta afecta en los resultados obtenidos en las uniones de los componentes en el proceso PIHR.

Capítulo 6. Conclusiones

6.1 Conclusiones

- Se desarrolló un modelo geométrico para determinar las aperturas en el estencil, que resultó ser mejor y más rápido que el modelo empírico. El modelo geométrico nos permite calcular las aperturas de una manera más rápida y segura. Aunque esta no es la única variable que debemos de tomar en cuenta es de mucha importancia ya que estas aperturas nos permitirán depositar la cantidad de pasta suficiente en el orificio. Debemos sin embargo tomar en cuenta otros parámetros tales como la presión del squeegee, tipo de pasta o velocidad de impresión.
- El tiempo de proceso y entrega se reduce con posibilidad de mejorar al hacer ajustes en la línea de producción. Al implementar este proceso de PIHR disminuye el tiempo de proceso de ensamble total de la tarjeta con todos sus componentes TH y SMD esto porque eliminamos el proceso de soldadura por ola, y el tiempo invertido en el ensamble de componentes TH para ser soldados por reflujo no aumenta el tiempo de producción. El tiempo de proceso en la línea de SMT aumenta, pero este aumento no rebasa el tiempo de proceso total que se emplea al utilizar el proceso de soldadura por ola.
- De acuerdo con el experimento se determinó que los parámetros más críticos son:
 - El perfil del horno de reflujo y
 - La estimación del volumen de soldadura requerido en el PIHR.
- Para maximizar la eficiencia del proyecto de PIHR es necesario la habilidad del operador para ensamblar los componentes TH ya que deberá conocer las áreas del tablero. Algunas dificultades que se presentaron al momento del ensamble de componentes TH en la tarjeta T2 fue la colocación manual, en este punto el trabajador deberá tener experiencia en esta operación. De lo contrario el no tener la habilidad para colocarlos manualmente se puede incurrir en errores, tales como provocar puentes de soldadura dado que la pasta está lo suficientemente cerca como para que con cualquier movimiento provoque defectos. Así, para este proceso es necesario que el operador esté familiarizado con la distribución del tablero o tarjeta, ya que de este modo será más fácil la colocación de componentes.
- En el experimento se pudo determinar que el largo de la terminal afecta el porcentaje de insuficiencia en el orificio, el máximo requerido desde el PCB es de 1.3mm (50 mils) para asegurar un buen llenado.

-
-
- Existe un límite en la presión de la impresora para llenar los orificios, después del cual la altura de la pasta para los SMD se verá afectada.
 - Cuando el tablero consta de múltiples tarjetas, estas tienen un ligero corte que los separa, por lo que al ensamblar los conectores TH se pueden desprender dichas tarjetas, para esto será necesario implementar un dispositivo sobre el conveyor para que soporte el tablero por las partes débiles.
 - Para determinar el tipo de conveyor será necesario investigar el equipo más adecuado que cumpla con las especificaciones de ergonomía y facilidad de ensamble.
 - Si se tienen componentes muy pequeños o componentes donde el lugar para la colocación de soldadura donde va conectada la terminal del componente (*pad*) se puede ver afectada por la presión del squeegee ya que podemos colocar más pasta de la requerida y generar con esto puentes de soldadura.
 - Al eliminar el proceso de soldadura por ola nos estaremos ahorrando el costo del equipo, en este caso la máquina de soldadura por ola y según el número de componentes a colocar el costo incluido por el número de operarios en la línea SMT no es tan sustancial. Al implementar este proceso nos ahorramos el desperdicio de flux utilizado en el proceso de soldadura por ola.
 - Al implementar este nuevo proceso de PIHR será necesario también modificar el Diseño para Ensamble (DFA) y el Diseño para Manufactura (DFM), ya que es importante en ocasiones cambiar la distribución o el diseño del PCB para que podamos aplicar más adecuadamente este proceso. Así también será necesario obviamente modificar la línea de ensamble, ya que seguramente se agregaran operarios si la colocación se realiza manualmente o máquinas si se pretende hacerlo automáticamente.

6.2 Recomendaciones

- El diseño de la tarjeta debe hacerse pensando en el uso del método PIHR para facilitar el diseño de las aperturas.
- Trabajo de equipo entre el área de diseño y el área de proceso para determinar los puntos importantes que afectan en el diseño de aperturas para el método PIHR.
- Adecuar la línea de ensamble con conveyors que faciliten la colocación de componentes TH, y es posible optimizar el proceso mediante la

implementación de colocadoras automáticas de componentes TH, en estos casos sería conveniente realizar un estudio para ver hasta donde es costeable introducir este equipo en la línea.

- DFA / DFM principios necesarios para ser aplicados y lograr maximizar la eficiencia en el proceso.
- Como ya se discutió en capítulos anteriores

6.3 Consideraciones Futuras

- Mejorar el proceso de impresión
 - *Tipo de squeege*
 - *Angulo de ataque*
- Establecer otros espesores de esténcil.
- Elaborar estudio con distintos tamaños de apertura de acuerdo al tamaño del orificio con respecto a la terminal.
- Encontrar una nueva fórmula que incluya.
 - *Número de filetes*
 - *Contenido de metal en la pasta*
- Otra consideración a tomar en cuenta es el rediseño de componentes TH en lo que se considera además del material, el tamaño de la terminal, esto es importante ya que si el tamaño de la terminal es muy grande por debajo del PCB, esta hará que la pasta de soldadura se corra hacia abajo y sea más difícil regresar y formar el filete a la hora de que se funda. Por eso es importante el rediseño de los componentes TH, para elaborarlos del tamaño requerido para el proceso de soldadura por reflujo y obtener un buen filete.
- Cualquier proceso esta sujeto a mejora y este no es la excepción por lo que se recomienda revisar y modificar los parámetros de impresión para buscar constantemente el que nos arroje resultados óptimos en el proceso de impresión.

Anexo A. Pastas de soldadura



1001 Trout Brook Crossing
Rocky Hill, CT 06067-3910
Telephone: (860) 571-5100
FAX: (860) 571-5465

Laboratory Data Sheet

Product RP15

Electronics Version, June 2001

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE® Product Multicore™ RP15 solder paste is formulated as a No Clean product for printing and reflow in air, where process yield is critical. RP15 solder pastes offer excellent open time, greatly extended abandon time and good soldering activity, especially on OSP copper.

- Residues non-corrosive – eliminates the need for cleaning
- Excellent open time and tack life
- Formulated to give excellent wetting on copper OSP board
- Suitable for fine pitch, high speed stencil printing up to at least 150 mm/sec
- Excellent slump resistance
- Extended "between-print" abandon time
- Long component tack time
- Effective over a wide range of reflow profiles in air or nitrogen
- Suitable for a range of alloys including anti-tombstoning 63S4 and high temperature materials
- Dispensing grade available

Multicore RP15 solder pastes may be supplied with powder made from a range of alloys in the Multicore Product Range. The most common alloys used are Sn62 and Sn63 conforming to the purity requirements of J-STD-006 and EN 29453. Multicore's unique 63S4 alloy may be specified to eliminate tombstoning defects, which can occur when reflowing very small chip components. Minimum order requirements may apply to certain alloys and powder particle sizes.

TYPICAL APPLICATIONS

Multicore RP15 contains a high activity yet No Clean type of flux and will be suitable for most assembly processes. It is especially suited to meet the demands of high volume production processes using components and boards, which have less than the desirable level of solderability. The activity level of RP15 produces greater tolerance to process variations and lower tendency to poor component wetting.

Multicore RP15 Solder Pastes for Stencil Printing				
Solder Powder Particles	Size	45-20µm		45-10µm
	Multicore code	AGS		ACS
	J-STD-005	Type 3		--
Metal Content (%)	89	89.5	90	89.5
Viscosity (cP) ±10%	620,000	670,000	740,000	660,000

Multicore RP15 Solder Pastes for Dispensing	
Solder Powder Particles	
Size	45-20µm
Multicore code	AGS
J-STD-005	Type 3
Metal Content (%)	85
Viscosity (cP) ±10%	400,000

TYPICAL PROPERTIES

The properties of solder paste depend in part on the metal content, the solder alloy and the solder particle size range. In general terms, increasing metal content reduces the tendency to slump and reduces the tack life of the solder paste, while the solder balling performance improves.

It is common to characterize the rheology of solder pastes by making a viscosity measurement at a single shear condition. Increasing metal content increases the measured value and at higher metal contents, decreasing the mean solder powder particle size can have the same effect. A more informative indication of the rheological properties of solder pastes is provided by a plot of viscosity versus shear rate and these data are summarized as the "Thixotropic Index" of a paste.

Typical properties of a selected Multicore RP15 solder paste are as follows. Details supplied on request.

Properties	RP15	
	Sn62,Sn63	63S4
Alloy	Sn62,Sn63	63S4
Metal Content, %	89.5	89.5
Powder Particle Size, µm	45 - 20	45 - 10
Multicore Code	AGS	ACS
Viscosity measured at 25°C		
Brookfield, cP ⁽¹⁾	670,000	660,000
Malcom, p ⁽²⁾	1,500	1,400
Thixotropic Index, TI ⁽³⁾	0.68	0.70
Slump, ⁽⁴⁾ IIV Method, mm		
1 hr, room temp.		
0.7mm pads	0.2	0.2
1.5mm pads	0.2	0.2
80°C, 20 mins		
0.7mm pads	0.2	0.2
1.5mm pads	0.3	0.2

⁽¹⁾ Measured at 25°C, TF spindle at 5rpm after 2 minutes

⁽²⁾ Measured at 25°C, and a shear rate of 6s⁻¹

⁽³⁾ TI = log (viscosity at 1.8s⁻¹/viscosity at 18s⁻¹)

⁽⁴⁾ Slump data are expressed as the minimum spacing between pads of the size shown that does not allow bridging

Solder powder: The solder powder for Multicore RP15 solder pastes is produced by atomizing alloys conforming to the purity requirements of J-STD-006, EN 29453 or other national and international standards where relevant.

Careful control of production processes ensures that the solder powder is at least 97% spherical (aspect ratio <1.5) and contains less than the minimum level of contaminants that would adversely affect solder paste performance. A typical maximum oxide contamination level of 80 ppm (expressed as oxygen in solder) is regularly achieved or bettered.

NOT FOR PRODUCT SPECIFICATIONS.
THE TECHNICAL DATA CONTAINED HEREIN ARE INTENDED AS REFERENCE ONLY.
PLEASE CONTACT LOCTITE CORPORATION QUALITY DEPARTMENT FOR ASSISTANCE AND RECOMMENDATIONS ON SPECIFICATIONS FOR THIS PRODUCT.
ROCKY HILL, CT FAX: +1 (860)-571-5473 DUBLIN, IRELAND FAX: +353-(1)-451 - 9959

TYPICAL RELIABILITY PROPERTIES

Solder paste medium: Multicore RP15 contains a stable resin system and solvents with high boiling ranges and low odor. RP15 is classified as Type LR3CN under IPC-SF-818 specification and Type RO L1 to ANSI/J-STD-004 standard.

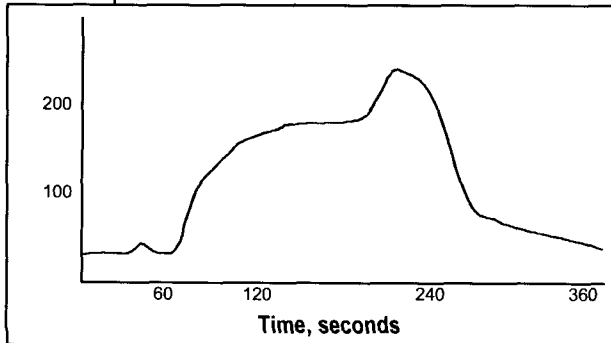
Test	Specification	Results
Copper Plate Corrosion	DTD599A	Pass
	ANSI/J-STD-004	Pass
	BS5625	Pass
Copper Mirror Corrosion	ANSI/J-STD-004	Pass
Surface Insulation Resistance (without cleaning)	ANSI / J-STD-004	Pass
	IPC-SP-819	Pass
	Bell Telephone TR-NWT-000078 Issue 3	Pass
Electromigration (without cleaning)	Bell Telephone TR-NWT-000078 Issue 3	Pass
Flux Activity Classification (without cleaning)	IPC-SF-818	LR3CN
	ANSI/J-STD-004	RO L1
	EN 29454	1.1.2

GENERAL INFORMATION

For safe handling information on this product, consult the Material Safety Data Sheet, (MSDS).

Directions for Use: Grades of RP15 solder paste are currently available for stencil printing down to 16 mil (0.4 mm) pitch devices with AGS (Type 3) powder size. Printing at up to 150 mm.sec⁻¹ can be reliably achieved in production using electroformed or laser-cut stencils with a metal blade squeegee (60°). This is due to a unique rheology, which ensures that the higher shear rate viscosity is relatively low and the thixotropic index is high enough to ensure excellent definition and slump resistance, while maintaining good roll and drop off behavior. It can be used in volume production down to speeds of 25 mm.sec⁻¹, but even better print results are obtained if the speed is increased. Unlike some pastes, high squeegee pressures are not required, making RP15 particularly useful for second side printing processes. The excellent resistance to drying and consequent avoidance of blocking stencil apertures means that RP15 yields good quality prints immediately after printer down times of greater than 3 hours (in laboratory tests) with no need for conditioning prints. RP15 solder pastes do not require the addition of thinners either before or during use. It is recommended that product shipped in jars should be gently stirred for 15 seconds before use.

Reflow: Any of the available methods of heating to cause reflow may be used including IR, convection, hot belt, vapor phase and laser soldering. RP15 is not particularly sensitive to reflow profile type. It is not practicable to recommend an ideal reflow temperature profile for all situations; however, the following shows an example profile, which has given good results in practice.



It is particularly useful when setting up a machine to measure the preheat using the Multicore SoldaPro Temperature Profile System (data sheet available).

Cleaning: The residues from Multicore RP15 solder pastes may be left on the PCB in many applications since they do not pose a hazard to long term reliability. However, should there be a specific requirement for residue removal, this may be achieved using conventional cleaning processes based on solvents such as Multicore Prozone, or suitable saponifying agents.

For stencil cleaning and cleaning board mis-prints, Multicore SC-01 Solvent Cleaner is recommended.

Packaging: RP15 solder pastes are supplied in:

- 1kg, 500g or 250g plastic jars with an insert to seal off the surface of the paste
- 1kg standard, 1kg or 500g Pyles or Semco cartridges for direct application

Other forms of packaging may be available on request.

Shelf Life: Provided Multicore RP15 solder pastes are stored tightly sealed in the original container at 5-10°C, a minimum shelf life of 6 months can be expected. Air shipment is recommended to minimize the time that containers are exposed to higher temperatures.

Storage: It is recommended to store RP15 at 5-10°C. The paste should be remove form cold storage a minimum of 8 hours prior to use. Multicore RP15 solder pastes have been formulated to reduce separation on storage to a minimum but should this occur, gentle stirring for 15 seconds will return the product to its correct rheological performance. To prevent contamination of unused product, do not return any material to its original container.

Data Ranges: The data contained herein may be reported as a typical value and/or range. Values are based on actual test data and are verified on a periodic basis.

Note

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, **Loctite Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Loctite Corporation's products. Loctite Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits.** The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Loctite Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.



1001 Trout Brook Crossing
Rocky Hill, CT 06067-3910
Telephone: (860) 571-5100
FAX: (860) 571-5465

Laboratory Data Sheet

Product CR36

Electronics Version, June 2001

TYPE L NO CLEAN, CLEAR RESIDUE SOLDER PASTE

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE® Product Multicore™ CR36 solder pastes are formulated as modest residue level products for printing and reflow in air. These pastes offer good open time, extended abandon time and good soldering activity with clear post soldering residues.

- Clear residues for easy visual inspection
- Residues non-corrosive – eliminates the need for cleaning
- Enhanced activity to deal with poor component solderability
- Good activity on copper OSP board
- Suitable for fine pitch, high speed stencil printing up to at least 200 mm/sec
- Excellent slump resistance
- Excellent tack performance and printer open time
- Extended "between-print" abandon time
- Long component tack time
- Effective over a wide range of reflow profiles in air or nitrogen
- Suitable for a range of alloys, including lead-free and high temperature materials
- RO L0 TO ANSI/J-STD-004

Multicore CR36 solder pastes may be supplied with powder made from a range of alloys in the Multicore Product Range. The most common alloys used are Sn62 and Sn63 conforming to the purity requirements of J-STD-006 and EN 29453. Minimum order requirements may apply to certain alloys and powder particle sizes.

TYPICAL APPLICATIONS

Multicore CR36 contains a high activity yet No Clean type of flux and will be suitable for most assembly processes. It is especially suited to meet the demands of high volume production processes using components and boards, which have less than the desirable level of solderability. The activity level of CR36 produces greater tolerance to process variations and lower tendency to solder balling.

Recommended Metal Content, % in Multicore CR36 Solder Pastes for Stencil Printing				
Application	Solder Powder Particle Size			
	Code	J-STD-005	Type 3	
		Multicore	AGS	AGS
Alloy		Sn63	Sn62	
Stencil Printing	Metal Content (%)		89.5	89.5
	Viscosity (cP)		660,000	660,000

TYPICAL PROPERTIES

The properties of solder paste depend in part on the metal content, the solder alloy and the solder particle size range. In general terms, increasing metal content reduces the tendency to slump and reduces the tack life of the solder paste, while the solder balling performance improves.

It is common practice to characterize the rheology of solder pastes by making a viscosity measurement at a single specified shear condition. Increasing metal content increases the measured value and at higher metal contents, decreasing the mean solder powder particle size can have the same effect. A more informative indication of the rheological properties of solder pastes is provided by a plot of viscosity versus shear rate and these data are summarized as the "Thixotropic Index" of a paste.

Typical properties of selected Multicore CR36 solder pastes are as follows. Full details of test methods will be supplied on request.

Properties	CR36
Alloy	Sn62, Sn63
Metal Content, %	89.5
Powder Particle Size, μm	20-45
Multicore Code	AGS
Viscosity measured at 25°C Brookfield, cP ⁽¹⁾	660,000
Malcom, ρ ⁽²⁾	1550
Thixotropic Index, TI ⁽³⁾	0.60
Slump, ⁽⁴⁾ IIW Method, mm	
1 hr, room temp.	
0.7mm pads	0.2
1.5mm pads	0.2
80°C, 20 mins	
0.7mm pads	0.2
1.5mm pads	0.2
Abandon time	
Pitch	
20 mil and greater	>2 hours
16 mil and less 10 mil aperture	2 hours
8 mil aperture or less	1 hour
Tack ⁽⁵⁾	
Initial tack force, gmm^{-2}	1.33
Peak tack force, gmm^{-2}	1.57
Useful open time, hours	48

⁽¹⁾ Measured at 25°C, TF spindle at 5rpm after 2 minutes

⁽²⁾ Measured at 25°C, and a shear rate of 6s^{-1}

⁽³⁾ $\text{TI} = \log(\text{viscosity at } 1.8\text{s}^{-1} / \text{viscosity at } 18\text{s}^{-1})$

⁽⁴⁾ Slump data are expressed as the minimum spacing between pads of the size shown that does not allow bridging

⁽⁵⁾ Tack data are derived from comparative laboratory tests and do not necessarily relate directly to a particular user's conditions

Solder powder: The solder powder for Multicore CR36 solder pastes is produced by atomizing alloys conforming to the purity requirements of J-STD-006, EN 29453 or other national and international standards where relevant. Careful control of production processes ensures that the solder powder is at least 97% spherical (aspect ratio <1.5) and contains less than the minimum level of contaminants that would adversely affect solder paste performance. A typical maximum oxide contamination level of 80 ppm (expressed as oxygen in solder) is regularly achieved or bettered.

NOT FOR PRODUCT SPECIFICATIONS.
THE TECHNICAL DATA CONTAINED HEREIN ARE INTENDED AS REFERENCE ONLY.
PLEASE CONTACT LOCTITE CORPORATION QUALITY DEPARTMENT FOR ASSISTANCE AND RECOMMENDATIONS ON SPECIFICATIONS FOR THIS PRODUCT.
ROCKY HILL, CT FAX: +1 (860)-571-5473 DUBLIN, IRELAND FAX: +353-(1)-451-9959

TYPICAL FLUX PROPERTIES

Solder paste medium: Multicore™ CR36 contains a stable resin system and solvents with high boiling ranges and low odor. CR36 is classified as Type LR3CN under IPC-SF-818 specification and Type RO L0 to ANSI/J-STD-004 standard.

Test	Specification	Results
Copper Plate Corrosion	DTD599A	Pass
	JIS-Z-3197	Pass
	ANSI/J-STD-004	Pass
	IPC-SF-818	Pass
Copper Mirror Corrosion	ANSI/J-STD-004	Pass
Chlorides & Bromides	ANSI/J-STD-004	Pass
Surface Insulation Resistance (without cleaning)	ANSI / J-STD-004	Pass
	IPC-SF-818	Pass
Electromigration (without cleaning)	Bellcore GR-78-Core spec. Issue 1, Sept. 1997	Pass
	Bellcore GR-78-Core spec. Issue 1, Sept. 1997	Pass
Flux Activity Classification (without cleaning)	Bellcore GR-78-Core spec. Issue 1, Sept. 1997	LR3CN RO L0

GENERAL INFORMATION

For safe handling information on this product, consult the Material Safety Data Sheet, (MSDS).

Directions for Use**Application:**

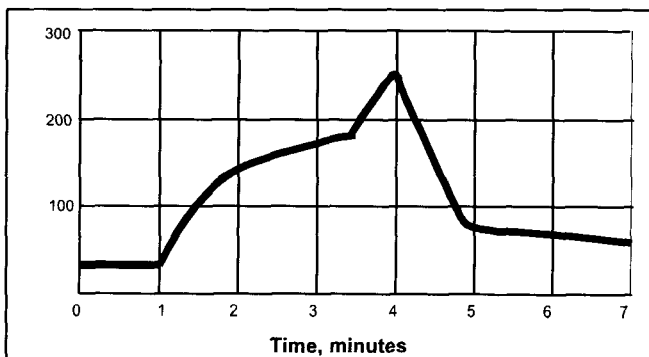
Grades of CR36 solder paste are currently available for stencil printing down to 16 mil (0.4 mm) pitch devices with AGS (Type 3) powder size.

Printing at up to 200 mm.sec⁻¹ can be reliably achieved in production using electroformed or laser-cut stencils with a metal blade squeegee (60°). This is due to a unique rheology, which ensures that the higher shear rate viscosity is relatively low and the thixotropic index is high enough to ensure excellent definition and slump resistance, while maintaining good roll and drop off behavior. It can be used in volume production down to speeds of 25 mm.sec⁻¹, but even better print results are obtained if the speed is increased. Unlike some pastes, high squeegee pressures are not required, making CR36 particularly useful for second side printing processes.

CR36 solder pastes do not require the addition of thinners either before or during use. It is recommended that product shipped in jars should be gently stirred for 15 seconds before use.

Reflow:

Any of the available methods of heating to cause reflow may be used including IR, convection, hot belt, vapor phase and laser soldering. CR36 is not particularly sensitive to reflow profile type. It is not practicable to recommend an ideal reflow temperature profile for all situations; however, the following shows an example profile that has given good results in practice.

**Cleaning:**

The residues from Multicore CR36 solder pastes may be left on the PCB in many applications since they do not pose a hazard to long term reliability. However, should there be a specific requirement for residue removal, this may be achieved using conventional cleaning processes based on solvents such as Multicore Prozone Plus, or suitable saponifying agents.

For stencil cleaning and cleaning board misprints, Multicore SC-01 Solvent Cleaner is recommended.

Packaging:

- CR36 solder pastes are supplied in:
- 1kg, 500g or 250g plastic jars with an insert to seal off the surface of the paste
- 1kg standard, 1kg or 500g Pyles or Semco cartridges for direct application
- Other forms of packaging may be available on request.

Shelf Life

Provided Multicore CR36 solder pastes are stored tightly sealed in the original container at 5-10°C, a minimum shelf life of 6 months can be expected. Air shipment is recommended to minimize the time that containers are exposed to higher temperatures.

Storage

It is recommended to store CR36 at 5-10°C. The paste should be removed from cold storage a minimum of 8 hours in the unopened container prior to use. Multicore CR36 solder pastes have been formulated to reduce separation on storage to a minimum but should this occur, gentle stirring for 15 seconds will return the product to its correct rheological performance. To prevent contamination of unused product, do not return any material to its original container. For further specific shelf life information, contact your local Technical Service Center.

Data Ranges

The data contained herein may be reported as a typical value and/or range. Values are based on actual test data and are verified on a periodic basis.

Note

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, **Loctite Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Loctite Corporation's products. Loctite Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits.** The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Loctite Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.



TECHNICAL DATA SHEET

CATEGORY: **NO CLEAN PIN PROBE TESTABLE SOLDER PASTE**

NAME: **NC251**

ALLOY: **Sn62 / Sn63**

FEATURES

- PIN-PROBE TESTABLE RESIDUES
- 12-14 HOUR STENCIL LIFE
- 8-12 HOUR TACK TIME
- PRINTS UP TO 6 INCHES PER SECOND
- EXCELLENT WETTING
- AIR REFLOW / NITROGEN NOT NECESSARY
- AQUEOUS CLEAN WITH SAPONIFIER
- REDUCES VOIDING ON MICRO-BGA'S

DESCRIPTION

NC251 is a mildly activated, resin-based formulation developed to offer pin-probeable residues. In addition, NC251 offers excellent activity and wetting characteristics, superior slump resistance, and excellent printing characteristics. NC251 also offers high humidity tolerance and a chemistry developed for use in air reflow. Slump and humidity tolerances found in NC251 extend the solder pastes useable life in facilities where environmental control is not at its optimum. Post-process residues may remain on the PWB in RF designs up to 10 gigahertz without cleaning. Above 10 gigahertz, cleaning may be required depending on circuitry design.

PASTE COMPOSITION

Application Method	Component Pitch	Percent of Metal	Particle Size	Paste Viscosity
Standard Stencil Printing	To 18 mil	90	45 Micron	600-800 KCPS
Fine Pitch Stenciling	18 mil & below	89.5	25 Micron	600-800 KCPS
Printing Through Screens	To 20 mil	88	45 Micron	600-800 KCPS
Dispensing syringes	N/A	85	45 Micron	350-550 KCPS

HANDLING

- NC251 has a refrigerated shelf life of 1 year, at 4°C; (40°F), and a non-refrigerated shelf life of 6 months at 22°C; (72°F). Do not freeze this product.
- Allow the solder paste to warm completely and naturally to ambient temperature; (8 hours is recommended), prior to breaking seal for use.
- Mix the product lightly and thoroughly, (1 to 2 minutes max.), to ensure even distribution of any separated material resulting from storage.
- Do not store new and used paste in the same container. Re-seal any opened containers while not in use.
- Replace the internal plug in conjunction with the cap of the 500 gram jar to ensure the best possible seal.

PRINTER SETUP

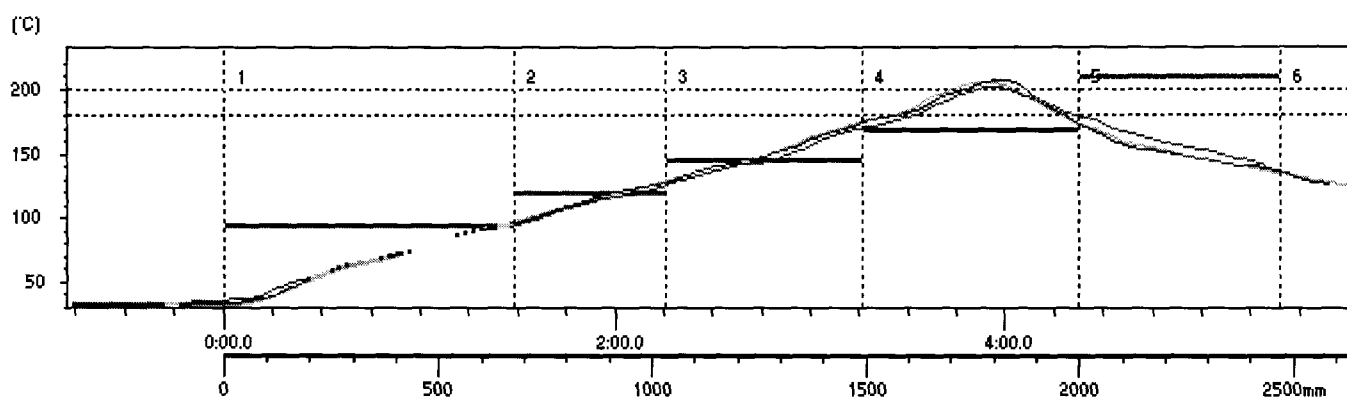
Suggested starting parameters for your screen printer. Assumptions were made as to the printer types used in today's applications, and adjustments will vary between equipment, application and facility environment.

SNAP-OFF DISTANCE	ON CONTACT (0.00")	SQUEEGEE PRESSURE	.6 - .7 LBS/IN. OF BLADE
PCB SEPARATION DISTANCE	.030-.050"	SQUEEGEE STROKE SPEED	.5 - 6 IN/SEC *
PCB SEPARATION SPEED	MEDIUM	* DEPENDENT ON PCB AND PAD DESIGNS	

PASTE APPLICATION

- Apply sufficient paste to the stencil to allow a smooth, even roll during the print cycle. A bead diameter of 1/2 to 5/8 inch is normally sufficient to begin.
- Apply small amounts of fresh solder paste to the stencil at frequent, controlled intervals to maintain paste chemistry and workable properties.
- Cleaning of your stencil will vary according to the application; however, it can be accomplished using AIM 200AX stencil cleaner. Use 200AX in moderation and remove any excess cleaner from the stencil surface.
- NC251 provides the necessary tack time/force for today's high-speed placement equipment. Ensuring proper support of PCBs during assembly and handling will enhance product performance and reliability.
- For technical advice, consult the AIM web page at www.aimsolder.com

REFLOW DATA



RATE of RISE 1-2°C / SEC MAX	PRE-HEAT RAMP TO 100°C (212° F)	PROGRESS THROUGH 150° - 175°C (302° - 347° F)	TO PEAK TEMP 215°C ± 5°C (419° F ± 41° F)	TIME ABOVE 183° C (362° F)	COOLDOWN ≤ 4°C
	≤ 145 SECONDS	10 - 30 SECONDS		60 ± 15 SECONDS	

CLEANING

NC251 can be cleaned, if necessary, with a saponified tap water. AIMTERGE-6035 is recommended. DI-water is recommended for the final rinse. A temperature of 120 - 150°F is sufficient for removing any residues. An in-line or other pressurized spray cleaning system is suggested, but is not required.

SAFETY

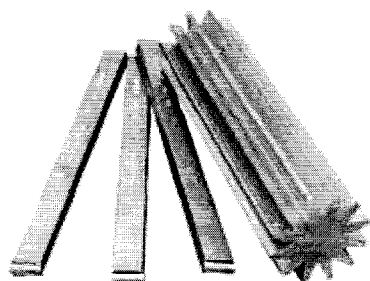
- Use with adequate ventilation and proper personal protective equipment.
- Refer to the accompanying **Material Safety Data Sheet** for any specific emergency information.
- Do not dispose of any lead-containing materials in non-approved containers.

2-3 Sn62/Sn36/NC251 02.20.01

The information furnished in this data sheet is based upon initial testing and is believed to be accurate, but may change as product development progresses.

AIM • CRANSTON, RI • 800-225-5246 • FAX 401-463-0203 - WWW.AIMSOLDER.COM
MONTREAL, QUEBEC CANADA • 514-494-2000 • FAX 514-494-3008

Kester Bar Solder



The quality of Kester Bar and Anode Solder is guaranteed by using high purity metals and strict quality control standards. Kester extrudes its bar and anode products to minimize oxidation, limit segregation and provide a denser grain structure than cast bar. Kester Manufactures solder to 5 distinct specifications. Each meets and exceeds requirements of QQ-S-571-F, ASTM B32, and ANSI/J-STD-006.

Kester ULTRAPURE®

Manufactured by a special process which controls the inclusions of oxides and metallic and non-metallic impurities, Kester Ultrapure® is the industry standard bar solder for use in high tech electronic applications where lower surface tension and hole filling ability are essential. The purity of Kester Ultrapure® far exceeds the requirements of QQ-S-571-F, ASTM B32, and ANSI/J-STD-006.

Kester Part #	Alloy	Weight
04-6337-0050	Sn63Pb37	25lbs.*
04-6040-0050	Sn60Pb40	25lbs.*

*25lbs. per carton.

Individual bars weigh between 1 and 1.5 lbs.

Kester Ultra Low Dross

This bar solder is manufactured using the Ultrapure® process and containing the same metal purity as Kester Ultrapure®, Kester Ultra Low Dross is formulated with a special low dross additive which dramatically decreases dross formation on the solder pot.

Kester Part #	Alloy	Weight
04-6337-0030	Sn63Pb37	25lbs.*
04-6040-0030	Sn60Pb40	25lbs.*

*25lbs. per carton.

Individual bars weigh between 1 and 1.5 lbs

Kester E-Bar

Designed for electrical, electronic and mechanical applications requiring bar solder that meets or exceeds the requirements of QQ-S-571-F, ASTM B32, and ANSI/J-STD-006.

Kester Part #	Alloy	Weight
04-6337-0000	Sn63Pb37	25lbs.*
04-6040-0000	Sn60Pb40	25lbs.*

*25lbs. per carton.

Individual bars weigh between 1 and 1.5 lbs

Kester ULTRAPURE® HAL

Kester Ultrapure® HAL bar solder combines the Ultrapure® process with electrolytically refined raw materials and low dross additives producing the highest purity solder available on the market.

Kester Part #	Alloy	Weight
04-6337-0065	Sn63Pb37	25lbs.*
04-6040-0065	Sn60Pb40	25lbs.*

*25lbs. per carton.

Individual bars weigh between 1 and 1.5 lbs

Kester Solder Analysis Program

The Kester Solder Analysis Program is a prepaid method for rapid response solder sample analysis. It allows customers to document solder pot impurities for conformance to Federal Specifications or ISO quality requirements.

Option A: Reports levels of tin, antimony, copper, and gold.

Option C: This option includes monitoring other impurities like cadmium, aluminum, zinc, iron, arsenic, bismuth, silver, and nickel, in addition to those in Option A.

Option D: This option includes sulfur and phosphorous impurities in addition to those in Option C.

Kester Part #	Description
53-0000-0021	Option A
53-0000-0041	Option C
53-0000-0051	Option D

#5744 Solder Saver®

Datasheet MSDS

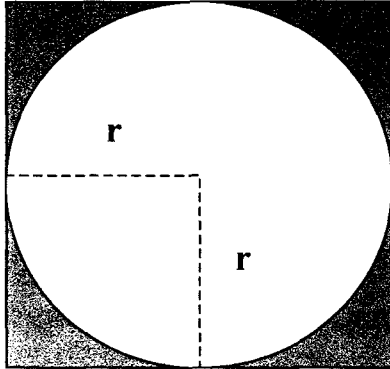
A chloride-free, inorganic white powder formulated to remove dross, which is the oxide of solder, from still solder pots and wave soldering machines. It does not decompose to sticky residues that are harder to remove than the original dross. The product is low fuming and is stable at molten solder temperatures.

Kester Part #	Description
56-0002-5744	5744 Solder Saver 2 lb jar
56-0005-5744	5744 Solder Saver 5 lb jar
56-0025-5744	5744 Solder Saver 25 lb jar

Anexo B. Cálculos Geométricos

Refiriéndonos al a la cantidad de pasta de soldadura requerida es indispensable calcular el volumen de soldadura en el área del filete. Y el área del interior del hole como se muestra en la Figura 3. 1.

Para determinar el área del filete, al área del cuadro, le restamos el área del cuarto de círculo.



Área del Circulo

$$A = \pi r^2$$

Área del cuarto de círculo

$$A = \frac{1}{4} \pi r^2$$

Área del cuadro

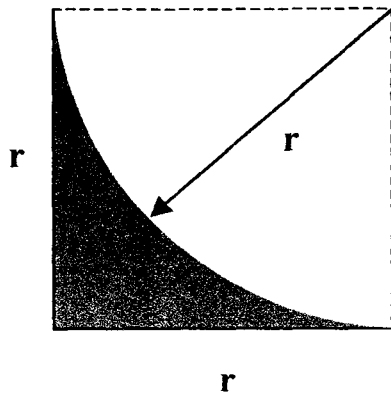
$$A_{cuad} = r^2$$

Área final

$$A_{final} = r^2 - \frac{1}{4} \pi r^2$$

$$A_{final} = 0.2146r^2$$

Para Determinar el centro de gravedad y poder obtener el área completa del filete alrededor de la terminal.



Donde r es el radio del Circulo y la longitud del lado del cuadro

	Area	\bar{x}	\bar{y}	$\bar{x}A$
Area	r^2	$\frac{r}{2}$	$\frac{r}{2}$	$\frac{r^3}{2}$
Cuarto circulo	$-\frac{1}{4}\pi r^2$	$0.5755r$	$0.5755r$	$-0.452r^3$
	$0.2146r^2$			$0.0479r^3$

El centro de gravedad en el eje x

$$x = \frac{0.0479r^3}{0.2146r^2} = 0.2234r$$

Anexo C. Formas de llenado



Assembly Data

Electronic Manufacturing

Test Name:

Date:

Center for Integrated Manufacturing Systems

Description of assembly:

Notes:

Please fill the following items that apply in order to plan assembly

ITEM	DESCRIPTION	PROVIDEER	OBSERVATION
Components		Client <input type="checkbox"/> Tec <input type="checkbox"/>	
Feeders		Client <input type="checkbox"/> Tec <input type="checkbox"/>	
Stencil		Client <input type="checkbox"/> Tec <input type="checkbox"/>	
Boards		Client <input type="checkbox"/> Tec <input type="checkbox"/>	
Solder Cream		Client <input type="checkbox"/> Tec <input type="checkbox"/>	
Temperature Profile		Client <input type="checkbox"/> Tec <input type="checkbox"/>	
Gerber Files		Client <input type="checkbox"/> Tec <input type="checkbox"/>	

Tabla C. 1 Forma 1 de llenado para el ensamble de tarjetas electrónicas en el Programa SMT del ITESM



Assembly Data

Electronic Manufacturing

Test Name:

Date:

Center for Integrated Manufacturing Systems

Schedule:

Start Date:

End Date:

Description of assembly:

Responsibles:

Materials Required for assembly due dates

ITEM	Description	Responsible	Due Date

Coments:

Tabla C. 2 Forma 2 de llenado para el ensamble de tarjetas electrónicas en el Programa SMT del ITESM



Assembly Data

Electronic Manufacturing

Test Name:

Date:

Center for Integrated Manufacturing Systems

Description of assembly:

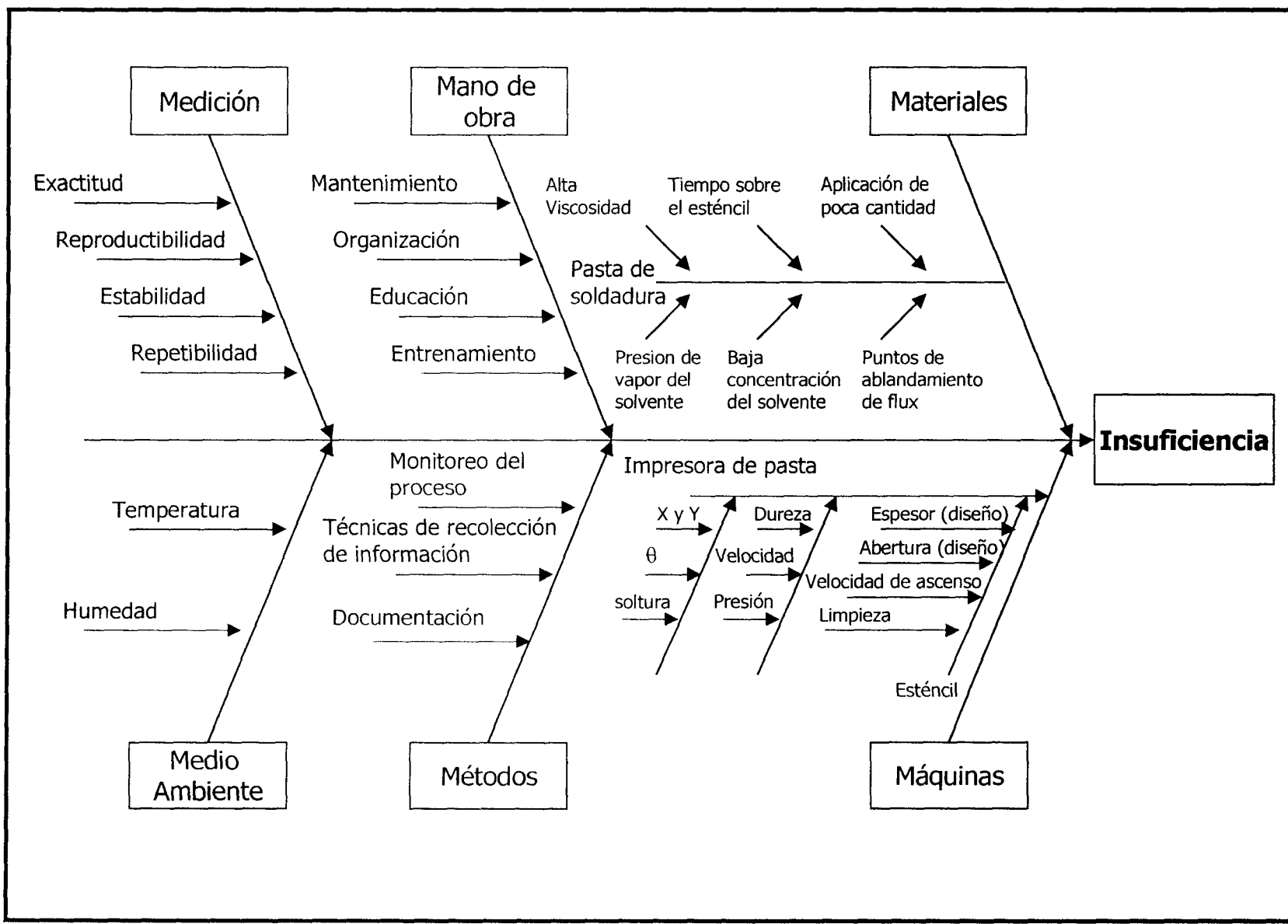
Notes:

Please fill the following data

Assembly No.	PCB qty.	TH Components/PCB	Observations
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Tabla C. 3 Forma 3 Tabla de llenado para el ensamble de tarjetas electrónicas en el Programa SMT del ITESM

Anexo D. Diagramas de Causa-Efecto de los defectos de soldadura



Glosario

- Esténcil** Una hoja fina de acero o de una aleación inoxidable con aperturas que corresponden con el modelo de pistas y pads de la tarjeta de circuito impreso. Durante la impresión, el pegamento o la soldadura es forzada a través de estas aperturas a ser dispuesta sobre la tarjeta de circuito impreso.
- Empaquetado o Encapsulado.** Puede ser para componentes pasivo, discretos o activos IC's. Es la forma en que viene presentado el componente, mediante un forro plástico o cerámico. Existen muchos encapsulados para componentes SMT como los QFP, BGA, SOIC, SOT, etc. Cada empaquetado tiene una geometría y características propias, de las cuales el diseñador se basa para definir su utilización en el circuito electrónico.
- Flux** Agente activador que remueve óxido y limpia la superficie del metal para ayudar en el proceso de soldadura.
- Odd components.** Estos son componentes que pueden ser through hole o de montaje superficial y que no pueden ser colocados automáticamente usando máquinas colocadoras para el ensamble, debido a la altura, forma o peso del componente. Estos componentes generalmente son conectores, puertos, transformadores u otro tipo de componente que requiera cierta rigidez en la tarjeta electrónica.
- Pad** Área metálica sobre la tarjeta de circuito impreso, sobre la cual son soldados los componentes. Es un área conductora que sirve para conectar las terminales de los componentes, en SMT la soldadura es dispuesta sobre los pads.
- PCB** Printed circuit board (tarjeta de circuito impreso), esta definición tiene dos contextos, uno se refiere a la tarjeta sin componentes, es decir, la pura tablilla con el circuito impreso completo. El otro contexto se refiere en sí a toda la tarjeta electrónica, incluyendo circuito impreso, tablilla y componentes soldados.
- Pick and Place** Tecnicismo utilizado para referirse a una operación de ensamble realizado por una máquina automática, donde la máquina orienta y coloca los componentes en sus pads correspondientes antes de soldar.
- SMT** Surface mount technology (tecnología de montaje superficial), se refiere al tipo de tecnología utilizada para la

fabricación de tarjetas electrónicas, donde los componentes electrónicos que son dispuestos en la tarjeta quedan sobre la superficie de ésta y la soldadura se aplica del mismo lado del componente, no existe necesidad de que el componente atraviese la tarjeta para aplicar soldadura del lado opuesto.

Squeegee

Cuchilla de metal o de caucho usada en la impresión de soldadura, por medio del estencil, imprime o limpia la soldadura. Ejerce presión sobre el estencil y por medio de las aperturas la pasta de soldadura es dispuesta en los pads correspondientes del PCB

Tape and reel

Tecnicismo relacionado con la alimentación de componentes SMT. Los componentes son alimentados por medio de carretes. En los carretes los componentes se encuentran en cintas adhesivas. Las máquinas van girando los carretes y van quitando los componentes de la cinta adhesiva y entonces son colocados en la tarjeta electrónica

TH

Through hole, tecnicismo utilizado para referirse a la tecnología utilizada para la fabricación de tarjetas electrónicas, donde las conexiones de los componentes electrónicos que son dispuestos en la tarjeta atraviesan la misma mediante agujeros predefinidos y son soldados del lado o cara opuesta de donde se estableció el componente.

Referencias

- [1] ANSI/J-STD-001B
- [2] Trinidad Ruiz Trejo, 2000, Desarrollo para un sistema para el control y mejora de la calidad de la soldadura en el ensamble de tarjetas electrónicas mediante SMT, ITESM, Campus Monterrey
- [3] Pin in Paste Alternative Assembly and Reflow Technology AART, Universal Instruments
- [4] Step by Step Surface Technology, SMT, The Magazine for electronics Assembly, Component Placement
<http://www.smtmag.com/> julio del 2000
- [5] <http://kem-tron.com/kester/kester.htm>
- [6] Ruiz, V. F. 1987. Componentes electrónicos. Primera edición. CEAC. Barcelona España
- [7] Universal Instruments
- [8] Capillo, C. 1990. Surface Mount Technology. Materials, Processes, and Equipment. McGraw-Hill. Nueva York, EUA
- [9] Manko, H. 1979. Solders and Soldering. Materials, Design, Production, and Analysis for Reliable Bonding. Segunda edición. McGraw-Hill. Nueva York, EUA
- [10] Step by Step, Soldering, Dr. Jennie S. Hwang
- [11] <http://class.et.byu.edu/mfg130/processes/descriptions/thermaljoining/wavesoldering.htm>
- [12] Package Trend Classifications
- [13] ITESM, CSIM, SMT Program
- [14] Optimization of Paste-in Hole reflow (PIHR) Soldering Process, NEPCON west, Feb 1999, Kantesh Doss, Ph D., Senior Process Development Engineer
- [15] Bill Barthel, Electronic Assembly Corporation, Neenah, Wisconsin
- [16] Impresora de Pasta, ITESM, CSIM, SMT Program, Dr. Alejandro Manríquez
- [17] Colocadora de componentes Siemens, ITESM, CSIM, SMT Program, Dr. Alejandro Manríquez

-
-
- [18] Colocadora de componentes Panasonic, ITESM, CSIM, SMT Program, Dr. Alejandro Manríquez
- [19] P. G. Leaney, Wittenberg G., "Design For Assembly – The evaluations methods of Hitachi, Boothroyd and Lucas, Assembly Automation", Vol. 12., No.2, 1992, pp. 8-17
- [20] Speedline Technologies, Speedline MPM, 16 Forge Park Franklin, MA 02038-3137. jperault@speedline.cookson.com, Enero 4, 1999
- [21] Phil Zarrow, ITM, Inc., Durham, NH, Reflow Soldering of Through-Hole Components
- [22] Probabilidad y Estadística para Ingenieros, 6a. Ed., Walpole Myers Myers, Prentice may, México 1999
- [23] Excellon and Gerber File Principles - APCircuits.htm
- [24] Ciba Especialidades Químicas, México, S.A. de C.V., Performance Polymers
- [25] Sidewell Smith Technology Ltd., 1995, Analyzer Version 1.4
- [26] Loctite, Electronics Version June 2001

Centro de Información-Biblioteca



30002006118475