

## EFFECTOS DEL PORCENTAJE DE COBRE DENTRO DEL PROCESO DE SOLDADURA PARA COMPONENTES DE MONTAJE SUPERFICIAL EN PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESOS CON HORNO DE CONVECCIÓN FORZADA

Cervantes Peinado Elisa, Torres Ochoa Nahui Olin, Miranda Pascual María Elena, García Ríos Cesar  
Universidad Autónoma de Baja California  
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería  
Calzada Universidad 14418 Parque Industrial Internacional Tijuana, Tijuana B.C. 22390  
+52 (664) 979-75-00 Fax 1752028  
[elisa.cervantespe@gmail.com](mailto:elisa.cervantespe@gmail.com), [nahui\\_torres@hotmail.com](mailto:nahui_torres@hotmail.com), [memiranda@uabc.edu.mx](mailto:memiranda@uabc.edu.mx),  
[cesar.garcia.rios@uabc.edu.mx](mailto:cesar.garcia.rios@uabc.edu.mx)

### RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos al estudiar las Placas de Circuitos Impresos (PCI) con un proceso de soldadura por convección forzada. Los parámetros estudiados son: tiempo y temperatura máxima alcanzada en el ciclo de soldado, porcentaje de cobre sobre la superficie y la presencia de máscara para soldar. El propósito es determinar las condiciones que optimicen la calidad y el acabado de la soldadura. Se encontró que el porcentaje de cobre y la máscara para soldar sí afectan de manera considerable la temperatura requerida para el proceso y el intervalo de temperatura que más favorece al proceso es de 230° – 250° C.

**Palabras Clave:** Horno de reflujo, horno de convección forzada, PCI

### ABSTRACT

Presenting the results obtained by studying Printed Circuit Boards (PCB) in a welding process with a reflow oven. The studied parameters are: time, the highest temperature reached in the welding cycle, copper percentage on the surface with and without the presence of solder mask. The main purpose is to determine the conditions that optimize welding and solder visual features. It was found that copper percentage and solder mask itself significantly affect the temperature required for the process and the temperature range that is most favorable to the process is between 230° - 250° C.

**Key words:** Reflow Oven, PCB, Solder Mask,

### 1. INTRODUCCIÓN

Debido al incremento en la demanda de productos electrónicos en los últimos 40 años, surge la necesidad de innovar en la fabricación de éstos con el fin de aumentar la eficiencia, el volumen de producción así como reducir los tiempos de manufactura y los espacios de almacenamiento.

Análogo a la Ley de Moore<sup>[1]</sup>, en la circuitería se tiene una tendencia que nos lleva a la disminución de dimensiones y, por otra parte, al aumento en la dificultad para crear las PCI. A inicios de los 80's se empieza a implementar por parte de compañías estadounidenses la tecnología de montaje superficial, que demanda el uso de la soldadura en pasta, la cual

se vale de los hornos de reflujo para fijar los componentes en la placa.

Existen tres tipos de transferencia de calor: por conducción, radiación y convección. La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas como resultado de interacciones entre esas partículas; la radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas; en la convección, un fluido intercambia calor con un medio de menor temperatura hacia un cuerpo rígido, pudiendo ser de forma natural o forzada<sup>[2]</sup>.

El fenómeno de transferencia de calor que tiene lugar en hornos de reflujo es el de la convección, de ahí que también se les llame hornos de convección forzada. El fluido que transporta el calor a las placas de circuitos impresos es el aire impulsado por ventiladores<sup>[3]</sup>.

A nivel industrial, los hornos de reflujo son de grandes dimensiones y están sistematizados de manera que permiten una producción continua e ininterrumpida de productos terminados. A nivel laboratorio ya sea con fines meramente académicos o de investigación, se simula la acción de estos equipos a pequeña escala donde la producción es estrictamente en lotes<sup>[4]</sup>.

Actualmente, los equipos disponibles son pocos y de origen extranjero, difíciles de adquirir para muchas escuelas y compañías. Además, de tenerlos, no suelen ser explotados en forma debida por las mismas razones, es por ello importante ahondar más en el análisis sobre el uso y funcionabilidad de estos hornos en centros de investigación y universidades ya que permitirían una actualización tecnológica para los alumnos y docentes quienes representan el futuro de la industria<sup>[5] [6]</sup>.

### 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La elaboración de PCI se puede realizar por medios químicos (donde solo se deja el circuito necesario), bien por medios mecánicos (donde se puede dejar el circuito únicamente

delineado o bien solo separar las pistas y contar con la capa de cobre de la placa), es por ello que fue necesario hacer la evaluación de la cantidad de cobre con respecto a la temperatura.

Para ello se estableció que de acuerdo a la ley de calentamiento de Newton el sistema respondería a una curva logarítmica de temperatura esta es la razón por la que para cada perfil de temperatura evaluado, por caso de variación, se realizaron 3 experimentos para corroborar la veracidad de los resultados. En otras palabras, cada curva en los figuras está construida en base a 3 repeticiones.

## 2.1. Variación de temperatura en PCI en Relación al Porcentaje de Recubrimiento de Cobre.

Los experimentos se llevaron a cabo en un horno "Bench Top High Precision Automatic Reflow Oven" marca "Torch", modelo T200C+, el cual tiene la capacidad de calentar hasta 450° C leídos por su termostato interno. El calentamiento dentro del sistema se logra a través del movimiento del aire calentado por resistencias eléctricas que es impulsado por medio de ventiladores.

Para determinar si el porcentaje de recubrimiento de cobre tiene efecto o no sobre la temperatura que se alcanza en la placa cuando es sometida a un proceso de soldado en el horno de convección forzada se realizaron múltiples corridas en éste equipo.

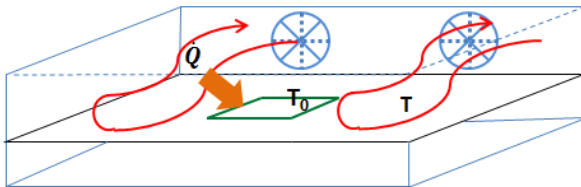


Figura 1. Horno de convección forzada. El aire caliente fluye a la PCI por medio de dos ventiladores<sup>[2]</sup>.

Este horno se vale de una herramienta computacional, "Reflow Soldering Control System", que es facilitada por el proveedor, para poder programar las temperaturas que se pretenden desarrollar en el ciclo.

La soldadura por su constitución requiere de 3 etapas, la etapa de precalentamiento donde se requiere volatilizar los solventes, un área de reflujo donde se alcanza la temperatura del punto de fusión y la etapa de enfriamiento donde se permite el fraguado de la soldadura, todo esto es considerado como un ciclo.

Para programar un ciclo, se debe alimentar al sistema un esquema de cuarenta segmentos de temperatura, donde se especifica un valor de la temperatura en grados Centígrados a ser alcanzada por el horno y un tiempo en segundos que determina el lapso que se mantendrá la temperatura correspondiente. La lectura del termostato se visualiza en una pantalla externa junto con la temperatura que le fue programada y el número correspondiente al segmento de temperatura.

No hay una regla de cómo deben ser alimentados los segmentos de temperatura al sistema. Sin embargo, el manual de usuario y las hojas de especificaciones para la soldadura que se utiliza en estos procesos presentan un esquema recomendado, destacando las partes más importantes que son el precalentamiento y un "área de reflujo", donde la soldadura alcanza su punto de fusión. En la figura 2 se muestran las partes del proceso:

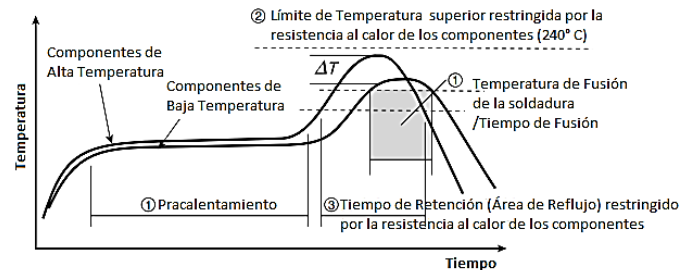


Figura 2. Perfil de temperaturas típicas para soldadura libre de plomo<sup>[7]</sup>.

Es entonces necesario programar los segmentos de temperatura de forma tal que sigan el comportamiento de la curva recomendada. Para las corridas realizadas, se modelaron las siguientes ecuaciones logarítmicas en función del tiempo:

$$f(t)_{160} = \text{Log}_{1.0261} t + 1.674 \quad (1)$$

$$f(t)_{180} = \text{Log}_{1.0231} t + 1.58 \quad (2)$$

$$f(t)_{200} = \text{Log}_{1.0208} t + 1.50 \quad (3)$$

Dichas funciones se establecieron para analizar el comportamiento de la placa frente a una temperatura exponencial predeterminada.

Una vez calculadas se hicieron las modificaciones en las bases logarítmicas con el fin de llevar la temperatura hasta un punto deseado y mantenerla ahí por un tiempo determinado. Logrando con ello ver el comportamiento de la placa, esto permitió la uniformidad en las pruebas y que todas las placas experimentaran las mismas condiciones y las comparaciones posteriores sean válidas. Cabe mencionar, que se evitó llegar al "área de reflujo" debido a que en estas primeras pruebas las PCI no se ingresaban con soldadura.

En esta parte se esperaba que la temperatura en las placas con mayor porcentaje de recubrimiento de cobre sea superior al resto, dado que el material predominante en cada caso será el que en forma significativa, determine la resistencia total al flujo de calor que presente la placa.

Las placas que fueron sometidas a las pruebas son placas de fibra de vidrio FR4 de 3 cm x 3 cm con un espesor total de 1.57 mm, con recubrimiento de cobre, correspondiendo 34 µm al sustrato. Todas fueron manufacturadas con una fresadora CNC lo cual nos permitió variar la cantidad de cobre dentro de la placa.

Para poder evaluar la variación de temperatura sobre placa a diferentes porcentajes de recubrimiento de cobre, se utilizó un multímetro con termopar sujetado directamente a la placa que tomaba lectura de la temperatura sobre la misma. La precisión del termopar fue corroborada con un fusiónómetro. Posteriormente se analizaron los datos generados en los experimentos para poder determinar si el porcentaje de cobre sobre la placa era un factor importante en el proceso de soldado.

## 2.2. Efectos sobre la temperatura en PCI con Máscara para Soldar (Solder Mask).

Al recubrimiento de polímero usado sobre las PCI es conocido como máscara de soldadura o máscara para soldar, éste es utilizado para proteger a la placa de la oxidación y a la vez evita que exista soldadura en puntos no deseados.

Para estas pruebas, tres placas fueron sometidas a un enmascarado polimérico. Las pruebas se hicieron con placas de diferentes porcentajes de recubrimiento de cobre: 25%, 50% y 75%. Se midió la temperatura de cada placa por cada segmento en un determinado tiempo, esto se hizo con un multímetro al igual que las pruebas anteriormente descritas, sujetando un termopar a cada placa. Las curvas alimentadas al horno para la ejecución de las pruebas fueron exactamente las mismas que se usaron en el primer experimento. En la siguiente sección serán presentado , los datos s por medio de curvas para su análisis

## 2.3. Ensayos con Soldadura.

La soldadura utilizada es en pasta y puede ser de una aleación de estaño plomo o bien estaño-plomo plata esta ultima fue la utilizada, es importante remarcar que en la actualidad la mayoría de las PCI deben de contar con esta soldadura, ya que el plomo, a pesar de brindar excelentes propiedades al proceso y acabado de soldadura, se encuentra regulado por RoHS debido a su toxicidad.

Las placas desarrolladas son para componentes de montaje superficial es decir de muy bajas dimensiones y fue por ello necesario que los puntos de pasta fueran colocados sobre las diferentes PCI manejadas con la ayuda del sistema “pick and place”, ProtoPlace S.

Para estos ensayos, se parte de las curvas recomendadas anteriormente mencionadas. Las temperaturas alcanzadas por el horno en zona de reflujo fluctuaron de 200° C a 250° C.

La calidad de una soldadura se determinar por su acabado el cual fue analizado fue analizado con un microscopio, “Portable USB 2.0 20X-800X 2MP Digital Microscope 8-LED Illumination” que amplifica la imagen de 20 hasta 800 veces.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Variación de temperatura en PCI en Relación al Porcentaje de Recubrimiento de Cobre.

Los resultados se concentran en las siguientes curvas:

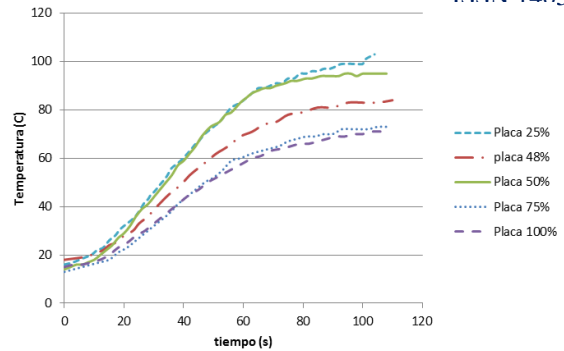
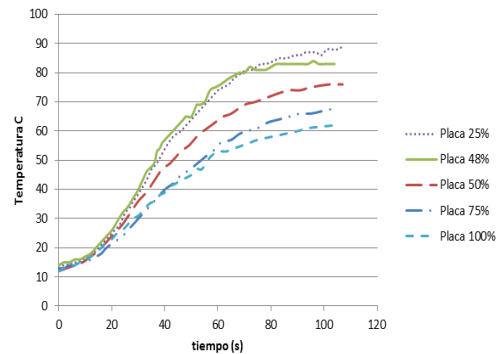


Figura 3. Comportamiento de Temperatura contra tiempo para los diferentes porcentajes de cobre superficial a 160°C, ec. 1.

Como se observa en la Figura 3, la placa que llega a tener una mayor temperatura es la que cuenta con un porcentaje del 25% de cobre. La temperatura máxima que alcanzó en el tiempo dado fue de 88°C. Mientras que una PCB con 100% de recubrimiento superficial de cobre alcanza una temperatura



máxima de 62°C.

Figura 4. Comportamiento de Temperatura contra tiempo para los diferentes porcentajes de cobre superficial a 180°C de ec. 2.

En la figura 4 se aprecia que la temperatura máxima alcanzada por una PBC con menor resistencia al calor (PBC de 25%) es de 102°C. Con una PCB con porcentaje superficial de 100% la temperatura máxima alcanzada es de 68°C.

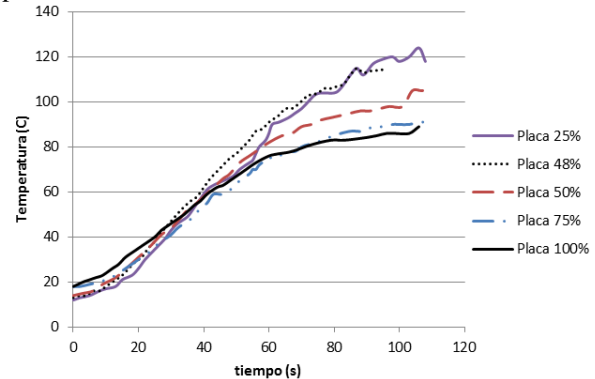


Figura 5. Comportamiento de Temperatura contra tiempo para los diferentes porcentajes de cobre superficial a 200°C ec 3.

Se aprecia en la Figura 5, la temperatura se dispara en varias ocasiones y alcanza una mayor temperatura en la PCI con un 25% de cobre superficial. Esta alcanza una temperatura de 124°C y conforme aumenta la concentración de cobre disminuye la temperatura de la PCB. La PCB con 100% de recubrimiento superficial de cobre alcanzo una temperatura máxima de 84°C.

Presentadas de esta manera, se percibe fácilmente que, en efecto, a mayor superficie de placa cubierta por cobre la temperatura alcanzada será más alta que en las otras.

### 3.2. Efectos sobre la temperatura en PCI con Máscara para Soldar (Solder Mask).

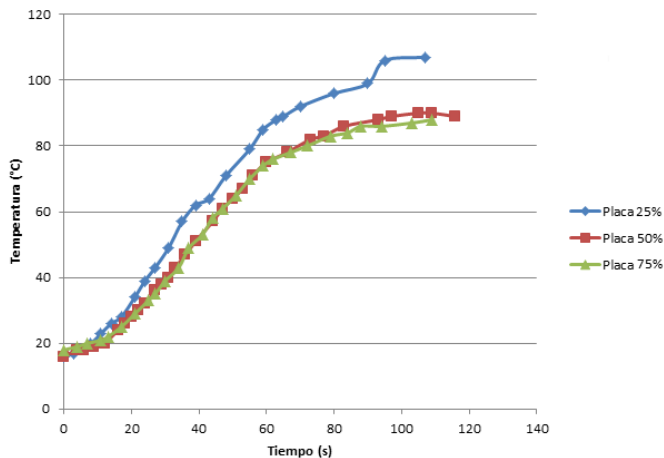


Figura 6. Comportamiento de Temperatura contra tiempo para los diferentes porcentajes de cobre superficial a 180°C con mascara para soldar

Al analizar las curvas se determina la razón de la variación de temperatura con la cantidad de cobre en la placa, y se puede notar que a menor porcentaje de cobre en la placa, la temperatura va a la par con la temperatura de una PCI con polímero, es decir, la temperatura de la placa no se ve afectada. Mientras que en las PCI con 50% y 75% de recubrimiento, el diferencial de temperatura que se presenta es más considerable.

### 3.3. Ensayos con Soldadura.

De acuerdo con los resultados en los experimentos, la calidad más alta de soldado para placas completamente recubiertas de cobre se alcanzó con temperaturas que van de 240° C a 250° C. Mientras que a 230° C, las placas con menos porcentaje de recubrimiento salían del horno con un acabado altamente satisfactorio.

Se comprueba entonces, la influencia del porcentaje con recubrimiento de cobre sobre la temperatura necesaria para el proceso de soldadura.

## 4. CONCLUSIONES

Se concluye que los resultados obtenidos en la experimentación muestran que la temperatura de las PCI varía con respecto a los recubrimientos de dichas placas, si una placa tiene un porcentaje de recubrimiento de cobre del 100% tiende a tener mayor resistencia al calor que una placa con un porcentaje de recubrimiento de 50%.

La temperatura de la placa no se ve afectada significativamente por el recubrimiento polimérico o “solder mask” puesto que las temperaturas son muy similares a las de las PCI sin recubrimiento de “solder mask” como muestra la Figura 5.

Algunas de las constantes observadas a lo largo de los experimentos fueron que a porcentajes de recubrimiento de 25% y 50%, el cobre sobre la placa se quema pasando los 160° C, y por otra parte, el tiempo de precalentamiento es un factor clave para la eliminación del flux en las PCI.

Además, en ciclos con tiempos prolongados, la temperatura que registra el horno alcanza a la temperatura que se le programa en los segmentos de temperaturas, al contrario en ciclos de menor duración, la temperatura que registra el horno es mucho menor a la del segmento de temperatura por la convección forzada.

## 5. REFERENCIAS

- [1] J. C. Cheang Wong, “Ley de Moore, Nanotecnología y Nanociencias: Síntesis y Modificación de Nanopartículas mediante la Implantación de Iones”, Revista Digital Universitaria, disponible: <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num7/art65/int65.htm>, consultado 23 de abril de 2015.
- [2] Yunus A. Cengel. Transferencia de Calor y Masa, México D.F. Mc Graw Hill, 2007, 356-357.
- [3] Esteban Federico Verrone, “Soldadura SMT por Convección Forzada”, Revista Argentina de Trabajos Estudiantiles, Vol. I - N° 1 - Febrero 2006, disponible: <http://ewh.ieee.org/sb/argentina/comahue/ed1/Papers/1EdRate05/TRATE05-009.pdf>
- [4] Heller Industries, “Reflow Soldering Products”, Catálogo de Productos, disponible: <http://www.hellerindustries.com/reflow-1900.php>
- [5] Alfonso Torres Jacome, Laboratorio “LIMEMS. INAOE”, disponible: <http://www-elec.inaoep.mx/Inn/>
- [6] INEGI, “12. Industrias Manufactureras”, Estadísticas históricas de México 2014. 2015, disponible: [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/HyM2014/12%20Industrias%20manufactureras.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/HyM2014/12%20Industrias%20manufactureras.pdf)
- [7] Yamane, N. Orita, K. Miyazaki, W. Zhou, “Development of New Model Reflow Oven for Lead-Free Soldering”, Furukawa Review, disponible: [https://www.furukawa.co.jp/review/fr026/fr26\\_06.pdf](https://www.furukawa.co.jp/review/fr026/fr26_06.pdf), consultado 23 de abril de 2015.