

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIENCIAS



**“IMPRESIÓN DE SOLDADURA EN PASTA PARA ABERTURAS
PEQUEÑAS”**
TESIS

**Que presenta para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERIA**

NOEL DE REZA DE LA CRUZ

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. GUADALUPE LYDIA ALVAREZ CAMACHO

CODIRECTOR DE TESIS:
DR. ANDRES TRINIDAD MEDEL DE GANTE

MEXICALI, B. C.

JUNIO DE 2015

RESUMEN de la Tesis de Noel De Reza De La Cruz, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA. Mexicali, Baja California, México. Junio de 2015.

“IMPRESIÓN DE SOLDADURA EN PASTA PARA ABERTURAS PEQUEÑAS ”

Resumen aprobado por:

GUADALUPE LYDIA ALVAREZ CAMACHO

Directora de tesis

Resumen

El proceso de impresión actual no permite imprimir en aberturas pequeñas, el cual implica que no podemos usar componentes menores de 220 pitch. La necesidad de esta investigación inició con la introducción de nuevas tecnologías en el área de SMT, Skyworks se vio en la necesidad de desarrollar productos que requieren una mayor densidad entre los componentes, enfocado a ser más competitivos en los diferentes productos, satisfaciendo los requerimientos de los clientes y la necesidad del mercado. Este trabajo explora la influencia de las condiciones actuales de proceso sobre la impresión de soldadura, estudia la influencia de los mismos y los optimiza. Adicionalmente modifica el estencil y el vehículo de prueba y su influencia en el proceso de impresión. Y por último explora el uso de la soldadura tipo V.

Palabras clave: Aberturas pequeñas, impresión de pasta.

ABSTRACT of the thesis, presented by Noel De Reza De La Cruz, in order to obtain the MASTER of ENGINEERING DEGREE in SCIENCE ENGINEERING. Mexicali Baja California, México. June, 2015.

“SOLDER PASTE PRINTING FOR SMALL APERTURES”

Approved by:

GUADALUPE LYDIA ALVAREZ CAMACHO

Thesis Advisor

Abstract

The currently printing process presents certain limitation when using small apertures, basically not allowing to print pitch component smaller than 220 μm . This investigation started during the introduction of new technologies in SMT process at Skyworks, requiring for the working development products to increase the density between components, in order to be more competitive in the different products, by satisfying the requirements of the clients and the needs of the market. This work explores the influence of the current conditions of process on the printing solder process, studying their influence and optimizes them. In addition, it modifies the stencil and the test vehicle.

Keywords: Small Aperture, Solder Printing.

Dedicatoria

A mi madre, que siempre permanece a mi lado.

Maria De Jesus De La Cruz Q.P.D

Agradecimientos

Agradezco a Dios por la existencia y darme la oportunidad de vivir esta experiencia. Y a mis padres por haberme guiado con sus consejos y siempre mirar hacia delante enfrentando los obstáculos y retos en la vida.

A mi esposa Georgina por su amor, comprensión y apoyo en este proyecto.

A mis hijos Hilda Verónica y Jesús Antonio quienes me fortalecen de seguir preparándome en la vida.

A mis hermanos y a mi tío Eusebio que siempre me han enseñado a no darme por vencido.

A mi directora de tesis la Dra. Guadalupe Lydia por haberme guiado con su conocimiento y experiencia en las investigaciones.

A mi codirector de tesis el Dr. Andres Trinidad De Gante quien con su conocimiento me ha enseñado acoplar las bases teóricas con la experiencia haciendo que las cosas difíciles sean más sencillas.

A Ing. Heliodoro Osuna e Ing. Luis Solis por ser mis maestros, por darme la oportunidad de prepararme cada día en la empresa.

A Skyworks Solution de México quien me dio la oportunidad de llevar a cabo esta maestría, preparándome como profesionista y enfrentar nuevos retos en la introducción de nuevas tecnologías.

A los miembros Del comité Dr. Marco Felix, Dr. Miguel Angel Garcia Andrade y Dr. Nicola Radnev Nedev. Por sus consejos y observaciones para mejorar día a día esta investigación.

A Ing. Cesar Montaña, Tec. Erika Escarcega, Ing. Jose Luis Tapia e Ing. Yeiko Anahi Avendaño por compartir su conocimiento.

¡Muchas Gracias!

Noel De Reza De La Cruz

ÍNDICE

	<u>Página</u>
Resumen.....	I
Abstract.....	II
Dedicatoria.....	III
Agradecimientos.....	IV
Índice.....	VI
Índice de Figuras.....	VIII
Índice de Tablas.....	X
Índice de Graficas.....	XI
1. Introducción.....	1
1.1 Objetivo.....	1
1.2 Delimitación.....	1
1.3 Justificación.....	1
1.4 Introducción al proceso.....	2
1.5 Antecedentes.....	4
2. Proceso de SMT.....	5
2.1 Diagrama de flujo del proceso SMT.....	5
2.2 Proceso SMT estándar.....	6
2.3 Impresora de soldadura en pasta.....	7
2.4 Colocación de componentes.....	8
2.5 Reflujo.....	9
2.6 Lavado del PCB.....	9
3. El proceso de impresión de la pasta.....	10
3.1 La soldadura de pasta y sus componentes.....	10
3.1.1 Activadores.....	11
3.1.2 Solventes.....	11
3.1.3 Aditivos Rheologicos.....	12

3.1.4 Polvo de soldadura.....	12
3.2 Características de las bolitas de soldadura.....	13
3.2.1 Tamaño de la partícula y forma.....	13
3.3 Reología de la soldadura de pasta.....	13
3.4 El estencil.....	14
3.5 Las espátulas	16
3.6 Factores que afectan el proceso de impresión.....	17
4. Planteamientos de experimentos.....	20
4.1 Diagrama de flujo de los experimentos.....	20
4.2 Desarrollo del experimento 1.....	21
4.3 Desarrollo del experimento 2 Parte 1.....	24
4.4 Desarrollo del experimento 2 Parte 2.....	28
4.5 Desarrollo del experimento 3.....	30
4.6 Desarrollo del experimento 4.....	40
4.7 Desarrollo del experimento 5.....	44
5. Resultados	49
6. Conclusiones.....	51
7. Bibliografías.....	52
8. Terminología.....	55

Índice de figuras

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1.1 Comparación del tamaño entre componentes estándares SMT [1].....	2
1.2 Filtros WLCSP.....	3
1.3 Esténcil.....	4
2.1 Proceso SMT.....	5
2.2 Bomba Neumática y jeringas de soldadura de pasta [SKWS].....	7
2.3 El Flujo del proceso de SMT.....	9
3.1 Wetting	10
3.2 Abertura cuadrada esténcil [SKWS]	15
3.3 Espátula de metal [SKWS].....	16
3.4 La espátula de metal se mantiene plana y no se deforma.....	17
3.5 Proceso de impresión de pasta [SKWS].....	18
3.6 Proceso de impresión de pasta [16].....	19
4.1 Orientación de las aberturas.....	21
4.2 100 x 240 micrones.....	22
4.3 110 x 240 micrones.....	22
4.4 120 x 240 micrones.....	22
4.5 100 x 240 micrones.....	22
4.6 110 x 240 micrones.....	22
4.7 120 x 240 micrones.....	22
4.8 Filtro 220 pitch [SKWS].....	23
4.9 Resultados en aberturas de 110 x 240 micrones horizontal.....	26
4.10 Resultados en aberturas de 110 x 240 micrones vertical.....	26
4.11 Abertura cuadrada [SKWS].....	30
4.12 Diseño para aberturas de paquetes BGA.....	31
4.13 Esténcil con apertura cuadrada.....	32
4.14 Esténcil con apertura redonda.....	32
4.15 Distribución del PCB experimental.....	32
4.16 Impresión de soldadura de pasta a 110 micrones apertura cuadrada.....	36

4.17	Impresión de soldadura de pasta a 110 micrones abertura redonda.....	36
4.18	Impresión de soldadura de pasta a 100 micrones abertura cuadrada.....	37
4.19	Impresión de soldadura de pasta a 100 micrones abertura redonda.....	37
4.20	Impresión de soldadura de pasta a 105 micrones abertura cuadrada.....	38
4.21	Impresión de soldadura de pasta a 105 micrones abertura redonda.....	38
4.22	Impresión de soldadura de pasta a 1:1 No reducción abertura cuadrada.....	39
4.23	Impresión de soldadura de pasta a 1:1 No reducción abertura redondas.....	39
4.24	Tamaño de la esfera en la Soldadura Tipo V de 17 a 21 micrones.....	41
4.25	Tamaño de la esfera en la Soldadura Tipo IV de 36 a 38 micrones.....	41
4.26	Impresión de soldadura de pasta usando soldadura tipo IV.....	42
4.27	Impresión de soldadura de pasta usando soldadura tipo V.....	42
4.28	Impresión de soldadura de pasta usando soldadura tipo IV.....	43
4.29	Impresión de soldadura de pasta usando soldadura tipo V.....	43
4.30	Impresión de soldadura de pasta usando soldadura tipo V.....	44
4.31	Montaje de componentes antes del horno.....	45
4.32	Montaje de componentes después del horno.....	45
4.33	Condición de la cobertura a través de rayos X.....	46
4.34	Evaluación del segundo PCB usando Tipo V.....	46
4.35	Impresión de soldadura tipo V.....	47
4.36	Cobertura soldadura tipo V.....	47
4.37	Montaje de los componentes antes del horno.....	48

Índice de tablas

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
3.1 Medida de la soldadura, Clasificación del tamaño polvo de Soldadura mostrada como porcentaje.....	13
4.1 Tamaño y orientación de la abertura.....	22
4.2 Arreglo ortogonal y tabla ANOVA.....	24
4.3 Método de Taguchi.....	28
4.4 Formas y tamaños de las aberturas.....	30
4.5 Resultados de las aberturas cuadradas	33
4.6 Resultados de las aberturas redondas	33
4.7 Tipo y tamaño de las aberturas	36
4.8 Tipo y tamaño de las aberturas	37
4.9 Tipo y tamaño de las aberturas.....	38
4.10 Tipo y tamaño de las aberturas	39
4.11 Tamaño de las esferas de las soldadura tipo IV y V	41
4.12 Impresión y Tamaño de las esferas de las soldadura tipo IV y V.....	43

Índice de graficas

<u>Grafica</u>	<u>Página</u>
4.1 Interacción entre factores	25
4.2 Efectos de medias de velocidad, fuerza y presión.....	29
4.3 Cantidad de defectos vs tipo de aberturas.....	34
4.4 Altura de soldadura vs tipo de abertura.....	34
4.5 Cantidad de defectos vs tamaño y forma de aberturas	35
4.6 Media de la cantidad de defectos vs tipo y tamaño de aberturas.....	35

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se conocerá los objetivos, y se hará introducción al proceso.

1.1 Objetivos

Objetivo general:

- Investigar las condiciones de proceso y de los materiales usados que nos permitan lograr una impresión de soldadura en pasta para aberturas pequeñas menores a 140 micrones.

Objetivos Particulares

- Analizar las diferentes separaciones, orientación y formas de las aberturas en el estencil para lograr una buena condición en la impresión de la soldadura de pasta.
- Analizar la presión, velocidad para lograr una buena condición en la impresión de la soldadura de pasta.

Delimitación: Esta investigación está delimitada a la caracterización, análisis y desarrollo de un proceso de SMT para impresión de soldadura para aberturas pequeñas.

Justificación: Se tiene la necesidad de contar con un proceso de impresión de pasta que permita imprimir en aberturas pequeñas. Con utilización del equipo de impresión se buscarán nuevas técnicas y modificaciones del equipo actual.

Definición del problema:

Actualmente no se cuenta con la tecnología para lograr una impresión de pasta en aberturas pequeñas en el proceso SMT para usar filtros y componentes con un pitch < 270um. Es de mucha importancia encontrar la manera de ensamblar filtros con esa tecnología que no afecten la calidad y el desempeño del producto. Ese desarrollo permitirá lograr una mejor eficiencia de paquete módulo *multichip* (MCM), e implementar nuevos productos.

INTRODUCCION AL PROCESO

La tecnología de montaje superficial (SMT), es el sistema o conjunto de procesos utilizados para soldar componentes de montaje superficial (SMD) sobre la superficie del circuito impreso o PCB.

En el proceso de SMT tiene dos tipos de componentes estándar y no estándar – perspectiva Skyworks. Los componentes estándares son 1005, 0201, 0402 resistencias, capacitores e inductores que cuentan con 2 terminales.

El componente **1005** es el componente más pequeño que se usa en Skyworks. Actualmente se está trabajando en el desarrollo del componente 008004.

008004	(métrica 0201): 0.009" x 0.004" (0.25mm x 0.125mm)
1005	(métrica 0402): 0.016" x 0.008" (0.4mm x 0.2mm)
0201	(métrica 0603): 0.024" x 0.012" (0.6mm x 0.3mm)
0402	(Métrica 1005): 0.04" x 0.02" (1.0mm x 0.5mm)

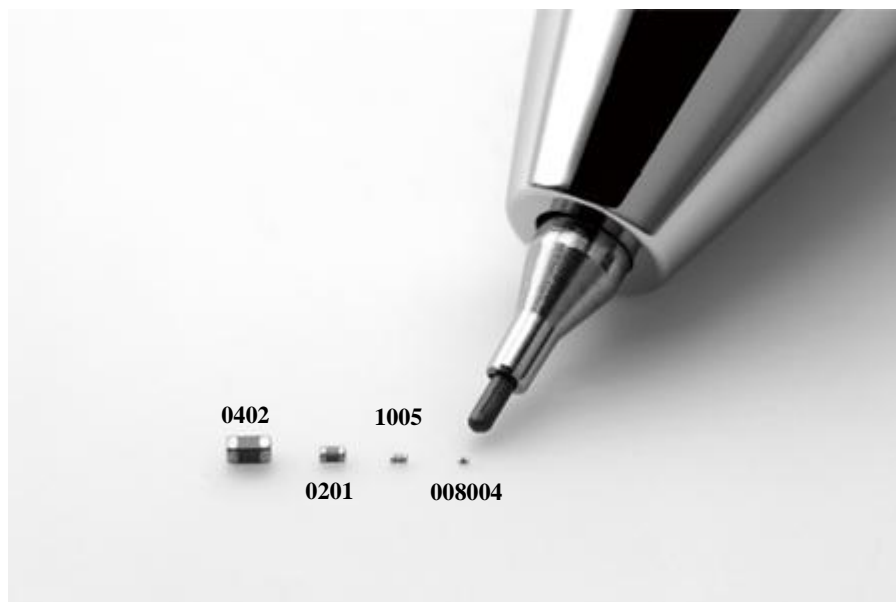


Figura 1.1 Comparación del tamaño entre componentes estándares SMT [1]

Los componentes No estándares son filtros, *duplexers* etc., los cuales cuentan con múltiples entradas y salidas > 2 terminales, típicamente 4, 6, 8 o 10 terminales.

Componentes No estándares usados en Skyworks:

Filtros WLCSP (Wafer Level Chip Scale Package)

Filtros LGA (Land Grid Array)

Este trabajo se enfoca en componentes filtros considerados No Estándares. Una de las características principales de los componentes no estándares WLCSP es el *pitch*, el cual es la separación entre las bolas de soldadura. En la figura 1.1 se muestra un ejemplo de un componente WLCSP con un *pitch* de menor a 270 micrones.

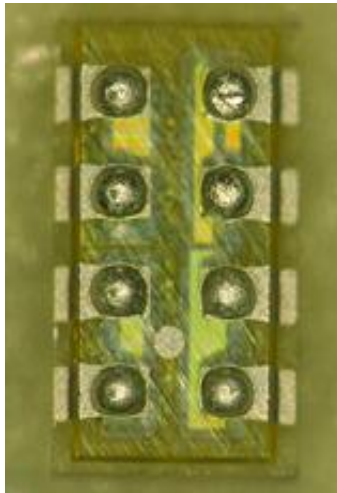


Figura 1.2 Componente WLCSP con un *pitch* < 270um,

ANTECEDENTES

El primer filtro WLCSP que se usó en Skyworks fue el .310mm *pitch* este filtro se introdujo en 2011 en nuestros productos. Este filtro se ensamblaba usando un esténcil de 3 mil de grosor (*thickness*), la introducción de este filtro representó muchos problemas de cortos de soldadura entre las terminales. Después de un análisis decidimos emigrar a un esténcil de 2 mil de grosor, el cual representaba un mejor desempeño y estaba por emplearse en un proyecto Generación 2 en la mejora de densidad en el diseño del empaquetado. La utilización del esténcil de 2 mil se adelantó y se logró reducir al 100% el problema de cortos de soldadura entre las terminales en el filtro WLCSP.

El uso del esténcil de 2 mil marcó la pauta en la generación de Filtros WLCSP en Skyworks. Actualmente el mercado exige tamaños menores y mayores prestaciones lo que nos está obligando al uso de componentes de menor tamaño en nuestros paquetes. En la figura 1.2 se muestra un esténcil para impresión de soldadura de pasta.

En Skyworks es de suma importancia desarrollar diferentes técnicas de impresión de soldadura para seguir con la introducción de nuevas tecnologías con productos más competitivos en densidad de componentes en el mercado de semiconductores, en relación al tamaño y en la densidad de componentes.

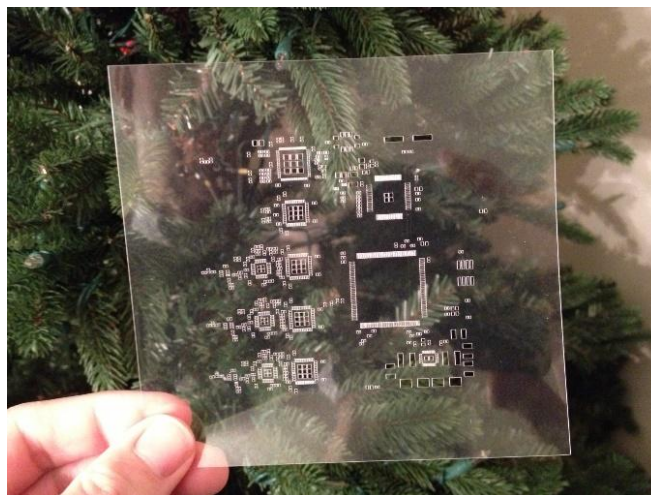


Figura 1.3 Esténcil

Capítulo 2

Proceso SMT

En este capítulo se muestra las etapas del proceso de SMT y su explicación detallada del funcionamiento de cada una de ellas como parte fundamental.

2.1 Diagrama del proceso SMT

En el proceso de SMT está formado por varias etapas, las cuales son muy importantes para lograr cumplir con la meta final de soldar los componentes en el PCB.

- Impresora de soldadura en pasta
- Montaje de componentes
- Horno de Reflujo
- Lavado del PCB

En la siguiente sección se explicara detalladamente cada una de las etapas.

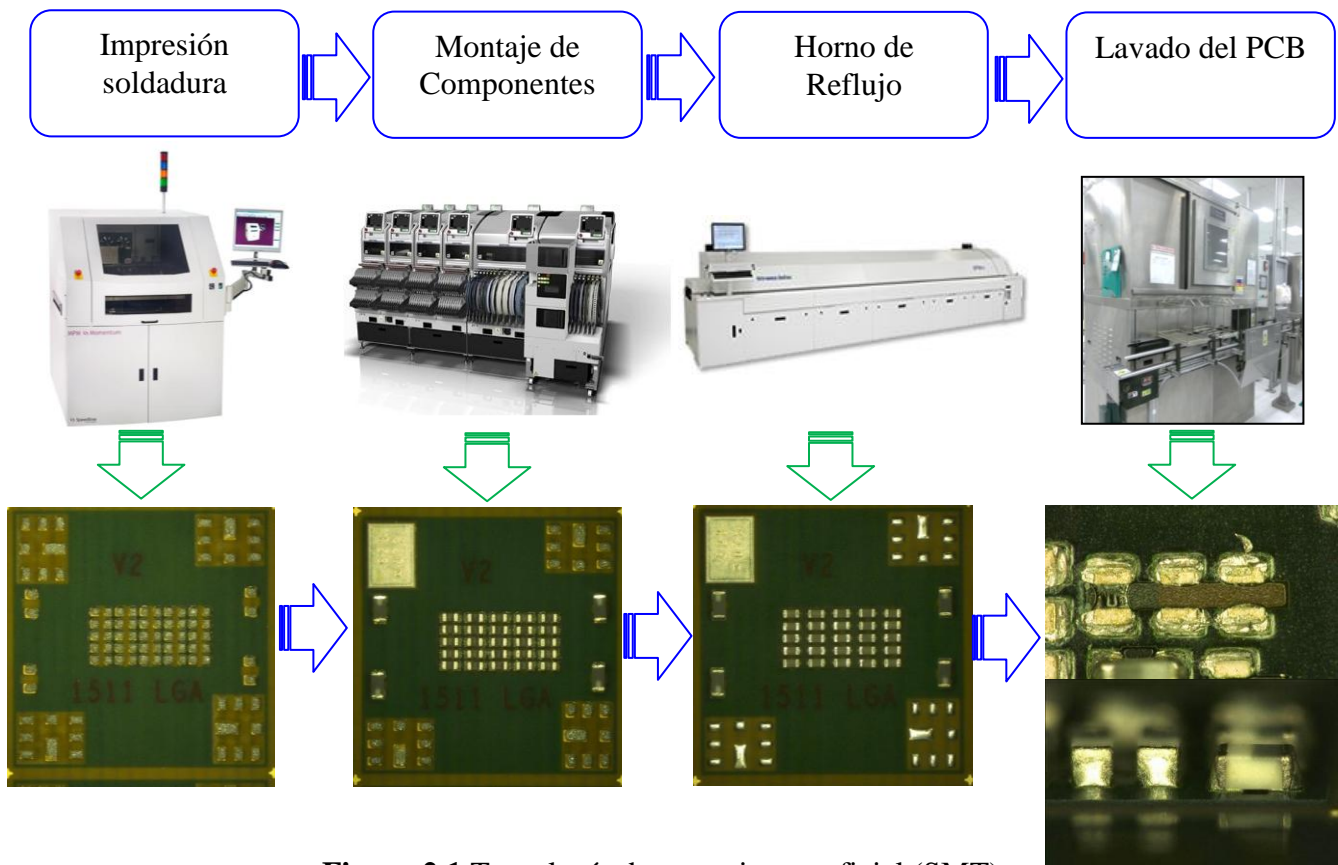


Figura 2.1 Tecnología de montaje superficial (SMT)

2.2 Proceso SMT estándar

La impresora de pasta es la parte más importante del proceso de SMT, en esta etapa inicial del proceso se emplea un estencil, PCB, soldadura en pasta, espátula y una bomba donde se coloca la soldadura de pasta. En esta etapa el PCB queda impreso con la soldadura en pasta.

Después de terminar la etapa de impresión pasa a la etapa de montaje de componentes que los coloca de manera superficial en el PCB. La máquina de montaje se encarga de montar cada uno de los componentes y estos quedan adheridos a la soldadura que está impresa en el PCB, todavía en esta etapa la soldadura de pasta juega un papel importante que no permite que se muevan los componentes gracias a la viscosidad de la soldadura.

La siguiente etapa es el Horno de reflujo. En este equipo por medio de temperatura nos ayuda a que la soldadura de pasta fresca se llegue a soldar con el componente gracias a las diferentes temperaturas que cuenta el horno, teniendo diferentes zonas dentro del mismo, como son el precalentamiento donde se eleva la temperatura de la pasta y los componentes en forma gradual, llegando a la siguiente zona de mayor temperatura donde se produce la fundición de la soldadura y la última zona que es el enfriamiento del PCB.

La última etapa del proceso de SMT es el lavado del PCB donde se remueven todos los residuos que quedan sobre el PCB y además elimina los restos de flux que se encuentra en la parte intermedia del PCB y los componentes.

En la siguiente sección se explicara de manera detallada cada una de las etapas del proceso de SMT.

2.3 Impresora de soldadura en pasta

Iniciamos con el proceso de impresión, viene siendo la parte inicial y el punto clave en esta investigación.

Para aplicaciones *ultra-fine pitch*, la impresión de soldadura es la etapa más importante en el proceso de ensamble de SMT. Revisando la literatura indica que la impresión de pasta es responsable de aproximadamente el 60% del total de los defectos en el proceso. Uno de los factores para un mejor desempeño durante la deposición de soldadura de pasta es la calidad de fabricación del estencil. Otro de los factores incluye el diseño de la abertura, parámetros de impresión y el material del estencil. [2]

La soldadura es colocada sobre el estencil: puede ser transferida manualmente desde un bote o dispensada a través de jeringas. El proceso de SMT Skyworks usa el sistema de bomba neumática basado en jeringas. Como se puede observar la figura 2.2. La fijación del PCB puede ser por medio de sensores o pernos posicionados que coincidan con orificios del PCB diseñados para ese fin, por abrochado lateral mediante flejes muy finos que toman los PCBs por los bordes o por vacío, succionando el PCB contra una placa base metálica perforada [3]. La alineación estencil-PCB se cuenta con un sistema de visión por medio de una cámara que visualiza las marcas fiduciales tanto del PCB como el estencil. Esta información es procesada, el error de alineación es determinado y la posición del estencil es corregida mediante servomotores [3]. La limpieza del estencil se realiza en forma automática que mediante un rollo de papel libre de pelusas y un contenedor de alcohol. La frecuencia de limpieza es establecida dependiendo la tecnología del estencil de 3 mil o 2 mil.

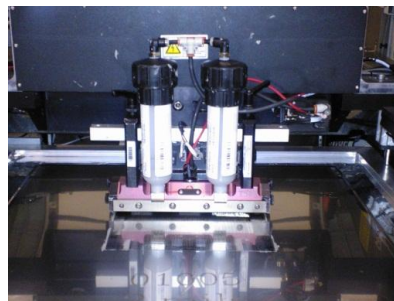
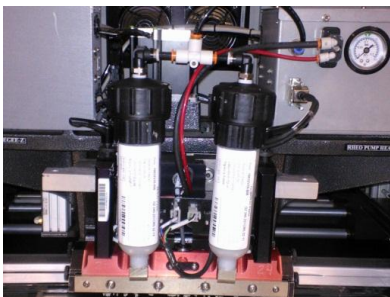


Figura 2.2 Bomba Neumática y jeringas de soldadura de pasta [SKWS]

2.4 Colocación de componentes (Montaje superficial de componentes)

Después de que la soldadura es impresa, el PCB es transportado hacia la próxima estación para el montaje de los componentes [3]. En término de tiempo de montaje, hay 4 tipos de máquinas de montaje. El primer tipo consiste en montaje en línea. Esta configuración tiene estaciones de montaje individuales donde los componentes son colocados y el PCB se pasa a la estación. El segundo tipo es el montaje secuencial. Los componentes son colocados individualmente en un orden específico. Esta secuencia es determinada por un pre-programa moviendo la cabeza de montaje o moviendo la mesa X-Y. El tercer tipo es montaje secuencia/simultaneo. Usando un movimiento en la mesa X-Y y múltiples cabezas de montaje, esta máquina coloca componentes individuales en sucesión. El último tipo es el montaje simultáneo. Todos los componentes son posicionados y colocados sobre el PCB en una simple operación.

Para componentes muy pequeños y montaje simple chip, se usa una máquina montadora de alta velocidad que puede ser categorizada de acuerdo al movimiento de las partes. En el primer tipo la cabeza de montaje es estacionaria y movable el PCB y la mesa alimentadora. La ventaja es el alto desempeño (aproximadamente 25000 componentes por hora) [3].

En Skyworks se usan 3 plataformas de montaje de componentes, Panasonic, Siemens Siplace y Fuji.

Estas máquinas tienen la capacidad de reconocer el componente de acuerdo al tamaño, ancho y brillo. Estos componentes son levantados en la zona de los *cassettes* alimentadores por medio de vacío a través de una boquilla localizada en la cabeza de montaje, reconoce los componentes por medio de la cámara de visión y luego coloca los componentes en el PCB [3].

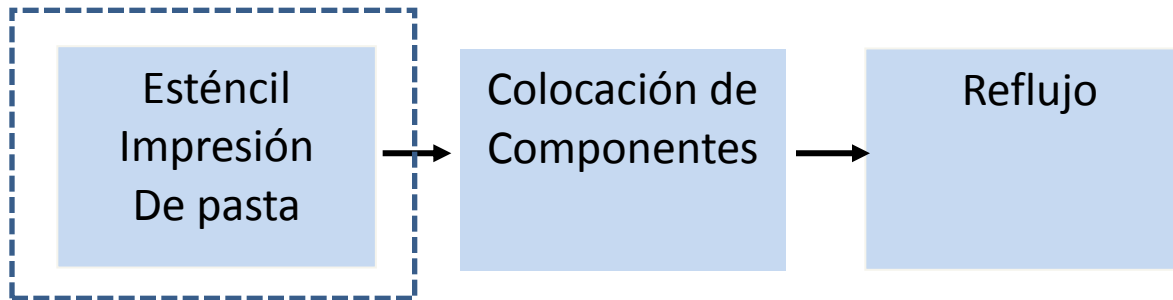


Figura 2.3 El flujo del proceso de SMT, este proyecto se basa en la impresión de pasta.

2.5 Reflujo

Después de que la máquina de montaje coloca los componentes, el PCB pasa al proceso de reflujo que por medio de un horno funde la soldadura de pasta. Existen factores que se deben de tomar en cuenta en esta etapa del proceso.

El horno de reflujo cuenta con las siguientes etapas [4]:

- Pre calentamiento
- Secado
- Reflujo
- Enfriamiento

Pre calentamiento: Se evaporan los solventes de la soldadura de pasta

Secado: La temperatura aumenta lentamente. El propósito es activar el flux e igualar la temperatura del PCB.

Reflujo: Se aumenta la temperatura para fundir la soldadura de pasta y formar una aleación para formar las uniones de soldadura [4].

2.6 Lavado del PCB

La última etapa del proceso de SMT es el lavado del PCB, en cual consiste en remover todos los residuos que deja la soldadura de pasta como es el flux que se usa para eliminar los óxidos del metal. En Skyworks se emplea el equipo de lavado conocido como *Forward* para remover todos los residuos y se emplea un químico llamado ciclohexano. Después de cumplir con esta etapa, el material es inspeccionado por el área de calidad para ser enviado al próximo proceso de ensamble llamado *Die Attach*.

Capítulo 3

El proceso de impresión de la pasta

En este capítulo explicaremos el proceso de impresión de pasta, y en una forma detallada la soldadura en pasta, estencil y espátula.

3.1 La soldadura en pasta y sus componentes

La pasta de soldadura, es una mezcla cremosa formada de polvo de soldadura y *flux*. Esta mezcla cremosa permite que sea maniobrada por un equipo tales como impresora de estencil y dispensado. En el caso particular en Skyworks hablaremos de la impresora de pasta. El tamaño de las partículas esféricas de la soldadura de pasta es determinado dependiendo de la aplicación final, con un tamaño muy pequeño usado para una impresión más pequeña. El flux sirve para dos funciones en la soldadura de pasta. La primera como función principal ayuda a soldar. Durante el proceso de soldadura, el flux remueve los óxidos de metal como también otras superficies tales como grasa o carbonatos de metal, permitiendo la fusión del polvo de soldadura y el *wetting* de las partes por la soldadura fundida. En la figura 3.1 se muestra un ejemplo de *wetting*. En la segunda función el flux como vehículo para el polvo de soldadura. La reología del vehículo del flux es requerida no solo como una suspensión estable de soldadura de polvo durante el almacenaje y manejo, pero también para que la soldadura de pasta sea manejada por el equipo durante la impresión. La función primaria del flux es eliminar los óxidos de metal. El tipo de reacción flux más común es el ácido-base. Esto puede ser dotado con el uso de ácidos orgánicos, tales como los ácidos carboxílicos o ácidos inorgánicos tales como ácidos halógenos como *flux*.



Figura 3.1 Wetting

El segundo tipo de reacción flux es reducción- oxidación involucra el uso de ácido fórmico HCOOH. El *flux* sirve para múltiples funciones para aplicaciones de reflujo. Los *Flux* usados para la soldadura de pasta comprende resinas, activadores, solventes y aditivos reológicos. [5]. La resina refiere para materiales como medio para altos pesos moleculares. Esto puede incluir productos naturales tales como *rosin* o materiales sintéticos, tales como los polímeros, frecuentemente es usado para proporcionar actividad *fluxing* el cual nos ayuda a remover óxidos del metal y *tackiness* (viscosidad). Algunas veces puede servir como ayuda reológica [6]. Algunos *rosins* son usados en la industria de soldaduras y son químicos modificados tales como la polimerización, hidrogenación o modificaciones de grupos funcionales para impartir rasgos adicionales tales como una alta viscosidad, mucha mejor estabilidad térmica o grandísima actividad *fluxing*.

3.1.1 Activadores

La resina por sí misma puede tener actividad como flux, pero no es suficiente para las necesidades de la industria electrónica, así que se adicionan activadores químicos que amplifican esta actividad.

3.1.2 Solventes

La mayor parte del volumen del *flux* está ocupado por las resinas, los activadores y el polvo de soldadura que son todos sólidos, pero necesitan ser fluidos homogéneos para poder atravesar los equipos de colocación como impresoras y dispensadores. Esto se logra usando solventes [6]

Los solventes más usados en la industria son los glicoles, porque su alto poder de solvencia favorece la viscosidad y un buen desempeño en el proceso de impresión. Los alcoholes, con una solvencia mayor que la de las *rosins*, también se usan para solvente del *flux*. La sustancia que se usará como solvente depende de la sustancia que estará siendo usada como *flux*. Por ejemplo si el sistema tiene un activador que se lava con agua, serán necesarios solventes polares para disolver el activador. El olor de la pasta de soldadura tiene que ser tomado en cuenta, como también la esperanza de vida del estencil y el *tacktime*, que es el tiempo en que la soldadura mantendrá fijos los componentes. Si se

desea una larga vida del estencil y un alto *tacktime*, un solvente volátil no es la mejor opción.

Las cuestiones relacionadas con salud y protección del medio ambiente también son factores importantes que no deben ser ignorados.

3.1.3 Aditivos Reológicos

Aunque existen materiales para soldar en forma líquida que permiten el proceso de deposición automatizado, la pasta de soldadura, esto es, una mezcla de químicos de *flux*, solventes y polvo de soldadura es la mejor opción para las aplicaciones de SMT. Por ejemplo, durante el proceso de impresión, la pasta necesita fluir fácilmente durante la impresión, pero no fluir después de una impresión. Esto es, se requiere que sea suficientemente no viscosa para ser liberada desde la abertura del estencil, pero con una viscosidad suficiente para mantenerse sobre el PCB y que los componentes puedan ser colocados sobre la pasta después de la impresión. Para satisfacer los requerimientos de una diversidad de procesos, la reología de la soldadura de pasta tiene que ser adaptada para cada aplicación específica. Esto pudiera consisten en escoger un aditivo reológico adecuado para el sistema de flux. Los aditivos reológicos más comunes son los derivados de aceite de castor. Esta familia es naturalmente alta en hidrocarburos y es típicamente usado en *NON CLEAN* o RMA aplicaciones de *flux*. Para *fluxes* lavables con agua, los glicoles polietílicos o los derivados de glicoles polietileno prevalecen debido a su alta solubilidad en agua. [7]

3.1.4 Polvo de soldadura

El metal de soldadura se utiliza en forma de polvo para que el material pueda fluir durante un proceso impresión automatizada. El polvo de soldadura se fabrica por atomización: un proceso que convierte el metal en partículas finas. Cualquier método de atomización puede usarse, pero los métodos son preferidos son atomización por gas y centrifugación por ultrasonido. Después de atomizar, se miden las dimensiones de las partículas en el polvo de soldadura, que deben ser las apropiadas para el flux y la soldadura de pasta en la que se van a mezclar.

3.2 Características de las bolitas de soldadura

3.2.1 Tamaño de la partícula y forma

Para la industria electrónica, son muy importantes las dimensiones de las partículas en el polvo de soldadura. Estas dimensiones se categorizan como se muestra en la tabla 3.1.

Debido a la creciente miniaturización de los componentes con que trabaja la industria de SMT, las dimensiones de las partículas en el polvo de soldadura se han ido reduciendo con el tiempo. El tipo II de soldadura se usaba antes de los 1990s, pero después se empezó a usar el Tipo III, mientras que la necesidad del Tipo IV inició en 1998-1999. Aunque los tipos V y VI aún no se generalizan, ya se usan en algunas aplicaciones, como en pitch ultra finos o *bumpings* de soldadura.

3.3 Reología de la soldadura de pasta

La apropiada implementación de la impresión de la soldadura de pasta y el proceso de reflujo se basa en una buena ingeniería reológica de la pasta. La viscosidad de la pasta necesita ser Alta y suficiente para mantener el polvo metal pesado en una suspensión estable en el sistema de fluido del flux durante su procesamiento y periodos de almacenaje. La pasta necesita ser lo suficientemente no viscosa como para ser liberada desde una espátula y a través de la abertura de estencil, pero suficientemente viscosa para quedarse pegada en el sustrato y mantener los componentes en la superficie de la pasta depositada. del depósito de soldadura. Por esto, entender la reología es esencial para conseguir un depósito y un proceso de reflujo exitosos.

Categoría	Ninguna mayor que	Menos que 1% mayor que	80% mínimo entre	10% máximo menos que
Tipo I	160 μm	150 μm	150-75 μm	20 μm
Tipo II	80 μm	75 μm	75-45 μm	20 μm
Tipo III	50 μm	45 μm	45-25 μm	20 μm
Tipo IV	40 μm	38 μm	38-20 μm	20 μm
Tipo V	30 μm	25 μm	25-15 μm	15 μm
Tipo VI	20 μm	15 μm	15-5 μm	5 μm

Tabla 3.1 Medida de la soldadura y selección del tamaño de la partícula [7]

Clasificación del tamaño polvo de soldadura mostrada como porcentaje por peso.

Los factores que afectan la pasta son la reología, así como tamaño y forma de la partícula. La soldadura tipo IV, por ejemplo, se requiere para *pitch* debajo de .4mm, basado en la experimentación y se ha demostrado que para lograr una buena colocación de la soldadura de pasta, es necesario que las partículas de soldadura atraviesen fácilmente la abertura del estencil. Con .3mm hasta .4mm la abertura del estencil deberá ser entre .005” y .008” ancho. Ya que las partículas de soldadura del tipo IV tienen dimensiones típicas <.0014”, el criterio recomendado para los tamaños de la soldadura, basado en el *pitch* de las terminales se cumple estadísticamente. [8].

3.4 El Estencil

El depósito de la soldadura de pasta sobre los *pads* se logra mayormente mediante un proceso Serigráfico y el cual requiere un estencil.

La Figura 3.2 muestra un estencil, el cual consiste de una hoja de metal de acero inoxidable a la que se le han hecho aberturas de tamaño y forma adecuadas a los PADS del PCB en las coordenadas correspondientes, mediante un proceso de corte laser, electroerosión o por un ataque químico [9].

Los estenciles deben ser tensados y pegados a un soporte metálico, para poder usarlas en las máquinas de impresión.

Para imprimir la soldadura de pasta el estencil se alinea sobre el PCB de tal modo que coincidan sus coordenada y las aberturas queden centradas sobre los *pads*. Entonces se usa una espátula, para esparcir la pasta de soldar sobre el estencil de modo que atraviese las aberturas y quede depositada sobre los PADS al retirar el estencil.

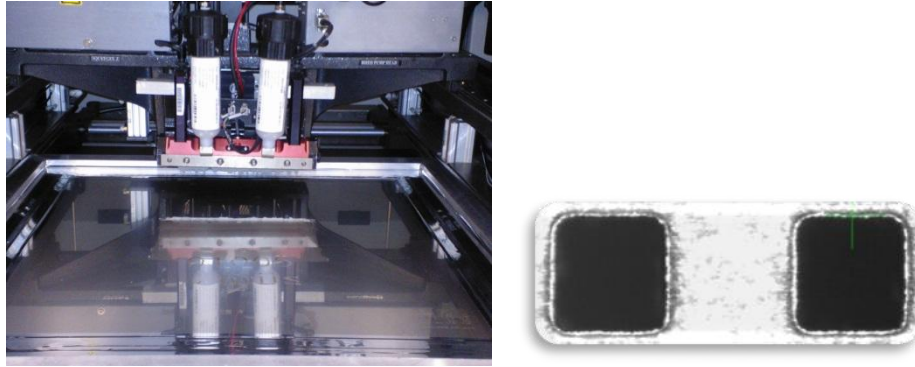


Figura 3.2 Aberturas del estencil [SKWS]

El estencil usado en el proceso de WLCSP, el cual puede ser de corte laser y electro pulido se tomará como referencia y para aprender nuevas técnicas con los distintos estenciles. Las paredes de un estencil pulido son más suaves, lo que beneficia la transferencia de soldadura. La abertura de la parte inferior puede ser 25 a 50 micrones más grande que la parte superior para favorecer una mejor liberación de la pasta de soldadura. [10]

En la fabricación de WLCSP, los estenciles pueden usar aberturas cuadradas o redondas, aunque las aberturas cuadradas resultan una mejor consistencia en la impresión y eficiencia de transferencia en comparación con las aberturas redondas. [11]

El tamaño de la soldadura aplicada al *PCB* está determinado principalmente por el tamaño de la abertura y el grosor del estencil. La soldadura de pasta llena la abertura del estencil durante la aplicación de la espátula durante la impresión. Para aberturas pequeñas pueden requerirse partículas de pasta muy pequeñas. Una típica guía es que un mínimo de 4 a 5 partículas de soldadura quepan en el ancho de la abertura. [12]

3.5 La espátula

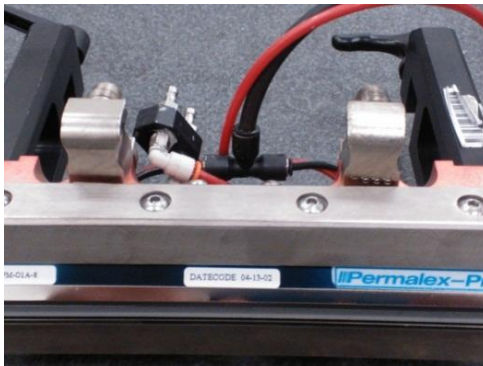


Figura 3.3 Espátula de metal [SKWS]

La espátula: Es una navaja que presiona la pasta de soldadura contra la abertura del esténcil, permitiendo que atraviese las aberturas y se deposite del otro lado.

También se les llama "*squeegees*" y las más usadas son las de goma poliuretano y las de metal. En Skyworks las espátulas que se usan son de metal y se encuentran instaladas en una base como se muestra en la Figura 3.3.

Las espátulas de goma de poliuretano se usan menos: si la presión aplicada es excesiva se puede filtrar pasta bajo el esténcil ocasionando fallas en el proceso (*slumping* y puentes de soldadura) lo que requiere que la cara inferior del esténcil, la que hace contacto con los PCBs, tenga que limpiarse con mayor frecuencia. La espátula de goma se deforma con el uso y es muy importante monitorear si mantiene su forma original. En las espátulas de goma demasiada presión ocasiona el efecto cuchareo, que se puede observar en la Figura 3.4. Por estas razones las espátulas de metal, hechas de flejes de acero, son preferidas sobretodo todo para *fine pitch*: requieren de menos presión, no necesitan ser necesarias ser afiladas y no se desgastan fácilmente, aunque son más costosas que las de goma y pueden desgastar el esténcil. [13]

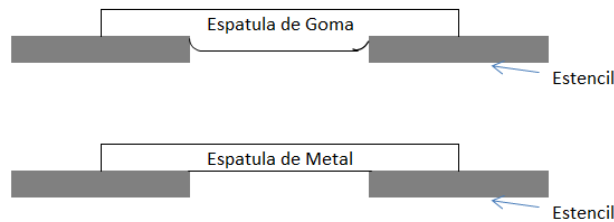


Figura 3.4 La espátula de metal se mantiene plana y no se deforma

3.6 Factores que afectan al proceso

Existen factores que afectan el proceso de impresión de la pasta:

Presión de la espátula: La presión de la espátula deberá ser suficiente para limpiar el estencil. Con una presión óptima no deben quedar restos de pasta sobre el estencil, lo cual provocaría que algunos *pads* queden con exceso de pasta lo que aumentara el riesgo de puentes de soldadura.

Velocidad de impresión: Normalmente va de 20 a 80mm por segundo, pero lo que se debe cuidar que la pasta vaya formando un rollo frente de la espátula mientras esta avanza. Tenemos que considerar el tipo de pasta que se usará y esto dependerá de la máxima velocidad que le podremos dar sin comprometer la calidad. Existe una relación entre la velocidad de la espátula con la altura de la pasta que se deposita en las aberturas del estencil considerando la viscosidad de la pasta. [14]

Snap Off: Es la distancia entre el PCB y la parte inferior del estencil pero sin la presión de la espátula. Usualmente, los estenciles metálicos están en contacto con el PCB por lo que la distancia ***Snap Off*** es cero. Esto se denomina impresión de contacto.

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

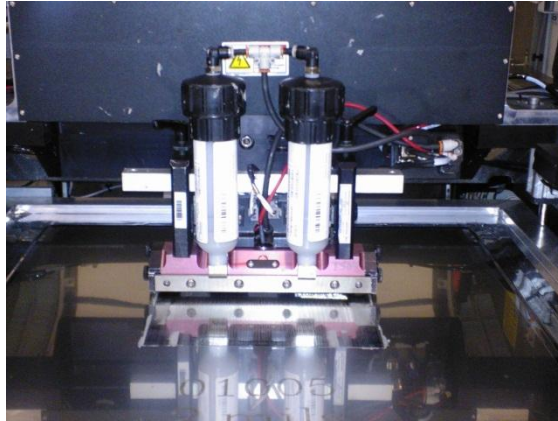


Figura 3.5 Proceso de impresión de pasta [SKWS]

Dureza de la espátula: La espátula de metal es comúnmente usada en la impresión de soldadura porque proporciona mayor consistencia en la impresión de la pasta que la espátula de goma de poliuretano. Sin embargo, la espátula de poliuretano ofrece la posibilidad de que la navaja resista el doblamiento durante la impresión.

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

Factores ambientales: La presencia de polvo o suciedad en el ambiente puede producir defectos como puentes de soldadura entre islas *fine pitch*. La temperatura del ambiente debe ser baja y relativamente constante a fin de que la pasta no presente cambios de viscosidad a lo largo del día, lo cual dificultaría un control de proceso efectivo. [14]

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

El proceso de impresión de estencil puede ser dividido en 3 pasos como lo muestra la figura 3.6:

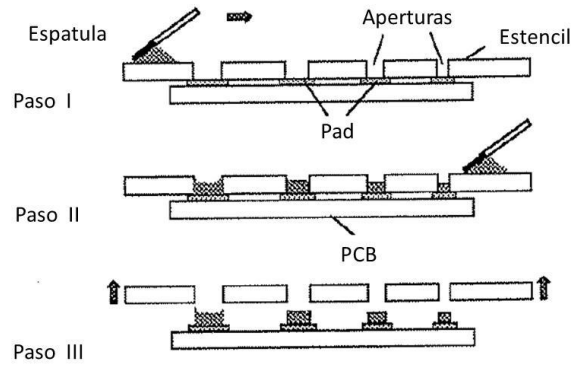


Figura 3.6 Proceso de impresión de pasta [14]

Paso I, El barrido de la pasta

Paso II, El llenado de las aberturas

Paso III, La liberación de la pasta

Capítulo 4

Planteamientos de los experimentos

En este capítulo describiremos los diferentes experimentos que se realizaron en la investigación.

4.1 Diagrama de flujo de los experimentos

A continuación se muestra un diagrama de flujo como se realizaron los experimentos en la investigación.

Experimento I
Exploratorio
Usando soldadura tipo IV, con PADS
100 μm , 110 μm y 120 μm

Experimento II
Modificar los parámetros de impresión velocidad, presión y velocidad de despegue del PCB.
PARTE I: DOE Factorial
PARTE II: DOE Método de Taguchi

Experimento III
Analizar y modificar diferentes los diferentes tipos de aberturas.
Cond. Actual: Abertura. Cuadrada
Aberturas propuestas: Circular.

Experimento IV
Analizar si con una soldadura pasta Tipo V puede mejorar el proceso de impresión.

Experimento V
Analizar desempeño de la soldadura tipo V en aberturas pequeñas.

4.2 Desarrollo de experimentos

Experimento 1:

Nuestro primer experimento exploratorio se realizó con las condiciones actuales del proceso de impresión. Usamos una soldadura de pasta tipo IV cuya característica principal es que mínimo un 80% de las esferas de soldadura están en un rango de entre 20 micrones hasta 38 micrones de diámetro.

Las dimensiones de los PADS del PCB 100 μm 110 μm & 120 μm . Usamos dos diferentes aberturas: verticales y horizontales. Se decidió usar 2 tipos de orientaciones de las aberturas donde la orientación es evaluada respecto al depósito del volumen la soldadura versus la dirección de la espátula. Este factor es relevante ya que se ha observado que las aberturas perpendiculares (Lado más grande de las aberturas perpendiculares con respecto al barrido de la espátula) depositan el 8% - 9% más de volumen que las aberturas paralelas. [15]

Dirección de la espátula

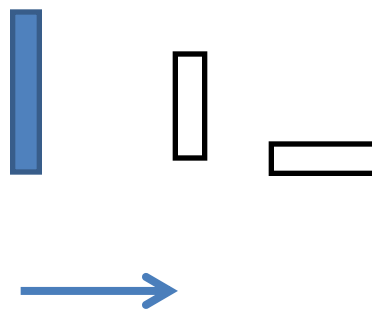


Figura 4.1 Orientación de las aberturas

La figura 4.1. Muestra la orientación de las aberturas.

Aberturas Horizontales

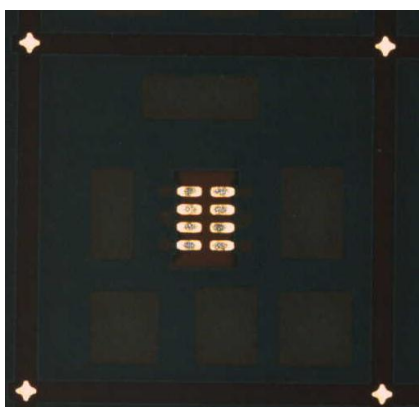


Fig.4.2 100 x 240 micrones

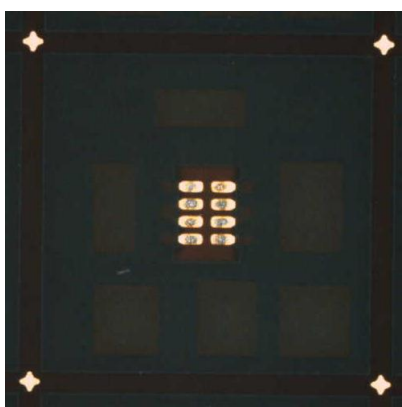


Fig.4.3 110 x 240 micrones

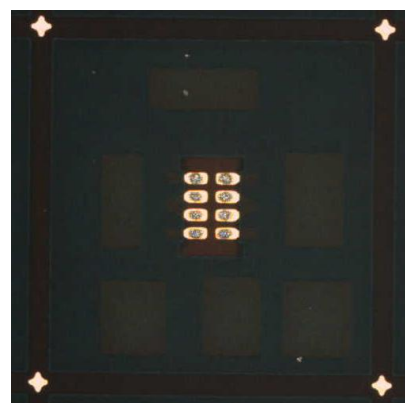


Fig. 4.4 120 x 240 micrones

Aberturas Verticales

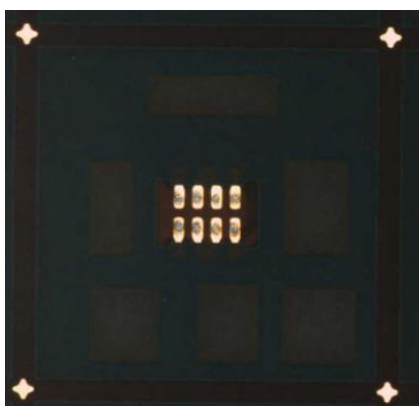


Fig.4.5 100 x 240 micrones

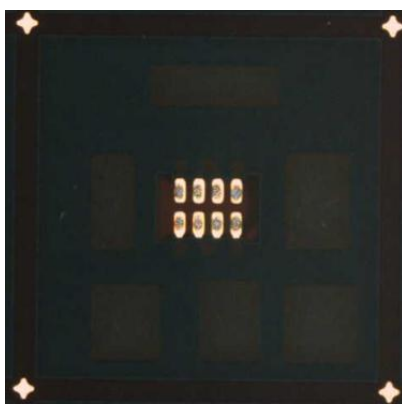


Fig. 4.6 110 x 240 micrones

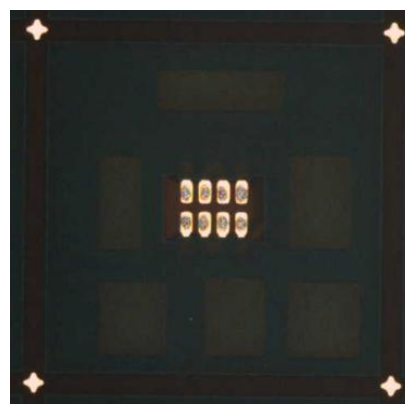


Fig.4.7 120 x 240micrones

Abertura	Tamaño		
	100µm	110µm	120µm
Horizontal	Figura 1.1	Figura 1.2	Figura 1.3
Vertical	Figura 1.4	Figura 1.5	Figura 1.6

Tabla 4.1 Tamaño y orientación de la abertura

Se usó un filtro a nivel prototipo por parte del proveedor con la característica del pitch 220µm , ver Figura 4.8 (No se modificaron los parámetros en la impresora: se usó solo las condiciones actuales de impresión). El proceso actual no funciona con esta nueva tecnología y se presentó insuficiencia de soldadura en los *pads* como lo muestran las figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7



Figura 4.8 Filtro 220 pitch [SKWS]

Resultados: Los resultados observados en el experimento 1, fueron lo que marcaron la necesidad de buscar otras opciones ya que el proceso de SMT quedaba rezagado con la introducción de nuevas tecnologías. En este experimento dio resultados desfavorables, con mayor porcentaje de insuficiencia de soldadura en el PCB.

DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS

Experimento 2 Parte I:

El experimento 2 marcó el inicio de la parte experimental de la investigación. Usamos el mismo PCB que trabajamos en el experimento 1, usando el mismo equipo de impresión modificamos los parámetros de impresión en la espátula tales como velocidad, presión, dirección de impresión y ciclos de limpieza del estencil. Como parte fundamental de las modificaciones empleamos un diseño de experimentos factorial dando resultados favorables en la altura de soldadura de pasta.

A continuación se muestra en la siguiente tabla

Tabla 4.2 Diseño de experimentos

Orden	Factores		
	Velocidad de impresión	Presión	Dirección de la impresión
1	1 (2.2)	1 (17)	R
2	1 (2.2)	1 (17)	F
3	-1 (1.8)	1 (17)	R
4	1 (2.2)	-1 (12)	F
5	0 (2)	0 (15)	R
6	-1 (1.8)	-1 (12)	F
7	-1 (1.8)	-1 (12)	R
8	-1 (1.8)	1 (17)	F
9	1 (2.2)	-1 (12)	R

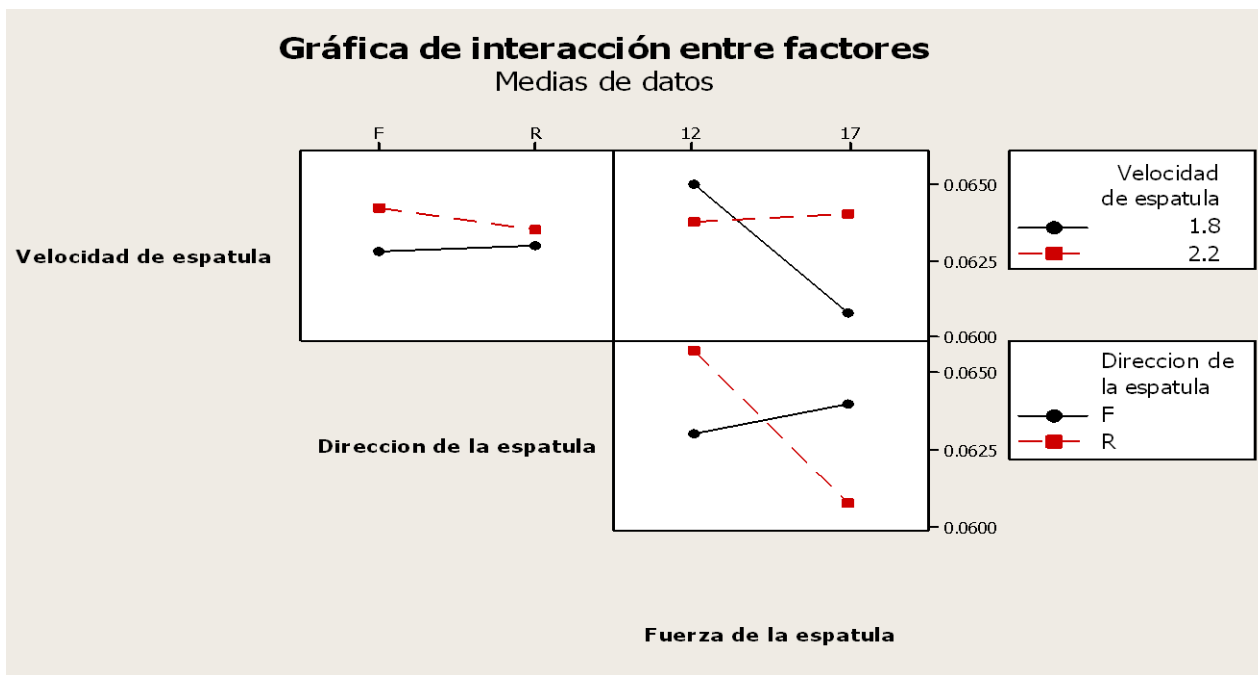
Resultado del diseño Factorial de 3 factores a dos niveles:

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Velocidad de espátula	fijo	2	1.8, 2.2
Dirección de la espátula	fijo	2	F, R
Fuerza de la espátula	fijo	2	12, 17

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Velocidad de espátula	1	0.00000400	0.00000400	0.04	0.838
Dirección de la espátula	1	0.00000025	0.00000025	0.00	0.959
Fuerza de la espátula	1	0.00001600	0.00001600	0.17	0.684
Error	12	0.00110550	0.00009212		
Total	15	0.00112575			

Conclusión: No existe una respuesta significativa en los factores pero la gráfica muestra una gran interacción entre los factores. Como muestra la gráfica 4.1. Se observa que hay una interacción de la fuerza de la espátula vs dirección de la espátula. Y también hay una interacción entre la fuerza con la velocidad.



Gráfica 4.1 Interacción entre factores

Resultados Promedio Altura de la soldadura de pasta:

V1-V3	
Horizontal	Promedio
PCB1	0.072
PCB2	0.071
PCB3	0.071
PCB4	0.069
PCB5	0.070
PCB6	0.070
PCB7	0.073
PCB8	0.074
PCB9	0.073

V4-V6	
Vertical	Promedio
PCB1	0.061
PCB2	0.059
PCB3	0.056
PCB4	0.056
PCB5	0.049
PCB6	0.054
PCB7	0.051
PCB8	0.058
PCB9	0.075

Espesor estencil
.052 mm
Unidades Milimetros

En las siguientes figuras 4.9 y 4.10 se muestran la respuesta al diseño de experimentos logrando una buena cobertura de pasta en los pads del PCB en ambas posiciones, horizontal y vertical. El diseño de experimento nos enseñó que las diferentes variables en el equipo de impresión pueden lograr esta salida.

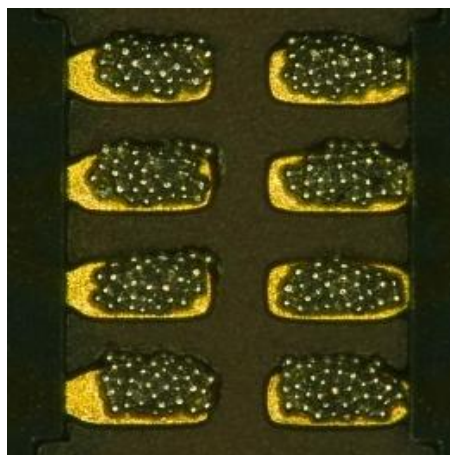


Figura 4.9 Resultados en aberturas de 110 x 240 micrones horizontal.



Figura 4.10 Resultados en aberturas de 110 x 240 micrones vertical.

El experimento 2, nos mostró que la orientación es de gran importancia en el diseño de los módulos. Se obtiene un mejor depósito de soldadura al modificar la dirección de la espátula. En realidad las aberturas perpendiculares (lado más grande de las aberturas perpendiculares con respecto al barrido de la espátula) depositan el 8% hasta un 9% más de volumen que las aberturas paralelas. En la Figura 4.10 del lado derecho se puede observar un mejor depósito y una mejor cobertura en la impresión de la pasta. En este experimento nos deja un gran conocimiento que nosotros podemos tener una gran respuesta, dependiendo la orientación de la abertura. Esto nos enseñará que al modificar los diferentes factores de la impresión la orientación de la abertura en forma perpendicular tendrá una respuesta inmediata y la abertura en forma paralela será nuestro punto de referencia a cumplir con el criterio de aceptación.

En el diseño de experimentos usamos factores que inicialmente pensamos que nos pudieran dar resultados, como es el caso de la orientación de la espátula, los resultados no fueron significativos. Como parte de la investigación, decidimos de usar otra metodología en los diseños de experimento llamado Taguchi. Y es la segunda parte del experimento 2 que a continuación se explica.

Experimento 2 Parte II:

Se recibió una recomendación por parte del comité de cursar la materia de diseño de experimentos y decidimos hacer una segunda experimentación tomando en cuenta otras variables y un análisis con método de Taguchi con 3 factores en un arreglo ortogonal L9.

En este experimento usamos 3 factores en la espátula como son velocidad y fuerza, en la bomba la presión. Usando 2 réplicas. Nuestro resultado es la cobertura de la soldadura de pasta en el *PAD*, también encontramos como punto a tomar en cuenta al incrementar la fuerza de la espátula en la aberturas perpendiculares se presentaron cortos de soldadura.

A continuación se muestra la tabla 4.3 del método de Taguchi

Arreglo ortogonal L₉

Prueba	A Velocidad Espatula	B Fuerza Espatula	C Presion Bomba	error 1	Resultados	Velocidad	Fuerza	Presion	e4	Replica 1	Replica 2	Resultado
1	1	1	1	1	y ₁	1.8	12	1.2	1	55	44	49.5
2	1	2	2	2	y ₂	1.8	15	2	2	112	162	137
3	1	3	3	3	y ₃	1.8	17	2.2	3	53	64	58.5
4	2	1	2	3	y ₄	2	12	1.2	3	21	27	24
5	2	2	3	1	y ₅	2	15	2	1	126	97	111.5
6	2	3	1	2	y ₆	2	17	2.2	2	26	17	21.5
7	3	1	3	2	y ₇	2.2	12	1.2	2	43	53	48
8	3	2	1	3	y ₈	2.2	15	2	3	29	50	39.5
9	3	3	2	1	y ₉	2.2	17	2.2	1	79	38	58.5

33367.11 548

Tabla de conbrates

	A	B	C	e
Nivel 1	245	121.5	110.5	219.5
Nivel 2	157	288	219.5	206.5
Nivel 3	146	138.5	218	122

548 548 548 548
Factor de correccion 12031.39

Tabla ANOVA	SS	g.l	MS	Fexp
SA Velocidad Espatula	1962.889	2	981.4444	1.050578
SB Fuerza Espatula	5595.722	2	2797.861	2.994945
SC Presion Bomba	2604.389	2	1302.194	1.393922
Serror	1868.389	2	934.1944	

12031.39 8

Fexp > 2 El factor SB Fuerza de la espatula es significativa

Tabla 4.3 Método de Taguchi

Los resultados nos indican que la fuerza de la espátula es significativa.

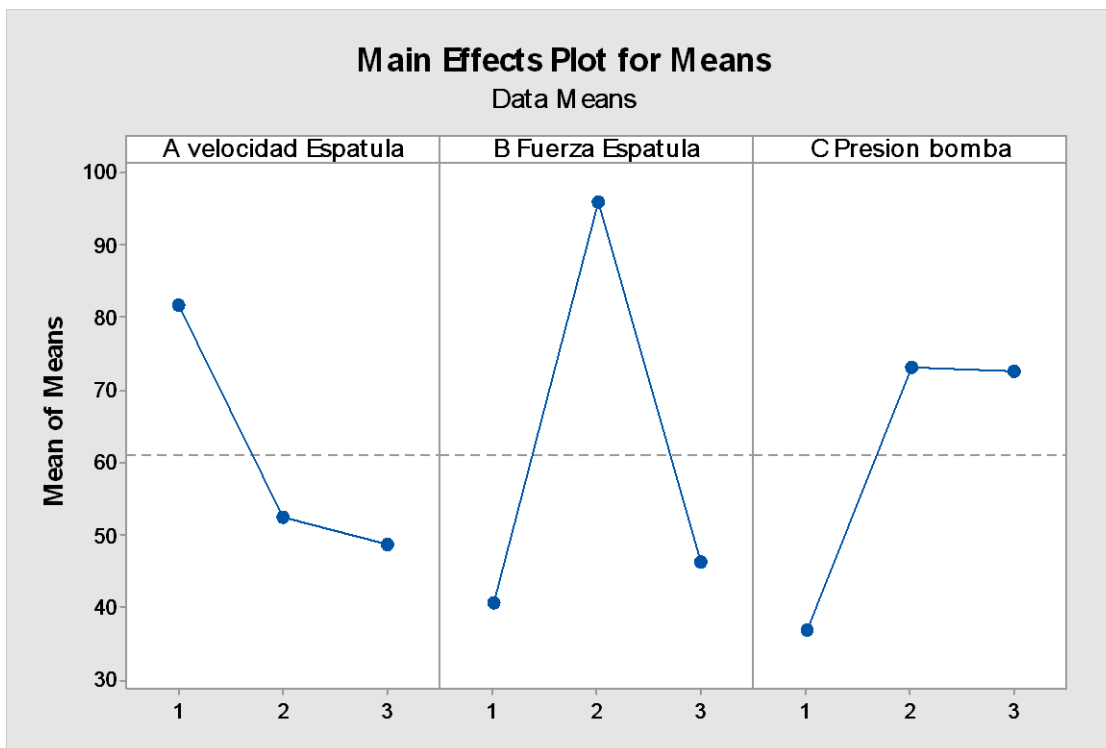
Resultado del Experimento 2 Parte II.

En la siguiente grafica 4.2 se puede observar el cambio significativo de la fuerza de la espátula, nos trajo un gran conocimiento que la fuerza de la espátula sobre el estencil puede depositar más soldadura de pasta.

Resultado nos indica que la fuerza de la espátula es significativa

En el experimento #2, usamos 2 métodos de diseño de experimentos, factorial y método de Taguchi de 3 factores.

Estos resultados explican porque había una fuerte interacción en el experimento #2 parte I, donde indicaba la interacción entre la fuerza de la espátula con la velocidad. En el experimento #2 parte II, se confirma que la fuerza de la espátula es significativa.



Grafica 4.2 Efectos de medias de velocidad, fuerza y presión

DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS

Experimento 3:

- Modificar y analizar los diferentes tipos de aberturas, condición actual:

Abertura cuadrada vs Abertura redonda.

En este experimento se pretende modificar la figura 4.11 de la abertura, en estudios menciona que la abertura cuadrada tiene mejor desempeño que la abertura redonda, cuando usamos aberturas con dimensiones más pequeñas, el proveedor de componentes TDK nos recomienda usar aberturas redondas para mejorar la transferencia de soldadura en los pads.

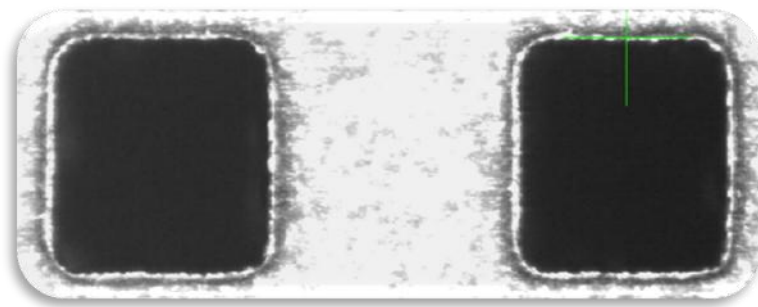


Figura 4.11 Abertura cuadrada [SKWS]

Abertura	Tamaño 1	Tamaño 2	Tamaño 3	Tamaño 4
Redonda	110 μ m	100 μ m	105 μ m	1:1 No reducción
Cuadrada	110 μ m	100 μ m	105 μ m	1:1 No reducción

Tabla 4.4 Formas y tamaños de las aberturas

Experimento III:

- Modificar y analizar los diferentes tipos de aberturas, condición actual:

Abertura cuadrada vs Abertura redonda.

El análisis de los distintos tipos de aberturas redondas y cuadradas nos da una idea del comportamiento durante el proceso de impresión.

En las aberturas cuadradas se puede observar después de la impresión quedan las diferentes esferas de la soldadura atrapadas en las esquinas y compensando el depósito de la soldadura en el PAD. En el diseño de aberturas para paquetes para BGA las aberturas cuadradas son recomendadas deberán ser iguales los diámetros de los pads [16], como se muestra en la figura 4.12

Las aberturas redondas se observa que quedan casi tapadas evitando la transferencia de la soldadura al PAD.

En este experimento fue realizado con 2 tipos de estenciles:

- Esténcil con aberturas cuadradas
- Esténcil con aberturas redondas

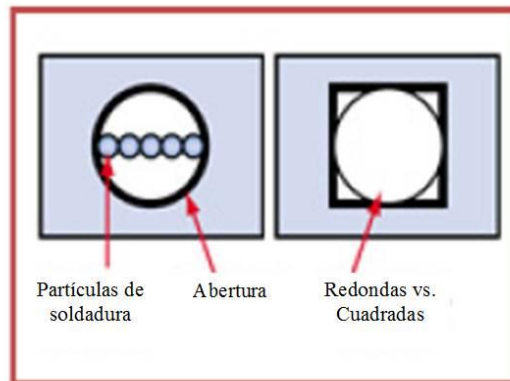


Figura 4.12 Diseño para aberturas de paquetes BGA [16]

En las figuras 4.13 y 4.14 Se muestran los 2 tipos de estenciles que aberturas cuadradas y redondas.

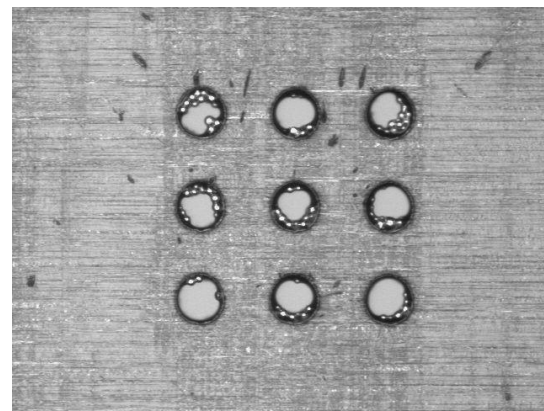
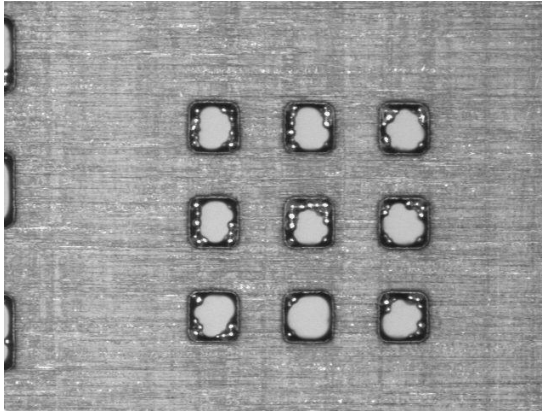
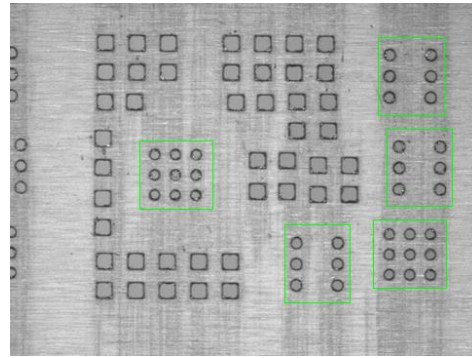
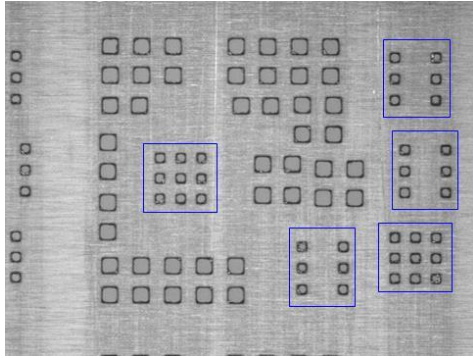


Figura 4.13 Esténcil con abertura cuadrada

Figura 4.14 Esténcil con abertura redonda

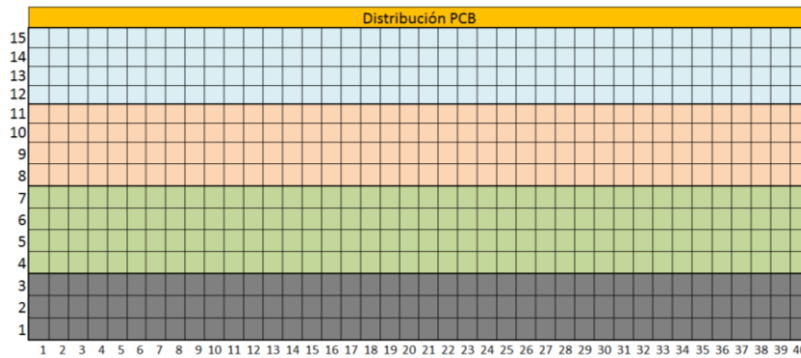


Figura 4.15 Distribución del PCB experimental

En cada esténcil se usaron diferentes formas y tamaños de aberturas:

- 110 micrones
- 100 micrones
- 105 micrones
- 1:1 No reducción

Se tomaron las mejores condiciones del experimento #2 como base para este experimento.

En este experimento se usaron 3 PCBs funcionales de un producto SKWS con una distribución en el mismo PCB como se muestra en la figura 4.15.

Se compararon los resultados entre las diferentes aberturas redondas contra las aberturas cuadradas.

En la siguiente tabla 4.5 se muestra el porcentaje para aberturas cuadradas, las unidades que cumplieron con el criterio de aceptación en cada condición. En la tabla 4.6 para aberturas redondas, se muestra el porcentaje de unidades que cumplieron con el criterio de aceptación en cada condición. Con estos resultados llegamos a la conclusión que solo podemos llegar usar aberturas >110 micrones en el proceso.

Aberturas Cuadradas

	PCB1	PCB2	PCB3	Total	%
	QTY	QTY	QTY		
110 micrones	11	8	8	27	94.4
100 micrones	58	105	61	224	53.3
105 micrones	23	53	34	110	77.1
1:1 No Reducción	6	22	18	46	87.2

Tabla 4.5 Resultados de las aberturas cuadradas

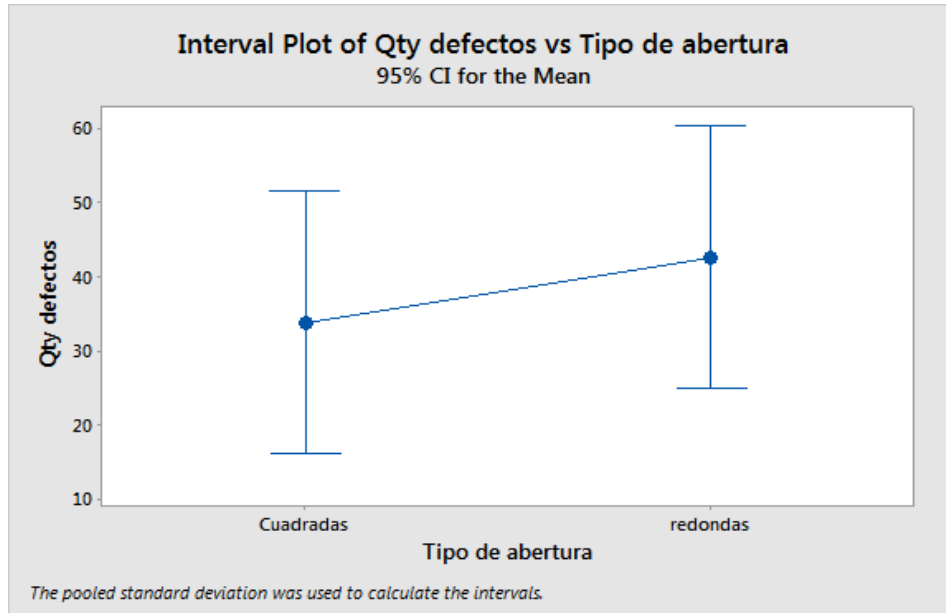
Aberturas Redondas

	PCB1	PCB2	PCB3	Total	%
	QTY	QTY	QTY		
110 micrones	23	12	8	43	91.04
100 micrones	85	77	84	246	48.75
105 micrones	74	27	33	134	72.08
1:1 No Reducción	45	17	27	89	75.28

Tabla 4.6 Resultados de las aberturas redondas

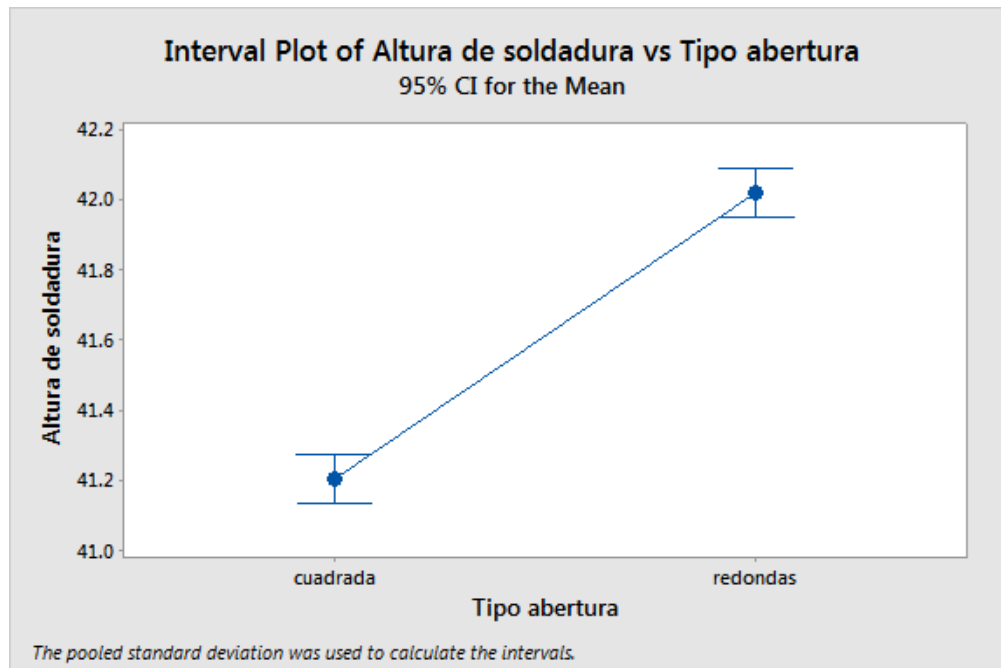


Criterio Cobertura de soldadura de pasta en el pad >75%



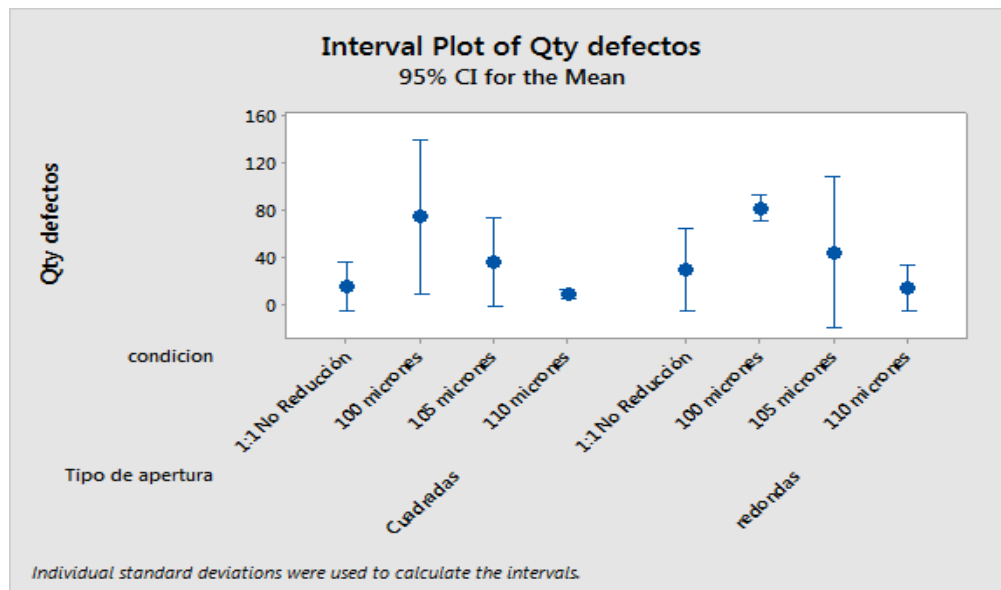
Grafica 4.3 Cantidad de defectos vs. Tipo de aberturas

Las aberturas cuadradas muestran mejor desempeño que las aberturas redondas, como se muestra en la gráfica 4.3

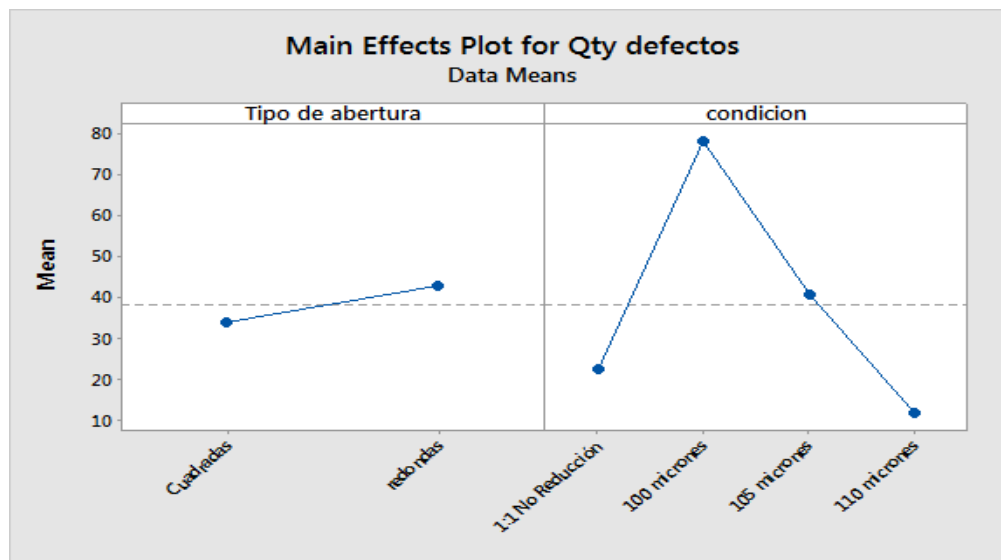


Grafica 4.4 Altura de soldadura vs. Tipo de abertura

En el proceso de SMT la diferencia de un micrón en la altura de la soldadura no lo consideramos como algo significativo. En la gráfica 4.5 indica que las aberturas cuadradas son mejores que las aberturas redondas. En la gráfica 4.6 se puede observar una ligera diferencia entre las aberturas cuadradas y redondas. Dependiendo el tamaño de la abertura podemos encontrar que la abertura de 100 micrones tiene mayor cantidad de defectos. Llegando a la conclusión que la mejor opción es la abertura de 110 micrones y el tipo de abertura cuadrada.



Grafica 4.5 Cantidad de defectos vs. Tamaño y forma de aberturas



Grafica 4.6 Media de la cantidad de defectos vs. Tipo y tamaño de aberturas

A continuación se muestran todos los resultados de los experimentos para calificar.

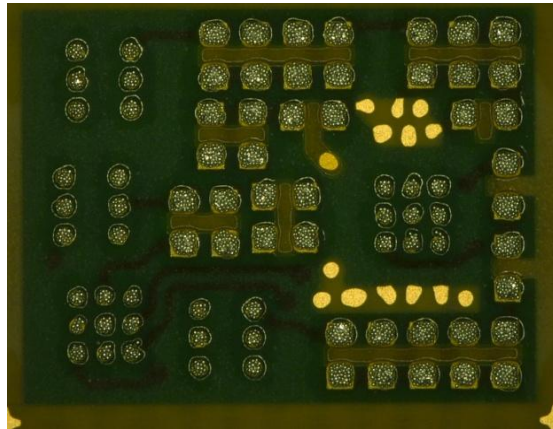


Figura 4.16 Impresión de soldadura de pasta a 110 micrones aberturas cuadradas

En la figura 4.16 muestra una buena cobertura de pasta en todos los pads del PCB, de acuerdo a los resultados esta es la mejor opción con una buena impresión.

Comparado con el PCB que se usó una abertura redonda como se muestra en la figura 4.17 se observa una ligera insuficiencia de soldadura en algunos pads.

Abertura	Tamaño 1	Tamaño 2	Tamaño 3	Tamaño 4
Cuadrada	110µm Fig. 4.16	100µm	105µm	1:1 No reducción
Redonda	110µm Fig.4.17	100µm	105µm	1:1 No reducción

Tabla 4.7 Tipo y tamaño de las aberturas

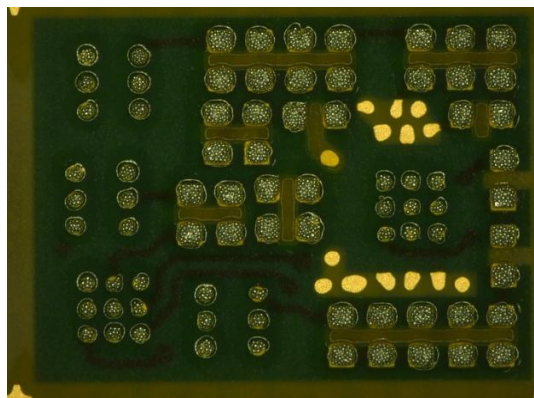


Figura 4.17 Impresión de soldadura de pasta a 110 micrones aberturas redondas

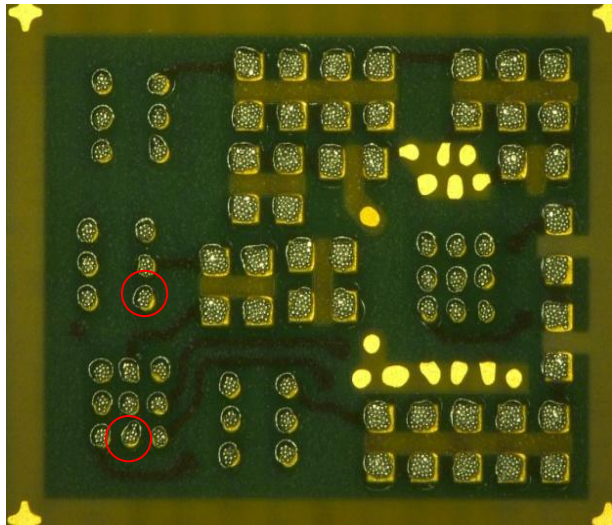


Figura 4.18 Impresión de soldadura de pasta a 100 micrones abertura cuadrada

Abertura	Tamaño 1	Tamaño 2	Tamaño 3	Tamaño 4
Cuadrada	110 μ m	100 μ m Fig. 4.18	105 μ m	1:1 No reducción
Redonda	110 μ m	100 μ m Fig. 4.19	105 μ m	1:1 No reducción

Tabla 4.8 Tipo y tamaño de las aberturas

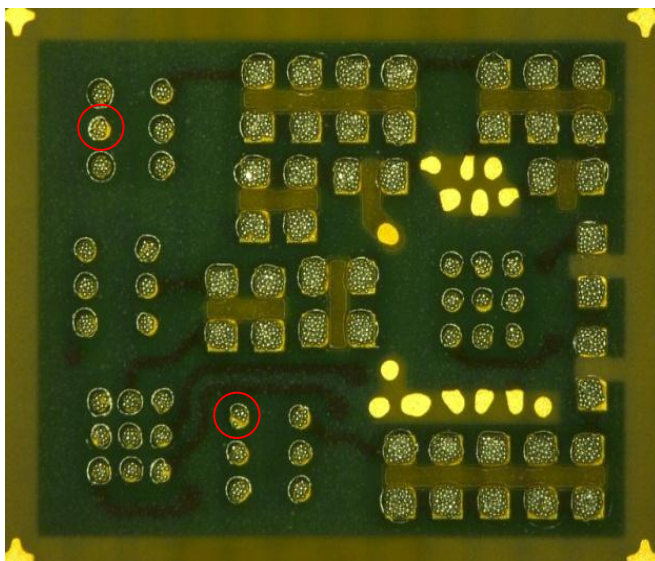


Figura 4.19 Impresión de soldadura de pasta a 100 micrones abertura redonda

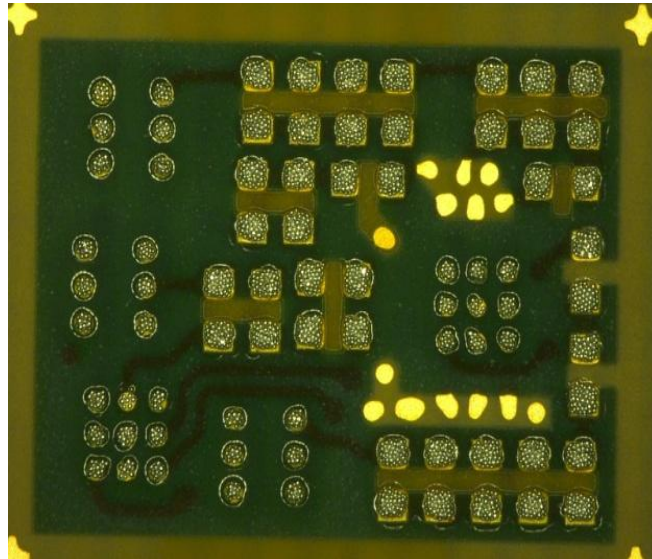


Figura 4.20 Impresión de soldadura de pasta a 105 micrones abertura cuadrada

Abertura	Tamaño 1	Tamaño 2	Tamaño 3	Tamaño 4
Cuadrada	110 μ m	100 μ m	105 μ m Fig. 4.20	1:1 No reducción
Redonda	110 μ m	100 μ m	105 μ m Fig. 4.21	1:1 No reducción

Tabla 4.9 Tipo y tamaño de las aberturas

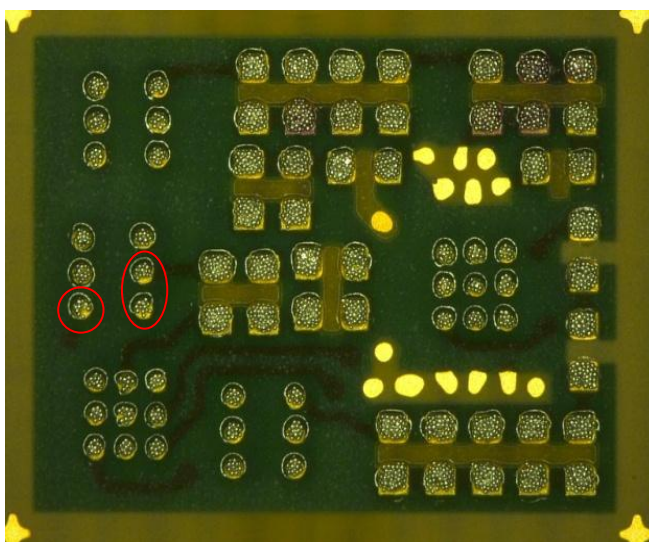


Figura 4.21 Impresión de soldadura de pasta a 105 micrones abertura redonda

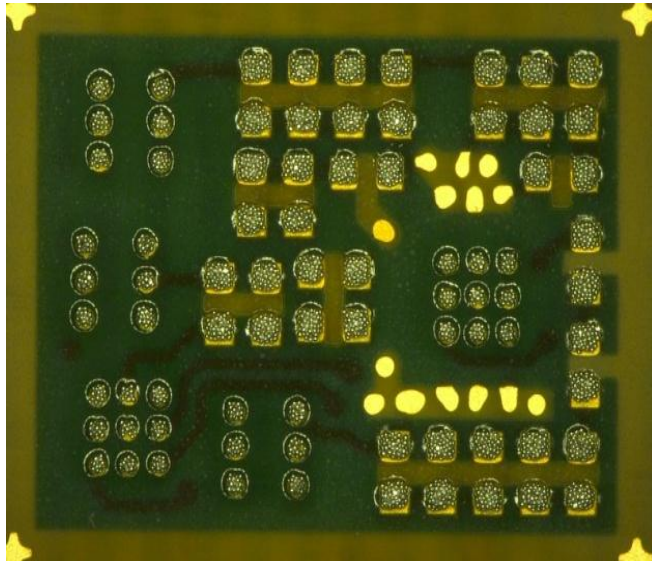


Figura 4.22 Impresión de soldadura de pasta a 1:1 No reducción abertura cuadrada

Abertura	Tamaño 1	Tamaño 2	Tamaño 3	Tamaño 4
Cuadrada	110 μ m	100 μ m	105 μ m	1:1 No reducción Fig. 4.22
Redonda	110 μ m	100 μ m	105 μ m	1:1 No reducción Fig. 4.23

Tabla 4.10 Tipo y tamaño de las aberturas

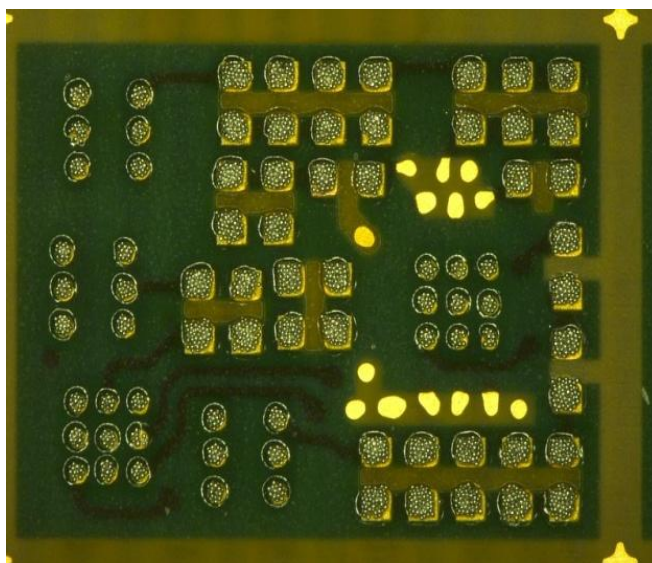


Figura 4.23 Impresión de soldadura de pasta a 1:1 No reducción abertura redondas

DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS

Experimento 4:

- Analizar si con una soldadura pasta Tipo V puede mejorar el proceso de impresión.

La literatura nos explica del cambio de una soldadura tipo III a tipo IV usando un estencil de 3 mil de grosor, teniendo una mejor transferencia la soldadura tipo IV. Una consideración importante será con el diseño del estencil, para la impresión del componente más pequeño 1005, mientras proporcione suficiente volumen de soldadura a los componentes más grandes en el mismo PCB. [17]. Existe otro estudio donde hay la posibilidad de tener 2 estenciles uno para aberturas pequeñas para componentes pequeños y el otro para componentes más grandes. [18]

La soldadura tipo V, las partículas son más pequeñas tienen un rango de 15 a 25 micrones de diámetro y las de tipo IV de 20 a 38 micrones. La partícula pequeña tendrá una mejor transferencia y mejor repetitividad en el volumen. [19]

En estudios recientes se muestran resultados con soldadura tipo VI y tipo VII con una configuración de 100 micrones de pitch, de acuerdo a pruebas de caracterización muestran que al incrementar el tipo de soldadura incrementa la viscosidad y *tackiness* [20]. Toda esta información será de gran ayuda para el estudio con la soldadura tipo V en Skyworks.

En la figura 4.24 se puede observar a distintas ampliaciones de 200X y 1000X el tamaño de las esferas a un promedio de 21 micrones para la soldadura tipo V.

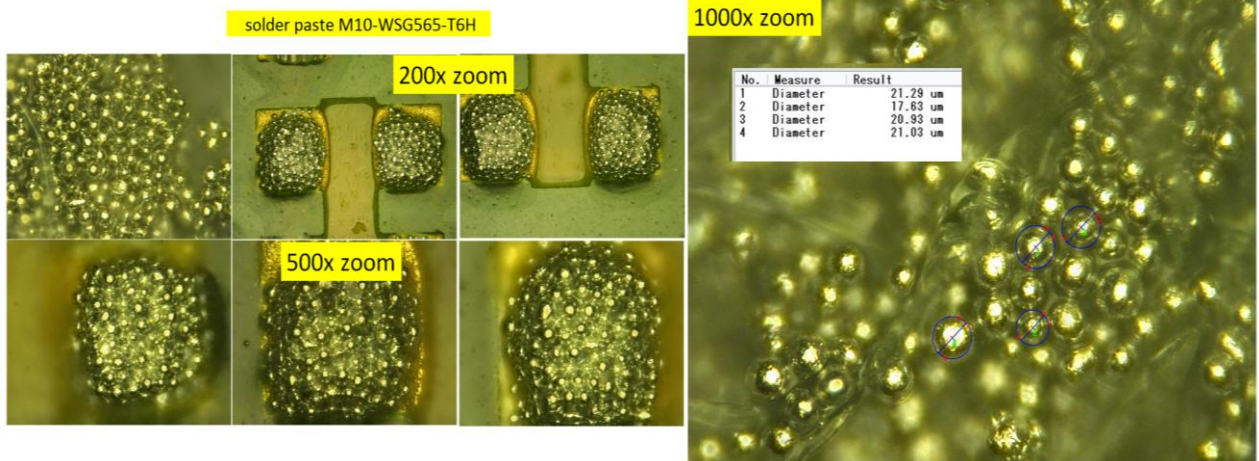


Figura 4.24 Tamaño de la esfera en la Soldadura Tipo V de 17 a 21 micrones, mediciones realizadas en Skyworks

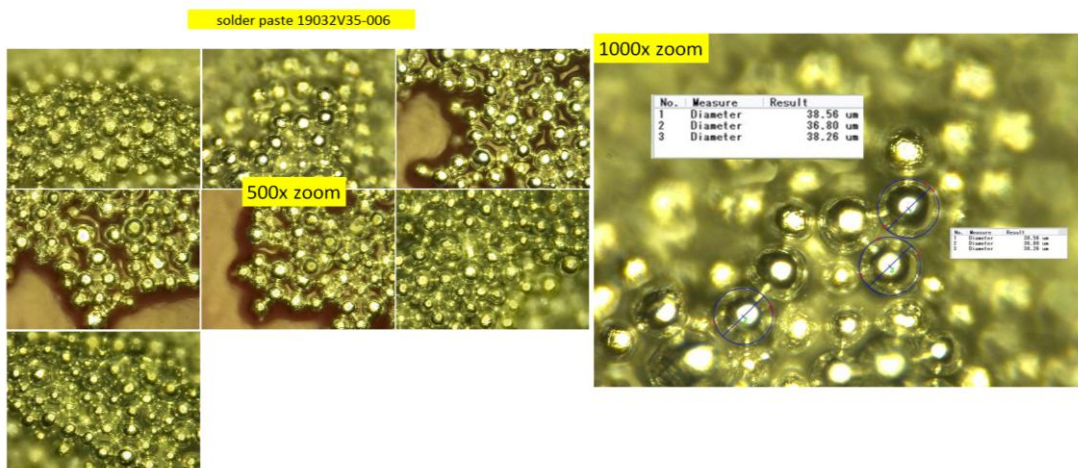


Figura 4.25 Tamaño de la esfera en la Soldadura Tipo IV de 36 a 38 micrones, mediciones realizadas en Skyworks.

Soldadura	Esfera	Diámetro
Pasta IV		
Pasta V	Figura 4.23	Figura4.23

Tabla 4.11 Tamaño de las esferas de las soldadura tipo IV y V

Como se muestra en la figura 4.24 el tamaño de las esferas de la soldadura tipo V, favorece una mejor impresión en los pads.



Figura 4.26 Impresión de soldadura de pasta usando soldadura tipo IV

Se realizó un análisis de impresión de pasta usando soldadura tipo IV y tipo V, usando otro PCB. En la Figura 4.26 se muestra con soldadura tipo IV, y en la Figura 4.27, se usó soldadura tipo V donde este tipo de soldadura se observó una mejor consistencia, buena cobertura y está más definida la forma en los pads.

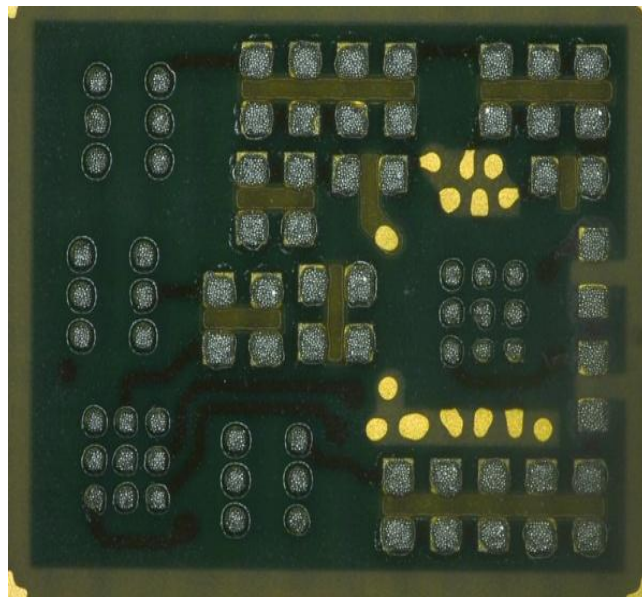


Figura 4.27 Impresión de soldadura de pasta usando soldadura tipo V

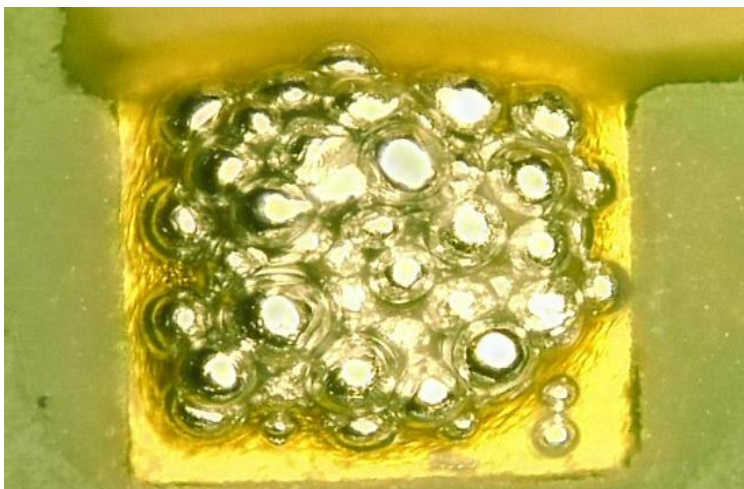


Figura 4.28 Impresión de soldadura de pasta usando soldadura tipo IV

Como se puede observar en la figura 4.29, la soldadura tipo V, tiene una mejor cobertura por el tamaño de las esferas y una mejor transferencia de soldadura, del estencil hacia el pad del PCB.

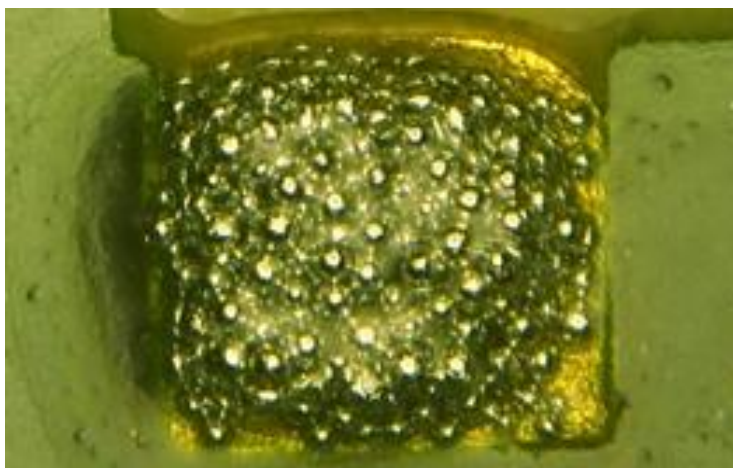


Figura 4.29 Impresión de soldadura de pasta usando soldadura tipo V

Soldadura	Impresión pasta	Cobertura pasta
Pasta IV	Figura 4.25	Figura 4.27
Pasta V	Figura 4.26	Figura 4.28

Tabla 4.12 Impresión y Tamaño de las esferas de las soldadura tipo IV y V

DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS

Experimento 5:

Después del análisis de la soldadura tipo V, se decidió aplicar este tipo de soldadura en otro PCB.

En el primer PCB a evaluar se puede observar en la figura 4.30, el desempeño de la soldadura tipo V en las los PADs redondos logrando una cobertura al 100%, por el cual no se puede observar alguna ausencia de soldadura en los pads.

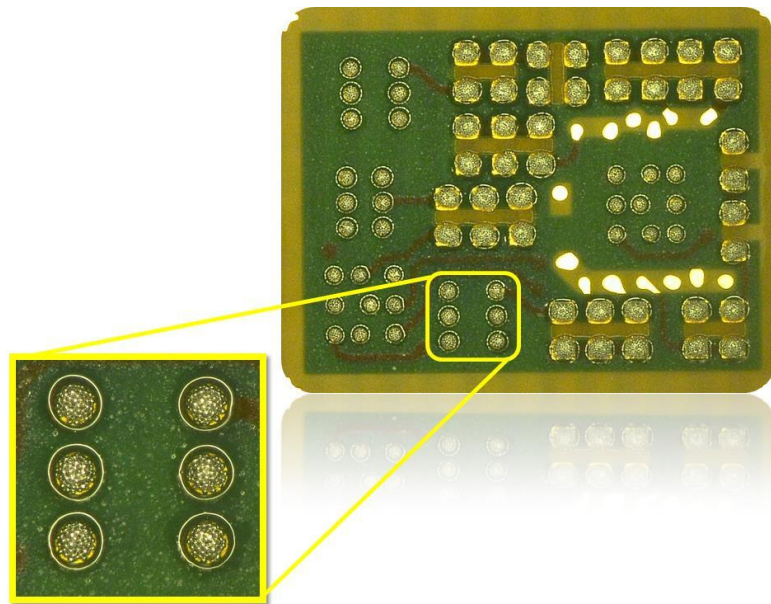


Figura 4.30 Impresión de soldadura de pasta usando soldadura tipo V

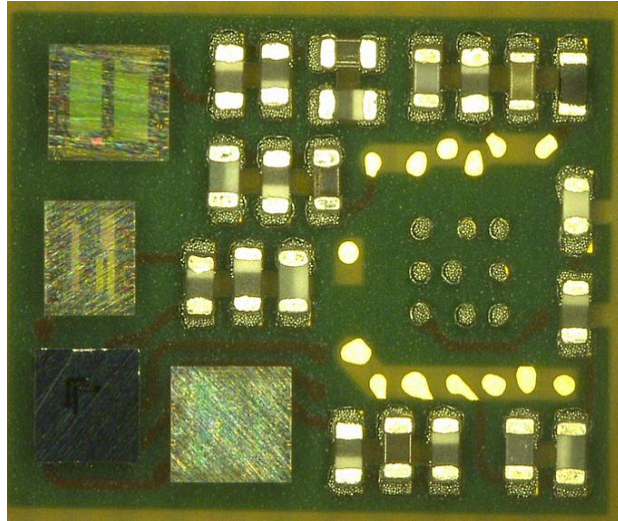


Figura 4.31 Montaje de componentes antes del horno

En la figura 4.31 se puede mostrar el montaje de los componentes antes del horno notándose una gran cobertura de la pasta en los componentes pasivos y con una buena adherencia de los componentes

En la figura 4.32 se puede observar los componentes después del horno de reflujo logrando una excelente unión en la soldadura, se muestra buen *fillet* de la soldadura en los componentes pasivos, no hay defectos visibles y tienen buena posición los componentes, se pueden observar bien centrados y no hay presencia de cortos.

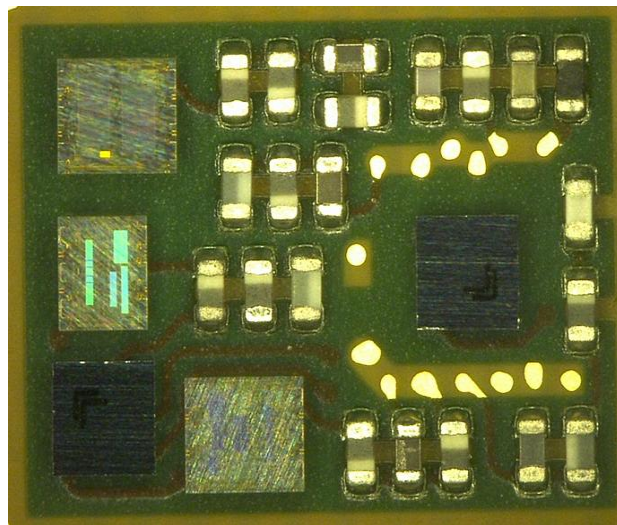


Figura 4.32 Montaje de componentes después del horno

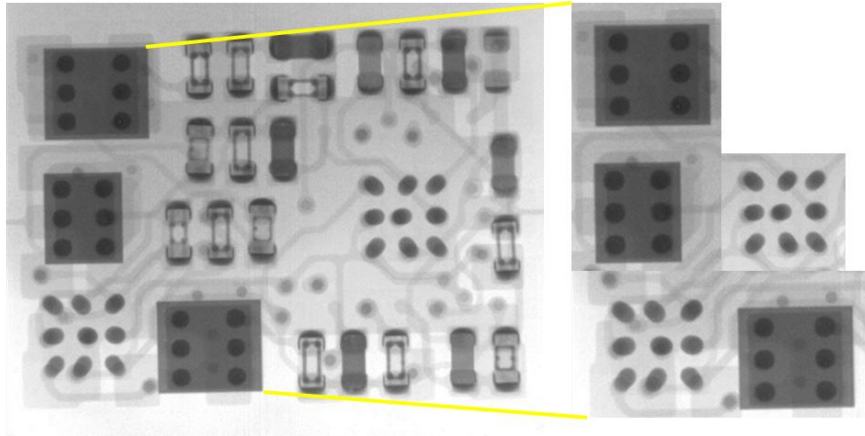


Figura 4.33 Condición de la cobertura a través de rayos X

En la figura 4.33 se muestra mediante el uso de rayos X, se observa la excelente cobertura de la soldadura en los componentes no estándares como son los Filtros. Estos no se pueden observar y es necesario emplear esta herramienta de análisis. En cada uno de las bolas de los componentes se ve de manera definida y sin cortos de soldadura.

Como parte del seguimiento en el experimento 5, verificamos el desempeño de la soldadura tipo V en un segundo PCB un poco más complejo, por la gran cantidad componentes WLCSP que contenía (hasta 10 componentes). Se encontraron buenos resultados al no encontrar defectos de cobertura de soldadura de pasta, como se muestra en la Figura 4.34. Este tipo de PCB contiene aberturas que miden hasta los 90 micrones y para poder lograr una impresión de soldadura a esos niveles de aberturas muy pequeñas se emplearon aberturas cuadradas, como nos enseñó el experimento 3 de esta investigación. La impresión de soldadura en el segundo PCB se muestra en la figura 4.36

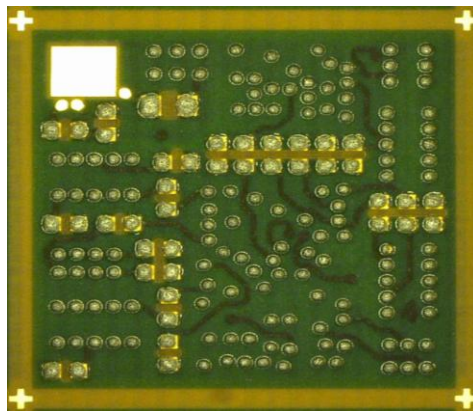


Figura 4.34 Evaluación del segundo PCB usando Tipo V

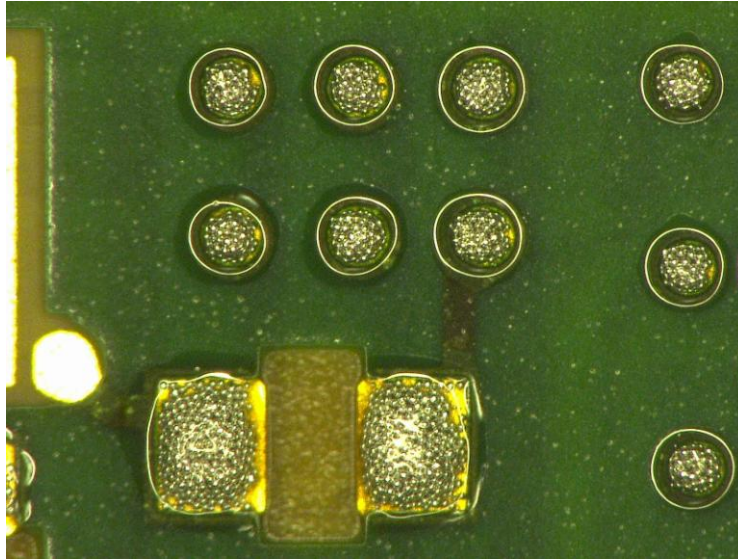


Figura 4.35 Impresión de soldadura tipo V

En la figura 4.35 y 4.36 se puede observar que las aberturas pequeñas cuentan con una excelente cobertura alcanzado el 100% de cobertura, al lado se observa una abertura mucho más grande para componentes 1005 teniendo una excelente impresión. Para aberturas 1005 usando una pasta tipo V se usa una reducción de 18% del perímetro de la abertura para evitar que tengamos bolas de soldadura en el PCB, después de la etapa de montaje de componentes.

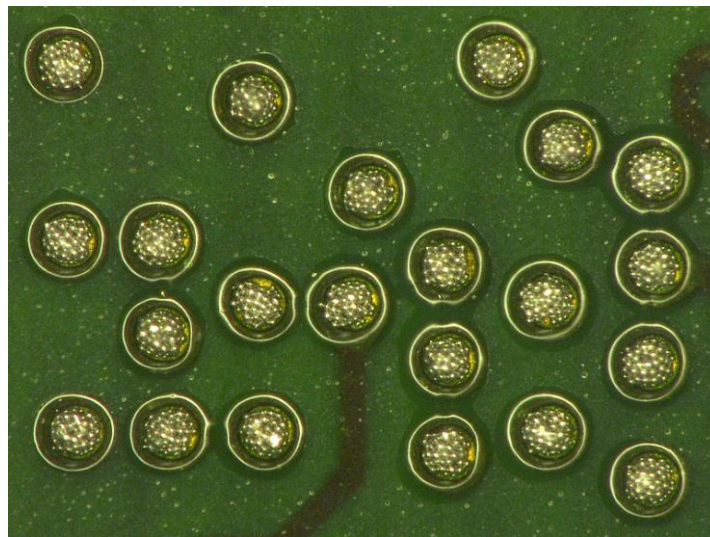


Figura 4.36 Cobertura soldadura tipo V

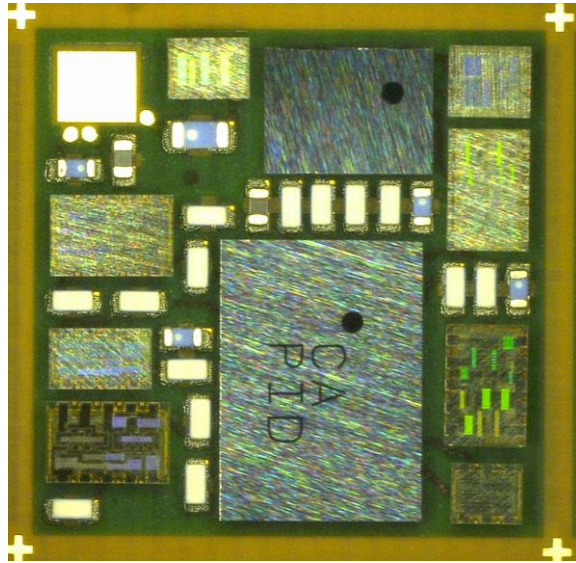


Figura 4.37 Montaje de los componentes antes del horno

En la Figura 4.37 se puede apreciar el montaje de componentes antes del horno, lo que nos muestra el comportamiento después del proceso de montaje. Estos resultados después de esta etapa, se puede observar la efectividad del proceso de impresión.

Resultados

Este trabajo muestra que el proceso de impresión cuenta con varios factores que son de vital importancia durante su ejecución en la línea de producción. Los principales factores como presión, velocidad y tensión, marcan la pauta para lograr imprimir y que nuestro proceso pueda cumplir con los requerimientos del proceso de impresión de soldadura de pasta. El primer experimento nos dio el inicio de la investigación, explorar si el proceso era capaz de imprimir en aberturas menores a 140 micrones. Iniciando con la investigación más formal se empezó a trabajar mediante diseños de experimentos, factorial y método de Taguchi y descubrimos que el proceso puede ser controlado por medio de tales factores. Se realizó un artículo “Impresión de Soldadura en Pasta para Aberturas Pequeñas” para su próxima publicación por definir, donde los resultados preliminares de los experimentos indicaban que era posible realizar impresiones de pasta con estenciles con dimensiones inferiores a 140 micrones, bajo las condiciones del proceso de impresión de SMT Skyworks. Durante y al término de la investigación se revisó la literatura para encontrar que en el mercado sólo se mencionan los casos de impresión de soldadura para valores de pitch de .4mm y .5mm usando estenciles de 3 mil de grosor [20]. En otro estudio se hacen experimentos usando soldadura tipo VI y VII para optimizar un proceso de ensamble basados en la caracterización de un proceso *ultra fine pitch* [21]. Todo este tipo de técnicas ayudaron a orientarnos. El proceso Skyworks maneja una de las mejores densidades de componentes en el PCB usando estenciles de 2 mil. Revisando la literatura no se encontraron menciones del uso de estenciles de este tipo de grosor. Siguiendo una línea de investigación, vimos la necesidad de probar con las diferentes formas y tamaños de aberturas redondas y cuadradas, encontrar en ellas valores cercanos a los 110 micrones, indicando que era el valor o la ventana inferior usando la soldadura tipo IV, como característica principal de la soldadura es el tamaño de la esfera que llega alcanzar valores 20 hasta 38 micrones. Conociendo esta limitante con la soldadura tipo IV, nos dio la oportunidad de encontrar otras opciones como la soldadura en pasta tipo V. Esta soldadura nos abrió la puerta a continuar hacia adelante con la investigación y encontrar una solución a nuestra investigación.

En el experimento 4 y 5 nos mostró que la soldadura tipo V cuenta con los beneficios de seguir con las condiciones del equipo actual de Skyworks, esto nos dará una dirección para enfrentar los nuevos retos de la introducción de nuevas tecnologías para los próximos años 2016 y 2017.

Cada uno de los experimentos realizados en esta tesis nos dio el aprendizaje para lograr y entender cada una de las condiciones del proceso. Se aprendió que los factores de impresión, formas de las aberturas y el tipo de soldadura nos conducen a lograr el objetivo principal de esta investigación. Todos esos experimentos debidamente fueron ejecutados logrando alcanzar nuestra Meta.

Conclusiones

Como parte de las conclusiones de este trabajo de tesis de maestría, me deja un buen aprendizaje con cada uno de los experimentos que trabajamos hasta llegar a los resultados. Como propósito principal en esta investigación era lograr imprimir con soldadura de pasta debajo de los 140 micrones en las dimensiones de las aberturas consideradas pequeñas de acuerdo al proceso actual de SMT.

Logramos imprimir hasta los 110 micrones, y se considera este como el límite inferior usando la misma soldadura en pasta tipo IV, mediante los resultados de los diseños de experimentos, modificación de las aberturas en tamaño y forma de las mismas. Como siguiente paso, estaba el llegar a aberturas menores de 110 micrones. Nos encontramos el uso de una soldadura en pasta tipo V que mediante el experimento 5 nos indicó que el proceso todavía puede continuar hasta aberturas de 90 micrones de diámetro usando **los mismos equipos de impresión de Skyworks**. La soldadura tipo V requiere una investigación más profunda y continuara más adelante. Actualmente no se cuenta información suficiente sobre el uso de este tipo de soldadura tipo V en procesos estándares de SMT en el mercado y en la literatura.

Vivir esta experiencia, me enseñó a investigar más a fondo las diferentes formas y métodos experimentales, siguiendo una línea de la investigación que antes no conocía, mediante un orden en el análisis y que en mi vida profesional no había empleado. He resuelto diferentes problemas en los últimos meses con mayor orden en mis ideas, a llegar con mayor facilidad a los análisis y solución de los problemas que nos enfrentamos día a día en Skyworks. Ha despertado un gran interés de seguir adelante como investigador, lo que al inicio del programa de maestría no tenía en mi mente, todo ello mediante el conocimiento y he aprendido a enfrentar todo lo nuevo con gran entusiasmo.

Bibliografías

- [1] Murata Manufacturing Co. KYOTO, Japan “Murata’s world’s Smallest Monolithic Ceramic Capacitor -0201 <millimeter size> size (0.25mm x 0.125mm) Article 9/5/2012, Home>About Murata>Newsroom>News.
- [2] Huang Chien Yi, Materials Science-Advanced Topics”, book edited by Yitzhak Mastai ISBN 978-953-51-1140-5, Published: June 10, 2013 under CC BY 3.0 license the author(s).
- [3] Ning-Cheng Lee Solder paste technology, Reflow soldering processes and Troubleshooting: SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies. Page 57
- [4] Ning-Cheng Lee Solder paste technology, Reflow soldering processes and Troubleshooting: SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies. Page 75, 76
- [5] Ning-Cheng Lee Solder paste technology, Reflow soldering processes and Troubleshooting: SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies. Page 39
- [6] Ning-Cheng Lee Solder paste technology, Reflow soldering processes and Troubleshooting: SMT BGA, CSP and Flip Chip Technologies Pages 39, 40
- [7] Ning-Cheng Lee Solder paste technology, Reflow soldering processes and Troubleshooting: SMT BGA, CSP and Flip Chip Technologies Page 42
- [8] Alden Johnson, Krista Fabian Stencil printing basics Equipment, material and Process considerations, Cookson Electronics 2003

- [9] Curso Printing process Manual by Panasonic SP60 2002-10-30 versión 2, tomado en Sony Mexicali, Abril 2005
- [10] Micro semi, Surface Mount Considerations for CSPs May 2014 “Assembly and PCB layout Guidelines for Chip-Scale Packages
- [11] Free scale Semiconductor, Wafer Level Chip Scale Package (WLCSP) Rev. 3.0, May. 2012
- [12] IPC-7525A Stencil Design Guidelines Association Connecting Electronic Industries, February, 2007
- [13] Curso Cookson Electronics Company Alpha-Fry Technologies tomado en Sony Tijuana, Noviembre 2006.
- [14] Pan Jianbiao Gregory, Lehigh University “A study of the abertura filling process in solder paste stencil printing”. Report No.99T-06
- [15] Pan Jianbiao, IEEE Critical Variables of solder Paste Stencil Printing for MICRO-BGA and Fine Pitch Article Page 125
- [16] Krammer O. “Stencil design guideline for electronics assembly technologies” April 2013.
- [17] Vatsal Shah, Process Development for 1005 Lead-free passive assembly: stencil printing Sep 2006
- [18] Coleman William, “Stencil Printing of small apertures” IPC 2012
- [19] Farrel Robert, Shea Chrys “Stencil and solder paste inspection evaluation for miniaturized SMT components” October 2013 published in the proceedings of SMTA International, Ft. Wortd, TX (conclusion)

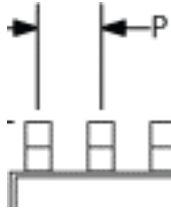
- [20] Dionysios Manassis, Rainer Patzelt “Stencil Printing Technology for 100um Flip Chip Bumping 2004

- [21] Yong-Wong Lee, “Process development of ultra-fine pitch assembly for system-in package devices Osaka University Japan, July 2013 Doctoral Ph.D. Dissertation

Terminología

SMT	(Surface Mount Technology – tecnología de montaje superficial).
SMD	(Surface Mount Device- dispositivos de montaje superficial).
WLCSP	(Wafer-level chip-scape packaging) Empaque a nivel Oblea.
LGA	(Land Grid Array) Es un dispositivo que usa una serie de pequeños metales en forma de pad en la parte de abajo del componente para ser colocada en una Serie de metales en el circuito impreso.
PCB	(Printed Circuit Board) circuito impreso, tarjeta de circuito impreso es una Superficie constituida por pistas de material conductor laminadas sobre una Base no conductora.)
Esténcil	Es una máscara de metal con orificios usada para imprimir soldadura de pasta.
Mil	Unidad de longitud en el sistema inglés de medidas equivale a una milésima De pulgada 1mil = 25.4 micrómetros
Thickness	Espesor = thickness se refiere a la medida en milímetro o pulgadas de la Lámina de acero o mascara de metal.

Pitch Es la distancia entre las terminales de un dispositivo electrónico. Considerado de la parte central de la terminal hasta la parte central de la siguiente terminal



RF Radiofrecuencia.

Wafer Es una capa delgada de material semiconductor, generalmente silicio. Los wafers son hechos de diferentes tamaños que van desde los 25,44 mm a los 300 mm, y con un grosor de alrededor de 0,5 mm. Son cortados en forma circular y luego pulidos en una o ambas caras.

Pads Contacto de superficie de cobre que sirve para soldar los componentes de montaje de superficie en un PCB.

BGA Ball Grid Array, es un tipo de componente que tiene un arreglo de bolas en líneas horizontales y verticales los cuales son soldados en pads de los pcs, su característica es que tienen muchos puntos de conexión.

Wetting (Acción de Mojado), es la interacción que tiene lugar entre la soldadura líquida y la superficie sólida de la parte a ser soldada.

Bumping Es la colocación de soldadura en el wafer formando la bola de soldadura. Se utiliza en tecnologías Flip Chip y WLCSP.

Slumping Es la deformación de la soldadura depositada en el pad después de la impresión.

Squeegee	Es el término usado técnicamente a las espátulas que sirven para desplazar la soldadura de pasta a través de la superficie del estencil.
Fluxing	Es la acción del flux durante el proceso térmico del horno de reflujo
Wire	
Bonding	Es el proceso que proporciona una conexión eléctrica entre los circuitos integrados y el PCB.
Eficiencia	
Del paquete	Relación entre el área del chip y el área total del paquete.
Reología	Es la ciencia de la deformación y el flujo de la materia.
RMA	(Mildly Activated Rosin), consiste en una solución homogénea de un rosin con un agente activador típicamente un ácido, el cual incrementa el wetting de metales.
SNAP OFF	Es la distancia entre la PCB y la parte inferior del estencil pero sin la presión de la espátula.
Fillet	Es la unión de la soldadura del componente con el pad después del reflujo puede ser en forma redonda o cóncava
Soldering	Es un proceso en el cual 2 o más metales son unidos por una fusión.

Impresión de Soldadura en Pasta para Aberturas Pequeñas.

Mejorando el proceso SMT para empaques futuros Skyworks.

Noel De Reza, Heliodoro Osuna,
Cesar Montano, Luis Solis Castillo.

Skyworks Solution de México
Mexicali, México

noel.dereza@skyworksinc.com
heliodoro.osuna@skyworksinc.com
cesar.montano@skyworksinc.com
luis.solis@skyworksinc.com

Andres Medel, Marco A. Felix,
Miguel A. Garcia.

Universidad Autónoma de Baja California
Facultad De Ingeniería, UABC
Mexicali, México

amedel71@uabc.edu.mx, mfelix@uabc.edu.mx
miguel.grc336@gmail.com

Abstracto—Este trabajo tiene como finalidad explorar las aberturas menores a 140 micras usando el proceso de impresión SMT Skyworks. Esta mejora de proceso lograra que podamos ensamblar componentes pasivos pequeños, permitiendo disminuir las dimensiones y peso total del empaque con las ventajas competitivas que esto conlleva. Las aberturas pequeñas se consideran menores a 140 micras, los experimentos que se efectuaron son de 120,110 y 100 micras usando los mismos equipos de impresión en el actual proceso de SMT.

Keywords: SMT, aberturas, estencil, proceso de impresión.

I. Introducción.

La tecnología de montaje superficial (SMT), es el sistema o conjunto de procesos utilizados para soldar componentes de montaje superficial (SMD) sobre la superficie del circuito impreso o PCB. En este trabajo probaremos el proceso de impresión de la pasta para soldar. Concretamente se prueba la factibilidad de este proceso en un filtro RF de 220 pitch (pitch; separación entre los centros de las bolas de soldadura en micras) mostrado en la figura 1.



Fig. 1. Filtro 220 pitch usado en el vehiculo de pruebas.

Estos componentes de montaje superficial usados ampliamente en el empaque de dispositivos semiconductores, pueden ser: capacitores de desacoplo, filtros de RF, inductores, resistores y antenas, entre otros. Su número usualmente sobrepasa a los componentes activos en una relación de 20 a 1 en paquetes MCM (Módulos MultiChip), vea la figura 2.

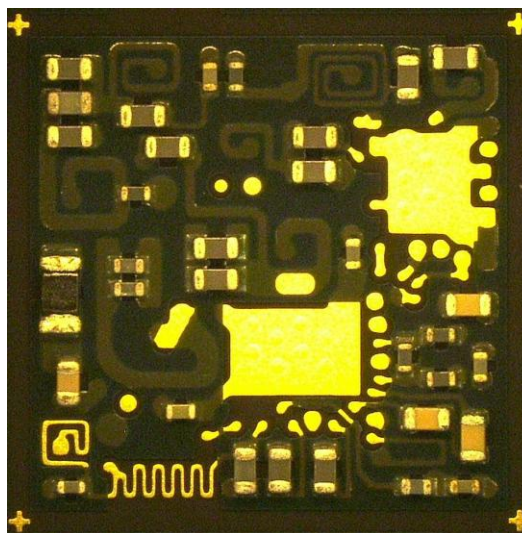


Fig. 2. Componentes pasivos usados en un MCM Skyworks.

Este trabajo se enfoca en los componentes tipo filtros RF y considera aberturas menores de 140 micras (dimensiones del estencil) y se reportan resultados preliminares del proyecto.

II. Antecedentes teóricos.

En proceso de impresión de soldadura en un sistema SMT, se utiliza un estencil, una espátula, la pasta y la placa que recibe la impresión. La soldadura es colocada sobre el estencil puede ser transferida manualmente de un bote o dispensada a

través de jeringas. En el proceso de SMT Skyworks usa el sistema de bomba neumática basado en jeringas. Como se puede observar la figura 3.

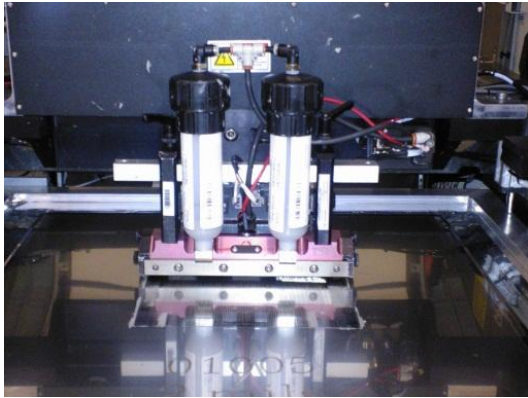


Fig. 1. Máquina impresora de pasta.

La fijación del PCB puede ser por medio de sensores o pernos posicionados que coincidan con orificios del PCB diseñados para ese fin, por abrochado lateral mediante flejes muy finos que toman los PCBs por los bordes o por vacío, succionando el PCB contra una placa base metálica perforada [1]. La alineación estencil-PCB se cuenta con un sistema de visión por medio de una cámara que visualiza las marcas fiduciales tanto del PCB como el estencil. Esta información es procesada, el error de alineación es determinado y la posición del estencil es corregida mediante servomotores [1]. La mínima abertura usada en el proceso actual es 165 x 165 micras y corresponde al componente pasivo 1005, como muestra la figura 4. La limpieza del estencil se realiza en forma automática que mediante un rollo de papel libre de pelusas y un contenedor de alcohol. La frecuencia de limpieza es establecida dependiendo del grosor del estencil.

En esta primera etapa experimental se pretende usar el proceso base de impresión. Y en función a los resultados obtenidos, se buscará modificar/ajustar los parámetros aplicables de impresión de pasta y/o cambiar las dimensiones y forma de los PADS para obtener los resultados esperados.

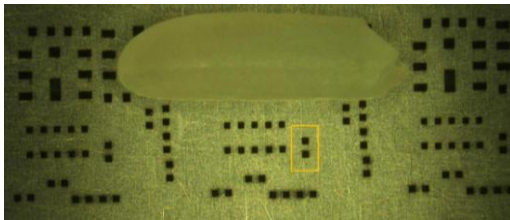


Fig. 2. Comparación de las dimensiones de un grano de arroz con las aberturas usadas en el proceso actual, se muestra un estencil con aberturas de 165 x 165 micras para un componente pasivo.

I. Primer experimento.

En la primera etapa se realizó un experimento utilizando una soldadura tipo IV (actual), y un PCB de prueba con

diferentes dimensiones en el ancho de los PADS 100 μ m, 110 μ m y 120 μ m (figuras 5, 6 y 7). Y con una dimensión en el largo del PAD de 240 μ m. Fueron colocados en diferentes posiciones, verticales y horizontales para conocer el comportamiento de la impresión respecto a la dirección de la espátula, [2] en referencia a las condiciones base del proceso. Se utilizó un estencil a nivel prototipo con las características del pitch 220 μ m. (No se modificaron los parámetros de la impresora de pasta, solo con las condiciones de referencia de impresión.).

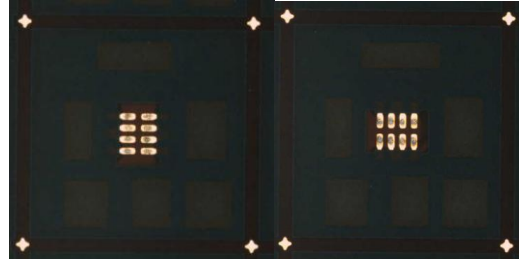


Fig. 3. Aberturas de 100 x 240 micras, horizontal y vertical.

Como puede observarse los resultados de la impresión en Aberturas de 100 x 240 micras fueron insatisfactorios. Concretamente la impresión no cubrió la mayor parte del área del pad para soldar lo que se reflejó en problemas en el reflujo.

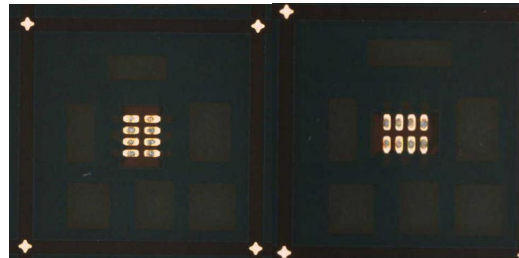
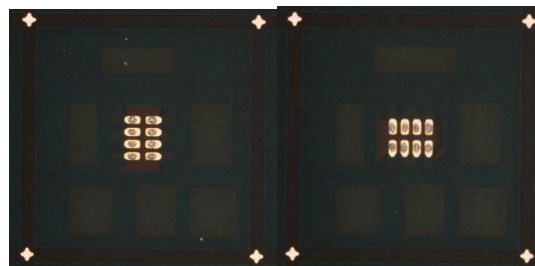


Fig. 4. Abertura de 110 x 240 micras, horizontal y vertical.

Estos problemas se repitieron usando aberturas de 110x240 micras (figura 6) y de 120 x 240 micras (figura 7).



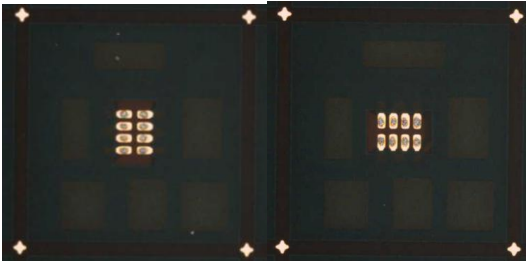


Fig. 1. Abertura de 120 x 240 micrones, horizontal y vertical.

Se detectaron defectos de insuficiencia de soldadura durante la impresión (figura 8), este problema de insuficiencia muestra que es necesario cambiar los parámetros de la impresora de pasta tomando en cuenta la reducción de las aberturas del estencil que se hicieron. Además que las bolas de soldadura se quedaban atoradas en las aberturas del estencil, ocasionado que las siguientes impresiones también fueran defectuosas (figura 9), cosa que es posible resolver aumentando la frecuencia de limpieza del estencil.



Fig. 2. Defectos en la impresión por insuficiencia, se usa una ampliación de las fotografías.



Fig. 3. Muestras de aberturas cuadradas en el estencil usado en esta prueba, se muestran la obstrucción por las bolas de soldadura.

I. Discusión.

Después de una minuciosa revisión de la literatura [1-5], se encontró que la velocidad de impresión, la presión de la espátula, la forma de la espátula y el material con la que es fabricado, así como el tamaño de las bolas de soldadura (tipo de soldadura), frecuencia de la limpieza del estencil, la forma de las aberturas (circular o cuadrada) y la composición del flux de pasta de soldadura son los factores que ocasionan la insuficiencia de soldadura en el proceso de impresión y la acumulación de bolas de soldadura en el estencil.

Por el momento cambiar el tipo de soldadura y la composición del flux esta fuera de los factores que pueden ser modificados usando simplemente un ajuste de parámetros de la máquina de impresión (sin embargo se está revisando con el proveedor las opciones para tener acceso a una pasta de

soldadura tipo V con la que podemos experimentar). En cuanto a la modificación de las aberturas de circulares a cuadradas será tratada en una etapa posterior [3]. Por lo cual quedaron descartados de nuestra siguiente etapa experimental. Un caso similar ocurrió con la forma y material de la espátula por lo que los parámetros que pueden ser modificados y solucionar el problema de insuficiencia de soldadura y la sobre impresión ocasionada por la acumulación de soldadura en el estencil son; la velocidad de impresión y la presión de la espátula [4]. De manera adicional verificaremos si la dirección en que la espátula se mueve al hacer la impresión ejerce una influencia en los resultados de la impresión de la soldadura [5].

II. Diseño del segundo experimento.

El siguiente experimento realizado fue un factorial completo de 3 factores (velocidad de impresión, presión y la dirección de impresión) y dos niveles (alto y bajo) Vea la tabla de diseño (tabla I).

Este experimento se basó en el proceso de referencia de impresión en los que los parámetros de las demás variables con las que se programa la maquina fueron colocados como se muestra en la tabla II. Observe que aumentamos los ciclos de limpieza hasta uno por cada impresión.

TABLA I. TABLA DE DISEÑO.

Orden	Factores		
	Velocidad de impresión	Presión	Dirección de la impresión
1	1 (2.2)	1 (17)	R
2	1 (2.2)	1 (17)	F
3	-1 (1.8)	1 (17)	R
4	1 (2.2)	-1 (12)	F
5	0 (2)	0 (15)	R
6	-1 (1.8)	-1 (12)	F
7	-1 (1.8)	-1 (12)	R
8	-1 (1.8)	1 (17)	F
9	1 (2.2)	-1 (12)	R

TABLA II. TABLA DE PARAMETROS.

Parámetro cabeza de impresión	
Fuerza	15.3000 lbs
velocidad	2.3500
Dirección de la cabeza de impresión	-.0745
Off de altura	1.800
Presión de la cámara	.100
Ciclo de Limpieza	Automática cada PCB (1)
Ciclos de impresión	Un solo ciclo de impresión
Separación	15.3000 lbs

En función de la posibilidad que existiera una respuesta no lineal en nuestro proceso, decidimos añadir un punto central que nos permitiera estimar la curvatura, a fin de corroborar si el supuesto de las relaciones lineales entre los factores y el proceso de impresión esta efectivamente presente.

Como se muestra en la figura 10, la representación de un diseño factorial con punto central es muy semejante a una estructura cubica a la cual se le ha añadido un punto en el interior del cubo. Este es el punto que nos permitirá estimar la curvatura (si es que existe).

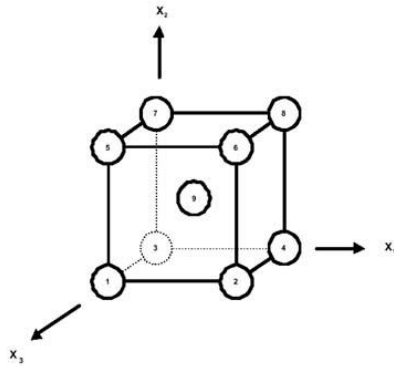


Fig. 1. Representación geométrica de un diseño de experimentos para tres factores y dos niveles con un punto central.

Este experimento ya fue efectuado y nos encontramos analizando los resultados, así como si existen variaciones entre los resultados con distintas aberturas. Sin embargo los resultados preliminares muestran una mejora notable en nuestro proceso de impresión, como lo muestran las figuras 11 y 12.



Fig. 2. Resultados en aberturas de de 110 x 240 micras horizontal.

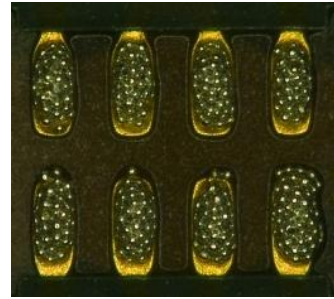


Fig. 3. Resultados en aberturas de 110 x 240 micras vertical.

I. Conclusiones.

Los resultados preliminares de nuestros experimentos sugieren que es posible realizar impresiones de pasta con estenciles con dimensiones inferiores a 140 micras, bajo las condiciones de proceso de impresión SMT Skyworks usados en nuestro experimento, sin embargo se debe comprobar si la solución es robusta. Los resultados del experimento están siendo analizados y sus conclusiones serán el tema de un trabajo futuro.

II. Agradecimientos

Los autores agradecen a SKYWORKS y a la UABC por las facilidades dadas a la realización de este trabajo.

Referencias

- [1] Ning-Cheng Lee Solder paste technology, Reflow soldering processes and Troubleshooting: SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies. Page 57
- [2] Pan Jianbiao IEEE Critical Variables of solder Paste Stencil Printing for MICRO-BGA and Fine Pitch Artículo Page 125
- [3] Anglin Chris and Ed Briggs, Indium Corporation "Stencil Printing Transfer Efficiency of circular vs square Apertures with the same Solder Paste Volume" Published in the IPC APEX EXPO proceedings.2012
- [4] Babka George, Artículo por Assembleon America, Sustaining a Robust fine feature Printing process. Page 6
- [5] Curso Printing process Manual by Panasonic SP60 2002-10-30 versión 2, tomado en Sony Tijuana, Noviembre 2006