

# Fiabilidad de las tecnologías de ensamblado electrónico sin plomo

Ramiro Álvarez Santos

*Reliability of Lead-Free Technology for Electronic Assembly*

## RESUMEN

En la fase de soldadura de los procesos de ensamblado electrónico, montaje y soldadura, la normativa RoHS (Restriction of Hazardous Substances in electrical and electronic equipment) no permite emplear aleaciones con plomo. Las soluciones alternativas al ensamblado sin plomo extraídas de nuestra línea de investigación incluyen: utilización de nuevos materiales (aleaciones sin plomo y polímeros conductores) y tecnologías de procesamiento adaptadas. Estos materiales y tecnologías emergentes presentan ciertas ventajas, pero también algunos inconvenientes como los efectos de electromigración que dan lugar a los mecanismos de fallo por cortocircuito (cc) y circuito abierto (ca) de las interconexiones. Una de las prestaciones que hay que tener en cuenta es la funcionalidad del producto durante un tiempo del ciclo de vida, es decir, la fiabilidad. El objeto de este trabajo es dar a conocer los resultados extraídos de los ensayos realizados con varias aleaciones sin plomo para que esta información pueda contribuir a su mejor conocimiento y aplicación por parte de los usuarios del sector.

Recibido: 31 de marzo de 2011  
Aceptado: 16 de mayo de 2012

## Palabras clave

Aleaciones, electromigración, soldadura, fiabilidad, soldadura sin plomo

## ABSTRACT

*In phase soldering electronic assembly processes the RoHS (Restriction of Hazardous Substances in electrical and electronic equipment) cannot use leaded alloys.*

*Other alternatives to lead-free assembly drawn from our research include: use of new materials (lead-free alloys and conductive polymers) and processing technologies adapted. These materials and emerging technologies have certain advantages but also some disadvantages as, for example, electromigration effects that lead to short-circuit failure mechanisms (cc) and open circuit (ca) interconnections. One of the benefits to consider is the functionality of the product for a longer life cycle, defined by its reliability. The purpose of this paper is to present the results of tests taken with several lead-free alloys for this information can contribute to better understanding and implementation by business users.*

Received: March 31, 2011  
Accepted: May 16, 2012

## Keywords

*Alloys, electromigration, reliability, solder, lead-free solder*

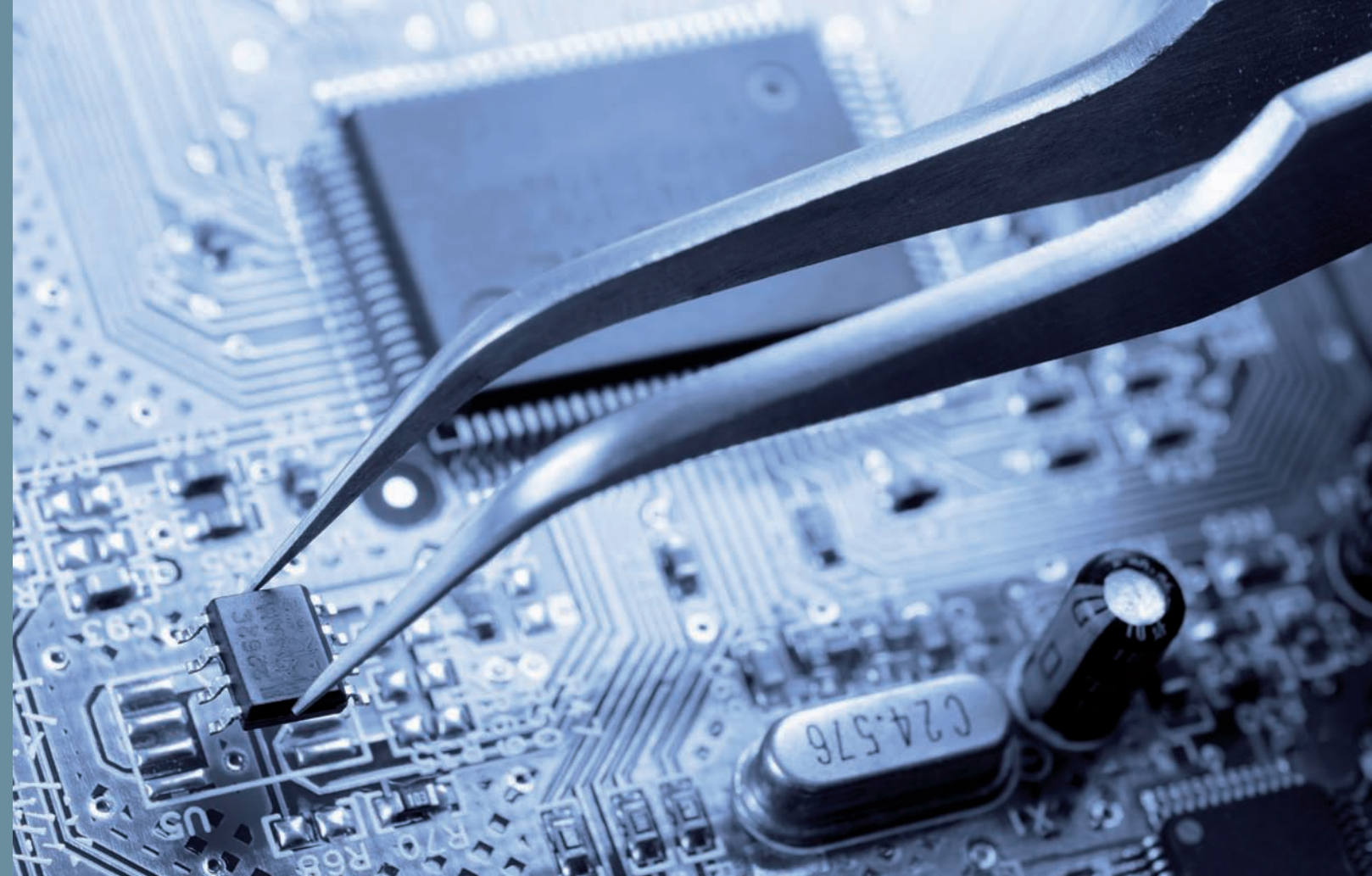


Foto: Shutterstock

En los últimos años, el plomo (Pb), un metal pesado, dañino para el cuerpo humano, ha sido utilizado masivamente en la industria. En el año 1990 ya se hizo un primer intento para la introducción de un anteproyecto de ley reguladora del plomo, con la oposición de la industria, debido, básicamente, a la inexistencia de un material alternativo. Como resultado, el proyecto de ley fue rechazado. El uso del Pb tiene un periodo de vida corto. Hasta ahora era uno de los componentes de las aleaciones binarias utilizadas en diversos sectores de la industria, entre ellos la industria electrónica, en el que se ha venido aplicando en el ensamblado electrónico (montaje + soldadura) con ciertas limitaciones determinadas por sus ventajas e inconvenientes. Entre las primeras se pueden citar: técnica clásica, bien conocida y contrastada, precio estable (488 \$/T) y línea de ensamblado normalizada. Entre los inconvenientes destacan los ecológicos y ambientales: es un metal pesado, peligroso para la salud (saturnismo). El saturnismo es un término derivado de la antigua denominación griega del Pb (Saturno) que origina una enfermedad profesional provocada por la intoxicación del Pb y sus sales. El Pb se transmite rápidamente al medio ambiente formando  $\text{CO}_2\text{Pb}$  soluble en

líquidos con  $\text{pH} < 7$  (ácidos), como son el agua de lluvia y los terrenos ácidos. Los síntomas de envenenamiento agudo dependen del tiempo y la cantidad de exposición pasando por las siguientes fases: sed intensa, cólicos, sudor frío, parálisis periférica y convulsiones. El envenenamiento crónico cursa según la siguiente secuencia de fases: anemia intensa, pulso débil, deformaciones articulares, accidentes nerviosos, convulsiones, delirios y final fatal después de una larga agonía. Todo esto hace necesaria su prohibición. Actualmente, la UE se está esforzando en regular el uso del plomo, bajo prohibición, debido a la conservación medioambiental y la promoción de reciclado. La directiva de la UE WEEE (10-05-2000) prohíbe la soldadura con Pb a partir del 1 de enero de 2007. Según la Directiva 1999/1UE, antes del 31 de octubre de 2005, todas las líneas de ensamblado deben estar adaptadas para reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOC). Las legislaciones al respecto en lugares como Japón, Europa y EE UU etc., recogen la normativa con las limitaciones y fechas de caducidad para el empleo del Pb. En Japón, según decreto de reciclaje en el empleo nacional de material eléctrico, el estaño y el plomo han de reci-

clarse. El uso particularmente del plomo está controlado severamente por la ley de disposición de desechos y limpieza pública y otras regulaciones similares.

Con frecuencia, aparecen en los medios de difusión pública y en los especializados noticias informativas en los que se recoge la inquietud sobre este tema:

“El plomo, un veneno para el desarrollo mental”. La OMS advierte de que 120 millones de personas están expuestas a la intoxicación por este metal (*El País*, 27 de abril de 2004).

“El plomo afecta al desarrollo cerebral de los niños de Europa, dice la OMS” (*Abc*, 27 de marzo de 2004).

En el proceso de ensamblado la soldadura sin Pb, para resolver el impacto medioambiental negativo del mismo, plantea incertidumbre y genera algunos problemas y cuestiones relativas a los materiales y procesos que utilizar, respecto a los convencionales con Pb:

¿Qué materiales alternativos hay que emplear?

¿Qué disponibilidad y precios tienen los nuevos materiales?

¿Se necesitará que el personal haga reingeniería y/o formación continua?

¿Hay que hacer cambios en los ciclos térmicos y serigrafía de las líneas de ensamblado actuales?

¿Las temperaturas de refusión (*reflow*) de las aleaciones sin Pb son compatibles con los componentes semiconductores?

¿Los ensamblados presentarán las mismas prestaciones en los distintos ambientes de funcionamiento?

¿Qué mecanismos de fallos se pueden generar?

¿Cuál es la fiabilidad de los ensamblados sin Pb?

Las respuestas a algunas cuestiones se pueden ver en los siguientes apartados.

### Aleaciones y tecnologías alternativas

Los diagramas de estado pueden simularse con herramientas SW, como SW MTDATA, TERMO-CALC y otros, objeto de otro artículo.

Del diagrama binario Sn63/Pb37 se puede deducir, para el punto eutéctico

(del griego εμπεχλια (que funde bien, es decir, la temperatura más baja de solidificación o de fusión), una temperatura de fusión de 183 °C que, comparada con las de las aleaciones sombreadas de la tabla 1, determinan temperaturas de refusión (*reflow*) de +50 °C respecto a las aleaciones con Pb. Esta diferencia puede afectar a los componentes semiconductores que ensamblar.

### Ensayos acelerados

Este trabajo es el resultado de varios años de investigación durante los cuales se han buscado materiales y tecnologías alternativas al ensamblado sin Pb. Primero en un laboratorio virtual simulando mediante *software* cómo los paquetes de SW MTDATA, TERMO-CALC y otros, las aleaciones alternativas binarias y de más de dos componentes para luego mediante un análisis riguroso ver la inci-

dencia y, en su caso, las modificaciones que introducir en las líneas de ensamblado convencionales.

En una segunda fase la investigación se llevó a cabo en un laboratorio real. En él se han caracterizado diversas aleaciones metálicas y materiales conductores de base polímera con carga metálica (plastrónicos) alternativos al Pb.

Se elige la técnica de ensayos escalonados (*step-stress*) acelerados por tensión  $V = 10$  a  $15$  VDC y humedad relativa elevada (98%) para obtener resultados significativos en cortos plazos de tiempo. Como probeta de ensayo se utiliza una PCB de alúmina de  $50,8 \times 50,8$  mm (figura 1), talla muestral de 10 unidades, con una estructura interdigitada cuyos dedos conductores de Cu tienen un ancho de 2 mm y longitud de 30 mm con una separación (*gap*) de 0,4 y 0,6 mm, respectivamente.

Tabla 1. Aleaciones para soldaduras sin Pb. (\*) Términos para designar las temperaturas de cambios de estado S-L. (\*\*) Temperatura de soldadura de refusión (*reflow*).

Aleaciones	Temperaturas de fusión (°C)			Formas disponibles		
	Solidus (*)	Liquidus (*)	Pico (**)	Barra	Hilo	Pasta serigrafiable
Sn-5.0Sb	240	243	+40	X	X	
Sn-0.7Cu-0.3Sb	227	229	+40	X	X	
Sn-0.75Cu	227	227	+40	X	X	X
Sn-3.5Ag	221	221	+40	X	X	X
Sn-3.5Ag-0.75Cu	217	219	+40	X	X	X
Sn-1.0Ag-0.5Cu	217	227	+40	X		X
Sn-2.0Ag-0.5Cu-2.0Bi	211	221	+40	X		
Sn-2.0Ag-0.75Cu-3.0Bi	207	218	+40	X		
Sn-3.0Ag-0.7Cu-1.0In	214	217	+40	X	X	X
Sn-3.0Ag-0.7Cu	217	219	+40	X	X	X
Sn-3.35Ag-0.7Cu-0.3Sb	218	220	+40		X	X
Sn-3.0Ag-0.5Cu	217	220	+40	X	X	X
Sn-7.5Zn-3.0Bi	190	197	+40	X		X
Sn-58Bi	139	139	+40	X		X
Sn-2.0Ag-0.5Cu-7.5Bi	189	213	+40	X		X
Sn-57Bi-1.0Ag	138	204	+40	X		X

Tabla 2. Tecnologías alternativas de soldadura sin Pb. (\*) Adaptando los fluidos para la fase vapor y los reglajes de las otras a +50 °C, respecto a las soldaduras con plomo.

Técnicas	Productos	Aleaciones	Comentarios
Ola (simple, doble, hueca)	TV, lavadoras, aspiradoras, CD-R, automóvil, TV	Sn-Ag-Cu Sn-Cu	Sólo inserción Temp. pico Pb/Sn +50 °C
Refusión (VPR, cinta, IR + convección)	Teléfonos móviles, HDD, PC, buscapersonas, sensores, videocámaras, componentes de automóvil	Sn-Ag-Cu Sn-Ag-Cu-Bi Sn-Ag-Cu-In	SMT, FPT, UFPT Temp. pico Pb/Sn +50 °C
Fase vapor (VPR)	Todos los SMT	Todas	SMT Fluidos adaptados a +5 °C Temp. pico Pb/Sn +50 °C

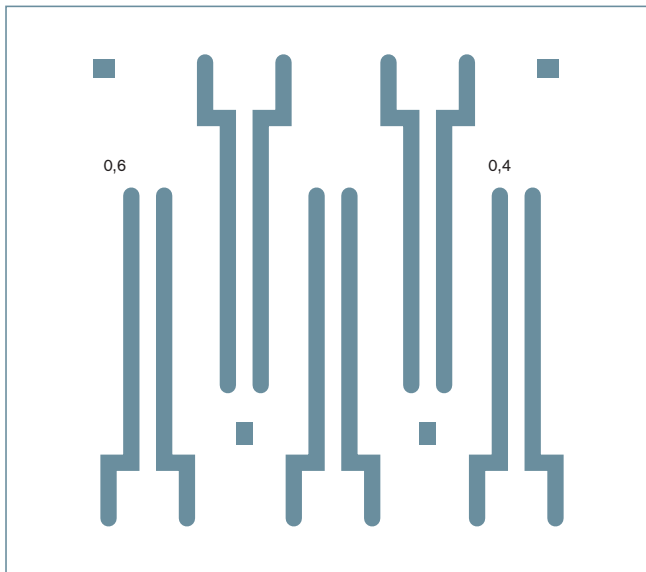


Figura 1. Probeta PCB 50,8 x 50,8 mm.

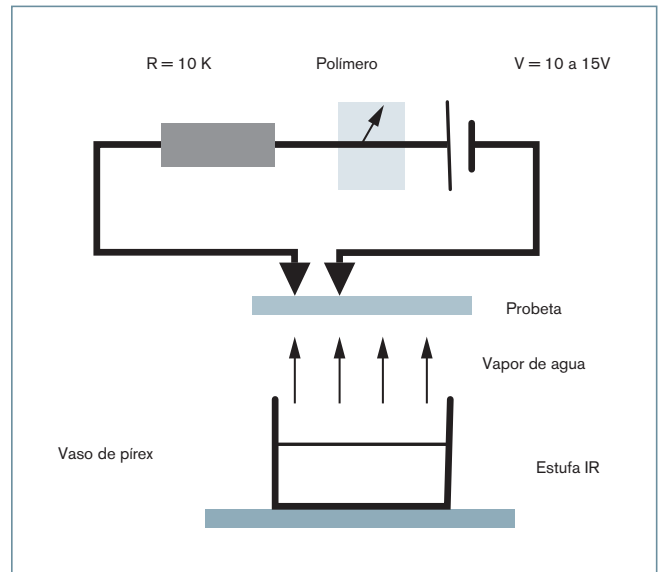


Figura 2. Maqueta de pruebas con probeta PCB.

Sobre ellos se serigrafían capas de 50 micras de espesor de las pastas de la tabla 1 sombreadas, es decir, para Sn<sub>3,5</sub>Ag y Sn<sub>3</sub>Ag<sub>0,7</sub>Cu. Una vez refundidas (*reflow*) son sometidas al ensayo.

Además de los mencionados se emplean los siguientes materiales y equipos: una fuente AC/DC, un resistor pirólitico de 10 KΩ, 1 W, T = 10%, un hornillo IR, 1 vaso tipo Pirex®, cables de conexión, un polímetro digital, agua destilada, una lupa binocular Nikon 20X, una microcámara CCD MICO, SW Motic Images Plus. Algunos de los elementos citados se disponen como se indica en la figura 4.

El ensayo acelerado de electromigración incluye los siguientes pasos:

1) Se calienta un vaso tipo Pirex® con agua hasta que esta evapore.

2) Se coloca el circuito boca abajo en la boca de la vasija con el objetivo de recibir la mayor cantidad de vapor.

3) Se hace circular corriente entre dos dedos conductores consecutivos. Para ello se coloca en serie con uno de los terminales una resistencia de 10 KΩ de 1W y una fuente de alimentación. Si se utiliza una tensión de alimentación de 20 VDC la electromigración se produce de forma instantánea. Si se realiza a únicamente a 10 y 15 V el ensayo dura en torno a media hora. Es conveniente poner un multímetro para ver como varía la corriente.

### Mecanismos de fallo

Mediante un análisis de fallos destructivo o Physical Destructive Analysis (PDA) se determinan los modos, causas y mecanismos de fallo con ayuda visual

de la lupa Nikon 20 X y mediante la captura de imágenes con la cámara MICO se observa la formación de dendritas (estructuras arborescentes) de Ag entre los conductores como consecuencia de la electromigración por efecto de campo eléctrico y en ambiente de HR elevada. Como modos de fallo se pueden señalar cortocircuitos (cc) y circuitos abiertos (ca) tal como se puede apreciar en la figura 3.

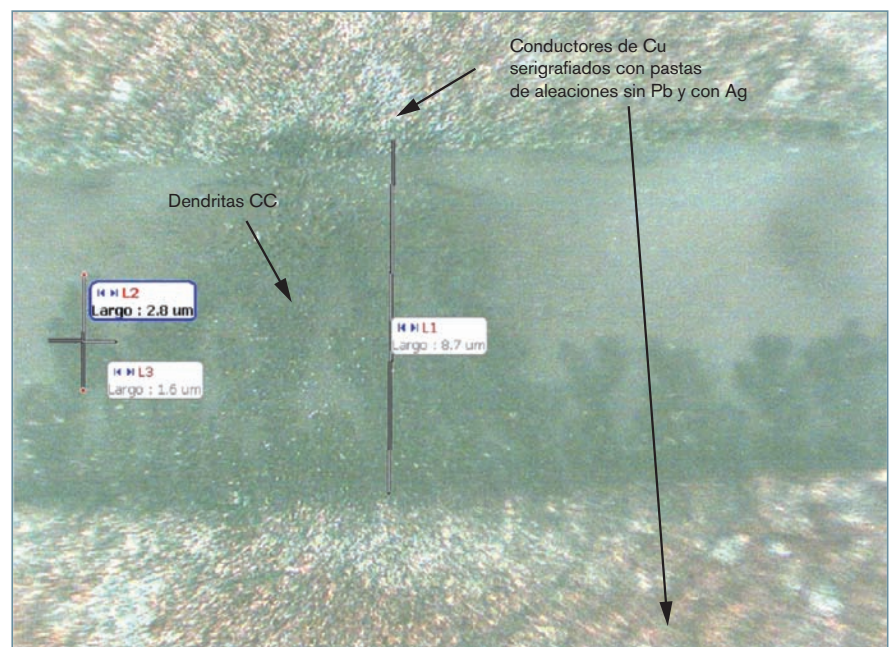
### Adquisición y explotación de datos por Weibull

La explotación de los datos de las tablas 3 y 4 permite obtener las gráficas res-

pectivas de la deficiencia (probabilidad de fallo)  $F(t)$  y, por tanto, las de la fiabilidad (probabilidad de no fallo)  $R(t) = 1 - F(t)$ , así como los valores de los parámetros que caracterizan la función de Weibull, es decir, los de origen ( $\gamma$ ), forma ( $\beta$ ), escala ( $\eta$ ) y media de tiempos MTTF ( $\Theta$ ).

En la figura 4 se representa la gráfica  $F(t) = Q(t) = f(t)$  para la aleación sin Pb Sn<sub>3</sub>Ag<sub>0,7</sub>Cu, gap 0,4 mm y  $V = 10$  VDC. En la figura 5 se representa la gráfica de Weibull para la aleación Sn<sub>3,5</sub>Ag, gap 0,6 mm,  $V = 15$  VDC con método de estimación de rangos medianos y ajuste por mínimos cuadrados (msm).

Figura 3. Formación de dendritas y fallos por cc y ca.



	Estrés: 10 VCD Gap: 0,4 mm		Estrés: 10 VCD Gap: 0,6 mm	
	Fallos	Tiempos (s) (xE+3)	Fallos	Tiempos (s) (xE+3)
Sn3Ag0,7Cu	1	1,361	1	1,443
	1	1,429	1	2,104
	1	1,884	1	2,936
	1	2,580	1	5,721
	1	3,153	1	6,460
	1	5,210	1	6,988
	1	5,407	1	7,107
	<b>7</b>	<b>21,024</b>	<b>7</b>	<b>32,759</b>
	Sn3,5Ag	1	0,905	1
1		,431	1	1,246
1		1807	1	2,158
1		1,970	1	2,725
1		2,048	1	2,986
1		2,406	1	3,168
1		2,197	1	3,775
1		2,557	1	5,036
-		-	1	5,818
<b>8</b>		<b>15,321</b>	<b>9</b>	<b>28,623</b>

Tabla 3. Datos de fallos para las aleaciones Sn3Ag0,7Cu y Sn3,5Ag, 10V.

	Estrés: 15 VCD Gap: 0.4 mm		Estrés: 15 VCD Gap: 0.6 mm	
	Fallos	Tiempos (s) (xE+3)	Fallos	Tiempos (s) (xE+3)
Sn3Ag0,7Cu	1	0,152	1	0,430
	1	0,341	1	0,790
	1	0,352	1	1,145
	1	0,780	1	1,492
	1	0,871	1	2,304
	1	0,874	1	2,415
	1	1,639	1	2,622
	1	1,957	1	3,853
	1	2,083	1	3,889
	-	-	1	6,991
<b>9</b>	<b>9,049</b>	<b>10</b>	<b>25,931</b>	
Sn3,5Ag	1	0,156	1	0,678
	1	0,258	1	0,888
	1	0,285	1	1,046
	1	0,415	1	1,446
	1	0,561	1	2,373
	1	0,944	1	2,584
	1	1,718	1	2,643
	1	2,251	1	6,182
	1	2,456	-	-
	1	3,404	-	-
<b>10</b>	<b>12,448</b>	<b>8</b>	<b>17,840</b>	

Tabla 4. Datos de fallos para las aleaciones Sn3Ag0,7Cu y Sn3,5Ag, 15V.

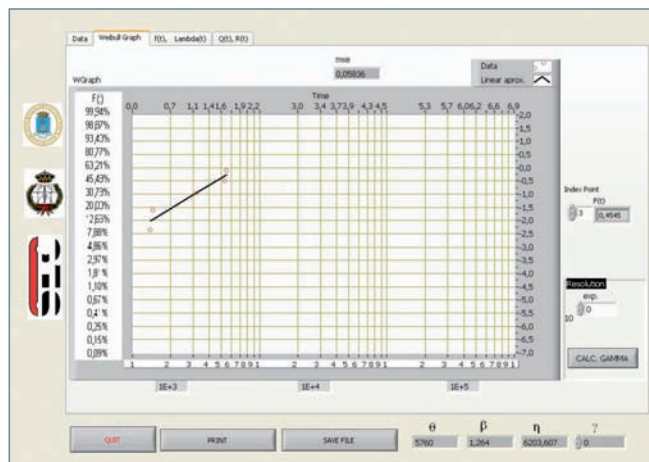


Figura 4. Weibull para Sn3Ag0,7Cu-0,4 mm,-10 VDC.

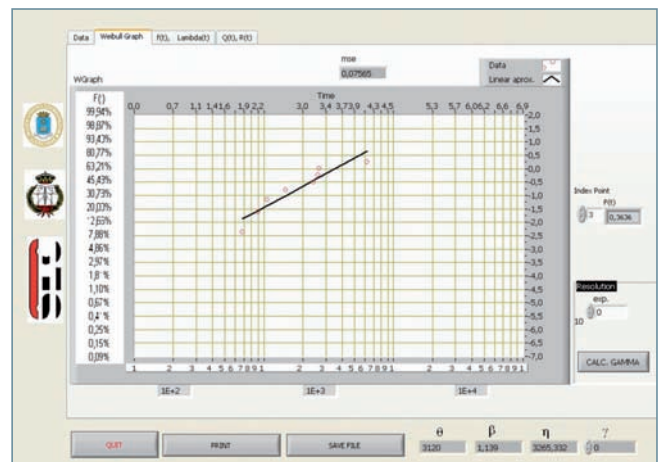


Figura 5. Weibull para Sn3,5Ag-0,6 mm-15 VDC.

Todos los valores obtenidos mediante la explotación de datos se incluyen en el apartado de *Resultados*.

La linealidad de las figuras 4 y 5 demuestra que se trata de funciones estadísticas de densidad y distribución de Weibull.

**Resultados**

Una vez determinados los parámetros de Weibull se puede particularizar las funciones densidad de fallos f(t), tasa de fallos λ(t) y fiabilidad R(t) para las aleaciones ensayadas.

Así, para la aleación Sn3Ag0,7Cu-10 V-0,4 mm: Función densidad de fallos f(t):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = \frac{1,366}{4.826,997} \left( \frac{t}{4.826,997} \right)^{1,366-1} \times e^{-\left(\frac{t}{4.826,997}\right)^{1,366}}$$

Tasa de fallos λ(t):

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1,366}{4.826,997} \left( \frac{t}{4.826,997} \right)^{1,366-1}$$

Aleación seleccionada: Sn3Ag0,7Cu									
Tensión V (volt)	Estrés			Origen (γ)	Forma (β)*	Parámetros Weibull		Ac(****)	(msm)***
	HR (%)	Nº de fallos (Nf)	Gap (mm)			Escala (η)** (seg) (xE+3)	MTTF (θ) (seg) (E+3)		
10	98	7	0,4	0	1,366	4,82699	4,420	1	0,06757
10	98	7	0,6	0	1,229	8,253172	7,20	1,74	0,03427
15	98	9	0,4	0	1,025	1,373417	1,350	3,27	0,02747
15	98	10	0,6	0	1,198	2,961983	2,790	1,58	0,01366
Aleación seleccionada: Sn3,5Ag. Talla muestral n = 10/estrés									
10	98	8	0,4	0	2,527	2,468958	2,90	2,00	0,03601
10	98	9	0,6	0	1,856	4,02817	3,580	1,23	0,01573
15	98	10	0,4	0	0,897	2,105233	1,311872	3,36	0,03601
15	98	8	0,6	0	1,077	3,261337	3,170	1,39	0,08049

Tabla 5. Resultados de los ensayos. Talla muestral n = 10/estrés. (\*) periodo infantil (β < 1); periodo de vida útil (β = 1); periodo de envejecimiento y desgaste (β > 3). (\*\*) 63% de fallos para t = η. (\*\*\*) ajuste por el método de mínimos cuadrados (msm). (\*\*\*\*) Ac = FAHR x FAV = factor de aceleración entre el primer escalón (Ac = 1) y los otros escalones por la acción combinada de HR +V. Se define como Ac = 1 el factor de aceleración resultante de la relación  $MTTF_{normal}/MTTF_{estrés}$ .

Fiabilidad R(t):

$$R(t) = 1 - \left[ 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \right] = e^{-\left(\frac{t}{4,826,997}\right)^{1,366}}$$

De manera análoga se pueden particularizar dichas funciones para cualquier aleación ensayada de la tabla 1.

En la tabla 6 se indican los valores

de la fiabilidad R(t), deficiencia Q(t) y tasas de fallo λ(t) de algunas aleaciones ensayadas para diversos tiempos deducidos de las figuras 4 y 5 o aplicando las expresiones anteriores.

De la explotación de datos por estrés escalonado (step-stress) se pueden obtener desde las tablas 3 y 4 los valores de la tabla 6 para las aleaciones ensayadas por

el estimador de la tasa de fallos, con un hazard rate λi), dado por la expresión:

$$\lambda_i = \frac{n_{fi}}{T_i} \quad \text{Ti = tiempo total hasta el fallo acumulado del escalón i}$$

### Conclusiones

De los ensayos realizados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1) La mayoría de las aleaciones sin Pb tienen una temperatura de refusión (reflow) +50 °C por encima de las binarias PbSn (189 °C + 20 °C de pico de refusión). En las que lo tienen inferior, como Sn58Bi (139 °C + 20 °C de pico), las uniones resultan frágiles por presentar compuestos intermetálicos en sus fases.

2) Las temperaturas citadas pueden ser causa de fallo por fatiga térmica de los dispositivos activos (semiconductores).

3) En ambientes con HR elevada más campo eléctrico E la acción combinada da

Aleación	t (seg) (xE+3)	R(t) (%)	Q(t) (%)	λ(t) (xE-4) (f/s)
Sn3.0Ag-0.7Cu	2,86	11,948	88,052	7,60
0,4, 15 V, 98% HR	1,77	27,253	72,747	7,51
Sn3.0Ag-0.7Cu	5,95	9,997	90,023	4,64
0,6, 15 V, 98% HR	3,51	29,380	70,620	4,19
Sn3,5Ag 0,6, 15 V, 98% HR	5,53	17,129	82,871	3,43

Tabla 6. Valores de R(t), Q(t) y λ(t).

Tabla 7. Resultados de la tasas de fallos frente a escalones (step-stress).

Aleación: Sn3Ag0,7Cu						
Escalón	Estrés	Talla muestral n0	ni	Ti (xE+3) (s)	λi (xE-4) (f/s)	
1	10 V, 98 % HR, 0,4 mm	10	7	21,024	3,32	
2	10 V, 98 % HR, 0,6 mm	10	7	32,759	2,13	
3	15 V, 98 % HR, 0,4 mm	10	9	9,049	9,94	
4	15 V, 98 % HR, 0,6 mm	10	10	25,931	3,85	
Aleación: Sn3,5Ag						
1	10 V, 98 % HR, 0,4 mm	10	8	15,321	5,22	
2	10 V, 98 % HR, 0,6 mm	10	9	28,623	3,14	
3	15 V, 98 % HR, 0,4 mm	10	10	12,448	8,03	
4	15 V, 98 % HR, 0,6 mm	10	8	17,840	4,48	

lugar a la electromigración de iones de Ag. Lo que genera estructuras dendríticas entre los conductores que determinan los modos de fallo por cortocircuito (cc) y/o circuito abierto (ca). Véase la figura 3.

4) La fiabilidad y las tasas de fallos resultantes, en las condiciones de ensayo, no son admisibles en funcionamiento normal (tabla 6).

5) Extrapolando, mediante modelos de aceleración, como el de Arrhenius y otros, a condiciones estándar de funcionamiento, y adaptando el diseño de implantación (*layout*), la separación (*gap*) entre conductores funcionando en ambientes con HR y campos E normales, se pueden estimar tasas de fallo del orden de  $\approx E^{-4}$  a  $\approx E^{-7}$  f/h., mucho mejores que las obtenidas en los ensayos acelerados, solo con el objeto de demostrar los modos de fallo potenciales de los ensamblados sin plomo en poco tiempo.

6) De la tabla 7 se deduce que las menores tasas de fallo corresponden a la aleación ternaria Sn3Ag0,7Cu.

7) Las técnicas de soldadura de la tabla 2 pueden aplicarse a la soldadura sin Pb, pero una vez adaptados los fluidos primarios y secundarios para la

de fase vapor y mediante los reglajes necesarios de las máquinas para las otras, siempre que los admitan.

8) Las aleaciones alternativas a la soldadura sin plomo deben cumplir con la normativa RoHS (Restricción of Hazardous Substances in electrical and electronic equipment) y son una alternativa aún mejorable a la soldadura con Pb, ahora prohibida.

9) Los diagramas de estado pueden simularse mediante herramientas SW, por ejemplo, MTDATA, TERMO-CALC, etc. o bien obtenidos por vía experimental a partir de las curvas de enfriamiento.

**Bibliografía**

Bo-In N, Seung-Boo J (2008). Behaviour of electrochemical migration with solder alloys on printed circuit boards (PCBs). Circuit World, Vol. 34 Iss: 4, p.8-13.

Yua DQ, Jillek W, Schmitt E (2005). Electrochemical migration of Sn-Pb and lead free solder alloys under distilled water. Springer Science+Business Media.

Harsanyi, G. (1995). IEEE Trans Comp., Packag., Manufact. Technol. A, 18, 602.

Maguib Hussein M, MacLaurin Blair K (1979). Silver Migration and the reliability of Pd/Ag Conductors in Thick-Film Dielectric Crossovers Structures. IEEE Trans. On Comp., Hybrids, and Manufacturing Technology, vol. CHMT-2, n.º 2, p. 197-207.

JESD63, Standard Method for Calculating the Electromigration Model Parameters for Current Density and Temperature.

Donovan J, Loll V, Punch J (2003). Graphical Analysis and Guidelines for Step-Stress Testing. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium.

Xia Y H, Jillek W, Schmitt E (2008). In-situ Observation on Electrochemical Migration of Lead-free Solder Joints under Water Drop Test. International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging.

**Ramiro Álvarez Santos**

ralvarez@euiitt.upm.es  
Perito industrial eléctrico por la Escuela de Gijón de la Universidad de Oviedo, doctor por la Universidad de Burdeos I, catedrático de Tecnología Electrónica de la EUIITT de la UPM, catedrático de Tecnología y Ciencia de los Materiales de EUIIT, profesor titular numerario de Escuelas de FPI, profesor de Escala Docente A de Universidades Laborales y consultor en ingeniería RAMS.

PREPARACIÓN A DISTANCIA Y PRESENCIAL

CATEDRÁTICOS Y PROFESORES DE ENSEÑANZA SECUNDARIA

~ FILOSOFÍA ~ LATIN Y CULTURA CLÁSICA ~ GRIEGO Y CULTURA CLÁSICA ~ LENGUA CASTELLANA Y LITERATURA ~ GEOGRAFÍA E HISTORIA ~ MATEMÁTICAS ~ FÍSICA Y QUÍMICA ~ BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA ~ DIBUJO ~ INGLÉS ~ FRANCÉS ~ ALEMÁN	~ MÚSICA ~ EDUCACIÓN FÍSICA ~ PSICOLOGÍA Y PEDAGOGÍA ~ TECNOLOGÍA ~ ECONOMÍA ~ FORMACIÓN Y ORIENTACIÓN LABORAL ~ ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS ~ ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN COMERCIAL ~ INFORMÁTICA ~ ORGANIZAC. Y PROYECTOS	DE FABRICACIÓN MECÁNICA ~ ORGANIZAC. Y PROCESOS DE VEHÍCULOS ~ ORGANIZAC. Y PROYECTOS DE SISTEMAS ENERGÉTICOS ~ SISTEMAS ELECTROTÉCNICOS Y AUTOMÁTICOS ~ SISTEMAS ELECTRÓNICOS ~ CONSTRUCCIONES CIVILES Y EDIFICACIÓN ~ PROCESOS DIAGNÓSTICOS CLÍNICOS Y ORTOPROTÉSICOS ~ PROCESOS SANITARIOS	~ PROCESOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA ~ INTERVENCIÓN SOCIOCOMUNITARIA ~ HOSTELERIA Y TURISMO ~ PROCESOS Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN ~ ASESORIA Y PROCESOS DE IMAGEN PERSONAL ~ ANALISIS Y QUÍMICA INDUSTRIAL ~ PROCESOS DE PRODUCCIÓN AGRARIA
---	--	--	---

PROFESORES TÉCNICOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL

~ PROCESOS DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA ~ PROCESOS COMERCIALES ~ SISTEMAS Y APLICACIONES INFORMÁTICAS ~ MECANIZADO Y MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS ~ SOLDADURA ~ INSTALAC. Y MANTENIM. DE EQUIPOS TÉRMICOS Y DE FLUIDOS ~ MANTENIMIENTO DE VEHÍCULOS ~ INSTALACIONES ELECTROTÉCNICAS ~ EQUIPOS ELECTRÓNICOS	~ OFICINA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN ~ PROCEDIMIENTOS SANITARIOS Y ASISTENCIALES ~ PROCEDIMIENTOS DIAGNÓSTICO CLÍNICO Y ORTOPROTÉSICO ~ OPERACIONES Y EQUIPOS DE PRODUCTOS ALIMENTARIOS ~ SERVICIOS A LA COMUNIDAD ~ COCINA Y PASTERIA ~ SERVICIOS DE RESTAURACIÓN ~ TÉCNICAS Y PROCEDIMEINTOS DE IMAGEN Y SONIDO ~ OPERACIONES DE PRODUCCIÓN AGRARIA
--	---

CATEDRÁTICOS Y PROFESORES DE ESCUELA OFICIAL DE IDIOMAS

~ INGLÉS	~ ESPAÑOL	~ FRANCÉS	~ ALEMÁN
----------	-----------	-----------	----------

MAESTROS DE ENSEÑANZA PRIMARIA

~ EDUCACIÓN PRIMARIA ~ EDUCACIÓN INFANTIL	~ INGLÉS ~ FRANCÉS	~ EDUCACIÓN FÍSICA ~ AUDICIÓN Y LENGUAJE	~ EDUCACIÓN MUSICAL ~ PEDAGOGÍA TERAPEUTICA
--	-----------------------	---	--

C/ CARTAGENA, 129 - 28002 MADRID  
TELS.: 91 564 42 94 - FAX: 91 563 60 54  
www.cede.es - E-mail: oposiciones@cede.es