

**Desarrollo de métodos y lineamientos de Diseño para Manufactura.
Caso específico: Evaluación del porcentaje de cobertura de soldadura en diferentes configuraciones
de huellas de componentes con orificios enchapados.**

Jorge Arellano Sánchez ^[1], Andrés Márquez Barberena ^[2]
[1] Alumno del posgrado, [2] Freescale Semiconductor México
xarellano24@gmail.com

RESUMEN

El desarrollo de métodos y lineamientos de diseño para Manufactura es cada vez más utilizado para lograr mejoras en el rendimiento y en la confiabilidad de los ensamblajes electrónicos.

En este artículo se presenta un caso específico de la evaluación de diferentes parámetros de diseño para lograr la optimización del porcentaje de soldadura durante el ensamble de componentes de montaje superficial con requerimientos superiores de disipación térmica. Los resultados de la evaluación son analizados y comparados estadísticamente para determinar la opción de diseño que presenta los mejores niveles de cobertura de soldadura en la huella térmica del componente.

Palabras Clave: Métodos, Lineamientos, Diseño para Manufactura

1 INTRODUCCIÓN.

Los componentes electrónicos de montaje superficial con terminales bajo el encapsulado (QFN por sus siglas en inglés) y algunos otros tipos de componentes que requieren características térmicas superiores para lograr un máximo rendimiento incluyen una zona de cobre expuesto en el lado inferior del empaquetado; a través de esta zona o huella de cobre se logra la disipación de calor hacia la tarjeta de circuito impreso. Para lograr una disipación efectiva del calor, esta zona o huella del componente debe ser soldada a la tarjeta de circuito impreso que a su vez replica el área o huella de cobre correspondiente.

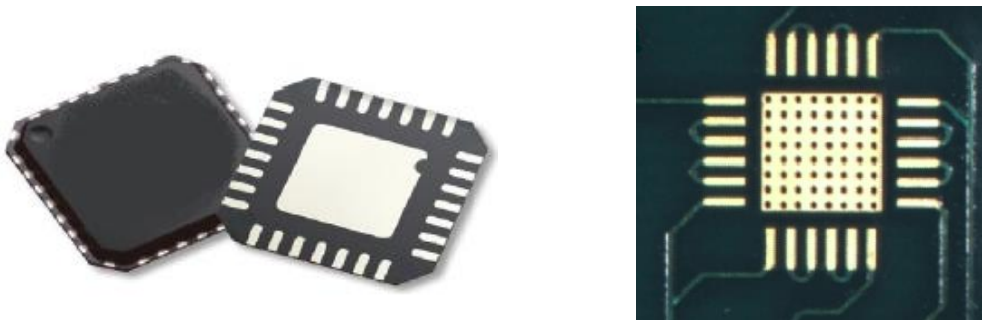


Figura 1. Ejemplo de componente electrónico con terminales bajo el empaquetado (izquierda) y su correspondiente huella en la tarjeta de circuito impreso (derecha)

Como se observa en figura 1 (derecha), generalmente la tarjeta de circuito impreso contiene un arreglo de orificios enchapados para mejorar la transferencia de calor del componente hacia los planos internos

de la tarjeta de circuito impreso; esta condición puede causar el efecto de migración o drenado de la soldadura a través de los orificios enchapados y la excesiva formación de huecos durante el proceso de soldadura por reflujo (figura 2A), lo que resulta en una cobertura de soldadura insuficiente entre la zona de cobre bajo el componente y la huella térmica en la tarjeta de circuito impreso, esta insuficiencia puede afectar el rendimiento del componente, pero por otro lado, un volumen excesivo de soldadura en esta sección puede causar la elevación del componente durante el proceso de soldadura por reflujo lo que puede resultar en conexiones de soldadura abiertas en algunas de las terminales del componente (figura 2B).

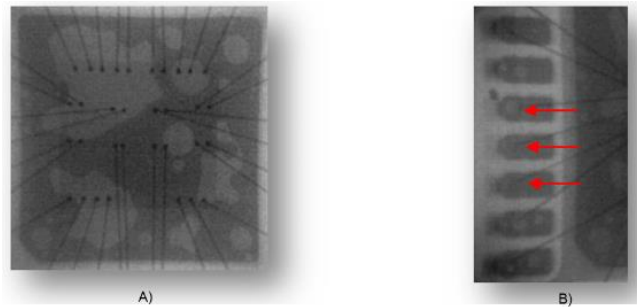


Figura 2. Imagen de Rayos-X mostrando A) Formación excesiva de huecos causando insuficiencia de soldadura en la huella térmica y B) Conexiones de soldadura abiertas debidas a exceso de soldadura.

El objetivo de esta evaluación es determinar los lineamientos óptimos de diseño de huella y orificios enchapados en la tarjeta de circuito impreso que contribuyan a mejorar el porcentaje de cobertura de soldadura así como reducir la formación de huecos e insuficiencias tanto en la huella térmica como en las terminales del componente.

2 FUNDAMENTOS

En la figura 3 se muestra el flujo de disipación de calor de este tipo de componentes electrónicos, comenzando en la fuente de calor (componente), hacia la unión de soldadura, la tarjeta de circuito impreso, orificios enchapados y finalmente hacia los planos internos de cobre.

Sistema de disipación de calor en los componentes electrónicos:

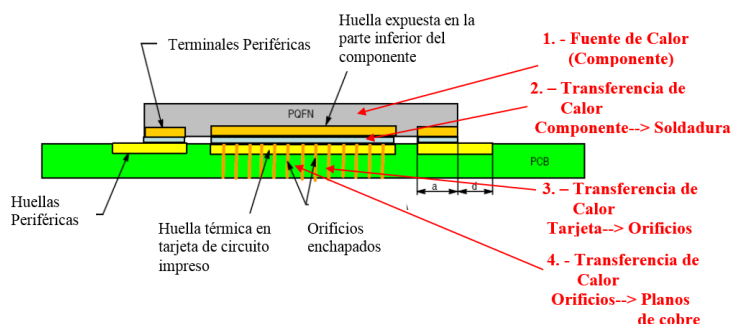


Figura 3. Sistema de disipación de calor en los componentes electrónicos

Se han consultado diferentes publicaciones, artículos e información de diferentes evaluaciones realizadas para mejorar la cobertura de soldadura en la huella térmica (1) (2) (3). También se ha consultado información en las páginas web de proveedores de componentes (4) (5) (6) y en general en Internet, sin embargo la información resulta por un lado incompleta ya que no se proporcionan los detalles o la conclusión de la mejor manera de mitigar este problema y por otro lado hay contradicciones entre las recomendaciones de una evaluación a la otra.

En el estándar IPC-7351 (7) se incluyen recomendaciones para mejorar la cobertura de soldadura en la huella térmica del componente, pero no se incluye la información detallada para la implementación de las mejoras en el diseño de la tarjeta de circuito impreso.

En el estándar IPC-610 (8) se menciona que los criterios de aceptación para este tipo de componentes electrónicos deben establecerse entre el fabricante y el usuario final.

3 PROCEDIMIENTO

Con el propósito de verificar el efecto de las diferentes configuraciones del diseño de la tarjeta de circuito impreso en el porcentaje de cobertura de soldadura así como en la formación de huecos e insuficiencias de soldadura se ha realizado la presente evaluación, utilizando para ello un vehículo de prueba conteniendo 6 diferentes configuraciones de diseño de huella en la tarjeta de circuito impreso. La variable de respuesta que será medida para determinar cuál es la configuración óptima en el diseño será el porcentaje de cobertura de soldadura en la huella térmica del componente.

En la figura 4 se muestra el vehículo de prueba utilizado para esta evaluación:

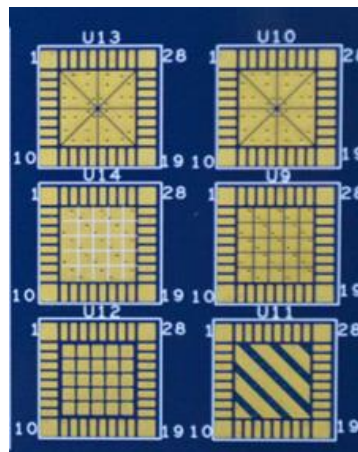

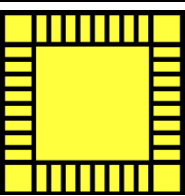
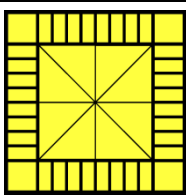
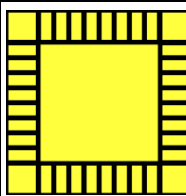
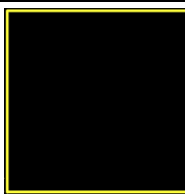
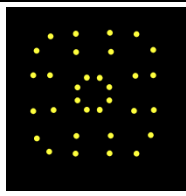
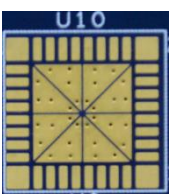
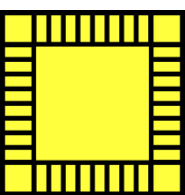
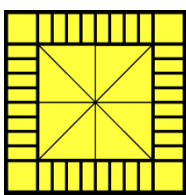
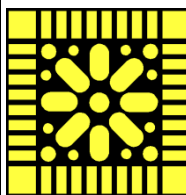
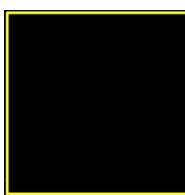
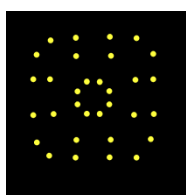
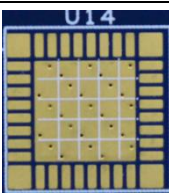
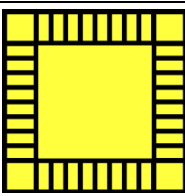
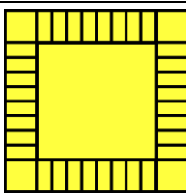
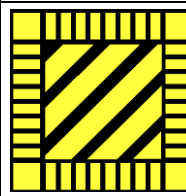
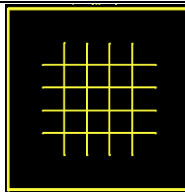
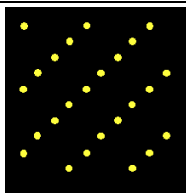
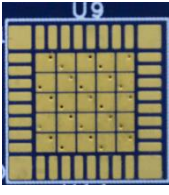
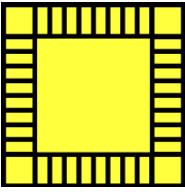
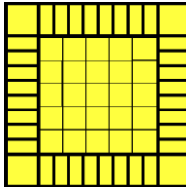
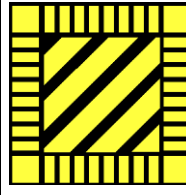

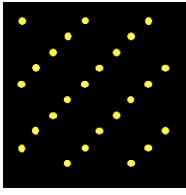
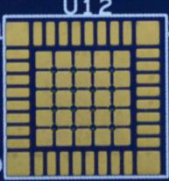
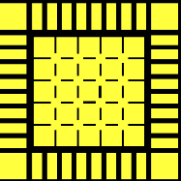
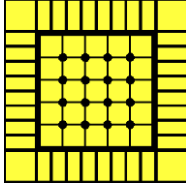
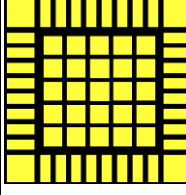

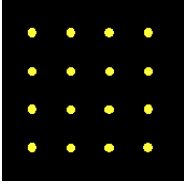
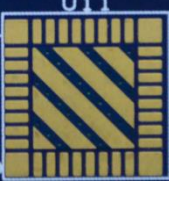
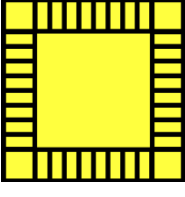
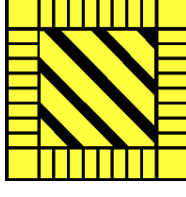
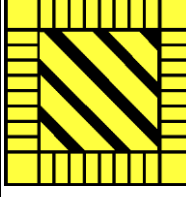

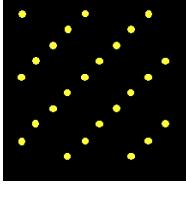


Figura 4. Vehículo de prueba

Esta evaluación se enfoca en lograr la mejora en la disipación de calor del componente hacia la unión de soldadura, y de la unión de soldadura hacia la tarjeta de circuito impreso, a través de los orificios enchapados (hacer referencia a la figura 3). Será necesario realizar investigaciones posteriores para evaluar los mecanismos de transferencia de calor en los planos de cobre, ya que estos no han sido considerados en este estudio.

En la tabla 1 se muestran las variaciones hechas al diseño para las 6 diferentes opciones de huella térmica en la tarjeta de circuito impreso.

Tabla 1. Variaciones del diseño para las 6 diferentes opciones de huella en la tarjeta de circuito impreso

Localidad	Vista final de la tarjeta	Capa de Cobre	Capa de Mascarilla	Capa de Soldadura	Capa de Serigrafía	Arreglo de Orificios Enchapados
U13						
U10						
U14						
U9						
U12						
U11						

Se han incluido diferentes opciones en las siguientes capas de la tarjeta de circuito impreso, para determinar la opción que presente mejores resultados de cobertura de soldadura:

Capa de cobre, capa de mascarilla, capa de soldadura, capa de serigrafía así como diferentes arreglos y distribuciones de orificios enchapados.

Una vez definidas las anteriores opciones del diseño se han fabricado un total de 10 tarjetas de circuito impreso con las siguientes características generales:

- Tipo de Mascarilla Anti-Soldadura: Líquida Foto Imprimible (LDI por sus siglas en inglés)
- Diámetro de los orificios enchapados: 203 μm (8 milésimas de pulgada)
- Terminado de la tarjeta de circuito impreso: Inmersión Electrolítica de Oro- Níquel (ENIG por sus siglas en inglés) con espesor de Oro de 0.05-0.23 μm .
- Espesor de capa externa de cobre: 17.78 μm a 35.5 μm (½ a 1 Onza).

Las tarjetas han sido ensambladas en una línea típica de producción de componentes de montaje superficial usando parámetros estándar para las 10 diferentes muestras.

- Aleación de Soldadura: SAC305 (estaño-plata-cobre), con tamaño de partícula de 20/30 μm (Tipo de partícula 4).
- Perfil térmico usado en el horno de reflujo:

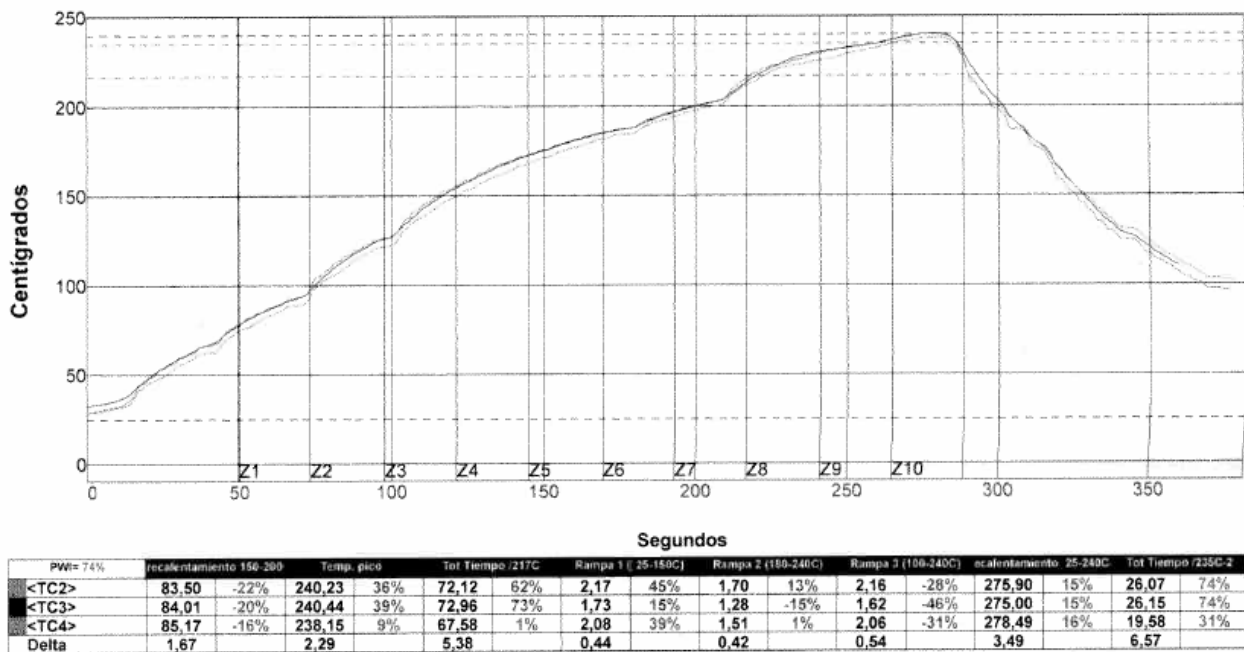
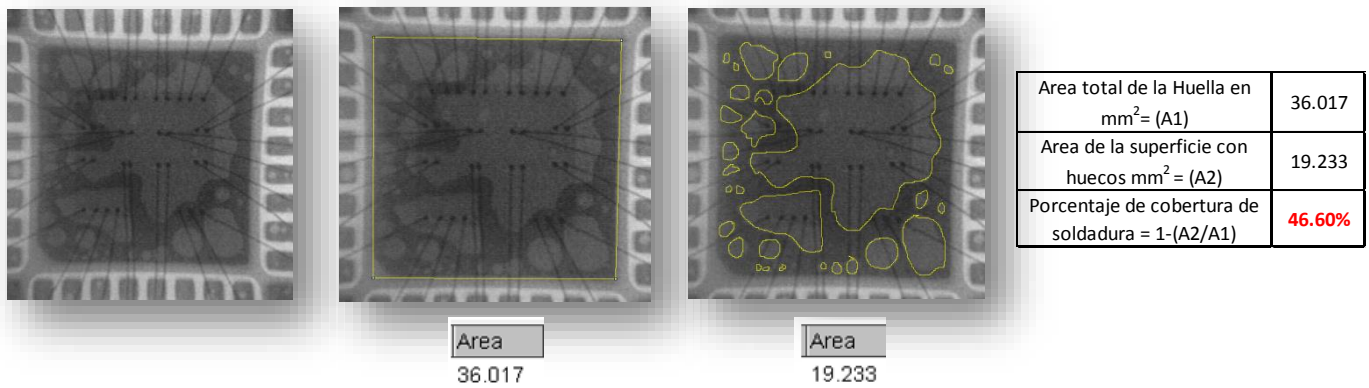


Figura 5. Perfil de temperatura usado en el horno de reflujo.

Una vez ensambladas las muestras, se ha realizado la inspección en rayos-X; para ello, se guardan las imágenes y mediante el uso de la aplicación "imageJ" como se indica en la figura 6, se ha calculado tanto el área total de la huella térmica así como el área total de las zonas que presentan huecos o ausencia de soldadura, y en base a estas mediciones se calcula el porcentaje de cobertura de soldadura para cada componente.



A) Imagen original Rayos X B) Área total de la huella (mm²) C) Área de la superficie con huecos (mm²) D) Calculo % de soldadura

Figura 6. Secuencia realizada para determinar el porcentaje de cobertura de soldadura.

4 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.

En la tabla 2 se muestra el resumen con los resultados de los porcentajes de cobertura de soldadura obtenidos para cada una de las diferentes configuraciones de diseño evaluados en las 10 tarjetas ensambladas.

Tabla 2. Compilación de resultados de porcentaje de cobertura de soldadura (datos en %).

Tarjeta #	Porcentaje de Cobertura de Soldadura					
	U13	U10	U14	U9	U12	U11
1	81.99	80.78	69.92	75.12	70.5	49.98
2	80.91	82.47	71.6	69.65	72.05	53.84
3	84.19	82.19	76.85	80.99	76.1	53.48
4	78.08	78.91	78.72	82.02	72.76	56.37
5	83.23	81.94	79.15	80.56	73.6	55.54
6	81.34	79.92	74.65	71.03	70.04	48.26
7	76.87	83	79.88	73.17	65.24	54.84
8	79.58	81.03	81.29	76.02	75.12	56.53
9	77.59	79.23	75.66	77.9	71.78	52.57
10	80.01	81.24	79.9	73.84	67.68	53.98

Los datos se han analizado mediante el uso de la herramienta estadística "MiniTab", para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios del porcentaje de cobertura de soldadura entre los diferentes diseños evaluados.

A continuación se incluye la Hipótesis nula, la regla de decisión y el análisis de los resultados:

- Ho: No hay diferencias significativas entre los valores medios del porcentaje de cobertura de soldadura para los diferentes diseños evaluados
- Regla de decisión: Rechazar Ho si $P \leq 0.05$

c) Análisis de resultados:

En la figura 7 se muestra el resultado del análisis de varianza, basado en el cual se determina rechazar la hipótesis nula (H_0), ya que como se puede observar, el resultado obtenido del valor P es 0.000.

ANOVA unidireccional: % COBERTURA vs. COMPONENTE

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
COMPONENTE	5	5237.5	1047.49	107.76	0.000
Error	54	524.9	9.72		
Total	59	5762.4			

Figura 7. Resultado del Análisis de Varianza mediante el uso de MiniTab

Dado el resultado obtenido, se cumple la regla de decisión ya que $P < 0.05$ (valor $P=0.000$) con lo que se determina que si existen diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de cobertura de soldadura para los diferentes diseños, esta conclusión se confirma al observar la gráfica de medias de la figura 8.

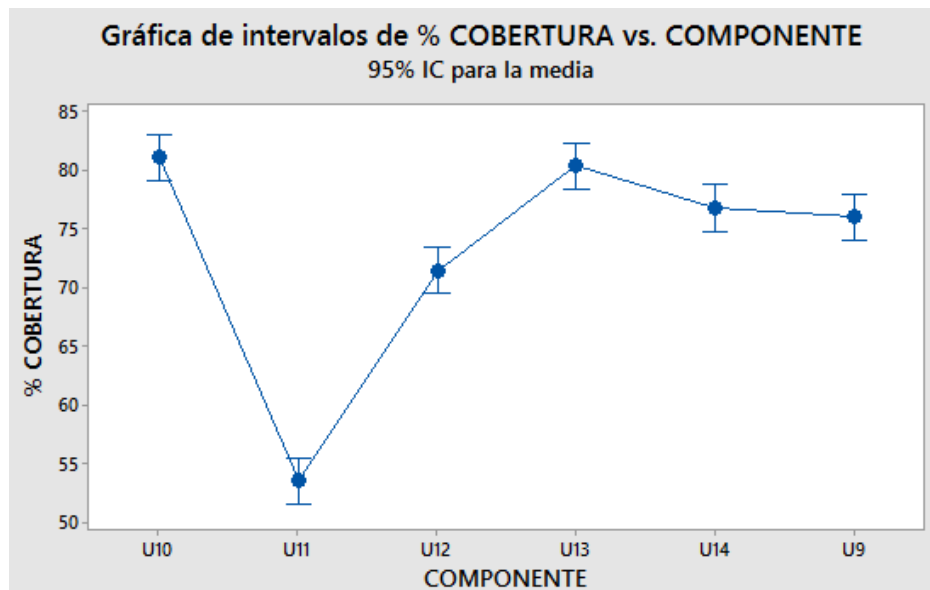


Figura 8. Gráfica de Intervalos para el porcentaje de cobertura de soldadura

5 CONCLUSIONES

Como se observa en la figura 9, al hacer la comparación de los valores medios del porcentaje de cobertura de soldadura para determinar cuál de las configuraciones de huella ofrece el mejor resultado, se confirma tanto por el método de Tukey como por el método de Fisher que las configuraciones que ofrecen los mejores resultados son las que se definieron para las ubicaciones U10 y U13.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

COMPONENTE	N	Media	Agrupación
U10	10	81.071	A
U13	10	80.379	A B
U14	10	76.77	B C
U9	10	76.03	C
U12	10	71.49	D
U11	10	53.539	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Comparaciones en parejas de Fisher

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

COMPONENTE	N	Media	Agrupación
U10	10	81.071	A
U13	10	80.379	A
U14	10	76.77	B
U9	10	76.03	B
U12	10	71.49	C
U11	10	53.539	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 9. Comparación de medias mediante los métodos de Tukey y Fisher.

Estas ubicaciones incluyen los parámetros de diseño que se muestran en la figura 10.

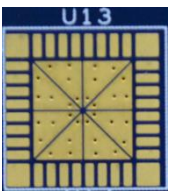
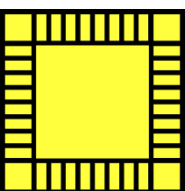
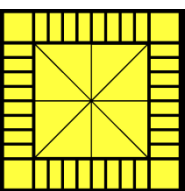
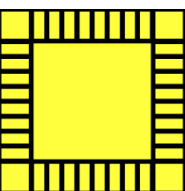
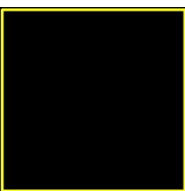
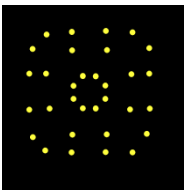
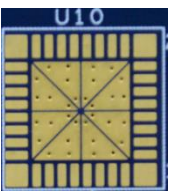
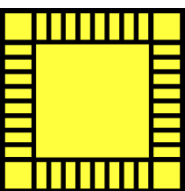
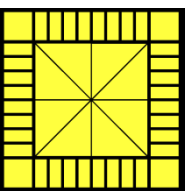
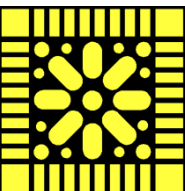
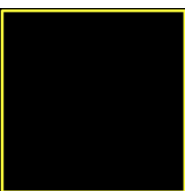
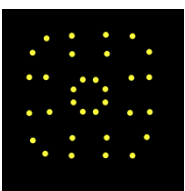
IC #	PCB Top side	Copper	Solder Mask	Solder Paste	Silkscreen	drills
U13						
U10						

Figura 10. Parámetros de diseño que mostraron los mejores resultados

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. **Kang, Ahmer Syed and WonJoon.** *Board Level Assembly and Reliability Considerations for QFN Type packages.*
2. **Freescale Semiconductor.** Application Note. *Quad Flat Pack No-Lead (QFN) Micro Dual Flat Pack No-Lead (uDFN) Application Note.* 2008. AN1902.
3. **Freescale Semiconductor.** Application Note. *PCB Layout Guidelines for PQFN/QFN Style Packages Requiring Thermal Vias for Heat Dissipation.* 2010. AN3778.
4. **Atmel.** Application Note. *MicroLeadFrame Packages Pad Landing Recommendations.* 2006. 3641B-DFLASH.
5. **Cirrus Logic.** Application Note. *Thermal Considerations for QFN Packaged Integrated Circuits.* 2007. AN315.
6. **Fairchild Semiconductor.** Application Note. *PCB Land Pattern Design and Surface Mount Guidelines for MLP Packages.* 2005. AN-5067.
7. **IPC.** IPC-7351. *Generic Requirements for Surface Mount Design and Land Pattern Standard.* February 2005. IPC-7351.
8. **IPC.** IPC-610. *Aceptabilidad de Ensamblados Electrónicos.* 2010. IPC-610.