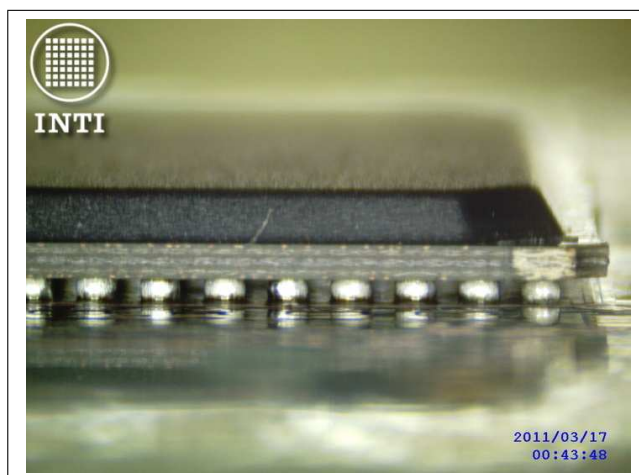


Soldadura de Prototipos con BGA en INTI-Electrónica e Informática

Revision : 1,9

Autores: Diego Javier Brengi, Matías Emmanuel Parra Visentin y Salvador Eduardo Tropea

Contacto: *brengi@inti.gob.ar*



INTI - Electrónica e Informática

3 de agosto de 2011

Índice

Índice	2
1. Introducción	3
1.1. Caso de aplicación	3
2. Equipos y accesorios utilizados	3
2.1. Equipos	3
2.2. Insumos y accesorios	4
2.3. Elementos a soldar	5
3. Pasos para realizar la soldadura	5
3.1. Preparar el espacio de trabajo	5
3.2. Limpiar la placa	6
3.3. Proteger elementos del PCB	6
3.4. Aplicar Flux	7
3.5. Posicionar el PCB	7
3.6. Encender el equipo de soldadura	7
3.7. Posicionar el componente	8
3.8. Colocar las termocuplas	8
3.9. Registrar la temperatura	9
3.9.1. Registro de temperatura utilizando Temporal	9
3.10. Soldar el componente	11
3.11. Limpiar la placa	12
3.12. Terminar la tarea de soldadura	13
4. Verificaciones y pruebas	13
4.1. Inspección visual	13
4.2. Análisis del perfil de temperatura aplicado	14
4.3. Inspección radiográfica	14
4.4. Prueba del chip BGA	20
5. Perfil de temperatura	22
6. Lectura de referencia	24
Índice de figuras	27

1. Introducción

En este documento se presenta la información relevante para realizar la soldadura de dispositivos BGA, en prototipos, con las herramientas y elementos que posee el “**Laboratorio de Desarrollo Electrónico con Software Libre**” (DESoL) del “**Instituto Nacional de Tecnología Industrial**” (INTI), “**Centro de Electrónica e Informática**” .

Se trata de un documento pensado originalmente para uso interno, pero que puede servir de ayuda o guía a cualquiera que desee replicar la experiencia.

1.1. Caso de aplicación

Esta guía está basada en la soldadura de un dispositivo FPGA (Field Programmable Gate Array) Spartan 3E de Xilinx (XC3S1600E-FGG320) en un PCB de 4 capas de 7 x 7 cm. Se trata del proyecto en curso llamado “S3PROTO” que busca brindar una placa de desarrollo para FPGA bajo la metodología de Hardware Libre y abierto, que además será utilizada como base para soluciones a medida. El circuito impreso multicapa es un diseño propio, realizado con Kicad, una herramienta de software libre, y fue fabricado por una empresa¹ que realiza la todo el proceso de fabricación dentro del país.

2. Equipos y accesorios utilizados

2.1. Equipos

- Estación de soldadura por infrarrojos. En nuestro caso se utiliza un equipo Jovy RE-7500.
- Mesa XY para sujeción del PCB (Viene con el equipo antes mencionado).
- Medidor de temperatura². Se utiliza en nuestro caso una PC con una placa de adquisición, termocuplas tipo J y software de registro. Este equipo, desarrollado en el laboratorio, se lo menciona con el nombre de *Temperal*. Se debe utilizar termocuplas de respuesta rápida (poca masa), y se debe tener cuidado que ambos extremos de las termocuplas no estén soldados con estaño, ya que en ese caso, su respuesta será más lenta al llegar a la temperatura de fundición del estaño (por ejemplo: 232°C). Este es el caso de las termocuplas de que vienen con los multímetros y registradores de bajo costo.

¹El PCB fue fabricado por la empresa INARCI S.A.

²La estación posee una termocupla con un visor integrado, sin embargo presenta varios problemas: alta inercia térmica, alto error de medición en las temperaturas de interés y el software no permite guardar la curva obtenida, en un formato útil, para posterior análisis.

- Equipo de inspección. Luego del proceso de soldadura es conveniente realizar algún tipo de inspección para verificar que las bolitas se han fundido. Los equipos de rayos X son el equipo ideal para visualizar fallas de conexión, pero poseen un costo muy alto. Otros equipos ofrecen inspección lateral, específica para BGA, que permiten ver incluso algunas bolitas en los niveles internos del BGA. En nuestro caso utilizamos un videoscopio de propósitos generales (Digimes DMS-133), que nos permitirá observar solamente el nivel exterior, pero que nos dará una idea de como ha resultado el proceso.



Figura 1: Equipo de soldadura por infrarrojos.

2.2. Insumos y accesorios

- Pinza Bruselas curva o recta antiestática.
- Cepillo antiestático.
- Alcohol isopropílico.
- Flux. En nuestro caso hemos utilizado un flux del tipo NC (no-clean), de la empresa Norson EFD (Engineered Fluid Dispensing), modelo 6-412-A.
- Removedor de flux (opcional, si el flux necesita limpieza).
- Pulsera o talonera antiestática.
- Cinta térmica. Tipo Kapton, resistente a altas temperaturas.
- Pinzas cocodrilo. Para sujetar y posicionar la termocupla.

2.3. Elementos a soldar

- Circuito impreso. En general el PCB para un BGA será multicapa. Se recomienda acabado superficial por proceso de electrólisis (no HASL, Hot Air) para lograr pads bien planos. En nuestro caso para la primera experiencia se utilizó terminación de Ni/Au.
- Componente BGA a soldar. Buscar información sobre la curva de temperatura necesaria para su soldadura, los límites máximos, tipo de soldadura lead-free (sin plomo) o tradicional (con plomo), etc.

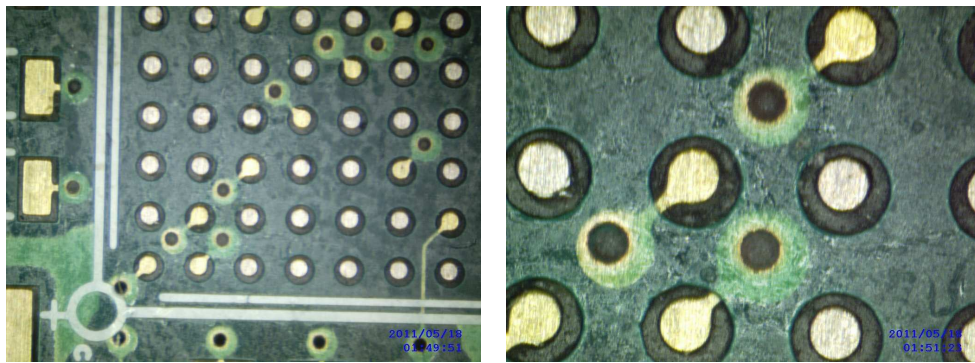


Figura 2: Detalle de los pads BGA en el PCB.

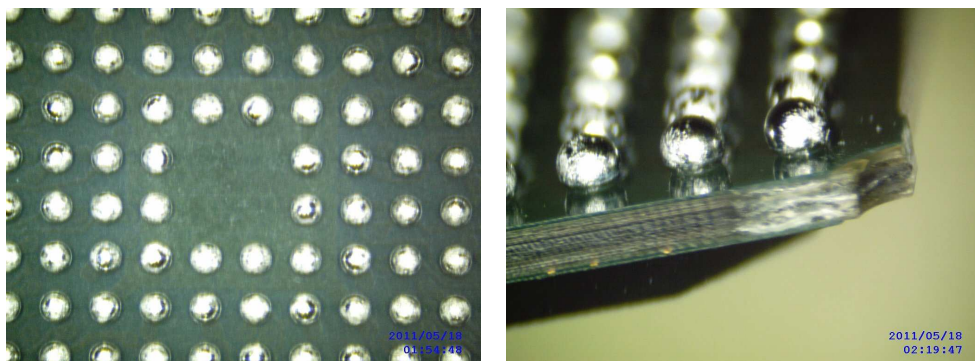


Figura 3: Bolitas del dispositivo BGA a soldar.

3. Pasos para realizar la soldadura

3.1. Preparar el espacio de trabajo

Para comenzar el trabajo, necesitamos apagar el aire acondicionado para que no se produzcan fluctuaciones de temperatura. Apagar ventiladores en lo

posible y en caso de que existieran corrientes de aire (ventilación, ventanas, etc.) colocar paneles que las frenen.

Proveer una buena iluminación sobre el equipo, con ayuda de varias lámparas si fuera necesario.

Ordenar el banco de trabajo para poder trabajar cómodos y sin estorbos visuales.

Reunir las herramientas necesarias y distribuirlas de forma práctica y de fácil acceso sobre la mesa de trabajo, a un lado de la estación de soldadura.

Colocarse la pulsera o la talonera antiestática.

Se recomienda también utilizar un mantel anti-estático (no se ha utilizado en las primeras pruebas).

Se aconseja, las primeras veces, que realicen el procedimiento dos personas. Una operando el equipo y la otra revisando y apuntando la secuencia de pasos, ayudando en la etapa de soldadura a medir tiempos o controlando y avisando cuando se llegue a los niveles donde es necesario cambiar la potencia del equipo.



Figura 4: Mesa de trabajo preparada para soldar el BGA.

3.2. Limpiar la placa

Limpiar adherencias o suciedades en los pads de la placa mediante alcohol isopropílico y el cepillo antiestático. Una vez realizada la limpieza, secar el alcohol con un papel que no deje fibras o restos del mismo.

3.3. Proteger elementos del PCB

En el PCB, colocar cinta térmica en el caso de que existan componentes soldados en el lado opuesto de la placa para que no se desuelden. De tener conectores plásticos u otros componentes que no resistan calor, protegerlos con dicha cinta.

3.4. Aplicar Flux

Se aconseja utilizar un Flux específico para este tipo de aplicación (soldadura de BGA), que no necesite limpieza posterior, ya que resulta complicado hacerlo en estos dispositivos.

Aplicar una pequeña cantidad de flux sobre los pads del PCB. Distribuirlo con el pincel antiestático hasta que quede una fina película de flux sobre la placa.

Retirar sobrantes, limpiar el pincel con alcohol isopropílico y tapar el flux.

Mucho flux puede ocasionar desplazamientos del BGA al entrar en ebullición. Muy poco flux puede impedir que las bolitas se acomoden y queden soldadas adecuadamente al pad correspondiente.



Figura 5: (Izq.) Flux NC utilizado. (Der.) Aplicación con pincel.

3.5. Posicionar el PCB

Colocar el PCB en la mesa XY y centrarlo. En nuestro equipo, el centro de calor se encuentra desplazado hacia el frente con respecto al puntero láser.

Para obtener una correcta distribución del calor, centrar el PCB en la zona de mayor calor indicada en la hoja de calibración, alineando previamente la hoja de calibración con el puntero láser.

La hoja de calibración se encuentra adjunta en este procedimiento. Se trata de una hoja de papel, donde se marca un punto que luego se alineará con el puntero láser. Se enciende la máquina y se espera a que el papel comience a quemarse en la zona de mayor calor³.

3.6. Encender el equipo de soldadura

Verificar que la estación de soldado se encuentre en la posición de *Park Mode*, encenderla, esperar al menos 5 minutos para que se establezca la tem-

³Retirar el papel antes que se prenda fuego!!!

peratura de pre-heat antes de iniciar el soldado del BGA (Instrucciones del fabricante del equipo).



Figura 6: Panel de control manual del equipo de soldadura utilizado.

3.7. Posicionar el componente

Desplazar la placa mediante los rieles de la mesa XY hacia un lado para poder centrar el componente sin que molesten los cabezales de la soldadora. Esto es necesario ya que alinear el componente visualmente requiere observarlo exactamente desde arriba.

Tomar y colocar el componente BGA sobre el PCB con una pinza bruselas antiestática o la bomba de vacío de la estación⁴.

Centrarlo con respecto a las marcas de la placa⁵. Utilizar pinza bruselas o algún elemento que permita desplazar lateralmente en forma precisa el componente, una vez apoyado el mismo.

3.8. Colocar las termocuplas

Fijamos una de las termocuplas, con ayuda de las puntas cocodrilo, a un lado del componente a soldar, apoyando sobre un pad de cobre expuesto en el PCB. Como las termocuplas son flexibles, le daremos una forma de arco similar a como se muestra en la fig.8 para que toda la superficie que no tiene vaina (punta) quede apoyada y haciendo presión sobre el pad. También

⁴Se trata de una sopapita, con un mango tipo lápiz conectada a una bomba de succión

⁵Es muy importante colocar en la serigrafía las marcas de posicionamiento, según las instrucciones de la hoja de datos de nuestro componente BGA a soldar

pueden sujetarse con cinta Kapton, pero teniendo en cuenta que superados los 200°C la termocupla podría correrse o perder presión contra la superficie a medir.

Si disponemos de otra termocupla (y otro canal de medición) podemos registrar la temperatura ambiente o una zona distinta de la placa (por ejemplo la temperatura inferior).

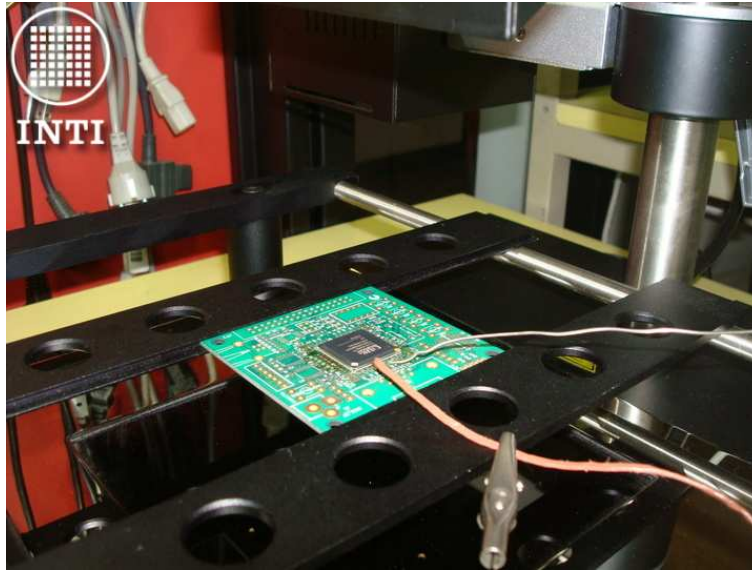


Figura 7: Termocuplas colocadas sobre el PCB. Una corresponde al equipo de soldadura (no se utiliza) y la otra al registrador.

3.9. Registrar la temperatura

Preparar el sistema de registro de temperatura. El sistema debe permitir visualizar en el momento la temperatura medida, y es aconsejable que los datos se guarden para luego poder verificar la curva aplicada.

3.9.1. Registro de temperatura utilizando Temporal

Se mencionan los pasos específicos para nuestro sistema de registro. Encender Temporal y loguearse en dos terminales. Para comenzar a obtener lecturas de temperatura y guardarlas en un archivo, en la primer terminal de Temporal ponemos:

```
t15c -b -d 1 -H 1 -n 1000 > Nombre_Archivo
```

El significado de este comando es el siguiente:

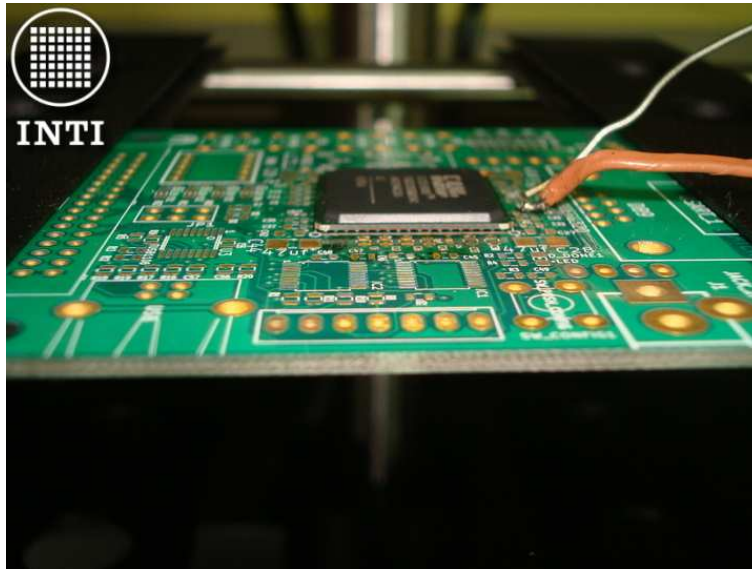


Figura 8: Detalle del posicionamiento de la termocupla.

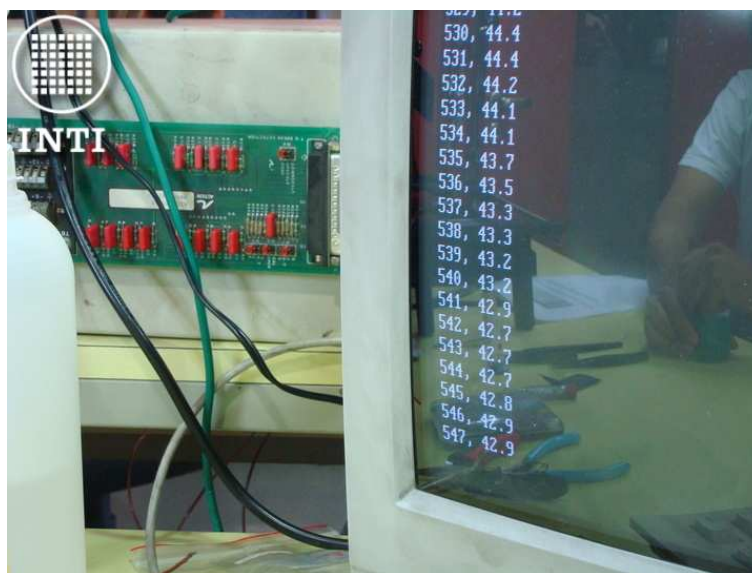


Figura 9: Visualización de los datos del registrador de temperatura. Atrás se observa la placa interfaz con PC de Temperal.

t15c: Es el nombre del ejecutable.

-b: No ir a background.

-d 1 -H 1: desde termocupla 1 hasta termocupla 1.

-n 1000: número de mediciones (una medición por segundo).

Nombre_Archivo: redirigimos la salida del comando a un archivo para guardar los valores obtenidos.

Para visualizar las mediciones y los tiempos, en la segunda terminal ponemos:

```
tail -f Nombre_Archivo
```

Se imprimirá en pantalla las últimas mediciones con sus respectivos tiempos. Sugerencia de formato de “Nombre_Archivo”:

```
AAAA_MM_DD_DESC.log
```

Donde:

AAAA=Año

MM=Mes

DD=Día

DESC=Descripción corta de la operación, una a tres palabras solamente (sin espacios, usar _ para separar palabras).

3.10. Soldar el componente

Los pasos aquí detallados se definieron luego de realizar repetidas pruebas, utilizando un PCB similar y arriba del mismo un chip similar (masa, tamaño y material). Con estos materiales se realizaron varias pruebas donde se levantaba la curva final resultante. Se ajustaron los tiempos y los límites de temperatura para lograr los requisitos de niveles y tiempos recomendados.

Para cada conjunto placa/chip debe repetirse el proceso.

Durante la determinación del perfil adecuado de temperatura fue de gran ayuda utilizar una segunda termocupla para medir la temperatura del lado opuesto del PCB. Se deben evitar diferencias importantes de temperatura entre ambas caras del PCB.

La altura del calentador superior se reguló a 3,25 en la escala graduada de la columna de sujeción⁶.

Realizamos el soldado del componente con la siguiente secuencia:

- Ponemos la estación Jovy en *Normal Mode* y ambos calentadores en *Reflow* hasta los 90°C.
- Cambiamos el calentador de arriba a *Fast reflow* hasta los 145°C.
- El calentador de arriba vuelve a *Reflow* hasta los 200°C.

⁶La estación posee un mástil con una escala en centímetros que va de 1 a 7,5 cm

- Volvemos a poner el calentador de arriba en *Fast reflow* hasta los 235°C.
- Apagamos el calentador de arriba (pero sin quitarlo de arriba del chip) y continuamos en *Reflow* con el calentador inferior por unos 60 segundos. Este paso se puede implementar de dos formas:

Por número de medición: Se apaga el calentador de arriba a la medición número X (es decir, a los X segundos). Entonces tenemos que esperar hasta la medición número (X+60). Esto es para el caso de Temporal que mide cada un segundo e informa el número de medición.

Por cronómetro: Otra forma es utilizar un reloj o cronómetro y medir los 60 segundos.

- Apagamos el calentador de abajo y ponemos la estación de soldado en *Park Mode* hasta 150°C.
- Encendemos el ventilador del equipo hasta el enfriado del PCB (aprox. 30°C.).

Tabla resumen:

Calentador de Abajo	Calentador de Arriba	Hasta	Inicio	Fin
Reflow	Reflow	90 °C		
Reflow	Fast Reflow	145 °C		
Reflow	Reflow	200 °C		
Reflow	Fast Reflow	235 °C		
Reflow	Apagado	Por 60 segundos		
Apagado	Park Mode	150 °C		
Apagado	Fan	30 °C		

Las columnas de inicio y fin se dejan para anotar el tiempo o el número de muestra, de forma tal de poder reconstruir luego la curva de temperatura aplicada, conociendo el momento justo donde se cambia la potencia aplicada del equipo.

3.11. Limpiar la placa

Con el PCB ya frío, procedemos a quitarlo de la mesa XY y si es necesario limpiar los restos de flux del mismo (Si utilizamos un flux que no necesita limpieza, esta operación puede ser contraproducente o innecesaria). Limpiar, por cuestiones estéticas la periferia del chip si fuera necesario.

En caso de necesitar limpieza utilizar alcohol isopropílico o removedor de flux y el pincel antiestático.

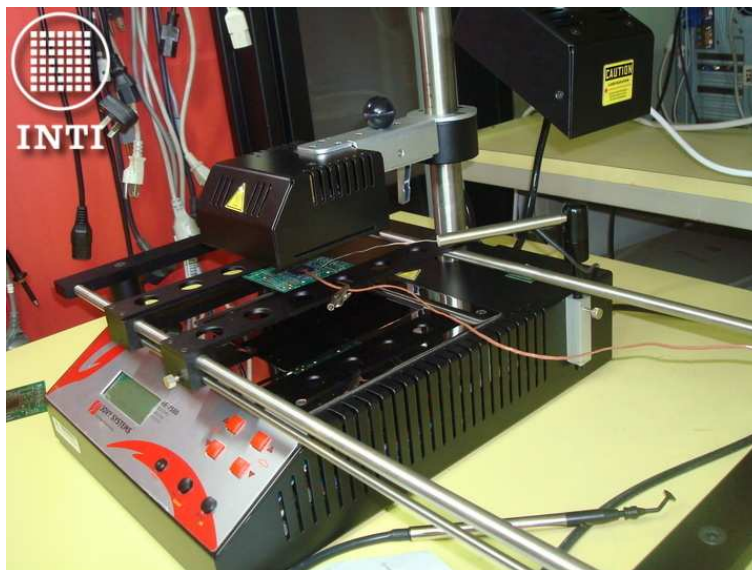


Figura 10: Proceso de soldadura, con ambos calefactores (superior e inferior) aplicados.

3.12. Terminar la tarea de soldadura

Ya nos podemos sacar la pulsera o la talonera y encender el aire acondicionado, si lo hemos apagado.

Apagar los equipos utilizados, ordenar y limpiar el sector de trabajo, como también las herramientas utilizadas.

Todo el proceso puede durar entre 15 y 25 minutos aproximadamente.

4. Verificaciones y pruebas

Mencionaremos muy rápidamente algunas de las posibles verificaciones y pruebas que podemos realizar luego del proceso de soldadura. Cabe aclarar que en nuestro caso se ha soldado primero el chip BGA con el equipo infrarrojo, y luego se han ido incorporando el resto de los componentes con una estación de soldadura convencional.

4.1. Inspección visual

Inspeccionamos las bolitas exteriores con un videoscopio. Se pueden comparar con imágenes en internet para detectar posibles defectos del proceso. Tener en cuenta que los chips lead-free se ven un poco distintos (bolitas menos brillosas y menos aplastadas) que cuando tienen plomo.

En este sitio podemos encontrar algunos de los posibles defectos que pueden aparecer: http://www.caltexsci.com/bga_scope.htm.

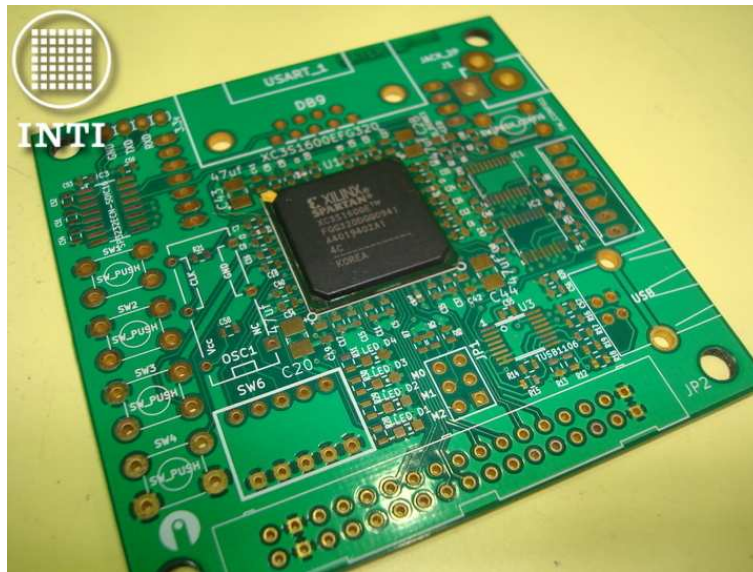


Figura 11: Componente BGA soldado.

4.2. Análisis del perfil de temperatura aplicado

Podemos también graficar la curva de temperatura obtenida con el registrador para comprobar si hemos superado el límite máximo permitido, si hemos superado la temperatura de fusión de las bolitas durante el tiempo mínimo recomendado, etc.

De observar el perfil obtenido (ver fig.15, fig.16, fig.17) vemos que hemos superado los 235°C durante 16 segundos, Por arriba de 217°C ha estado durante 67 segundos. Y la temperatura máxima fue de aproximadamente 241°C .

4.3. Inspección radiográfica

La inspección con rayos X puede brindarnos mucha información sobre como ha salido la soldadura del BGA. Mediante este método se hacen evidentes los cortocircuitos, bolitas faltantes, deformadas o con menos estaño, errores de alineación, etc. El equipamiento para realizar este tipo de inspección es costoso y deben tenerse recaudos en cuanto a la seguridad en el manejo de los equipos.

Se tomaron radiografías en INTI-Mecánica⁷ con la siguiente configuración:

- Tubo de rayos modelo PHILIPS MG 225L.

⁷Agradecemos la gran ayuda del Sr. Crease, William Sunday para obtener las imágenes radiográficas.

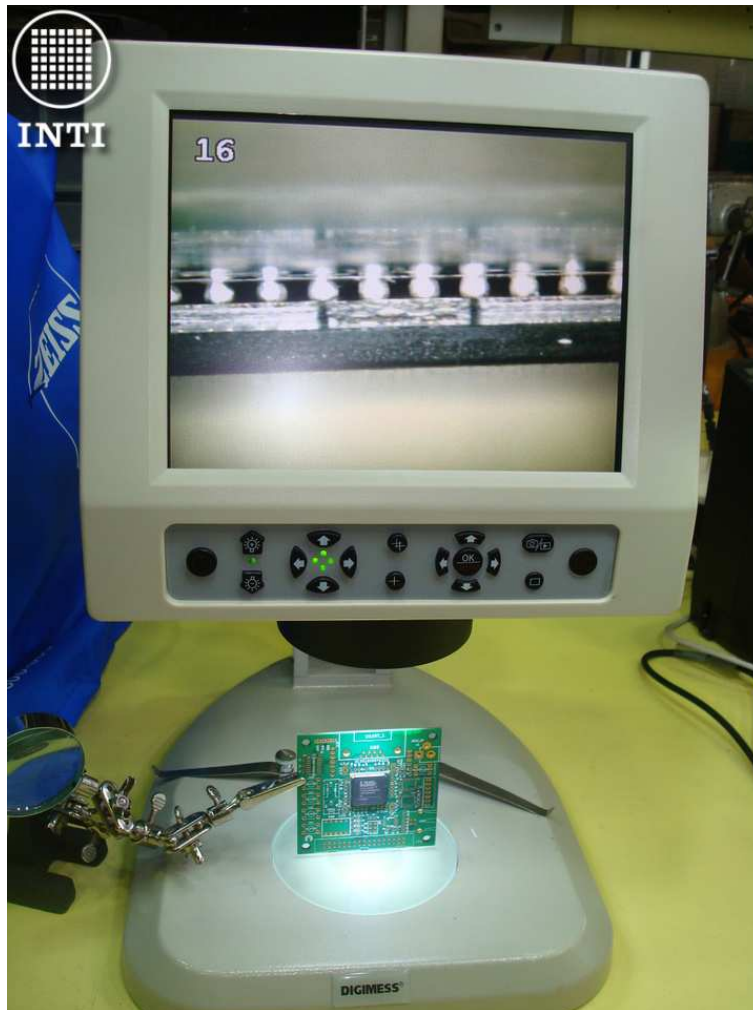


Figura 12: Inspección básica con videoscopio.

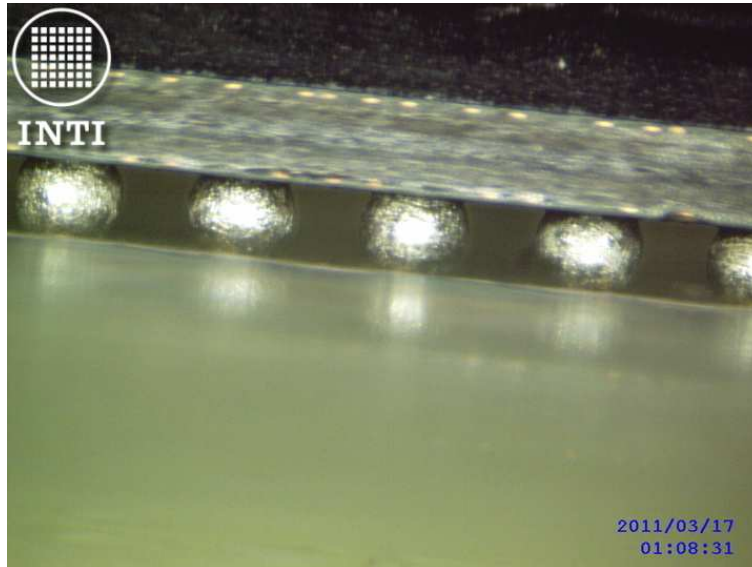


Figura 13: Vista lateral de la soldadura.

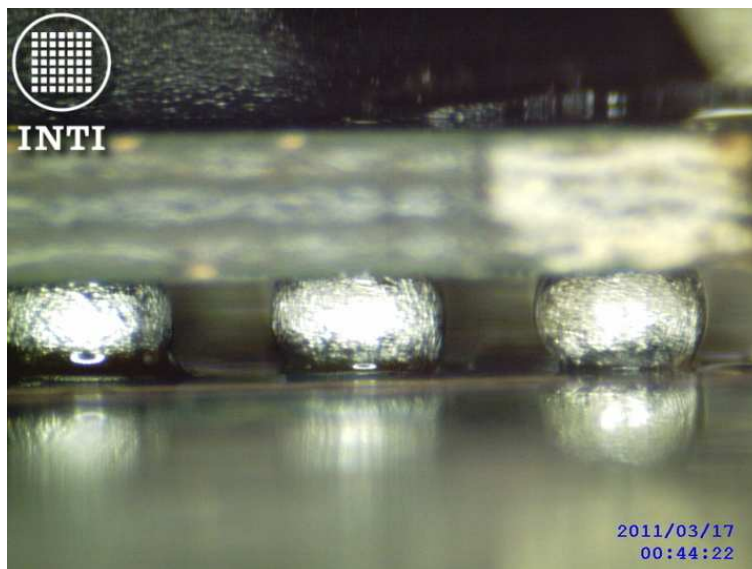


Figura 14: Detalle de las bolitas luego del proceso de soldadura.

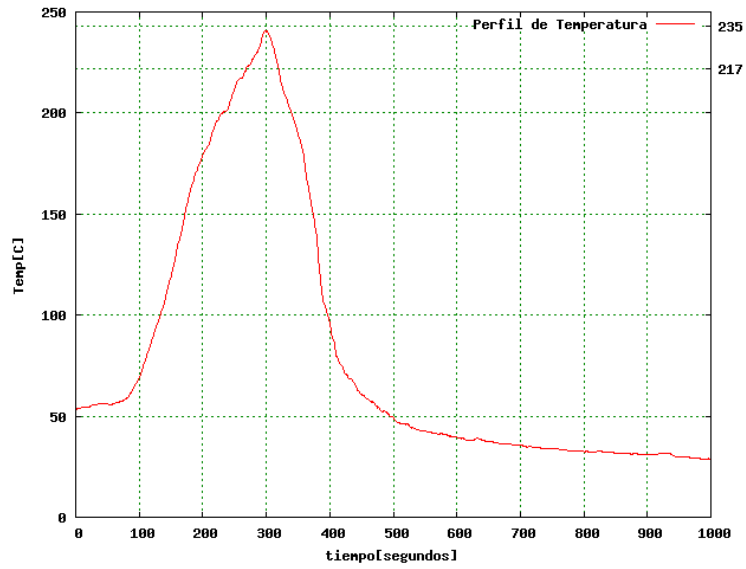


Figura 15: Perfil de temperatura aplicado. Vista general.

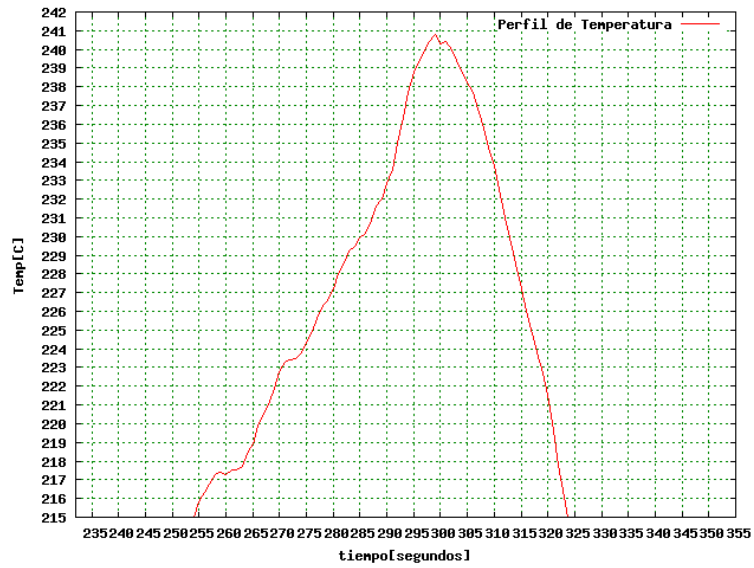


Figura 16: Perfil de temperatura aplicado. Detalle sobre 217°C.

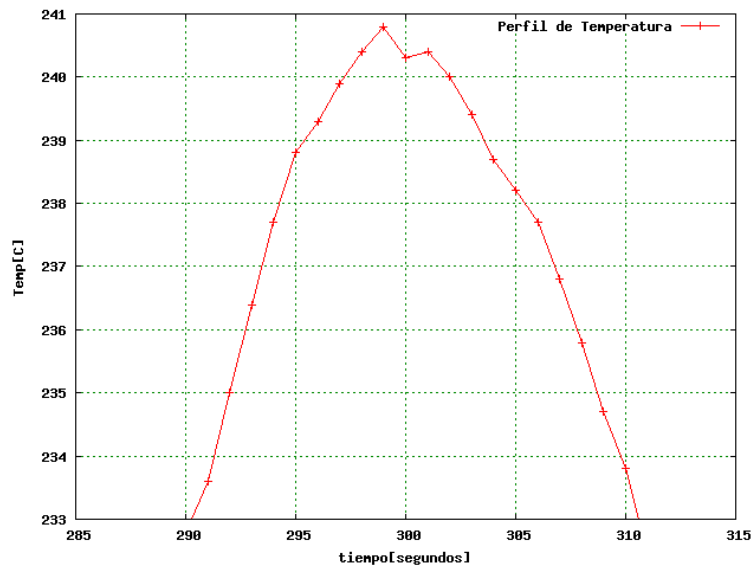


Figura 17: Perfil de temperatura aplicado. Detalle sobre 235°C.

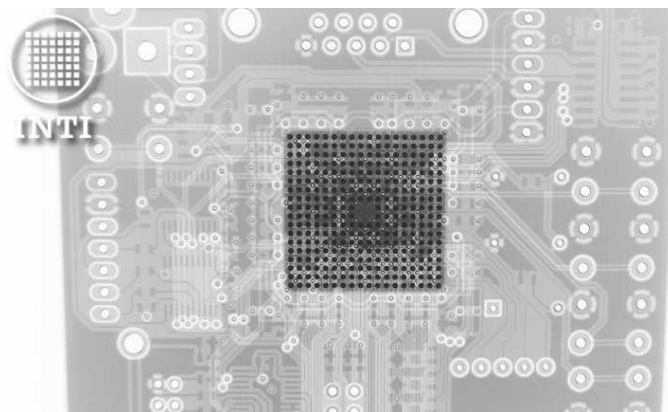


Figura 18: Radiografía de la placa S3Proto-mini con el chip BGA soldado.

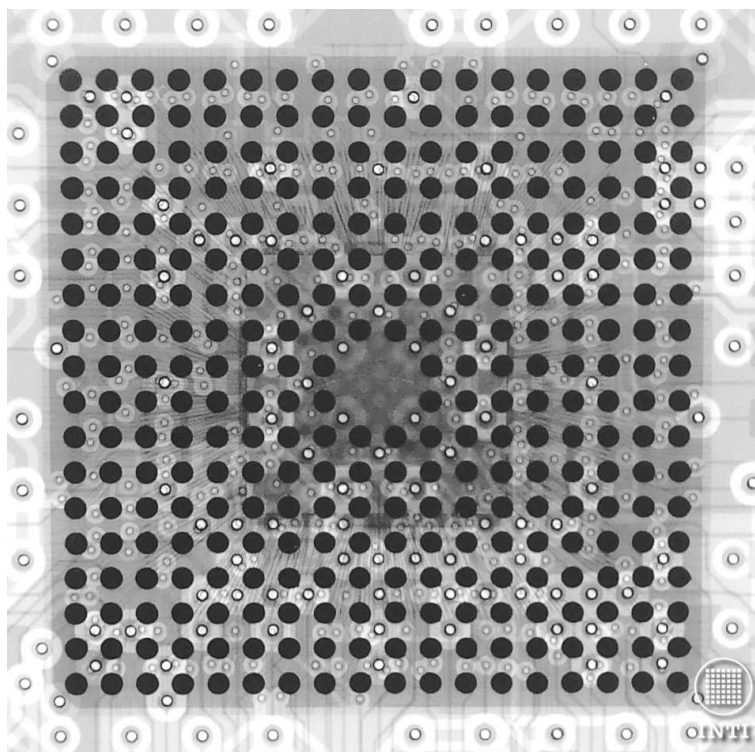


Figura 19: Radiografía de la placa S3Proto-mini, con ajustes de brillo y contraste. Detalle del BGA.

- I de tubo de 3 mA.
- Potencial ánodo a cátodo de 40 KV(pico).
- Foco de 0,6 x 0,6 mm.
- Película Structurix D3 de 8,9x43 cm, posteriormente digitalizada.
- Distancia del tubo a la placa de 1 m.
- Tiempo de exposición de 8 minutos.
- Pantalla intensificadora posterior de plomo de 300 μm .
- Filtro de protección para el silicio de aluminio⁸ de 2 mm colocado a 4 cm por encima de la placa.
- Reveladora automática GE Nova.
- El circuito se ubicó con el chip hacia la placa radiográfica y el PCB apuntando hacia la fuente de rayos, para minimizar la radiación recibida por el silicio.
- Dosis de radiación estimada: 100 a 130 mRems.

En las radiografías de la fig.18 y la fig.19 podemos observar que las bolitas han conservado su forma, no se observan deformaciones ni cortocircuitos evidentes y se encuentra correctamente alineado el BGA con el PCB ya que no se observan los pads.

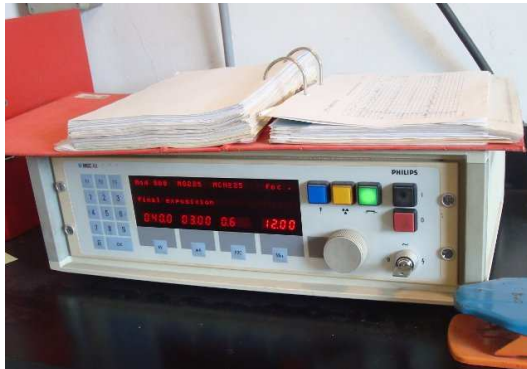


Figura 20: Equipo de rayos X, unidad de control.

Para mayor información sobre este tema consultar los artículos de referencia brindados.

4.4. Prueba del chip BGA

Por supuesto, la prueba final será energizar el dispositivo y observar su funcionamiento, pero se debe tener en cuenta el SIR (Surface Insulation Resistance) del flux utilizado y esperar el tiempo recomendado.

Se aconseja, al tratarse de prototipos, soldar los componentes de soporte mínimos necesarios para una verificación básica de funcionamiento. Por

⁸La mejor alternativa recomendada es una lámina de zinc de 300 μm



Figura 21: Tubo de rayos X, montaje del dispositivo a radiografiar a 1m de distancia.



Figura 22: Reveladora automática.

ejemplo la red de alimentación y lo necesario para acceder al JTAG si el dispositivo posee este tipo de sistema de verificación. Para las pruebas del JTAG se utilizó la herramienta de software libre Openwinice GNU JTAG <http://openwinice.sourceforge.net/jtag/> agregando el soporte correspondiente para nuestro dispositivo.

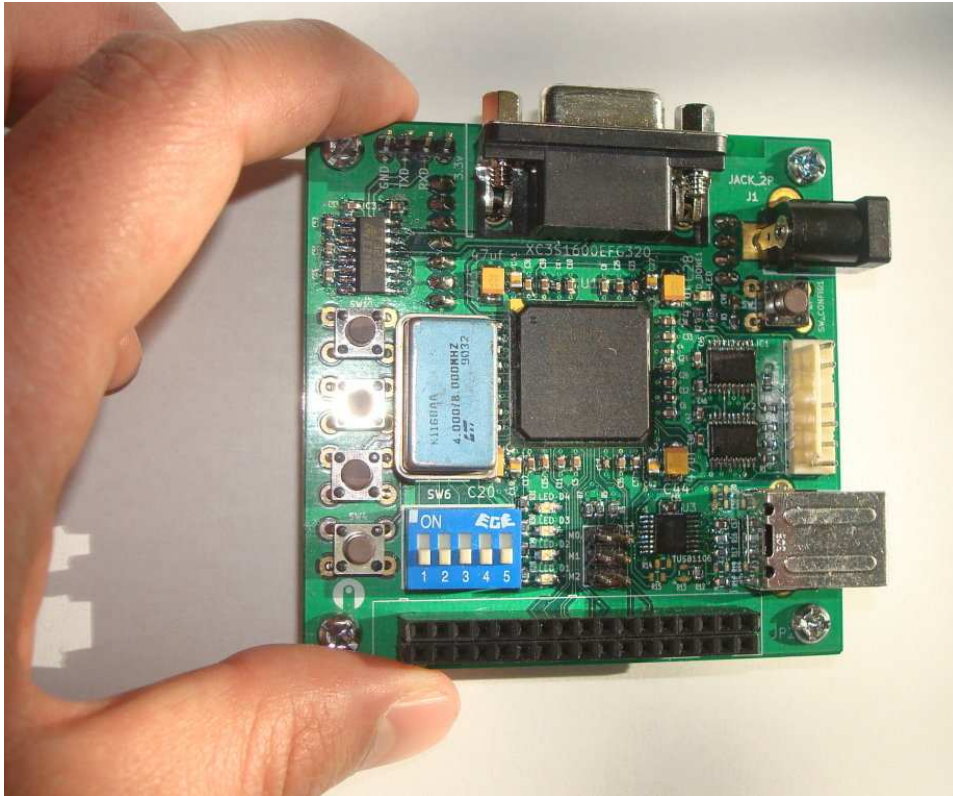


Figura 23: Placa S3PROTO-mini finalizada.

5. Perfil de temperatura

Explicaremos brevemente las consideraciones a tener en cuenta a la hora de definir el perfil de temperatura deseado. Según los documentos de referencia, debemos armar el perfil de temperatura deseado considerando los siguientes parámetros:

SnPb: Aleación de estaño y plomo.

SnAgCu: Aleación de estaño, plata y cobre. Es una de las comúnmente utilizadas para soldadura lead-free.

Punto de fusión: Es la temperatura donde la aleación deja de ser sólida (y pasa directamente a líquida en el caso de aleaciones eutécticas). Para Sn63Pb37 es de 183°C, para Sn95.6Ag3.5Cu0.9 de 217°C (hay varias aleaciones con mínimas diferencias, con similar punto de fusión), SnAg3.5 de 221°C, SnCu0.7 de 227°C y Sn62.5Pb36Ag2.5 de 179°C. Ver <http://en.wikipedia.org/wiki/Solder> para conocer los puntos de fusión de las distintas aleaciones utilizadas para soldar.

TAL: Time Above Liquidus. Es el tiempo durante el cual se supera la temperatura de fusión. Se recomienda un tiempo entre 60 y 150 segundos. Este parámetro es similar al *wetting time*.

PPT: Package Peak Temp. Es la temperatura medida arriba del encapsulado. Importa la máxima a la que se llega (para no estropear el chip). Es un dato dado por el fabricante del chip y depende del volumen y el grosor del chip. Normalmente entre 245°C y 260°C. Para el caso del chip BGA utilizado en nuestra experiencia el PPT es de 260°C.

SJT: Solder Joint Temp. Es la temperatura deseada en la junta de soldadura para lograr una correcta unión de soldadura. Importa la mínima necesaria para que se suelde correctamente el BGA. Para SnPb está entre 225°C y 235°C. Y para SnAgCu entre 234°C y 245°C. También se recomienda mantener esta temperatura por lo menos 10 segundos.

Preheat: Es el proceso de precalentamiento de la placa y el chip, antes de acercarse a las temperaturas de activación de flux. Se dan recomendaciones de gradientes máximos de 1°C/s.

Flux activation: El flux comienza a realizar su trabajo alrededor de los 150°C, y para cuando lleguemos a los 200°C ya debería haber realizado su función⁹. Los fabricantes recomiendan que se mantenga la placa entre estas dos temperaturas durante 60 a 120 segundos.

Reflow: Es la zona donde ocurre la soldadura.

Enfriamiento: Es la zona siguiente al Reflow donde los materiales y componentes vuelven a la temperatura ambiente. Se debe tener cuidado de realizar esta etapa en forma gradual para evitar shock térmico en los componentes.

Ramp-up: Pendiente de crecimiento. Es la máxima pendiente de crecimiento recomendada para no dañar los materiales, pasadas las etapas de preheat y activación de flux. Se recomienda no superar los 3°C/s.

⁹Dependiente del tipo de flux utilizado.

llo Electrónico con Software Libre, Autores: Diego Brenzi, Salvador Tropea, Matías Parra Visentin y Christian Huy. Congreso de Microelectrónica Aplicada 2011 - uEA2011. (En evaluación)
<http://utic.inti.gob.ar/publicaciones/>

- **“General Soldering Temperature Process Guidelines”, “Solder Joint and Package Temperature for Pb-free BGA in SnPB and Pb-free Solders in IR or Convection Reflow”**. Freescale Semiconductor. Application Note. Document Number: AN3300. Rev. 0, 07/2006.
http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/app_note/AN3300.pdf
- **“Implementation and Solder Reflow Guidelines for Pb-Free Packages”**. Author: Mj Lee. Application Note, XAPP427 (v2.5) February 4, 2010.
http://www.xilinx.com/support/documentation/application_notes/xapp427.pdf
- **“Device Package User Guide”, Chapter 7, “Reflow Soldering Process Guidelines”**. Xilinx User Guide UG112 (v3.6), September 22, 2010.
http://www.xilinx.com/support/documentation/user_guides/ug112.pdf
- **“Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices”, IPC/JEDEC J-STD-020D.1. JOINT INDUSTRY STANDARD, March 2008.**
- **“6-412 Product Specification”**. EFD FluxPlus.
<http://www.efdsolder.com>.
- **“Manual del usuario, Rev. 1.21”**. JOVY SYSTEMS, RE-7500.
http://www.jovy-systems.com/Customer%20Area/RE-7500-Manual_rev_r_-Spanish.pdf
- **“Impact of X-Ray Inspection on Spansion Flash Memory, Application Note”**. Richard Blish .
http://www.spansion.com/Support/AppNotes/X-ray_inspection_on_flash_AN_01_e.pdf
- **“Filter Optimization for X-Ray Inspection of Surface-Mounted ICs”**. Richard C. Blish II, Susan X. Li, and David Lehtonen. IEEE TRANSACTIONS ON DEVICE AND MATERIALS RELIABILITY, VOL. 2, NO. 4, DECEMBER 2002.
http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1176469

- **“Prevention of parametric or functional changes to silicon semiconductor device properties during x-ray inspection”**. United States Patent 6751294. Inventors: Blish II, Richard C., Li, Susan Xia, Lehtonen, David S., Black, Courtney J., Darling, Don C. Assignee: Advanced Micro Devices, Inc. (Sunnyvale, CA).
<http://www.freepatentsonline.com/6751294.html>
- **“Artículos en Wikipedia”**.
http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_profiling
http://en.wikipedia.org/wiki/Reflow_soldering
<http://en.wikipedia.org/wiki/Solder>

Índice de figuras

1.	Equipo de soldadura por infrarrojos.	4
2.	Detalle de los pads BGA en el PCB.	5
3.	Bolitas del dispositivo BGA a soldar.	5
4.	Mesa de trabajo preparada para soldar el BGA.	6
5.	(Izq.) Flux NC utilizado. (Der.) Aplicación con pincel.	7
6.	Panel de control manual del equipo de soldadura utilizado.	8
7.	Termocuplas colocadas sobre el PCB. Una corresponde al equipo de soldadura (no se utiliza) y la otra al registrador.	9
8.	Detalle del posicionamiento de la termocupla.	10
9.	Visualización de los datos del registrador de temperatura. Atrás se observa la placa interfaz con PC de Temperal.	10
10.	Proceso de soldadura, con ambos calefactores (superior e in- ferior) aplicados.	13
11.	Componente BGA soldado.	14
12.	Inspección básica con videoscopio.	15
13.	Vista lateral de la soldadura.	16
14.	Detalle de las bolitas luego del proceso de soldadura.	16
15.	Perfil de temperatura aplicado. Vista general.	17
16.	Perfil de temperatura aplicado. Detalle sobre 217°C.	17
17.	Perfil de temperatura aplicado. Detalle sobre 235°C.	18
18.	Radiografía de la placa S3Proto-mini con el chip BGA soldado.	18
19.	Radiografía de la placa S3Proto-mini, con ajustes de brillo y contraste. Detalle del BGA.	19
20.	Equipo de rayos X, unidad de control.	20
21.	Tubo de rayos X, montaje del dispositivo a radiografiar a 1m de distancia.	21
22.	Reveladora automática.	21
23.	Placa S3PROTO-mini finalizada.	22
24.	Pautas para el perfil de temperatura en soldadura sin plomo.	24