

Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Ingeniería

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



“Reducción marginal en potencia de salida del amplificador GSM/GPRS por estrés mecánico y deformación del material.”

TESIS

Que para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería

Presenta

Eduardo Cabrera Cordoba

Director

Dr. Benjamín Valdez Salas

Mexicali, Baja California

Agosto del 2007

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, fuente de los mejores momentos y satisfacción.

A mis compañeros de clase, un equipo heterogéneo, con puntos de vista diferentes y caminos por andar. En especial a mi amigo Gregorio Amaya, por su amistad y alegría que no se acaban.

RECONOCIMIENTOS

Al Dr. Benjamín Valdez Salas por su apoyo, como director de esta tesis. Mi más sincera gratitud por su consejo, guía y ejemplo a través de los muchos años de escuela.

A mis maestros,

Dr. Lidia Álvarez, Dr. Mónica Carrillo, Dr. Oleg Sergiyenko, Dr. Roumen Zlatev, por compartir su tiempo, conocimiento y sobre todo por enseñarme lo interesante que puede ser la vida.

A Karla Vázquez, Mariano Ortiz, Murali Rao, Tom Grayson, y Cristóbal Montijo por sus aportaciones y comentarios en la realización de este proyecto.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	10
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Planteamiento del problema	13
1.2 Justificación	15
1.3 Descripción del trabajo	16
1.4 Objetivos	19
1.5 Hipótesis	19
CAPITULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	
2.1 Materiales compuestos	20
2.2 Fabricación de tableros (PWB) para semiconductores.	21
2.3 Temperatura de transición vítrea [Tg].	24
2.4 Tableros con base de PTFE y dieléctrico mixto.	26
CAPITULO 3. METODOLOGÍA	
3.1 Franjas de Moiré.	28
3.2 BJR. Medición de la resistencia en la unión dado-sustrato.	30
3.3 Operaciones del proceso de ensamble de circuitos.	32
CAPITULO 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
4.1 Matriz de diagnóstico por número de parte.	34
4.2 Reporte de pérdida promedio por baja potencia marginal en el periodo de diciembre 2005 a marzo de 2006.	35
4.3 Recuperación de potencia bajo reflujo a diferentes temperaturas.	35
4.4 Análisis físico por corte transversal en circuitos 77329-13, fallas por baja potencia marginal y posterior aumento en potencia por tratamiento térmico.	37

	Página	
4.5	Mediciones de coplanaridad para determinación del pandeo.	38
4.6	Pandeo por operación.	39
4.7	El material 77329-12 aumentó potencia de salida al remover plástico de moldeo en la superficie.	40
4.8	Simulación del proceso de curado posterior a moldeo usando TherMoiré.	41
4.9	Diseño de experimentos. Influencia de parámetros en Datacon para el pegado de dados sobre el BJR o la resistencia de la unión dado - sustrato.	42
4.10	Caracterización del pandeo simulando curado posterior a moldeo ó PMC en TherMoiré.	44
4.11	Caracterización del pandeo simulando el perfil de reflujo en TherMoiré.	45
4.12	Reducción del pandeo usando el horno de reflujo a 220° C por 3 minutos en tiras para 77325.	46
4.13	Reducción del pandeo usando una prensa para sujetar las tiras durante el curado posterior a moldeo.	47
4.14	Influencia del equipo de moldeo sobre el pandeo.	49
4.15	Caracterización del pandeo por proveedor de tableros para 77325.	50
4.16	Caracterización del pandeo, tablero usado en la fábrica y el diseño de una casa de ensamble con subcontrato para 77501.	51
4.17	Medición del BJR o resistencia en la unión dado-sustrato antes y después de reflujo.	52
4.18	Análisis de pandeo para el tablero y el plástico de moldeo por separado.	54
4.19	Resultados de confiabilidad, apoyando un cambio de proceso que incluya una nueva operación, enviando material en tiras por reflujo antes de cortado.	55
4.20	Resultados del seguimiento en la incidencia del defecto de baja potencia marginal en prueba de diciembre 2005 a junio del 2006.	55
4.21	Experimento. Influencia de parámetros en moldeo utilizados en la casa de ensamble con subcontrato y la fabrica.	57

	Página
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS	
A. Listado de circuitos electrónicos que presentaron reducción marginal en la potencia de salida.	62
B. AKROMETRIX –THERMOIRÉ PS400 detalles del equipo y medición.	64
C. AKROMETRIX PS400 especificaciones y características del equipo.	65
D. Equipo y manejo del material en el área de moldeo y curado posterior a moldeo ó PMC.	67
E. Gráfica de tendencia del rendimiento en prueba para 77325 en periodo abril 5 a agosto 9 de 2005.	68
F. Resultados de los primeros lotes recuperados usando reflujó.	68
G. Materiales utilizados en circuitos GSM/GPRS y sus propiedades.	69
H. Reporte de calificación del producto para 77329-13	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Circuitos amplificadores de potencia.	11
Figura 2. Falla por baja potencia de salida debajo del límite requerido de 31.5 db.	12
Figura 3. Problemas de ensamble relacionados con pandeo en la oblea de silicio o circuitos BGA.	13
Figura 4. La deformación por estrés observada: Triste (esquinas abajo) o sonriendo (esquinas arriba).	14
Figura 5. Circuito parte de un teléfono celular.	16

	Página	
Figura 6.	Dado de Silicio pegado en el tablero.	18
Figura 7.	Tableros de construcción diferente, mismo número de parte para 77501.	20
Figura 8.	Dado de silicio, corte transversal mostrando detalle de construcción en capas.	21
Figura 9.	Detalles de construcción para tableros electrónicos.	22
Figura 10.	Representación gráfica del Tg.	24
Figura 11.	Tablero con base PTFE y dieléctrico mixto.	26
Figura 12.	Esquemático del equipo TherMoiré y superposición de franjas de Moiré.	27
Figura 13.	Equipo TherMoiré PS400 con cámara de calentamiento.	28
Figura 14.	Arreglo electrónico para determinar la resistencia de un material.	29
Figura 15.	Arreglo electrónico para determinar la resistencia en la unión dado - sustrato.	29
Figura 16.	Circuito modificado para permitir la medición de resistencia en la unión dado - sustrato. La oblea de Silicio fue recubierta con Oro para asegurar el contacto del dado sobre el adhesivo epóxico.	30
Figura 17.	Equipos utilizados en proceso de ensamble para operaciones con ambiente en cuarto limpio.	31
Figura 18.	Equipos utilizados en proceso de ensamble para ensamble final, prueba y embarques.	32
Figura 19.	GSM/GPRS. Aumento significativo en potencia al calentar el material a 220° C por 3 minutos en horno de reflujo.	34
Figura 20.	La sombra de Moiré muestra la disminución en la deformación posterior al tratamiento térmico.	35
Figura 21.	Circuito 77329 corte transversal.	36
Figura 22.	Corte transversal piezas que pasaron prueba.	36
Figura 23.	Corte transversal, pieza que falló prueba y se recuperó en reflujo.	36
Figura 24.	Equipo para medir alturas con láser NIKON VRM3020 y circuito invertido para medición.	37

	Página
Figura 25. Deformación encontrada en la tira usando TherMoiré en las operaciones de ensamble.	38
Figura 26. Recuperación de la potencia de salida al remover una línea delgada de plástico en la superficie.	39
Figura 27. Simulación en TherMoiré de curado posterior a moldeo ó PMC y horno de reflujo a 220° C.	40
Figura 28. Resultados de diseño de experimentos para pegado de dados.	41
Figura 29. Caracterización de pandeo en curado posterior a moldeo por simulación en TherMoiré.	42
Figura 30. Caracterización de pandeo en horno de reflujo por simulación en TherMoiré.	43
Figura 31. La sombra de Moiré muestra una reducción del 40% en el pandeo de tiras calentado a 220 ° C.	44
Figura 32. Arreglo usando en prensa.	45
Figura 33. Restricción del movimiento usando cargador de Aluminio.	45
Figura 34. Restricción del movimiento en curado posterior a moldeo usando una prensa y placas de Aluminio.	46
Figura 35. Resultados de la influencia de moldeo sobre el pandeo,	47
Figura 36. Caracterización en deformación por proveedor de tableros.	48
Figura 37. Caracterización en deformación y resistencia en la unión para fábrica de ensamble externa.	49
Figura 38. Mediciones antes y después de someter piezas individuales a reflujo 220° C, mostraron una reducción en la resistencia de la unión dado/sustrato BJR.	50
Figura 39. Mediciones en la resistencia de la unión ó BJR para circuitos con diferente potencia de salida, permitieron construir un modelo, cada 100 mOhm de incremento al BJR se pierde 1 db de potencia de salida.	51
Figura 40. Mediciones en la resistencia de la unión BJR variando la temperatura entre -60 y 180°C, mostrando un comportamiento lineal a lo largo del rango estudiado.	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Pérdida económica por baja potencia marginal en GSM/GPRS.	16
Tabla 2.	Cronograma.	17
Tabla 3.	Análisis por número de parte y dado en circuitos de alto volumen por baja potencia marginal.	33
Tabla 4.	Pérdida de rendimiento e incidencia por lotes en productos GSM/GPRS por baja potencia marginal.	34
Tabla 5.	Resultados de coplanaridad en circuitos individuales 77329-13.	37
Tabla 6.	Pandeo observado separando el plástico moldeado y curado con espesor 0.7 y 1.0 mm y el tablero.	52
Tabla 7.	Material enviado a pruebas de confiabilidad, HAST, HTOL, Ciclos térmicos.	53
Tabla 8.	Material GSM/GPRS histórico por baja potencia marginal y reducción alcanzada al implementar +1X reflujo posterior al curado de moldeo.	54
Tabla 9.	Mejora observada en el rendimiento para 1X reflujo, posterior al curado de moldeo. Con un incremento de 3.67% entre lote experimental y control.	54
Tabla 10.	Resultados positivos en las pruebas de confiabilidad para 77328-12.	54
Tabla 11.	Resultados de estudio de decapado con ácido.	55
Tabla 12.	Experimento: Parámetros de moldeo usados en subcontrato para reducir pandeo.	56
Tabla 13.	Resultados positivos en las pruebas de confiabilidad para 77328-12.	56

RESUMEN

La baja potencia en los amplificadores, debido a la alta resistencia de tierra en los dados, continúa siendo el motivo principal de bajo rendimiento, para prueba en los productos GSM/GPRS de alto volumen 77325, 77328,77329 usados en teléfonos celulares.

El problema da lugar a una disminución marginal de potencia de salida en una o más bandas y tiende a recuperarse después de que se calientan a 220° C en el horno de reflujo. Los datos indican que las 4 bandas (GSM, celular, DCS, PCS), muestran un incremento en potencia posterior al tratamiento térmico. Esto incluso, es verdad para dispositivos con 2 dados amplificadores de potencia separados e independientes, la recuperación en la potencia ocurre principalmente en lotes con bajo rendimiento y no en cada lote. Se ha demostrado que al reducir el pandeo de un paquete moldeado, se logra una ganancia en la potencia de salida. Sin embargo, no se tiene una correlación que permita predecir entre grado de pandeo y disminución en potencia de salida. Se presume que el estrés mecánico en los circuitos moldeados, está creando una separación entre el dado y el sustrato, el adhesivo conductivo que se utiliza para sujetar el dado y sustrato presenta como resultado un aumento en la resistencia de la unión y la resistencia a tierra. La implementación de un cambio de proceso que consiste en enviar los circuitos por un horno de reflujo a 220° C por 3 minutos, después de la operación de curado del plástico de moldeo, relevando el estrés y minimizando el pandeo.

El proceso fue calificando e implementado, permitiendo reducir la incidencia de falla en al menos 50% y mejorando el rendimiento de prueba en 1% en 12 millones de circuitos para 77328,77329 y 77330. Sin embargo, las razones de los porqués algunos lotes presentan baja potencia, mientras que otros no, permanece desconocida. Se desarrollaron varios experimentos para comprender mejor la pérdida de potencia marginal en los amplificadores de potencia.

Experimentos de análisis de sombra Moiré, permitieron conocer y caracterizar el pandeo en los circuitos. La resolución del equipo Akrometrix permitió mediciones a nivel de tablero, 60 x 180 mm y a nivel de unidad moldeada de 60 x 60 mm con 4 secciones por tablero. La resolución de la lente en TherMoiré no fue suficiente para medir los circuitos como unidades independientes de 6x6 y 6x8 mm, como producto terminado. La

medición de circuitos individuales de producto terminado, podría ayudar a encontrar una correlación directa entre pandeo o deformación y baja potencia marginal o falla. Se dejó fuera del alcance de este proyecto.

Se pidió al fabricante, la caracterización del plástico de moldeo para identificar fuentes de variación, éstas consistieron en análisis de dureza y espectroscopia infrarroja. El espesor del plástico de moldeo y curado posterior a moldeo aparecen como las variables principales que incrementan la deformación en una tira moldeada. Variaciones en el material de moldeo pudieran desempeñar un papel clave en la incidencia de la falla y los picos observados.

Al encontrar que el estrés en la tira no es uniforme, se mapeó la localización de cada circuito en las tiras, para identificar zonas de máximo estrés con fallas. Además, se encontró usando mediciones de Moiré, que la deformación a lo largo de la tira, no es uniforme y varía para los diferentes fabricantes de tableros (SEMCO, Unimicron) y soluciones de los ensambladores (Mxli, ASE). Se recomendó discontinuar el uso de tableros Unimicron por alta incidencia en baja potencia marginal.

Algunos resultados experimentales iniciales fueron contradictorios. Debido al hecho que en prueba eléctrica se clasifica baja potencia como una sola falla. De esta manera circuitos con potencia de salida cero caen en esta categoría, sin estar relacionados con pandeo. Fallas positivas falsas no relacionadas con pandeo pueden conducir a resultados confusos. El pandeo no es una causa única y las fallas tuvieron que ser confirmadas al recuperar potencia en reflujado, sólo las fallas relacionadas con el pandeo se relacionan con la resistencia de tierra. La elaboración de este trabajo alcanzó su objetivo, al demostrar que la deformación mecánica puede afectar la funcionalidad de un producto y deberá ser considerada en el diseño, selección de materiales y proceso de manufactura.

Figura 1. Circuitos Amplificadores de Potencia.



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

La operación de prueba funcional ha segregado circuitos defectuosos bajo el concepto de “*Low Pout*” o baja potencia de salida, el análisis de los datos muestra una parte de la población, por debajo del mínimo de potencia requerido. Se observa en la figura 2, el mínimo requerido de 31.5 db. Los valores más bajos observados en muestras de prueba, se clasifican como fallas marginales, todos por encima de 29 db. Se concluye, que aún cuando los circuitos funcionan, no alcanzan la potencia mínima de salida requerida. Se reporta que no se cuenta con circuitos que fallan en campo o devoluciones con este modo de falla, los circuitos muestran cierta mejoría montados en un tablero de prueba, o al aplicar una ligera presión hacia abajo, incluso con los dedos. Los circuitos que fueron calentados presentan un incremento en la potencia de salida corrigiendo el defecto. Este tipo de falla se ha detectado en productos maduros con 2 años en producción con una incidencia menor al 2%. Existen también dos productos que están comenzando su rampa de producción, que presentan una pérdida ligeramente mayor. Además, se reporta de un nuevo producto, con una incidencia aún mayor de 5% y un producto en fase experimental con pérdidas entre el 40% y el 60%. Se pretende encontrar una solución de corto plazo e identificar el mecanismo de falla para eliminarla del proceso.

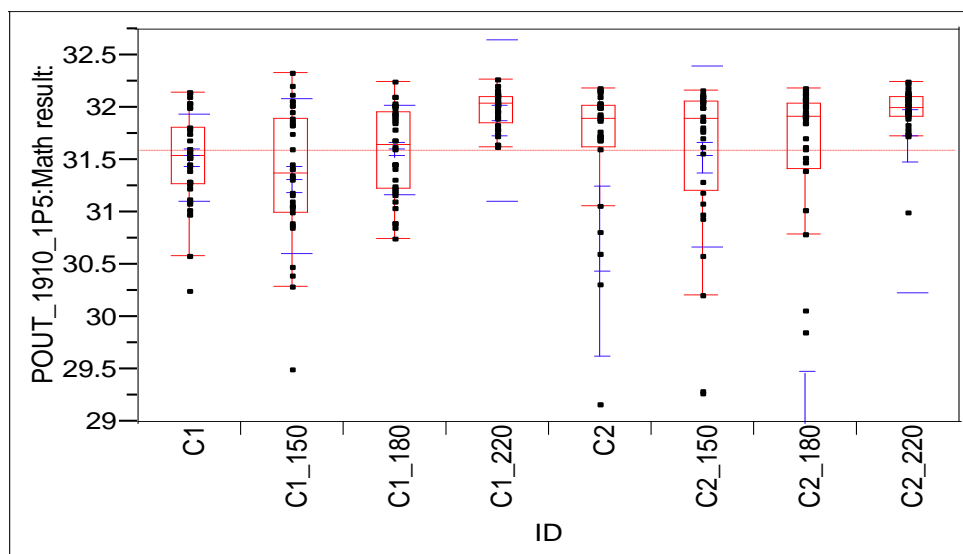


Figura 2. Falla por baja potencia de salida por debajo del límite requerido de 31.5 db.

1.1 Planteamiento del Problema.

Las tendencias en el empaquetamiento de microcircuitos electrónicos incluyen: 1) Continuar la miniaturización, 2) Circuitos multifunción o sistemas. 3) Incrementar el número de capas en el laminado, 4 a 8 capas. 4) Líneas y micro vías ultra delgadas, 5-15 μm . 5) Alta densidad de componentes, reduciendo la distancia entre ellos y el tamaño de los mismos. [1]. El proceso de ensamble y empaquetamiento del microcircuito involucra en sus etapas altas presiones y temperatura. Mismos que provocan la deformación en el material. Estrés mecánico residual producto de la diferencia en el coeficiente de expansión térmica CTE para los diferentes materiales que forman el tablero combinado con efectos termomecánicos en forma de pandeo o curvado del tablero.

Como se muestra en la figura 3, se ha encontrado que el pandeo representa un problema para el ensamble desde la oblea de silicio, en las etapas de rebajado de espesor, esta operación se realiza en frío para minimizarlo. Al igual que falla de circuitos BGA presentando fallas en campo o muerte prematura. [3].

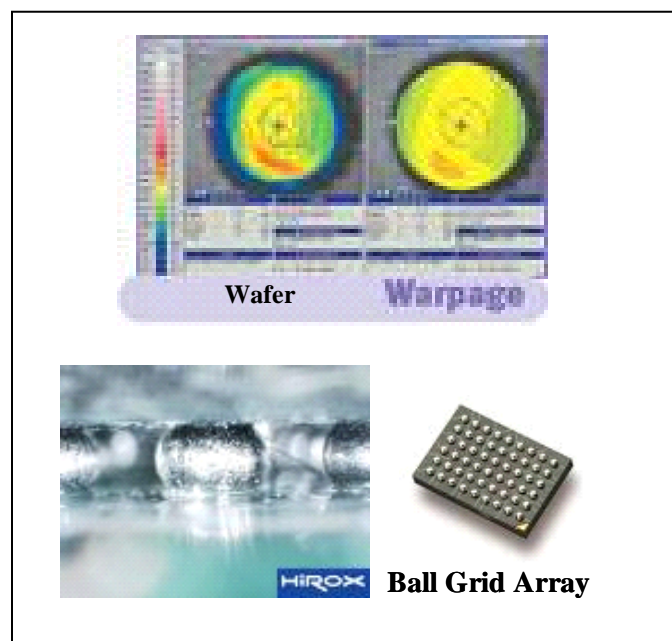


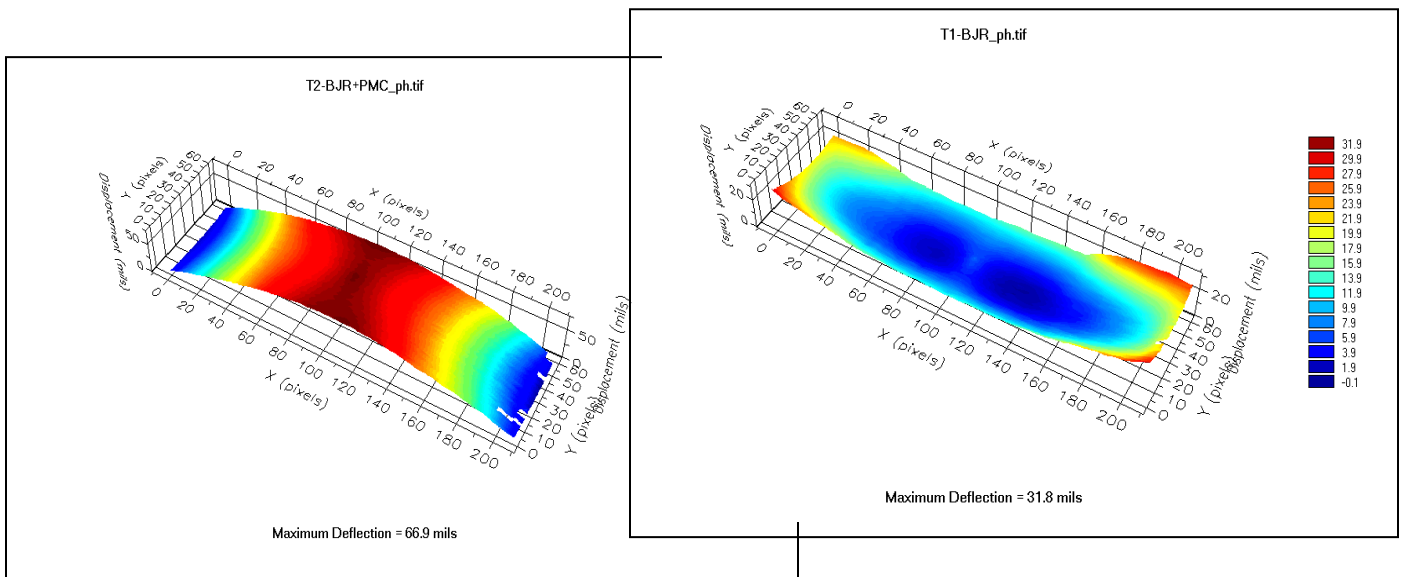
Figura 3. Problemas de ensamble relacionados con pandeo en la oblea de silicio o circuitos BGA.

El pandeo es una de las principales preocupaciones cuando se ensamblan circuitos, BGA, CSP, QFN debido a que obtener y mantener sustratos razonablemente planos resulta crítico para el éxito de la mayoría de las operaciones de ensamble, limitando la capacidad de la manufactura en: Montaje de componentes, pegado de dados, alambrado, moldeo, cortado y prueba. El pandeo es inducido en los procesos de curado y enfriado de epóxicos, como el plástico de moldeo y adhesivos. Una vez que se alcanza el punto de gel, los componentes son unidos en una red interconectada del polímero y no se pueden expandir o contraer libremente. Las diferencias en la contracción química o los coeficientes de expansión térmica pueden causar deformación. En un paquete el pandeo puede presentarse como triste (esquinas hacia abajo) o sonriendo (esquinas hacia arriba), ver figura 4. El pandeo depende de la geometría y las propiedades de los componentes del paquete, así como las condiciones del proceso. El pandeo también esta relacionado con el tamaño de dado de silicio, su geometría, el tamaño del paquete y las propiedades del plástico de moldeo. [10]. Sin embargo, no se encontraron en la bibliografía reportes de deterioro en el funcionamiento relacionados de manera directa con el pandeo. En este estudio se revisa la relación entre la deformación o pandeo del tablero y el detrimento en su función como amplificador de potencia.

Figura 4. Ejemplo de deformación observada:

Triste (esquinas hacia abajo)

Sonriendo (esquinas hacia arriba).



1.2 Justificación.

Los requerimientos de producción para la familia de productos GSM/GPRS han aumentado significativamente hasta alcanzar casi medio millón de circuitos por día. Por otro lado, el volumen de producción durante el año 2005, se ha mantenido entre 1 y 1.2 millones de circuitos por día. De manera que esta familia de productos ha ganado terreno hasta alcanzar el 50% del volumen diario de producción. Sin embargo, GSM/GPRS no se distinguen por su alto rendimiento necesario para mantener el reducido margen de ganancia. El producto más antiguo del grupo es el 77325, el cual ha presentado una pérdida de rendimiento constante por baja potencia marginal menor al 1% y se ha tolerado. El 77330 con un precio de venta mayor permite absorber una pérdida en rendimiento de 3% por la misma falla. Sin embargo, preocupa que el 77329, el que es el último producto para liberarse al mercado, presente una pérdida mayor al 7%, donde se espera que los volúmenes de venta se incrementen significativamente en los próximos meses. Con este nivel de pérdida, los márgenes de ganancia son erosionados significativamente perdiéndose la rentabilidad.

Preocupa además, el pobre conocimiento de la falla y variables en el proceso o materiales, ya que la falla se ha disparado abruptamente varias veces y en varios productos, desapareciendo y regresando, sin que se encuentre una razón. Las pérdidas totales anualizadas al volumen de producción actual son de \$4.4 millones de dólares. Ver detalles en tabla 1. Esta cifra es significativa cuando las ganancias reportadas en el 2004 y 2005 ascendieron a poco más de \$ 20 millones de dólares.

TABLA 1. Pérdida económica por baja potencia marginal en GSM/GPRS.

Parte #	Carga Diaria	\$/Venta	Pérdida en rendimiento. Dic'05	Pérdida US\$ Dólares Dic'05
77330	60,000	2.6	3.3%	\$ 5,150
77325	185,000	1.19	0.75%	\$1,600
77328	200,000	1.16	1.21%	\$2,800
77329	15,000	1.75	7.51%	\$1,950
77324	12,000	1.16	2.97%	\$400
		Venta perdida por día. Dólares.		\$11,900
		Pérdida por 90 días en millones de dólares.		< \$1.07

1.3 Descripción del trabajo.

El proceso de ensamble y empaquetamiento del microcircuito involucra en sus etapas altas presiones y calentamiento térmico. Mismo que provoca la deformación en el material. Estrés mecánico residual producto de la diferencia en el coeficiente de expansión térmica CTE para los diferentes materiales que forman el tablero, combinado con efectos termomecánicos, provocan el pandeo o curvatura del tablero, siendo ya reconocido como una limitante importante en el ensamble y prueba. En este estudio se revisa la relación entre la deformación o pandeo del tablero y el detrimento en su función como amplificador de potencia. La tabla 2 presenta un cronograma detallado de actividades.

Se utilizó la sombra de Moiré para medir por inferencia sin contacto y obtener información completa acerca de la superficie. Al revisar la deformación, en cada etapa del proceso, se encontró que el horneado posterior a Moldeo es el principal promotor del pandeo.

Se utilizó un arreglo electrónico para medir la resistencia entre el dado y el sustrato, mismo que permitió establecer una relación directa entre el pandeo y un aumento de la resistencia en la unión entre dado y tablero.

Después de verificar que la integridad y la confiabilidad de los circuitos no se modificaban al enviarlos 4 veces por reflujo. Un reflujo adicional propuesto como una modificación al proceso para disminuir la baja potencia marginal y 3 reflujo disponibles para el montaje del circuito en la aplicación final, mismos que están especificados en el producto y el cliente considera suyos. El proceso de ensamble fue modificado, al incluir un reflujo posterior al curado de moldeo.

Figura 5. Circuito de un teléfono celular.



TABLA 2. Cronograma.

Descripción de actividades	Meses											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Antecedentes de diferentes grupos, bases de datos y Bibliografía.	X	X										
Confirmar los modos de recuperación de las piezas, mapa de proceso, aplicación en el proceso, pruebas de confiabilidad. Implementar solución de corto plazo.		X	X	X	X	X	X					
Relacionar la resistencia de la unión Dado ↔ Tablero BJR, con la reducción en la potencia de salida.		X	X									
Caracterizar el pandeo en piezas defectuosas por coplanaridad.			X	X								
Investigar la influencia del Producto en el pandeo. Moiré.			X	X								
Investigar la influencia de materiales en el pandeo.				X	X							
Proponer un mecanismo de falla,						X	X	X				
Implementar y validar las soluciones encontradas. Comunicar la mejora encontrada.								X	X	X	X	X
Elaboración de Tesis										X	X	X

1.4 Objetivos.

- 1) Entender el mecanismo que limita la potencia de salida del amplificador, usar el conocimiento para asegurar y maximizar la potencia de salida como un factor de ventaja competitiva.
- 2) Mejorar el rendimiento del producto en la fábrica, incrementando los márgenes de ganancia, cumplir y exceder las expectativas del cliente.
- 3) Reducir el estrés mecánico de deformación en los materiales del paquete.

1.5 Hipótesis.

“La curvatura o pandeo en el circuito, cuando se presenta en forma de ceño, con las esquinas hacia abajo, aumenta la resistencia de la unión entre el dado de silicio y el tablero, ocasionando una disminución en la potencia de salida de los amplificadores GSM-GPRS”.

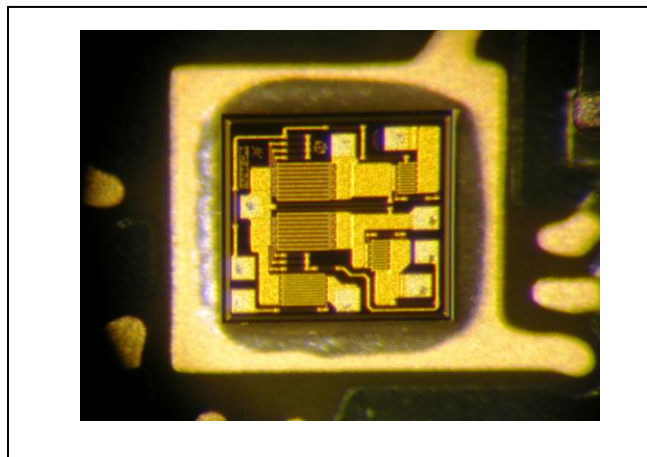


Figura 6. Dado de Silicio pegado en el tablero.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

2.1 Materiales compuestos.

Materiales diseñados que incluyen dos o más materiales, con características físicas o químicas muy diferentes, los cuales permanecen separados a nivel macroscópico, pero juntos forman un solo componente con características modificadas y en su estructura muy superiores.

El material compuesto más primitivo es el adobe, que incluye paja y fango, para que juntos puedan formar ladrillos y usarlos en la construcción de casas. La Biblia menciona cómo los Israelíes opresos por el faraón egipcio eran forzados a hacer ladrillos sin la paja, en deterioro de sus condiciones de vida. Actualmente, los ejemplos más avanzados se encuentran en aplicaciones espaciales para ambientes y condiciones muy exigentes. Los ejemplos más comunes incluyen el pavimentar caminos usando acero y Pórtland o concreto reforzado con asfalto o silicio; las duchas y tinas de baño hechas con fibra de vidrio, la superficie sólida, de imitación granito en fregaderos y cubiertas de cocina de mármol cultivado. Los materiales compuestos se encuentran también extendidos en la naturaleza, tales como el hueso y la madera.

En un material compuesto, los componentes cumplen dos funciones primordiales en la estructura del material, pueden actuar como: Matriz y refuerzo. El material de la matriz rodea y apoya los materiales del refuerzo, manteniendo sus posiciones relativas. Los refuerzos imparten sus características mecánicas y físicas, realzando las características de la matriz. Se produce un sinergismo, con características no disponibles en los materiales originales. Debido al total de materiales matriz y refuerzo disponibles, los potenciales de diseño son importantes.

Los principales factores del diseño involucran el tipo de matriz, refuerzo elegido y las cantidades a requerir. Solo la demanda en grandes cantidades justifica una inversión de capital y tecnología.

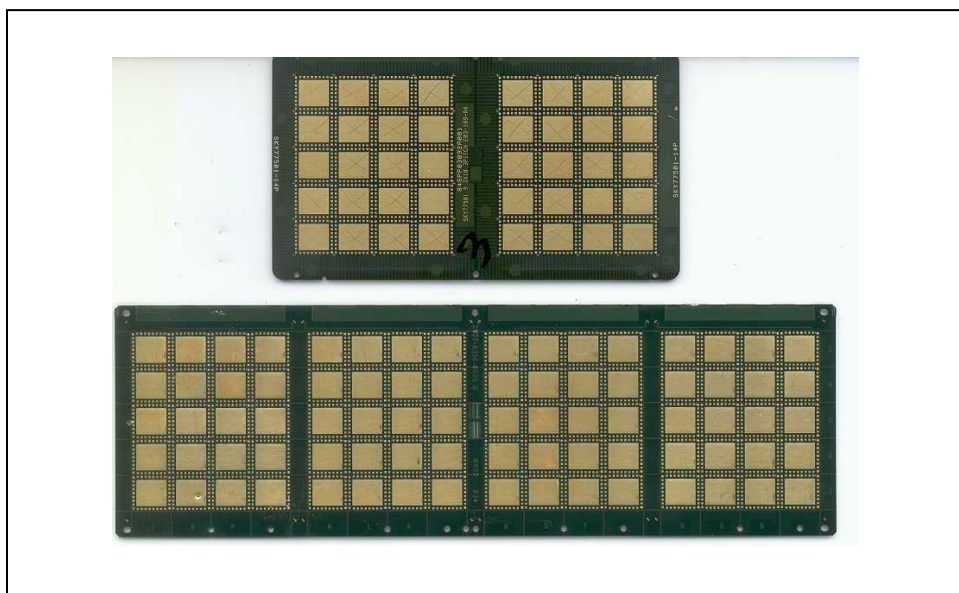
La mayoría de los materiales matriz son de tipo resina. Los más comunes son poliéster, vinil ester, fenólicos, poliamida, polipropileno. Los refuerzos más comunes son fibra o minerales molidos.

El moldeo se utiliza como operación principal en la fabricación de materiales compuestos, con las siguientes ventajas, ya que permite unir el refuerzo y la matriz, alcanzar un volumen menor y evitar vacíos en el material final. Los procesos de moldeo son: moldeo abierto (moldes), vacío (alta o baja temperatura) y autoclave (alta temperatura y alta presión). Otros métodos son: moldeo a presión por transferencia, fundido y fundido continuo. Las propiedades físicas de los materiales compuestos son generalmente no isotrópicos (la dureza no depende de la orientación de las fuerzas y momentos aplicados). Principalmente definidas por el Módulo de Young, la resistencia al rasgado y la relación de Poisson.

2.2 Fabricación de tableros (PWB) para semiconductores.

El método más conveniente para montar e interconectar componentes electrónicos es usando un tablero (PWB). Figura 7.

Figura 7. Tableros de construcción diferente mismo número de parte para 77501.

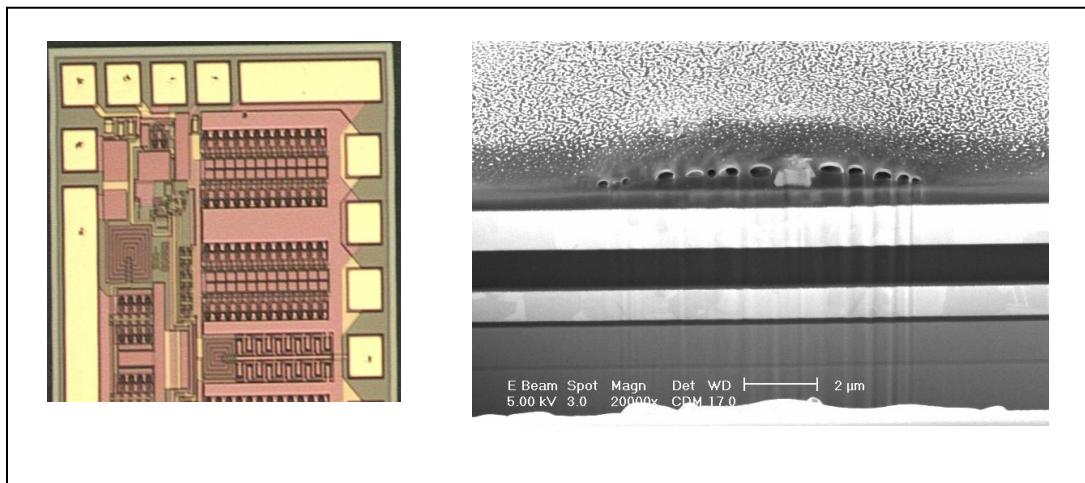


Los alambres para las interconexiones son delgadas líneas de un conductor y el componente de apoyo, una hoja de material aislante que cumple además otros muchos usos. Los tableros de capas múltiples son usados cuando la densidad de componentes, es tal que una sola capa, resulta insuficiente para el total de interconexiones requeridas. Figura 8.

Los taleros con capas múltiples pueden ser de uno o dos lados, con capas conductoras en medio como en un sándwich, todas unidas por capas de adhesivo epóxico parcialmente curado. Una configuración de capas múltiples consiste en un tablero con 5 capas (El plano de tierra, el plano de potencia, la capa superior de montaje y dos capas de corte), pero se han usado tableros de hasta 42 capas.

El proceso de manufactura de los tableros involucra la combinación de pocas operaciones básicas. La capa conductora para interconexión, puede ser construida por un proceso aditivo o subtractivo. En el proceso aditivo, el conductor es selectivamente depositado sobre el aislante, para crear una línea de conducción. En el proceso subtractivo una hoja es selectivamente removida, dejando la línea de conducción sin remover, éste es más comúnmente usado en los tableros orgánicos.

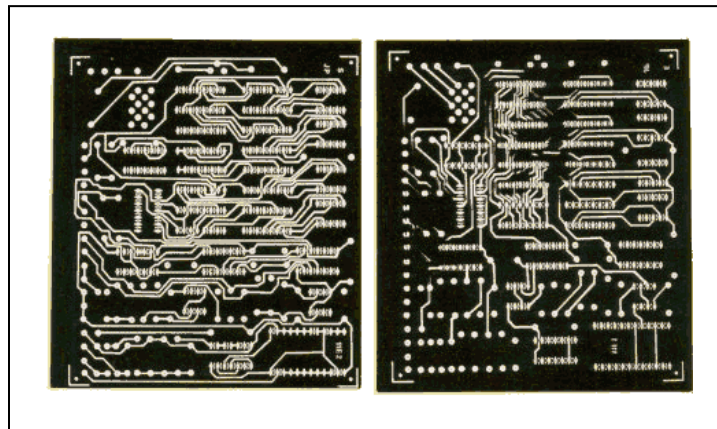
Figura 8. Dado de silicio, corte transversal mostrando detalle de construcción en capas.



Un laminado revestido de cobre es un material básico para la manufactura de tableros. Consiste de epóxico parcialmente curado, o poliamida, hojas de vidrio con hoja de cobre en cada lado. Como se muestra en la figura 9. El proceso de fabricación típico consiste de las siguientes operaciones:

1. Preparación de la distribución. *Artwork*.
2. Preparación del material.
Alisar, Perforar, quitar sobrante y limpiar.
3. Recubrimiento de cobre sin corriente.
4. Imagen.
Aplicación en seco o líquido de la capa resistente.
Máscara.
5. Recubrimiento con electricidad.
6. Remoción de la capa resistente.
7. Pulido con ácido.
8. Hacer conexiones eléctricas en el tablero.
9. Horno de Curado o reflujo.
10. Inspección.
11. Sellado de la superficie del tablero.
12. Separación del tablero del panel.
13. Prueba eléctrica.
14. Ensamble de componentes.
15. Inspección Final. [12]

Figura 9. Detalles de construcción para tableros electrónicos.



2.3 Temperatura de transición vítrea [Tg].

Los materiales cristalinos tienen punto de fusión bien definido. El punto de fusión es la temperatura, a la cual el arreglo cristalino se destruye por completo al calentarlo. Sin embargo, los polímeros presentan un rango de temperatura sobre el cual, el cristal se desvanece. Cuando un polímero es enfriado se contrae debido a la disminución en la vibración térmica de las moléculas y una reducción en el espacio libre interatómico. En el caso de un polímero amorfo, esta contracción continúa por debajo del punto de fusión. Por otro lado, para el polímero cristalino la temperatura de transición vítrea por debajo de la temperatura de fusión se comporta como un líquido súper-enfriado y se vuelve extremadamente rígido con una densidad extremadamente alta, contrario al punto de fusión donde ocurre una transformación del líquido a la fase cristal. Figura 10.

El material por debajo de la Tg es esencialmente un líquido muy viscoso. Tal fenómeno es comúnmente observado en vidrio inorgánico compuesto de silicatos. En el caso de los polímeros amorfos se trata de estructuras de vidrio hechas de moléculas orgánicas. Aunque la Tg no representa una transición de fase termodinámica, en muchas maneras es parecido al punto de fusión para los sólidos cristalinos. Muchas propiedades físicas (como viscosidad, capacidad calorífica, módulo de elasticidad y coeficiente de expansión) cambian abruptamente al alcanzar la Tg.

El Poliestireno tiene una Tg de 100° C y es rígido a temperatura ambiente. El caucho tiene una Tg de -75° C y es blando a temperatura ambiente. La Tg es función de la estructura del polímero. Aunque la Tg de los vidrios inorgánicos son al menos 100° C mayores que los polímeros. Ya que los vidrios inorgánicos presentan enlaces mixtos iónico, covalente y mayor entrecruzamiento, resultando en una mayor estabilidad térmica. Los polímeros presentan enlaces covalentes y de Van Der Waals y menor entrecruzamiento. [13]

Temperatura de Transición Vítre

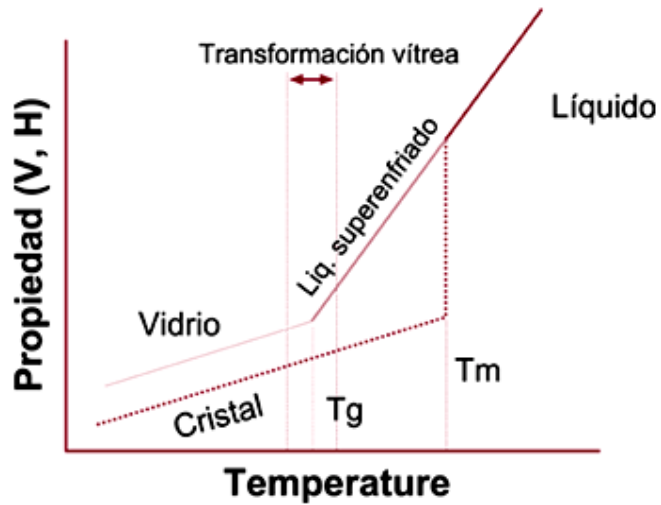
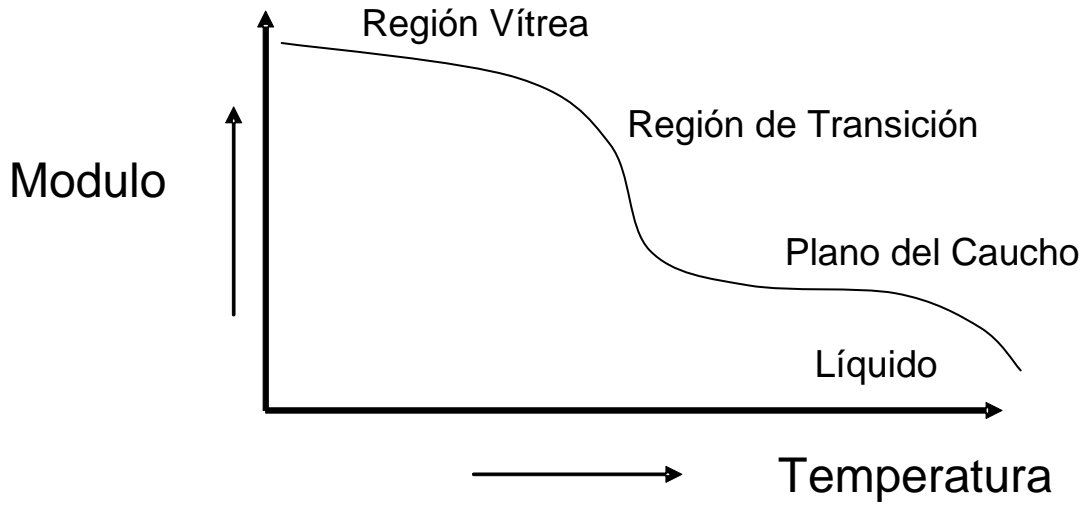


Figura 10. Representación gráfica de la T_g .

2.4 Tableros con base de PTFE y dieléctrico mixto.

Los tableros con materiales que presenten baja pérdida al transmitir permiten una propagación de la señal más eficiente, son un requerimiento clave en aplicaciones de alta velocidad y/o de alta frecuencia donde la pérdida en señal es crítica para el funcionamiento del sistema y la pérdida se incrementa a medida que la frecuencia se incrementa.

Las aplicaciones de baja potencia y alta densidad como los teléfonos celulares digitales, los sistemas de comunicación personal (PCS) o de posicionamiento global (GPS) son algunas de las aplicaciones más representativas. Esta baja pérdida es un atributo eléctrico de las resinas, refuerzos, laminados utilizados en el tablero. Todos ellos contribuyen a reducir la potencia total a través del material como un factor de disipación.

Uno de los mejores diseños involucra el uso de laminados con base PTFE (politetrafluoruro etileno o teflón) en una técnica llamada de dieléctrico mixto. Figura 11. Capas de FR-4 con capas de vidrio relleno y con PTFE, en una estructura de varias capas. Este procedimiento permite diseñar circuitos de alta frecuencia que requieren una pérdida baja en la capa superior de PTFE, mientras que al mismo tiempo se transportan señales digitales menos críticas a un bajo costo. Además, es posible alcanzar un alto nivel de integración en su construcción y la relación costo/funcionamiento alcanza mayor fidelidad. Aunque no está libre de problemas debido a los agresivos tratamientos con plasma y químicos para trabajar el PTFE, los cuales son agresivos al FR-4 y la rugosidad burda del terminado provoca fibras que se desprenden afectando el recubrimiento. Una dificultad adicional al usar dieléctricos mixtos es controlar lo plano del tablero final. Las inherentes diferencias en las propiedades elásticas y los coeficientes de expansión térmica causan pandeo después del proceso de laminado. El aplanado por constricción a altas temperaturas, representa una mejora disponible para este difícil problema. El proceso debe ser bien controlado respecto a las pendientes de calentamiento y enfriamiento. Aún cuando al tablero se aplanan, cierto pandeo regresa cuando se libera el mecanismo de constricción. Por supuesto que sería preferible

eliminar el pandeo desde la etapa de laminado, en vez de añadir costo y etapas adicionales al proceso final. Además de eliminar la necesidad de procesar un tablero pandeado a través de perforado o chapeado. Una alternativa consiste en usar un autoclave o laminado “Isostático”. Este tipo de laminado o una variación es usado en el sellado de capas múltiples a baja temperatura para cerámicos o LTCC. [11]

La naturaleza del proceso de fabricación requiere sustratos que sean bastante uniformes y planos lisos con deformación mínima o distorsión. La estabilidad dimensional es otra característica importante, para asegurar que existe un mínimo desplazamiento durante el proceso. Se están realizando experimentos con laminados no tejidos para eliminar distorsión causada por la cadena misma. Otros se basan en un alto módulo como las Aramidas. Se espera una respuesta debido al cada vez mayor número de micro vías y la constante reducción en su tamaño.

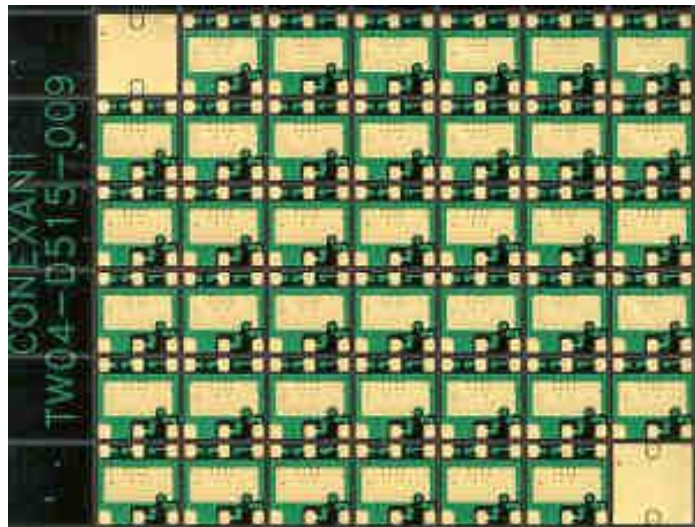


Figura 11. Tablero con base PTFE y dieléctrico mixto.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1 Franjas de Moiré.

En este proyecto se hizo uso del equipo TherMoiré para medir por inferencia sin contacto y obtener información completa acerca de la superficie. La sombra o franjas de Moiré pertenecen al campo de la óptica, mediciones por inferencia, sin contacto, que proporcionan información completa acerca de la superficie. La idea de sobreponer una rejilla y crear una sombra como referencia para un sistema de medición es antigua. Es Lord Rayleigh quien generalmente recibe el crédito como el primero con una publicación científica referenciado a Moiré. Rejillas lineales desarrolladas en los 50' s y 60's para fines de metrología son ahora tecnología establecida. El uso de rejillas como una herramienta experimental para medir la deformación en 2 dimensiones fue analizado en teoría por Guild y puesta en práctica por Post y otros en los 60s. La interferencia de Moiré que incrementa grandemente la sensibilidad en los análisis de estrés y deformación, fue desarrollada en los 70's, mientras que los métodos más precisos de corrimiento aparecieron en los 80's. Las mejoras en el láser para iluminación y los detectores de imagen de estado sólido significan que la tecnología ha avanzado a un punto donde es ahora bien entendida, flexible y capaz de generar grandes cantidades de datos en una forma fácil de entender y que puede ser precisamente cuantificada. [14]

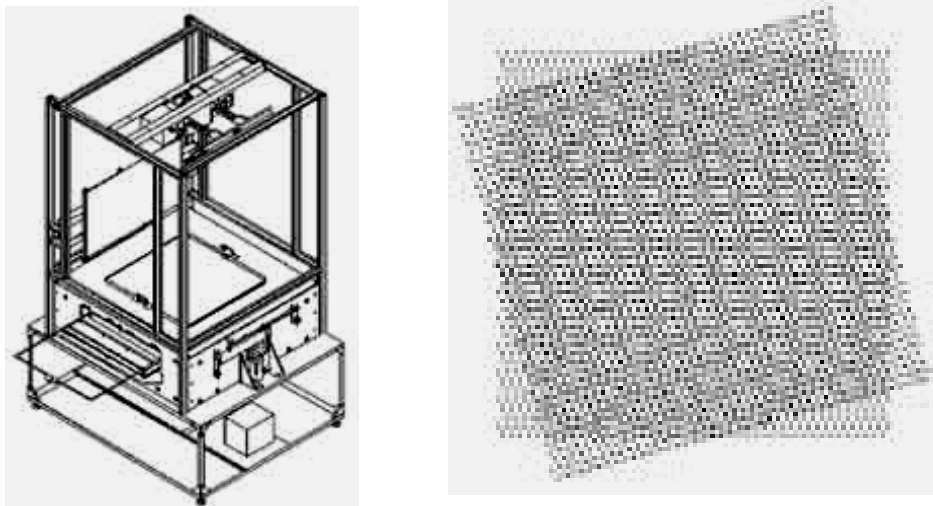


Figura 12. Esquemático del equipo TherMoiré y superposición de franjas de Moiré.

Se produce un patrón de interferencia en forma de franjas de Moiré cuando dos patrones similares de líneas delgadas y oscuras se traslapan. Las medidas relacionadas con la franja o sombra de Moiré, se han utilizado con éxito para caracterizar superficies como los substratos o tableros electrónicos, pequeños componentes o áreas más grandes.

Las medidas son hechas colocando un cristal bajo en cuarzo, con líneas paralelas igualmente espaciadas grabadas en agua fuerte. Esta sirve como la rejilla de referencia. Una sombra de la rejilla de referencia es proyectada sobre la superficie del espécimen, usando luz blanca en un ángulo de 45 grados a través de la rejilla. Si el espécimen es plano y paralelo a la rejilla de la referencia, no se produce ningún patrón de la franja de Moiré. Cuando la superficie del espécimen se curva, comba, o pandea, las franjas del Moiré se producen como resultado del patrón de interferencia geométrico creado entre la rejilla de la referencia y la rejilla de la sombra. El patrón de Moiré que resulta se utiliza para caracterizar la deformación en la superficie del espécimen. Para mas detalles del equipo utilizado consulte la figura 13.

Cada franja representa la distancia desviada fuera de una posición plana. Por ejemplo, si se utilizan 100 líneas por pulgada en la rejilla, cada franja de la imagen que resulta representa una dislocación de 0,01 pulgadas (1/100 pulgada). Al alternarse franjas negras y blancas, es posible contarlas para obtener un valor de la desviación. La sensibilidad del equipo seria $\frac{1}{2}$ del ancho de la rejilla. Se obtienen mejoras en la resolución, cuando se mueve el plano del espécimen, y se sigue la franja al cambiar de lugar y fase.

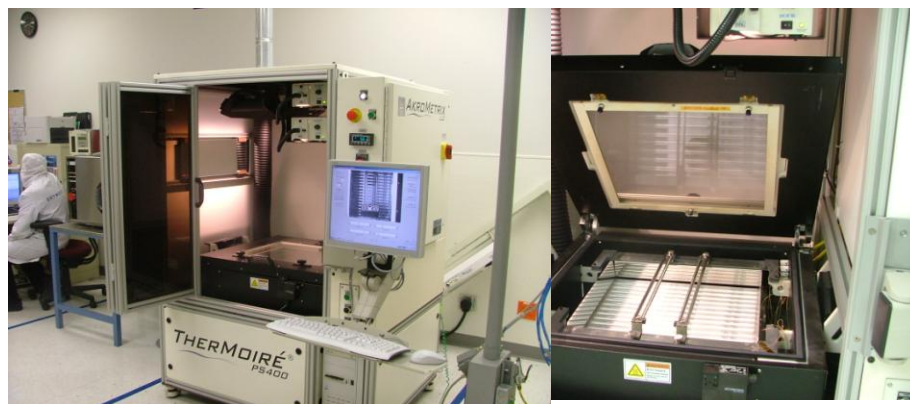


Figura 13. Equipo TherMoiré PS400 con cámara de calentamiento.

3.2 BJR. Medición de la resistencia en la unión dado-sustrato.

Para medir la resistencia a través de la unión se hizo un arreglo electrónico usando un medidor de nano voltaje y una fuente de corriente. Como en la figuras 14 y 15. Fue necesario modificar una oblea de silicio para que tuviera la parte de abajo recubierta con oro y asegurar un buen contacto a tierra. La mayoría de las mediciones fueron hechas sobre paneles abiertos después del alambrado. Como se muestra en la figura 16.

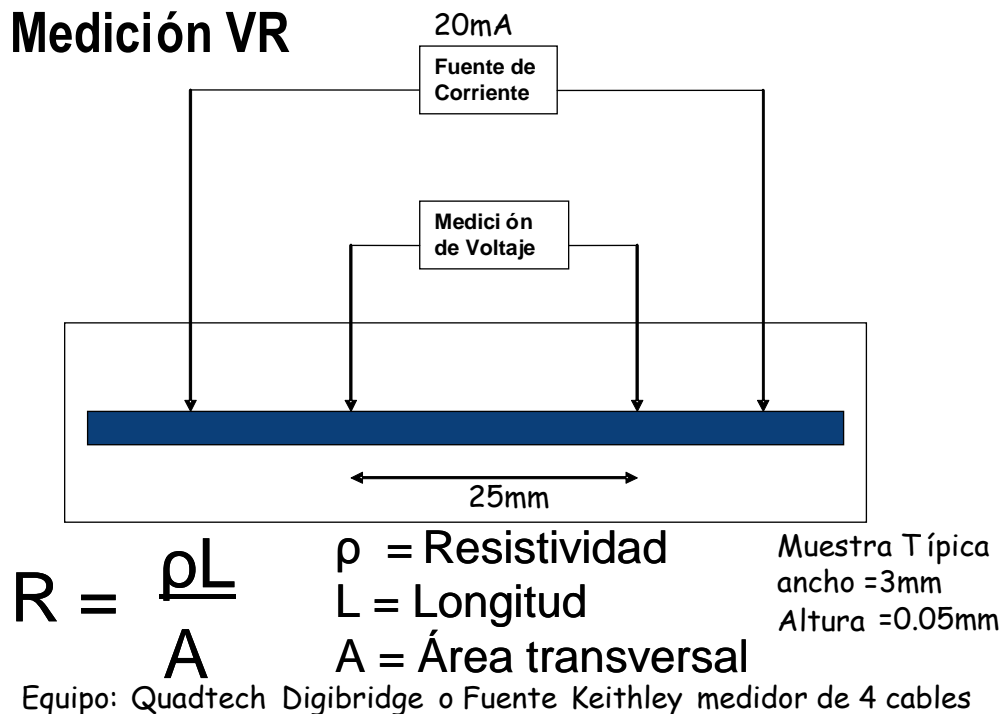
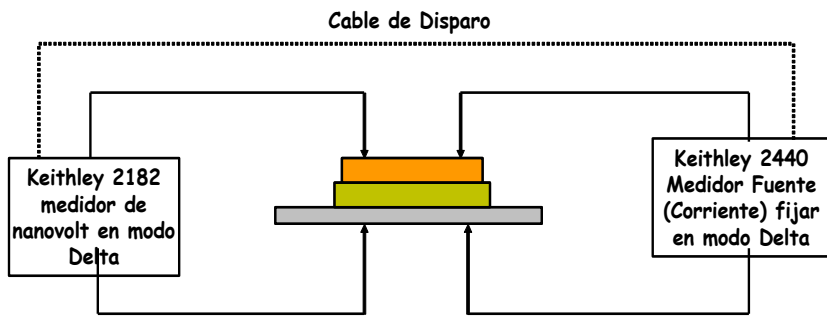


Figura 14. Arreglo electrónico para determinar la resistencia de un material.



Para materiales muy conductivos, usar 1-5 Amps (ajuste para dar sensibilidad al medidor de nanovolt)
 Para materiales menos conductivos, usar 0.001-0.0001 Amps

BJR Test Method

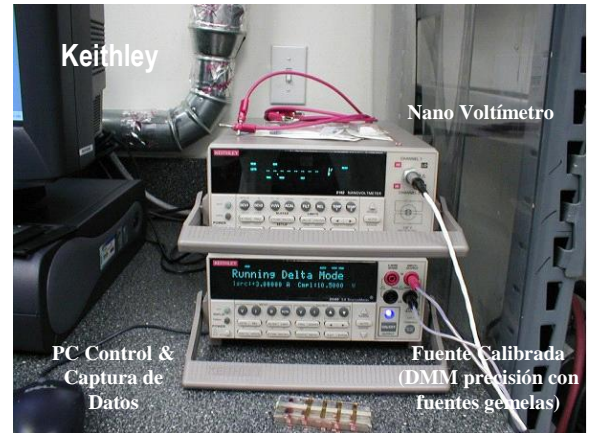


Figura 15. Arreglo electrónico para determinar la resistencia en la unión dado - sustrato.

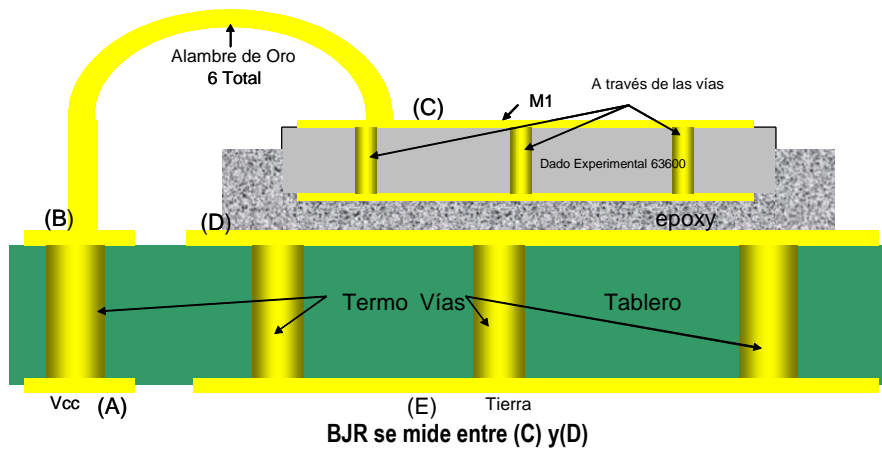


Figura 16. Circuito modificado para permitir la medición de resistencia en la unión dado - sustrato. La oblea de silicio fue chapeada con oro para asegurar el contacto del dado sobre a resina.

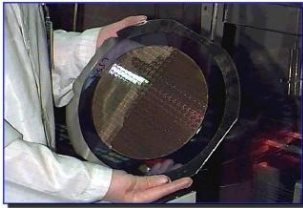
3.3 Operaciones del proceso de ensamble de circuitos.

En las figuras 17 y 18 se muestra la secuencia del proceso de ensamble para las operaciones dentro del cuarto limpio, ensamble final prueba y embarques.



Rebajado de la oblea de silicio.

Una piedra desgasta la oblea de un espesor de 30 a 11 milésimas de pulgada, el agua desionizada evita el sobre calentamiento y retira el material desprendido.



Trazado de la oblea.

Las obleas de silicio son montadas en aros de metal, se usa una cinta pegajosa para sujetarlas, una sierra de diamante corta y separar los dados. Se enfrían con agua desionizada mientras se corta.



Pegado de dados.

Los dados son removidos de la oblea y se colocan en el sustrato. El adhesivo en el dado es curado en un horno a 125° C por 4 horas.



Alambrado.

Los dados son unidos al sustrato por medio de un alambre de oro muy delgado de 1 milésima de pulgada de espesor. El dado se calienta a 175° C por 5 minutos.

Figura 17. Equipos utilizados en proceso de ensamble para operaciones con ambiente en cuarto limpio.



Moldeo.

Los sustratos son precalentados a 165° C por 3 minutos. Posteriormente, los dados son encapsulados por inyección de plástico en prensas que funcionan a alta temperatura 165° C y alta presión por 5 minutos. El plástico es curado en un horno a 165° C por 6 horas.



Marcado con Láser.

Los paquetes se marcan con la información comercial como: número de lote, fecha de fabricación y logo de la empresa.



Cortado.

Las unidades individuales se separan del sustrato utilizando una sierra de diamante.



Prueba eléctrica.

Se realiza prueba eléctrica, funcional y dimensional a todo el material, buscando asegurar el perfecto funcionamiento del microcircuito.

Inspección física.

Los circuitos son examinados automáticamente con un sistema óptico digital, para asegurar que el material está libre de defectos y cumple con los requerimientos del cliente.

Figura 18. Equipos utilizados en proceso de ensamble final, prueba y embarques.

Embarques.

El material que pasó todas las pruebas físicas y eléctricas, se embala y se manda directamente al cliente en cualquier parte del mundo.

CAPÍTULO 4. REPORTE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Matriz de diagnóstico por número de parte.

Se realizó un resumen de los principales números de parte y la recuperación de fallas en curado. Ver tabla 3. Encontrado que el adhesivo epóxico 1290 de última formulación con una mayor concentración de plata, mejoró el rendimiento para algunos números de parte como 77501, sin encontrar fallas por baja potencia marginal. Los materiales 77321 y 77500 no recuperaron fallas en curado y no encontró relación con algún número de dado en particular. Aunque el problema se presentó en todos los productos GSM/GPRS.

TABLA 3. Análisis por número de parte y dado en circuitos de alto volumen por baja potencia marginal.

Parte #. Alto volumen de Incidencia	Dado #	Recuperable en curado	Estable	Adhesivo Utilizado
77324	63106	Si	Si	1290
77325	63106	Si	Si	1290
77328	63119	Si	Si	1290
77329	63611 63622	Si	Si	1290
77330	63601 63600 IP0845 IP0846 RP0844	Si	Si	1079B
77500	63106 RX0710 RP0784	No	No	1290 1576 1290
77321	63094 31041	No	No	1290 1576 ^a
77501	63600 63601 RE0785 RP0734 BP202A Pin Diodo	Si/No	No	1079 ^b

4.2 Reporte de pérdida promedio por baja potencia marginal en el periodo de diciembre 2005 a marzo de 2006.

Una vez identificados los números de parte que recuperaban la baja potencia marginal posterior al curado, se procedió a revisar en los archivos de prueba, el porcentaje de pérdida y la incidencia. En la tabla 4 se muestra que al menos el 1% del material estaba siendo segregado por la falla y que la incidencia por lote era alta, al encontrar que 1 de cada 2 o 3 lotes presentaban un bajo rendimiento por baja potencia marginal.

TABLA 4. Pérdida de rendimiento e incidencia por lotes en productos GSM/GPRS por baja potencia marginal.

Producto	Tamaño	Pérdida	Incidencia	Comentarios
77324	6x8	1.5%	1 de 2 lotes	Alto volumen.
77325	6x8	0.8%	1 de 2 lotes	Un pico a finales de Enero. Alcanzando 1.5%
77328	6x6	1.2%	1 de 3 lotes	Alto Volumen
77329	6x8	6 a 7%	2 de 3 lotes	Mejoro al implementar adhesivo 1290W HTC
77330	9x12	3%	1 de 20 lotes tiene una perdida >30%.	Un pico al final de Feb Mar fallando un 15% lotes

4.3 Recuperación de potencia bajo reflujo a diferentes temperaturas.

Muestras del mismo lote de material 77325, que presentaron en prueba un rendimiento bajo menor al 60% por baja potencia marginal, fueron enviadas a través del horno de reflujo a diferentes temperaturas, con un recorrido dentro del horno de 5 minutos. La figura 19, muestra como se incrementa la potencia de salida por encima del mínimo requerido de 31.5 db. El rango también se ve reducido a medida que se incrementa la temperatura, principalmente a 220C, donde se tuvo una recuperación cercana al 90% al reprobar las piezas. El análisis Moiré del material en tiras mostró a la misma temperatura un reducción significativa del pandeo. Como lo muestra la figura 20.

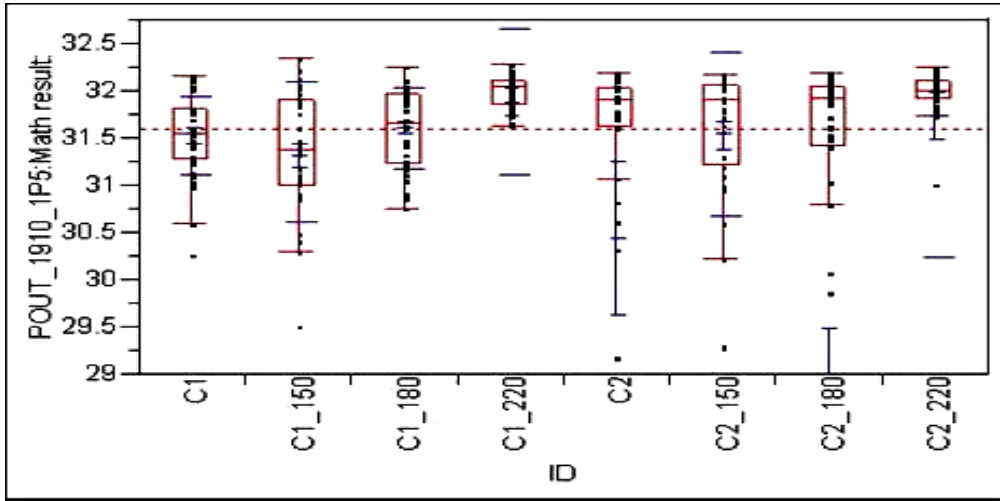


Figura 19. GSM/GPRS Aumento significativo en potencia al calentar, el material 220° C por 3 minutos en horno de reflujo, la Tg reportada por el fabricante es 210° C

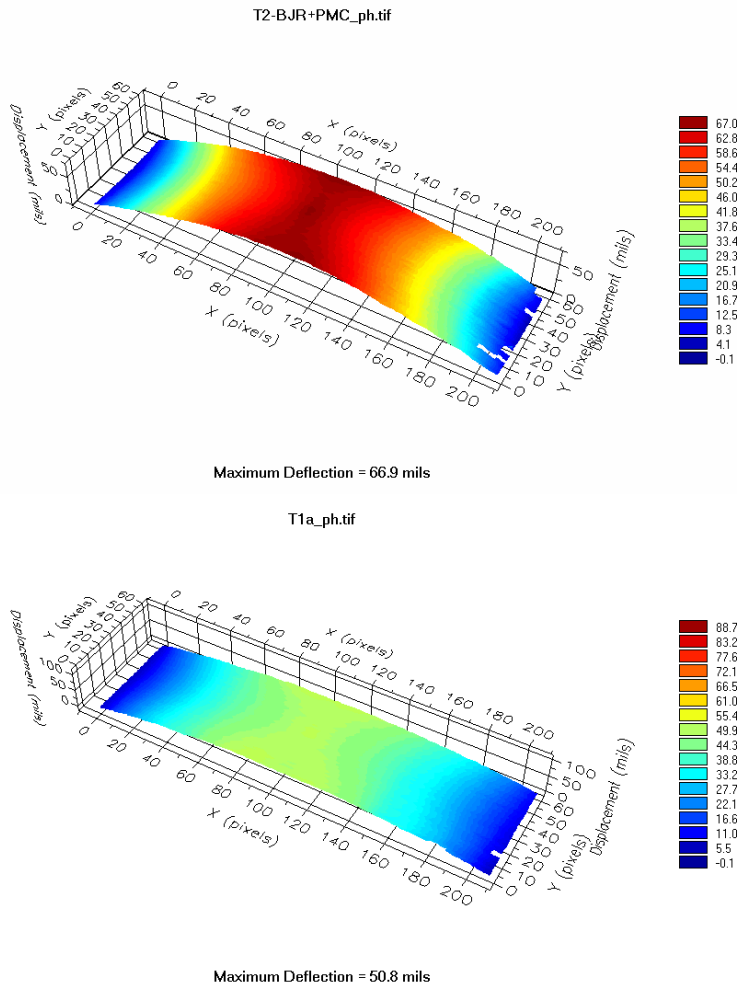


Figura 20. La sombra de Moiré muestra la disminución en la deformación posterior al tratamiento térmico.

4.4 Análisis físico por corte transversal en circuitos 77329-13, fallas por baja potencia marginal y posterior aumento en potencia por tratamiento térmico.

Dos muestras de 77329-13 que fallaron en pruebas, por baja potencia marginal fueron cortadas a través en una línea que dividía el dado 63623 a la mitad. Detalle del corte en la figura 21. Las piezas se enviaron a reflujado y se buscaron sin encontrar diferencias significativas. Se hizo un corte transversal a dos piezas que pasaron pruebas y se compararon con las anteriores sin encontrar una diferencia obvia para correlacionar la falla. Figuras 22 y 23.

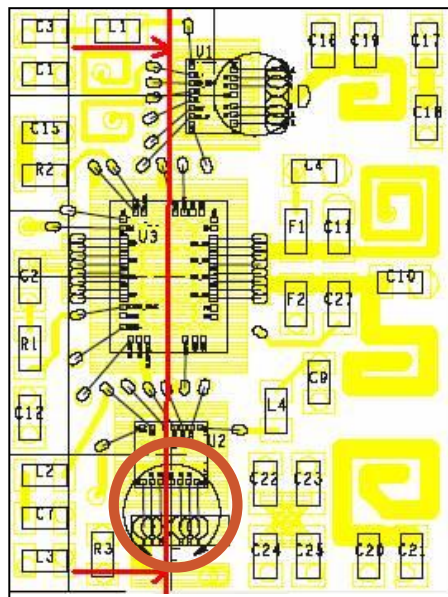


Figura 21. Circuito 77329 corte transversal.

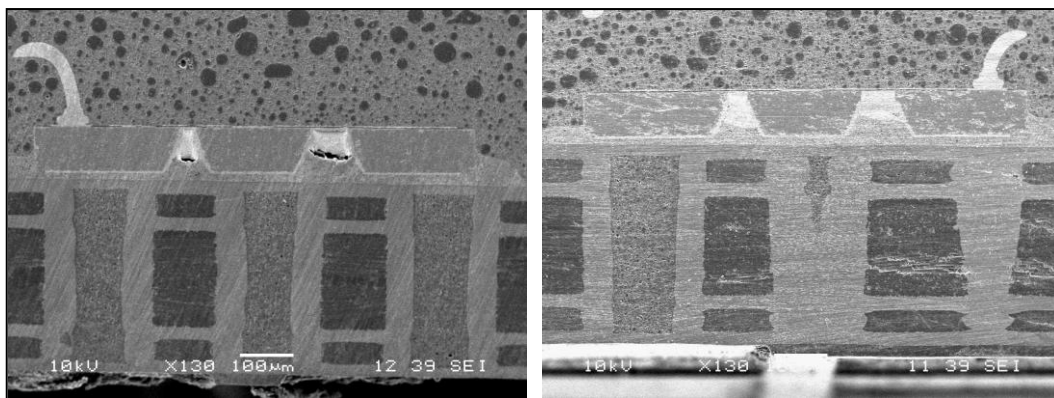


Figura 22. Corte transversal piezas que pasaron prueba en ensayo.

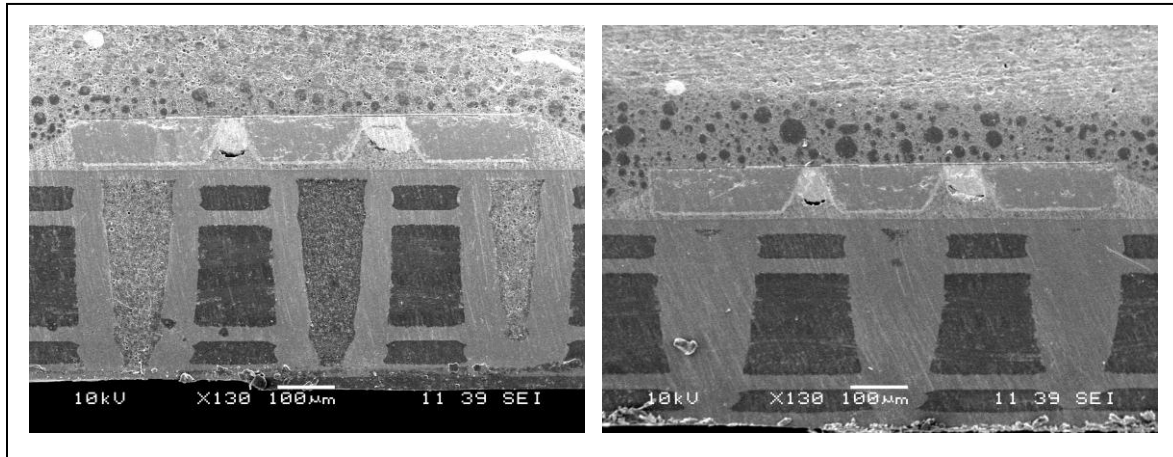


Figura 23. Corte transversal, pieza que fallo prueba en el ensayo y se recupero en reflujo.

4.5 Mediciones de coplanaridad para determinación del pandeo.

Circuitos individuales de 77329-13, lote # 3083286.1 fueron medidos, en el equipo Nikon VMR 3020, con el circuito invertido apoyado en la base plana del equipo. Figura 24.

Se midió la altura de 16 contactos, usando un láser, para construir un plano y evaluar la deformación considerando, la diferencia del punto máximo al plano y el punto mínimo al plano. La repetitividad encontrada para un mismo circuito se mantuvo por debajo de 2 μm . Se midieron 4 grupos, antes y después de someter a reflujo los circuitos a 220° C y 240° C. Sin embargo, los resultados en la tabla 5, mostraron que este modo de medir la deformación no permite observar cambios en el material. Además, la coplanaridad se muestra como un solo número que permite diferenciar entre esquinas hacia arriba o esquinas hacia abajo o la forma en que se deforma.

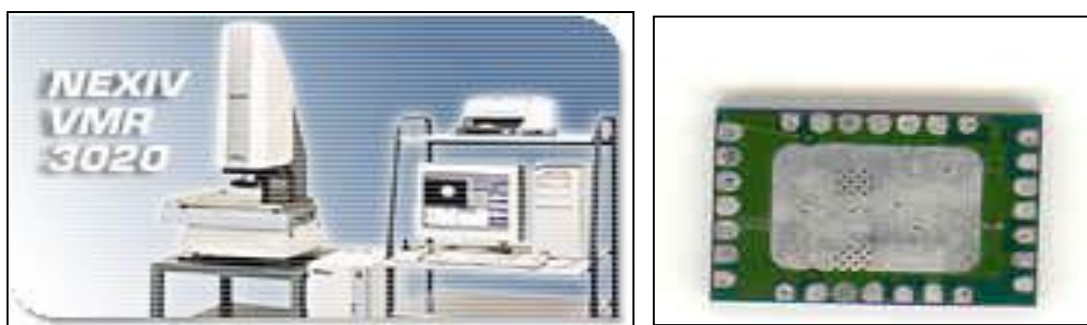


Figura 24. Equipo para medir alturas con láser NIKON VRM3020 y circuito invertido para medición

TABLA 5. Resultados de coplanaridad en circuitos individuales 77329-13.

Coplanaridad [milésimas de pulgada]	220° C		240° C	
	Antes	Después	Antes	Después
Media	9.1	8.2	9.6	9.9
Desviación Estándar	2.3	1.8	2.1	3.2
Mínimo	1.9	1.6	1.63	1.4
Máximo	4.3	4.5	5.4	4.9
Muestra	200	200	200	200

4.6 Pandeo por operación.

Para un total de 180 tableros recopilados de material 77325-12 en proceso se midió el pandeo en tiras de 180 x 60 mm para cada operación, usando el TherMoiré. Encontrando que el pandeo se incrementa a lo largo del proceso y que la operación de curado de plástico posterior al moldeo o PMC fue la operación con pandeo más pronunciado, alcanzando 100 milésimas de pulgada o 1.4%. Midiendo por separado las 4 unidades de moldeo individuales de 60 x 60 mm, el máximo alcanzado fue de 20 milésimas de pulgada o 0.85% predominando también PMC y las galletas centrales.

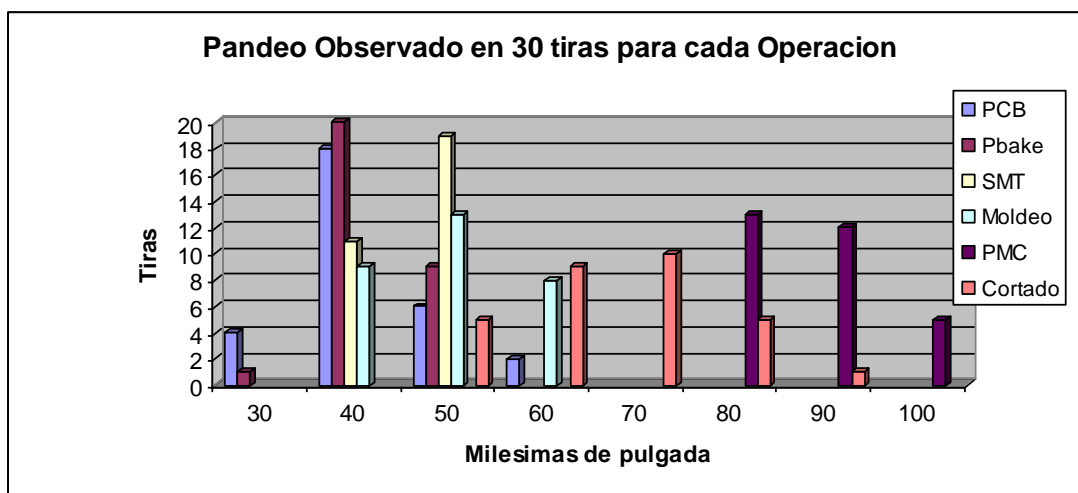


Figura 25. Deformación encontrada en la tira usando TherMoiré en las operaciones de ensamble.

4.7 El material 77329-12 aumentó la potencia de salida al remover plástico de moldeo en la superficie.

El plástico de moldeo que encapsula al circuito tiene un espesor de 0.7 mm y fue removido mecánicamente con un buril, una línea delgada de poco menos de 0.1 mm de profundidad, línea que pasaba justo encima del centro de los dados de silicio en el circuito, lo que incremento la potencia de salida para las bandas de 1910 y 1710 KHz, para una muestra de 10 circuitos. Se muestran los resultados de prueba en la figura 26.

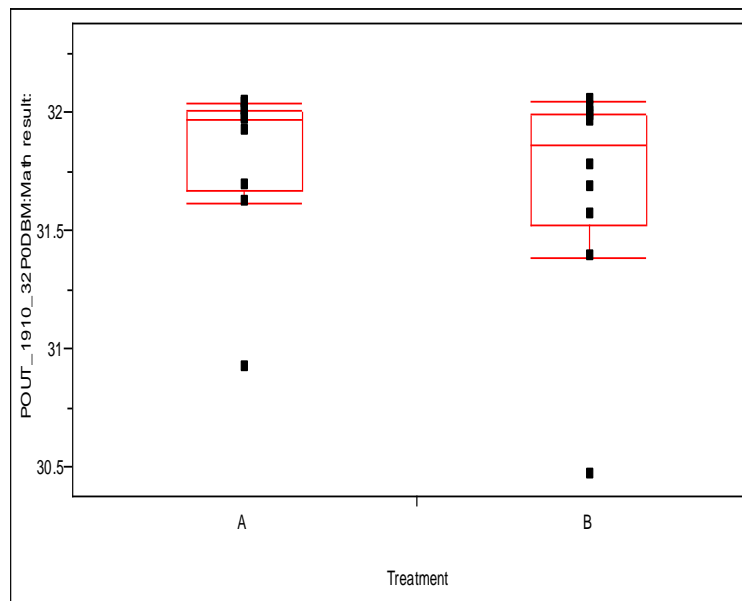


Figura 26. Recuperación de la potencia de salida al remover una línea delgada de plástico en la superficie de circuito, sobre los dados.

4.8 Simulación del proceso de curado posterior a moldeo usando TherMoiré.

Se midieron 3 tableros 77325-13 marca Samsung moldeados con plástico Sumitomo G770 HA, una medición de desplazamiento fue realizada cada 300 segundos. El material fue sometido a calentamiento tratando de reproducir las condiciones de curado posterior a moldeo ó PMC, siguiendo un perfil de la siguiente manera: 1) Pre calentamiento: 40 minutos de 30° C a 165° C, 2) Temperatura constante por 5 horas a 165° C y enfriamiento con aire de 165° C a 80° C en 40 minutos, se observó un incremento en el pandeo por galleta de 5 a 7 y hasta 10 milésimas de pulgada. Al final del primer PMC, se

programó el equipo para alcanzar 230° C en 40 minutos y se observó que después de alcanzar 210° C, el pandeo disminuyó abruptamente alcanzando niveles menores a 2 milésimas a 220° C. Como se muestra en la figura 27. Este comportamiento coincide con reportes del fabricante del tablero que establecen que la temperatura de transición vítrea o Tg es 210° C, sin embargo, el mayor pandeo se observó en las pendientes de calentamiento alrededor de 120° C y parece estar relacionado con la temperatura y los coeficientes de expansión del material, más que con la pendiente de calentamiento, ya que la pendiente de calentamiento fue de 3.3° C/min o 0.05° C/sec, muy baja comparada con las pendientes de precalentamiento en el horno de reflujo menores a 2° C/sec.

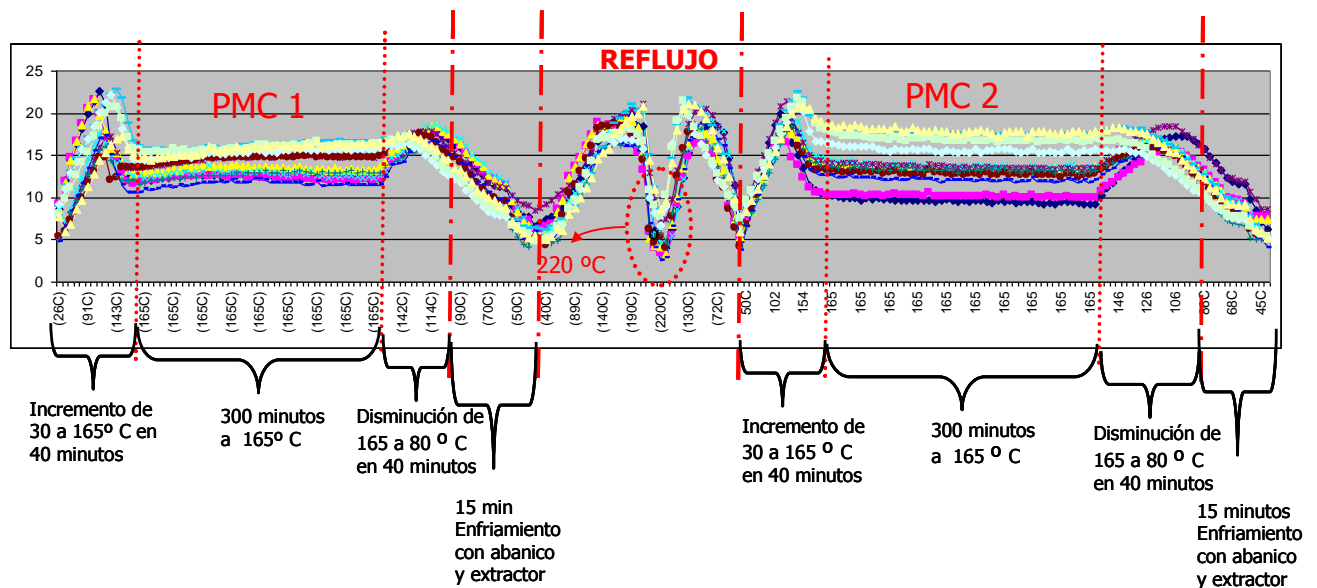


Figura 27. Simulación en TherMoiré de curado posterior a moldeo PMC y horno de reflujo a 220° C.

4.9 Diseño de Experimentos. Influencia de parámetros en Datacon para el pegado de dados sobre el BJR o la resistencia de la unión dado - sustrato.

Se buscó identificar los parámetros mas importantes utilizados en el pegado de dados con el equipo Datacon, de manera que controlaran el BJR y así poder relacionarlos con la alta incidencia localizada en pocos equipos. La fábrica cuenta con 33 equipos Datacon y en sólo 4 de ellos se detectaron el 50% de los lotes con bajo rendimiento y fallas relacionadas con baja potencia. Antes de este trabajo la mayoría de los esfuerzos por

entender la baja potencia marginal se concentraron en la operación de pegado de dados. Las variables evaluadas fueron: 1) **BLT** o altura del adhesivo bajo el dado. 2) **Floor** o tiempo del adhesivo en el piso. 3) **Tack** o pausa inducida para permitir cambios en viscosidad o sedimentación de adhesivo. 4) **Cure** rango alto y bajo de temperatura y tiempo en curado de adhesivo 150° C por 60 min o 180° C por 90 min. 5) ATM o atmósfera en curado de aire o nitrógeno. Aunque se encontró una fuerte interacción entre variables, figura 28. El efecto sobre la media no fue significativo y el punto óptimo se encontró dentro del rango de trabajo, por lo que se descartó una influencia directa de pegado de dados en Datacon. Las variables identificadas como críticas del proceso y el BJR.

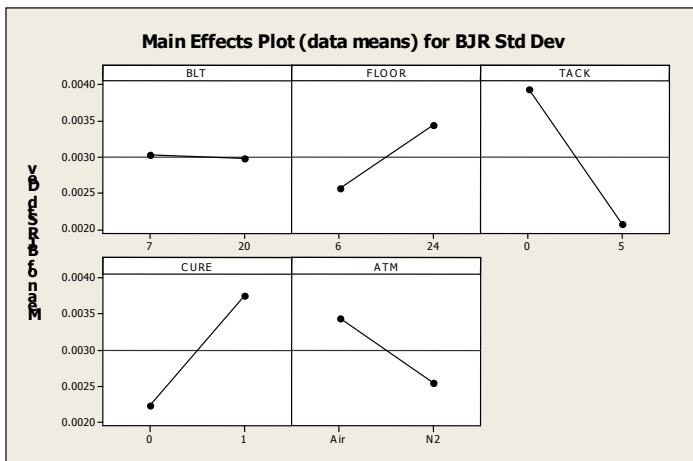
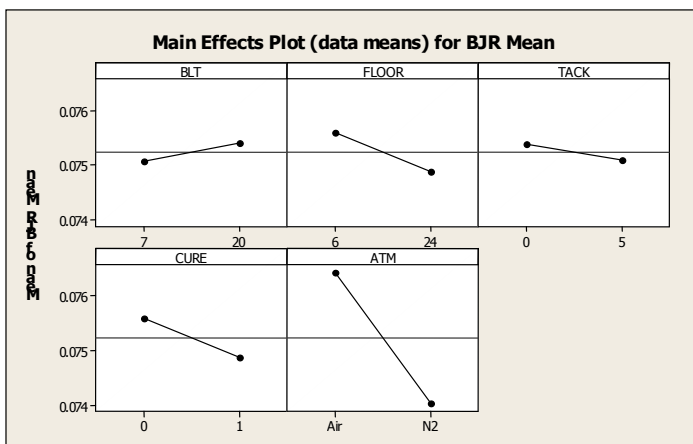


Figura 28. Resultados de diseño de experimentos para pegado de dados.

4.10 Caracterización de pandeo simulando PMC o curado posterior a moldeo en TherMoiré.

Se buscó confirmar los datos de la primera simulación. Calentando por 40 minutos de 30 a 165° C, luego manteniendo a 165° C por 5 horas y enfriamiento de 165 a 50° C en 40 minutos. Se encontró que el pandeo se incrementó a lo largo del calentamiento y retornó a su punto inicial posterior al del enfriamiento. Sin embargo, una muestra de 100 circuitos individuales rechazo de prueba por baja potencia recuperó el 31% de las piezas posterior al tratamiento térmico.

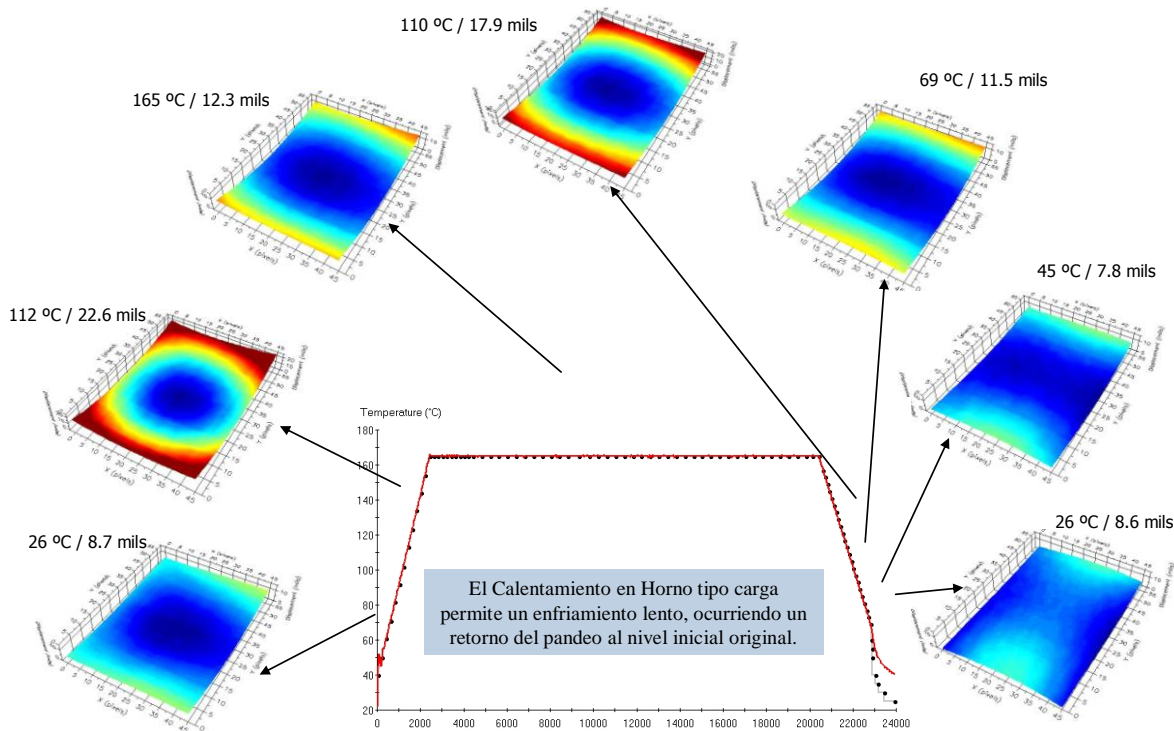


Figura 29. Caracterización de pandeo en curado posterior a moldeo por simulación en TherMoiré.

4.11 Caracterización del pandeo simulando el perfil de reflujo en TherMoiré.

El calentamiento y enfriamiento en el horno de banda con calentamiento por convección son mucho más rápidos. Se confirmó el mínimo en pandeo al alcanzar 220° C con una reducción mayor al 40%, se sospecha que un enfriamiento rápido no permite que el pandeo regrese, ocurriendo una disminución posterior al tratamiento del 40%. De mayor impacto es la disminución encontrada para una muestra de 100 circuitos individuales ya cortados y rechazo de prueba por baja potencia que recupero el 90% de las piezas posterior al tratamiento térmico. El tiempo completo del ciclo de calentamiento estuvo por debajo de los 5 minutos.

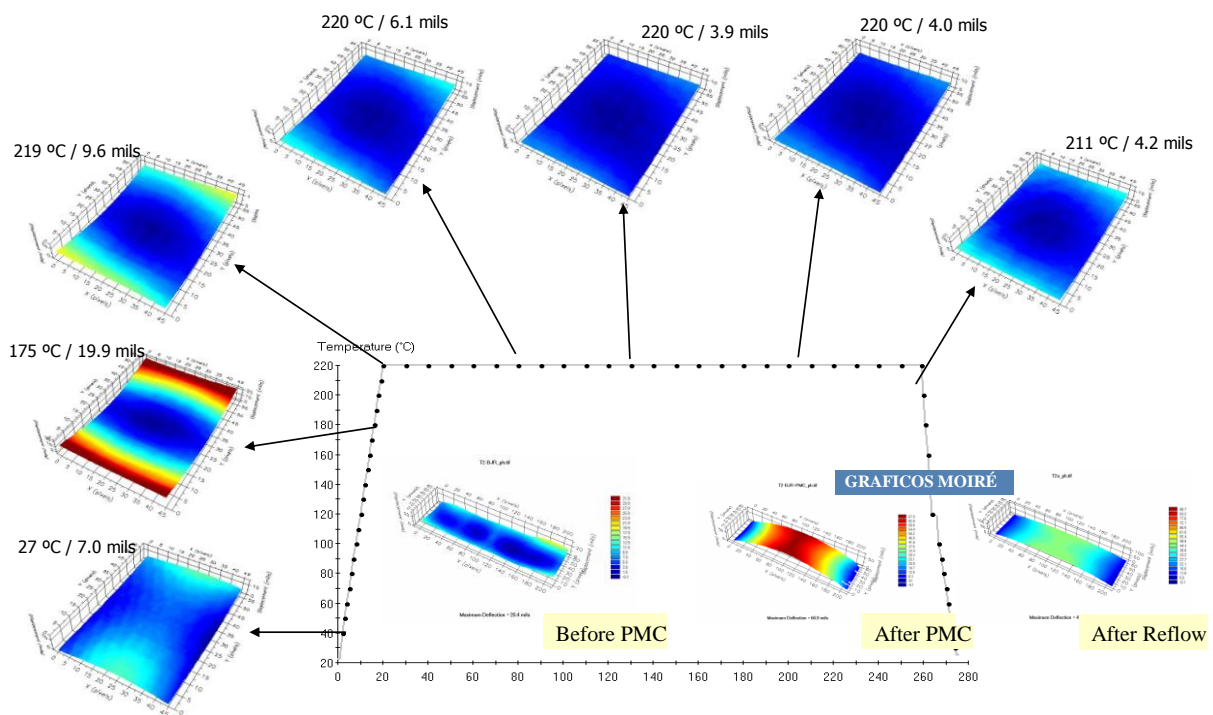


Figura 30. Caracterización de pandeo en horno de reflujo por simulación en TherMoiré.

4.12 Reducción del pandeo usando el horno de reflujo a 220° C por 3 minutos en tiras para 77325.

Después de comprobar la alta recuperación de circuitos en material cortado o circuitos individuales, se encontró lo poco viable que representaba esta opción debido al alto manejo de las piezas y las horas hombre requeridas, por lo que se propuso medir la reducción en el pandeo utilizando tiras listas para cortado con máximo estrés producto del curado posterior a moldeo o PMC. Se encontró una reducción del 40% y se perfiló como una opción para reducir el pandeo.

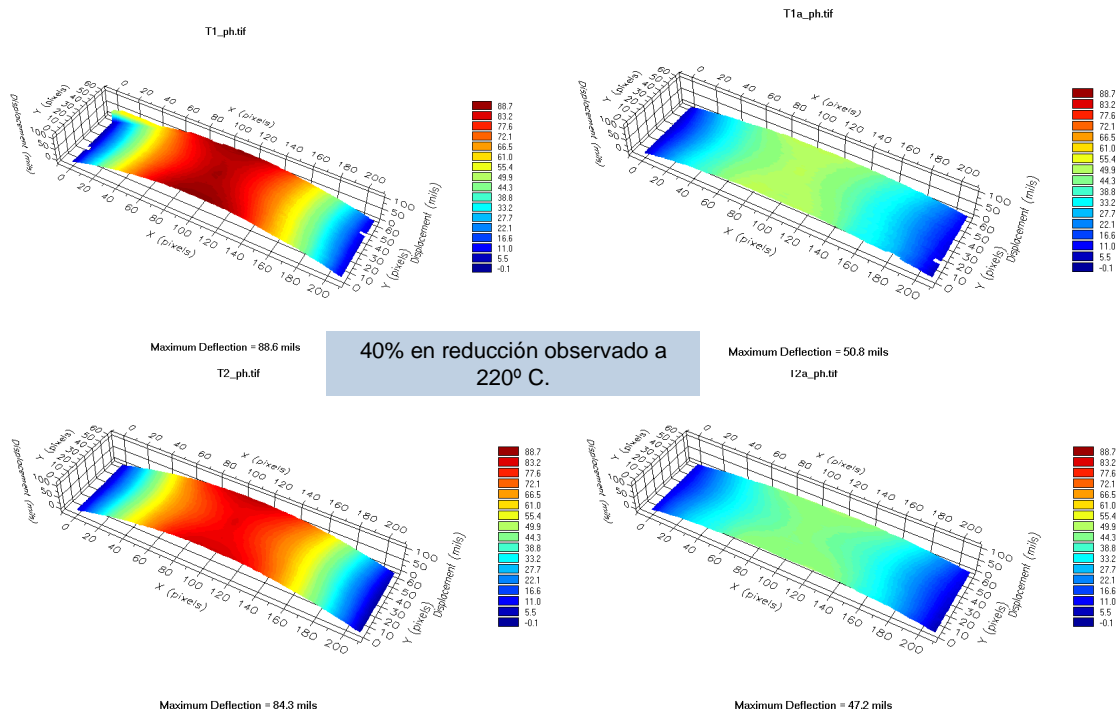


Figura 31. La sombra de Moiré muestra una reducción del 40% en el pandeo de tiras calentado a 220° C

4.13 Reducción del pandeo usando una prensa para sujetar las tiras durante el curado posterior a moldeo.



1) Diez tableros del circuito 77325 fueron puestos uno sobre otro, con placas de aluminio en los extremos y una prensa sujetó firmemente el conjunto. Figura 32. 2) Las tiras una sobre otra se acomodaron en un cargador de aluminio y el extremo superior se sujeto firmemente para evitar que los tableros se movieran.

Figura 32. Arreglo usando prensa.

Mientras que el cargador de Aluminio redujo ligeramente el pandeo, ver figura 33. La prensa creó un marcado efecto sobre el tablero, induciendo una deformación en tres dimensiones que se concentró en las secciones moldeadas, ya que al hacer presión, la prensa hace contacto en la sección moldeada, aún cuando el pandeo del tablero se redujo de 100 a 30 milésimas de pulgada, el pandeo de cada sección individual se incrementó de 10 a 17 milésimas de pulgada, precisamente donde se encuentran los circuitos y donde mayores problemas ocasiona. Detalles en Figura 34. Se desaconsejó usar métodos de restricción de movimiento para el tablero posterior o moldeo, para re-trabajar lotes problema, ya que hay un impacto directo sobre el circuito.

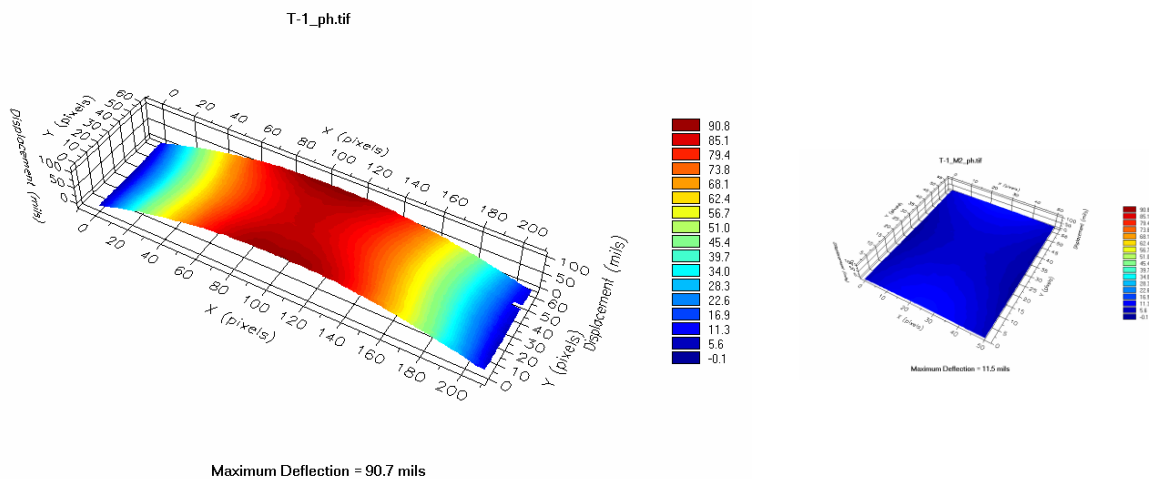
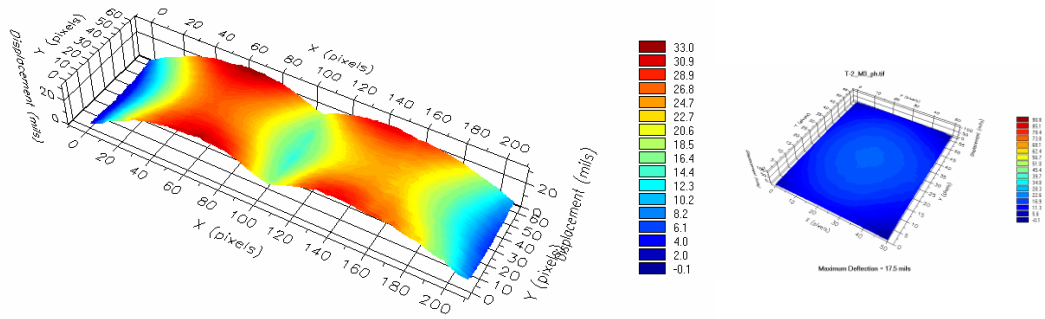


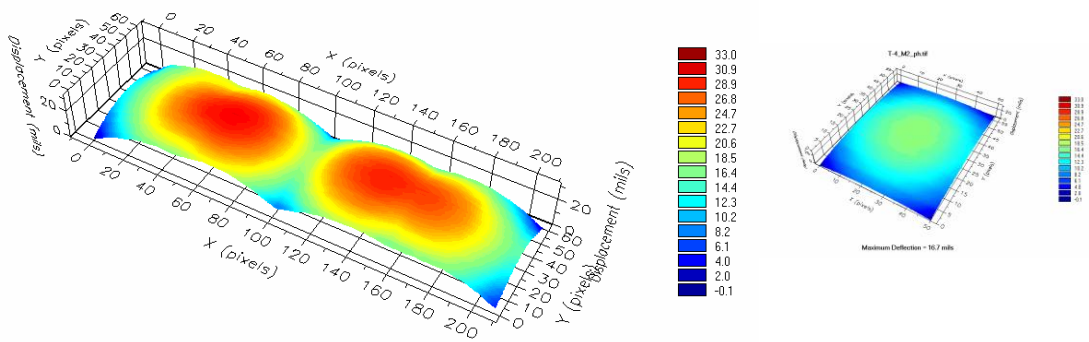
Figura 33. Restricción del movimiento usando cargador de aluminio.

T-1_ph.tif



Maximum Deflection = 32.9 mils

T-4_ph.tif

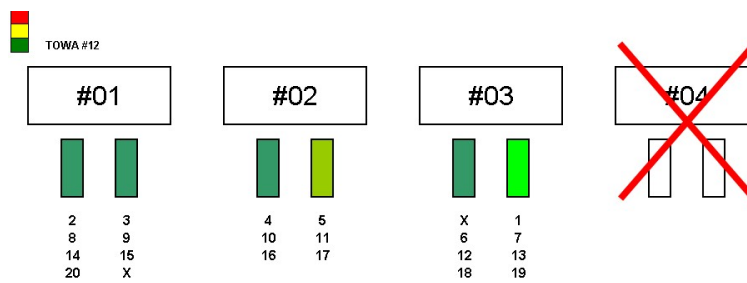


Maximum Deflection = 29.5 mils

Figura 34. Restricción del movimiento en curado posterior a moldeo usando una prensa y placas de aluminio.

4.14 Influencia del equipo del moldeo sobre el pandeo.

Se moldearon 20 tableros, identificándose la posición y el número molde. La deformación se midió en TherMoiré, encontrando que los tableros con mayor pandeo provenían del molde 3, la posición 2 o derecha. Al revisar el molde se encontró que la acumulación del plástico, que fuga durante moldeo se acumula, hasta no permitir una presión uniforme del moldeo, resultando en pandeo. El incremento encontrado se situó entre 25 y 50% por encima de la media del experimento, pero alcanza un 100% si se considera la media de los moldes con presión uniforme.



Analysis of Warpage Dispersion around +/- 2 STDEV

Warpage	Value	Positions
-2 Stdev	22.96	5, 11, 17
-1 Stdev	33.84	2, 3, 4, 8, 9, 10, 15, 14, 16, 20
AVG	44.72	6, 12
+1 Stdev	55.59	1, 7, 18, 19
+2 Stdev	66.47	13

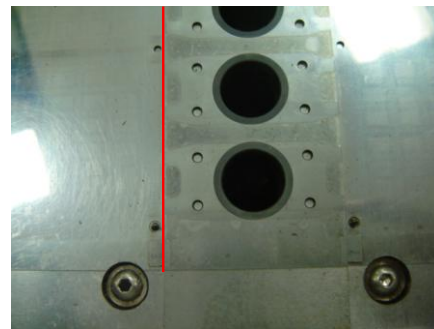
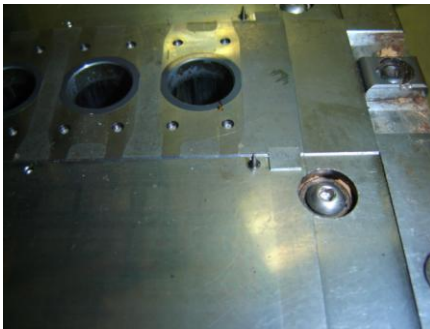


Figura 35. Resultados de la influencia de moldeo sobre el pandeo, una presión no uniforme del molde incrementa el pandeo. Detalle del área con acumulación de plástico en el molde.

4.15 Caracterización del pandeo por proveedor de tableros para 77325.

El área de prueba reportó que la incidencia en defectos, no era la misma para los dos proveedores de tableros, por lo que se procedió a caracterizar el pandeo en ambos tableros y su relación con las fallas reportadas. Se encontró confirmando los resultados encontrados en pruebas, que Samsung mostraba un pandeo más uniforme a lo largo del eje longitudinal. Mientras, Unimicron mostraba un pandeo más complejo formando dos medios arcos y torcido hacia fuera. Aunque los resultados de la deformación y prueba fueron concluyentes. Los resultados al medir la deformación en secciones moldeadas no mostraron una diferencia significativa entre las medias: 1) Samsung presento un pandeo con media de 9.608 milésimas de pulgada y una desviación estándar de 1.85. 2) Unimicron un pandeo con media de 9.916 milésimas de pulgada y una desviación estándar de 1.77. De manera que, el modo de pandeo es el principal factor que reduce la potencia, dejando la magnitud en segundo plano. Ver Figura 36. Basado en los pobres resultados de prueba y la complejidad de pandeo se discontinuó Unimicron como proveedor certificado generandose una acción correctiva.

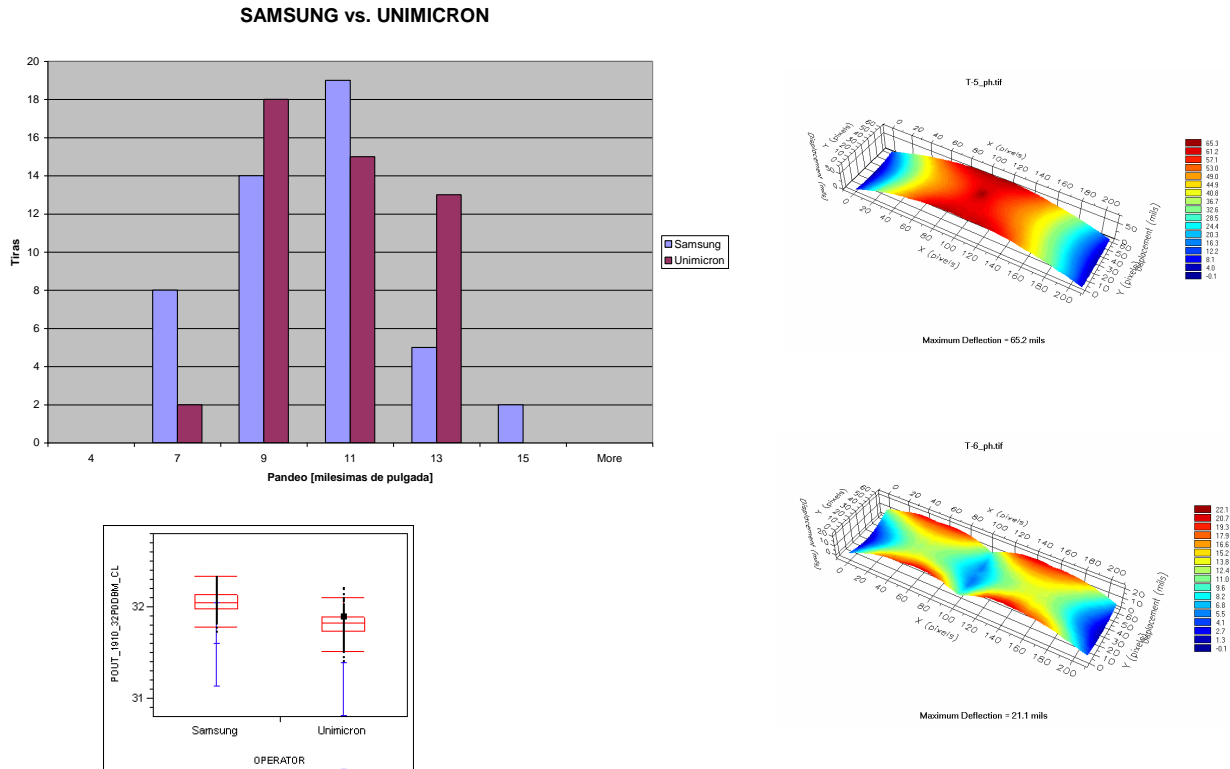


Figura 36. Caracterización en deformación por proveedor de tableros.

4.16 Caracterización del pandeo por tablero usado en la fábrica y el diseño de una casa de ensamblaje con subcontrato para 77501.

El diseño del subcontrato es más pequeño con 104 x 60 mm, contra 186 x 60 mm. Detalles en la figura 37. El hecho que elimina los módulos centrales de moldeo, le permite concentrar el pandeo al centro y las esquinas entre los dos módulos, con un pandeo observado entre 11 y 13 milésimas de pulgada por módulo, relativamente alto pero dentro de rango. Sin embargo, en el área efectiva de los circuitos en pandeo encontrado se mantuvo solo entre 2.6 y 3.5 milésimas de pulgada. Las mediciones de BJR fueron más altas y contradice la resistencia en la unión como un factor preponderante. Aún cuando se reporta que se usa el mismo adhesivo en ambas fabricas. Sin embargo, el diseño de tablero del subcontrato puede representar una solución a la falla por baja potencia marginal al minimizar el pandeo.

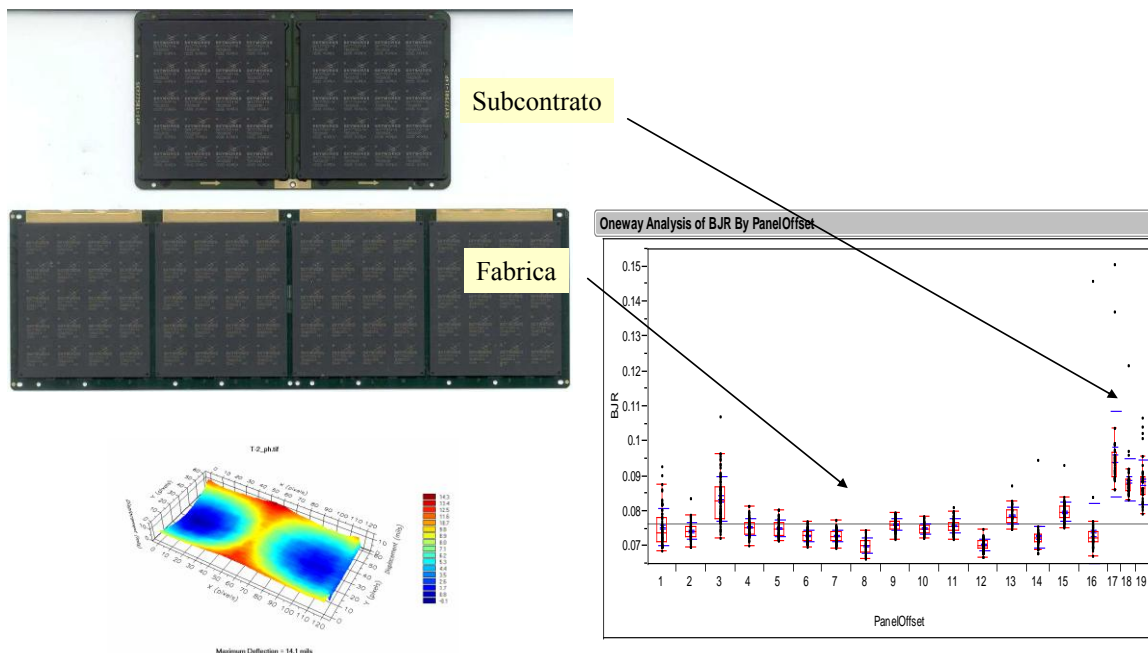


Figura 37. Caracterización en deformación y resistencia en la unión para fábrica de ensamblaje externa.

4.17 Medición del BJR o resistencia en la unión dado – sustrato antes y después de reflujo.

Se encontró que la resistencia en la unión se redujo después del reflujo, lo que explicaría la ganancia en la potencia de salida posterior a la reducción del pandeo. Como se muestra en la figura 38. El BJR se incrementó ligeramente en los extremos del tablero. Simulaciones en el Corporativo permitieron predecir una reducción de 1db por un incremento de 100 mohm en la resistencia a tierra. Figura 39. Además, se estudió la relación que existe entre el BJR y la temperatura encontrándose una variación lineal para un rango entre -60 y 180° C. Figura 40.

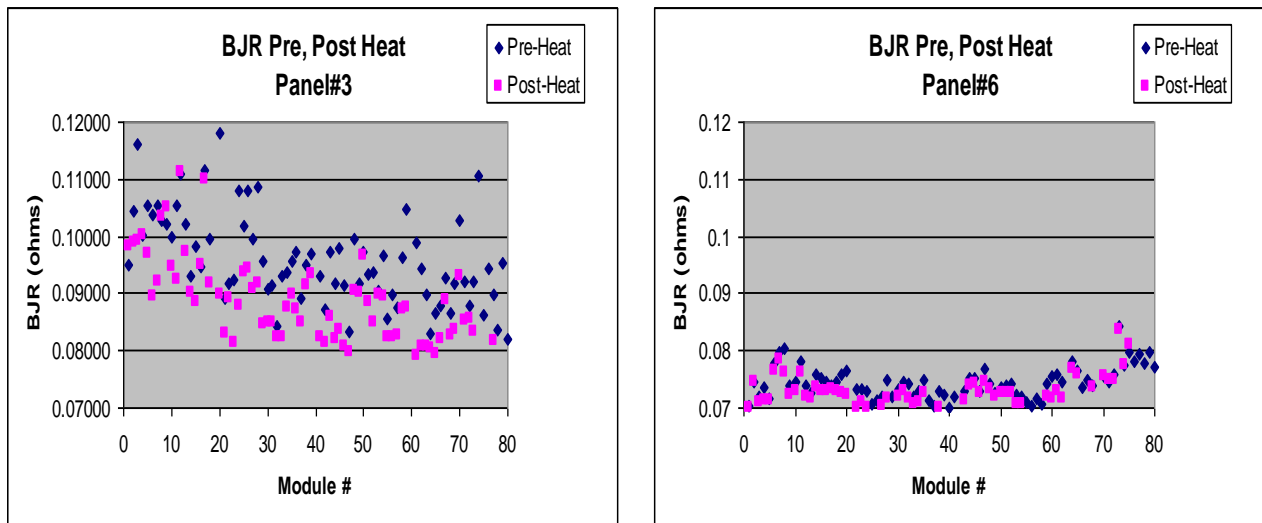


Figura 38. Mediciones antes y después de someter piezas individuales a reflujo 220° C, mostraron una reducción en la resistencia de la unión dado/sustrato BJR.

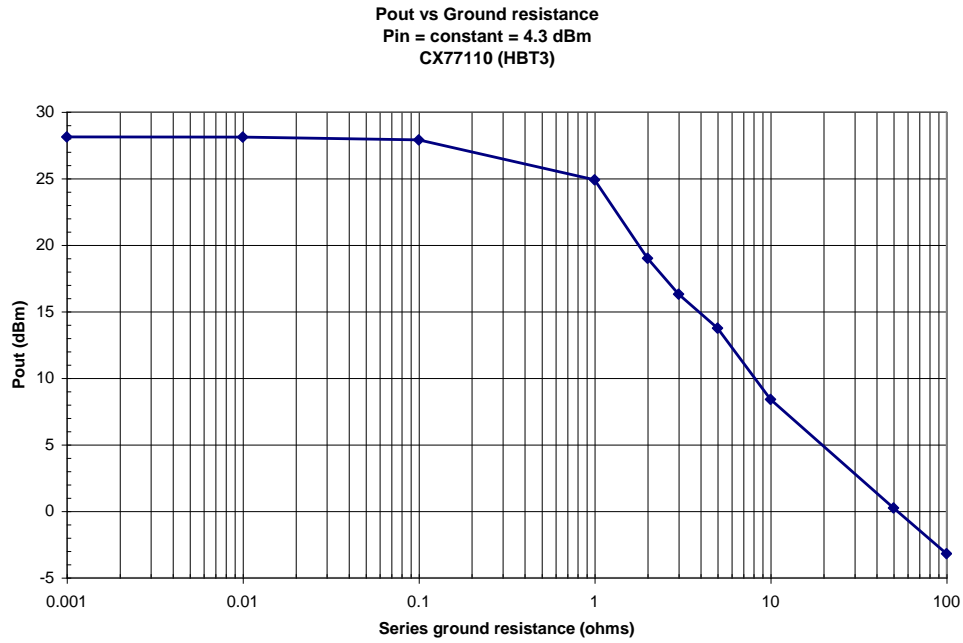


Figura 39. Mediciones en la resistencia de la unión (BJR), para circuitos con diferente potencia de salida permitieron construir un modelo, cada 100 mOhm de incremento al BJR se pierde 1 db de potencia de salida.

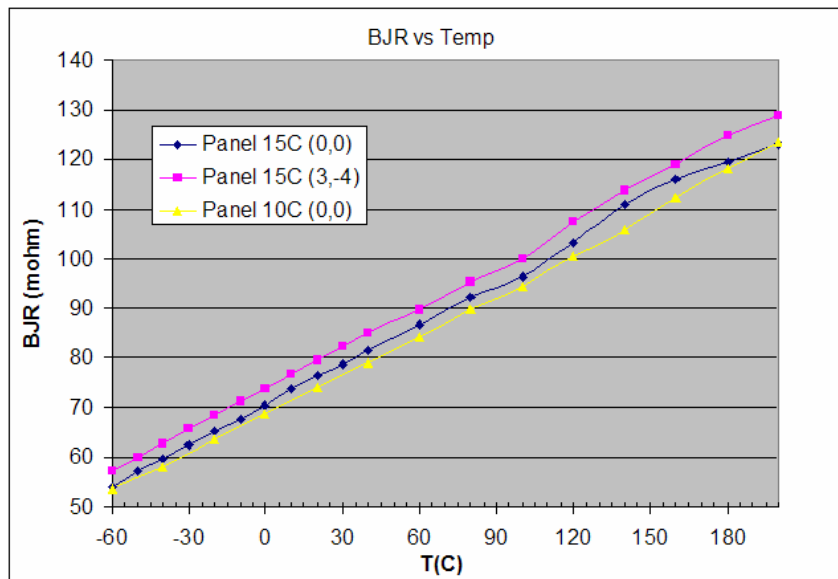


Figura 40. Mediciones en la resistencia de la unión BJR variando la temperatura entre -60 y 180° C, Mostrando un comportamiento lineal a lo largo del rango estudiado.

4.18 Análisis de pandeo para el tablero y el plástico de moldeo por separado.

Basado en los resultados presentados en la tabla 6, es solo en un caso donde el plástico presentara pandeo con las esquinas hacia abajo y en 0.7 mm el más delgado, demuestra que un menor espesor del plástico de moldeo lo hace más flexible. Por otro lado, el tablero mostró una tendencia clara al pandeo con las esquinas hacia abajo en un alto grado, lo que lo convierte en responsable de la pérdida marginal de potencia de salida. Material sometido a reflujo a 220° C se mantuvo más plano respecto al reflujo a 240° C. Existe la tendencia a reducir el espesor del plástico para conseguir circuitos más delgados, próximamente se espera una reducción a 0.5 mm lo que dispararía la cantidad de defectos ocasionados por pérdida marginal de potencia.

Tabla 6. Pandeo observado separando el plástico moldeado y curado con espesor 0.7 y 1.0 mm y el tablero.

Producto	Tamaño	Pérdida	Moldeo	PMC	Reflujo/Curado
0.7 mm	PMC	R220	26.8	14.8	6.6
		R240	21.6	11.6	10.4
		B200	23.4	13.6	6.4
	NPMC	R220	22.0	-----	6.5
		R240	22.9	-----	9.8
		B200	23.0	-----	(14.6)
1.0 mm	PMC	R220	34.0	13.1	7.7
		R240	28.7	11.0	9.3
		B200	25.6	11.9	10.8
	NPMC	R220	29.3	-----	9.3
		R240	26.3	-----	9.3
		B200	28.8	-----	4.9
PCB	PMC	R220	(25.2)	31.3	(58.8)
		R240	(21.7)	35.4	(42.2)
		B200	(21.9)	40.9	40.5
	NPMC	R220	(24.0)	-----	(75.5)
		R240	(31.3)	-----	(50.8)
		B200	(38.4)	-----	37.4

Nota: () indican pandeo que provoca pérdida de potencia de salida.

4.19 Resultados de confiabilidad apoyando un cambio de proceso que incluya una nueva operación, enviando material en tiras por reflujo antes de cortado.

Se evaluaron 3 números de parte para validar el cambio: 77328, 77329 & 77330, ver tabla 7. Ya que juntos los 5 números de parte afectados, representaban 50% del volumen diario de Producción. 500 piezas con reflujo y 500 piezas de control sin reflujo. Identificando las piezas dentro y fuera del perímetro en el módulo de moldeo. La pruebas de confiabilidad incluyeron ciclos térmicos entre -43 y 120° C, prueba de humedad con un nivel MSL3/250, prueba HAST acelerada de estrés con alta humedad y prueba HTOL de operación a alta temperatura. Obteniendo resultados positivos para todos los números de parte evaluados. Resultados de confiabilidad confirmaron que después de añadir +1X reflujo, los clientes contarían aún con 3X reflujo para el montaje de los circuitos.

Tabla 7. Material enviado a pruebas de confiabilidad, HAST, HTOL, Ciclos térmicos.

Parte #	Lote #	Cantidad
77328-13	318649.1	1000
7732915	3188962.1	1136
77330-13	3186299.1	1024

4.20 Resultados del seguimiento en la incidencia del defecto de baja potencia marginal en prueba de Diciembre 2005 a Junio 2006.

En la tabla 8 se muestran 18 meses de monitoreo de la pérdida de rendimiento ocasionada por baja potencia marginal, se observó una reducción significativa al introducir un reflujo antes de cortado, reduciendo en el nivel de defectos en al menos 50% para los 5 números de parte involucrados. La mejora observada en el rendimiento para el Q4'06 (Jul-Sep) fue cercana al 1%. Para un total superior a los 12 millones de circuitos. La tabla 9 muestra la confirmación hecha en un lote de control, donde se

obtuvo una mejora del rendimiento mayor al 3.6% para 77329, mismo que presento el porcentaje de falla mas alto a lo largo de este trabajo. Mientras que la tabla 9, muestra que las pruebas de confiabilidad a que fue sometido el material fueron superadas.

Tabla 8. GSM/GPRS histórico y reducción alcanzada por +1X reflujo posterior al curado de moldeo.

Perdida [%]	Dic'05	Ene'06	Feb'06	Mar'06	Q2'06	Q4'06 +1X	Reducción	%
77324	2.97	1.15	-	1.63	1.39	0.7	0.69	50
77325	0.75	0.95	0.83	0.85	0.85	0.22	0.63	74
77328	1.21	-	1.5	1.58	1.58	0.62	0.96	60
77329	7.51	6.53	-	7.12	7.12	2.17	4.95	70
77330	3.3	3.62	3.12	3.29	3.29	1.4	1.89	57

Tabla 9. Mejora para +1X reflujo. Incremento de +3.67% entre el lote experimental y control.

Lote #	Cantidad Inicial	Falla 1	Falla 5	Rendimiento	Modo de falla	Probadora
E759SP.1	332	314	18	94.58%	1910_VAPC_ICC_POUT	Credence 01
E759CP.1	319	290	29	90.91%	1910_VAPC_ICC_POUT	Credence 01
E75943.1	651	604	47	92.78%	1910_VAPC_ICC_POUT	Credence 01

Tabla 10. Resultados positivos en las pruebas de confiabilidad para 77328-12. +1X reflujo.

Producto	Proceso	HTOL	Acondicionamiento Inicial o reflujo	HAST Autoclave	Ciclos Térmicos	Archivo
77328-12	Partes sometidas a curado a 165C, 6HR y +1X reflujo 220°C, 3 min	Lote 3103795 esperando horno 168hr, 1 falla no relacionada FA300673 @500hr no Pout. FA30728 tablero defectuoso. 1000 para 4/1/06	MSL3/250. Prueba Eléctrica todos pasaron 2/9/06.	Prueba Eléctrica todos pasaron 2/23/06.	MSL3/250. Prueba Eléctrica todos pasaron 2/27/06.	300362

4.21 Experimento. Influencia de parámetros en moldeo utilizados en la casa de ensamble con subcontrato y la fábrica.

El grupo de Empaque avanzado del Corporativo encontró, al remover plástico, para análisis de falla, usando decapado con mezcla de ácidos, que el plástico curado de la fabrica era más suave, y se removía en un tiempo menor, que circuitos ensamblados con un subcontrato. Por lo que se sugirió, modificar los parámetros de moldeo y conseguir un plástico más rígido que no se deforma. Se probaron circuitos con 2 niveles de espesor de plástico de 0.7 y 1.0 mm y las siguientes variables: 1) **Vacío**. Activado para sujetar la pieza y mantenerla plana, mientras se moldea. 2) **Precalentado de tiras**. Para evitar choque térmico, a 170° C/200s y 120° C/120s. 3) **Precalentamiento de pelletas**. Calentamiento previo del plástico de moldeo, a 175° C/3s y 165° C/3s. 4) **Presión de inyección**. Presión del pistón que inyecta el plástico a dos niveles 0.8 y 1 toneladas. 5) **Curado en el molde**. A 165° C/139s y 175° C/105s. 6) **Velocidad el pistón**. Velocidad de inyección a 1.5 y 2.1 mm/s. 7) **Posición del pistón**. Altura del pistón para realizar cambio de velocidad. Esta se mantuvo constante. Se realizaron 4 corridas y se midió el pandeo de cada una de las 8 tiras y 4 módulos de moldeo individuales en cada tira. Los resultados encontrados fueron cercanos y se mantuvieron sin cambio bajo los diferentes tratamientos. Los parámetros de moldeo no muestran tener un control directo sobre pandeo.

Tabla 11. Resultados de estudio de decapado con ácido.

Fecha	Tiempo (s)				
	ASE-K	ASE-MXL	MXL	MXL Vac	Device
12/7/2005	100		80		77501
12/9/2005	140		100		77501
	120		100		77501
	160		120		77501
	140		100		77501
7/6/2006		100	80	120	77329
		100	60	120	77329
		100	60	100	77329
		100	80	100	77329
		120	80	100	77329

Tabla 12. Parámetros experimentales de moldeo usados en subcontrato para reducir pandeo.

Experimento		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
Moldeo		77329 (0.7 mm Espesor)		77501 (1.0 mm Espesor)	
Parámetro	Unidades	ASE	MXL 0.7	ASE	MXL 1.0
Vació		Si	No	Si	No
Pre-calentamiento en Tira	C/sec	170C/200S	120C/120S	170C/200S	120C/120S
Pre-calentamiento en Pellet	C/sec	165C/5S	175C/3S	165C/5S	175C/3S
Presión del Pistón	Ton	1	0.8	1	0.8
Curado en Molde	C/sec	165C/139S	175C/105S	165C/139S	175C/105S
Velocidad del Pistón	Mm/s	1.5,1.5,1.5	2.1,2.1,2.1	1.5,1.5,1.5	2.1,2.1,2.1
Posición del Pistón	Mm	-1.8,-7,-15	-1.8,-7,-15	-1.8,-7,-15	-1.8,-7,-15
Cantidad de tiras	Tiras	8	8	8	8

Tabla 13. Resultados positivos en las pruebas de confiabilidad para 77328-12.

Moiré Warpage [milésimas de pulgada]	Tiras	M1	M2	M3	M4
ASE	68.2	10.6	18.7	21.5	15.2
	68.5	11.5	18.1	17.2	12.4
	64.1	10.9	18.8	17.7	13.9
Mxli R2	68.5	11.6	17.9	19.6	12.6
	64.1	8.1	16	17.5	11.9
	60.9	9.3	16.7	16.3	10.3
Mxli R25	69.6	13.1	20.4	20	14.6
	67.3	11	18.7	17.4	12.5

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se corrieron 12 millones de unidades para los números de parte 77328, 77329 y 77330 con una recuperación observada en el rendimiento del área de prueba cercana al 1%, muestra suficiente para liberar el 60% de la producción diaria, para que corra bajo el flujo modificado incluyendo +1X reflujo antes de cortado. La modificación al proceso fué validada por el laboratorio de confiabilidad de Newbury Park, CA, al someter el material a pruebas de estrés. Aún cuando se envía el material por reflujo, el cliente conserva 3 reflujo adicionales tal y como se establece en la descripción del producto. Al tiempo que reflujo reduce el pandeo en el horno como se demostró, cada reflujo mueve la estructura como se observó en la simulación con TherMoiré pudiendo ocasionar fracturas o fallas y disminuir la vida del circuito.

Los resultados muestran que la resistencia eléctrica en la unión entre el dado y el sustrato se incrementa producto del pandeo cuando las esquinas se desplazan hacia abajo o de ceño fruncido, pudiendo resultar en una pérdida marginal de potencia. El pandeo con las esquinas hacia arriba o sonriendo no contribuye a la pérdida de potencia marginal quedando demostrada la hipótesis inicial propuesta en este trabajo.

Las operaciones de cortado y prueba considerados cuellos de botella para manufactura mejoraron la utilización de los equipos, como beneficio adicional de esta modificación incrementando la producción de piezas buenas.

Se piensa que a medida que se disminuya el espesor del plástico de moldeo para hacer los tableros más delgados, esta solución permitirá una exitosa transición, equipos expertos de empaquetamiento consideran ahora al pandeo, como una razón de peso que puede afectar la función del circuito.

Se espera que esta solución sea temporal y proporcione el tiempo necesario para que el pandeo sea estudiado a fondo y se encuentren alternativas que resulten en un mejor control del pandeo en todo el proceso de ensamble del microcircuito.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] Sounak Banerji, P. Markondeya Raj, Swapan Bhattacharya, and Rao R. Tummala. Warpage-Induced Lithographic of FR-4 and the need for Novel Board Materials for Future Microvia and Global Interconnect Needs. IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol. 28, No. 1. February 2005. Pages 102-113.
- [2] Swapan K. Battacharya, I. Charles Ume, and Anh X. H. Dang. Warpage Measurement of Large Area Multi-tilted Silicon Substrates at Various Processing Conditions. IEE Transactions on components and packaging technology, Vol 23, No. 3, September 2000. Pages 497-504.
- [3] Ananth Srivatsav Halvi, Wonkee Ahn and Dereje Agonafer. Simulation of PWB warpage During Fabrication and Due to Reflow. IEEE 2004 Inter Society Conference on Thermal Performance. ISBN 0-7803-8357-5/04. Pages 674-678.
- [4] Elisa Huang, Trent Thompson, Scott Chen. Thin Mold Array Package Warpage Control Study. IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium. ISBN 0-7803-5502-4/99. Pages 223-229.
- [5] P. Hutapea, J. L. Grenestedt, "Reducing Warpage of Microelectronic Substrates by Modifying Electric Artworks ," submitted, Applied Physics Letter, 2005.
- [6] P. Hutapea, J. L. Grenestedt, "Reducing Warpage of Printed Circuit Boards using Wavy Traces," ASME Journal of Electronic Packaging, Vol. 126, No. 3, pp. 282-287, 2004.
- [7] J. L. Grenestedt, P. Hutapea, "Influence of Electric Artwork on Thermo mechanical Properties and Warpage of Printed Circuit Boards," Journal of Applied Physics, 94(1), pp. 686-696, 2003.
- [8] J. L. Grenestedt, P. Hutapea, "Influence of Electric Artwork on Thermomechanical Properties and Warpage of Printed Circuit Boards," Journal of Applied Physics, 94(1), pp. 686-696, 2003.

- [9] A. Scandurra, R. Zafarana, Y. Tenya, S. Pignataro, "Chemistry of green encapsulating holding compound at interfaces with other materials in electronic devices. Applied surface science 235 (2004) pp. 65-72
- [10] Irving Y. Chien, Jack Zhanj, Lou Rector, Michael Todd, "Low warpage molding compound development for array packages". Henkel Electronics group. Global SMT & Packaging, pp 30-35, Jan 2007.
- [11] Charles Arthur Harper. High Performance Printed Circuit Board. Mc-Graw Hill Profesional. 2000. ISBN 007026138
- [12] Michael G. Petcht. Handbook of Electronic Package Design. CRC press. 1991. ISBN 0824779215
- [13] Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Sringer. ISBN 0-387-98409-7.
- [14] Colin A. Walker. Handbook of Moiré Measurements. CRC Press. 2004. ISBN 0750305223.
- [15] Y. Wang & P. Hazle. Measurement of a Thermally induced deformation of a BGA using phase stepping Moiré. Experimental/Numer. Mech. Electrón. Packag. Vol. 2. pp 32-39. 1998.
- [16] A. Dang, I.C. Ume & S.K. Bhatachacya. A study on warpage of flexible ss substrate for large area MCM-D packaging". ASME J. Electro. Packag. Vol 122. pp 86-91. June 2000.
- [17] Liao, J.E.A. and Voloshin, A.S. Enhancement of the Shadow Moiré Method through digital image processing. Experimental Mechanics, Vol. 33. pp 59-63. (1993).
- [18] Jang, B.Z. Advance polymer composites: Principles & applications. ASM International, 1994.

ANEXOS

ANEXO A. Listado de circuitos electrónicos que presentaron reducción marginal en la potencia de salida.

SKY77324 iPAC™ PAM Quad-Band GSM / GPRS

Diseñado con 4 bandas para teléfonos celulares incluyendo GSM850/900, DCS1800, PCS1900, y Clase 12 (GPRS) con operación de entrada múltiple.

El módulo separa en bloques las bandas GSM850/900 y DCS1800/PCS1900 HBT PA para un mismo dado de GaAs, ambos comparten la fuente de alimentación y contactos para distribuir corriente. Un circuito CMOS provee un bloque PAC con un resistor que detecta la corriente interna y los circuitos de interfase. Entradas y salidas son igualadas por impedancia a 50 ohms Los dados de GaAs, silicio y los componentes pasivos son montados en un sustrato de capas múltiples y encapsulados con plástico de moldeo.

- Alta eficiencia
- Detector interno de ICC por control de amplificación de potencia
- Baja corriente APC
- Baja potencia de entrada
- Ciclo cerrado iPAC o operación de ciclo abierto con circuito PAC
- Tamaño: 6 mm x 8 mm
- Bajo espesor: 1.2 mm

SKY77325 iPAC™ PAM Quad-Band GSM / GPRS

Un circuito BiCMOS provee la función interna PAC y la interfase en los circuitos.

- Rápida respuesta.
- Controlador BiCMOS PA e interfase IC
- Bajo rango de potencia de entrada
- Mejorado control de precisión

SKY77328 iPAC™ PAM for Quad-Band GSM / GPRS

Utiliza un Circuito BiCMOS. Extremadamente baja corriente de fuga que maximiza la batería en el teléfono en modo de espera de llamada. La función de iPAC no es sensible a las variaciones de temperatura en la potencia de entrada.

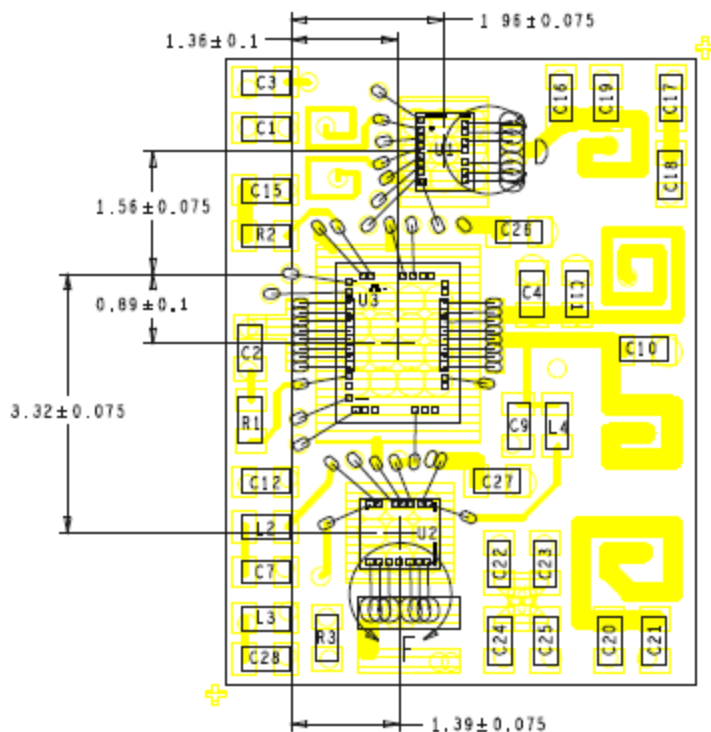
- Baja rango de entrada 0 a 6 dBm
- Tamaño: 6 mm x 6 mm

SKY77329 PA Module for Quad-Band

Utiliza un circuito integrado CMOS.

- Alta eficiencia: GSM850 57%; GSM900 57%; DCS 53%; PCS 53%
- Control por banda ancha

Diagrama de ensamble del 77329-12



ANEXO B. AKROMETRIX –THERMOIRÉ PS400 Descripción del equipo y medición.

El equipo es un sistema de medición automático de búsqueda en pasos que caracteriza el desplazamiento respecto a un plano o pandeo para un espécimen dado, usando la técnica de sombras de Moiré. El equipo incluye una cámara de calentamiento que permite capturar una historia completa del comportamiento de la muestra bajo diferentes ciclos de temperatura, electrónicos, ópticos, gabinete, una computadora con software para el análisis y permite acomodar muestras tan grandes como 400 x 400 mm (15.75 x 15.75 pulgadas). El calentamiento en la cámara se realiza por radiación infrarroja usando Cuarzo como elemento térmico. La cámara es capaz de sostener la temperatura entre 22° C (ambiente) y 300° C (temperatura máxima en este trabajo). Aunque pueden alcanzarse temperaturas más altas. Utiliza una fuente de alimentación de 220 VAC a 50/60 Hz y un fusible funciona como un sistema de seguridad por sobrecalentamiento.

Los ópticos son el corazón del sistema una cámara CCD con resolución de 640x480 líneas, obtiene la imagen a ser analizada. Un lente de 12.5 mm permite muestras tan grandes como 400 x 400 mm, mientras que un lente de 50 mm permite muestras menores a 100 x 100 mm. Dos fuentes de luz, con un arreglo de fibra óptica para dirigir la luz hacia la muestra. El foco puede ser remplazado dependiendo en la intensidad seleccionada, se espera una vida de al menos 1000 hrs. Para lograr el efecto de sombra Moiré se utiliza una rejilla de vidrio grabado con 100 líneas por pulgada. Aunque no se utilizo, esta disponible una rejilla con 300 líneas por pulgada, para alcanzar una mejor resolución con especímenes pequeños. Codificadores rotatorios mueven lentamente los ópticos en dos ejes, con una precisión lineal de 20 milésimas de pulgada o 0.5 mm, para una alta precisión en la medición del pandeo.

El análisis de la computadora adquiere la imagen y el software permite al usuario introducir el perfil de calentamiento y los puntos de temperatura para adquirir datos. Así como algoritmos de compensación. El sistema usa la receta definida por el usuario y automáticamente colecta y guarda los datos para su análisis posterior.

ANEXO C. AKROMETRIX PS400. Especificaciones y características del equipo.

Capacidad de medición:

Tamaño de la muestra 400 x 400 mm máximo.

Campo de visión 400 x 400 mm con un lente de 12.5 mm y 100 x 100 mm con un lente de 50 mm.

Resolución = +/- 2.5 micrómetros.

Repetitividad = +/- 2.5 micrómetros.

Precisión = Mayor de +/- 2.5 micrómetros. o +/- 3% el valor de la medición.

La especificación es relativa a la altura o coplanaridad en la muestra proporcionada por Akrometrix con alto contraste, reflectividad uniforme, superficie continua usando la rejilla con 100 líneas por pulgada. Estos valores pueden cambiar con las propiedades ópticas de la muestra y deberán ser confirmados.

Requerimientos Ópticos:

Cámara de media pulgada con arreglo CCD 768 (H) x 494 (V)

Lente fijos con Montura tipo C y filtro de IR de 12.5 y 50 mm.

Iluminación de 250 w; lámpara de Halógeno VAC y línea de fibra óptica de 12 pulgadas (305 mm)

Captura de Imagen basada en PCI Bus.

Tamaño de la Celda 8.4 x 9.8 micrómetros

Área de la regla para sombreado de 400 x 400 mm y con un grabado de 100 o 300 líneas por pulgada, con una variación de +/- 5%.

Cámara de Calentamiento.

Temperatura de trabajo de 25 a 300° C

Pendiente de Calentamiento 1° C/sec de 25 a 250° C, o mayor.

Pendiente de Enfriamiento 1° C/sec de 250 a 100° C o mayor

Dos canales de colección de temperatura, Medición automática, Posible introducir retrasos o pausas, datos del perfil disponibles en tablas o gráfica.

Nota: Experimentos realizados para un tablero de 0.062 pulgadas de espesor (1.5 mm) y 2 x 5 pulgadas de área. Factores como la masa, capacidad térmica, y emisividad deberán ser confirmados al cambiar la muestra.

15 elementos térmicos de Cuarzo para un total de 6000 watt usando como aislamiento Marinite.

8 termocoples de trabajo.

Software de Análisis.

La capacidad del software consiste en identificar el corrimiento de la sombra y la generación automática de la matriz de desplazamiento, graficando en 3D y el contorno en 2D. El mapeo del sustrato esta basado en una interfase visual Basic y la versión es Thermoire TM2000. Las imágenes se guardan en formato Bitmap y proporciona impresiones de salida.

Electrónicos.

Control de Temperatura

Control por sobre calentamiento

Relay de seguridad

Soplador con control de velocidad

Extractor con control de velocidad

Computadora

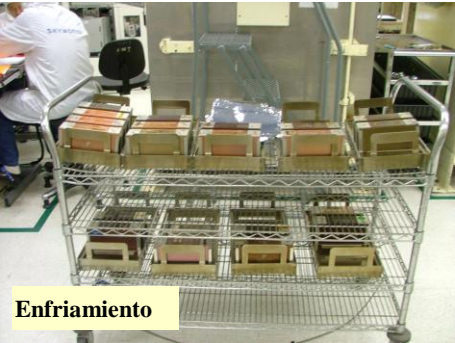
Pentium IV con procesador de 2.8 GHz, 256 MB RAM, 80GB de disco dura, CD-RW escribe y lee, Floppy Disk Drive, Tarjeta LAN 10/100 Mbps. Sistema operativo Windows 2000.

Video basado en VGA con ajuste automático de contraste. Imágenes guardadas en formato TIFF.

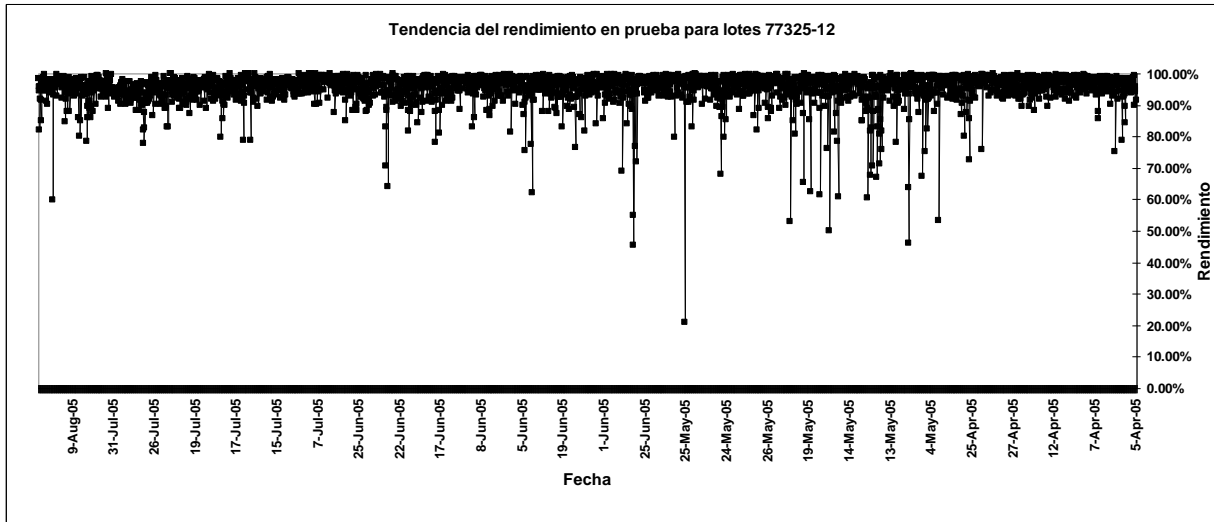
Soporte de Datos.

Calculo de arco, torcedura y coplanaridad. Compensación de la retícula. Los Datos se guardan en formato de texto.

ANEXO D. Equipo y manejo del material en el área de moldeo y curado posterior a moldeo PMC.



ANEXO E. Grafica de tendencia del rendimiento en prueba para 77325 en periodo abril 5 – agosto 9 del 2005.



ANEXO F. Resultados de los primeros lotes recuperados usando reflujó.

77330-13	Inicio	Bin 1	Bin 7	Rendimiento	Modo de Falla
3151308.1	2354	1387	967	58.92%	Pout_915
3152220.1	2520	1591	923	63.13%	Pout_915
Tratamiento +1X reflujó 240C, 3 min				Recuperado	Rendimiento Final
3151308.1	840	687	153	81.79%	88.10
3152220.1	926	717	209	77.43%	91.58%

ANEXO G. Materiales utilizados en circuitos GSM/GPRS y sus propiedades.

1. Plástico de Moldeo y sus propiedades. Sumitomo G770 HA

Alpha 1 (TMA)	E-5/°C	1.1
Alpha 2 (TMA)	E-5/°C	4.0
Tg (TMA)	°C	195
Resistencia a la flexión a 25°C	N/mm2 (MPa)	180
Resistencia a la flexión a 240°C	N/mm2 (MPa)	35
Módulo de flexión a 25°C	N/mm2 (MPa)	22000
Módulo de flexión a 240°C	N/mm2 (MPa)	2000
Módulo de Young a 25°C	N/mm2 (MPa)	26000
Elongación a 25°C	%	0.8
Elongación a 240°C	%	3.5
Constante Dieléctrica a(1 Ghz)	-	3.8
Factor de disipación (1 GHz)	-	0.008

2. Tablero.

Core Material high Tg FR-4 Hitach. Nombre MCL-E-679

Propiedades térmicas K (W/mK) 0.33

Propiedades Eléctricas Dk@1Ghz 4.2, Df@1Ghz 0.022

Propiedades Mecánicas

Tg	°C	205-215
CTE < Tg	ppm/C	x,y z : 15,16,50
CTE > Tg	ppm/C	x,y z : 8,9,250
E@25° C	GPa	x,y : 23
V	-	x,y : 0.15
Σf	MPa	x,y : 550,450

3. Relleno de Vías.

HBI-200DB4. TAIYO INK.

Propiedades Físicas	Dureza	8H
	Viscosidad (P.s)	450 ± 50
	Tamaño de Partícula (µm)	< 60
	Relación de Poisson	0.33
	Fuerza en Desprendimiento (N/cm ²)	Min 4
	Tg (°C)	130
	Módulo de Young (MP a 30°C)	4410
	Conductividad Térmica (J/cm.s.°C)	0.00602
Propiedades Eléctricas	CTE	A1 : 25 ppm/C
	Constante de Dieléctrico a 1 MHz	3.9
	Factor de disipación a 1 MHz	0.014
	Resistividad área/volumen	1e13

Interim Product Qualification Report

Skyworks Part Number: **SKY77329-13**

Product Type: **6 x 8 GSM Quad-Band PA**

Report No: **3327-QUAL05-036-NP**

Product/Package Reliability: Gavin Kelley/ Rebecca Luk

Skyworks Solutions Inc. 2427 West Hillcrest Drive, Newbury Park, CA 91320 (805)
480-4300

1.0 Summary

This report summarizes the results to date for the qualification of the Skyworks SKY77329-13 GSM Quad-Band High Gain Power Amplifier (PA) in the 6 x 8mm leadless Multi-Chip Module (MCM).

2.0 Reference Documents

Skyworks Documents

SQ02-0013	Qualification Standard
SQ03-0025	Product Qualification Requirements

Other Supporting Documents

MIL-STD-883	Military Standard, Screening of Microelectronic Devices
JESD22	JEDEC Standard

3.0 Product Information, SKY77329-13:

3.1 Function and Electrical Limits

- Function: GSM850/GSM900/DCS/PCS Quad Band PA, 3.6V Quad Band GSM / EDGE
- V_{cc} (Supply Voltage): 3.6V Typ. (4.6V max)
- V_{apc} (Power Control): 1.6 V max (V_{apc} is typically pulsed 0-2.0v; 4.6msec period; 1/8,2/8,4/8 duty cycle)
- Tx Enable: Control voltage Low= -0.2 – 0.5 V; Control voltage high = 1.2 to 4.6V
- V_{bs} : Control voltage Low= -0.2 – 0.5 V; Control voltage high = 1.2 to 4.6V
- Input Power: 0-6 dBm (max, all bands);
- Output Power (V_{cc} =3.6V, V_{apc} = 0-1.6V); GSM, EGSM =33.8dBm min DCS,PCS= 31.6dBm min
- Frequency: GSM850 (Cellular) 824-849MHz, EGSM 880-915 MHz, DCS 1710-1785 MHz and PCS 1850-1910 MHz

3.2 Wafer Fabrication Information

- Fabrication Site: Skyworks, Newbury Park (GaAs/AlGaAs die); Jazz Semiconductors , Newport Beach (CMOS die)
- Die No: (GaAs/AlGaAs)=63622 (DCS PA), 63623 (GSM PA); (CMOS Die)= 31048
- Die Sizes: (63622)=0.73 mmx1.00mm, Th=0.1mm; (63623)=0.89 mmx1.00mm, Th=0.1mm; (31048)=1.6mm x 2.05mm, Th=0.175mm
- Process: N_HBT4 (GaAs die); C05HMA-A (CMOS die)

3.3 Assembly and Package Information

- Assembly Site: Skyworks, Mexicali
- Package Technology: MCM-L5E (Lasered uVia + machined PTH) + Thermally Enhanced Vias (TEV)
- Terminals: gold-plated, 17 terminals includes ground/heat contact
- PWB Substrate: TW07-D185-017
- Package Size: 6x8 mm, Th.=1.2mm
- Die Attach Material: Sumitomo 1290S for all three die
- Bond wire: 1.2 mil Au
- Molding Compound Material: G770HA
- Internal SMT solder: Sn/Sb 95/5 (lead free)
- Branding method: Laser

4.0 SKY77329-13 Product Qualification Test Results

The following qualification tests have been completed by the Product / Package Reliability Group of Skyworks. These tests meet or exceed the Product Qualification test requirements as outlined in Skyworks Documents Number SQ02-0013, SQ03-0025. To satisfy Skyworks qualification requirements for full production release, the SKY77329-13 is required to complete and pass HTOL, HAST and Temperature Cycling for 3 different process lots. Preconditioning is required prior to HAST and Temperature Cycling.

4.1 High Temperature RF Operating Life Test (HTOL):

- Test Specifications: MIL-STD-883, Method 1005

<i>Lot #</i>	Product	Sample Size	168 Hours Qty. of Failures	500 Hours Qty. of Failures	1000 Hours Qty. of Failures
QL1	SKY77329	80	0	0	0
QL2	SKY77329	80	0	9/23/05	10/18/2005
QL3	SKY77329	80	0	0	0

Test Conditions:

Case Temperature=125°C, Duration=1000 Hours

GSM stress: Pout = 34.0 dBm (instantaneous; 31.0 dBm avg.); CW RF input f₀=900MHz; Vcc=3.5V; Vapc=0-2.0V pulse train; Vpe=Vcc; 4/8 duty cycle, period = 4.6 msec

DCS/PCS stress: Pout = 32.0 dBm (instantaneous; 29.0 dBm avg.); CW RF input f₀=1800MHz; Vcc=3.5V; Vapc=0-2.0V pulse train; Vpe=Vcc; 4/8 duty cycle, period = 4.6 msec

The GSM PA only is stressed on part (~1/2) of the 80 pc. Qualification lot and the DCS PA only is stressed on the remaining qualification units.

Output RF termination = 50Ω match

4.2 Preconditioning

- Test Specification: JEDEC Standard JESD22-A113

<i>Lot</i>	Product	Conditions	Sample Size	Qty. of Failures
QL1	SKY77329	MSL3/250	160	0
QL2	SKY77329	MSL3/250	160	0
QL3	SKY77329	MSL3/250	160	TBD

MSL Level 3 Preconditioning Sequence:

1. ATE Functional Electrical Test
2. Visual Inspection – 25X
3. 125C bake for 24 hours
4. 30C/60% RH for 192 hours (within 2 hrs. of 24 hr. bake)
5. Reflow solder profile, 3 cycles, peak temperature = 250C +0/-5, less than 2 hrs. after removal from 30C/60% RH
6. ATE Functional Electrical Test
7. Visual Inspection – 25X

4.3 Temperature Cycling

- Test Specification: JEDEC Standard JESD22-A104, 500 Cycles, -65° C to +150° C, 15 min dwell, and preconditioned samples.

<i>Lot</i>	Product	Sample Size	Qty. of Failures
QL1	SKY77329	77	0
QL2	SKY77329	77	0
QL3	SKY77329	77	TBD

5.5 Unbias Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test (Unbias HAST)

- Test Specification: JEDEC Standard JESD22-A110-B, 130°C/85% RH, 33.3 psia for 96 hrs. without DC Bias , Preconditioned samples.

<i>Lot</i>	Product	Sample Size	Qty. of Failures
QL1	SKY77329	77	0

5.6 Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test (HAST)

- Test Specification: JEDEC Standard JESD22-A110-B, 130°C/85% RH, 33.3 psia for 96 hrs. with DC Bias (Vcc=3.5V), Preconditioned samples.

<i>Lot</i>	Product	Sample Size	Qty. of Failures
QL2	SKY77329	77	0
QL3	SKY77329	77	TBD

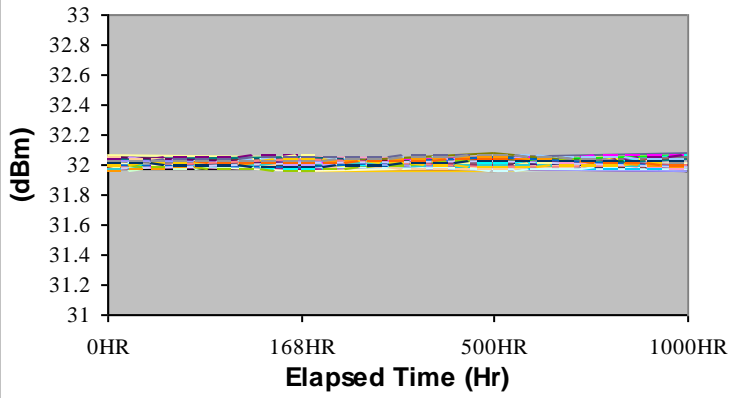
5.7 High Temp Storage

- Test Specification: JEDEC Standard JESD22-A103-B, Condition B, 150° C for 1000 Hrs.

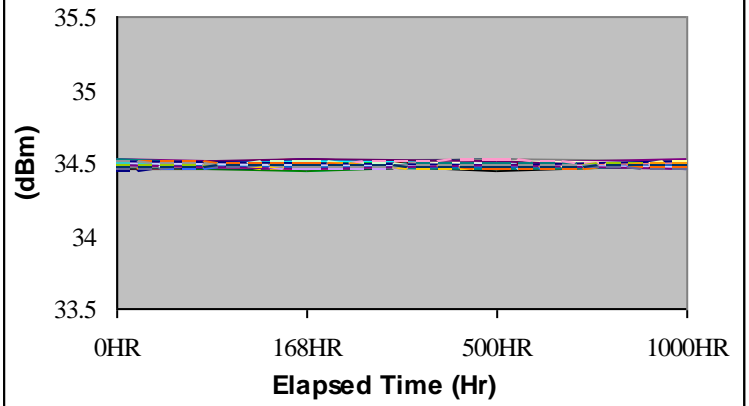
<i>HTS Lot</i>	Product	Sample Size	Qty. of Failures
QL1	SKY77329	77	ECD 9/22/05

6.0 Plots of HTOL Results

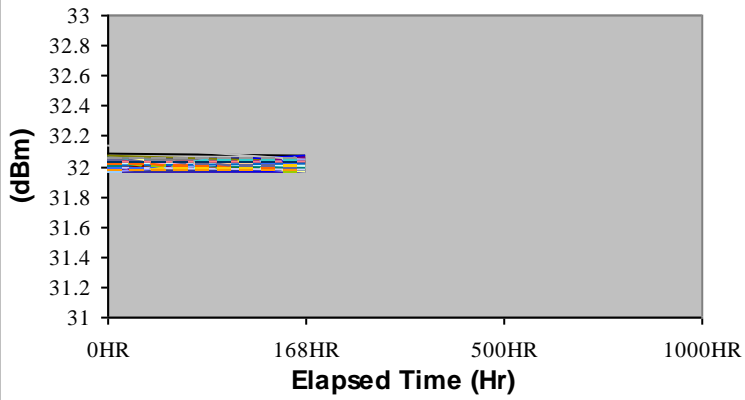
**SKY77329-13 QL1 HTOL
PCS Pout**



**SKY77329-13 QL1 HTOL
GSM 824 Pout**



**SKY77329-13 QL2 HTOL
PCS Pout**



**SKY77329-13 QL2 HTOL
GSM 824 Pout**

