

Universidad Autónoma de Baja California

Instituto de Ingeniería

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



“Caracterización de Soldabilidad en Dispositivos  
Microelectrónicos con Substratos de Oro y Níquel.”

## **TESIS**

Que para obtener el grado

**Maestro en Ingeniería**

Presenta:

**Juan Manuel Terrazas Gaynor**

Director

**Dr. Benjamín Valdez Salas**

Mexicali, Baja California

Enero del 2007

**LISTA DE FIGURAS, TABLAS Y CUADROS**

	Página
Figura 1-1: Gotas de soldadura en equilibrio mecánico con substratos.....	11
Figura 2-1: Capa de componentes del substrato evaluado.....	17
Figura 2-2: Capas que conforman el substrato.....	18
Figura 2-3: Películas de Níquel y Oro sobre capa conductora 4.....	19
Figura 2-4: Microvía conectando capa conductora 1 y 4.....	20
Figura 2-5: Microvías conectando capas conductoras adyacentes.....	21
Figura 2-6: Diferentes tipos de terminales en los substratos.....	22
Figura 3-1: Muestras de soldadura Sn-Pb tomadas a diferentes temperaturas.....	24
Figura 3-2: Muestras de soldadura Sn-Ag-Cu tomadas a diferentes temperaturas.....	25
Figura 3-3a: Espectro FTIR obtenido del fundente Kester 182.....	26
Figura 3-3b: Espectro FTIR de un fundente de viscosidad media.....	27
Figura 3-4: Espectro FTIR obtenido del fundente Kester 186.....	27
Figura 4-1: Substrato de níquel-oro del circuito MCM de 9x10 milímetros.....	30
Figura 4-2: Terminales definidas por la máscara de soldado.....	49
Figura 4-3: Cavidad formada en la terminal por la máscara de soldado.....	50
Figura 4-4: Piezas que pasaron la prueba de soldabilidad.....	54
Figura 5-1: Perfil de temperatura para proceso de reflujo.....	62
Figura 5-2: Horno de reflujo por convección.....	67
Tabla 1-1: Propiedades físicas de la aleación estaño-plata-cobre.....	9
Tabla 1-2: Límite máximo de contaminantes en el baño de soldadura.....	16
Tabla 3-1: Propiedades de los fundentes.....	28
Tabla 4-1: Diseño de experimentos para caracterización de soldabilidad.....	31
Tabla 4-2: Resultados experimentales.....	31
Tabla 4-3: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 3.....	33

	Página
Tabla 4-4: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 6.....	35
Tabla 4-5: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 7.....	37
Tabla 4-6: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 10.....	39
Tabla 4-7: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 11.....	41
Tabla 4-8: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 13.....	43
Tabla 4-9: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 15.....	45
Tabla 4-10: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 16.....	47
Tabla 4-11: Procedimiento de desbastado y pulido metalográfico.....	51
Tabla 4-12: Formación de intermetálicos entre sustrato y soldadura.....	53
Tabla 5-1: Circuitos Integrados tipo DIP, PLCC, SOT y TO.....	56
Tabla 5-2: Circuitos Integrados tipo MCM, LGA y QFN.....	57
Tabla 5-3: Condiciones de reflujo para pruebas de soldabilidad.....	60
Tabla 5-4: Parámetros del perfil de reflujo para diferentes tipos de soldadura.....	63
Tabla 5-5: Temperaturas máximas para proceso con soldadura Sn-Pb.....	64
Tabla 5-6: Temperaturas máximas para proceso con soldadura libre de plomo.....	64
Tabla A-1. Clasificación de los fundentes de acuerdo al estándar J-STD-004.....	84
Tabla A-2. Muestras de soldadura contaminada.....	85
Tabla A-3. Comparación de fundentes del tipo colofonia con distintas viscosidades.	86
Tabla A-4. Formato para resultados de análisis de fallas.....	87
Cuadro 1-1: Diagrama de flujo para la ejecución de la prueba de soldabilidad.....	14
Cuadro 2-1: Diagramas de capas que forman el sustrato.....	23
Cuadro 5-1: Simulación del proceso de montaje en superficie.....	61

## PRÓLOGO

En los últimos años, la industria de manufactura de circuitos microelectrónicos ha introducido en el mercado nuevos productos cada vez más complejos en funcionamiento y más pequeños y sensibles a defectos de manufactura. En el presente estudio de investigación se tratarán aquellos microcircuitos que son montados en sustratos de níquel y oro.

En la industria electrónica, los productos microelectrónicos son sometidos a varias pruebas de confiabilidad para asegurar la óptima calidad de los mismos. Una de estas pruebas es la de soldabilidad. La prueba de soldabilidad provee los medios para determinar si un sustrato presentará buena adhesión a la soldadura al momento de ser unido o soldado a otra superficie [1]. Existen ocasiones en las que los sustratos presentan una pobre adherencia a la soldadura. Esto representa un serio problema de calidad en el que la confiabilidad del producto está en riesgo ya que, un circuito mal soldado no tendrá el funcionamiento eléctrico esperado.

El objetivo general de esta investigación es analizar las fallas de soldabilidad para encontrar la causa de la mala adherencia de la soldadura en los sustratos de níquel y oro, al igual que caracterizar dicha prueba para los sustratos antes mencionados.

Esta investigación es de vital importancia para anticipar problemas de calidad de los circuitos microelectrónicos y con su estudio se pretende resolver un problema que puede afectar al sector de manufactura de dispositivos electrónicos. Además de servir como punto de partida para mejorar procesos de manufactura y elevar la calidad de los productos, también servirá como base de estudio para futuros trabajos en el mismo campo.

Los resultados del presente estudio traerán beneficios directos a las personas encargadas de un proceso de manufactura en los que intervengan etapas de soldado de circuitos integrados con sustratos de níquel y oro y en última instancia traerá beneficios al cliente final debido al fortalecimiento de la calidad de dichos productos.

## INTRODUCCIÓN

El trabajo se dividió en seis capítulos. En el primer capítulo se desarrolla el marco teórico que trata acerca de las características de algunas aleaciones de soldadura, las propiedades de los fundentes y se define el concepto de tensión superficial. Dentro de este capítulo se describe la prueba de soldabilidad más común que está estipulada en el estándar JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council) para la industria microelectrónica y se enumeran algunas consideraciones que deben ser tomadas en cuenta durante la ejecución de la prueba.

En el segundo capítulo se describen las características y elementos básicos que constituyen los substratos utilizados para manufacturar los circuitos integrados que fueron objeto de estudio en esta investigación.

En el tercer capítulo aparecen los resultados del análisis químico efectuado en diferentes muestras de soldadura y fundentes con el fin encontrar contaminantes que pudieran afectar el desarrollo de los experimentos.

El cuarto capítulo describe los experimentos realizados y el análisis de los resultados. El método experimental que se siguió es el mismo que está descrito en el estándar JEDEC para pruebas de soldabilidad y durante la ejecución experimental se utilizaron diferentes tipos de soldadura y fundentes. Las fallas que se presentaron durante la experimentación fueron analizadas mediante un microscopio electrónico de barrido y un espectrómetro de energía dispersiva de rayos X.

Dentro del capítulo quinto se describe un método de prueba alterno, también descrito en el estándar JEDEC para la industria, y que puede representar mejoras sustanciales en el procedimiento de la prueba de soldabilidad y ahorro de insumos para la elaboración de dicha prueba.

Las conclusiones y recomendaciones para dar una solución al problema presentado, se enlistan dentro del sexto capítulo. Al final del trabajo, el lector podrá encontrar un glosario con los términos técnicos más utilizados, el apéndice con tablas y gráficas ilustrativas de gran utilidad al igual que las referencias bibliográficas.

## CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

### 1.1 Soldaduras.

Las soldaduras tienen la virtud de crear interconexiones permanentes de baja resistencia eléctrica entre conductores metálicos y proporcionan soporte mecánico a los componentes soldados. También, en algunos casos, son un vehículo para la transferencia de calor [2]. A continuación se describirán las características generales de dos tipos de aleaciones de soldadura muy utilizadas en la industria actualmente.

**Aleación de estaño (63%) – plomo (37%).** Esta soldadura tiene un punto de fusión de  $183^{\circ}\text{C}$  y es muy utilizada en la industria por varias razones. Debido a que su punto de fusión es bajo, se utilizan temperaturas relativamente bajas durante el proceso de soldado y gracias a esto, los circuitos integrados no sufren demasiado esfuerzo termomecánico. Además el contenido de plomo en la soldadura ayuda a disminuir la tensión superficial del estaño lo que da por resultado una mejor soldabilidad si se compara con otras aleaciones libres de plomo. Otras ventajas son que este tipo de aleación es de bajo costo y fácil de procesar durante la etapa de soldado.

Sin embargo, una gran desventaja es que el plomo y sus compuestos son altamente tóxicos y una vez que entran a los ecosistemas, fuentes de agua y a la cadena alimenticia de plantas y animales, ocasionan un gran daño al ambiente y a la salud de los seres vivos.

**Aleación de estaño (95.5%) – plata (3.8%) – cobre (0.7%).** En respuesta a los problemas ambientales y de salud que ocasiona el uso de soldaduras con plomo, en la industria se ha empezado a utilizar otro tipo de aleaciones libres de plomo. La aleación de Sn-Ag-Cu tiene un punto de fusión de  $217^{\circ}\text{C}$  [3]. Esto significa que los circuitos integrados serán sometidos a esfuerzo termomecánico más severo que si se utilizara una soldadura con plomo. Sin embargo, los procesos y los circuitos integrados ya están diseñados para soportar estos nuevos requerimientos; protegiendo de esta forma el medio ambiente. En la tabla 1-1 se engloban las propiedades físicas de esta aleación.

**Tabla 1-1: Propiedades físicas de la aleación estaño-plata-cobre**

- La familia estaño-plata-cobre es el estándar de la industria electrónica y en la mayoría de los casos demostró una resistencia a la fatiga por ciclos térmicos igual o mayor que la aleación estaño-plomo.
- Presenta una mayor tensión superficial y menor humectación que la aleación estaño-plomo.
- La plata le proporciona mayor resistencia pero menor ductilidad que el plomo.
- El cobre reduce el punto de fusión de la aleación y mejora la resistencia a la fatiga por ciclos térmicos. También mejora la capacidad de humectación [4].

## 1.2 Fundentes.

Los fundentes son materiales que atacan los óxidos y otros contaminantes depositados en las superficies a soldar, facilitando la formación de uniones entre el sustrato y la soldadura fundida.

Durante el proceso de soldado, el fundente necesita realizar varias funciones importantes al mismo tiempo. Tiene que proporcionar transferencia de calor al área que va a ser soldada y prevenir la oxidación a temperaturas extremas. También debe mejorar la humectación del sustrato a soldar, reduciendo la tensión superficial de la soldadura fundida.

La composición química de los fundentes incluye, en la mayoría de las veces, resinas, activadores, solventes y aditivos para prevenir la corrosión [5].

En la industria de la electrónica los fundentes que se usan con mayor frecuencia son del tipo colofonia (*Rosin*), parcial o totalmente activados, cuyos residuos no son corrosivos y no necesitan ser removidos.

La Asociación de Tecnología de Estado Sólido, mejor conocida como JEDEC, ha clasificado los fundentes utilizados en la industria dividiéndolos en cuatro grandes grupos dependiendo de su composición básica. Estos grupos y sus abreviaturas de acuerdo al estándar son:

- Colofonias (RO).
- Resinas (RE).
- Orgánicos (OR).
- Inorgánicos (IN).

Cada uno de estos grupos se subdivide en otros seis dependiendo si el fundente tiene una reactividad baja, moderada o alta y si se encuentran haluros disueltos en él. En la tabla A-1 del apéndice se incluye la clasificación completa de los fundentes de acuerdo al estándar elaborado por JEDEC [6].

### 1.3 Tensión Superficial.

La tensión superficial es un fenómeno por el cual la superficie de un líquido tiende a comportarse como una delgada película elástica. A nivel microscópico, la tensión superficial se debe a que las fuerzas que afectan a cada molécula son diferentes en el interior del líquido y en la superficie. Así, en el seno de un líquido (aunque esto es aplicable también a sólidos) cada molécula está sometida a fuerzas de atracción que en promedio se anulan, al “tirar” de la molécula en todas direcciones. Esto permite que la molécula tenga una energía bastante baja. Sin embargo, en la superficie hay una fuerza neta hacia el interior del líquido, debido a que la fuerza que debería compensarla no se da. La tensión superficial tiene como principal efecto la tendencia del líquido a disminuir en lo posible su superficie para un volumen dado, de aquí que un líquido en ausencia de gravedad adopte la forma esférica, que es la que tiene menor relación área-volumen.

Energéticamente, las moléculas situadas en la superficie tienen una mayor energía promedio que las situadas en el interior, por lo tanto la tendencia del sistema será a disminuir la energía total, y ello se logra disminuyendo el número de moléculas situadas en la superficie, de ahí la reducción de área hasta el mínimo posible. El valor de la tensión superficial depende de la magnitud de las fuerzas intermoleculares en el seno del líquido. De esta forma, cuanto mayor sean las fuerzas de cohesión del líquido mayor será su tensión superficial [7].

A medida que aumenta la temperatura del líquido, disminuye la tensión superficial. Esto se debe al hecho de que el aumento en la energía cinética de las moléculas tiende a vencer las fuerzas de atracción entre las partículas y lógicamente baja la tensión superficial permitiendo un aumento en el área interfacial [8].

### 1.4 Reacciones entre Superficies Metálicas y Soldadura.

Para obtener una buena humectación de las superficies metálicas o substratos por la soldadura fundida, ésta debe de reaccionar con el substrato y formar un compuesto intermetálico. Sin embargo, para que se forme este compuesto intermetálico es necesario que el substrato esté libre de contaminantes.

La buena humectación de los substratos es un factor primordial en los procesos de soldado industrial. La soldadura tiene una razonablemente alta tensión superficial y, como el mercurio, tiende a adoptar una forma esférica cuando se encuentra fundido.

Si es colocada una gota de soldadura fundida sobre un substrato, se establece un equilibrio mecánico de fuerzas como el que se indica en la figura 1-1. Este equilibrio de fuerzas se da entre las tensiones interfaciales, las cuales son ejercidas entre los distintos materiales involucrados.

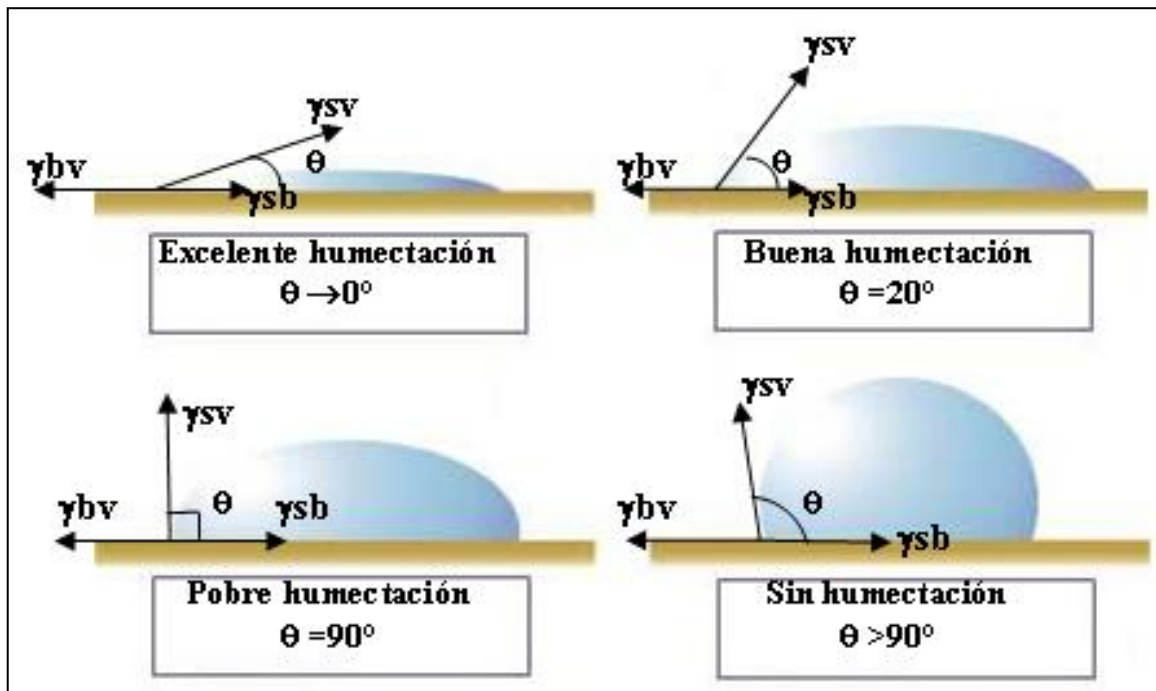


Figura 1-1: Gotas de soldadura en equilibrio mecánico con substratos

De este sistema de fuerzas en equilibrio se puede escribir la siguiente ecuación:

$$\gamma_{bv} = \gamma_{sb} + \gamma_{sv} \cos(\theta) \quad \text{donde,}$$

$\gamma_{bv}$ , es la tensión interfacial entre el sustrato y el vapor;  $\gamma_{sb}$ , es la tensión interfacial entre la soldadura y el sustrato y  $\gamma_{sv}$  es la tensión interfacial entre la soldadura y el vapor.

De esta ecuación se aprecia que se puede utilizar el ángulo de contacto  $\theta$ , como una medida del grado de humectación obtenido. A menor ángulo de contacto, la soldadura fundida se esparcirá más y se obtendrá una mejor humectación.

Si las fuerzas cohesivas dentro de la soldadura fundida son mayores que las fuerzas adhesivas entre la soldadura y el sustrato, entonces la soldadura permanecerá en forma esférica y no se esparcirá manteniendo un ángulo de contacto igual o mayor a  $90^\circ$ . Si las fuerzas adhesivas sobrepasan las fuerzas cohesivas de la soldadura, entonces ésta se esparcirá reduciendo el ángulo de contacto a menos de  $90^\circ$ .

Si se despeja la ecuación anterior se obtiene que:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{bv} - \gamma_{sb}}{\gamma_{sv}}$$

Para que la humectación ocurra se requiere que el ángulo de contacto  $\theta$  sea menor a  $90^\circ$ . Esto significa que se requiere que  $\cos(\theta)$  esté entre cero y uno y preferentemente cercano a uno lo más que se pueda. Si  $\cos(\theta)$  es menor a cero significaría que el ángulo de contacto es mayor a  $90^\circ$ . Tomando en cuenta esto, se debe buscar que  $\gamma_{sb}$  sea pequeño,  $\gamma_{bv}$  sea grande y que  $\gamma_{sv}$  sea pequeño.

En la práctica, una buena humectación de los sustratos ocurre cuando  $\theta$  se mantiene entre  $0$  y  $20^\circ$ , mientras que para ángulos mayores a  $60^\circ$  la humectación es pobre e irregular.

La tensión interfacial entre el sustrato y el vapor,  $\gamma_{bv}$ , será grande cuando el sustrato esté libre de óxidos, sulfuros, cloruros, hidrocarburos y otros contaminantes superficiales, los cuales reducen la tensión superficial del sustrato.

Para que la tensión interfacial entre la soldadura y el sustrato  $\gamma_{sb}$  sea baja, es necesario que se forme una unión metalúrgica entre la soldadura y el sustrato. La interrelación entre estas dos últimas tensiones, es la que nos ayuda a explicar el porqué unos sustratos o materiales son más fáciles de soldar que otros.

Se sabe que algunos sustratos forman compuestos intermetálicos muy fácilmente, tal es el caso del oro y el cobre. Sin embargo, hay otros como el aluminio, que forman óxidos muy estables en su superficie que impiden que la soldadura fundida se extienda sobre el sustrato y se formen compuestos intermetálicos. Estos óxidos tienen que ser removidos de la superficie para que la soldadura pueda reaccionar con el metal.

Hay que recordar que la función principal del fundente es remover los óxidos de la superficie del sustrato y la soldadura y prevenir su formación de nuevo durante el proceso de soldado. Mientras más estable sea el óxido contenido en la superficie, más agresivo tendrá que ser el fundente para poder removerlo.

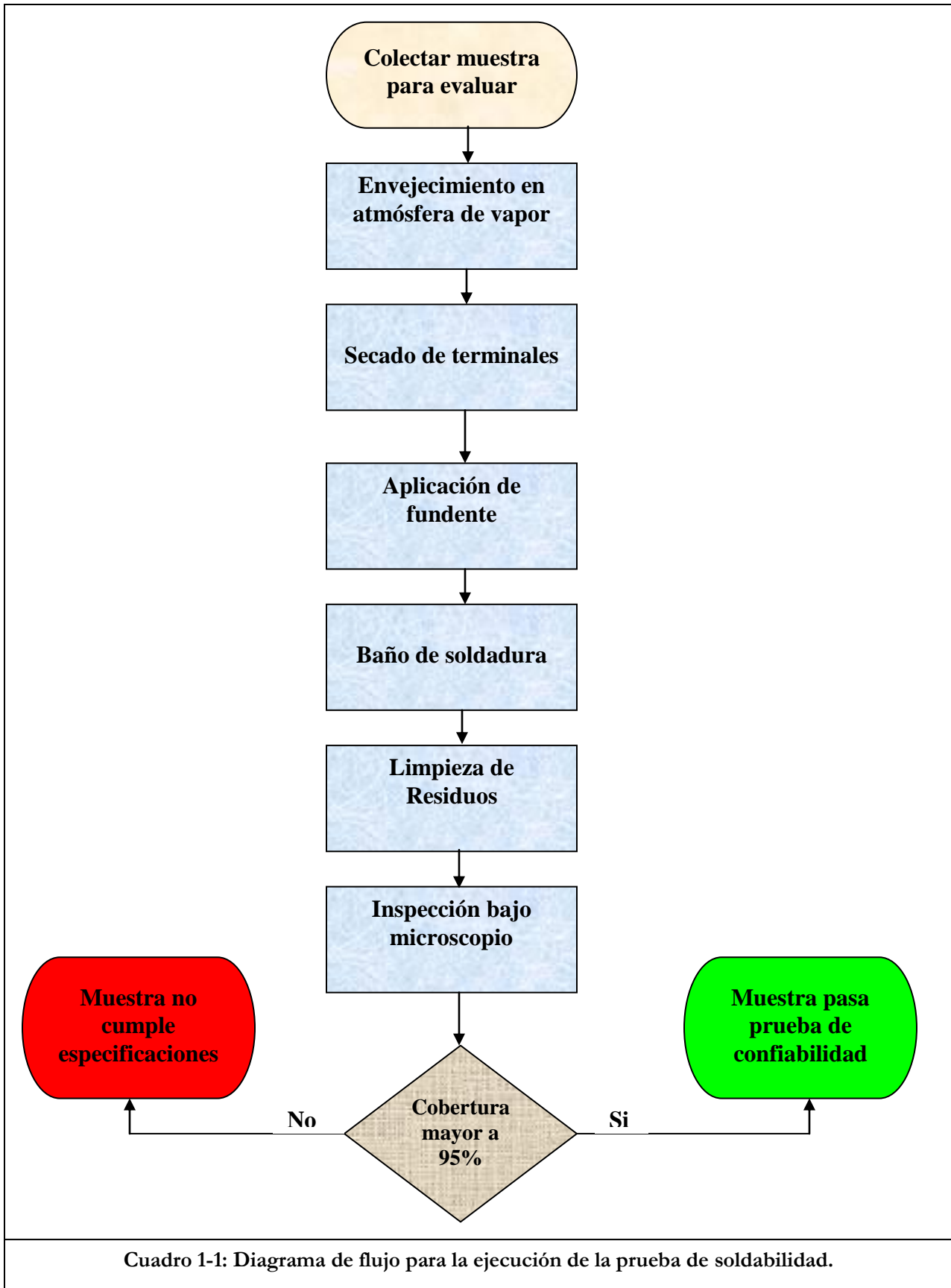
También el fundente tiene la ventaja adicional de que baja la tensión interfacial entre la soldadura y el vapor,  $\gamma_{sv}$ , aunque ahora el vapor es reemplazado por una película delgada de fundente. Todo esto ayuda a que el ángulo de contacto sea reducido al valor deseado.

Prácticamente, el factor principal que se puede controlar es la tensión superficial del sustrato que se quiere soldar. Esto se logra asegurando que la superficie este libre de cualquier contaminante o que el óxido depositado pueda ser removido fácilmente por el fundente.

La tensión interfacial entre la soldadura fundida y el sustrato, es determinada por la tendencia de estos a formar un enlace intermetálico. Esto es afectado principalmente por la composición del sustrato que se este utilizando y el tipo de soldadura.

La tensión interfacial entre la soldadura fundida y el vapor, o la película delgada de fundente, dependerá del tipo de soldadura, la temperatura de soldado y el fundente. La tensión superficial de la soldadura puede ser afectada notablemente por cantidades pequeñas de impurezas en la misma soldadura [2] [9].

1.5 Pruebas de Soldabilidad.



Comúnmente en la industria de fabricación de microcircuitos se siguen los estándares de JEDEC (Asociación de Tecnología de Estado Sólido). Para la prueba de soldabilidad específicamente, se cuenta con el estándar JESD22-B102 y en él se estipula el procedimiento que se debe seguir para realizar las pruebas de soldabilidad y los materiales que deben ser usados en dicha prueba.

El propósito de la prueba es determinar la buena soldabilidad de los dispositivos microelectrónicos utilizando soldaduras con plomo o libres de este elemento. En general, el estándar JEDEC propone el procedimiento del cuadro 1-1, conocido como método de inmersión e inspección, para realizar las pruebas de soldabilidad. El método consiste en los siguientes pasos:

- Colectar la muestra de circuitos integrados que será evaluada. De preferencia, la muestra debe ser tomada en forma aleatoria.
- Antes de realizar la prueba, las terminales de los dispositivos microelectrónicos deben ser expuestas a un ambiente de vapor de agua de-ionizada con el propósito de simular su almacenamiento por un tiempo prolongado. Los dispositivos deben ser colocados con las terminales hacia arriba y separados entre sí. El manejo de los dispositivos de prueba debe realizarse utilizando guantes. Es importante que el contenedor donde sean colocados los dispositivos se encuentre libre de cualquier contaminación y debe ser inoxidable.
- Al término del acondicionamiento en el ambiente de vapor, los dispositivos deben ser secados a temperatura ambiente por un mínimo de 15 minutos.
- Es necesario aplicar fundente a las terminales, quitando el exceso, para después sumergirlas en soldadura fundida a 245°C por un lapso de 5 segundos. El fundente debe estar clasificado como ROL1 de acuerdo al estándar JEDEC. Para la prueba de soldabilidad, se pueden utilizar aleaciones con plomo o libres de plomo. La composición de la aleación con plomo debe ser Sn(63%) – Pb (37%) permitiendo una variación en el porcentaje de estaño del 1%. Para la aleación libre de plomo se requiere la siguiente composición: Sn (95.5%) – Ag (3.9%) – Cu (0.6%) permitiendo una variación entre 3 y 4% del porcentaje en peso de la plata; mientras que el porcentaje de cobre puede variar entre 0.5 y 1%.

- Ya que todas las terminales de los dispositivos han sido sumergidas en la soldadura fundida, se deben limpiar los residuos de fundente que hayan quedado contenidas en las terminales. Para esto, se puede utilizar una toalla humedecida con alcohol isopropílico.
- Por último todas las terminales deben ser inspeccionadas bajo microscopio para asegurar que la soldadura haya cubierto un 95% del área de cada una de ellas. Los defectos como hoyos, porosidad y falta de humectación no deben de exceder del 5% del total del área que se está inspeccionando.

Es importante monitorear el porcentaje de contaminantes disueltos en el baño de soldadura para asegurar las condiciones óptimas durante la prueba. Los contaminantes pueden ser analizados utilizando un espectrómetro de energía dispersiva de rayos X. En la tabla 1-2 se muestran los límites máximos de contaminantes permitidos para los dos tipos de aleaciones. Por lo general la soldadura es cambiada cada 30 días operativos o cuando el nivel de contaminantes se ha excedido de su límite máximo permitido [1].

<b>Tabla 1-2: Límite máximo de contaminantes en el baño de soldadura</b>		
Contaminante	Porcentaje en peso máximo	
	Aleación Sn-Pb	Aleación Sn-Ag-Cu
<b>Cobre</b>	0.300	No aplica
<b>Oro</b>	0.200	0.200
<b>Cadmio</b>	0.005	0.005
<b>Cinc</b>	0.005	0.005
<b>Aluminio</b>	0.006	0.006
<b>Antimonio</b>	0.500	0.500
<b>Hierro</b>	0.020	0.020
<b>Arsénico</b>	0.030	0.030
<b>Bismuto</b>	0.250	0.250
<b>Plata</b>	0.100	No aplica
<b>Níquel</b>	0.010	0.010
<b>Plomo</b>	No aplica	0.100

## CAPÍTULO 2: MANUFACTURA DE SUBSTRATOS

Actualmente, con la creciente demanda y el desarrollo de circuitos integrados de menor tamaño, los substratos para circuitos integrados han sufrido grandes cambios en diseño y complejidad. Estos substratos son una parte importante del dispositivo ya que proporcionan el soporte mecánico y la interfaz eléctrica entre el microcircuito semiconductor y el mundo exterior. El substrato que será descrito en este capítulo, es utilizado principalmente en circuitos integrados del tipo MCM, LGA y BGA.

En la parte superior del substrato se montan y soldan todos los componentes pasivos como resistencias, capacitores e inductores que necesita el microcircuito semiconductor para operar adecuadamente. Los microcircuitos semiconductores son montados utilizando un adhesivo epóxico conductivo y se conectan al substrato mediante alambres de oro muy finos. En la figura 2-1 se muestran los componentes pasivos y los diferentes microcircuitos semiconductores montados en el substrato que fue objeto de estudio en esta investigación.

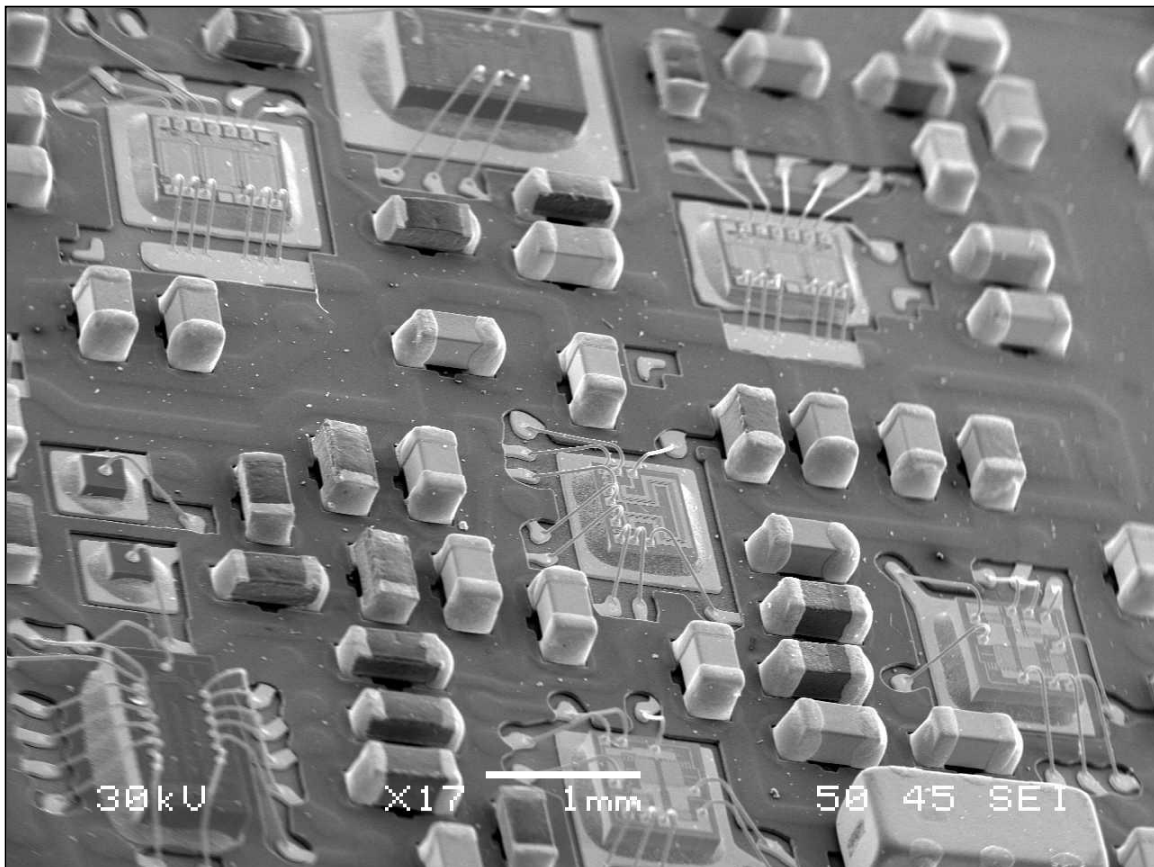


Figura 2-1: Capa de componentes del substrato evaluado

El substrato anterior está compuesto por un conjunto de capas o láminas muy delgadas apiladas e interconectadas entre sí. Es por esto, que a este tipo de substratos también se les conoce como substratos laminados. En la siguiente figura se muestra el esquema con las diferentes capas que conforman el substrato.

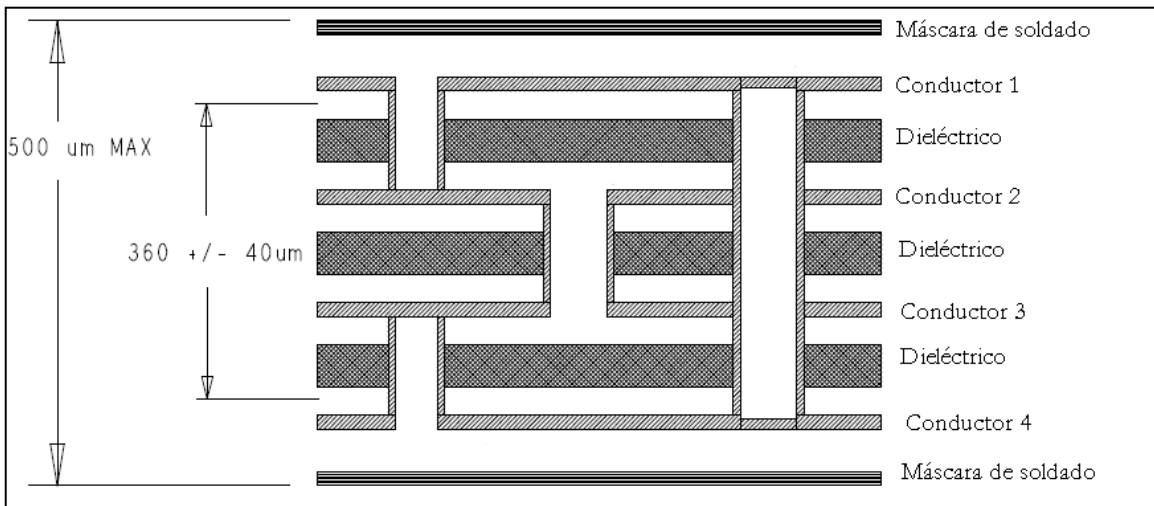


Figura 2-2: Capas que conforman el substrato.

Los componentes se soldan directamente a la capa conductora 1. Sobre esta capa se encuentra una delgada máscara de soldado, de naturaleza dieléctrica, que es de vital importancia durante el montaje de los componentes pasivos. La máscara de soldado ayuda a prevenir interconexiones debidas al corrimiento de soldadura sobre la capa conductora 1.

Debajo de la capa conductora 1 se encuentra una capa dieléctrica de 45  $\mu\text{m}$  de espesor formada en base a una resina especial que aísla la capa conductora 1 de la 2. La capa conductora 2 está formada de cobre, con un espesor de 27  $\mu\text{m}$ , al igual que todas las demás capas conductoras.

Debajo de la capa conductora 2 se localiza el núcleo del substrato, el cual mide alrededor de 200  $\mu\text{m}$ . El núcleo se fabrica en base a resinas y se refuerza con fibras de vidrio entretejidas. Más abajo se encuentra una tercera capa conductora.

Después de la capa conductora 3, se deposita una capa dieléctrica de  $45\ \mu\text{m}$  de espesor para aislar la capa 3 de la capa conductora 4. Debajo de la capa conductora 4 se coloca una máscara de soldado. La última capa conductora (capa 4) es la de mayor interés para este estudio de investigación ya que es la que se somete directamente a la prueba de soldabilidad.

Tanto a la capa conductora 1 como la 4 se les deposita una delgada película de níquel y sobre ésta una capa de oro. El níquel actúa como una barrera que previene la difusión del cobre a la soldadura fundida durante el proceso de soldado; mientras que la capa de oro ayuda a prevenir la oxidación del metal y mejora la soldabilidad del sustrato contribuyendo en la formación de intermetálicos [10].

En la siguiente figura se muestra un corte transversal efectuado al sustrato que fue evaluado. Las fotografías obtenidas con la ayuda de un microscopio electrónico de barrido muestran la capa conductora 4 de cobre de  $27\ \mu\text{m}$  de espesor, la capa de níquel que mide alrededor de  $5\ \mu\text{m}$  y finalmente la delgada capa de oro que mide entre  $0.6$  y  $0.9\ \mu\text{m}$  de espesor.

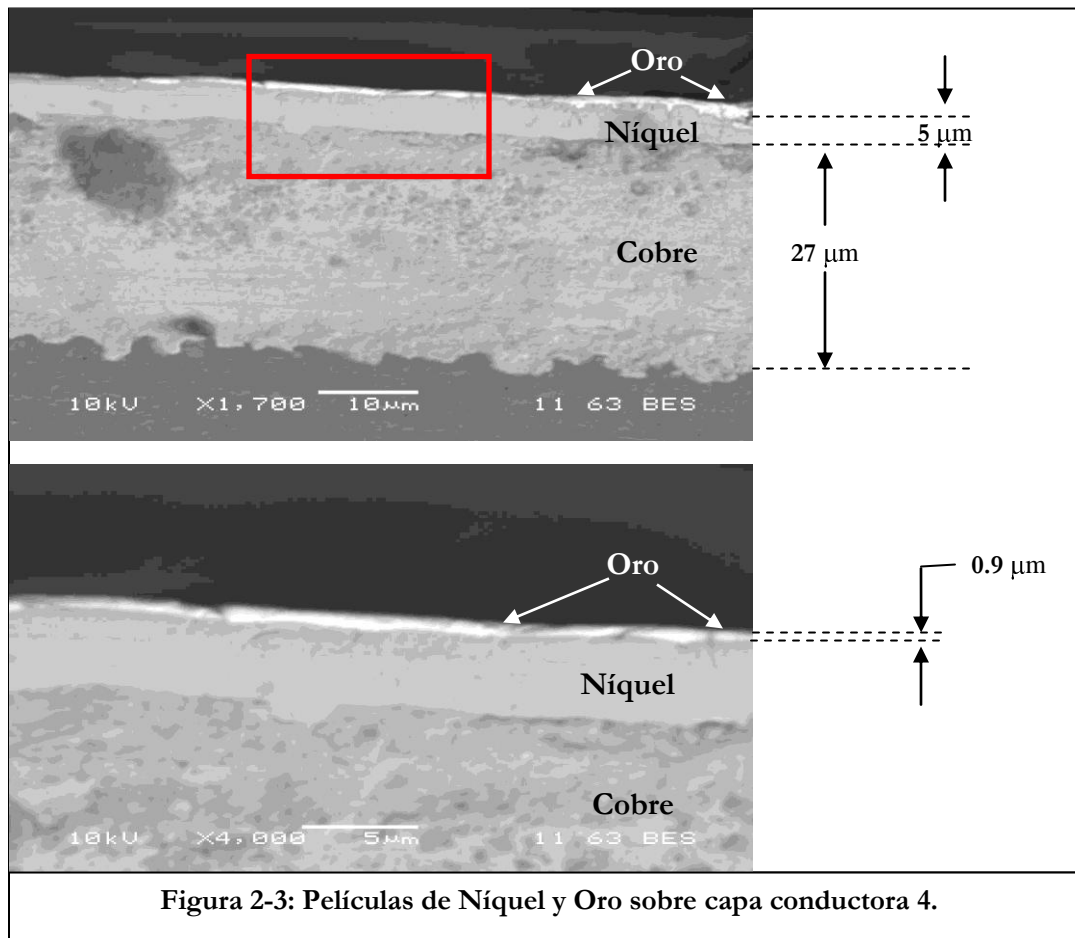


Figura 2-3: Películas de Níquel y Oro sobre capa conductora 4.

Comúnmente las capas conductoras 1 y 4 se emplean para conectar las señales eléctricas de entrada y salida del circuito. Las capas interiores 2 y 3 se utilizan como terminales de voltaje y tierra. En base al diseño del circuito integrado, estas capas podrán interconectarse en uno o más puntos cuidando siempre que no se produzca algún corto circuito. Para lograr esto, se perforan pequeñas microvías utilizando un láser. El orificio es chapeado con cobre y se rellena con una resina especialmente diseñada para igualar el coeficiente de expansión térmica del substrato.

En la siguiente figura se muestra una microvía que interconecta directamente la capa conductora 1 con la 4.

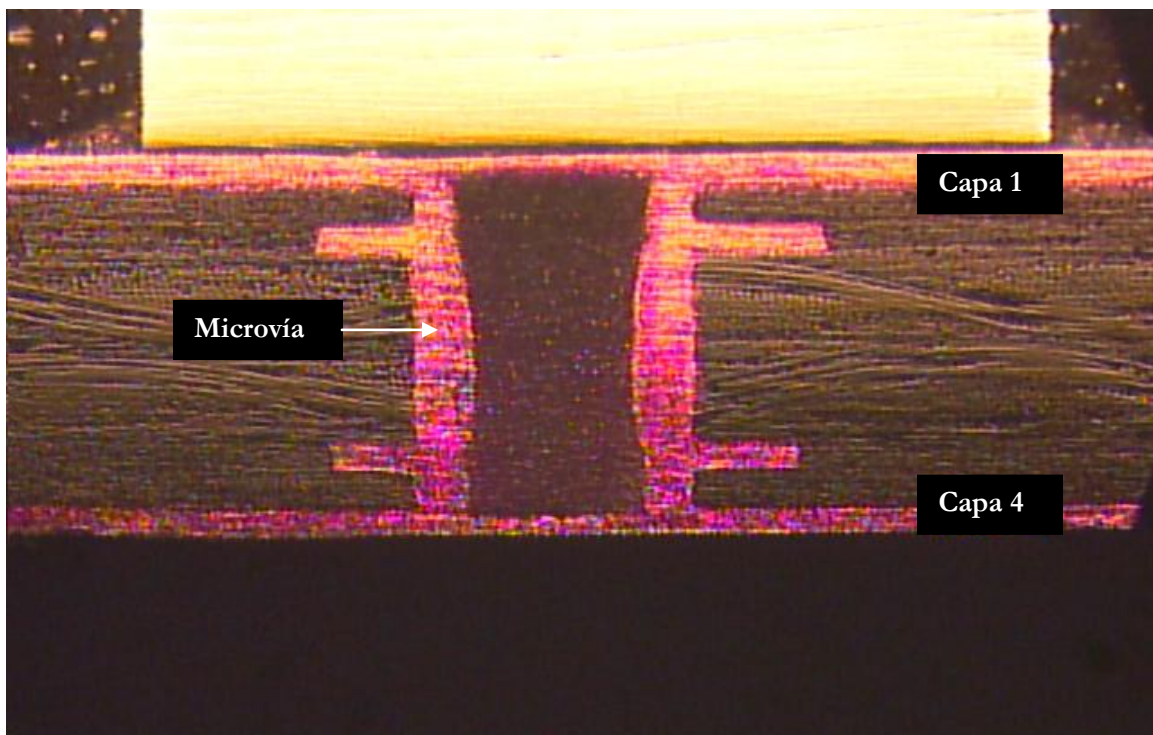
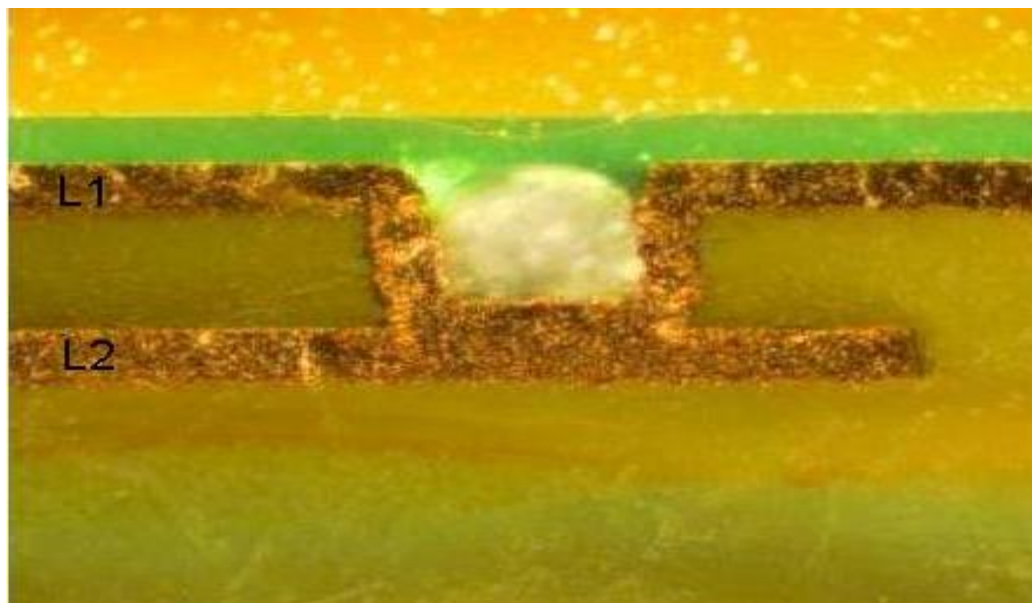


Figura 2-4: Microvía conectando capa conductora 1 y 4.

También pueden existir microvías que conecten capas conductoras adyacentes, las cuales no atraviesan todo el substrato. En las imágenes de la figura 2-5, aparecen ejemplos de este tipo de microvías.



**Figura 2-5: Microvías conectando capas conductoras adyacentes**

Como ya se mencionó, dentro de la manufactura de sustratos, un elemento de suma importancia es la máscara de soldado. Esta máscara impide que la soldadura fluya a lugares no deseados del sustrato durante el proceso de montaje y soldado de componentes. En base a este elemento, existen dos tipos de sustratos: los que tienen terminales definidas por la máscara de soldado y los que tienen terminales definidas por el metal o conductor a soldar.

En estos últimos substratos, la máscara de soldado se encuentra retirada del área a soldar pero cubre el resto del substrato para prevenir interconexiones no deseadas.

La figura 2-6a muestra un ejemplo de terminal no definida por la máscara de soldado, mientras que en la 2-6b se muestra un substrato con terminales definidas por esta máscara. Es importante notar que en las terminales definidas por la máscara de soldado, la terminal conductora está parcialmente cubierta por la máscara, la cual estará en contacto directo con la soldadura y el fundente durante el proceso de montaje y soldado de componentes.

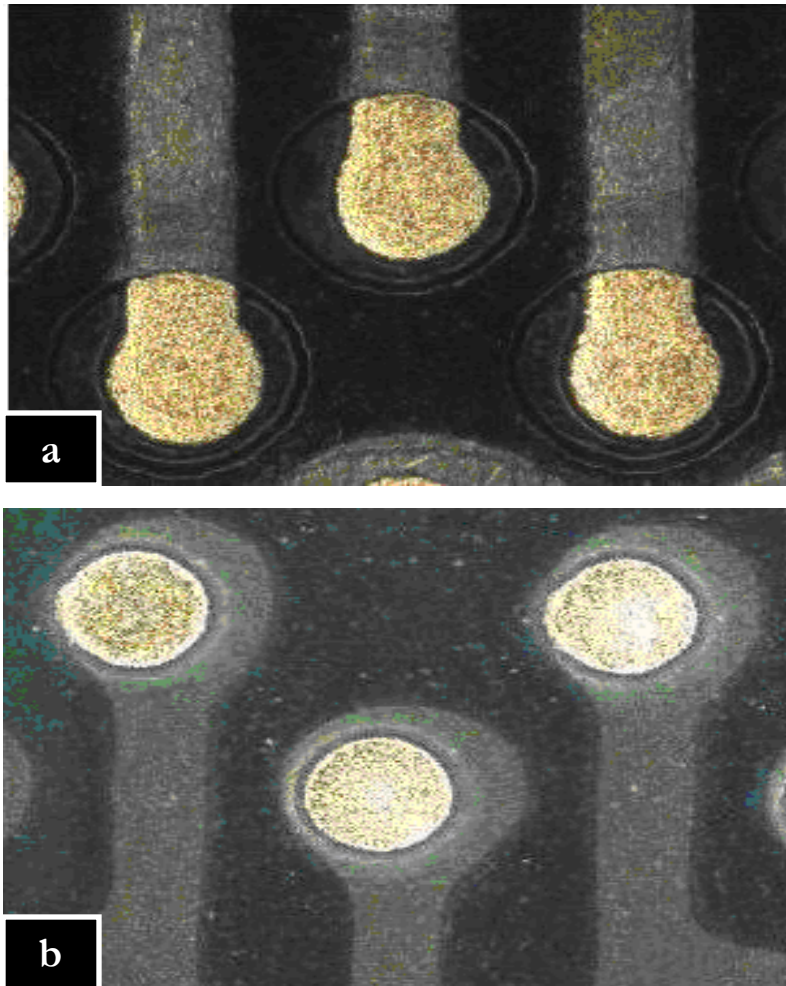
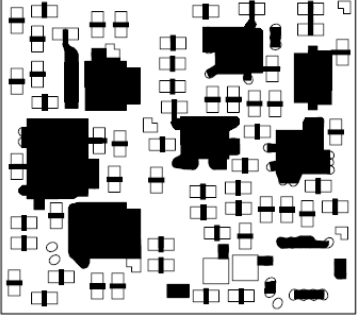
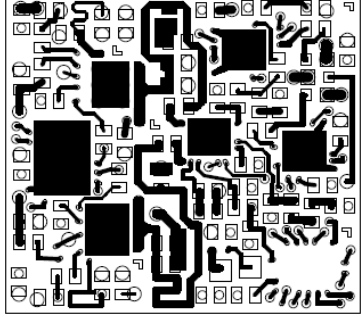
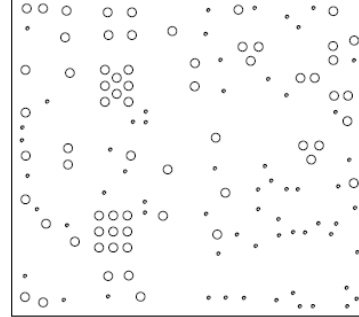
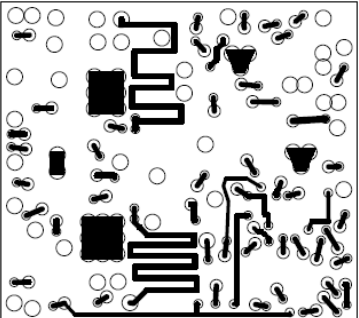
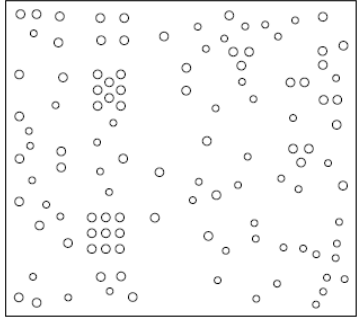
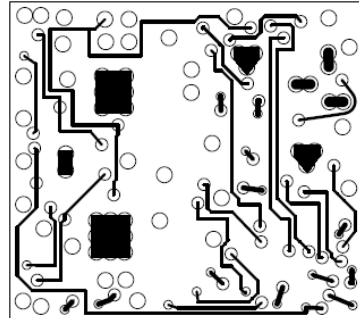
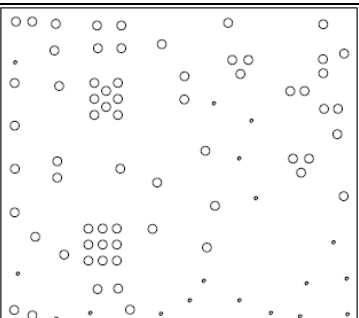
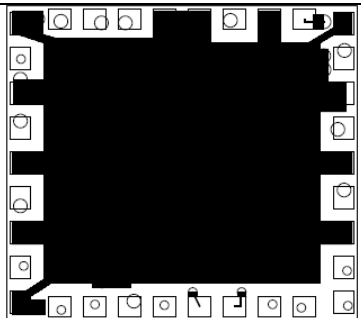
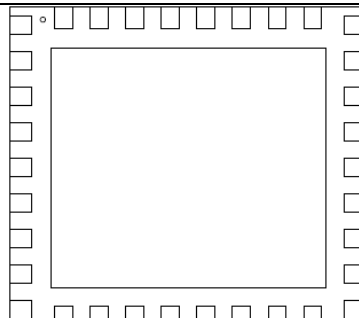


Figura 2-6: Diferentes tipos de terminales en los substratos

Como complemento a este capítulo, en el cuadro 2-1 se incluyen los tipos de diagramas que se utilizan en la fabricación de las diferentes capas que conforman el substrato donde va montado el circuito integrado. Estos diagramas son de ayuda para el fabricante de substratos y en ellos se incluyen las medidas de las pistas del circuito, estructuras, microvías, número de capas, medida de las capas y otra información pertinente.

		
1) Máscara de soldado superior	2) Capa conductora 1	3) Dieléctrico entre capa 1 y 2
		
4) Capa conductora 2	5) Dieléctrico entre capa 2 y 3	6) Capa conductora 3
		
7) Dieléctrico entre capa 3 y 4	8) Capa conductora 4	9) Máscara de soldado inferior

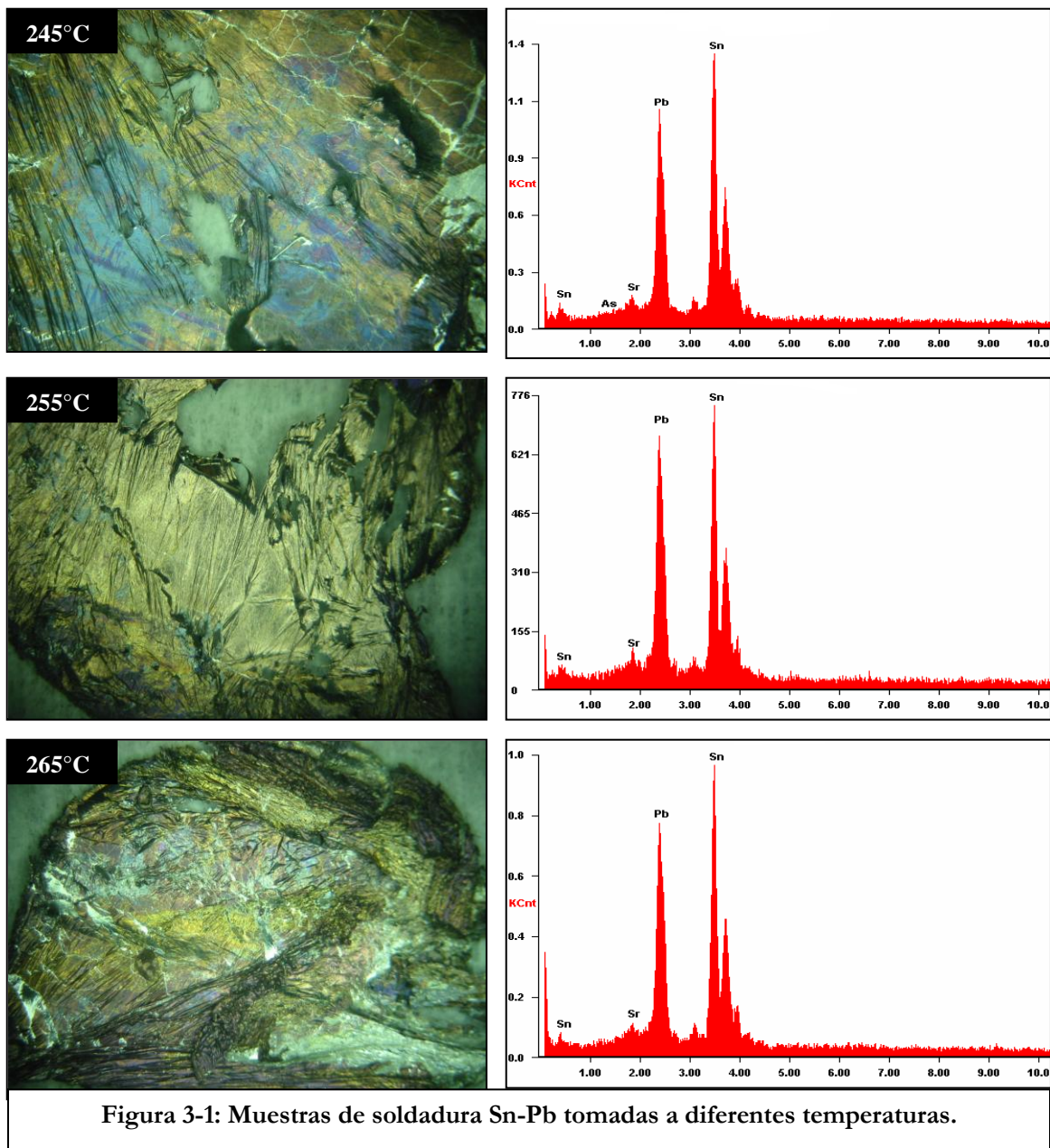
Cuadro 2-1: Diagramas de capas que forman el substrato.

## CAPÍTULO 3: ANÁLISIS QUÍMICO DE SOLDADURAS Y FUNDENTES

### 3.1 Análisis de soldaduras mediante espectrómetro de energía dispersiva de rayos X (EDX).

Como uno de los primeros pasos dentro de la investigación se analizaron varias muestras de soldadura para conocer su composición química y detectar posibles contaminantes que pudieran afectar el desarrollo de la prueba de soldabilidad.

En la figura 3-1, mostrada a continuación se pueden apreciar diferentes muestras de soldadura con plomo tomadas a diferentes temperaturas.



El análisis químico semicuantitativo por dispersión de rayos X identificó la presencia de estroncio y arsénico en proporciones pequeñas. Estos contaminantes se encuentran dentro de los límites permitidos dentro de la soldadura de estaño y plomo.

El mismo análisis se realizó en algunas muestras de soldadura libre de plomo y los espectros se pueden apreciar en la figura 3-2:

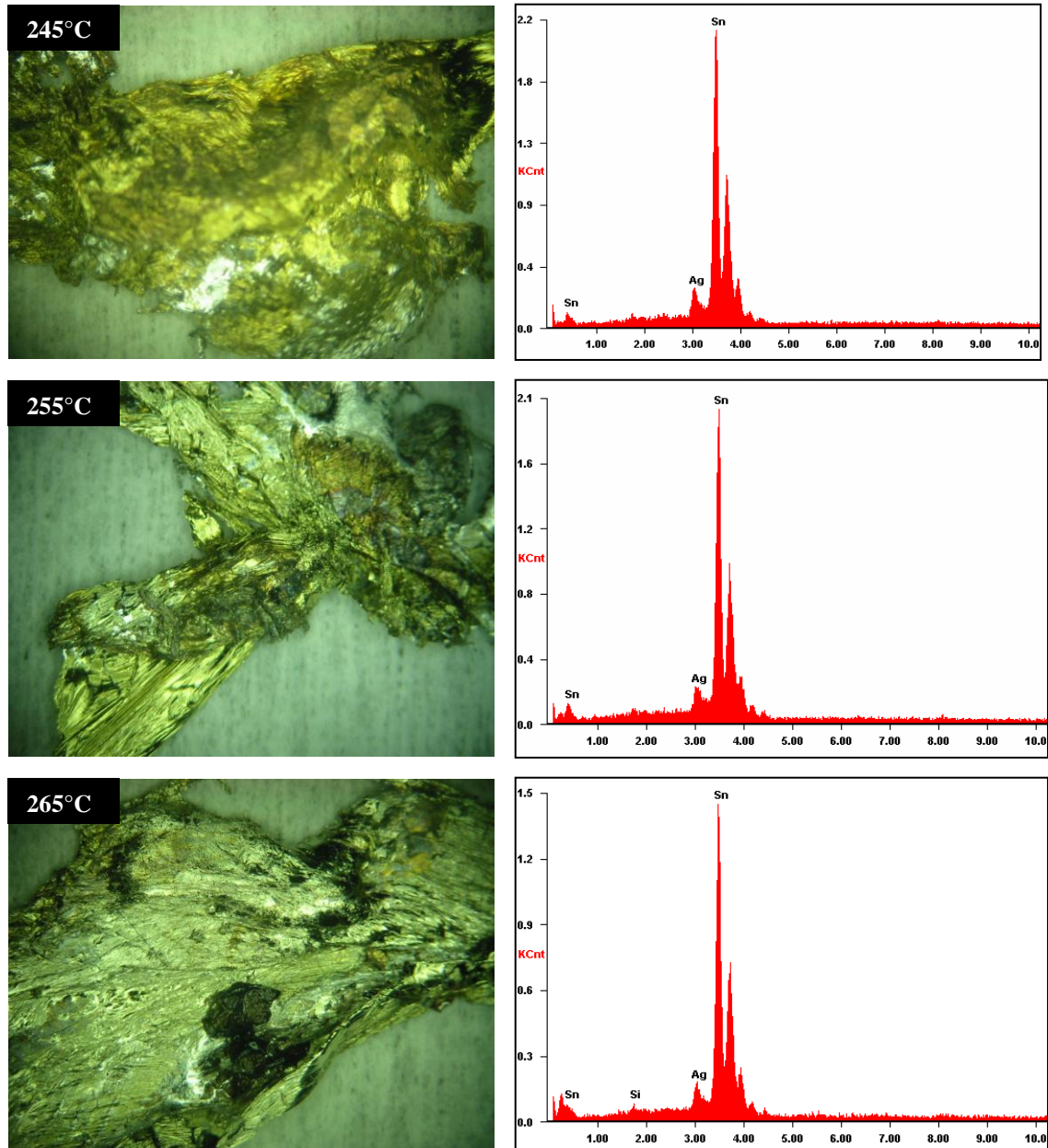


Figura 3-2: Muestras de soldadura Sn-Ag-Cu tomadas a diferentes temperaturas.

La muestra de soldadura libre de plomo tomada a 265° C presentó un pequeño porcentaje de silicio. De nuevo, los porcentajes de contaminantes se mostraron dentro de los límites permitidos. Las demás muestras no presentaron ningún tipo de contaminación.

Es de suma importancia conocer siempre el porcentaje de contaminantes que hay en el baño de soldadura, ya que éstos pueden producir problemas durante el proceso de soldado y representan un riesgo para la calidad de los productos sometidos a este proceso. Si un sustrato tiene una pobre unión metalúrgica debido a los contaminantes, es muy probable que las uniones entre soldadura y sustrato se rompan debido a esfuerzo térmico causando una falla eléctrica en el sistema en el que fueron colocados.

En la tabla A-2 del apéndice se muestran algunos ejemplos de muestras de soldadura contaminada durante el proceso de ensamble. Estas muestras fueron tomadas de una empresa de la localidad.

### 3.2 Análisis de fundentes mediante espectroscopio infrarrojo con Transformadas de Fourier (FTIR).

Con el fin de conocer mejor las propiedades de los fundentes que se utilizan en las pruebas de soldabilidad, se realizó un análisis utilizando el espectroscopio infrarrojo con Transformadas de Fourier (FTIR). En la figura 3-3a se muestra el espectro FTIR obtenido del fundente 182 de la marca Kester. Este espectro se comparó con el espectro típico de un fundente de viscosidad media y cuyo compuesto químico base es colofonia. La figura 3-3b muestra el espectro utilizado para la comparación.

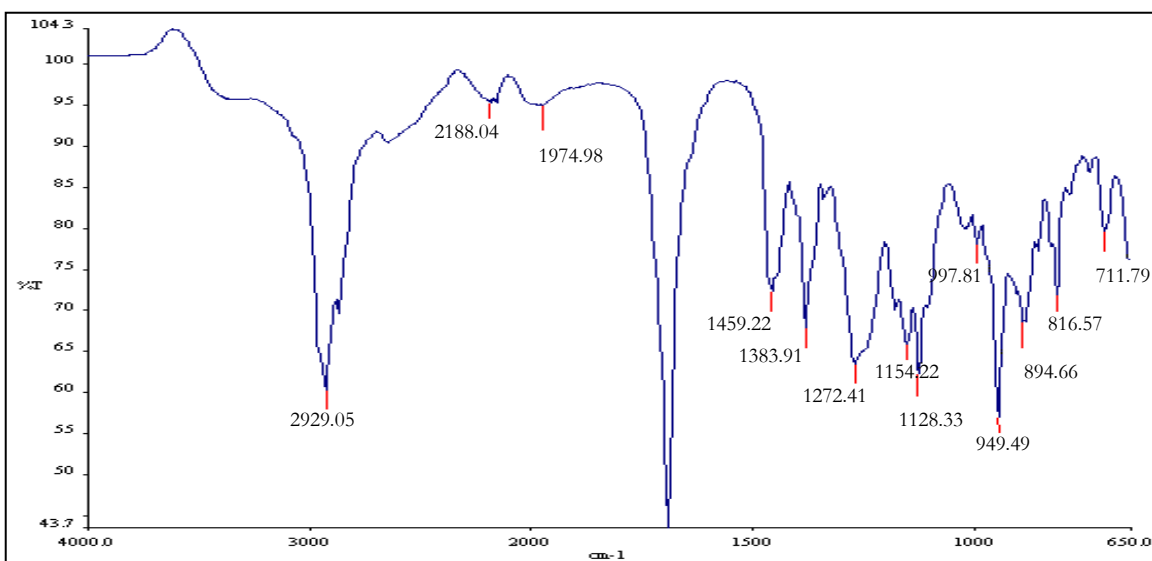


Figura 3-3a: Espectro FTIR obtenido del fundente Kester 182

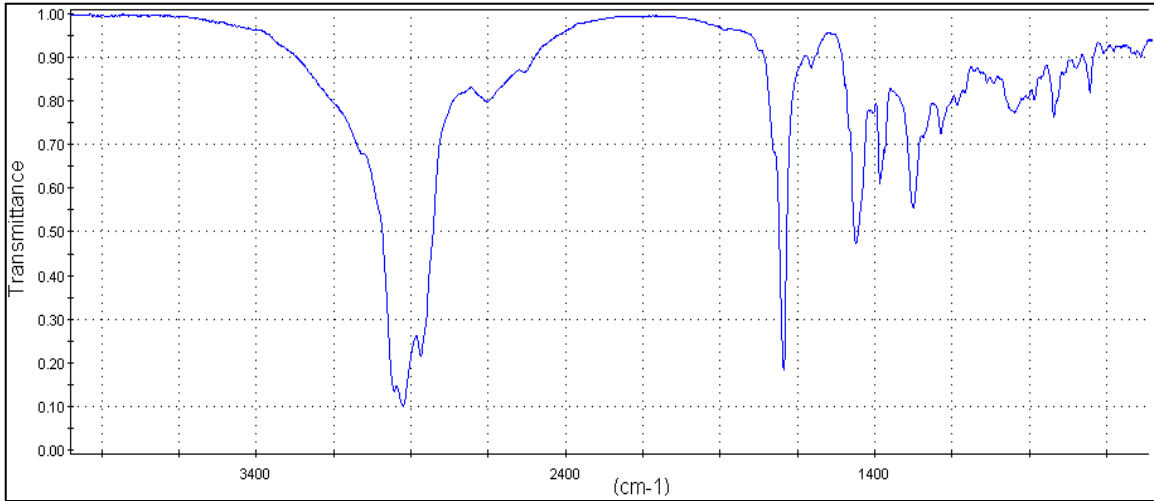


Figura 3-3b: Espectro FTIR de un fundente de viscosidad media.

Analizando la figura se puede apreciar que ambos espectros son muy similares. Esto quiere decir que el fundente 182 de la marca Kester se puede catalogar como de viscosidad media. Como complemento, en la tabla A-3 del apéndice se muestran los espectros FTIR obtenidos de fundentes del tipo colofonia con tres diferentes grados de viscosidad: baja, media y alta [11].

El fundente 186 de la marca Kester también fue analizado para encontrar diferencias significativas con el primero. La figura 3-4 muestra el espectro obtenido durante el análisis, el cual es muy parecido al que se obtuvo del fundente 182 de Kester.

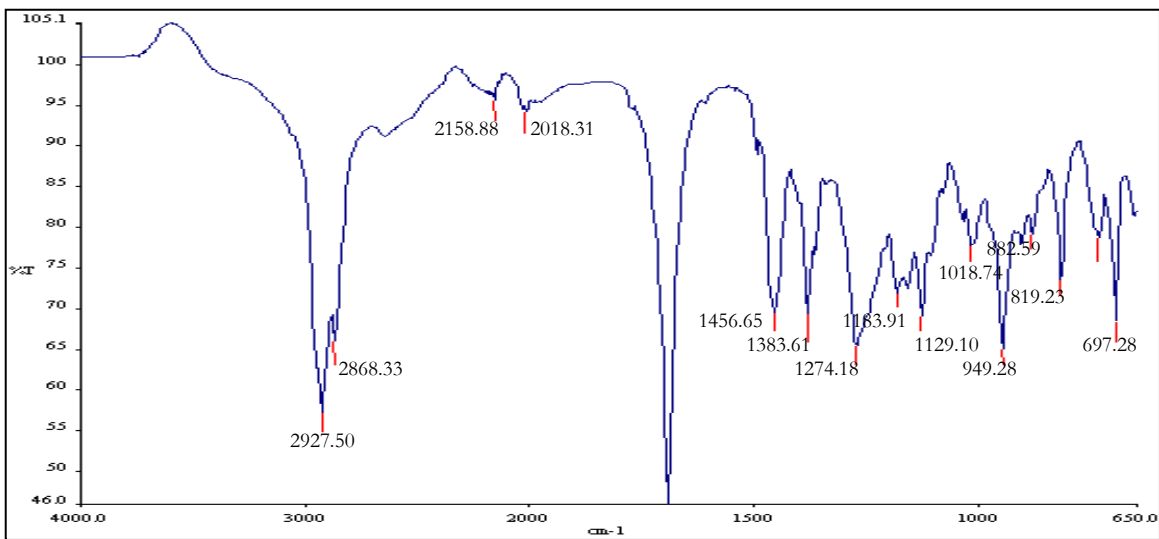


Figura 3-4: Espectro FTIR obtenido del fundente Kester 186.

De este análisis se puede concluir que ambos fundentes son similares en su composición química y en sus propiedades. Las dos soluciones están clasificadas como fundentes tipo ROL1 de acuerdo al estándar J-STD-004 elaborado por la Asociación de Tecnología de Estado Sólido (JEDEC) por lo que son aceptadas para utilizarse durante las pruebas de soldabilidad [12].

Sin embargo, existen pequeñas diferencias que fue necesario evaluar durante los experimentos. Algunas de estas diferencias son el porcentaje de sólidos y el de haluros en la solución así como la densidad de cada uno de los fundentes. En la tabla 3-1 se presenta un condensado de las diferencias y características observadas entre cada fundente [13] [14].

<b>Tabla 3-1: Propiedades de los fundentes</b>		
<b>Propiedad</b>	<b>Kester 182</b>	<b>Kester 186</b>
<b>Clasificación:</b> <i>De acuerdo al estándar JEDEC</i>	ROL1	ROL1
<b>Densidad:</b>	0.850 g/cm <sup>3</sup>	0.879 g/cm <sup>3</sup>
<b>Porcentaje de Sólidos:</b>	25	36
<b>Haluros:</b>	0.05%	0.02%
<b>Punto de Ebullición:</b>	82°C	82°C
<b>Solubilidad en agua:</b>	Parcial	Parcial

Si las fallas de soldabilidad fueran causadas por el exceso de partículas contenidas en la superficie de las terminales, se esperaría que el fundente Kester 182 tuviera mejor desempeño ya que tiene menor porcentaje de sólidos en la solución. Como ya se estableció previamente, los fundentes deben ser capaces de retirar los óxidos y contaminantes de la superficie para que se pueda presentar una buena adherencia entre la superficie y la soldadura fundida. De no ser así, se tendrían que utilizar fundentes más agresivos.

## CAPÍTULO 4: EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Diseño de experimentos

Como ya se mencionó anteriormente, el objetivo de este estudio es encontrar la causa de la mala adherencia de la soldadura en los substratos recubiertos con capas de níquel y oro. Para esto, se caracterizó la prueba de soldabilidad para este tipo de substratos tomando en cuenta las siguientes variables:

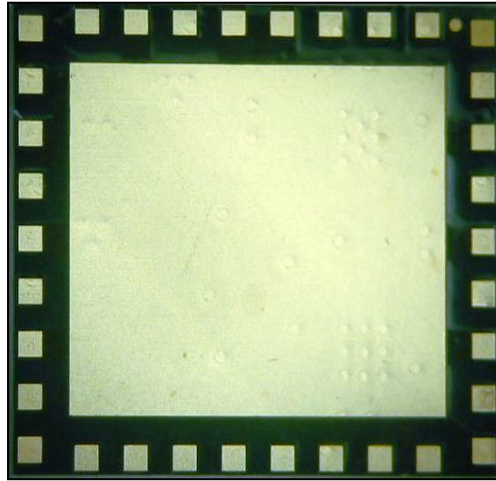
- Aleación de la soldadura.
- Fundentes.
- Tensión interfacial.
- Acondicionamiento en ambiente de vapor antes de la prueba.

Se evaluaron dos tipos de soldaduras; una con plomo (Sn63-Pb37) y otra libre de plomo (Sn95.5-Ag3.8-Cu0.7) para ver su desempeño en las pruebas de soldabilidad y conocer los efectos que puede tener la ausencia de plomo en la aleación de soldadura. También se estudiaron dos tipos de fundentes de la marca Kester. Los fundentes son el 182 y el 186, los cuales están clasificados como ROL1 de acuerdo a JEDEC, pero tienen diferentes densidades y porcentajes de sólidos en la solución. En la sección 3.2 de este estudio ya se presentaron las características más importantes de cada uno de estos fundentes.

Para determinar en qué grado afecta la tensión interfacial entre la soldadura y el substrato se corrieron experimentos ajustando la temperatura de la soldadura en dos diferentes valores: 245° C y 255° C. Se sabe que la tensión superficial de los líquidos disminuye con el aumento de la temperatura. Es por esto, que se realizaron pruebas de soldabilidad aumentando la temperatura típica a 255° C.

Otra de las variables que fue importante evaluar es el acondicionamiento en ambiente de vapor de agua de-ionizada. Esto permitió conocer si es posible que los substratos de níquel y oro puedan presentar corrosión debida al ambiente húmedo y temperatura elevada al que fueron expuestos. Debido a las propiedades del oro, es difícil que éste presente corrosión pero se teme que el níquel pueda presentar cierto grado de corrosión después del acondicionamiento.

Tomando en cuenta todas estas variables se establecieron 16 grupos experimentales, de 15 unidades cada uno, que fueron sometidos a pruebas de soldabilidad en diferentes condiciones. El objeto de estudio fue el sustrato de níquel y oro del circuito integrado tipo MCM cuyas dimensiones son 9 milímetros de ancho por 10 de largo. En la figura 4-1 aparece el sustrato que fue evaluado durante los experimentos.



**Figura 4-1: Substrato de níquel-oro del circuito MCM de 9x10 milímetros.**

El método experimental se desarrolló basándose en el estándar de la industria para pruebas de soldabilidad JESD22-B102D (JEDEC) y es igual al descrito en la sección 1.5 de este trabajo. En la tabla 4-1 se muestran las condiciones en las que fueron probados cada uno de los grupos experimentales tomando en cuenta todas las variables sujetas a estudio. La hipótesis que se siguió es la siguiente:

“El exceso de partículas contaminantes contenidas en la superficie que no son totalmente removidas durante la aplicación del fundente y aunado a la tensión superficial de la soldadura dan por resultado una mala adherencia y ocasionan la falla de la prueba de soldabilidad”.

Los experimentos fueron diseñados con el fin de determinar si esta hipótesis era correcta.

Tabla 4-1: Diseño de experimentos para caracterización de soldabilidad				
Grupo	Acondicionamiento	Fundente	Soldadura	Temperatura
1	Sí	Kester 182	Sn63-Pb37	245° C
2	No			
3	Sí	Kester 186		
4	No			
5	Sí	Kester 182	Sn95.5-Ag3.8-Cu0.7	
6	No			
7	Sí	Kester 186		
8	No			
9	Sí	Kester 182	Sn63-Pb37	255° C
10	No			
11	Sí	Kester 186		
12	No			
13	Sí	Kester 182	Sn95.5-Ag3.8-Cu0.7	
14	No			
15	Sí	Kester 186		
16	No			

#### 4.2 Análisis de Fallas.

En la tabla 4-2 se presentan los resultados de las pruebas de soldabilidad efectuadas a los 16 grupos experimentales.

Tabla 4-2: Resultados experimentales			
Grupo	Resultados	Grupo	Resultados
1	Pasó.	9	Pasó.
2	Pasó.	10	<b>1 falla.</b>
3	<b>1 falla.</b>	11	<b>3 fallas.</b>
4	Pasó.	12	Pasó.
5	Pasó.	13	<b>3 fallas.</b>
6	<b>2 fallas.</b>	14	Pasó.
7	<b>1 falla.</b>	15	<b>5 fallas.</b>
8	Pasó.	16	<b>1 falla.</b>

Los grupos 3, 6, 7, 10, 11, 13, 15 y 16 fallaron la prueba de soldabilidad. Los resultados experimentales no concordaron totalmente con los resultados esperados. Según la hipótesis, se esperaría que los grupos 6 y 10 por ejemplo, pasaran la prueba de soldabilidad ya que el fundente Kester 182 tiene menor porcentaje de sólidos en la solución y debe dejar un menor número de contaminantes en la superficie.

Todas las fallas fueron analizadas utilizando un microscopio electrónico de barrido y una microsonda EDX. Este último aparato permitió detectar la presencia de elementos contaminantes en las terminales de los substratos que fallaron la prueba de soldabilidad.

En lo que resta de este capítulo se describirán los defectos encontrados en las fallas de cada uno de los grupos experimentales y se expondrá la causa raíz de estas fallas de soldabilidad. Los resultados del análisis de fallas serán expuestos utilizando un formato de dos páginas que muestran las imágenes obtenidas utilizando el microscopio electrónico de barrido, el espectro de dispersión de rayos X obtenido de las muestras y un mapeo de los elementos mayoritarios encontrados.

Con el diseño de los formatos se buscó tener una mejor organización de los resultados de investigación a fin de señalar rápidamente las diferencias entre cada uno de los grupos de análisis y encontrar un modo de falla común que nos vincule al origen del problema.

En la tabla A-4 del apéndice se muestra un ejemplo del formato utilizado para concentrar los resultados de los análisis.

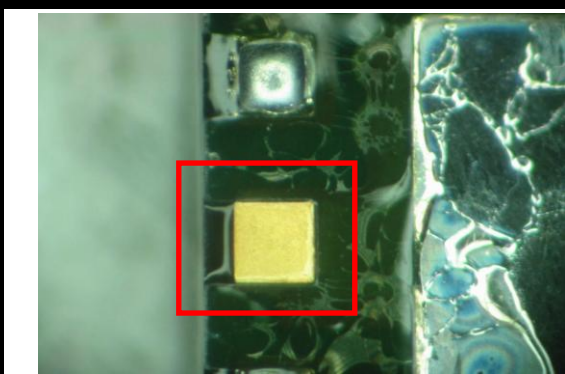
Tabla 4-3: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 3

Hoja 1 de 2

1) Datos Generales

Grupo:	3
Acondicionamiento:	Atmósfera de vapor por 8 horas.
Fundente:	Kester 186
Soldadura:	Sn63-Pb37
Temperatura:	245° C

2) Inspección Inicial.



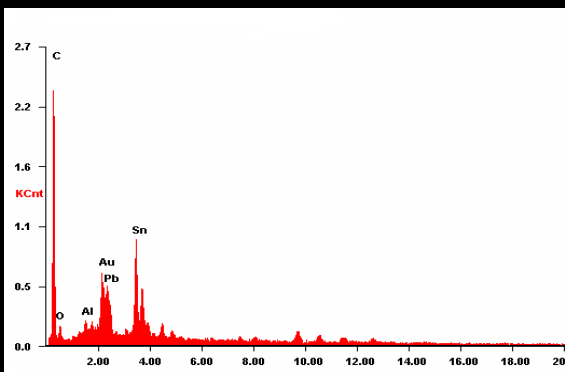
**Resultados:** En este grupo se detectó una pieza sin recubrimiento de soldadura en una de sus terminales. El análisis preliminar bajo microscopio mostró que la capa de oro de la terminal no fue disuelta durante la inmersión en el baño de soldadura.

3) Inspección mediante microscopio electrónico de barrido (MEB).



**Resultados:** Un análisis más detallado mostró la presencia de residuo de fundente adherido a la terminal.

4) Espectro de dispersión de rayos X

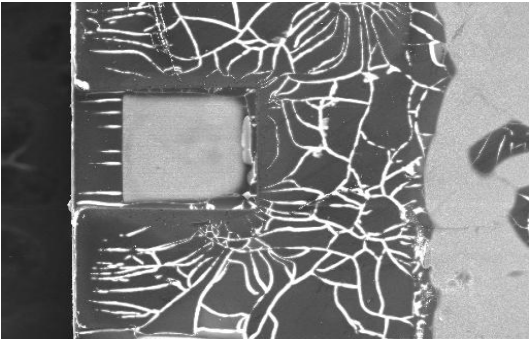
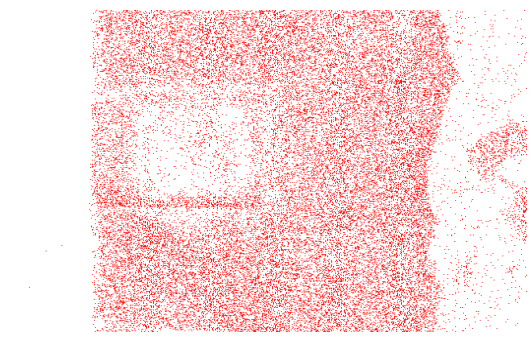
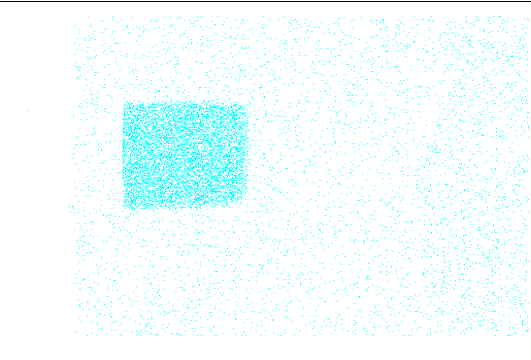
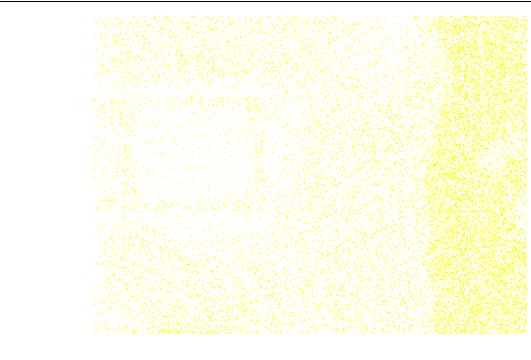
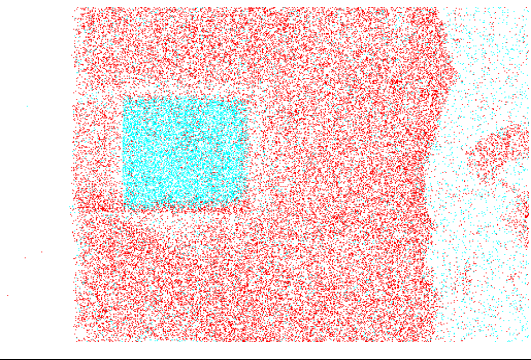


**Resultados:** La presencia del residuo fue confirmada a través del análisis espectrográfico de dispersión de rayos X mostrando un pico pronunciado de carbono. Se encontraron otros elementos como oxígeno, aluminio, oro, plomo y estaño.

Tabla 4-3: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 3.

Hoja 2 de 2

5) Mapeo de elementos mayoritarios

	
<p>Área mapeada</p>	<p>Carbono</p>
	
<p>Oro</p>	<p>Estaño</p>
	
<p>Traslape de Oro y Carbono</p>	

**Resultados:** Se puede apreciar una concentración mayoritaria de oro en el área de la terminal. Alrededor de la terminal se encuentran residuos de carbono proveniente del fundente utilizado durante la prueba. Estos residuos solidificados aparecen de color rojo en la imagen.

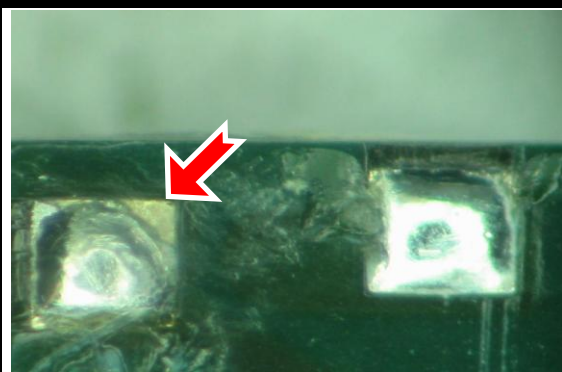
Tabla 4-4: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 6.

Hoja 1 de 2

1) Datos Generales

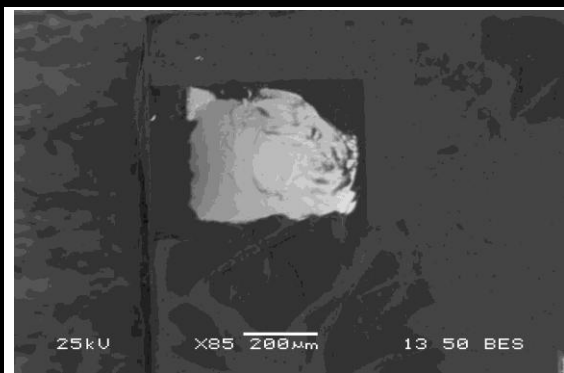
Grupo:	6.
Acondicionamiento:	No se sometió al acondicionamiento.
Fundente:	Kester 182.
Soldadura:	Sn95.5-Ag3.8-Cu0.7
Temperatura:	245° C

2) Inspección Inicial.



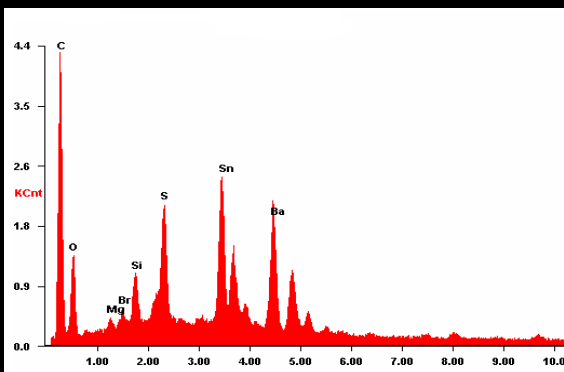
**Resultados:** En este grupo fallaron **dos piezas**. Ambas piezas presentaron una terminal en la que la soldadura fundida no cubrió el área a soldar en su totalidad.

3) Inspección mediante microscopio electrónico de barrido (MEB).



**Resultados:** Se detectó la presencia de residuos de fundente en una esquina de la terminal.

4) Espectro de dispersión de rayos X

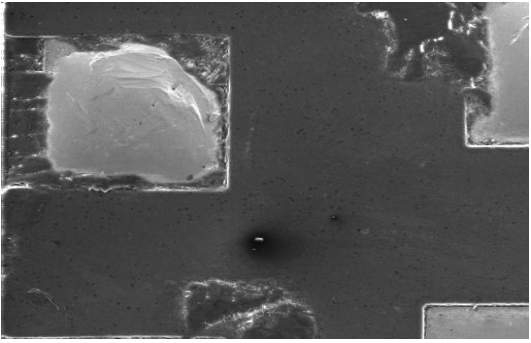
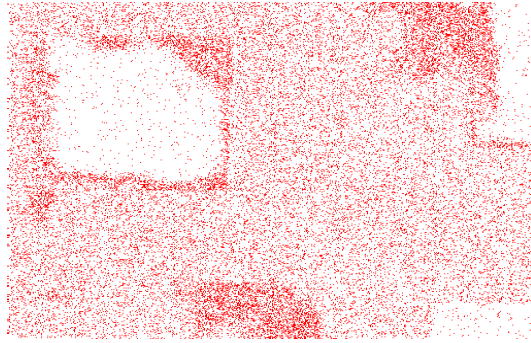
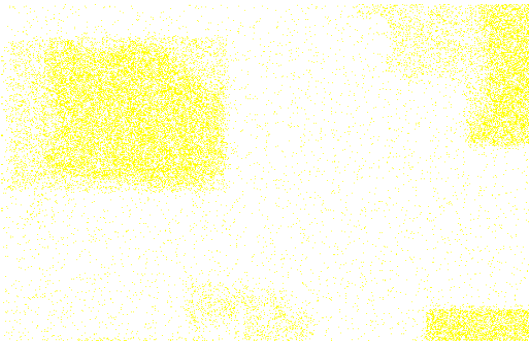
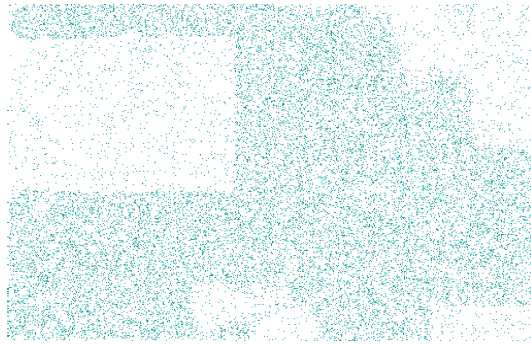
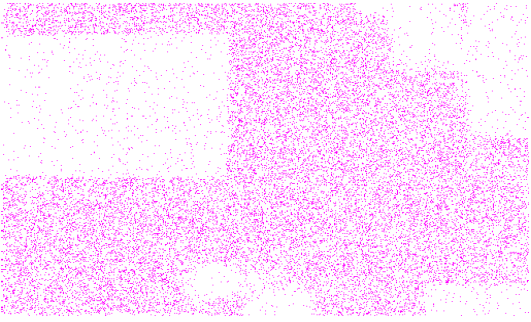
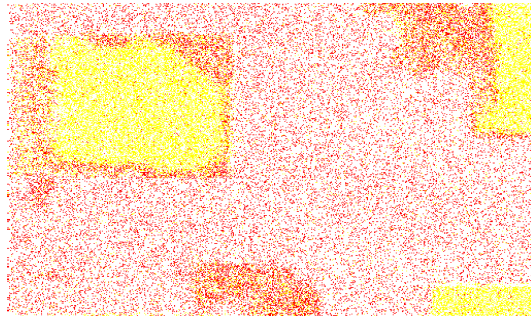


**Resultados:** El espectro de rayos X obtenido en la superficie, demostró la existencia de carbono, oxígeno, magnesio, bromo, silicio, azufre, estaño y bario. La presencia de oxígeno indica la existencia de un óxido adherido a la superficie.

Tabla 4-4: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 6.

Hoja 2 de 2

5) Mapeo de elementos mayoritarios

	
<p>Área mapeada</p>	<p>Carbono</p>
	
<p>Estaño</p>	<p>Azufre</p>
	
<p>Bario</p>	<p>Traslape de Estaño y Carbono</p>

**Resultados:** En la esquina de la terminal se encuentra gran concentración de carbono proveniente del fundente. En la imagen que muestra el mapa de estaño y carbono traslapado se puede apreciar claramente cómo el fundente invade considerablemente la región a soldar. El estaño se replegó y no humectó la esquina de la terminal. Contaminantes como el azufre y bario se detectaron dispersos en toda la región analizada.

Tabla 4-5: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 7.

Hoja 1 de 2

1) Datos Generales

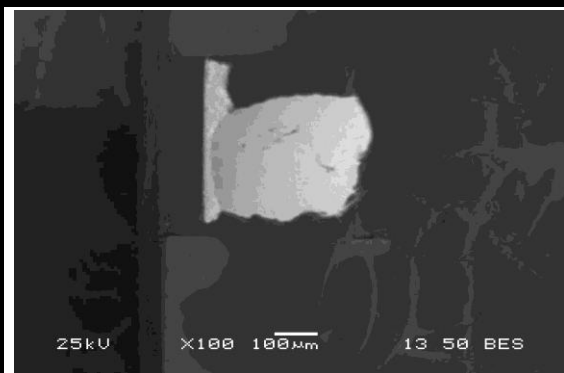
Grupo:	7.
Acondicionamiento:	Atmósfera de vapor por 8 horas.
Fundente:	Kester 186.
Soldadura:	Sn95.5-Ag3.8-Cu0.7
Temperatura:	245° C

2) Inspección Inicial.



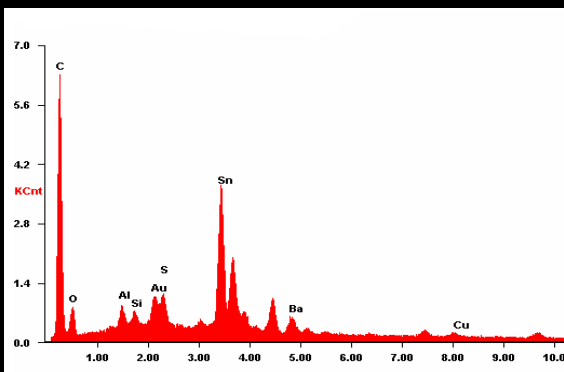
**Resultados:** Se detectó sólo una falla en este grupo. La pieza mostró una terminal que no fue cubierta en su totalidad por la soldadura fundida. Se puede apreciar que la soldadura se encuentra presente en el centro de la terminal y no se desplazó para cubrir la periferia de la misma.

3) Inspección mediante microscopio electrónico de barrido (MEB).



**Resultados:** La inspección de la terminal utilizando el MEB demostró la presencia de fundente solidificado en la orilla de la terminal.

4) Espectro de dispersión de rayos X

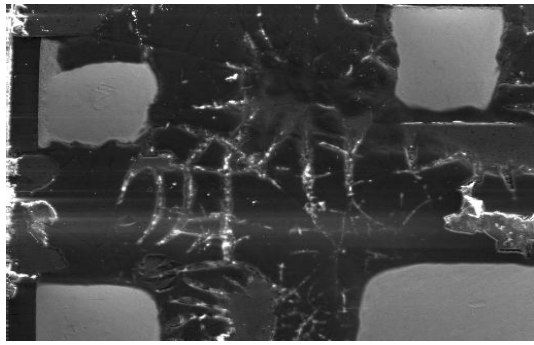
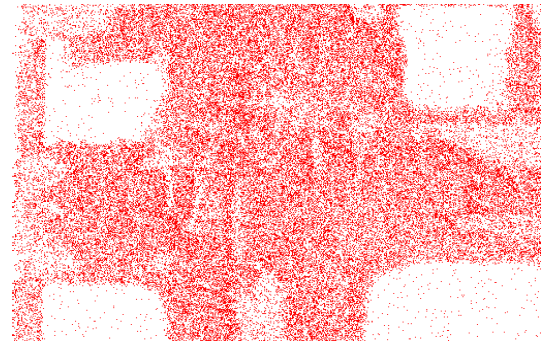
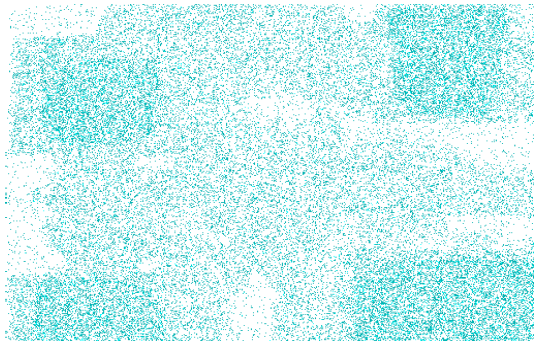
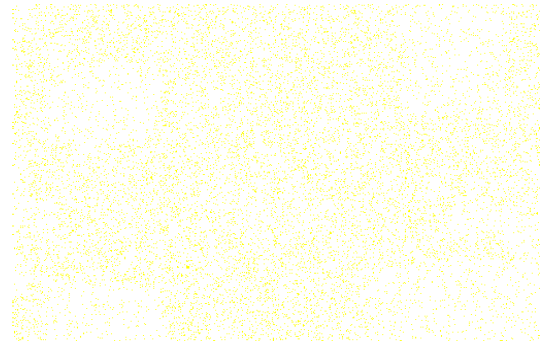
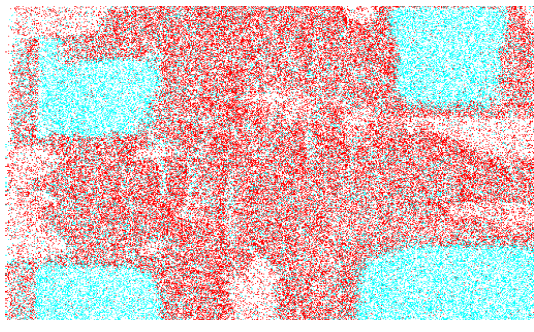




**Resultados:** El análisis mediante EDX, detectó la presencia de carbono, oxígeno, aluminio, silicio, oro, azufre, estaño, bario y cobre.

Tabla 4-5: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 7.

Hoja 2 de 2

5) Mapeo de elementos mayoritarios

	
<p>Área mapeada</p>	<p>Carbono</p>
	
<p>Estaño</p>	<p>Oro</p>
	
<p>Traslape de Estaño y Carbono.</p>	

**Resultados:** La terminal que falló la prueba de soldabilidad, localizada en la esquina superior izquierda de la imagen, presenta una concentración de carbono en el área que no fue soldada. En el mapa de estaño y carbono traslapados, se aprecia claramente esta situación.

Tabla 4-6: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 10.

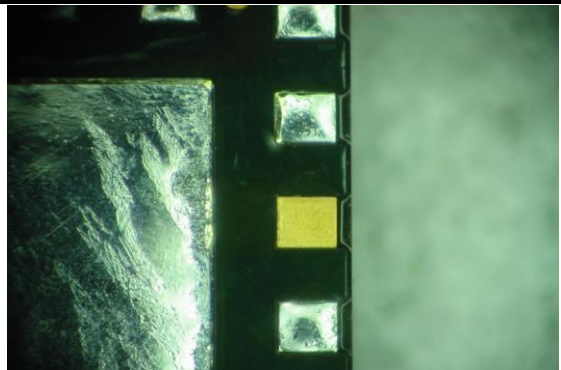
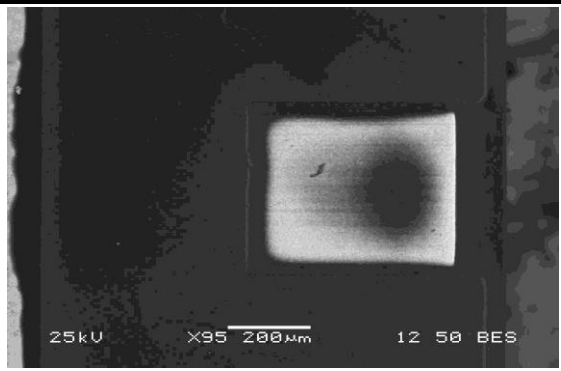
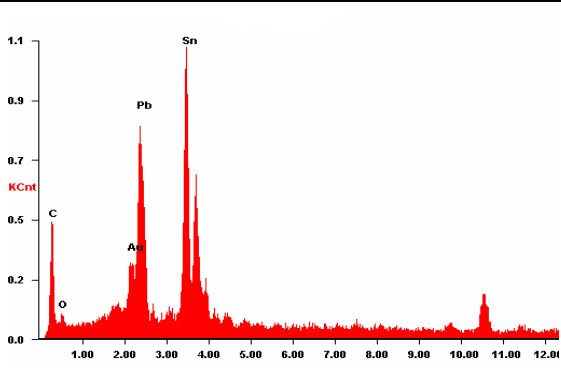
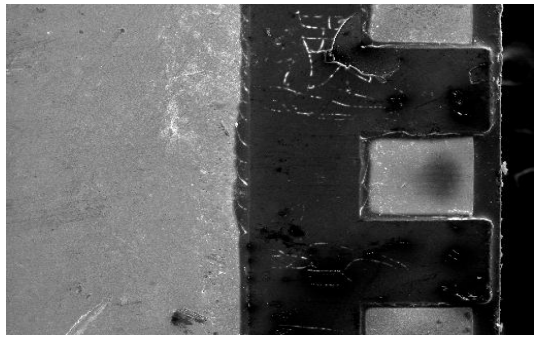
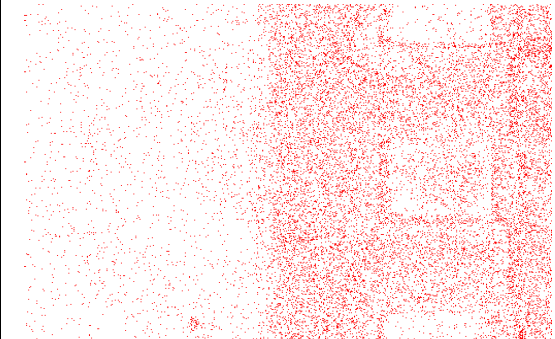
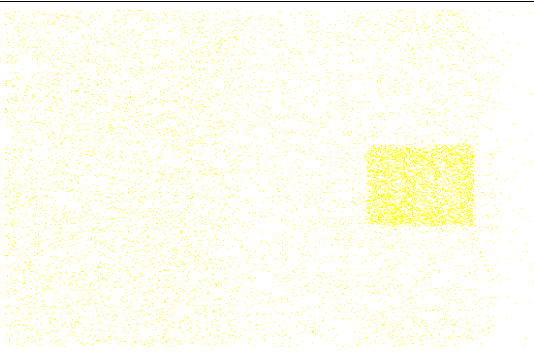
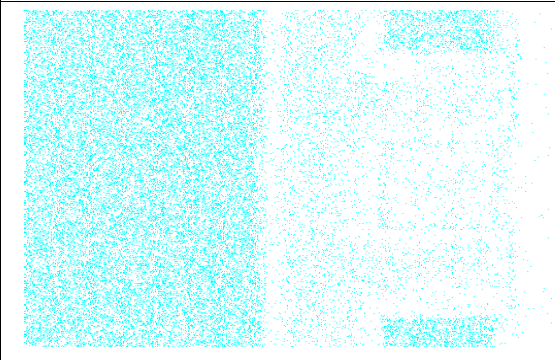
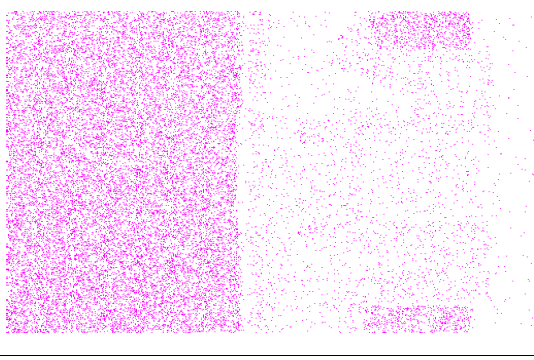
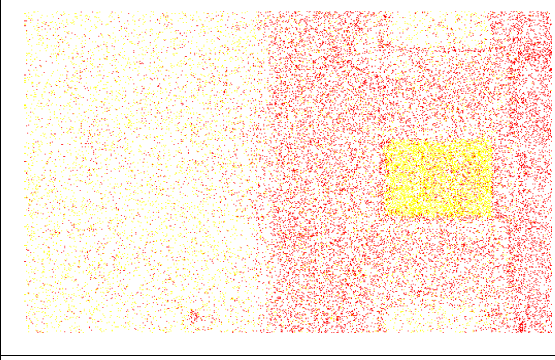
Hoja 1 de 2	
<b>1) Datos Generales</b>	
Grupo:	10.
Acondicionamiento:	No se sometió al acondicionamiento.
Fundente:	Kester 182.
Soldadura:	Sn63-Pb37
Temperatura:	255° C
<b>2) Inspección Inicial.</b>	
	<b>Resultados:</b> Se detectó sólo <b>una falla</b> en este grupo experimental. La pieza que falló la prueba de soldabilidad presentó una terminal sin recubrimiento de soldadura.
<b>3) Inspección mediante microscopio electrónico de barrido (MEB).</b>	
	<b>Resultados:</b> Se descubrió la presencia de una capa de fundente en la superficie de la terminal. A diferencia de las fallas de los primeros grupos analizados, esta capa de fundente es de un grosor menor que el detectado anteriormente.
<b>4) Espectro de dispersión de rayos X</b>	
	<b>Resultados:</b> Mediante el análisis se detectó la presencia de carbono, oxígeno, oro, plomo y estaño.

Tabla 4-6: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 10.

Hoja 2 de 2

5) Mapeo de elementos mayoritarios

	
<p>Área mapeada.</p>	<p>Carbono.</p>
	
<p>Oro</p>	<p>Estaño</p>
	
<p>Plomo</p>	<p>Traslape de Oro y Carbono</p>

**Resultados:** El mapa de carbono muestra una deposición de este elemento sobre la terminal. El resultado de este análisis concuerda con lo observado durante la inspección inicial en el que se detectó un residuo de fundente solidificado sobre el área a soldar.

Tabla 4-7: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 11.

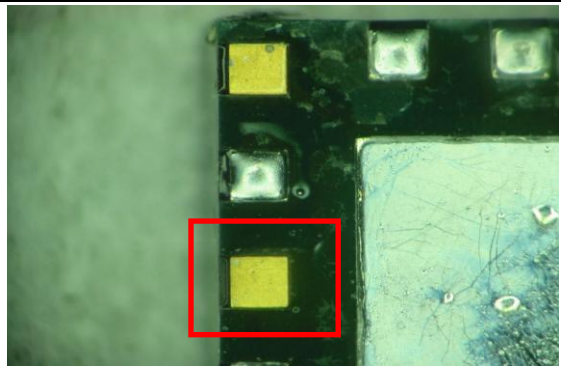
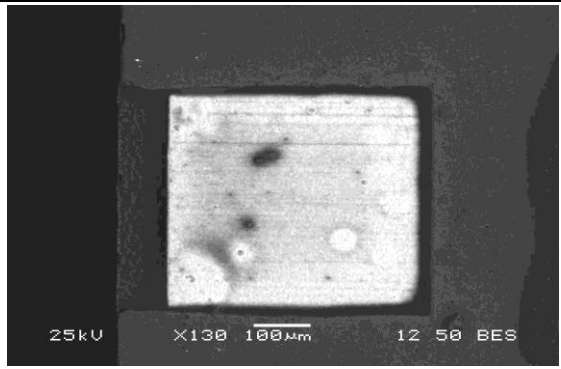
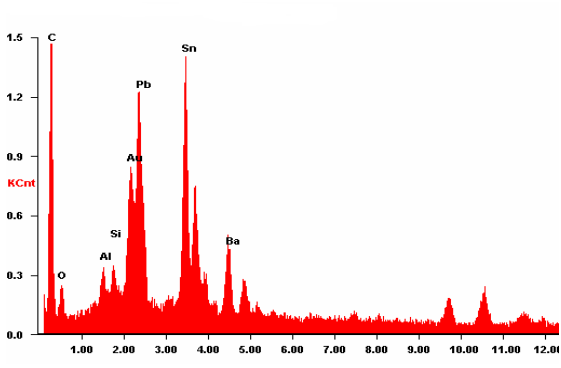
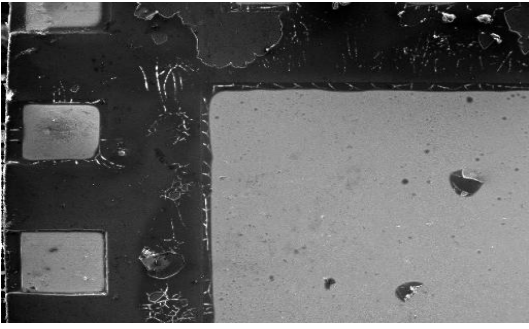
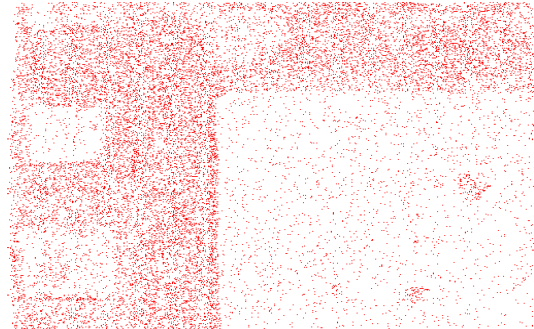

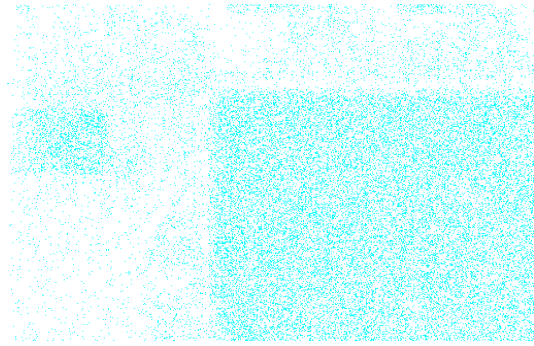
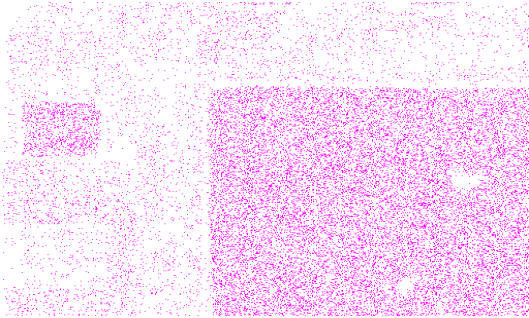
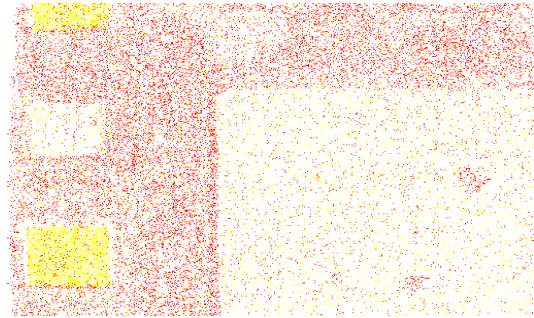
Hoja 1 de 2	
<b>1) Datos Generales</b>	
Grupo:	11.
Acondicionamiento:	Atmósfera de vapor por 8 horas.
Fundente:	Kester 186.
Soldadura:	Sn63-Pb37
Temperatura:	255° C
<b>2) Inspección Inicial.</b>	
	<p><b>Resultados:</b> Dentro de este grupo se detectaron un total de <b>tres fallas</b>. En dos piezas se descubrieron más de una terminal sin recubrimiento de soldadura.</p>
<b>3) Inspección mediante microscopio electrónico de barrido (MEB).</b>	
	<p><b>Resultados:</b> El microscopio electrónico de barrido corroboró la existencia de residuos de fundente de un grosor bastante delgado muy parecidos a los que se encontraron durante el análisis de las fallas del grupo 10.</p>
<b>4) Espectro de dispersión de rayos X</b>	
	<p><b>Resultados:</b> El análisis de EDX detectó los elementos carbono, oxígeno, aluminio, silicio, oro, plomo, estaño y bario.</p>

Tabla 4-7: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 11.

Hoja 2 de 2

5) Mapeo de elementos mayoritarios

	
<p>Área mapeada</p>	<p>Carbono</p>
	
<p>Oro</p>	<p>Estaño</p>
	
<p>Plomo</p>	<p>Traslape de Oro y Carbono</p>

**Resultados:** Las terminales que no fueron cubiertas por la soldadura presentaron residuos de carbono en la superficie. En la imagen que muestra el traslape del mapa de oro y carbono se puede apreciar cómo los residuos de fundente se depositaron en las terminales.

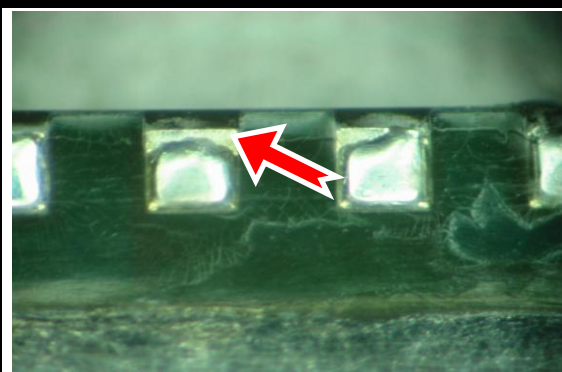
Tabla 4-8: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 13.

Hoja 1 de 2

1) Datos Generales

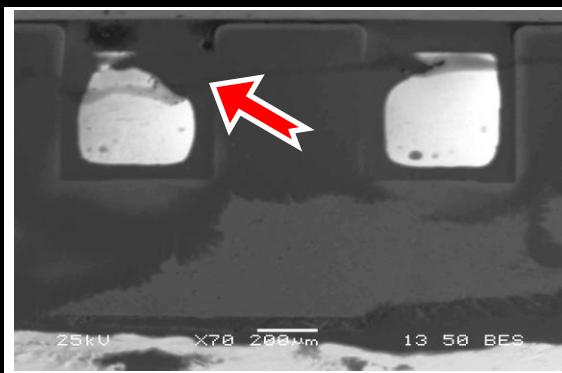
Grupo:	13.
Acondicionamiento:	Atmósfera de vapor por 8 horas.
Fundente:	Kester 182.
Soldadura:	Sn95.5-Ag3.8-Cu0.7
Temperatura:	255° C

2) Inspección Inicial.



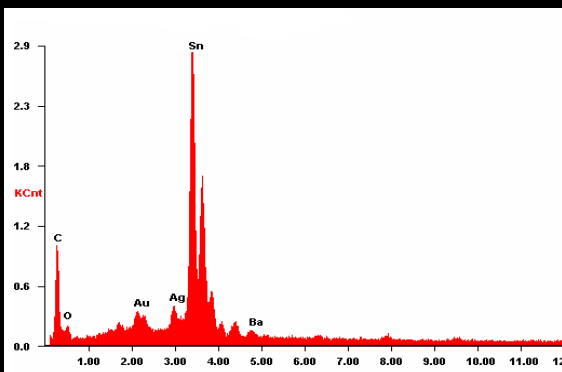
**Resultados:** Las tres piezas de este grupo fallaron de forma similar. La soldadura fundida no cubrió totalmente la terminal dejando parte del área expuesta.

3) Inspección mediante microscopio electrónico de barrido (MEB).



**Resultados:** El análisis detallado asistido por el MEB detectó la presencia de una capa de fundente solidificado en la periferia de la terminal. Estos residuos se encuentran precisamente en la misma área sin recubrimiento de soldadura.

4) Espectro de dispersión de rayos X

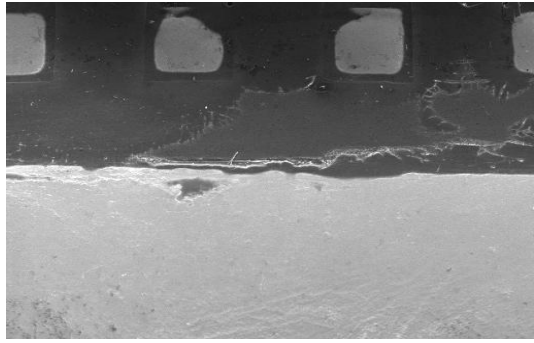
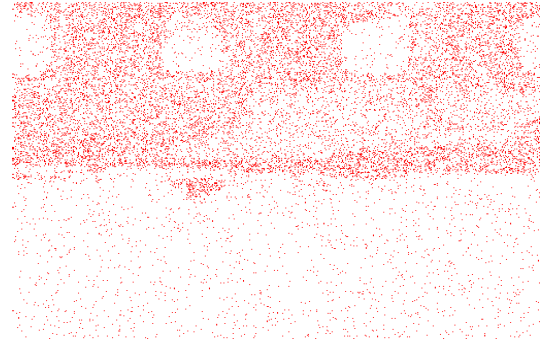
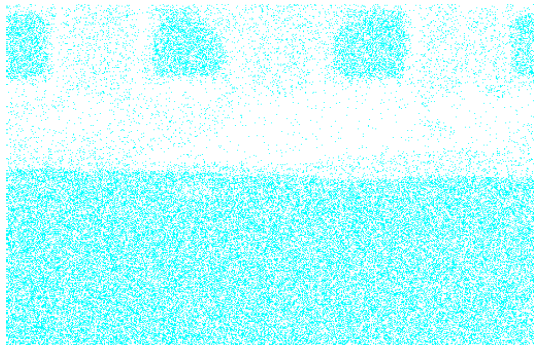
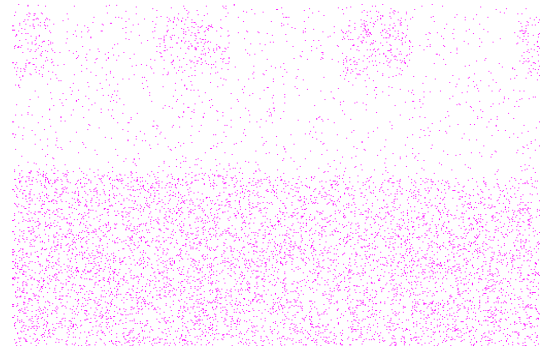
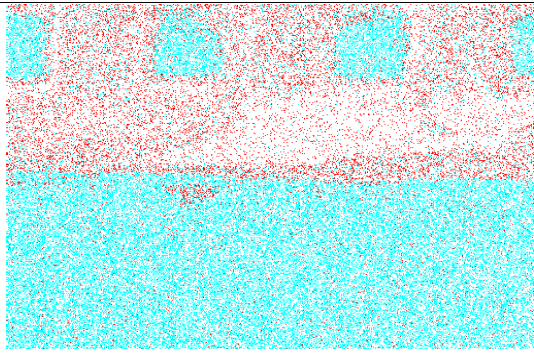
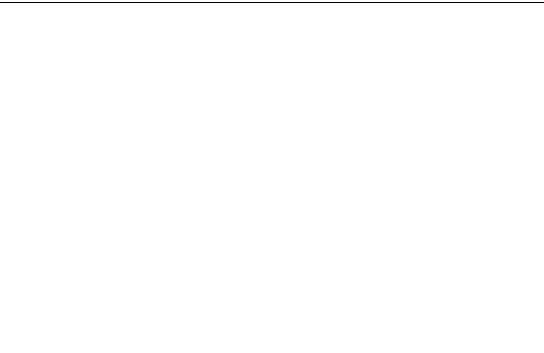



**Resultados:** En el espectro se detectó carbono, oxígeno, oro, plata, estaño y bario.

Tabla 4-8: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 13.

Hoja 2 de 2

5) Mapeo de elementos mayoritarios

	
<p>Área mapeada</p>	<p>Carbono</p>
	
<p>Estaño</p>	<p>Plata</p>
	
<p>Traslape de Estaño y Carbono</p>	

**Resultados:** En el mapa que señala la concentración de estaño y carbono en traslape, se puede apreciar cómo los residuos de fundente solidificado se quedaron depositados en la terminal.

Tabla 4-9: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 15.

Hoja 1 de 2

1) Datos Generales

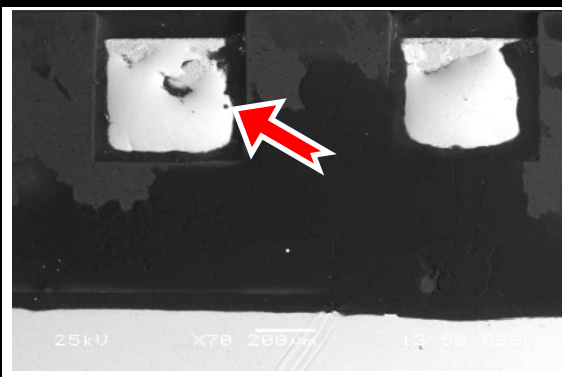
Grupo:	15.
Acondicionamiento:	Atmósfera de vapor por 8 horas.
Fundente:	Kester 186.
Soldadura:	Sn95.5-Ag3.8-Cu0.7
Temperatura:	255° C

2) Inspección Inicial.



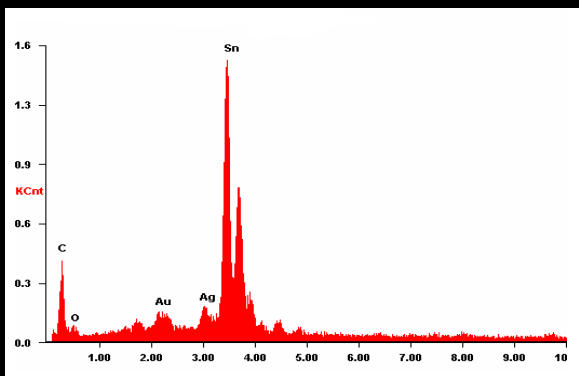
**Resultados:** Este fue el grupo que obtuvo la mayor tasa de fallas con un total de **cinco dispositivos** con pobre humectación de soldadura.

3) Inspección mediante microscopio electrónico de barrido (MEB).



**Resultados:** En las terminales de las piezas se encontraron residuos de fundente, concentrándose en su mayoría, en las orillas de las mismas. Sin embargo se observaron terminales que presentaron un recubrimiento bastante irregular dejando gran parte de la terminal expuesta.

4) Espectro de dispersión de rayos X

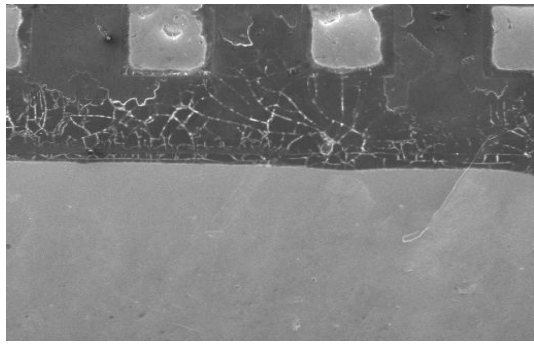
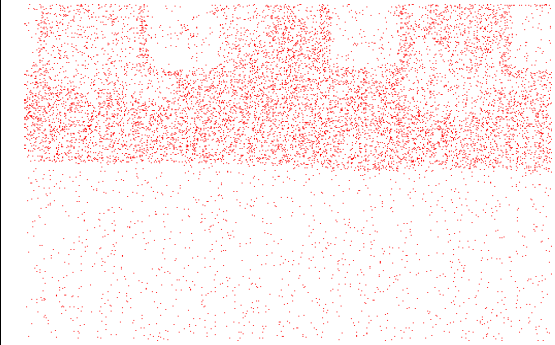
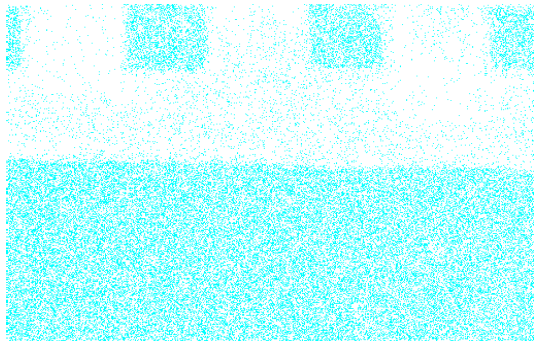
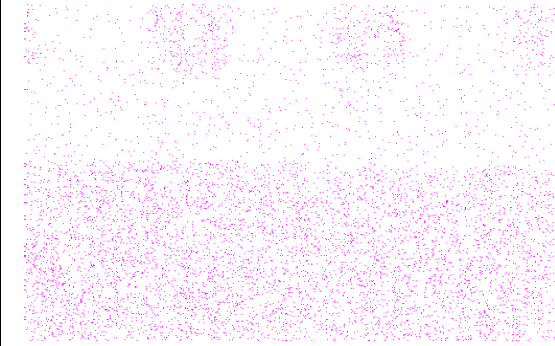
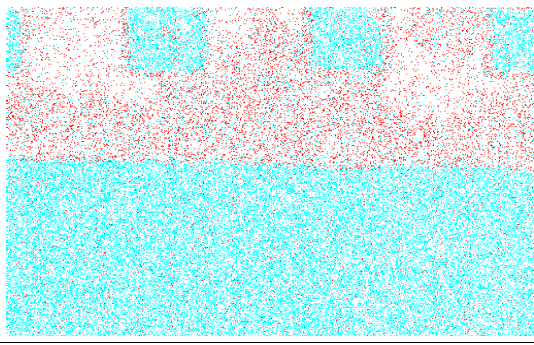




**Resultados:** Mediante el análisis se detectó la presencia de carbono, oxígeno, oro, plata y estaño en la muestra.

Tabla 4-9: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 15.

Hoja 2 de 2

5) Mapeo de elementos mayoritarios

	
<p>Área mapeada</p>	<p>Carbono</p>
	
<p>Estaño</p>	<p>Plata</p>
	
<p>Traslape de Estaño y Carbono</p>	

**Resultados:** En el mapa que señala la concentración de estaño y carbono traslapado, se puede apreciar cómo los residuos de fundente solidificado se quedaron depositados en la periferia de la terminal. Sólo una pequeña cantidad de carbono se encontró dentro del área de la terminal.

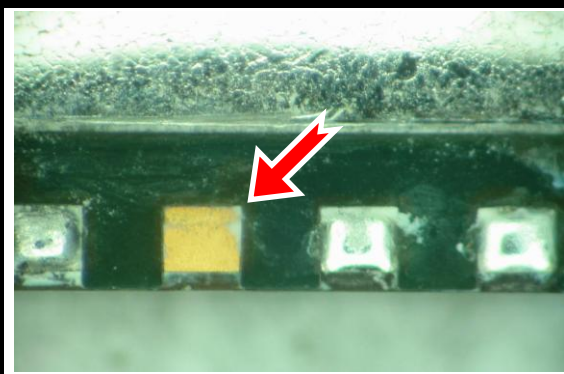
Tabla 4-10: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 16.

Hoja 1 de 2

1) Datos Generales

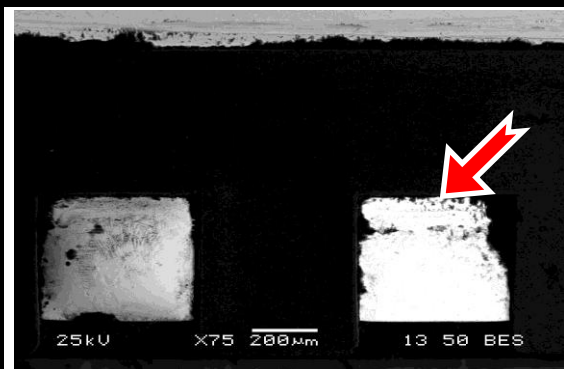
Grupo:	16.
Acondicionamiento:	No se sometió al acondicionamiento.
Fundente:	Kester 186.
Soldadura:	Sn95.5-Ag3.8-Cu0.7
Temperatura:	255° C

2) Inspección Inicial.



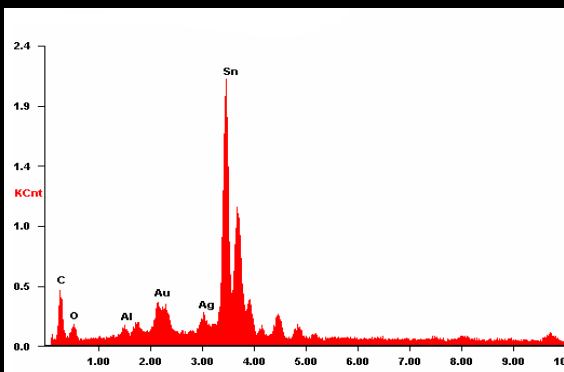
**Resultados:** Sólo se presentó una falla de este grupo en la que una terminal no tuvo humectación de soldadura.

3) Inspección mediante microscopio electrónico de barrido (MEB).



**Resultados:** El análisis mediante el MEB detectó la presencia de residuos de fundente en gran parte de la terminal.

4) Espectro de dispersión de rayos X

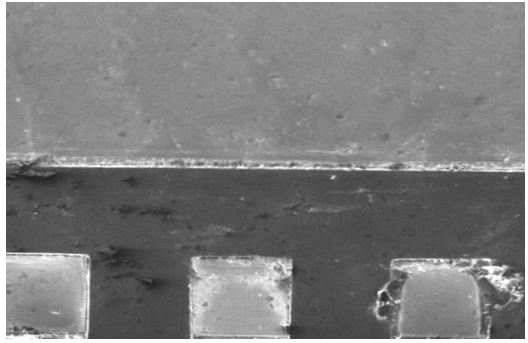
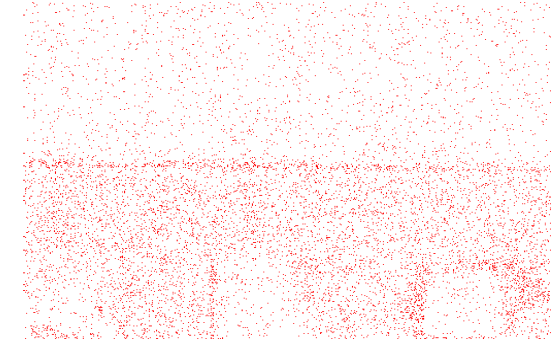
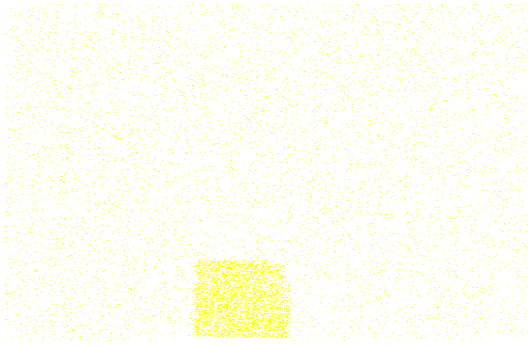
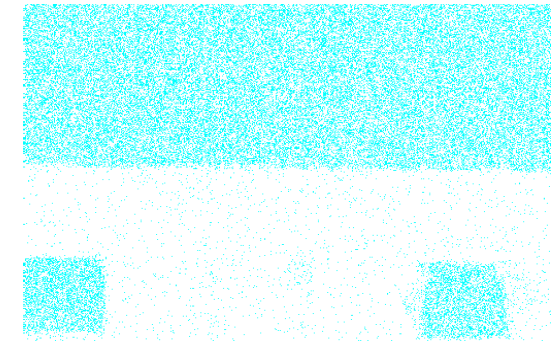
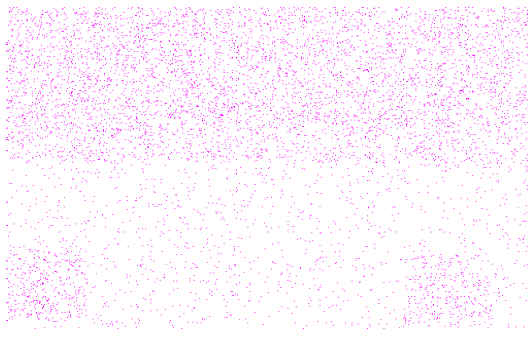
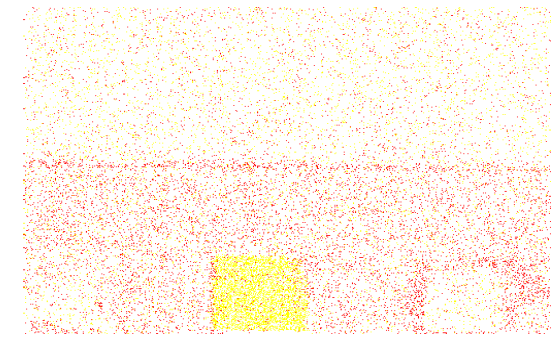


**Resultados:** En el espectro se mostró la presencia de carbono, oxígeno, aluminio, oro, plata y estaño en la muestra.

Tabla 4-10: Formato para resultados de análisis de fallas del grupo 16.

Hoja 2 de 2

5) Mapeo de elementos mayoritarios

	
<p>Área Mapeada</p>	<p>Carbono</p>
	
<p>Oro</p>	<p>Estaño</p>
	
<p>Plata</p>	<p>Traslape de Oro y Carbono</p>

**Resultados:** Se aprecia que sobre la película delgada de oro de la terminal existen algunos residuos de carbono. Estos residuos se encuentran en mayor concentración alrededor de la terminal.

Todas las fallas de soldabilidad que se presentaron durante la ejecución de los experimentos fueron causadas por los residuos de fundente que se quedaron adheridos en la superficie de la terminal. Estos residuos propiciaron que la tensión interfacial entre el sustrato y la soldadura se incrementara a tal grado que no fuera posible que la soldadura fundida humectara adecuadamente la superficie. El mecanismo de falla durante la prueba se puede explicar de la siguiente manera:

Después de que las terminales de los circuitos son impregnadas de fundente, éstas son sumergidas en la soldadura fundida cuya temperatura mínima es 245° C. Al momento en que las terminales tocan la superficie de la soldadura, el solvente del fundente es evaporado abruptamente y quedan depositados los componentes sólidos del fundente sobre la terminal. Estos componentes sólidos se adhieren y cristalizan con la temperatura, formando una matriz de carbono la cual es muy difícil de remover. Para retirar este tipo de residuos se necesitaría un remover del tipo inorgánico.

El acumulamiento de residuos de fundente es propiciado en buena medida por el diseño del sustrato. Este sustrato en particular tiene terminales definidas por la máscara de soldado que crea una cavidad sobre las terminales. Esta cavidad no permite que se desplacen los residuos hacia las orillas del circuito integrado, quedándose depositadas en la periferia de las terminales. En las siguientes figuras se muestran fotografías de una terminal observada mediante el microscopio electrónico de barrido.

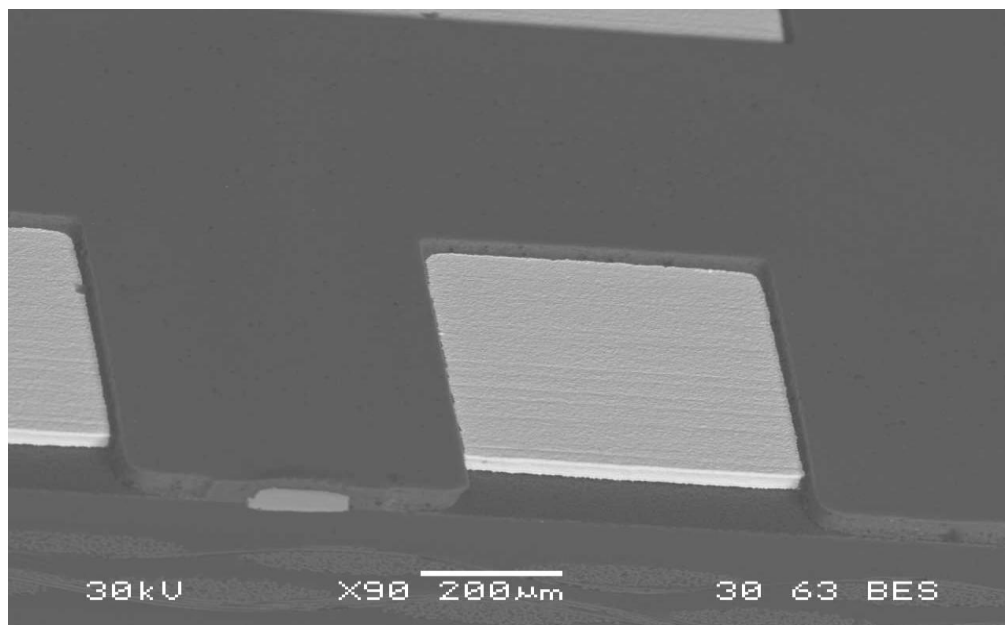
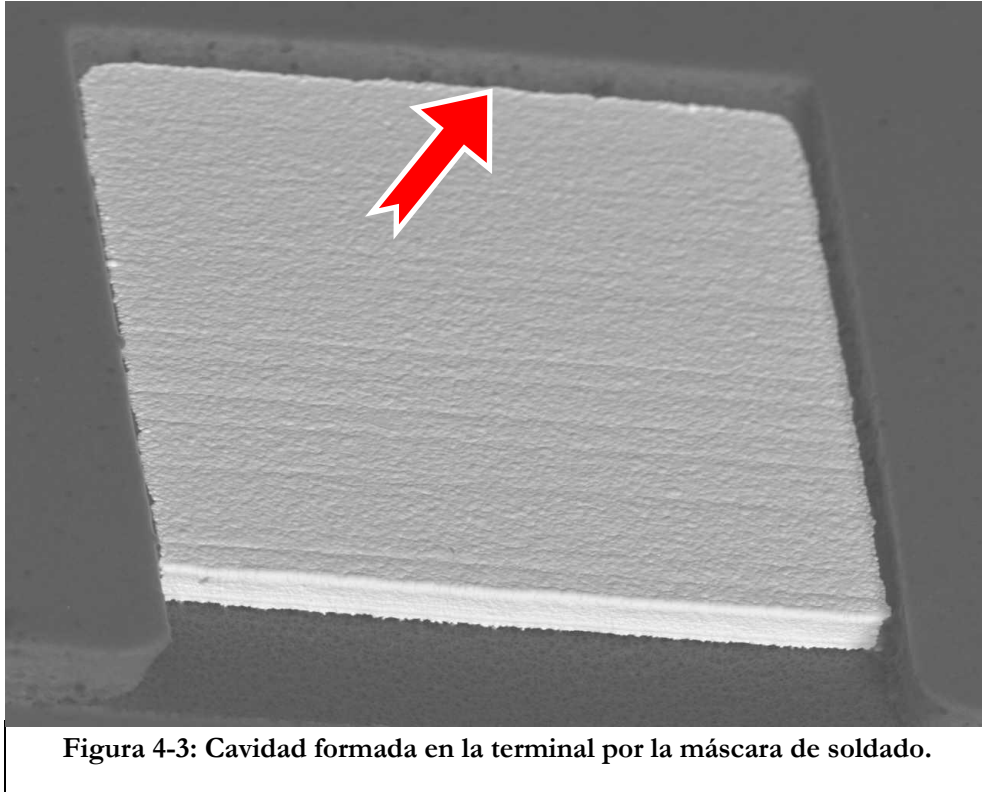


Figura 4-2: Terminales definidas por la máscara de soldado.



El problema anterior se acrecenta si las terminales tienen un exceso de fundente. El exceso de fundente también causa que se generen una mayor cantidad de vapores creando burbujas en el baño de soldadura que no permiten la adecuada humectación del sustrato. Todos estos factores contribuyen a que la prueba de soldabilidad falle resultando en una pobre adherencia de la soldadura al sustrato.

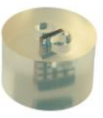





### 4.3 Intermetálicos



Debido al alto número de fallas y a la evidencia encontrada durante el análisis de las mismas, se decidió verificar la buena adherencia de la soldadura en las terminales de los circuitos integrados que pasaron la prueba de soldabilidad. Para lograr esto, se corroboró la formación de compuestos intermetálicos entre el sustrato de oro-níquel y la soldadura.

Para poder observar los compuestos intermetálicos utilizando el microscopio electrónico de barrido, es necesario preparar las muestras siguiendo un detallado procedimiento de desbastado y pulido metalográfico [15].

En la tabla 4-11 se describe el procedimiento que se siguió para preparar las muestras antes de su observación en el microscopio.

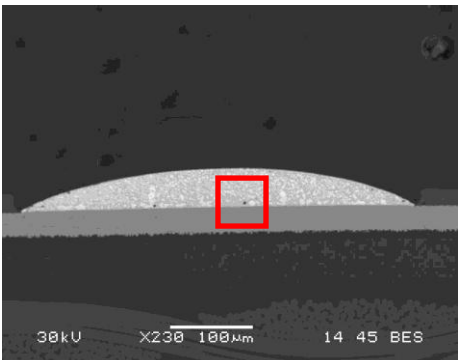
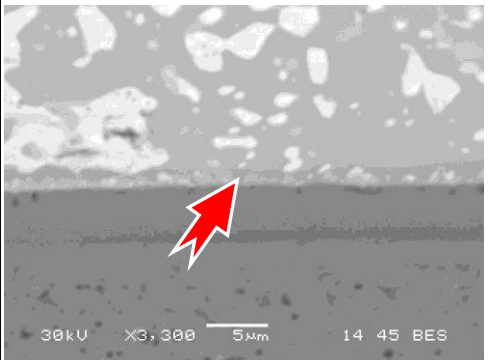
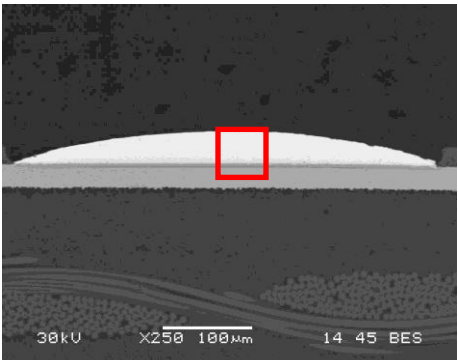
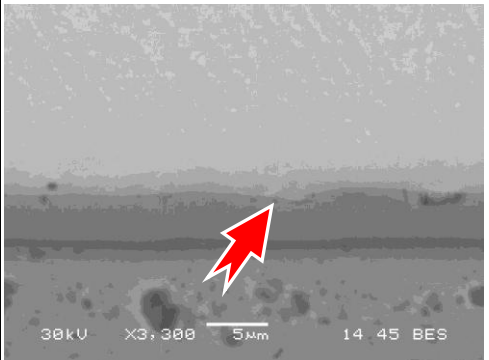
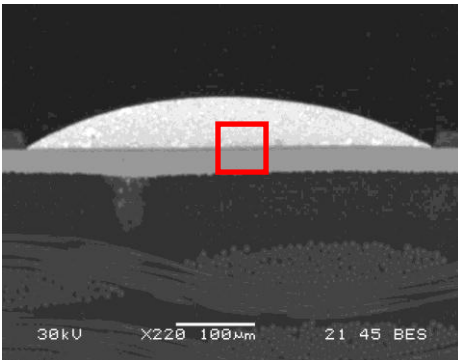
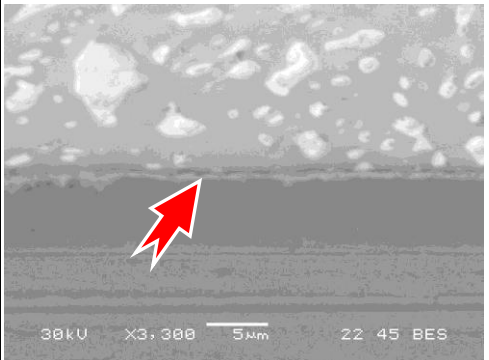
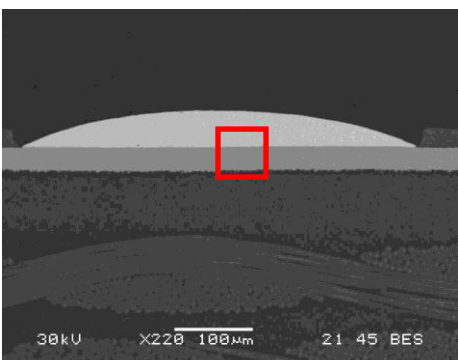
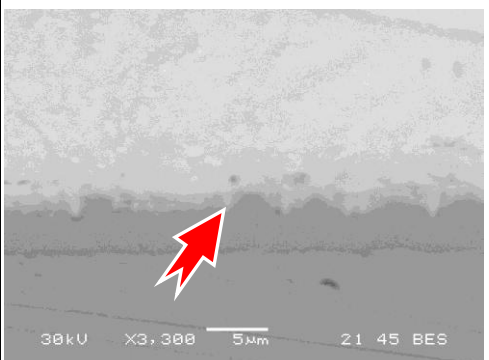
**Tabla 4-11: Procedimiento de desbastado y pulido metalográfico.**

Paso	Descripción	
1		<p>Las muestras fueron encapsuladas utilizando un compuesto epóxico. Este proceso permite manejar las muestras fácilmente en las etapas de desbastado y pulido de las mismas.</p>
2		<p>Posteriormente las muestras fueron sometidas al proceso de desbastado. Para esto se utilizó papel, el cual contiene carburo de silicio como abrasivo y con un tamaño de grano de 16 micrómetros. Durante el desbastado se utilizó agua para remover el material que se iba desprendiendo de las muestras.</p>
3		<p>En el tercer paso se cambió el papel por uno con un tamaño de grano de 12 micrómetros. Esto con el fin de preparar las muestras para el proceso de pulido fino.</p>
4		<p>En el paso cuatro se empezó el pulido de las piezas utilizando una tela de nylon, la cual se impregnó con una suspensión policristalina de diamante. El tamaño de los cristales es de 9 micrómetros.</p>
5		<p>Después de que se logró el acabado deseado, las muestras fueron lavadas y secadas para remover cualquier contaminante o partícula que pudiera interferir en el pulido posterior. En el siguiente paso de pulido se cambió la suspensión de diamante por una con cristales de 6 micrómetros.</p>
6		<p>Después del paso número cinco, las piezas fueron lavadas y secadas. En este paso se utilizó una suspensión de diamante con cristales de 3 micrómetros.</p>

7		En el paso siete se utilizó la misma tela que en los pasos 4 al 6 pero la suspensión de diamante se cambió por una con cristales de 1 micrómetro de diámetro.
8		En el último paso se cambió la tela de pulido. Para poder observar en el microscopio electrónico de barrido la capa delgada de intermetálicos fue necesario realizar un pulido ultra fino utilizando una suspensión coloidal de sílice. El tamaño de los cristales suspendidos es de 0.02 micrómetros.

Se realizaron varios cortes transversales siguiendo el procedimiento descrito anteriormente en diferentes muestras de sustratos. Uno de los objetivos principales, como ya se mencionó, fue el de corroborar la formación de compuestos intermetálicos; pero además, fue de interés para esta investigación observar las diferencias entre los sustratos expuestos a los dos tipos de soldadura a diferentes temperaturas. En la siguiente tabla, se muestran los cortes transversales realizados a los sustratos.

Tabla 4-12: Formación de intermetálicos entre sustrato y soldadura

<p><b>Soldadura:</b> Sn63-Pb37</p> <p><b>Temperatura:</b> 245° C</p>	 <p>30kV X230 100µm 14 45 BES</p>	 <p>30kV X3,300 5µm 14 45 BES</p>
<p><b>Soldadura:</b> Sn95.5-Ag3.8-Cu0.7</p> <p><b>Temperatura:</b> 245° C</p>	 <p>30kV X250 100µm 14 45 BES</p>	 <p>30kV X3,300 5µm 14 45 BES</p>
<p><b>Soldadura:</b> Sn63-Pb37</p> <p><b>Temperatura:</b> 255° C</p>	 <p>30kV X220 100µm 21 45 BES</p>	 <p>30kV X3,300 5µm 22 45 BES</p>
<p><b>Soldadura:</b> Sn95.5-Ag3.8-Cu0.7</p> <p><b>Temperatura:</b> 255° C</p>	 <p>30kV X220 100µm 21 45 BES</p>	 <p>30kV X3,300 5µm 21 45 BES</p>

En la tabla anterior, la flecha roja muestra la capa de compuestos intermetálicos formada en la unión entre la soldadura y el sustrato. Se puede apreciar que en los sustratos evaluados a una temperatura de 255° C, la capa de intermetálicos es más gruesa y presenta una mejor definición si se comparara con la capa de intermetálicos formada en los sustratos evaluados a una temperatura de 245° C. Esto demuestra que el grosor de la capa de compuestos intermetálicos formada en el sustrato dependerá en gran medida de la temperatura además, por supuesto, del tipo de sustrato que se utilice.

A partir de la inspección mediante el microscopio electrónico de barrido se puede concluir que los sustratos que pasaron la prueba de soldabilidad presentaron una excelente adherencia a la soldadura. Una prueba de esto fue la buena formación de los compuestos intermetálicos entre la soldadura y el sustrato humectado.

En las piezas que pasaron la prueba de soldabilidad, la soldadura cubrió en un 100% la superficie de las terminales y casi no se encontraron residuos de fundente. En la siguiente figura se muestran dos piezas que pasaron la prueba de soldabilidad. La fotografía del lado derecho pertenece a un sustrato evaluado con soldadura libre de plomo y el sustrato del lado izquierdo fue evaluado utilizando soldadura de estaño y plomo.

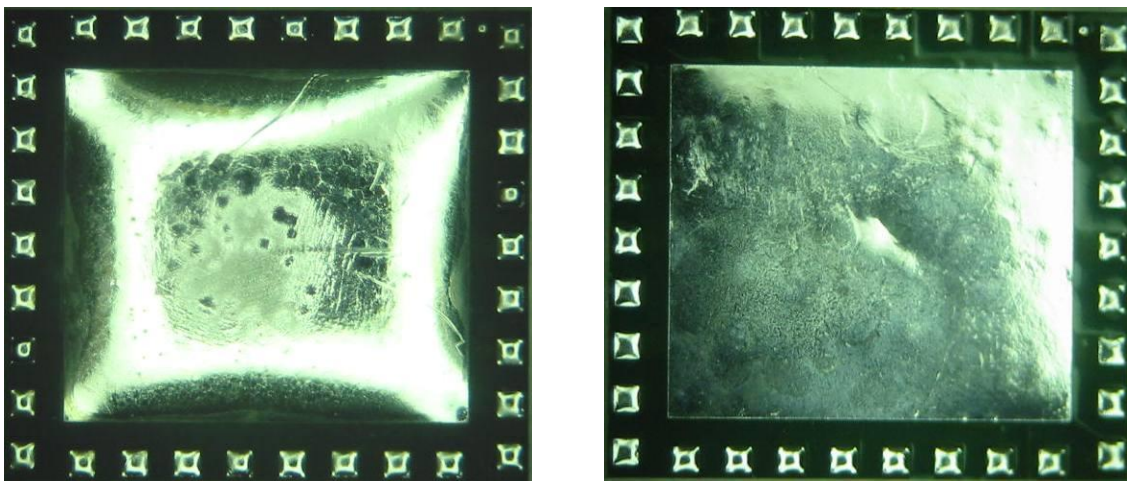










Figura 4-4: Piezas que pasaron la prueba de soldabilidad

Ambos substratos presentaron buena calidad de la superficie independientemente del tipo de aleación que se haya utilizado. En las piezas que pasaron la prueba de soldabilidad no se detectaron fallas estéticas como poros, irregularidades en la soldadura, grumos e interconexiones entre terminales; por lo que se puede decir que el desempeño de los dos tipos de aleaciones durante las pruebas de soldabilidad es semejante.

## CAPÍTULO 5: MÉTODO DE PRUEBA ALTERNO

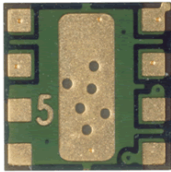
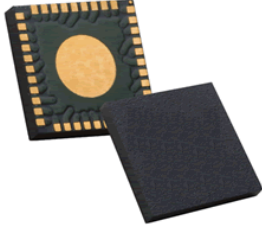
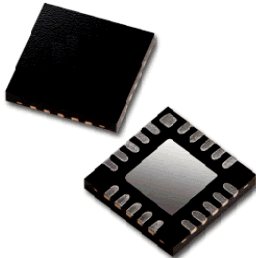
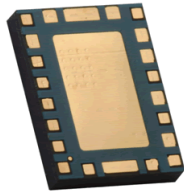
El método de “inmersión e inspección” descrito en el capítulo 1 y contenido en el estándar JESD22-B102 de la Asociación de Tecnología de Estado Sólido establece el procedimiento que se debe seguir para probar la soldabilidad de cualquier tipo de circuito integrado o elemento electrónico. Según el estándar, este método debe proporcionar resultados consistentes independientemente si se están evaluando circuitos con terminales que sobresalen del cuerpo del componente, como en el caso de los circuitos del tipo DIP, o si se evalúan circuitos cuyas terminaciones se encuentran en el cuerpo del componente, como los del tipo MCM descritos en el capítulo 2 y que fueron el objeto de estudio en esta investigación.

En la práctica se ha observado que los circuitos integrados, como los que se muestran en la tabla 5-1, presentan resultados consistentes cuando son evaluados mediante el método de “inmersión e inspección”. Este tipo de circuitos por lo general tienen terminales estañadas que salen del cuerpo del componente y están separadas entre 1 y 1.5 milímetros dependiendo del número de terminales que contenga el componente y su tamaño.

Tipo	Ejemplo	Tipo	Ejemplo
TO-220		DIP de 16 terminales	
SOT-23-5		DIP de 20 terminales	
DIP de 8 terminales		DIP de 40 terminales	
DIP de 14 terminales		PLCC de 52 terminales	

Sin embargo, tomando como precedente lo analizado en el capítulo 4, el método de “inmersión e inspección” no es el más adecuado para probar la soldabilidad de circuitos integrados en los que sus terminales se encuentran en el cuerpo del componente y están rodeadas de material dieléctrico de la máscara de soldado. Las terminales de este tipo de circuitos integrados tienen una capa muy delgada de oro sobre el substrato, aunque también existen aquellos con terminales cubiertas de estaño. Ejemplos de este tipo de circuitos integrados aparecen en la siguiente tabla.

**Tabla 5-2: Circuitos Integrados tipo MCM, LGA y QFN**

Tipo	Ejemplo	Tipo	Ejemplo
3x3 MCM		6x6 LGA	
4x4 QFN		6x8 MCM	

En la industria electrónica, los circuitos integrados como los mostrados en la tabla anterior son soldados utilizando un nuevo proceso de montaje en superficie mejor conocido como proceso SMT (*Surface Mount Technology*).

La tecnología de montaje en superficie significó un cambio revolucionario en la industria electrónica durante la década de 1960 ya que permitió colocar y ensamblar componentes en ambos lados de los tableros electrónicos. Sin embargo, esta tecnología no presentó un verdadero auge sino hasta 15 años después.

Fue a finales de la década de 1970 cuando la tecnología de montado en superficie representó una opción práctica para satisfacer los requerimientos de los nuevos diseños de tableros electrónicos. Estos nuevos diseños requerían la utilización de circuitos integrados con un mayor número de terminales la cuales eran de menor tamaño y tenían una menor separación entre ellas. Con el paso de los años, los diseños de estos tableros requirieron el montado de un mayor número de circuitos integrados y componentes pasivos en un área cada vez menor [5]. Un ejemplo de esto, son los tableros electrónicos para teléfonos celulares cuya densidad de componentes es alta.

Actualmente la mayoría de los circuitos integrados manufacturados en el mundo son diseñados para ser ensamblados mediante esta tecnología. Tal es el caso de los circuitos tipo PLCC, QFN, SOT, LGA y MCM.

La tecnología de montado en superficie permite diseñar procesos de manufactura con un alto grado de automatización, mayor densidad de componentes en los tableros electrónicos, menor costo de ensamble y un mejor desempeño. El montado de un mayor número de componentes electrónicos en un área pequeña permite manufacturar sistemas electrónicos de menor tamaño y peso para aplicaciones que van desde aparatos portátiles como celulares y agendas electrónicas hasta robots compactos y especializados para la exploración espacial.

Dentro del estándar JESD22-B102 de la Asociación de Tecnología de Estado Sólido, se describe un método alternativo al procedimiento de inmersión e inspección para realizar las pruebas de soldabilidad. Este método conocido como Simulación del Proceso de Montado en Superficie, describe los pasos a seguir para probar la soldabilidad de los circuitos integrados en los que sus terminales se encuentran en el cuerpo del componente como los del tipo MCM y LGA. El objetivo principal es simular el proceso de montado y soldado de este tipo de circuitos integrados para anticipar problemas de soldabilidad u otros defectos relacionados con el proceso de soldado. La ventaja de este método es que se tiene una mejor visibilidad de los problemas que se pudieran presentar durante el proceso de ensamble en la línea de producción de los clientes y así evitar costos debido a problemas de calidad en los circuitos integrados.

La prueba de soldabilidad mediante simulación del proceso de montaje en superficie consiste en los siguientes pasos:

1. **Recolección de la muestra.** Los circuitos que serán evaluados deberán ser recolectados en forma aleatoria de la línea de producción. Se debe tener un manejo especial utilizando guantes para evitar la contaminación de las muestras. Con el fin de obtener resultados reales, las terminales de los circuitos no deberán ser limpiadas ni pulidas antes de realizar la prueba de soldabilidad.
2. **Envejecimiento en atmósfera de vapor de agua de-ionizada.** Las terminales de los circuitos integrados deben ser expuestas a un ambiente de vapor de agua de-ionizada con el propósito de simular su almacenamiento por un tiempo prolongado. Los dispositivos deben ser colocados con las terminales hacia arriba y separados entre sí dentro de la cámara de envejecimiento. Es importante que el contenedor donde sean colocadas las muestras se encuentre libre de cualquier contaminación y debe ser de material inoxidable.
3. **Secado de terminales.** Al término del envejecimiento en ambiente de vapor, los dispositivos deben ser secados al aire a temperatura ambiente por un mínimo de 15 minutos.
4. **Impresión de soldadura en forma de pasta.** Se debe colocar la soldadura en forma de pasta sobre una plantilla especialmente diseñada para el circuito integrado que será evaluado. La plantilla debe tener orificios que sean iguales a la geometría de las terminales de los circuitos. Debajo de la plantilla se coloca un sustrato de material cerámico y se esparce la pasta que está sobre la plantilla con el fin de imprimir la pasta sobre el sustrato. Para esparcir la pasta se puede utilizar una espátula o alguna herramienta similar. Después de realizar esto, es necesario retirar la plantilla con mucha cautela para evitar barrer la pasta impresa en el sustrato.
5. **Montaje de circuito integrado sobre la pasta.** Los circuitos son montados sobre la impresión de pasta. Es necesario inspeccionar que las terminales de los circuitos integrados se encuentren debidamente alineados y concuerden con la geometría de la pasta. Para colocar los componentes se pueden utilizar pinzas.

6. **Horneado en horno de reflujo y enfriamiento.** Una vez montados los circuitos integrados sobre la pasta, en necesario hornear el substrato y los circuitos utilizando un horno de reflujo. Las condiciones del proceso de reflujo que se recomienda en el estándar JESD22-B102 se muestran en la tabla 5-3.

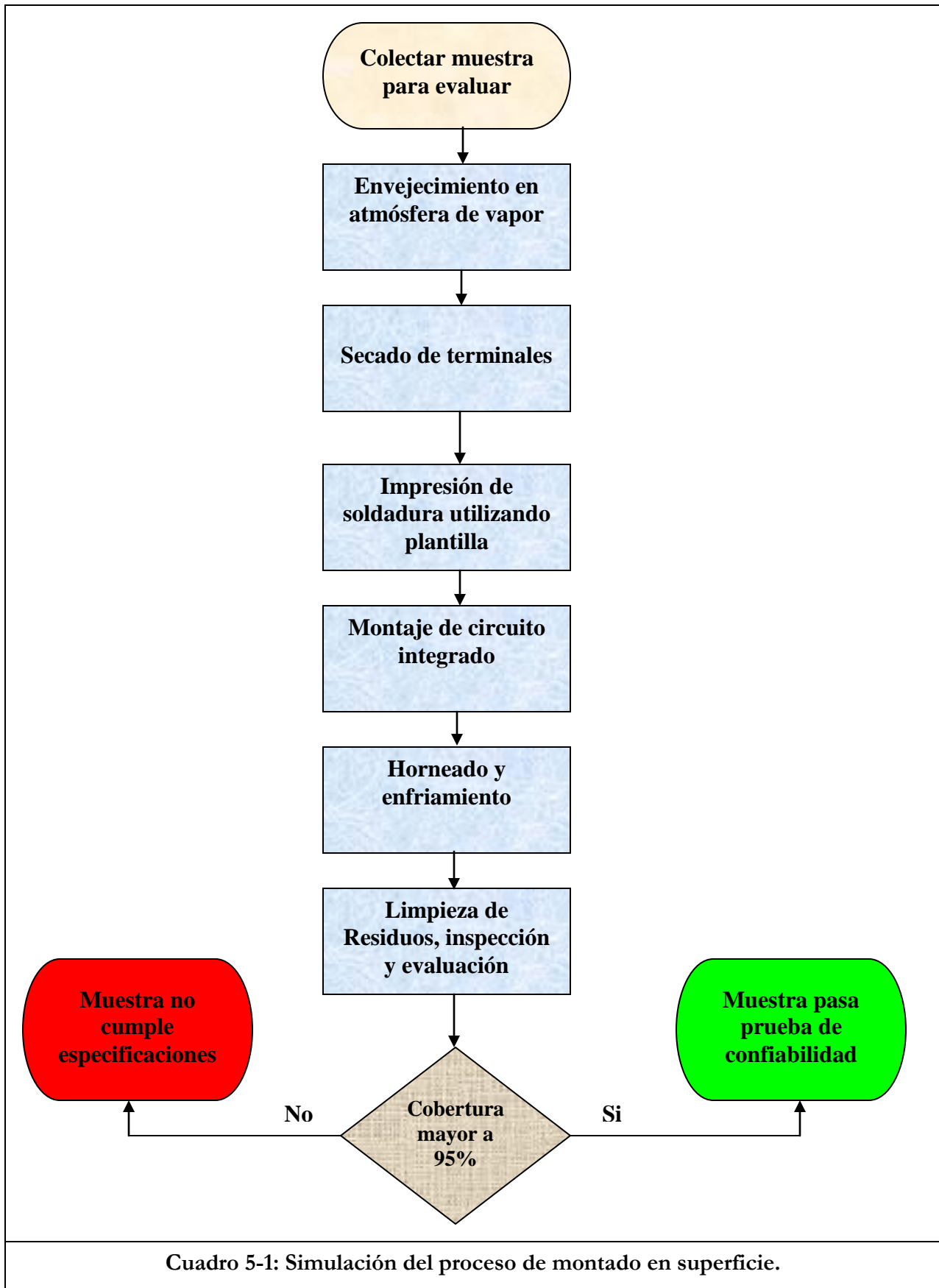
**Tabla 5-3: Condiciones de reflujo para pruebas de soldabilidad.**

Parámetro	Prueba utilizando soldadura con plomo	Prueba utilizando soldadura libre de plomo.
Temperatura de precalentamiento.	150 – 170 °C	160 – 180 °C
Tiempo de precalentamiento	50 – 70 s	50 – 70 s
Temperatura máxima de reflujo	215 – 230 °C	230 – 245 °C
Tiempo en temperatura máxima de reflujo	50 – 70 s	50 – 70 s

Al terminar el reflujo de los componentes se debe retirar el substrato cerámico del horno para enfriarse a temperatura ambiente.

7. **Limpieza de residuos de fundente, inspección y evaluación de las terminales del circuito integrado.** Una vez que los componentes se enfriaron a temperatura ambiente se deben remover cuidadosamente del substrato de cerámica utilizando pinzas. Es posible que los componentes se hayan adherido ligeramente al substrato debido a los residuos de fundente sobre el substrato. Los residuos de fundente se pueden limpiar utilizando alcohol isopropílico o algún otro solvente apropiado. Las terminales deben ser inspeccionadas utilizando una magnificación entre 10 y 20X. Durante la inspección se debe corroborar que sobre las terminales exista una capa de soldadura continua libre de defectos en un 95% del área de la terminal.

En el siguiente diagrama de flujo se muestra el procedimiento general para llevar a cabo la simulación del proceso de montaje en superficie y asegurar la buena soldabilidad de los circuitos integrados.



Sin embargo, en los procesos de la industria electrónica por lo general se utilizan perfiles de temperatura muy diferentes al descrito en el punto número 6 del procedimiento anterior. Estos perfiles utilizan una temperatura más elevada pero con una duración menor en el pico. Es importante señalar que durante la etapa de calificación y prueba de nuevos productos, los circuitos integrados son evaluados utilizando este tipo de perfiles más severos para exponerlos a condiciones de esfuerzo extremas y de esta manera descubrir defectos en los materiales que originen problemas de confiabilidad y calidad. En la figura 5-1 se muestra una gráfica del perfil de temperatura genérico que se utiliza comúnmente en la industria durante el proceso de reflujo y también durante la etapa de prueba de nuevos productos.

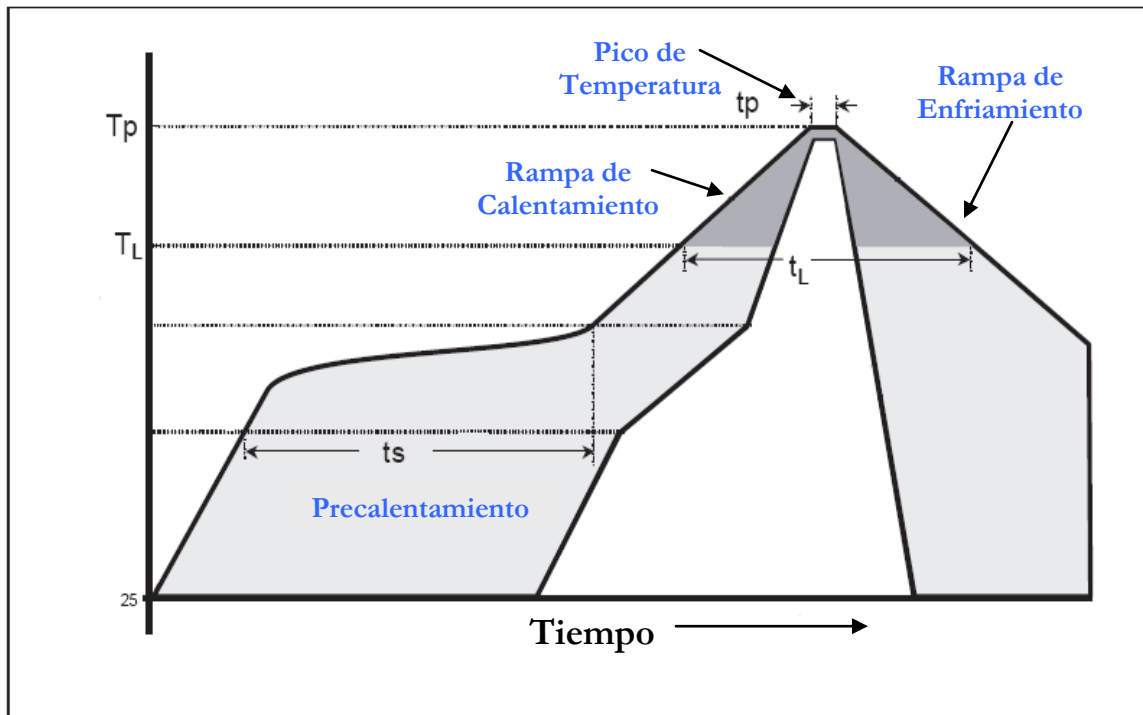


Figura 5-1: Perfil de temperatura para proceso de reflujo

El perfil de temperatura se debe ajustar dependiendo del tipo de soldadura que se utilice durante el proceso de reflujo. El proceso que utiliza soldadura libre de plomo requerirá temperaturas más elevadas y por lo tanto los circuitos integrados serán expuestos a condiciones de esfuerzo más severas. En la tabla 5-4, se muestran los parámetros del perfil de reflujo para ambos tipos de soldadura obtenidos del estándar J-STD-020 de JEDEC, los cuales son utilizados comúnmente durante la evaluación de nuevos circuitos integrados.

<b>Tabla 5-4 : Parámetros del perfil de reflujo para diferentes tipos de soldadura</b>		
<b>Parámetro de Reflujo</b>	<b>Soldadura Estaño-Plomo</b>	<b>Soldadura libre de Plomo</b>
<b>Precalentamiento:</b>		
-Temperatura mínima:	100 °C	150 °C
-Temperatura máxima:	150 °C	200 °C
-Tiempo ( $t_s$ ) desde temperatura mínima hasta temperatura máxima:	60 – 120 segundos	60 – 180 segundos
<b>Rampa de Calentamiento:</b>		
- Tasa de calentamiento máxima:	3 °C / segundo	3 °C / segundo
-Temperatura $T_L$ :	183 °C	217 °C
-Tiempo arriba de temperatura $T_L$ :	60 – 150 segundos	60 – 150 segundos
-Tiempo máximo desde 25°C hasta el pico de temperatura $T_p$ :	6 minutos	8 minutos
<b>Pico de Temperatura:</b>		
-Pico de temperatura:	<b>Ver tabla 5-5</b>	<b>Ver tabla 5-6</b>
-Tiempo ( $t_p$ ) en el pico de temperatura:	10 – 30 segundos	20 – 40 segundos
<b>Rampa de Enfriamiento:</b>		
-Tasa de enfriamiento máxima:	6 °C / segundo	6 °C / segundo

Las siguientes tablas muestran la temperatura máxima a la que pueden ser expuestos los circuitos integrados tomando en cuenta su grosor y volumen total. Los valores de la tabla 5-5 deben ser utilizados para el proceso en el que se utilice soldadura con plomo. En la tabla 5-6 aparecen los picos de temperatura máximos para el proceso donde la soldadura no contiene plomo [16].

**Tabla 5-5: Temperaturas máximas para proceso con soldadura Sn-Pb**

Grosor de circuito integrado	Volumen menor a 350 mm <sup>3</sup>	Volumen mayor o igual a 350 mm <sup>3</sup>
Menor a 2.5 mm	240 °C	225 °C
Mayor o igual a 2.5 mm	225 °C	225 °C

**Tabla 5-6: Temperaturas máximas para proceso con soldadura libre de plomo**

Grosor de circuito integrado	Volumen menor a 350 mm <sup>3</sup>	Volumen entre 350 y 2000 mm <sup>3</sup>	Volumen mayor a 2000 mm <sup>3</sup>
Menor a 1.6 mm	260 °C	260 °C	260 °C
Entre 1.6 y 2.5 mm	260 °C	250 °C	245 °C
Mayor o igual a 2.5 mm	250 °C	245 °C	245 °C

La creación de perfiles de temperatura para ser utilizados en los hornos de reflujo representa el paso más importante antes de realizar la prueba de soldabilidad mediante el método de simulación de montado en superficie.

Con el fin de asegurar la excelente calidad de los circuitos integrados y anticipar problemas de confiabilidad, se puede establecer un acuerdo entre el cliente y el fabricante de circuitos integrados para cambiar las condiciones de reflujo y utilizar un perfil como el descrito en la tabla 5-4 durante las pruebas de soldabilidad. Esto asegurará que los circuitos integrados soportarán las más severas condiciones de ensamble y se podrán adecuar a los requerimientos finales del cliente.

La mayoría de los fabricantes de circuitos integrados aseguran, dentro de sus especificaciones, que sus circuitos soportan tasas de calentamiento entre 2 y 4° C/segundo. Una tasa de calentamiento muy brusca puede originar rupturas y grietas en el circuito causadas principalmente por esfuerzo térmico, humedad atrapada en el cuerpo del circuito integrado e incompatibilidad en los coeficientes de expansión térmica de los diferentes materiales que conforman el circuito integrado. Esto último se da frecuentemente en los circuitos integrados que contienen materiales cerámicos.

En el caso de la pasta para soldar, un incremento brusco de la temperatura puede causar un cambio drástico en la viscosidad de la pasta antes de que el solvente contenido en la misma tenga oportunidad de evaporarse completamente. Asimismo, una rápida

evaporación de los solventes contenidos en la pasta puede originar otros problemas como mala humectación de la soldadura y formación de uniones irregulares.

El propósito principal del precalentamiento es evaporar los solventes en forma controlada y activar el fundente para que éste pueda eliminar los óxidos contenidos en la superficie a soldar. El rango típico de temperatura de precalentamiento recomendado por los proveedores de pasta para soldar es entre 150° C y 200° C. La mayoría de los fundentes se activan a temperaturas superiores a los 150° C. La tasa de evaporación de los solventes puede variar significativamente de una pasta a otra, dependiendo del tipo de solvente contenido en ella.

También durante la etapa de precalentamiento, la temperatura de los circuitos integrados y el tablero electrónico en el que serán montados se equilibra antes de entrar a la zona crítica de reflujo donde se alcanzará la máxima temperatura y la soldadura será fundida para formar las uniones entre sustrato y soldadura. Si existe un gradiente de temperatura significativo en esta etapa crítica se pueden presentar problemas severos como: componentes dañados por el exceso de temperatura en algunas zonas así como también, terminales de algunos componentes sin soldar por falta de temperatura en otras zonas del mismo tablero electrónico. De igual forma, es común que se presenten defectos como mala humectación de soldadura y componentes levantados ocasionados por esta situación.

Sin embargo, un tiempo prolongado de precalentamiento fomentará la oxidación de la soldadura y la evaporación del fundente ocasionando retraimiento de la soldadura, huecos y una mala humectación. Las pastas para soldar que dejan pocos residuos y las que son solubles en agua parecen ser más sensibles a tiempos prolongados de precalentamiento. El tiempo de precalentamiento más utilizado en la industria oscila entre los 30 y 150 segundos.

En la zona de calentamiento se recomienda tener un pico de temperatura de por lo menos 200° C para obtener buenas uniones entre sustrato y soldadura. A pesar de que las soldaduras que contienen estaño y plomo presentan temperaturas de fusión de 183° C se necesitan temperaturas un poco más elevadas para lograr que la soldadura fluya adecuadamente y humecte el sustrato o terminales de los circuitos integrados.

Sin embargo, cuando sea posible, siempre es preferible tener picos de temperatura de por lo menos 225° C. El pico máximo de temperatura permitido está determinado en base a la composición química de la pasta para soldar, las características de los circuitos integrados y

los materiales que componen los tableros electrónicos en donde son montados los circuitos. En general, picos de temperatura demasiado altos provocarán decoloración y degradación de los materiales que componen los substratos y tableros electrónicos, deterioro de las características eléctricas de los circuitos, uniones de soldadura irregulares y residuos de fundente carbonizados. Los picos máximos de temperatura usados comúnmente varían desde 230° C a 250° C [5]. Sin embargo, actualmente existen procesos en los que ya se utilizan picos de 260° C.

El tiempo en que los circuitos integrados permanecen arriba de la temperatura de fusión se debe de mantener lo más corto posible. Un tiempo prolongado a temperatura alta conduce a un crecimiento más rápido de intermetálicos lo que ocasiona uniones de soldadura débiles debido a la naturaleza quebradiza de los compuestos intermetálicos [17]. El tiempo típico arriba de la temperatura de fusión varía de 30 a 90 segundos dependiendo del pico de temperatura utilizado.

El método de reflujo por convección es el más utilizado dentro de la industria electrónica ya que, comparado con otros métodos, representa un bajo costo al momento de la compra inicial del equipo y dispositivos, así como también en su mantenimiento posterior cuando el proceso ya ha sido implementado. Las principales ventajas de este método son las siguientes:

1. Los objetos que pasan por el horno de reflujo por convección son calentados en forma uniforme.
2. La transferencia de calor a los dispositivos electrónicos se puede realizar en forma paulatina y de esta manera evitar la formación de grietas en el material causadas por choques térmicos.
3. La transferencia de calor controlada suministra un precalentamiento adecuado al fundente durante su activación.

Por lo general, los hornos de reflujo por convección utilizan varias placas metálicas perforadas que son distribuidas a lo largo del horno para formar múltiples zonas de calentamiento a diferentes temperaturas. Las placas funcionan como calentadores y tienen orificios por los cuales se hace pasar aire o algún otro gas que se calienta y llega hasta el tablero electrónico que está siendo procesado. Después de calentar el tablero electrónico, el

gas sale del horno por unos conductos de extracción. En todo el proceso de reflujo, los tableros electrónicos son transportados a través del horno mediante una banda transportadora. Tanto la velocidad de la banda transportadora como la temperatura de cada una de las placas que conforman las diferentes zonas de calentamiento son controladas a través de un sistema retroalimentado controlado por computadora. Este sistema de control y calentamiento por zonas permite crear perfiles de temperatura muy estables y confiables. En la siguiente figura se muestra el ejemplo de un horno de reflujo por convección.



**Figura 5-2: Horno de reflujo por convección.**

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones derivadas de este estudio y algunas recomendaciones para evaluar la soldabilidad de los substratos laminados en forma adecuada y consistente se enlistan a continuación:

### 6.1 Conclusiones.

1. Es necesario que la soldabilidad de los circuitos microelectrónicos sea evaluada siguiendo métodos consistentes y efectivos.
2. El método de “inmersión e inspección” no es el más adecuado para evaluar la soldabilidad de circuitos integrados en los que sus terminales se encuentran en el cuerpo del componente y están rodeadas de material dieléctrico de la máscara de soldado.
3. Los circuitos integrados que utilizan substratos como los que fueron caracterizados durante el trabajo de investigación deben ser evaluados preferentemente mediante el método alternativo que simula del proceso de montaje en superficie.
4. Para los circuitos como del tipo DIP, con terminales que salen del cuerpo del componente, el método de inmersión e inspección se puede utilizar sin ningún inconveniente.
5. La hipótesis inicial fue descartada al no encontrarse pruebas de contaminación de partículas sobre el substrato de los circuitos integrados antes de las pruebas de soldabilidad. Tampoco se encontraron contaminantes en la soldadura que se

utilizó durante las pruebas. Los fundentes Kester 182 y 186 tuvieron un desempeño idéntico y el análisis efectuado mediante FTIR no mostró diferencias en su composición química.

6. Todas las fallas de soldabilidad que se presentaron durante la ejecución de los experimentos fueron causadas por los residuos de fundente que se quedaron adheridos en la superficie de la terminal. Estos residuos propiciaron que la tensión interfacial entre el substrato y la soldadura se incrementara a tal grado que no fuera posible que la soldadura fundida humectara adecuadamente la superficie.
7. El mecanismo de falla está relacionado con el método de prueba y el diseño del circuito integrado. El mecanismo de falla se puede explicar de la siguiente manera:

Después de que las terminales de los circuitos son impregnadas de fundente, éstas son sumergidas en la soldadura fundida cuya temperatura mínima es 245° C. Al momento en que las terminales tocan la superficie de la soldadura, el solvente del fundente es evaporado abruptamente y quedan depositados los residuos sólidos del fundente sobre la terminal y la máscara de soldado. Estos residuos sólidos se adhieren y cristalizan con la temperatura, formando una matriz de carbono la cual es muy difícil de remover.

8. El acumulamiento de residuos de fundente es propiciado en buena medida por el diseño del substrato que compone el circuito integrado. Este substrato tiene terminales definidas por la máscara de soldado que crea una cavidad sobre las terminales. Esta cavidad no permite que se desplacen los residuos hacia las orillas del circuito integrado, quedándose depositadas en la periferia de las terminales y sobre la máscara de soldado. El problema anterior se acrecenta si las terminales tienen un exceso de fundente.

## 6.2 Comentarios.

Otra razón para concluir que el método de prueba es una de las causas principales de las fallas de soldabilidad es que los circuitos integrados de los mismos números de lote que fueron enviados a los clientes no tuvieron problemas de soldabilidad. Estos circuitos fueron ensamblados en la línea del cliente mediante el proceso de montaje en superficie. Cabe señalar que los clientes utilizan pastas para soldar con fundentes más agresivos que los que se utilizaron durante las pruebas de este estudio.

Las piezas que sí pasaron las pruebas de soldabilidad, incluyendo las piezas de grupos donde se presentaron fallas de soldabilidad, mostraron una excelente adherencia a la soldadura. Una prueba de esto fue la buena formación de los compuestos intermetálicos entre la soldadura y el sustrato humectado. En estas piezas, la soldadura cubrió en un 100% la superficie de las terminales y casi no se encontraron residuos de fundente. Todas mostraron una buena calidad de la superficie independientemente del tipo de aleación que se haya utilizado. En éstas tampoco se detectaron fallas estéticas como poros, irregularidades en la soldadura, grumos e interconexiones entre terminales; por lo que se puede decir que el desempeño de los dos tipos de aleaciones de soldadura es semejante.

Para realizar las pruebas de soldabilidad es importante contar con un método confiable, consistente y robusto que nos ayude a detectar si existe un problema real de soldabilidad a causa de deterioro de los sustratos, corrosión, contaminación de las terminales, entre otros mecanismos de falla. Ya se estableció durante este estudio, que todos los materiales como soldadura, fundentes, así como los sustratos evaluados se encontraron libres de contaminantes y en óptimas condiciones durante el desarrollo de las pruebas. Por lo tanto, el siguiente paso a seguir es evaluar un método adecuado para probar la soldabilidad de los sustratos laminados utilizados en los circuitos del tipo MCM.

### 6.3 Recomendaciones.

- Los circuitos que utilizan substratos laminados deben ser evaluados mediante el método de simulación del proceso de montaje en superficie. Con este método se pueden tener ahorros significativos en insumos ya que sólo es necesario contar con una plantilla con la geometría de las terminales, un substrato de material cerámico, pasta para soldar y algunos utensilios baratos como espátulas y pinzas para el montaje de circuitos integrados. El horno de reflujo por convección es un equipo básico con el que cuentan la mayoría de las fábricas manufactureras de circuitos integrados, por lo que no se tendría que invertir en la compra de un horno de este tipo. Se puede utilizar algún horno que ya se encuentre en operación dentro de la planta. La prueba tomaría solamente algunos minutos por lo que no representaría un costo en tiempo significativo para la empresa. Las plantillas para la impresión de pasta se pueden elaborar en cualquier taller de maquinado utilizando placas pequeñas de aluminio o algún otro metal barato. Otra ventaja de utilizar este método es que ya no se tendría que invertir en la compra de fundentes, los cuales muchas veces son caros porque se tienen que comprar en grandes volúmenes. Ahora se tiene la opción de utilizar pasta para soldar, la cual ya trae la porción de fundente requerida para remover los óxidos de la superficie que será soldada. El método presenta las siguientes ventajas:

- ❖ Los objetos que pasan por el horno de reflujo por convección son calentados en forma uniforme. También, la transferencia de calor a los dispositivos electrónicos se puede realizar en forma paulatina y de esta manera evitar la formación de grietas en el material causadas por choques térmicos. Con la transferencia de calor controlada se obtiene un precalentamiento adecuado al fundente de la pasta durante su activación.

- ❖ Se tiene una mejor visibilidad de los problemas que se pudieran presentar durante el proceso de ensamble en la línea de producción de los clientes y así

evitar costos debido a problemas de calidad en los circuitos integrados. Si finalmente, el circuito integrado va a ser ensamblado utilizando la tecnología de montaje en superficie, conviene también probar su soldabilidad utilizando condiciones semejantes de ensamble.

- Se recomienda evaluar los circuitos integrados tomando los parámetros de prueba que se asemejen, lo más posible, a las condiciones reales a las que serán sujetos estos circuitos durante su ensamble final. De esta forma, se pueden detectar problemas de calidad de forma oportuna. Si un cliente o manufacturador final, tiene parámetros o estándares más severos a los utilizados por el fabricante de circuitos integrados sería conveniente utilizar los estándares más severos para garantizar la calidad de estos circuitos.
- El método de simulación del proceso de montaje en superficie representa mejoras sustanciales para la evaluación de los circuitos ensamblados con substratos laminados. Mediante este método se pueden evitar fallas de soldabilidad como las descritas en el capítulo 4, atribuibles a la elección de un método de prueba erróneo y que no tienen nada que ver con posibles problemas relacionados con el deterioro de los substratos o los materiales que conforman el circuito integrado.

Hoy en día las pruebas de calidad a los circuitos integrados representan una herramienta que permite la mejora de los productos y anticipa problemas de calidad que pudieran afectar al cliente final. Los clientes esperan tener productos electrónicos confiables, robustos, a prueba de fallas y de excelente calidad. Todas estas características mencionadas deben estar inherentes en el producto y no representar un costo adicional al cliente final. Las mejoras de calidad que pudiera experimentar un producto desde su etapa inicial de diseño hasta su ensamble final y prueba no deben ser vistas como un costo para la compañía manufacturadora, sino como una ventaja competitiva. Por eso, las pruebas de soldabilidad, así como las demás pruebas de calidad adicionales que

pudieran realizarse a los circuitos integrados deben ser valoradas como de vital importancia. De igual forma, el análisis de fallas de circuitos microelectrónicos y la información obtenida de dicho análisis debe ser difundida por toda la compañía con el fin de mejorar los procesos industriales y de esta forma mejorar la calidad de los productos.

---

---

## GLOSARIO

### A

- Abrasivo** Componente sólido que se presenta en pequeñas partículas y que es utilizado para producir desgaste por fricción.
- Adhesión** Propiedad de la materia por la cual se unen dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares.
- Aislante** Material que impide o reduce la conducción de calor o electricidad.
- Aleación** Mezcla sólida de dos o más metales obtenida mezclándolos en estado de fusión y enfriando. Aleaciones importantes son el bronce (cobre, estaño y zinc), el latón (cobre y zinc) y el acero.
- Análisis de falla** Se define como el análisis de un circuito con el fin de encontrar el origen de la falla o mecanismo de falla que impide su correcto funcionamiento.

### C

- Capa de sustrato** Una de las cubiertas, de material conductor o dieléctrico, que en conjunto con otras capas conforman el sustrato del circuito integrado.
- Capacitor** Es un dispositivo formado por dos conductores, generalmente en forma de placas o láminas, separados por un material dieléctrico, que sometidos a una diferencia de potencial adquieren una determinada carga eléctrica.
- Cerámica** La palabra cerámica en su sentido estricto se refiere a la arcilla en todas sus formas. Sin embargo, el uso moderno de este término incluye a todos los materiales inorgánicos no metálicos. Los materiales cerámicos son generalmente frágiles o vidriosos. Casi

- siempre se fracturan ante esfuerzos de tensión y presentan poca elasticidad, dado que tienden a ser materiales porosos
- Circuito integrado** Circuito electrónico miniaturizado, capaz de realizar todas las funciones de uno convencional. Puede contener numerosos transistores, diodos, condensadores y resistencias que se fabrican y colocan en un simple sustrato.
- Coefficiente de expansión térmica** Es la razón del cambio de longitud de un cuerpo debida al cambio de temperatura que experimenta.
- Colofonia** Resina sólida que se obtiene mediante el calentamiento de la resina líquida de pinos u otras coníferas. Es una resina semitransparente que varía en color desde amarillo hasta negro. A temperatura ambiente es quebradiza y está compuesta principalmente por ácido abiótico.
- Componente** Término utilizado indistintamente que, dependiendo del contexto, se puede referir a un elemento pasivo o activo, dispositivo electrónico, circuito integrado o la parte de un sistema.
- Componente activo** Elementos que conectados a un circuito eléctrico proporcionan una ganancia de voltaje o corriente al circuito o tienen la facultad de direccionar dicha corriente. Ejemplos de componentes activos son: diodos, transistores y tiristores.
- Componente pasivo** Elementos que no pueden realizar funciones de amplificación o direccionamiento de la corriente eléctrica. Ejemplos de componentes pasivos son: resistencias, capacitores e inductores.
- Conductor** Toda sustancia, medio o material que conduce la electricidad, el calor o el sonido.
- Convección** La convección es uno de los procesos de transporte de calor y se caracteriza porque éste se produce a través del transporte de materia desde regiones a diferente temperatura. La convección se produce únicamente en fluidos. Éstos al calentarse disminuyen su

densidad y flotan, dejando su lugar a fluidos más fríos que descienden calentándose. El resultado es el transporte de calor por medio de las corrientes de fluido ascendente y descendente

## D

- Degradación** Pérdida de la calidad de un material que se traduce en un deterioro de sus propiedades eléctricas, ópticas o mecánicas.
- Densidad** Relación que existe entre la masa y el volumen de un material.
- Dieléctrico** Se denomina dieléctricos a los materiales que no conducen la electricidad, por lo que pueden ser utilizados como aislantes. Algunos ejemplos de este tipo de materiales son el vidrio, la cerámica, la cera, el papel, la madera seca, la porcelana, algunas grasas para uso industrial y electrónico y la baquelita.
- DIP** Acrónimo en inglés que significa *Dual In-line Package* y denota a aquellos circuitos integrados que tienen terminales en línea en dos extremos opuestos del encapsulado.

## E

- Epóxico** Resina líquida que pasa a estado sólido al ser mezclada con un agente endurecedor.
- Esfuerzo térmico** Fatiga que presentan los materiales debido a los cambios de temperatura.
- Espectroscopía infrarroja.** Técnica analítica utilizada para identificar materiales orgánicos y en algunos casos también inorgánicos. Esta técnica mide la absorción de rayos infrarrojos por los materiales analizados. Las bandas de absorción del espectro infrarrojo son características para diferentes materiales lo que permite identificar componentes moleculares y estructuras específicas.

**Espectrómetro de energía dispersiva de rayos X** Técnica analítica que permite obtener el espectro de rayos X de una muestra que es bombardeada con un haz de electrones. La energía de los rayos X obtenida por el bombardeo, es característica de cada uno de los diferentes elementos que componen la muestra y esto permite identificarlos con gran exactitud.

## F

**Fundente** Sustancia que se emplea para eliminar óxidos y otras sustancias no deseadas o impedir su formación durante el proceso de soldado.

## H

**Haluro** Un haluro es un compuesto binario en el cual una parte es un átomo halógeno y la otra es un elemento o radical que es menos electronegativo que el halógeno. Según el átomo halógeno que forma el haluro éste puede ser un fluoruro, cloruro, bromuro o yoduro.

**Horno de reflujo** Es un horno especial utilizado comúnmente en la industria de circuitos impresos. En este horno, el componente es calentado con el fin de fundir la impresión de soldadura y provocar su flujo hacia el componente. Con el reflujo, cualquier defecto en el substrato no se humectará, indicando claramente las áreas donde la soldadura está faltando.

## I

**Inductor** Es un componente electrónico pasivo que genera un campo magnético cuando una corriente lo atraviesa, y almacena esa energía en forma de campo magnético. Por lo general, se componen de un espiral o rollo de alambre.

**Inorgánico** Materia sin procesos metabólicos como son todos los minerales.

**Intermetálico** Compuestos químicos formados entre los metales presentes en la soldadura, sustratos y películas metálicas protectoras. Los compuestos intermetálicos son necesarios para la formación de buenas uniones metalúrgicas, sin embargo un exceso de intermetálicos puede causar uniones quebradizas y frágiles.

## J

**JEDEC** Acrónimo en inglés que significa *Joint Electron Device Engineering Council*. Es un organismo, fundado en 1960, que se encarga de estandarizar las prácticas y procedimientos de ingeniería utilizados en la industria de electrónica y semiconductores.

## L

**LGA** Acrónimo en inglés que significa *Land-Grid Array*. Es un tipo de circuito integrado que utiliza un sustrato laminado y en el cual sólo se monta y alambra el microcircuito de material semiconductor. El microcircuito no va acompañado de componentes pasivos dentro del encapsulado.

## M

**Máscara de soldado** Es una cubierta protectora que cubre y aísla ciertas partes de los sustratos y tableros electrónicos con el fin de evitar interconexiones de las terminales durante el proceso de soldado.

**MCM** Acrónimo en inglés que significa *Multi-Chip Module*. Es un tipo de circuito integrado que contiene varios microcircuitos de material semiconductor interconectados entre sí. En el mismo encapsulado se pueden encontrar también varios tipos de componentes pasivos montados en el sustrato.

**Mecanismo de falla** Es aquel fenómeno físico causante de la falla de un microcircuito. Ejemplos de mecanismos de falla son: corrosión en los metales,

descargas electrostáticas y ruptura de materiales dieléctricos en el circuito. El objetivo de todo análisis de fallas es encontrar los mecanismos de falla para después recomendar acciones correctivas para el proceso de ensamble.

**Microcircuito** Es un circuito de dimensiones extremadamente reducidas compuesto por un gran número de transistores, diodos y elementos pasivos. El microcircuito es fabricado en su totalidad a partir de materiales semiconductores.

**Micrómetro** El micrómetro es la unidad de longitud equivalente a una millonésima parte de un metro. Se abrevia  $\mu\text{m}$ .

**Microscopio electrónico de barrido** Microscopio de alta resolución que emplea un haz de electrones durante su operación en vez del sistema de lentes y luz de los microscopios tradicionales.

**Microvía** Conductores localizados en el interior de un sustrato que interconectan diferentes capas del mismo. Las microvías también ayudan a disipar el calor generado en el interior del circuito integrado.

**Modo de falla** Es una descripción de la forma en la que falla un circuito integrado. Usualmente se mide la desviación de cada uno de los parámetros especificados en la hoja de datos del producto. Un modo de falla sería, por ejemplo, corriente de operación muy alto o voltaje de amplificación bajo.

## O

**Orgánico** Un compuesto orgánico es aquél formado principalmente por átomos de carbono, y otros átomos como hidrógeno y oxígeno.

**Óxido** Un óxido es un compuesto químico que contiene uno o varios átomos de oxígeno y otros elementos. Por ejemplo son óxidos el óxido nítrico o el dióxido de nitrógeno.

**P**

**Pasta para soldar** Es una mezcla de partículas de soldadura, fundente, solventes y aglutinantes que es impresa mediante una plantilla sobre los tableros electrónicos y luego horneados en un horno de reflujo con el fin de formar uniones metalúrgicas de soldadura.

**PLCC** Acrónimo en inglés que significa *Plastic Leaded Chip Carrier*. Es un tipo de circuito integrado con terminales metálicas que salen del cuerpo del componente en forma de J.

**Punto de ebullición** El punto de ebullición es la temperatura a la cual un elemento o compuesto químico pasa del estado líquido al estado gaseoso.

**Punto de fusión** El punto de fusión es la temperatura a la cual un elemento químico pasa del estado sólido al estado líquido.

**Q**

**QFN** Acrónimo en inglés que significa *Quad Flat package No lead*. Es un tipo de circuito integrado que no tiene terminales que sobresalgan del cuerpo del componente. En vez de éstas, tiene terminaciones metálicas por debajo del cuerpo del componente. Este tipo de circuito integrado es soldado en los tableros electrónicos mediante el proceso de montaje en superficie.

**R**

**Resina** Sustancia orgánica sólida o semifluida, dura, transparente y frágil; la producen principalmente los árboles como las coníferas.

**Resistencia eléctrica** Oposición que presentan los cuerpos a ser atravesados por una corriente eléctrica.

## S

- Semiconductor** Material que no es buen conductor eléctrico como el cobre, hierro y oro, pero tampoco es un buen aislante como el vidrio, la porcelana y el aire, manteniéndose en un término medio. Bajo ciertas condiciones, los semiconductores conducen muy bien, existiendo semiconductor tipo N y tipo P según tenga excedentes de electrones o falta de ellos. Habitualmente se utiliza el silicio, por su abundancia en la naturaleza, aunque inicialmente se utilizó el germanio. Los semiconductores tienen gran importancia en electrónica.
- SMT** Acrónimo en inglés que significa *Surface Mount Technology*. Es una técnica de manufactura en la que los componentes son diseñados para ser montados y soldados en la superficie de un substrato o tablero electrónico. Esta tecnología se utiliza en conjunto con un equipo de montaje de componentes automatizado.
- Soldadura** Es una aleación metálica, formulada para tener un punto de fusión específico. Cuando se funde, permite unir la superficie de los metales mediante un proceso conocido como soldado.
- Soldabilidad** Es una prueba de calidad para los circuitos integrados cuyo fin es determinar si un substrato o terminal metálica presentará buena adhesión a la soldadura al momento de ser unido o soldado a otra superficie.
- Solubilidad** Cantidad de sustancia que se disuelve en una determinada cantidad de disolvente.
- Soluto** Es aquel componente de una solución que se encuentra en menor cantidad y corresponde al componente que se disuelve en el solvente.
- Solvente** Se denomina solvente a aquella sustancia que permite la dispersión

de otra en su seno. Normalmente el solvente establece el estado físico de la disolución, por lo que se dice que el solvente es el componente de una disolución que está en el mismo estado físico que la disolución. El solvente universal es el agua.

**SOT** Acrónimo en inglés que significa *Small-Outline Transistor*. Es un tipo de encapsulado especialmente diseñado para transistores discretos y otros dispositivos de tres terminales.

**Substrato** Es la base o soporte en la cual se montan y alambran los microcircuitos integrados y componentes pasivos. En una de las etapas finales del proceso de ensamble de circuitos integrados, tanto el substrato como los componentes son recubiertos con una resina epóxica para protegerlos de los contaminantes y la humedad. Una vez que el circuito integrado ha sido ensamblado y probado eléctricamente, las terminales del substrato son soldadas en un tablero electrónico para formar parte de un sistema o aplicación final de mayor tamaño.

## T

**Tensión interfacial** Es la tensión localizada en la superficie que separa dos líquidos no miscibles. También se define como la fuerza tangencial localizada en la superficie que separa dos líquidos o un líquido y sólido causada por la diferencia de atracción entre las moléculas que componen cada material.

**Tensión superficial** Fuerza de atracción entre las moléculas de la superficie de un líquido y de las moléculas por debajo de ellas que permite que los líquidos presenten una gran tendencia a formar gotas.

**TO** Acrónimo en inglés que significa *Transistor Outline*. Es un tipo de encapsulado especialmente diseñado para transistores discretos.

V

**Viscosidad** Es la resistencia de un fluido a cambiar de forma al moverse por la causa que sea. Esa resistencia se debe a la cohesión de las partículas que lo componen, que ejercen una especie de fricción interna que perturba el movimiento o cambio de forma. Lo opuesto a la viscosidad es la fluidez.

**APÉNDICE**

**Tabla A-1. Clasificación de los fundentes de acuerdo al estándar J-STD-004.**

<b>Componente Básico del Fundente</b>	<b>Nivel de Reactividad / (Porcentaje de Haluros Disueltos)</b>	<b>Designación conforme al estándar</b>
Colofonia (RO)	Baja (0%)	<b>ROL0</b>
	Baja (<0.5%)	<b>ROL1</b>
	Moderada (0%)	<b>ROM0</b>
	Moderada (0.5%-2.0%)	<b>ROM1</b>
	Alta (0%)	<b>ROH0</b>
	Alta (>2.0%)	<b>ROH1</b>
Resina (RE)	Baja (0%)	<b>REL0</b>
	Baja (<0.5%)	<b>REL1</b>
	Moderada (0%)	<b>REM0</b>
	Moderada (0.5%-2.0%)	<b>REM1</b>
	Alta (0%)	<b>REH0</b>
	Alta (>2.0%)	<b>REH1</b>
Orgánico (OR)	Baja (0%)	<b>ORL0</b>
	Baja (<0.5%)	<b>ORL1</b>
	Moderada (0%)	<b>ORM0</b>
	Moderada (0.5%-2.0%)	<b>ORM1</b>
	Alta (0%)	<b>ORH0</b>
	Alta (>2.0%)	<b>ORH1</b>
Inorgánico (IN)	Baja (0%)	<b>INL0</b>
	Baja (<0.5%)	<b>INL1</b>
	Moderada (0%)	<b>INM0</b>
	Moderada (0.5%-2.0%)	<b>INM1</b>
	Alta (0%)	<b>INH0</b>
	Alta (>2.0%)	<b>INH1</b>

Tabla A-2. Muestras de soldadura contaminada.


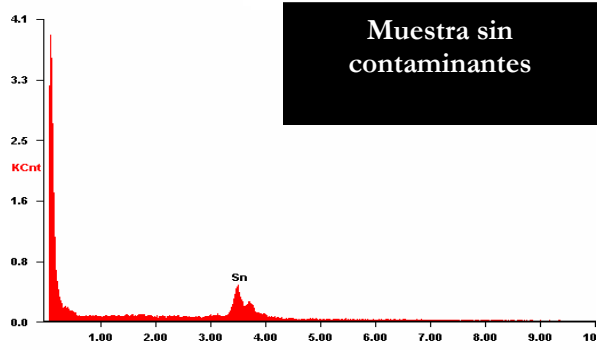

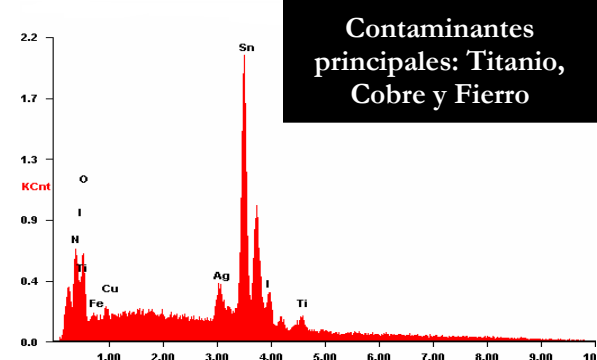
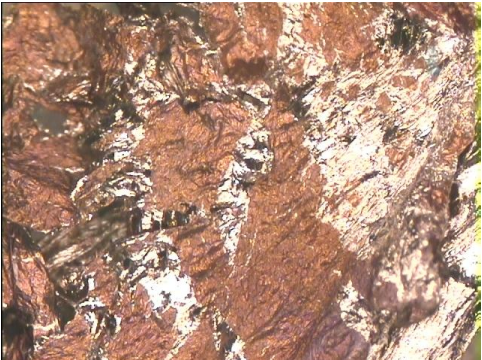
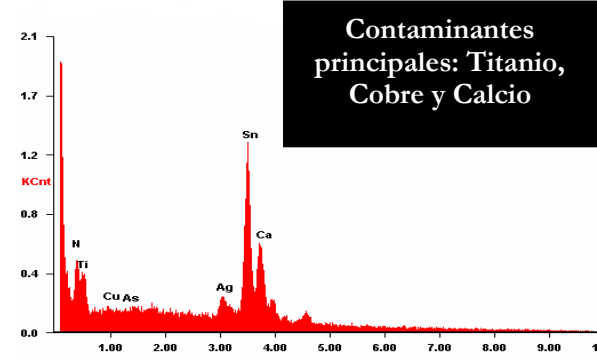

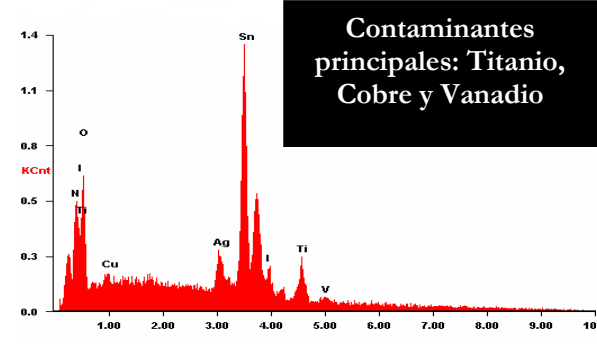
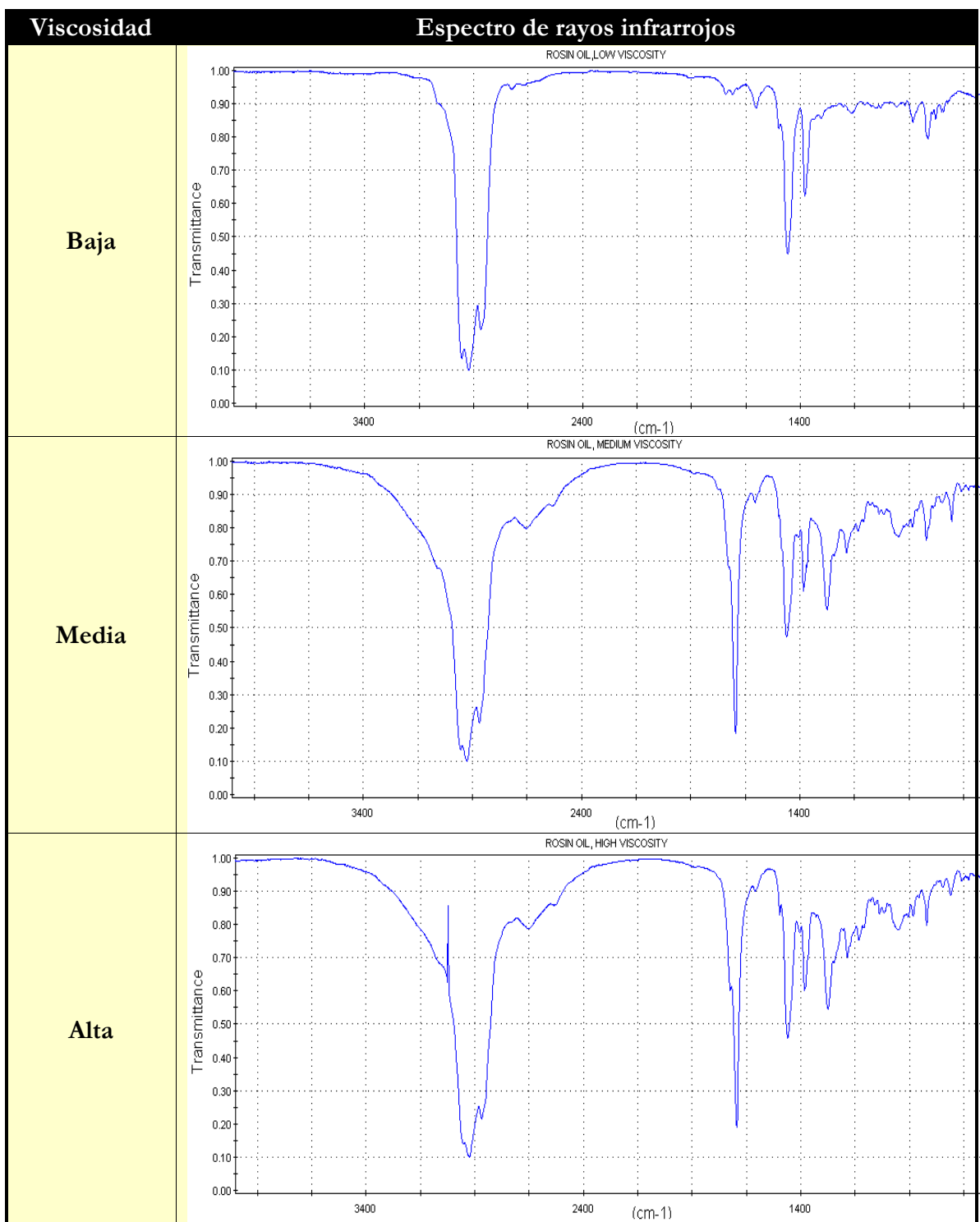
Imagen	Espectro de rayos X
	 <p data-bbox="1073 331 1386 457"><b>Muestra sin contaminantes</b></p>
	 <p data-bbox="1073 716 1386 842"><b>Contaminantes principales: Titanio, Cobre y Hierro</b></p>
	 <p data-bbox="1073 1121 1386 1247"><b>Contaminantes principales: Titanio, Cobre y Calcio</b></p>
	 <p data-bbox="1073 1526 1386 1652"><b>Contaminantes principales: Titanio, Cobre y Vanadio</b></p>

Tabla A-3. Comparación de fundentes del tipo colofonia con distintas viscosidades.



**Tabla A-4: Formato para resultados de análisis de fallas.**

Hoja 1 de 2

**1) Datos Generales**

Grupo:	
Acondicionamiento:	
Fundente:	
Soldadura:	
Temperatura:	

**2) Inspección Inicial.**

	<u>Resultados:</u>

**3) Inspección mediante microscopio electrónico de barrido (MEB).**

	<u>Resultados:</u>

**4) Espectro de dispersión de rayos X**

	<u>Resultados:</u>

**Tabla A-4: Formato para resultados de análisis de fallas.**

Hoja 2 de 2

**5) Mapeo de elementos mayoritarios**


**Resultados:**

--

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JEDEC Solid State Technology Association. (2004, Septiembre). *Solderability* (JESD22-B102D). Arlington, VA. JEDEC.
2. Ohring, Milton. (1998). *Reliability and Failure of Electronic Materials and Devices*. Estados Unidos. Academic Press.
3. elmBE Research. (2005). *A "Lead-Free" Semiconductor Industry*. <http://www.semiconfareast.com/pbfree.htm>. (1 Marzo 2005).
4. Kester (2005). *Propiedades físicas de las aleaciones sin plomo*. <http://www.kester.com/es-MX/leadfree/alloys.aspx?> (27 Octubre 2005).
5. Lee, Ning-Cheng. (2002). *Reflow Soldering Processes and Troubleshooting SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies*. Estados Unidos. Newnes.
6. Schneider, Alvin F. *Understanding the Flux Requirements of J-STD-004 and its Relationship to the Soldering Requirements of J-STD-001B*. <http://www.alphametals.com/products/techarticle/1999150010.pdf> (17 Septiembre 2005).
7. Wikipedia (6 Octubre 2005). *Tensión Superficial*. [http://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n\\_superficial](http://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_superficial). (17 Septiembre 2005).
8. Redmore, Fred H. (1981). *Fundamentos de Química*. México. Prentice-Hall.
9. Multicore Solders. (1994). *Solderability Test System for Surface Mount and Conventional Components*. Inglaterra, Multicore Solders.
10. elmBE Research. (2005). *Package Substrates / Interposers*. <http://www.siliconfareast.com/substrates.htm> (15 Junio 2006).
11. Fiveash Data Management, Inc. (1997). *FDM Reference Spectra Databases*. <http://www.fdm-spectra.com/index.html>. (2 Noviembre 2005).
12. JEDEC Solid State Technology Association. (2004). *Requirements for Soldering Fluxes* (J-STD-004). Arlington, VA. JEDEC.
13. Kester (2003). *Material Safety Data Sheet of Kester 182 Liquid Flux*. [http://www.kester.com/msds/other/english/fluxes/msds%20182%20uk%20\(22may03\).pdf](http://www.kester.com/msds/other/english/fluxes/msds%20182%20uk%20(22may03).pdf). (8 Noviembre 2005).

14. Kester (2003). *Material Safety Data Sheet of Kester 186 Liquid Flux*.  
[http://www.kester.com/msds/usa%20and%20canada/english/fluxes/msds%20186%20us%20\(03dec03\).pdf](http://www.kester.com/msds/usa%20and%20canada/english/fluxes/msds%20186%20us%20(03dec03).pdf) (8 Noviembre 2005).
15. Thwaites, C.J, M.E Warwick y Brian Scott. (1985). *Tin and Tin Alloys, Metallography and Microstructures, Volume 9, ASM Handbook*. (pp. 449-457). Estados Unidos. ASM International.
16. JEDEC Solid State Technology Association. (2004, Septiembre). *Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices (IPC/JEDEC J-STD-020C)*. Arlington, VA. JEDEC.
17. Ahmed Sharif y Y.C. Chan (2005). *Interfacial reactions of Sn-3.5% Ag and Sn-3.5% Ag-0.5% Cu solder with electroless Ni/Au metallization during multiple reflow cycles*. (pp.153-158). Estados Unidos. Springer Science + Business Media, Inc.
18. Suk Chae Kang, Chunho Kim, Jennifer Muncy y Daniel F. Baldwin. (2005). *Experimental Wetting Dynamics Study of Eutectic and Lead-Free Solders With Various Fluxes, Isothermal Conditions, and Bond Pad Metallizations*. (pp. 465-474). Estados Unidos. IEEE.
19. S.B Rane, T. Seth, G.J. Phatak, D.P. Amalnerkar y M. Ghatpande. (2004). *Effect of inorganic binders on the properties of silver thick films*. (pp. 103-106). Estados Unidos. Kluwer Academic Publishers.
20. elmBE Research. (2005). *Semiconductor Failure Analysis*.  
<http://www.siliconfareast.com/fa.html> (12 Mayo 2006).
21. Martin Marietta. (1984). *Microelectronics Workmanship Standards*. Estados Unidos. Martin Marietta Corporation.
22. JEDEC Solid State Technology Association (2002, Julio). *Joint IPC/JEDEC Standard for Handling, Packing, Shipping and Use of Moisture / Reflow Sensitive Surface-Mount Devices*. (J-STD-033A). Arlington, VA. JEDEC.
23. JEDEC Solid State Technology Association (2004, Mayo). *Evaluation Procedure for determining Capability to Bottom Side Board Attach by Full Body Solder Immersion of Small Surface Mount Solid State Devices*. (JESD22-A111). Arlington, VA. JEDEC.

24. JEDEC Solid State Technology Association (2006, Marzo). *Preconditioning of Plastic Surface Mount Devices Prior to Reliability Testing*. (JESD22-A113E). Arlington, VA. JEDEC.
25. JEDEC Solid State Technology Association (2005, Febrero). *Resistance to Soldering Temperature for Through-Hole Mounted Devices*. (JESD22-B106C). Arlington, VA. JEDEC.
26. Lee W. Thomas and Dr, Seshu V. Pabbisetty. (1993). *Microelectronic Failure Analysis Desk Reference* (3° ed.). Ohio: ASM International.
27. Sam Siau, Alfons Vervaet, Lieven Degrendele, Johan De Baets y Andre Van Calster. (2006). *Qualitative electroless Ni/Au plating considerations for the solder mask on top of sequential build-up layers*. (pp. 2717-2740). Estados Unidos. Applied Surface Science.
28. Tao-Chih Chang, Jian-Wen Wang, Moo-Chin Wang y Min-Hsiung Hon. (2006). *Solderability of Sn-9Zn-0.5Ag-1In lead-free solder on Cu substrate: Part 1. Thermal properties, microstructure, corrosion and oxidation resistance*. Estados Unidos. Journal of Alloys and Compounds.
29. C. M. L. Wu , D. Q. Yu , C. M. T. Law y L. Wang. (2004). *Properties of lead-free solder alloys with rare earth element additions*. (pp. 1-44). Estados Unidos. Materials Science and Engineering.
30. B.T. Ma, A. Sarkhel, y C. Woychik. (1993). *Evaluation Solder Paste Printing and Reflow for Ultra Fine Pitch Surface Mount Process*. (pp. 506-517). Estados Unidos. Nepcon West.
31. G. Humpston y D. Jacobson. (1993). *Principles of Soldering and Brazing*. Estados Unidos. ASM International.
32. J.A DeVore. (1989). *Practical quantitative solderability testing*. (pp. 2027-2034). Estados Unidos. NAECON.
33. Geist y Kottke. (1988). *Solderability degradation models for fusible tin alloy coatings on copper substrates*. (Conference Proceedings, pp. 270-273). Estados Unidos. IEEE.
34. L. Pessel. (1963). *Assured Reliability in Soldered Connections: Solderability as Parameter of Assurance*. (Conference Proceedings, pp. 28-33). Estados Unidos. IEEE.

35. R.D. Milner. (1958). *“A Survey of the Scientific Principles Related to Wetting and Spreading”*. (pp. 90-105). Estados Unidos. Br. Weld.
36. R.J. Klein Wassink. (1984). *Soldering in Electronics*. Estados Unidos. Electrochemical Publications Ltd.
37. Y. Wang y K. N. Tu. (1995). *“Ultrafast Intermetallic Compound Formation between Eutectic SnPb and Pd Where the Intermetallic is not a Diffusion Barrier”*. (pp. 1069-1071). Estados Unidos. Applied Physics Letters.
38. F.G. Yost, F. M. Hosking y D. R. Frear. (1993). *The Mechanics of Solder Alloy – Wetting and Spreading*. Estados Unidos. Van Nostrand Reinhold.
39. P.E. Davis, M. E. Warwick y P. J. Kay. (1982). *“Intermetallic Compound Growth and Solderability”*. (pp. 72-76). Estados Unidos. Plating and Surface Finishing.
40. U. Ray, I. Artaki y P. T. Vianco. (1995). *“Influence of Temperature and Humidity on the Wettability of Immersion Tin Coated Printed Wiring Boards”*. (Conference Proceedings, pp. 153-162). Estados Unidos. IEEE.
41. G. Humpston y D. M. Jacobson. (1990). *“Solder Spread: a Criterion for Evaluation of Soldering”*. (pp. 83-95). Estados Unidos. Gold Bull.
42. P. T. Vianco, F. M. Hosking y J. A. Rejent. (1992). *“Wettability análisis of Tin-based, Lead-free Solders”*. (pp. 1730-1738). Estados Unidos. Nepron West.
43. B.Huang y N. C. Lee. (1999). *“Prospects of Lead-free Alternatives for Reflow Soldering”*. Estados Unidos. IPC.
44. J. Glazer. (1995). *“Metallurgy of Low Temperature Pb-free Solders for Electronic Assembly”*. (pp. 65-93). Estados Unidos. International Materials Reviews.
45. H. A. H. Steen y G. Becker. (1986). *“The Effect of Impurity Elements on the Soldering Properties of Eutectic and Near-eutectic Tin-lead Solder”*. (pp. 4-11). Estados Unidos. Brazing and Soldering.
46. I. Artake, U. Ray. H. M. Gordon y M. S. Gervasio. (1992). *“Thermal Degradation of Rosin During High Temperature Solder Reflow”*. Estados Unidos. AT&T Bell Laboratories.
47. J.M Anderson y M. Sweeney. (1992). *“Chip Cracking: A Study of Capacitor Failure Modes”*. (pp. 45-46). Estados Unidos. Surface Mount Technology.

48. P. Marcoux. (1992). *Fine Pitch Surface Mount Technology: Quality, Design and Manufacturing Techniques*. (pp. 169-198). Estados Unidos. Van Nostrand Reinhold.
49. N.M. Dytrych. (1993). "Reviewing the Basics of Mass Reflow Soldering". (pp. 34-40). Estados Unidos. EP&P.
50. N. C. Lee. (1998). "Optimizing Reflow Profile via Defect Mechanisms Analysis". Estados Unidos. IPC.
51. Kwoka y Mullenix. (1990). *The association of component solderability testing with board level soldering performance*. (Conference Proceedings, pp. 704-712). Estados Unidos. IEEE.
52. Hernandez, y Hosking. (1996). *PWB solder wettability after simulated storage*. (Conference Proceedings, pp. 1159-1163). Estados Unidos. IEEE.
53. C. L Alger, D. E Pope, P. M Rehm y N. Sivasubramanian. (1989). *Solderability test requirements for plastic surface mount packages*. (Conference Proceedings, pp. 30-37). Estados Unidos. IEEE.
54. H. Desai. (1997). *Defect free assembly of SMT devices*. (Conference Proceedings, pp. 677-682). Estados Unidos. IEEE.
55. Bradley y Banerji. (1995). *Effect of PCB finish on the reliability and wettability of ball grid array packages*. (Conference Proceedings, pp. 1028-1038). Estados Unidos. IEEE.
56. Abbott, y Romm. (1998). *Steam-age preconditioning and NiPd finished IC packages*. (Conference Proceedings, pp. 546-549). Estados Unidos. IEEE.
57. Conway. (1995). *Solderability testing of alternate component termination materials with lead free solder alloys*. (Conference Proceedings, pp. 245-251). Estados Unidos. IEEE.
58. Urbanek y Dusek. (2006). *Measurements of the solders surface tension values*. (Conference Proceedings, pp. 1-4). Estados Unidos. IEEE.
59. Salam, Ekere, y Rajkumar. (2001). *Study of the interface microstructure of Sn-Ag-Cu lead-free solders and the effect of solder volume on intermetallic layer formation*. (Conference Proceedings, pp. 471-477). Estados Unidos. IEEE.

60. Dunford, Canumalla y Viswanadharn. (2004). *Intermetallic morphology and damage evolution under thermomechanical fatigue of lead (Pb)-free solder interconnections*. (Conference Proceedings, pp. 726-736). Estados Unidos. IEEE.
61. Zheng, Hillman y McCluskey, (2002). *Intermetallic growth on PWBs soldered with Sn3.8Ag0.7Cu*. (Conference Proceedings, pp. 1226-1231). Estados Unidos. IEEE.
62. S. R Tzan y S. L Chu. (2000). *Characterization of lead-free solder by reliability testing*. (Conference Proceedings, pp. 270-273). Estados Unidos. IEEE.