

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



“Comportamiento eléctrico de adhesivos conductivos”

TESIS

Que para obtener el grado de:

Maestro en Ingeniería

PRESENTA:

IRVING PAUL RODRÍGUEZ ANGULO

Director

Dra. Mónica Carrillo Beltrán

Mexicali, Baja California

Mayo del 2007

Agradecimientos

Agradezco a Dios por haberme predestinado desde el principio, a mi familia por apoyarme incondicionalmente en cada decisión tomada, a mis amigos por su soporte y ayuda en las buenas y las malas, y a mis maestros por su paciencia y dedicación.

Índice

	Página
Resumen.....	8
Capítulo 1 Introducción.....	10
1.1 Planteamiento del problema.....	11
1.2 Justificación.....	11
1.3 Objetivos.....	12
1.4 Hipótesis.....	13
Capítulo 2. Antecedentes.....	14
2.1 Semiconductores.....	15
2.2 Dado o circuito eléctrico.....	18
2.3 Tablero eléctrico	18
2.4 Señales de radiofrecuencia.....	19
GSM y otras bandas.....	20
2.5 Paquete Durango 77330 en el Celular.....	21
2.6 Dado 63600 en el Circuito Durango.....	23
2.7 Prueba eléctrica del circuito Durango.....	23
2.8 Proceso de pegado de dados.....	24
2.9 Parámetros importantes dentro del proceso de pegado de dados.....	26
2.10 Adhesivos.....	29
2.10.1Clasificación de los adhesivos.....	30
a) Por Función.....	30
b) Composición química.....	30

c) Método de reacción.....	33
d) Forma física.....	33
e) Costo.....	34
2.10.2 Componentes de un adhesivo conductivo.....	34
2.10.3 Adhesivos Eléctricamente Conductivos.....	36
2.10.4 Polímeros y Aditivos Conductivos.....	37
2.10.5 Polímeros para adhesivos eléctricamente conductivos..	37
a)Termoplásticos.....	37
b)Termoestables.....	38
2.10.6 Aditivos conductivos.....	38
a) Plata.....	38
b) Níquel.....	39
c) Partícula recubierta con metal.....	39
2.10.7 Mecanismo de conducción en ACI.....	40
2.10.8 Clasificación de los adhesivos conductivos epóxicos.....	40
2.10.9 Curado de los adhesivos conductivos.....	41
2.10.10 Efectos de la humedad en los adhesivos.....	42
Capítulo 3 Desarrollo experimental.....	44
3.2 Efecto del nitrógeno en la cabina de curado.....	51
3.3 Medición de la resistividad.....	52
Capítulo 4 Análisis y discusión de resultados.....	59
Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones.....	65
Bibliografía.....	66

Lista de Tablas

	Página
Tabla 2.1 Niveles de energía necesarios para llevar a cabo la conductividad.....	16
Tabla 2.2 Frecuencias y longitudes de onda de radio.....	20
Tabla 2.3 Bandas de comunicación alrededor del mundo.....	21
Tabla 2.4 Descripción de los datos que conforman el producto Durango	22
Tabla 3.1 Evaluación de adhesivo 1079B	50
Tabla 3.2 Cantidad de paquetes medidos por tira.....	55
Tabla 3.3 Desarrollo del segundo experimento.....	56
Tabla 3.4 Comparativo entre adhesivos.....	56
Tabla 4.1 Resultados del experimento realizado con el adhesivo 1079B.....	60
Tabla 4.2 Desviación estándar de la Resistividad por tira.....	63

Lista de Figuras

		Página
Figura 2.1	Teoría de conducción de las bandas.....	15
Figura 2.2	Semiconductores tipo- n y tipo $-p$	17
Figura 2.3	Paquete eléctrico completo	18
Figura 2.4	Corte transversal de un circuito eléctrico.....	19
Figura 2.5	Localización de los diferentes dados que conforman el producto Durango 77330.....	22
Figura 2.6	Amplificador de potencia GSM 63600.....	23
Figura 2.7	Probadora eléctrica HP 84000.....	24
Figura 2.8	Flujo del adhesivo conductivo.....	24
Figura 2.9	Herramienta LT92000320082 para pegar dados.....	25
Figura 2.10	Bomba desarmada.....	25
Figura 2.11	Bomba armada.....	25
Figura 2.12	Máquina pegadora de dados Datacon APM 2200.....	26
Figura 2.13	Corte transversal de un circuito en el cual se indica el espesor del adhesivo.....	26
Figura 2.14	Corte transversal de un circuito en el cual se indica la altura del adhesivo con respecto al dado.....	27
Figura 2.15	Corte transversal de un circuito en el cual se indica la distancia de adhesivo que sale del dado sobre el eje X.....	27
Figura 2.16	Huella de adhesivos en forma de “X”.....	28
Figura 2.17	Fuerza aplicada vs elongación del resorte (distancia) herramienta LT92000320082.....	29
Figura 2.18	Posibles estructuras moleculares en resinas poliméricas utilizadas como adhesivos.....	31
Figura 2.19	a) Conducción por contacto partícula a partícula, b) Conducción por tunelaje cuántico.....	41
Figura 3.1	Aplicación de adhesivo en una tira de 80 paquetes.....	45

Figura 3.2	Horno despatch modelo LCC.....	47
Figura 3.3	Equipo de Medición de espesor marca OGP.....	47
Figura 3.4	Láser a las superficies del dado y del tablero.....	48
Figura 3.5	Espesor del dado y distancia de la superficie del tablero a la superficie del dado.....	48
Figura 3.6	Medidor de moléculas de Oxígeno PBI Densor modelo Oxi-3.....	49
Figura 3.7	Perfil de curado universal (todos los tipos de adhesivos)	51
Figura 3.8	Método de medición de los cuatro puntos.....	53
Figura 3.9	Conexiones del dado 63600.....	53
Figura 3.10	Dado 63600 con corte transversal, puntos de medición de la resistividad.....	54
Figura 3.11	Fuente de corriente y nanovolmetro Keithley.....	54
Figura 3.12	Tira con 80 paquetes.....	55
Figura 3.13	Jeringa de adhesivo.....	57
Figura 3.14	Huella aplicada y expuesta al ambiente.....	57
Figura 4.1	Resistividad promedio por tira.....	61
Figura 4.2	Desviación estándar de la Resistividad por tira.....	61
Figura 4.3	Diferentes acomodos entre hojuelas de plata a espesores alto y bajo.....	62
Figura 4.4	Resultados de resistividad vs Parámetros del adhesivo.....	63
Figura 4.5	Resultados de resistividad antes y después del horno de curado.....	64

Resumen

Debido a la complejidad de los microcircuitos actuales un gran número de elementos intervienen para su adecuado funcionamiento de éstos. El funcionamiento apropiado del circuito no depende en exclusiva del microcircuito, sino del conjunto de dispositivos que lo rodean los cuales pueden ser muy variados, desde elementos pasivos (resistencias, capacitores, etc.,) hasta los materiales para hacer conexiones (alambres de oro, adhesivos con plata etc.).

Uno de los elementos clave para el buen desempeño de un circuito semiconductor, dedicado a comunicaciones inalámbricas, es el adhesivo con el cual se une el circuito al tablero (regularmente de oro). Otra importante función del adhesivo es la disipación de calor que produce la interacción de radiofrecuencia, así como aterrizar electrónicamente el circuito. Si este elemento no cumple dichas funciones, el circuito no trabajará adecuadamente (falta de tierra física), o bien su tiempo de vida será más corto (falta de disipación de calor).

El desarrollo de esta investigación está fundamentado básicamente en la evaluación de las condiciones ambientales que afectan el comportamiento de los adhesivos eléctricamente conductivos. Los adhesivos sometidos a evaluación fueron dos de naturaleza epóxica, considerados del tipo isotrópico por conducir la corriente y el calor en todas direcciones.

La evaluación se llevó a cabo realizando mediciones de conductividad eléctrica de los adhesivos bajo diferentes condiciones, tales

como: espesor bajo el circuito, tiempo de exposición al ambiente (humedad absorbida), temperaturas de curado, tiempo de curado y por último curado con nitrógeno o aire.

Las mediciones se realizaron utilizando la técnica de los cuatro puntos, la cual consiste en medir la conductividad en el mismo cuerpo pero dos posiciones distintas (se le llama cuatro puntos: dos por tierra y dos por corriente), este tipo de conexión se hace para minimizar la caída ohmica en el circuito. Los resultados obtenidos han permitido el establecimiento de las condiciones óptimas de operación en la sección de pegado de dados. Dichas condiciones son: espesor bajo, tiempo en piso de 6 horas, tiempo de exposición al ambiente de 0.12 horas, tiempo de curado de 150 °C en un ambiente de curado con nitrógeno en la cámara del horno.

Mediante la utilización de estos parámetros se logra un incremento en la conductividad del adhesivo de 17 %.

Capítulo 1

Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Como parte del funcionamiento correcto de microcircuitos utilizados en comunicaciones inalámbricas, particularmente señales de radiofrecuencia, los adhesivos deben cumplir cada día con más requerimientos:

- 1) Tener una mejor conductividad tanto eléctrica como térmica.
- 2) Presentar una mejor adherencia.
- 3) En el caso de adhesivos conductivos líquidos, que éstos sean manufacturados de manera sencilla en altos volúmenes de producción.

Un problema común al que se enfrenta la industria de los semiconductores con el avance de nuevos adhesivos conductivos, es el hecho de que se presentan fallas en el desempeño del circuito o comportamientos en la aplicación que no se comprenden en su totalidad, y en muchos de los casos le da al problema un enfoque muy diferente de lo que en realidad es, ocasionando que el problema persista.

1.2 Justificación

El desarrollo de la presente investigación es de gran importancia para la industria de los semiconductores, ya que se pretende estudiar un problema que esta íntimamente ligado con los adhesivos conductivos. Este problema es la falta de conductividad que presentan en ocasiones algunos adhesivos, lo cual impide a los circuitos realizar sus funciones completas al no ser aterrizados por el adhesivo de manera apropiada. Las pérdidas

económicas ocasionadas por este problema son alrededor de 1.6 millones de dólares anuales, debidas al desperdicio de circuitos ya ensamblados.

Por otra parte, los resultados de esta investigación servirán como base para comprender futuras evoluciones en los adhesivos conductivos, así como aplicaciones adicionales que éstos tengan fuera del área de comunicaciones inalámbricas.

1.3 Objetivos

Objetivos Generales

- Determinar las condiciones que afectan la conductividad eléctrica de adhesivos conductivos isotrópicos, utilizados durante el proceso de pegado de dados en amplificadores de señales para telefonía móvil en la banda GSM (Global System Mobile), particularmente en el amplificador Durango 77330.

Objetivos Particulares

- Determinar el efecto de las condiciones ambientales sobre los adhesivos conductivos como: condiciones de almacenamiento, tiempo y condiciones que transcurren entre la aplicación del adhesivo y el curado.
- Evaluar la conductividad de dos adhesivos isotrópicos con diferentes niveles de contenido de plata, con el propósito de

seleccionar aquél que proporcione una mayor conductividad para los circuitos dedicados a comunicaciones inalámbricas.

- Establecer las condiciones óptimas de manufactura para mejorar la conductividad del adhesivo isotrópico seleccionado, garantizando con ello el buen funcionamiento del circuito.

1.4 Hipótesis

La hipótesis propuesta para esta investigación es:

“Las condiciones de almacenamiento y el tratamiento de adhesivos conductivos, previo a su aplicación, están directamente relacionados con la confiabilidad de la resistencia física, el funcionamiento eléctrico del paquete y la baja amplificación de salida”.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1 Semiconductores

Un semiconductor es un componente que no es directamente un conductor de corriente, pero tampoco es un aislante. En un conductor la corriente es debida al movimiento de las cargas negativas (electrones). En cambio los semiconductores producen corrientes por el movimiento de electrones así como de la generación de cargas positivas (huecos). Los semiconductores pertenecen al grupo IVA (4A) de la tabla periódica (Silicio, Germanio, etc.), debido al bajo nivel de energía necesario para mover los electrones de la capa de valencia de estos elementos. Generalmente a los semiconductores se le introducen átomos de otros elementos, denominados impurezas, de forma que la corriente se deba al movimiento de electrones o a los huecos, dependiendo de la impureza introducida.

Para que la conducción de la electricidad sea posible es necesario que existan electrones que no estén ligados a un enlace determinado (banda de valencia), sino que sean capaces de desplazarse por el cristal (banda de conducción). En la figura 2.1 se ejemplifica el nivel de energía para que un electrón pase de la banda de valencia a la banda de conducción.

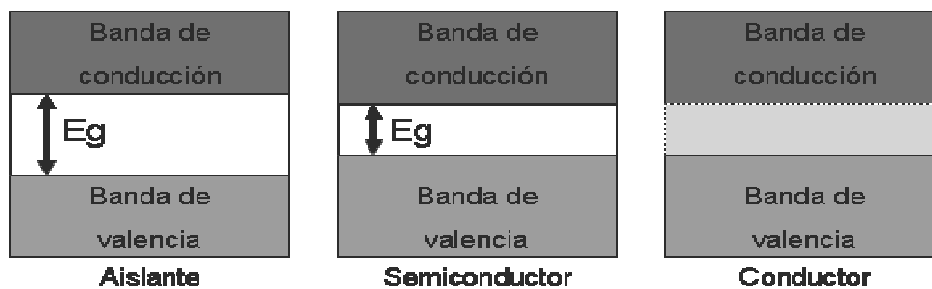


Figura 2.1 Teoría de conducción de bandas

En los semiconductores el salto que debe de dar un electrón es pequeño por lo tanto se puede regular la cantidad de electrones en movimiento, para esto sólo bastará con disminuir la cantidad de energía (E_g), para que el número de electrones que saltan de un átomo a otro sea menor, cosa que no se puede hacer con los metales cuya conductividad es constante o, más propiamente dicho, poco variable con la temperatura. En la tabla 2.1 se puede ver la cantidad de energía en electrón-volts (eV) para lograr que electrones se desplacen a la banda de conducción.

Tabla 2.1 Niveles de energía necesarios para llevar a cabo la conductividad

Gap de Energía			
Aisladores	eV	Semiconductores	eV
Diamante	5.33	Silicio	1.14
Óxido de Zinc	3.2	Germanio	0.67
Cloruro de Plata	3.2	Telurio	0.33
Sulfuro de Cadmio	2.42	Antimoniuro de Indio	0.23

Existen dos tipos de semiconductores los intrínsecos o llamados también conductores naturales los cuales mantienen un estado de “semiconductividad” natural, y los llamados “extrínsecos” a los cuales es posible controlar su conductividad agregando impurezas según sean las necesidades del material.

Las impurezas adicionadas aumentan la conductividad de los semiconductores. Si a un cristal de silicio se adicionan átomos de arsénico,

éstos pueden tomar el lugar de los de silicio. Pero un átomo de arsénico tiene cinco electrones de valencia, uno más que el silicio. Los electrones adicionales pueden moverse a través del cristal si se le aplica un campo eléctrico. Este tipo de semiconductores, en donde la corriente se conduce por el movimiento de electrones (con carga negativa), se denominan **semiconductores tipo *n***. Por el contrario, si un átomo de boro sustituye un átomo de silicio, habrá un electrón menos. Se forma un hueco de deficiencia de electrones en el cristal, y en un campo eléctrico, un electrón puede moverse de un enlace vecino y llenar el hueco, pero se formará un nuevo hueco; los huecos se mueven a través del semiconductor y conducen corriente. Este tipo de semiconductor se llama **semiconductor tipo *p*** porque la corriente es transportada por el movimiento de huecos “positivos” (deficientes de electrones). En la figura 2.2 se esquematizan los semiconductores tipo-*n* y tipo-*p* [1].

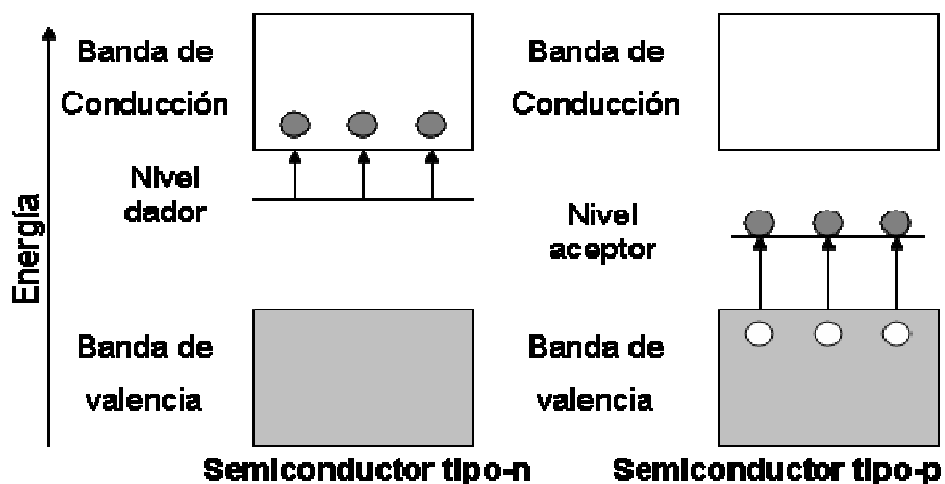


Figura 2.2 Semiconductores tipo-n y tipo -

2.2 Dado o circuito eléctrico:

El dado es el material semiconductor en donde se aplican las impurezas de tal forma que se pueda generar una circuitería. Ésta puede ser destinada a diferentes aplicaciones, algunas de ellas son: amplificadores de señales, filtros de radiofrecuencia, controladores, etc. Usualmente los materiales semiconductores utilizados en circuitos de comunicación inalámbrica son: Arsenuro de Galio y Silicio, siendo el primero básicamente para amplificadores de señales y el segundo para controladores de señales. El dado pegado en el tablero interactuando con otros dados y elementos pasivos (resistencias, capacitores, etc.) forman el paquete eléctrico. En la Figura 2.3 se muestra un circuito eléctrico con todos sus elementos.

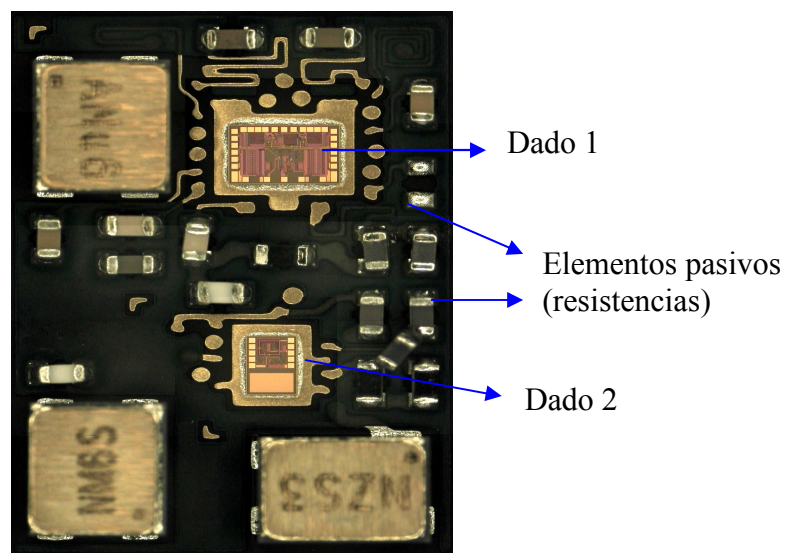


Figura 2.3 Paquete eléctrico completo

2.3 Tablero eléctrico

El tablero es el lugar donde se colocan los diferentes dados y elementos pasivos; todas las partes en conjunto interactúan para hacer

funcionar al circuito. El tablero está compuesto de diferentes materiales tales como: oro, fibras de vidrio, etc. La figura 2.4 muestra el corte transversal de un circuito eléctrico.

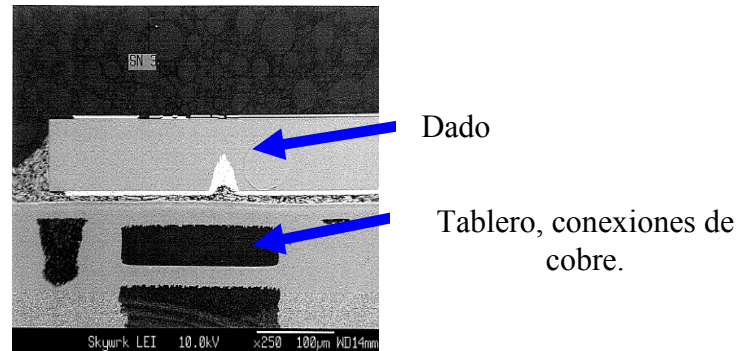


Figura 2.4 Corte transversal de un circuito eléctrico.

2.4 Señales de radiofrecuencia

El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se denomina a la región del espectro electromagnético en el que se pueden generar ondas electromagnéticas aplicando corriente alterna a una antena.

Las ondas de radio poseen un campo muy amplio de aplicación, incluida la comunicación durante los rescates de emergencia (radio transistores y de onda corta), emisiones internacionales (satélites) y electrodomésticos (hornos de microondas). Una onda de radio queda definida por su longitud de onda λ , (la distancia entre dos crestas consecutivas) o por su frecuencia ν , (el número de crestas que pasan por un punto durante un segundo). Las longitudes de onda de radio van desde 100,000 m hasta 1 mm. Las frecuencias varían de 3 kilohertz a 300 Gigahertz. La tabla. 2.2 muestra las diferentes frecuencias existentes.

Tabla 2.2 Frecuencias y longitudes de onda de radio

Frecuencia (ν)	Nombre de la frecuencia	Siglas en inglés	Longitud de onda (λ)
3 – 30 kHz	Frecuencia muy baja	VLf	100,000-10,000 m ⁻¹
30 – 300 kHz	Frecuencia baja	LF	10,000-1,000 m ⁻¹
300 – 3000 kHz	Frecuencia media	MF	1,000 – 100 m ⁻¹
3 – 30 MHz	Frecuencia alta (onda corta)	HF	100 – 10 m ⁻¹
30 – 300 MHz	Frecuencia muy alta	VHF	10 – 1 m ⁻¹
300 – 3000 MHz	Frecuencia ultra-elevada	UHF	1 m – 10 cm ⁻¹
3 – 30 kHz	Frecuencia súper-elevada	SHF	10 – 1 cm ⁻¹
30 – 300 kHz	Frecuencia extremadamente elevada	EHF	1 cm – 1 mm ⁻¹

GSM y otras bandas

Global System Mobile (GSM) es un estándar mundial para teléfonos portátiles digitales. El estándar fue creado por la Confederación Europea de Administración de Correos y Telecomunicaciones (*CEPT, Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications*), y posteriormente fue desarrollado por ETSI (European Telecommunications Standards Institute) como un estándar para los teléfonos móviles europeos, con la finalidad de desarrollar una normativa que fuese adoptada mundialmente. El estándar es abierto, no propietario y evolutivo (aún en desarrollo). Es el predominante en Europa, así como el mayoritario en el resto del mundo dado que alrededor del 70 % de los usuarios de teléfonos móviles del mundo utilizan la banda GSM. La tabla 2.3 presenta los diferentes tipos de bandas de comunicación utilizadas alrededor del mundo. Ref (2).

Tabla 2.3 Bandas de comunicación alrededor del mundo

Región	Tipo	Transmisión del equipo móvil (MHz)	Transmisión de la estación base (MHz)	Sensibilidad receptora del equipo móvil (dBm)	Poder de transmisión del equipo móvil (dBm)
Europa	GSM 900	880-915	925-960	-102	35
	DCS 1800 (GSM)	1710-1785	1805-1880	-102	30
	UMTS (W-CDMA)	1920-1980	2110-2170	-116	24
USA	AMPS	824-849	869-894	-116	34.77
	PCS (1900 GSM)	1850-1910	1930-1990	-102	30
Japón	CDMA One	887-901	832-846		23
	PDC	940-956	810-826	-100	Clase 1 = 34.77
					Clase 2 = 33
					Clase 3 = 29
					Clase 4 = 24.77
		1429-1453	1477-1501	-100	Clase 1 = 34.77
					Clase 2 = 33
					Clase 3 = 0.29
					Clase 4 = 24.77
	W-CDMA	1920-1980	2110-2170	-116	24

2.5 Paquete Durango 77330 en el Celular

El paquete Durango 77330 es un amplificador diseñado para trabajar en tres bandas de telefonía celular 3G (3 Gigabytes de comunicación). Estas bandas son: EGSM900 (880 a 915 MHz), DCS1800 (1710 a 1785 MHz) para Europa y PCS (1850 a 1910 MHz) para Estados Unidos.

Este circuito está compuesto por los siguientes dados: 63600, 63601, IP0845, IP0846, RP0844, 31047-A3, 31046 y SSNNIKL001S0, los cuales se presentan en la tabla 2.4 y se encuentran identificados en la figura 2.5, la cual muestra una foto del paquete completo. Para efectos de esta investigación, se realizarán evaluaciones sobre el amplificador 63600.

Tabla 2.4 Descripción de los dados que conforman el producto Durango

Dado	Función	Material	Num. dados por circuito
63600	Amplificador GSM	GaAs	1
63601	Amplificador DCS y PCS	GaAs	1
IPO845	Acoplador GSM	GaAs	1
IPO846	Acoplador DCS	GaAs	1
RPO844	Switch	GaAs	1
31047-A3	Controlador del switch	Si	1
31046	Control del amplificador	Si	1
SSNNIKL001S0	Diodo	Si	3

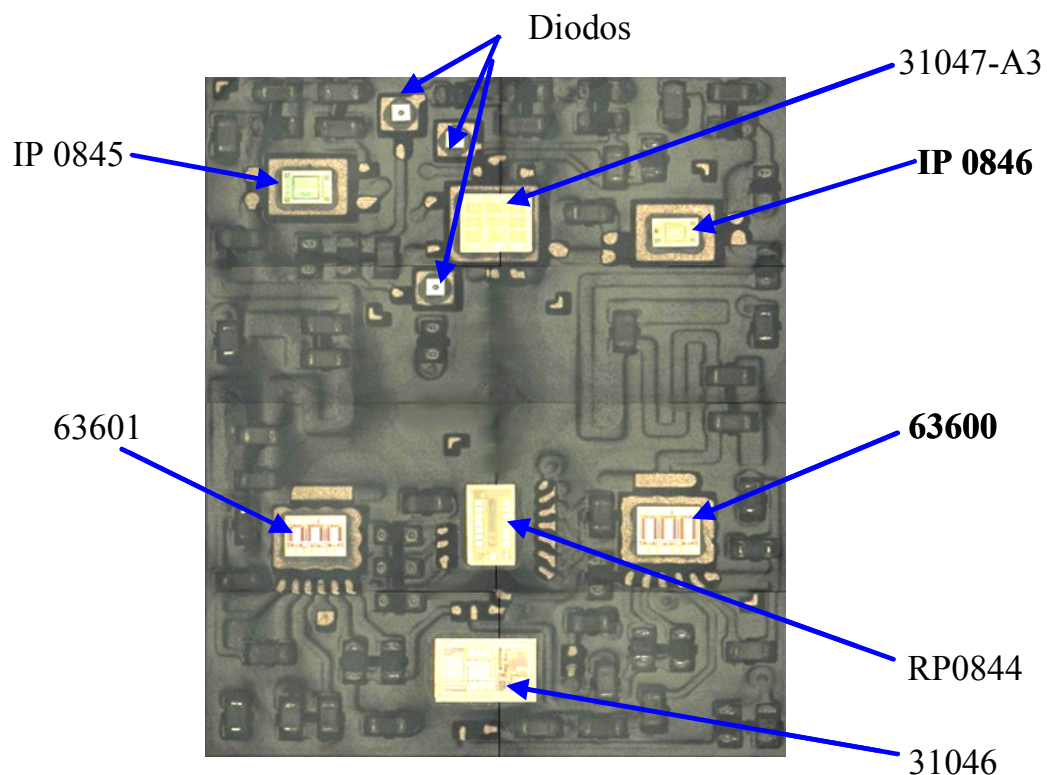


Figura 2.5 Localización de los diferentes dados que conforman el producto Durango 77330

2.6 Dado 63600 en el Circuito Durango

El dado 63600 es el amplificador de potencia del circuito Durango. Este dado trabaja en la frecuencia GSM (880 a 915 MHz) y tiene la función de emitir una potencia de salida de 35 mdb Watts. El circuito 63600 se puede apreciar en la figura 2.6.

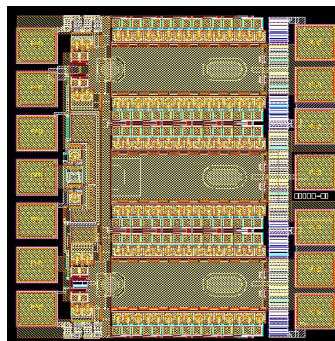


Figura 2.6 Amplificador de potencia GSM 63600

2.7 Prueba eléctrica del circuito Durango.

La evaluación del circuito se lleva a cabo mediante la realización de una prueba eléctrica, cuya finalidad es verificar el funcionamiento del circuito 77330 en sus diferentes bandas de comunicación. Para ello se utiliza la probadora de señales eléctricas modelo HP 84000, la cual se muestra en la figura 2.7. Esta probadora envía señales a los pines de conexión del circuito a probar y censa la salida eléctrica. El tiempo de prueba es de alrededor de 4.2 segundos por pieza. Los valores esperados de amplificación de salida del dado 63600 van de 35.1 a 35.3 dBm, fuera de este rango el circuito se da por fallido.



Figura 2.7 Probadora eléctrica HP 84000

2.8 Proceso de pegado de dados

El proceso de pegado de dados es una de las principales operaciones en la elaboración de microcircuitos. Ésta consiste en poner los dados o circuitos eléctricos sobre un tablero, donde entrará en interacción con otros circuitos y componentes pasivos. El diagrama de flujo de este proceso se muestra en la figura 2.8. Se utiliza una herramienta para pegar los dados, la cual se muestra en la figura 2.9. Dicha herramienta controla la fuerza de pegado por medio de la elongación de un resorte interno. El dado se adhiere al tablero utilizando diferentes tipos de adhesivos que varían en propiedades, dependiendo de su aplicación. Ref (3).

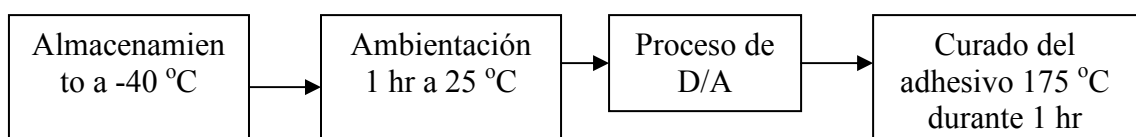


Figura 2.8 Flujo del adhesivo conductivo

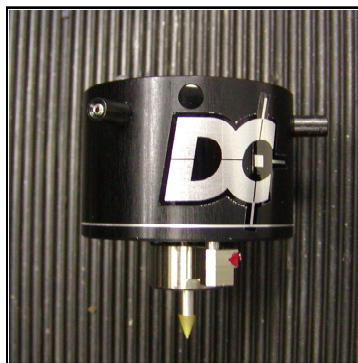
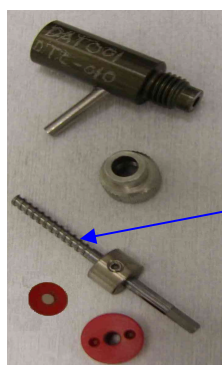


Figura 2.9 Herramienta LT92000320082 para pegar dados.

Dichos adhesivos son aplicados por medio de una bomba con un sin fin en su interior, en las figuras 2.10 y 2.11 se muestran una bomba desarmada y otra armada respectivamente.



Sin fin que
expulsa el
adhesivo



Figura 2.10 Bomba desarmada

Figura 2.11 Bomba armada

El presente estudio se enfocará en adhesivos eléctricamente conductivos, los cuales debido a los elementos químicos que lo conforman son un poco más difíciles de controlar en manufactura que un adhesivo no conductivo. Además, debido a la función que desempeñan, se considera que es una de las principales causas de fallas en el desempeño eléctrico del

paquete. El equipo utilizado para el pegado de dados es Datacon APM 2200, el cual se muestra en la figura 2.12.



Figura 2.12 Máquina pegadora de dados Datacon APM 2200

2.9 Parámetros importantes dentro del proceso de pegado de dados

En el proceso de pegado de dados están involucrados diversos procesos y operaciones que controlan las siguientes variantes en el adhesivo: a) Espesor del adhesivo, b) Altura del adhesivo con respecto al espesor del dado, c) Distancia máxima que el adhesivo sale después del dado. Estos tres parámetros se encuentran indicados en las figuras 2.13 a 2.15

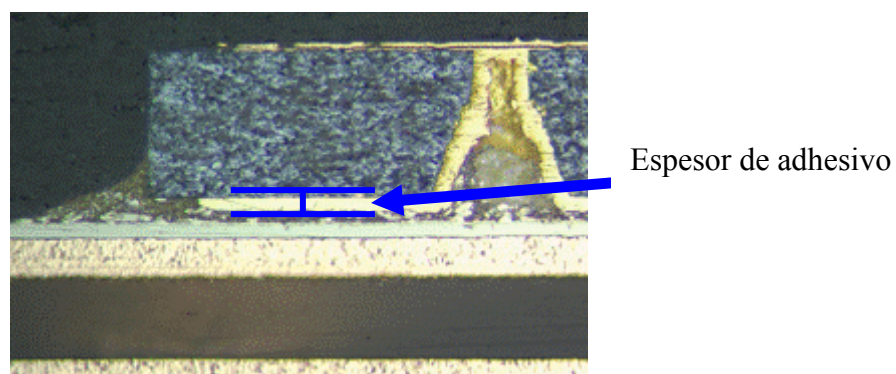


Fig. 2.13 Corte transversal de un circuito en el cual se indica el espesor del adhesivo.

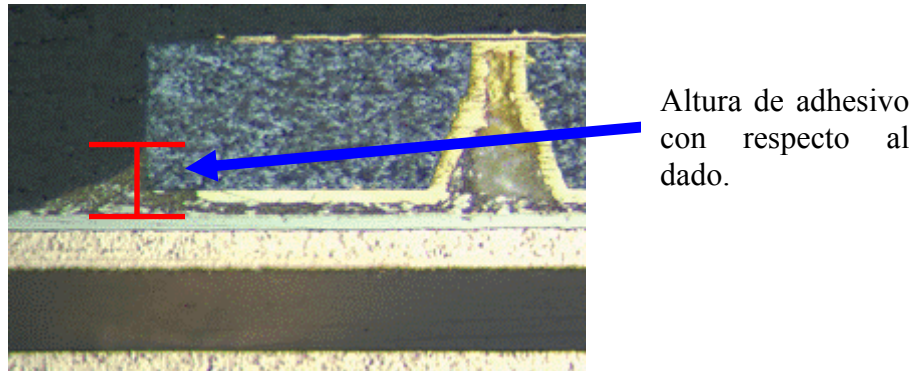


Fig. 2.14 Corte transversal de un circuito en el cual se indica la altura del adhesivo con respecto al dado.

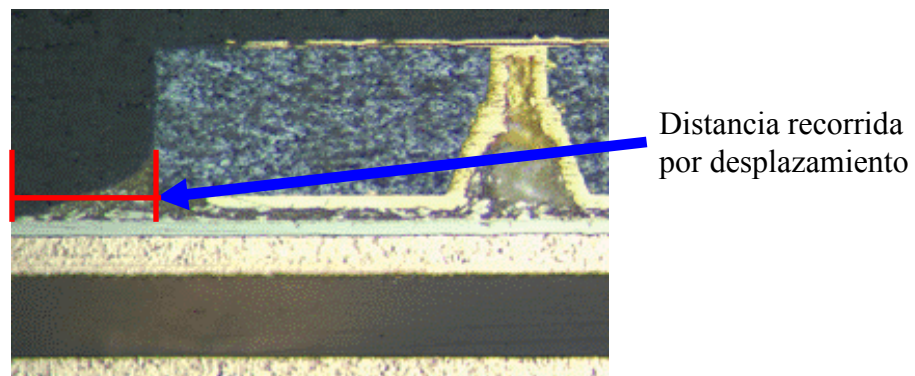


Fig. 2.15 Corte transversal de un circuito en el cual se indica la distancia de adhesivo que sale del dado sobre el eje X.

Las variables que sirven para controlar estos parámetros son:

- Velocidad del sin fin: Es la velocidad con que gira el sin fin para expulsar el adhesivo de la bomba; ésta varía en porcentaje, y los valores típicos van de 3-8 %.

- Velocidad de formación de la huella del adhesivo: Esta velocidad se expresa en mm/seg, con valores típicos entre 30 – 50 mm/seg, Usualmente la huella tiene forma de “X” como se muestra en la figura 2.16.
- Presión sobre el dado: Presión aplicada sobre el dado al momento de pegarlo. Esta presión se controla mediante la elongación del resorte que se encuentra dentro de la herramienta para pegar dados; las unidades utilizadas son milímetros y los valores usuales van de 0.1 – 0.5 mm. La figura 2.17 muestra la gráfica elongación – fuerza, cuya tendencia es que la fuerza aplicada será mayor conforme se encuentre más alejado el resorte de la herramienta.
- Tiempo de presión sobre el dado: Es el tiempo que permanece la herramienta de pegado presionando el dado, los tiempos utilizados van de 80 a 150 milisegundos.

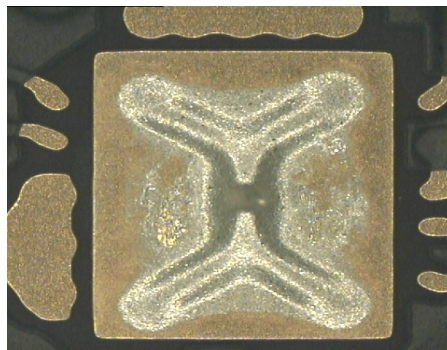


Figura 2.16 Huella de adhesivos en forma de “X”

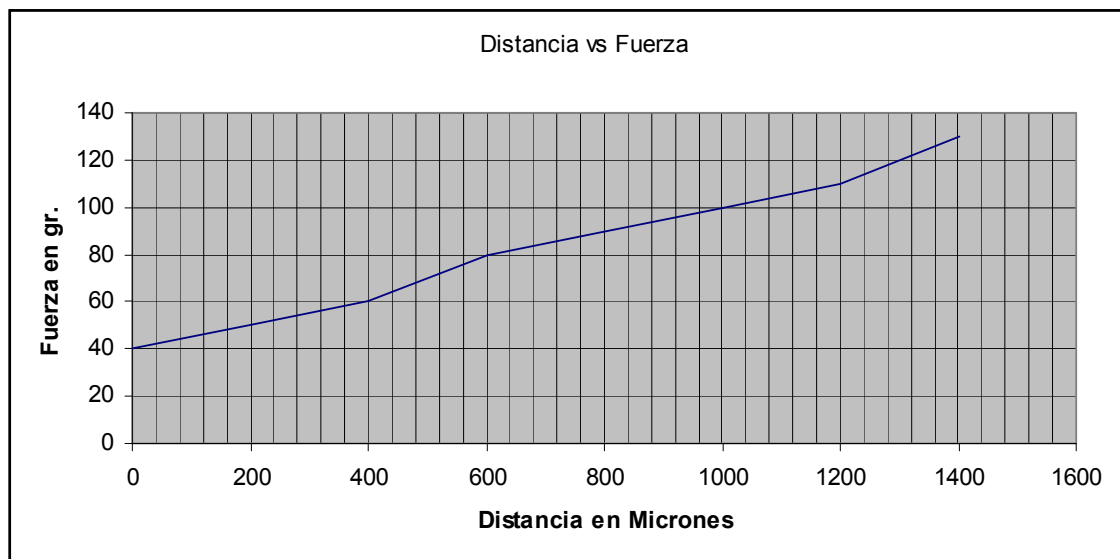


Figura 2.17 Fuerza aplicada vs elongación del resorte (distancia) herramienta LT92000320082.

2.10 Adhesivos

Un adhesivo es una sustancia química formulada para unir dos superficies o cuerpos. Las formas de un adhesivo pueden ser: líquidos, pastas, gomas, polvos, y filminas delgadas.

Los adhesivos pueden clasificarse por distintos métodos. Posiblemente, la clasificación más general es categorizarlos a partir de los materiales con los que son elaborados, en naturales y sintéticos. Los adhesivos sintéticos son aquellos sintetizados por el hombre, como los polímeros. Los adhesivos naturales se elaboran a partir de productos encontrados en la naturaleza, tales como sub-productos animales o agrícolas. Muchos adhesivos se elaboran a partir de polímeros orgánicos. Existen también sistemas adhesivos de naturaleza inorgánica.

La industria ha establecido métodos comunes para clasificar los adhesivos que satisfacen sus diversos propósitos. Dichas clasificaciones son:

- a) Función
- b) Composición química
- c) Modo de aplicación o de reacción
- d) Forma física
- e) Costo
- f) Uso final

2.10.1 Clasificación de los adhesivos

a) Por Función

La clasificación funcional define a los adhesivos como estructurales o no estructurales. Los adhesivos estructurales son materiales de elevada resistencia y permanencia. Generalmente se definen como aquellos con resistencia superior a 1000 psi. Su función principal es mantener unidas las estructuras. Por otra parte, los adhesivos no estructurales no requieren la resistencia a cargas, mantienen en su lugar materiales ligeros.

b) Composición química

La clasificación de adhesivos por su composición química los describe como termoestables, termoplásticos, elastoméricos e híbridos. Usualmente, se subdividen en familias dentro de cada grupo, como epóxicos, uretanos, neoprenos y cianoacrilatos.

- Adhesivos termoestables: son materiales que no pueden calentarse y suavizarse repetidamente después de su curado inicial. Una vez curados e interconectados, los enlaces se pueden debilitar por calor,

pero no pueden fundirse nuevamente a su estado inicial. Los sistemas de adhesivos termoestables son curados mediante una reacción química irreversible, a temperatura ambiente o a temperaturas elevadas, dependiendo del tipo de adhesivo. La reacción de interconexión o polimerización que se presenta durante el curado se lleva a cabo por el enlazamiento de dos polímeros lineales, obteniendo como resultado una estructura química tridimensional. Un modelo de polimerización se muestra en la figura 2.19. Debido a que las moléculas de resinas termoestables se encuentran polimerizadas, su resistencia al calor y a los solventes es buena, y muestran muy poca deformación elástica bajo tensión a elevadas temperaturas. Como resultado, muchos adhesivos estructurales tienden a formularse con resinas poliméricas con estructura molecular termoestable.

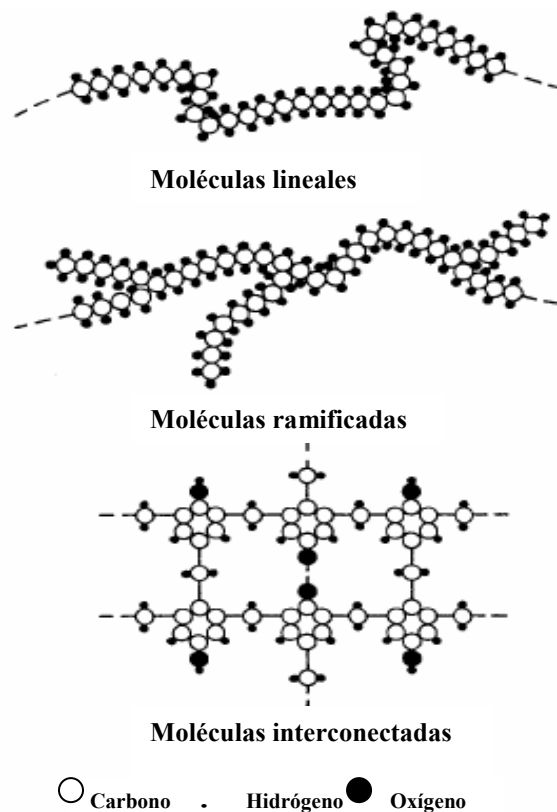


Figura 2.18 Posibles estructuras moleculares en resinas poliméricas utilizadas como adhesivos.

- Adhesivos termoplásticos: Este tipo de adhesivos se diferencian de los térmicos en que no necesitan calor para curarse. Son polímeros suaves que se funden al aplicarles temperatura; su estructura molecular puede ser lineal o ramificada. Debido a que sus moléculas no se polimerizan al curar, pueden fundirse con la adición de calor y después aplicarse sobre un sustrato. El envejecimiento térmico producido por la exposición repetida a las altas temperaturas requeridas para fundición, provoca la degradación del material por oxidación, y esto limita el número de ciclos de calentamiento y/o curado. Una vez aplicados al sustrato, las piezas se unen y el adhesivo cura por enfriamiento. La adhesión se genera conforme el adhesivo solidifica durante su enfriamiento. A diferencia de los adhesivos termoestables, los adhesivos termoplásticos no presentan resistencia a solventes o agentes químicos.

- Adhesivos elastoméricos: Debido a que los adhesivos elastoméricos tienen características reológicas únicas, éstos tienen su propia clasificación. Estos adhesivos están formados por polímeros elastoméricos de origen natural o sintético, presentando una gran resistencia y elongación. Sus resinas poliméricas tienen una gran capacidad de estirarse y contraerse, regresando rápidamente a su forma y dimensión original una vez que la carga es removida. Los adhesivos elastoméricos pueden ser termoestables o termoplásticos. La forma y requerimientos de curado varía con el tipo de resina elastomérica utilizada en la formulación del adhesivo.

- Adhesivos híbridos: Se obtienen por la combinación de resinas termoestables, termoplásticas o elastoméricas en una misma

formulación. Los híbridos se han desarrollado para aprovechar las propiedades más útiles de cada componente. Actualmente, se están desarrollando sistemas adhesivos híbridos avanzados, a fin de mejorar la resistencia de resinas termoestables sin reducir su resistencia a altas temperaturas. Estos sistemas consisten de:

- Híbridos reactivos, donde dos componentes líquidos se hacen reaccionar en vez de sólo estar combinados o mezclados.
- Híbridos de fase dispersa, donde el medio flexibilizante se incorpora como partículas distintas dentro de una matriz de resina.

c) Método de reacción

Otra distinción que puede hacerse con los adhesivos es la forma en que éstos reaccionan o solidifican. Algunos adhesivos solidifican simplemente por la pérdida de solvente, mientras que otros son resultado de una activación por calor o reacción química. Existen varios métodos por medio de los cuales pueden solidificar:

- Por reacción química
- Por pérdida de solvente
- Por pérdida de agua
- Por enfriamiento

d) Forma física

Un método de distinción entre adhesivos ampliamente utilizado es por su forma física. Las formas más comunes son:

- Partes múltiples sin solvente (líquido o pasta)
- Una parte sin solvente (líquido o pasta)
- Una parte en solución (líquido)

- Sólido (polvo, cinta, película, etc.)

e) Costo

Generalmente, el costo no se utiliza como método de clasificación de adhesivos; sin embargo, éste es un factor importante en la selección de un adhesivo específico y es un factor que determinará si el adhesivo debe utilizarse o no. Así, el costo se convierte en un medio de selección y clasificación indirecta. Para analizar el costo real de un sistema adhesivo, es importante considerar los siguientes parámetros:

- Eficiencia de cobertura en relación con el área de pegado o número de componentes.
- Facilidad de aplicación y disponibilidad del equipo necesario para su procesamiento (plantillas, hornos, prensas, aplicadores, etc.)
- Tiempo total de procesamiento (ensamble, preparación, secado, curado, etc.)
- Costo por las operaciones de ensamble e inspección de las piezas adheridas
- Cantidad de adhesivo desperdiciado durante su aplicación.
- Cantidad de material rechazado comparado con otros métodos de unión. Ref (4).

2.10.2 Componentes de un adhesivo conductivo

Los adhesivos conductivos son aquellos, que contienen todos los elementos necesarios para transmitir entre sus moléculas ya sea calor o electricidad, este tipo de adhesivos suelen tener menor fuerza de adherencia que otros, además de secarse rápidamente con la exposición al ambiente. Estos son usados en superficies que deben disipar calor o bien deben

entregar o recibir alguna señal eléctrica, como por ejemplo dar tierra física a un circuito eléctrico o disipar el calor en las paredes de un motor.

Los adhesivos eléctricamente conductivos, típicamente tienen los siguientes componentes:

- a) Polímero solvente. El polímero solvente sirve para dar elasticidad mecánica al adhesivo.
- b) Partículas conductoras (esferas u hojuelas). El conductor más usado es la plata, debido a sus excelentes propiedades conductoras de calor y electricidad. Un adhesivo conductivo contiene entre 70 y 80 % de plata en peso. Otra ventaja de la plata es que a diferencia del cobre, ésta puede mantener sus propiedades conductivas en condiciones de oxidación.
- c) Endurecedor o agente de curado. Es la sustancia añadida al adhesivo para promover el curado combinándose con la resina base. Los agentes de curado se escogen dependiendo de la resina con que se van a mezclar, estos tendrán un gran efecto en las características de curado y las propiedades finales del adhesivo.
- d) Catalizador. El catalizador permanece sin cambio en la etapa de curado, causando que la resina principal se solidifique. Ácidos, bases, sales, componentes de sulfuros y peróxidos son los mas usuales como catalizadores. El catalizador es usado en pequeñas cantidades, si se requiere afectar el curado, a diferencia del agente de

curado la cantidad de catalizador en un adhesivo puede resultar en poca adherencia.

e) Acelerador, Inhibidor o retardador. Estas sustancias son incorporadas al adhesivo para acelerar o retardar el tiempo de curado, también afectan el tiempo de almacenaje y de vida activa de un adhesivo.

f) Solventes. Acondicionan el adhesivo para que tenga una consistencia que le permita ser aplicado con mayor facilidad, también son usados para disminuir la viscosidad de la resina base para que se pueda mezclar con mayor facilidad con otros componentes.

g) Extendedores. Son sustancias que tienen algunas propiedades adhesivas, y son añadidas para reducir la concentración de otros componentes adhesivos y por lo tanto del costo total del adhesivo. Estos también tienen una gran influencia en las propiedades físicas del adhesivo.

h) Portador. Usualmente es una delgada capa de tela o papel, utilizada para sobrellevar la composición semicurada del adhesivo. Ref (5).

2.10.3 Adhesivos Eléctricamente Conductivos

Los adhesivos eléctricamente conductivos son en la actualidad un reemplazo a la soldadura en el ensamble de microcircuitos. Básicamente

existen dos tipos: adhesivos conductivos isotrópicos (ACI) y adhesivos conductivos anisotrópicos (ACA). Aunque los conceptos de estos materiales son diferentes, ambos son materiales compuestos consistentes de una matriz polimérica y aditivos conductivos. Generalmente los ACIs presentan concentraciones del aditivo conductivo entre 20 y 35% vol., y los adhesivos son conductivos en todas las direcciones. Se utilizan principalmente en aplicaciones híbridas y en tecnología de montaje de superficie. En los ACAs, el volumen de aditivo conductivo normalmente se encuentra entre 5 y 10%, y la conducción eléctrica se genera sólo en la dirección de presurización durante el curado. Ref (6).

Los adhesivos conductivos, comparado con la tecnología convencional de interconexión por soldadura, presentan las siguientes ventajas:

- 1) Son más amigables que las soldaduras con base plomo
- 2) Requieren menores temperaturas de procesamiento
- 3) Mayor flexibilidad y resistencia a la fatiga que la soldadura
- 4) Procesamiento más sencillo
- 5) Pueden utilizarse sustratos no soldables (como el vidrio). Ref. (7)

2.10.4 Polímeros y Aditivos Conductivos

Los polímeros se clasifican como termoestables (como los epóxicos, poli-imidas, silicones y adhesivos acrílicos) o termoplásticos. Como aditivos conductivos, se utilizan materiales metálicos como oro, plata, cobre y níquel, o materiales no metálicos como carbón.

2.10.5 Polímeros para adhesivos eléctricamente conductivos

a) Termoplásticos

Esta clase de polímeros poseen una larga estructura molecular lineal, que le permite fundir y fluir cuando se calientan a un punto específico de fusión sin alterar significativamente sus propiedades intrínsecas. Generalmente se encuentran disponibles como películas o como pastas en solución. Un aspecto importante en la aplicación de adhesivos termoplásticos es que éstos tienden a fluir bajo la fuerza de aplicación. Este flujo se conoce como deslizamiento, el cual se considera un factor que puede causar incrementos en la resistencia eléctrica en pruebas de calentamiento cíclico.

b) Termoestables.

Son polímeros entrelazados y poseen generalmente una estructura molecular tridimensional en forma de red. Los sistemas termoestables presentan reacciones químicas y forman enlaces químicos entre las cadenas poliméricas, las cuales resisten la deformación incluso a elevadas temperaturas. Los epóxicos termoestables adicionados con partículas de plata son los más utilizados como adhesivos conductivos isotrópicos utilizados para el ensamble de componentes. Estos se han utilizado por décadas debido a sus propiedades superiores, como buena adhesión y resistencia a la humedad y al ataque químico. Ref (8).

2.10.6 Aditivos conductivos

a) Plata

La plata es el aditivo conductivo mas común en los adhesivos isotrópicos debido a su gran conductividad eléctrica, estabilidad

química, y bajo precio comparado con el oro. A diferencia de otros metales como el cobre, que dejan de conducir después de oxidarse, la plata sigue manteniendo sus propiedades de alta conductividad en condiciones oxidantes (humedad y temperatura). Otra característica importante es que con la plata es fácil controlar una amplia variedad de formas y tamaños. Los aditivos de plata son típicamente fabricados en forma de hojuelas o esferas tratadas con lubricantes orgánicos para asegurar una reología apropiada y varían en porcentaje de peso desde 40 hasta 85%.

b) Níquel

La habilidad para resistir la oxidación permite al níquel ser usado como aditivo conductor. Sin embargo, al no ser maleable, el níquel no se puede moldear en formas apropiadas. Generalmente los aditivos de níquel tienen una mayor resistividad que los de plata, por otra parte el níquel es más utilizado en los adhesivos anisotrópicos donde las partículas esféricas son más utilizadas.

c) Partículas recubiertas con metales

En algunas aplicaciones, partículas recubiertas con metales son utilizadas, especialmente en adhesivos conductivos anisotrópicos. A pesar de que originalmente el uso de partículas recubiertas fue para reducir costos, alguna de estas son especialmente diseñadas para usos concretos. Los metales más utilizados son la plata, el níquel y el oro para recubrir partículas usualmente de vidrio o plástico.

2.10.7 Mecanismo de conducción en ACI

2.10.8 Clasificación de los adhesivos conductivos epóxicos

a) Adhesivo Isotrópico. Este adhesivo conduce en todos los ejes, el adhesivo isotrópico tiene dos métodos de conducción, el primero es una genuina conducción por contacto hojuela con hojuela, el otro método es la conducción de electrones por medio de tunelaje cuántico, la cual consiste en la transmisión de electrones entre partículas que están lo suficientemente cercanas como para romper la constante dieléctrica entre ellas. En la figura 2.19 se puede ver ambos tipos de conducción.

En las primeras etapas de la conducción el tunelaje cuántico es mas común, debido a que la corriente aplicada polariza los aditivos de plata causando que disminuya la resistencia eléctrica entre partículas de plata. Debido a que la corriente sigue siendo aplicada, las partículas de plata ya polarizadas se unen y la conducción por contacto entre partículas se vuelve mas usual.

En los adhesivos isotrópicos la resistencia entre partículas de plata no se decrementa repentinamente, existe un umbral a partir del cual la disminución de la resistividad es significativa, en el momento de manufacturar los adhesivos isotrópicos los fabricantes colocan la cantidad de plata necesaria para romper esa barrera (alrededor del 40% del peso del adhesivo en plata para partículas esféricas).

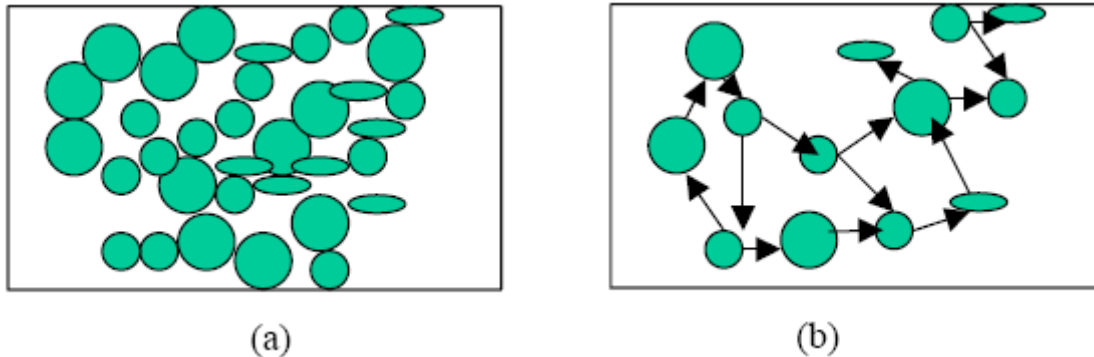


Figura 2.19 a) Conducción por contacto partícula a partícula,
b) Conducción por tunelaje cuántico.

b) Adhesivo Anisotrópico. Este adhesivo conduce sólo en un eje, típicamente en el eje z, en este tipo de conducción las partículas de plata se alinean en columnas para “dirigir” la corriente hacia un sentido, este tipo de adhesivo se usa en aplicaciones muy específicas donde la conducción se requiere solo en ciertos puntos de un cuerpo. Ref (9).

2.10.9 Curado de los adhesivos conductivos

El curado térmico es crítico para determinar el comportamiento mecánico y eléctrico final de los adhesivos conductivos, esto se debe a que el contacto metálico entre las hojuelas de plata es principalmente establecido durante el curado.

La conducción se desarrolla durante el curado debido al desplazamiento y descomposición de los lubricantes orgánicos que cubren a las hojuelas de plata, incrementando el área de contacto entre éstas debido a la tensión térmica.

Dependiendo de la composición de los adhesivos existen condiciones mínimas de curado, las cuales proveerán el nivel de interacción mecánica y eléctrica deseada en el adhesivo. Debajo de estas condiciones críticas de curado, la resistividad eléctrica de las uniones de las conexiones de plata se incrementará significativamente bajo la exposición del medio ambiente.

Si el adhesivo no fue totalmente curado, podría absorber humedad, la cual producirá oxidación. Además el nivel de adherencia de los adhesivos curados por debajo de su nivel crítico es mucho menor, comparado con aquellos que fueron curados en el nivel correcto de temperatura – tiempo. Ref (10).

2.10.10 Efectos de la humedad en los adhesivos

Los adhesivos pueden estar expuestos a diferentes condiciones ambientales durante su vida útil. El comportamiento de dichos adhesivos se puede deteriorar debido a su exposición bajo condiciones extremas durante un determinado periodo de tiempo. La humedad es el factor más comúnmente encontrado en el ambiente, y debe ser considerada un factor crítico en la durabilidad a largo plazo del adhesivo.

La humedad absorbida en el adhesivo es generalmente dividida en humedad libre y humedad adherente. Las moléculas de agua, que viajan relativamente libres a través de micro burbujas y hoyos son consideradas moléculas de humedad libre, mientras que las moléculas que son dispersadas en la matriz del polímero y pegadas en algún punto de esta

matriz, son definidas como moléculas de humedad adherente. La humedad adherente puede dividirse a su vez en suave adherencia y fuerte adherencia, la humedad de adherencia suave puede removerse fácilmente del polímero aplicando calor, la humedad de adherencia fuerte se filtra hasta las regiones de alta interacción intermolecular y resulta más complicado removerla. Esta humedad es absorbida en ambientes fríos.

La humedad absorbida en el polímero puede guiar a una gran variedad de efectos. Algunos de ellos son reversibles y pueden desaparecer con facilidad cuando se remueve la humedad. Otros son irreversibles y resultan en cambios permanentes en el comportamiento del polímero. Ref (11).

Capítulo 3

Desarrollo Experimental

3.1 Desarrollo Experimental

Se evaluarón las condiciones bajo las cuales los adhesivos mejoran su conductividad eléctrica, tomando en consideración todas las etapas por las que atraviesa el adhesivo conductivo. Dichas etapas se pueden ver en la figura 2.9.

En una primera etapa se evaluó el efecto que tiene la exposición del adhesivo sin dado encima, esto es, el tiempo que pasa después de que el adhesivo sale de la jeringa y antes de que el dado es pegado. En este periodo de tiempo el adhesivo esta directamente expuesto al ambiente y se evaluó el efecto de la humedad absorbida por el adhesivo en este lapso, que es típicamente entre 2 y 5 minutos.

El tiempo de exposición del adhesivo sin un dado encima se da debido a las siguientes condiciones: en el proceso de pegado de dados la primera acción es poner el adhesivo sobre un piso de oro, para esto se utiliza un sin fin que empuja el adhesivo hacia la salida de una aguja de cerámica, primero se aplica el adhesivo sobre toda la tira y después se pega el dado, el periodo que transcurre desde la primer aplicación de adhesivo hasta que se coloca el primer dado sobre esta aplicación es el que se considera como exposición sin dado encima, en la figura 3.1 explica esta situación:

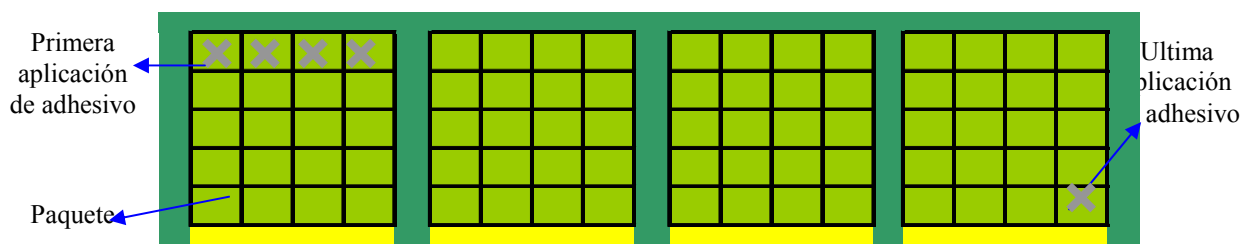


Figura 3.1 Aplicación de adhesivo en una tira de 80 paquetes

La segunda variable es el tiempo de exposición del adhesivo al ambiente con un dado encima, este es el tiempo transcurrido después del pegado del dado y antes del curado del adhesivo en el horno, este lapso es típicamente de 0 a 24 hrs.

El tiempo de exposición del adhesivo con un dado encima, es el transcurrido después de que se coloca el dado y antes de que se introduzca al horno de curado. Durante este periodo el material se almacena en un estante a un lado del horno donde será curado. En la figura 3.2 se observa el horno despatch modelo LCC, que tiene la capacidad de trabajar con N₂, tiene espacio para ocho programas diferentes, en cada programa se puede controlar lo siguiente:

- a) Rampa de subida: Es el tiempo en que la cámara de curado pasa de su temperatura ambiente a la temperatura final de curado, típicamente pasa de 60 a 175 grados centígrados.
- b) Tiempo de curado: Es el tiempo que pasa el material curándose a la temperatura programada. Un ejemplo sería dos horas a 175 °C.
- c) Rampa de bajada: Es el tiempo en que la cámara del horno baja de la temperatura de curado hasta 60 °C, esto para que el operador pueda sacar el material del horno.



Figura 3.2 Horno despatch modelo LCC

La tercer condición que se evaluará es el espesor del adhesivo. Un espesor alto tendrá una mayor población de hojuelas de plata que un espesor bajo; esta variable nos dará resultados acerca del acomodo de las hojuelas a diferentes espesores y por lo tanto su nivel de interconexión.

El espesor del adhesivo se midió de la siguiente manera:

a) Por medio del equipo de medición marca OGP que se muestra en la figura 3.3, se dirige un láser a la superficie del tablero y otro a la superficie del dado como se ilustra en la figura 3.4 para conocer la distancia entre ambos puntos.



Figura 3.3 Equipo de Medición de espesor marca OGP

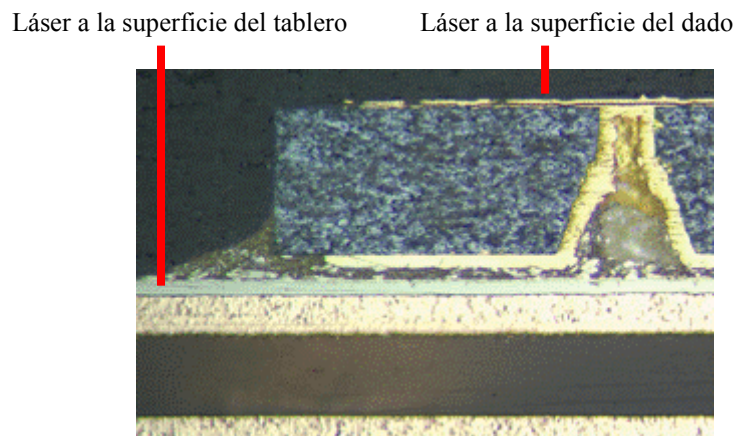


Figura 3.4 Láser a las superficies del dado y del tablero

b) Una vez conocida la distancia entre la superficie del tablero y la superficie del dado, en la figura 3.5 se ilustra la forma en que se obtiene el espesor del adhesivo, en este caso a la distancia “a” se le resta la distancia “b” y se obtiene el espesor que es la distancia “c”.

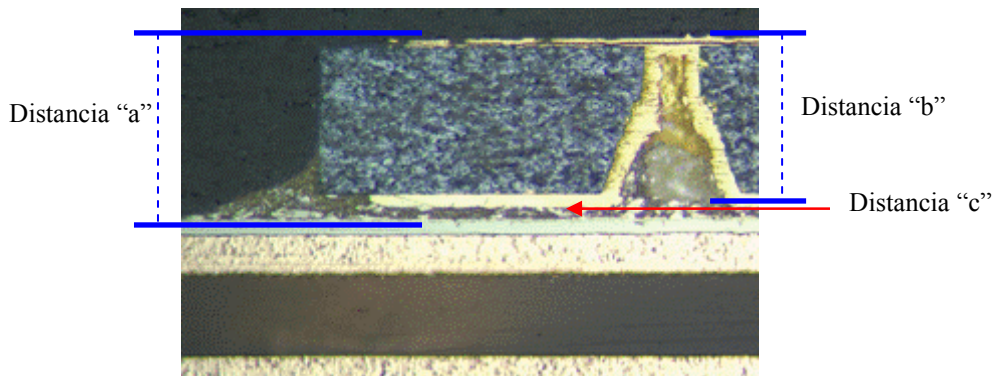


Figura 3.5 Espesor del dado y distancia de la superficie del tablero a la superficie del dado.

Otra variable crítica que se evaluará es el ambiente en la cámara de curado. En este punto se medirá el posible efecto de la corrosión en la conductividad de la plata. Se tendrán dos condiciones: a) curado con oxígeno y b) curado con nitrógeno; el efecto del nitrógeno en la cámara de

curado es el de “desplazar” el oxígeno y de esta forma evitar su efecto a altas temperaturas.

El N₂, será aplicado durante 10 minutos a una presión de 20 SCFH (Standard Cubic Feet per Hour), en la cámara de curado del horno Despatch LCC, con el objeto de desplazar el O₂, la concentración en ppm del O₂ se medirá hasta que se encuentre por debajo de los 10 ppm, esta cantidad de moléculas de agua será medida con la máquina PBI Densensor Modelo Oxi-3 mostrado en la figura 3.6.

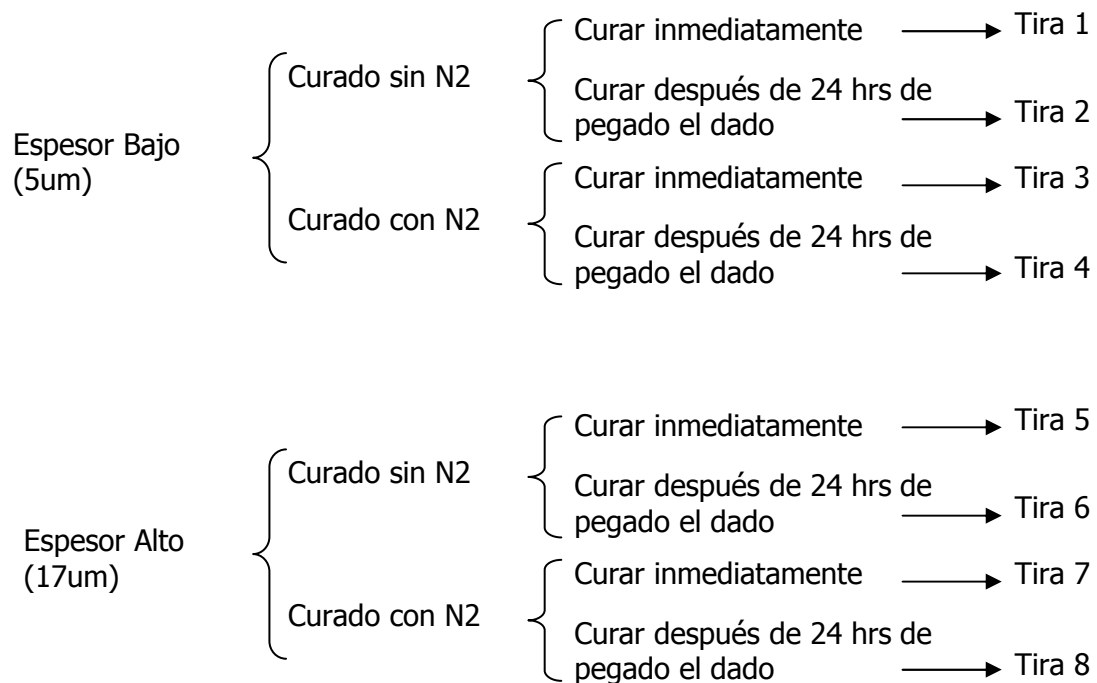


Figura 3.6 Medidor de moléculas de Oxígeno PBI Densensor modelo Oxi-3

La última variable a considerar para mejorar la conductividad del adhesivo son las diferentes temperaturas de curado. Cuando se somete un material a diferentes temperaturas, este se expande, cuando las hojuelas de plata se extienden más debido a la temperatura, hay mayor probabilidad que exista una interconexión entre ellas.

Dos experimentos se llevarón a cabo para comprobar la variación de la resistividad y la amplificación en la salida del circuito. El primero de ellos consiste en evaluar la resistividad del adhesivo variando tres aspectos claves, nitrógeno en el curado, tiempo de curado después de pegar el circuito y el espesor del adhesivo, el desarrollo de la primera evaluación se puede observar en la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Evaluación de adhesivo 1079B.



En este experimento se evaluó el adhesivo 1079B el cual tiene las siguientes características: contenido de plata en peso = 75 %, Impureza iónica: Na = 5, Cl = 20 (cromatografía iónica), resistividad volumétrica = $5 \text{ E-3 } \Omega - \text{cm}$, absorción de humedad % = 0.15 (85 C, 85 % RH).

3.2 Efecto del nitrógeno en la cabina de curado

El Nitrógeno N_2 es un gas inoloro, incoloro e insaboro que constituye el 78.09 % del volumen del aire que respiramos, es tratado como un gas inerte (Debido a la gran estabilidad que le imparte su triple enlace, por ello prácticamente no reacciona) y es comúnmente utilizado para eliminar el efecto del oxígeno (corrosión) en los materiales. El uso común del N_2 en los hornos de curado se debe a que reacciona con el Oxígeno a altas temperaturas, y a que es mas económico que otros elementos inertes como los gases raros.

En este caso se comparan ambas condiciones: el material curado con N_2 y sin N_2 para verificar la diferencia en la resistencia del adhesivo en los dos casos. Para el curado se utilizo un horno Despatch modelo LCC como se aprecia en la figura 3.2. El perfil de curado de este horno se muestra en la figura 3.7:

a> Rampa de subida 30 minutos.

b> Tiempo de curado 120 minutos a 175 C.

c> Rampa de bajada 30 minutos.

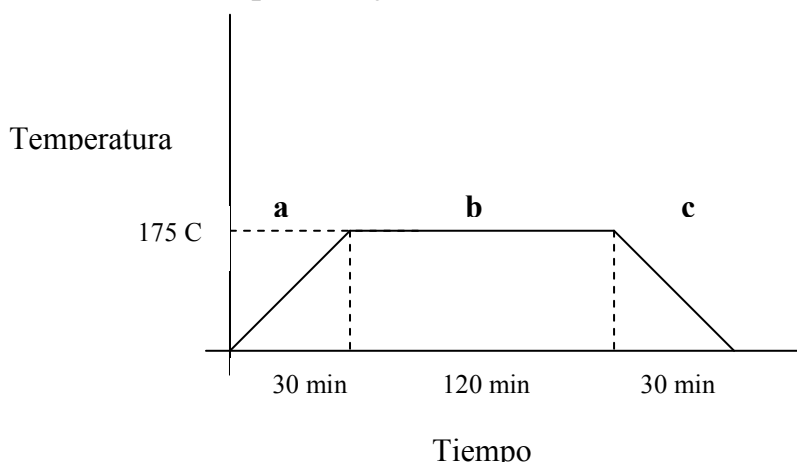


Figura 3.7 Perfil de curado universal (todos los tipos de adhesivos)

El otro factor que se evaluó es el tiempo que transcurrió entre el pegado del dado y el curado del adhesivo, se evaluaron dos condiciones: a) curado inmediatamente después de pegar el dado y, 2) curado después de 24 horas de pegado el dado, esto con el objetivo de medir la diferencia en la resistividad después de 24 horas de ambientación del dado en piso a una humedad relativa promedio del 24 %. El último factor que se evaluó en el experimento es el espesor del adhesivo, se manejan dos espesores, el primero de 5 μm y el segundo de 17 μm .

Primero se aplicó una huella del adhesivo epoxico en forma de cruz (X) de dimensiones: 0.6 x 0.76 mm, alrededor del 80 % del tamaño del dado 63600 (0.83 x 0.95 mm.). Para controlar el espesor del adhesivo se aplicó presión al momento de pegar el dado, para esto se utilizó la herramienta de pegado: LT92000320082, aplicando una fuerza de alrededor de 40 grs. para el espesor de 17 μm , y una fuerza de alrededor de 75 grs. para el espesor de 5 μm , la máquina pegadora de dados que se utilizó es marca Datacon APM 2200.

3.3 Medición de la resistividad

Para medir la resistividad se utilizó el método de los cuatro puntos indicado en la figura 3.8. Este método consiste en aplicar una corriente y medir el voltaje resultante, para obtener de esa manera la resistividad en un área determinada; para ello se necesita una fuente de corriente que en este caso es marca Keithley modelo 2440, y un nanovolmetro Keithley modelo 2182 mostrado en la figura 3.9. En la figura 3.10 se observa una gráfica de

cómo se llevan a cabo las conexiones en el dado 63600, y en la figura 3.11 se tiene una foto de un corte transversal del dado 63600 con los puntos reales a medir.

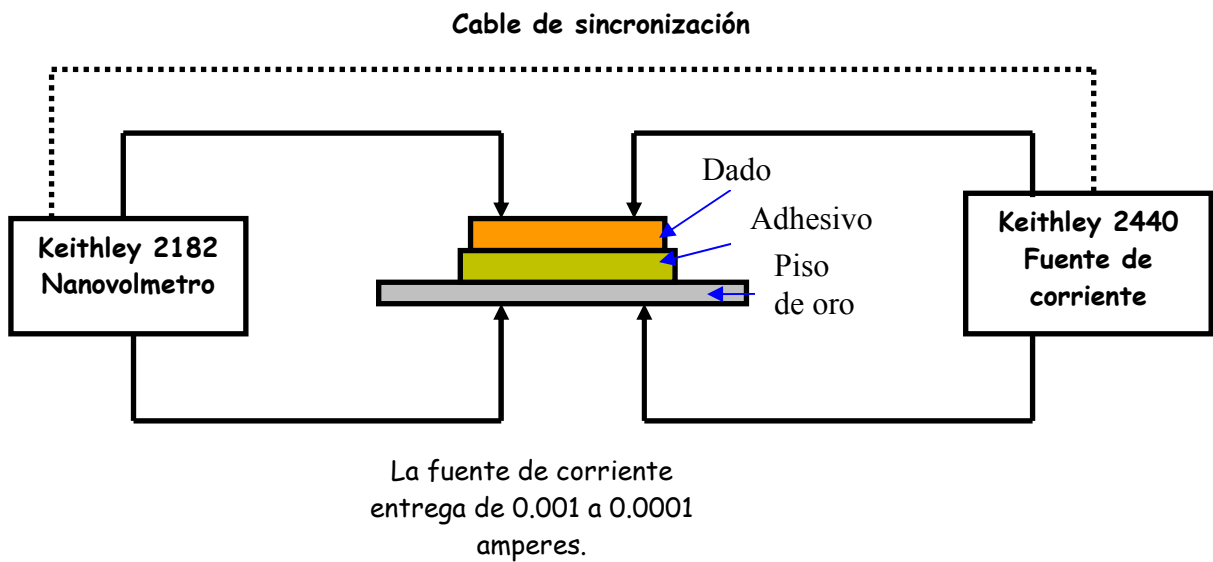


Fig. 3.8 Método de medición de los cuatro puntos

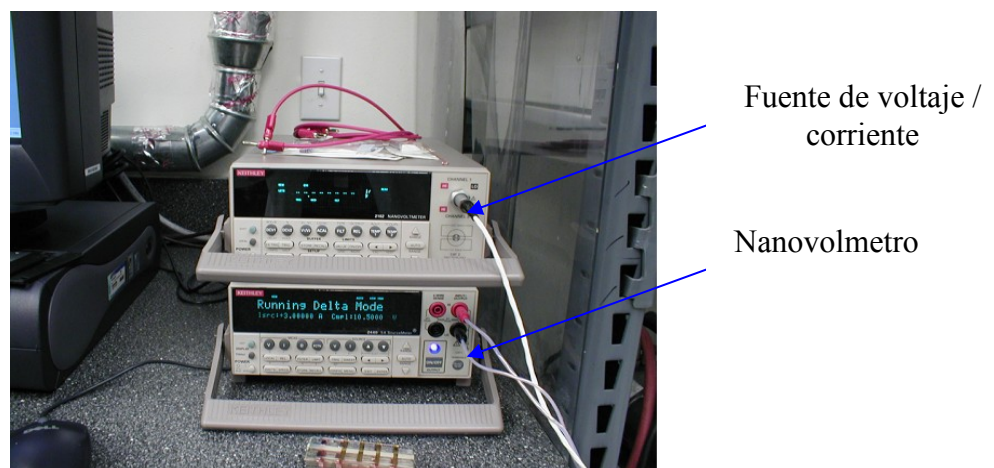


Figura 3.9 Fuente de corriente y nanovolmetro Keithley

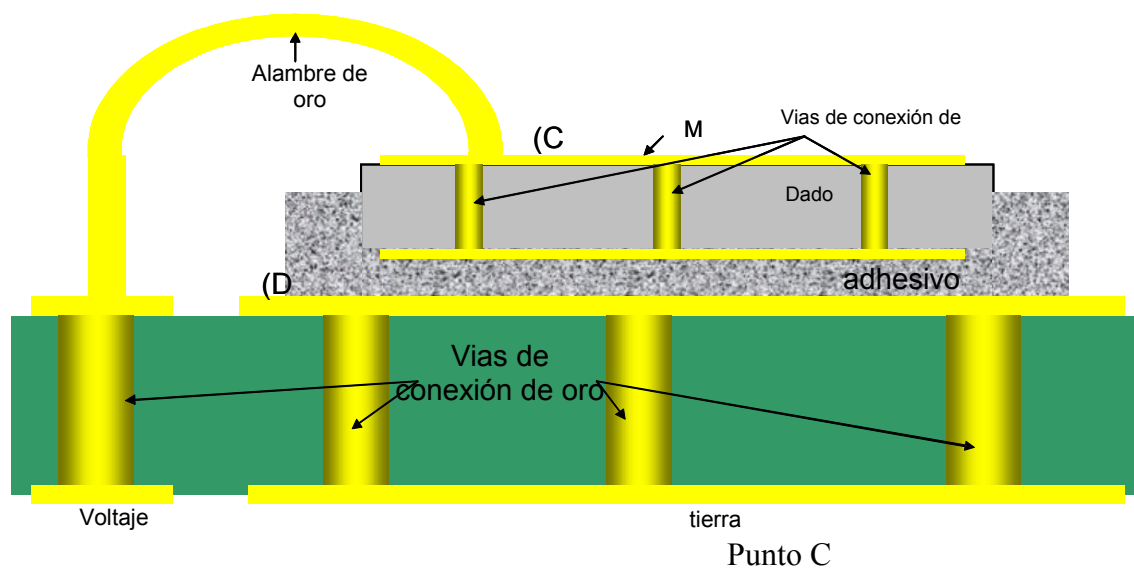


Fig. 3.10 Conexiones del dado 63600

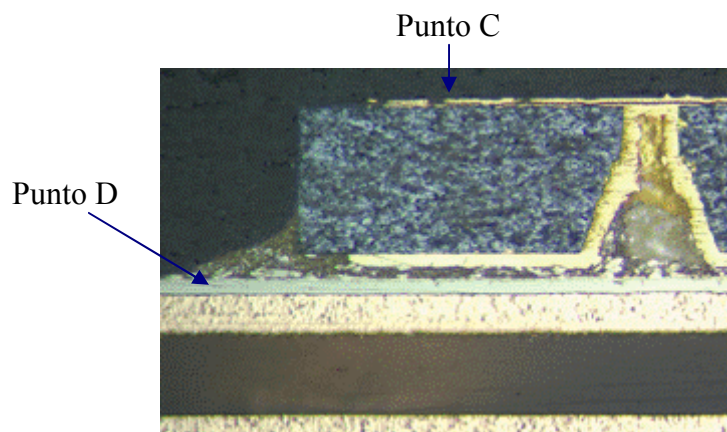


Fig. 3.11 Dado 63600 con corte transversal, puntos de medición de la resistividad

El valor de la resistividad se obtiene bajo una simple relación de la ley de ohm $V=RI$, donde V =Voltaje (V), R = Resistencia (R), I = Corriente (A), conociendo los valores de V y I se puede conocer R con un simple despeje quedando la formula como sigue: $R= V/I$.

Cada corrida consiste en una tira con 80 paquetes aunque a veces las tiras tienen algunos defectos y por lo tanto no tienen 80 paquetes, dicha tira se muestra en la figura 3.12.

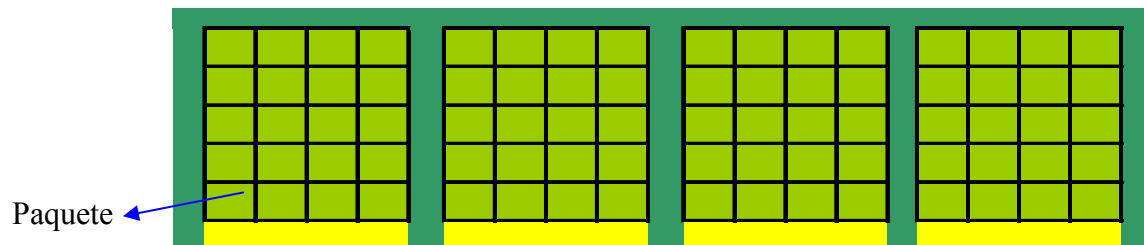


Fig 3.12 Tira con 80 paquetes

La cantidad de paquetes medida por tira quedo como sigue:

Tabla 3.2 Cantidad de paquetes medidos por tira.

Tira #	Espesor de epoxy	Curado con N2	Tiempo transcurrido despues del pegado del dado	Cantidad
1	5 um	No	0 hrs	77
2	5 um	No	24 hrs	78
3	5 um	Si	0 hrs	77
4	5 um	Si	24 hrs	76
5	17 um	No	0 hrs	78
6	17 um	No	24 hrs	77
7	17 um	Si	0 hrs	80
8	17 um	Si	24 hrs	80

En un segundo experimento, se evaluó otro adhesivo con propiedades más conductivas. Las características del nuevo adhesivo (llamado 1290W) son: contenido de plata en peso = 88 %, Impureza iónica: Na = 2, Cl = 10 (cromatografía iónica), resistividad volumétrica = $5 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$, absorción de humedad % = 0.1 (85 C, 85 % HR), aquí se evaluaron 16 condiciones distintas y se consideraron dos variables mas que en el primer experimento. En la tabla 3.3 se puede ver la descripción de este experimento, además en la tabla 3.4 se tiene un comparativo de ambos adhesivos.

Tabla 3.3 Desarrollo del segundo experimento

Tira Número	Espesor	T piso	T adh. Libre	Curado	Atmosfera
1	7	24	0	1	N2
2	7	24	5	1	Aire
3	7	6	0	1	Aire
4	7	24	0	0	Aire
5	7	6	0	0	N2
6	7	6	5	0	Aire
7	7	24	5	0	N2
8	7	6	5	1	N2
9	20	6	0	0	Aire
10	20	24	5	1	N2
11	20	6	5	1	Aire
12	20	6	0	1	N2
13	20	24	5	0	Aire
14	20	24	0	0	N2
15	20	6	5	0	N2
16	20	24	0	1	Aire

Tabla 3.4 Comparativo entre adhesivos

Comparativo entre adhesivos		
Componentes	1079B	1290W
Ag (% peso)	75%	88%
Impureza ionica Na	5	2
Impureza ionica Cl	20	10
Resistividad Vol (?-cm)	5×10^{-3}	5×10^{-5}
Absorcion de humedad (%), 85 C - 85 % HR	0.15%	0.10%

1) Espesor.- Espesor de adhesivo entre el dado y el tablero, teniendo un rango de 5 – 32 μm .

2) Tiempo en piso.- Tiempo transcurrido después de la ambientación entre la aplicación de adhesivo y el curado.

3) Tiempo de adherencia libre.- Tiempo transcurrido entre la aplicación del adhesivo y el pegado del dado, este tienen dos valores 0 y 5 minutos.

4) Condiciones curado (temperatura).- Curado 1) 150 °C durante 60 min., curado 2) 180 °C durante 90 min.

5) Condiciones atmosféricas de curado.- Se probaron dos atmósferas de curado: con aire y con N₂.

La primera de las variables adicionales para este segundo experimento fue el tiempo de exposición libre, que es el tiempo que el adhesivo esta expuesto fuera de la jeringa, ver figura 3.13, bajo esta condición el adhesivo se deja directamente bajo la influencia del ambiente, ver figura 3.14.



Fig. 3.13 Jeringa de adhesivo

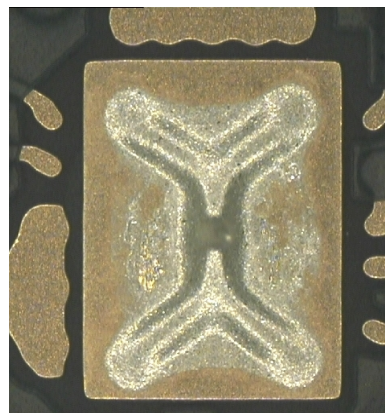


Fig 3.14 Huella aplicada y expuesta al ambiente

Otra variable adicional fueron las condiciones de curado: 1) 150 °C durante 60 min., 2) 180 °C durante 90 min., esto para verificar el efecto de curar la plata a diferentes temperaturas, tomando en consideración el efecto del nivel de expansión para observar la posible mejora en cuanto a interconexiones.

Capítulo 4

Análisis y discusión de resultados

En el primero de los experimentos se evaluó el nivel de conductividad de el adhesivo 1079B el cual contiene 75 % de plata, que es el elemento que lo hace conductor de calor y de electricidad, en este experimento se tienen tres variables las cuales dan ocho posibles combinaciones de condiciones ambientales del adhesivo. La tabla del experimento es la 3.1 expresada en el capítulo anterior, los resultados de este experimento son los mostrados en la tabla 4.1:

Tabla 4.1 Resultados del experimento realizado con el adhesivo 1079B

Tira #	Espesor de epoxy	Curado con N2	Tiempo transcurrido despues del pegado del dado, hrs	Resistividad (ohms)				
				Max	Min	Promedio	Desviación Estandar	Cantidad
1	Bajo	No	0	0.108	0.07	0.083	0.007	77
2	Bajo	No	24	0.12	0.07	0.092	0.008	78
3	Bajo	Si	0	0.118	0.082	0.095	0.007	77
4	Bajo	Si	24	0.101	0.07	0.087	0.005	76
5	Alto	No	0	0.084	0.07	0.075	0.002	78
6	Alto	No	24	0.084	0.07	0.074	0.002	77
7	Alto	Si	0	0.086	0.069	0.076	0.002	80
8	Alto	Si	24	0.082	0.072	0.077	0.0022	80

En la tabla 4.1 se aprecian los resultados del experimento realizado con el adhesivo 1079B, las figuras 4.1 y 4.2 respectivamente nos muestran el promedio de la resistividad y la desviación estándar de la resistividad por tira respectivamente. Como se observa de manera muy clara el promedio de la resistividad disminuye en el momento de utilizar el espesor alto en el adhesivo 1079B.

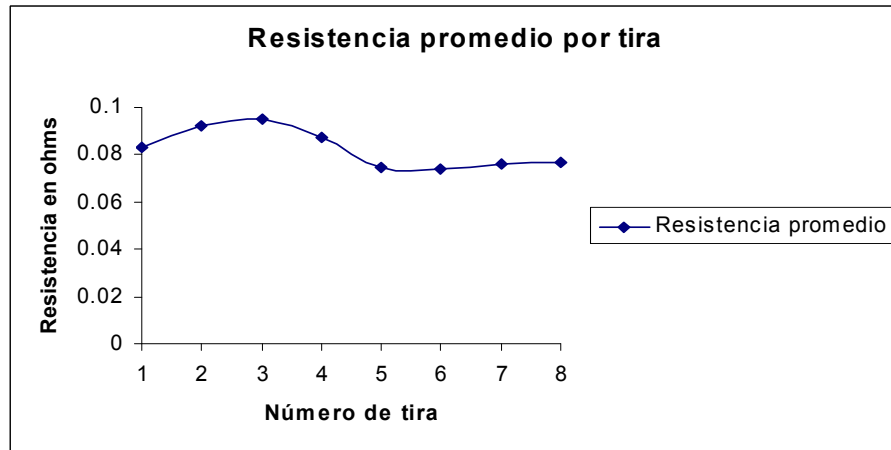


Figura 4.1 Resistividad promedio por tira

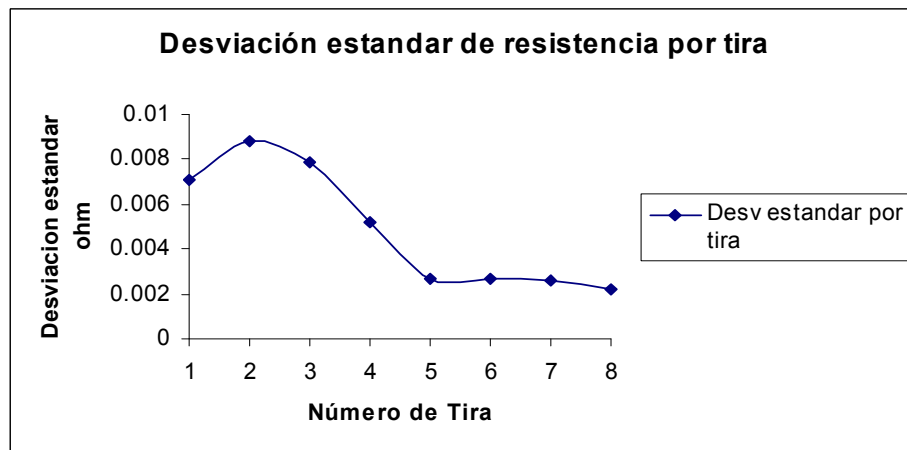


Figura 4.2 Desviación estándar de la Resistividad por tira

Una explicación de porque la resistencia es menor a espesores altos de adhesivos lo podemos ver en la figura 4.3. Esta figura nos muestra como las hojuelas de plata se acomodan de manera vertical debido a la fuerza necesaria para lograr un espesor bajo, de manera contraria en los espesores altos las hojuelas de adhesivo se acomodan de manera horizontal promoviendo el contacto entre ellas mejorando así la conductividad eléctrica.

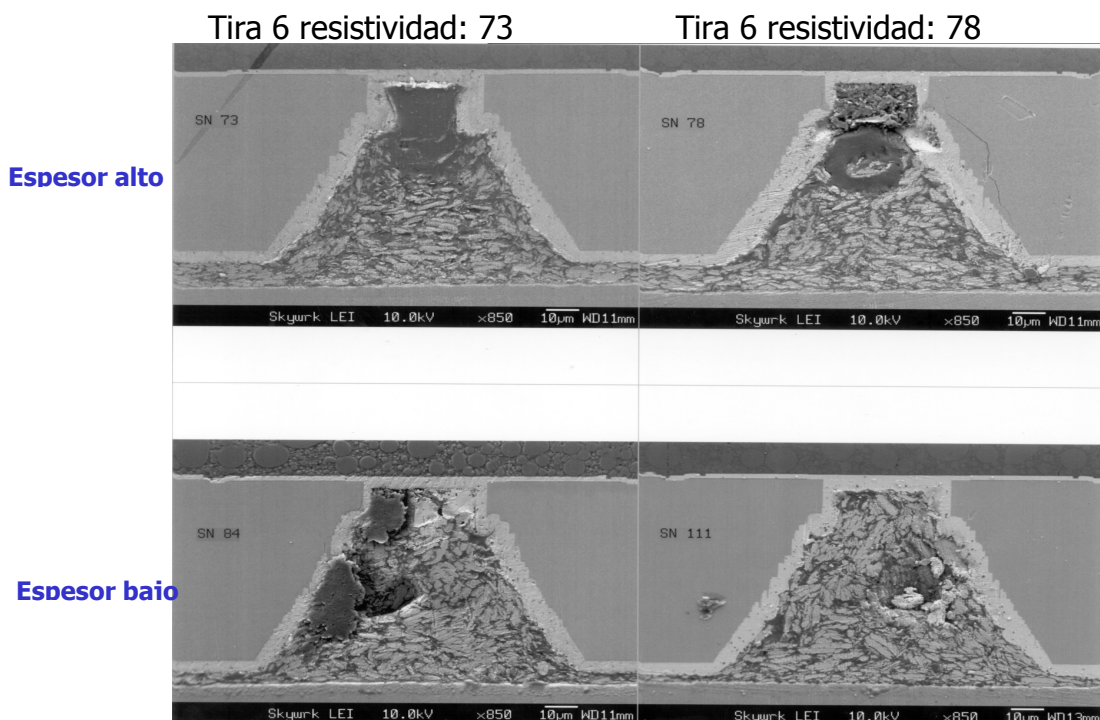


Figura 4.3 Diferentes acomodados entre hojuelas de plata a espesores alto y bajo.

Tira 6 resistividad: 73 ohms

Tira 6 resistividad: 78 ohms

En el segundo de los experimentos se evaluó un adhesivo más conductivo que el 1079B, el 1290W. Este adhesivo contiene 88 % de plata en peso, en este nuevo experimento se le agregaron dos variables mas: el tiempo de exposición del adhesivo al ambiente si un dado encima y dos diferentes tipos de perfiles de curado, la tabla de ese experimento es la 3.3.

En la tabla 4.2 se observan los resultados del segundo experimento con sus 16 diferentes corridas, la explicación de cada variable se da en el capítulo III, aquí no existe una tendencia en el valor de la resistividad dependiente del espesor del adhesivo, caso contrario a lo ocurrido con el adhesivo 1079B.

Tabla 4.2 Desviación estándar de la Resistividad por tira

Tira Número	Espesor	T piso	T adh. Libre	Curado	Atmosfera	Resistividad promedio mOhm	Desv Est. mOhm
1	7	24	0	1	N2	75.49	5.3
2	7	24	5	1	Aire	74.37	2.39
3	7	6	0	1	Aire	83.55	6.46
4	7	24	0	0	Aire	75.55	2.32
5	7	6	0	0	N2	75.16	2.27
6	7	6	5	0	Aire	73.2	1.62
7	7	24	5	0	N2	73.05	1.68
8	7	6	5	1	N2	70.15	2.18
9	20	6	0	0	Aire	76.24	1.68
10	20	24	5	1	N2	75.17	1.5
11	20	6	5	1	Aire	75.9	2.03
12	20	6	0	1	N2	70.52	1.55
13	20	24	5	0	Aire	78.87	2.41
14	20	24	0	0	N2	72.7	3.24
15	20	6	5	0	N2	79.93	2.64
16	20	24	0	1	Aire	73.78	8.68

En la figura 4.4 se observa el comportamiento de la resistividad con cada una de las variables, basado en este experimento las mejores condiciones para lograr una resistividad baja son las siguientes: espesor bajo 5 μm , tiempo de piso 6 horas, tiempo de exposición al ambiente 5 min., 150 $^{\circ}\text{C}$, en atmósfera de nitrógeno.

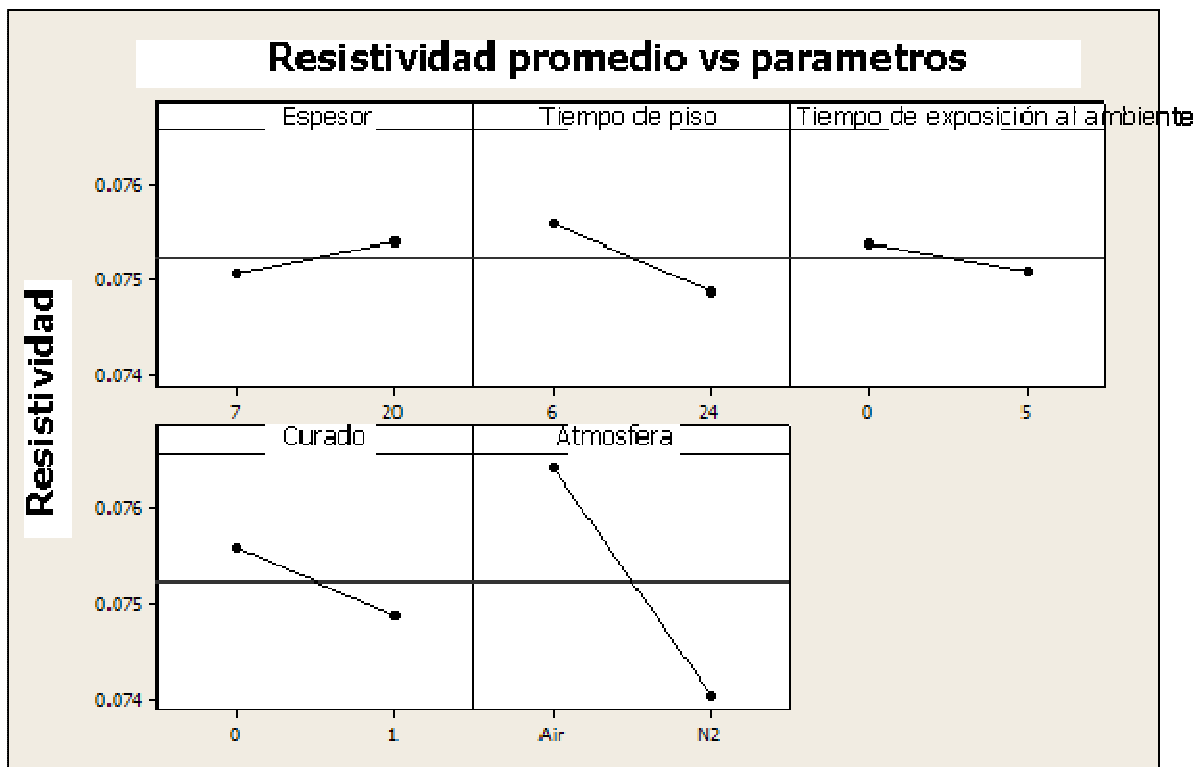


Figura 4.4 Resultados de resistividad vs Parámetros del adhesivo.

Una vez terminados estos experimentos, de manera accidental cayeron unas piezas en un horno de banda (el horno usado para curar el adhesivo es un horno de cabina, ver fig. 3.2), estas piezas ya habían sido probadas y fallaron en su amplificación de salida, pero al momento de reprobarlas pasaron la prueba eléctrica, de tal modo que se sometieron algunos paquetes a un horno de banda, obteniendo los resultados mostrados en la figura 4.5.

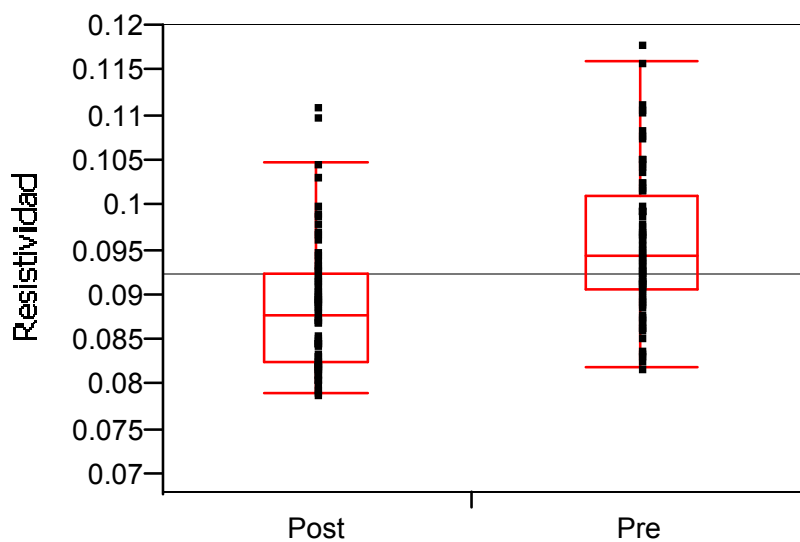


Figura 4.5 Resultados de resistividad antes y después del horno de curado

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones

- a) El porcentaje de mejora de conductividad que se puede lograr con el manejo de los adhesivos en el área de pegado de dados es del 17%.
- b) Las condiciones optimas recomendadas para lograr esta mejora son:
 - Espesor de 5 μm .
 - Tiempo en piso de 6 hrs.
 - Tiempo de exposición al ambiente 5 min.
 - Temperatura de curado 150 °C.
 - Una atmósfera de N_2 en la cámara del horno.
- c) Estos resultados no impactan la amplificación de salida, por lo tanto baja amplificación de salida no esta ligada a las condiciones del adhesivo en el área de pegado de dados.
- d) Con los resultados de la experimentación, se da la pauta para realizar un estudio mas detallado de lo que sucede en el horno de banda, cuando se someten las piezas que fallan eléctricamente a este horno y al reprobarlas se recupera su funcionalidad. De esta manera se pueden conocer mas propiedades que cambian en el circuito para que esto suceda, y llegar a controlar u optimizar el proceso.

Bibliografía

- (1) Guido Tarrach, Jorge Pinochet (2001), Los semiconductores y sus aplicaciones, Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- (2) Carl J. Weisman (2002), The Essential Guide to RF and Wireless (2nd Edition), USA, Prentice Hall.
- (3) Clive Ashmore (2006), Die attach for IC deposition, USA, Circuits Assembly.
- (4) Digital Engineering Library (2004), www.digitalengineeringlibrary.com
- (5) George S Brada (2004), Materials handbook; an encyclopedia for managers, Technical professionals, purchasing and production managers, Technicians, and supervisors, 15th. Ed, USA, McGraw-Hill.
- (6) K. Gilleo, Assembly with Conductive Adhesives, *Soldering and Surface Mount Technology*, No. 19, 12-17, 1995.
- (7) James Huheey, Ellen Keiter, Química Inorgánica, principios de estructura y reactividad, Inglaterra, Oxford University Press.
- (8) Institute of Physics Publishing, High-temperature polymers for Advanced microelectronics, www.iop.org (November 2000).
- (9) International Journal of adhesion & adhesives (2005), Effects of coupling agents on the properties of epoxy – based electrically conductive adhesives, www.elsevier.com (June 2005).
- (10) R.D.Adams (2006), Structural Adhesive Joints in Engineering, USA, Chapman & Hall.
- (11) A.V. Pocius (2002), Adhesion and Adhesives Technology, USA, Hanser.
- (12) Performance comparisons for electrically conductive epoxies in Wireless applications www.ieee.org (June 2006).

- (13) High thermal conductive epoxy resins with controlled high-order Structure (electrical insulation applications). www.ieee.org (Oct 2004).
- (14) Advanced micro-dispensing system for conductive adhesives www.ieee.org (Oct 2001).