

Entrenamiento en soldadura de encapsulados BGA mediante diferentes procesos y tecnologías

Sergio Guberman, Diego Brengi, Gustavo Rodríguez y Marcelo Acevedo

Departamento de Integración de Sistemas Micro y Nanoelectrónicos

Dirección Técnica de Micro y Nanotecnologías

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

Buenos Aires, Argentina

Email: {sguberman, brengi, grodriguez, macevedo}@inti.gov.ar

Resumen—En este trabajo se presentan las actividades realizadas para el entrenamiento en soldadura e inspección de encapsulados Ball Grid Array (BGA). Para las prácticas se utilizaron diferentes encapsulados, placas y tres escenarios distintos: una línea industrial, una línea de prototipado de bajo volumen y una estación de retrabajo específica para estos encapsulados. Se mencionan algunos aspectos particulares, como los métodos de posicionamiento, y finalmente se emplean imágenes radiográficas para la inspección. La experiencia con esta variedad de escenarios mejora las habilidades del personal involucrado y fortalece sus capacidades para brindar asistencia técnica y cursos prácticos sobre la tecnología BGA.

Palabras clave—BGA, Ball, Grid, Array, PCB, circuitos impresos, montaje, ensamblaje, alineación, inspección, entrenamiento, rayos x

I. INTRODUCCIÓN

Los encapsulados BGA (Ball Grid Array) constituyen una tecnología ampliamente establecida en el sector electrónico, reconocida por su capacidad para soportar una alta densidad de conexiones en poco espacio. Dentro de las alternativas de packages de alta densidad es el que presenta una mejor relación entre costo y facilidad de uso, en comparación con otros tipos de encapsulados como Pin Grid Array (PGA) o Land Grid Array (LGA). Es muy frecuente que los nuevos circuitos integrados, con funcionalidades avanzadas, solamente se consigan con este tipo de encapsulado. Sin embargo, el uso de BGA presenta ciertos desafíos técnicos [1], tanto en el diseño como en relación con la precisión del posicionamiento en el ensamblaje, el perfil de temperatura aplicado, la soldadura y posterior inspección. En Argentina, la adopción de esta tecnología es baja, y son pocas las empresas que tienen diseños y productos que incorporen chips BGA. En un escenario global donde la fabricación y el ensamblaje de dispositivos electrónicos se concentran en países como China, podría parecer innecesario abordar la fabricación local de placas electrónicas con estos encapsulados. Sin embargo, existen varios motivos para hacerlo:

- Aplicaciones sensibles o estratégicas, como sistemas militares o de seguridad nacional.
- Entrenamiento y capacitación en temáticas de DFM (diseño para la manufacturabilidad) y DFA (diseño para el ensamblaje) [2].

- Fabricación de primeros prototipos y ciclos de desarrollo más ágiles (diseño, fabricación, armado y rediseño).
- Tiempos logísticos y control directo del stock.
- Escenarios geopolíticos cambiantes.

En las siguientes secciones se presentan los distintos escenarios de entrenamiento, las actividades realizadas, sus resultados y las conclusiones.

II. ESCENARIOS DE ENTRENAMIENTO

II-A. Chips BGA y placas de prueba

Se utilizaron varios encapsulados BGA (Ver Fig. 1). Sus características principales figuran en la tabla I:

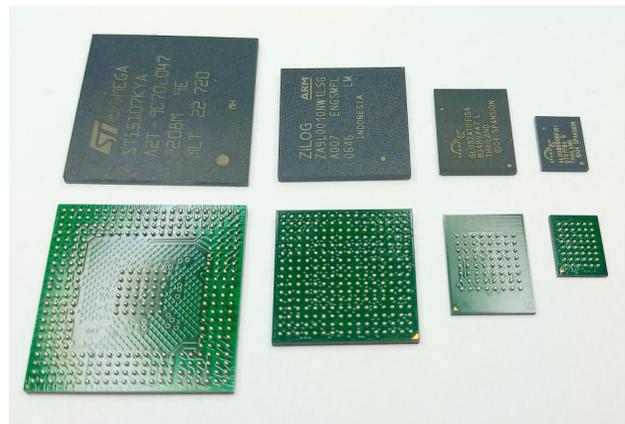


Figura 1. Encapsulado BGA-324, BGA-256, BGA-64 y BGA-48.

Tabla I
ENCAPSULADOS BGA UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS.

Nombre	Nro. bolitas	Pitch	Diámetro bolita
BGA-324	324	1,0 mm	0,6 mm
BGA-256	256	1,0 mm	0,5 mm
BGA-64	64	1,0 mm	0,6 mm
BGA-48	48	0,8 mm	0,29 mm

Con respecto a las placas, se utilizaron placas de diseño propio (Ver Fig. 2), orientadas a evaluar procesos involucrados en una línea de ensamblaje de montaje superficial [3]. También se utilizaron placas de entrenamiento provistas por la empresa PACE.

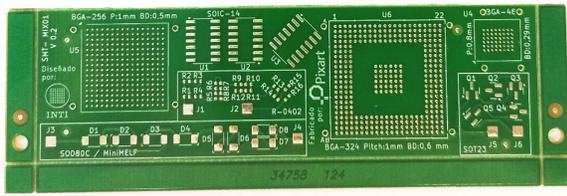


Figura 2. Una de las placas utilizadas para la realización de pruebas de ensamblaje con encapsulados BGA.

II-B. Equipamiento

Las pruebas de soldadura se llevaron a cabo en tres escenarios diferentes:

1. Línea de ensamblaje industrial [4]:
 - Impresora para estencil modelo G5 de la firma GKG (automática) con un estencil de acero inoxidable y pasta de estaño con plomo marca ALPHA modelo OM-5300 62Sn/36Pb/2Ag.
 - Pick and place modelo HW-T6-64F de la firma Beijing Huawei SMT Electronic Technology.
 - Horno de refusión modelo 1000M de 10 zonas de la firma Shenzhen Shengdian Electronic Equipment.
2. Línea de ensamblaje para prototipado de baja escala [5]:
 - Impresora para estencil modelo NeoDen FP2636 (manual) con un estencil a medida y la misma pasta de estaño que la línea de ensamblaje industrial.
 - Pick and place modelo LE40V de la firma DDM Novastar.
 - Horno de refusión modelo GF-12HC-HT de 3 zonas, de la firma DDM Novastar.
3. Equipamiento especializado para retrabajo (soldadura y desoldadura) de chips BGA con tecnología de calor por infrarrojos (Ver Fig. 3). Se trata de un equipo modelo IR 3000 de la firma PACE, el cual posee un sistema visual de prisma con cámaras, una mecánica muy precisa para el posicionamiento, y cuenta además con un software de control para lograr un correcto perfil de soldadura.



Figura 3. Equipo PACE IR3000 para soldadura y desoldadura de chips BGA.

III. ACTIVIDADES REALIZADAS

Existen numerosos factores que deben considerarse al utilizar un BGA correctamente, desde la etapa inicial de diseño de PCB hasta la inspección final del mismo. En esta sección se hará foco en algunas de las particularidades que surgieron al abordar las etapas de posicionamiento, soldadura e inspección.

III-A. Posicionamiento con sistema de visión

En la línea de ensamblaje para prototipado se utiliza un equipo pick and place modelo LE40V que tiene un sistema de visión para mejorar la precisión mecánica en la ubicación del componente. Para utilizar este sistema, es necesario configurar previamente un patrón de reconocimiento para un determinado componente. El equipo levanta el componente tomándolo con una boquilla, lo lleva hasta la cámara fija, compara la imagen con el patrón y verifica que esté correctamente posicionado en la boquilla, y en caso afirmativo, lleva el componente a su posición de destino sobre el PCB. En la Fig. 4 se observa cómo el sistema de visión reconoce el patrón, detectando la ubicación de la pieza en relación con la boquilla.

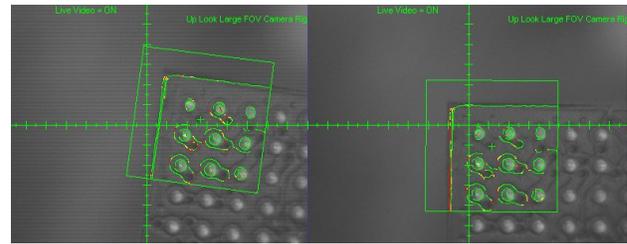


Figura 4. Reconocimiento de patrón en un chip BGA. Con error de posicionamiento (Izquierda). Posición correcta (Derecha).

III-B. Posicionamiento con prisma

El equipo IR-3000 emplea un sistema óptico de superposición de imágenes para posicionar con precisión el componente BGA sobre la placa. Este sistema funciona con un prisma ubicado entre la placa y el componente. La imagen de la placa (huella del BGA) y la imagen del componente (bolitas) se combinan en el prisma y se envían a una cámara, obteniéndose en la PC la imagen superpuesta de ambos. Mediante micrómetros de alta precisión, el operador ajusta la posición del BGA hasta que, en la imagen combinada mostrada en la pantalla de la PC, las bolitas del BGA queden alineadas con los pads de la placa (Ver Fig. 5). En el paso final, se retira el prisma y el chip baja hasta la placa.

III-C. Soldadura

La soldadura de chips BGA se realiza generalmente mediante el sistema clásico de horno de refusión de varias zonas (Ver Fig. 6), configurándolo de manera que se respete el perfil de temperatura que requiere el BGA. En nuestras pruebas, se utilizaron dos hornos distintos, uno de 3 zonas y otro de 10 zonas. Por otro lado, el equipo IR3000 utiliza un sistema de calentamiento infrarrojo superior e inferior, monitoreo de temperatura, y un lazo de control, lo que permite definir en

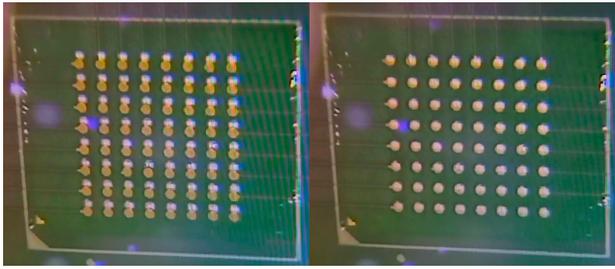


Figura 5. Vista compuesta de un chip BGA-64 y la placa, usando un prisma. Placa y chip desalineados (Izquierda). Placa y chips alineados (Derecha).

el software el perfil térmico específico que se desea aplicar. El proceso de soldadura y las consideraciones de cada caso requieren de conocimientos y experiencia previa. Los detalles de este procedimiento exceden el alcance de este artículo.



Figura 6. Una de las placas de pruebas con los encapsulados BGA ya soldados.

III-D. Inspección con rayos x

Una de las mayores dificultades en el uso de encapsulados BGA es la imposibilidad de inspeccionar fácilmente todos los puntos de soldadura para verificar contacto eléctrico, ausencia de cortocircuito, calidad de la soldadura, entre otros aspectos. Es por este motivo que se utilizan equipos de rayos X para controlar el proceso e investigar fallas. Para la inspección se utilizó un radiógrafo modelo X5600 de la firma Seamark [6]. Este equipo trabaja fuera de la línea de ensamblaje, tiene un voltaje de operación de tubo entre 40 y 90 kV, y una corriente de tubo entre 10 y 200 μ A. Algunas de las imágenes obtenidas se pueden ver en las figuras 7 y 8.

III-E. Realce y superposición de imágenes

Una vez obtenidas las imágenes de rayos X, se plantearon dos modalidades para su tratamiento:

Realce : Utilizando un programa de edición de imágenes se alteran parámetros como brillo, contraste y curva de colores para mejorar la visualización en general, o para resaltar detalles específicos de interés. En la Fig. 9 se muestra un caso donde se quitaron dos bolitas al BGA antes de soldarlo. Alterando la curva de colores se logra limpiar la imagen para que solo queden visibles las bolitas del BGA (estaño), quedando más evidentes las soldaduras faltantes.

Superposición : En esta técnica se superpone una imagen fotográfica de la placa vacía con la imagen radiográfica. Para lograrlo en forma precisa es necesario aplicar

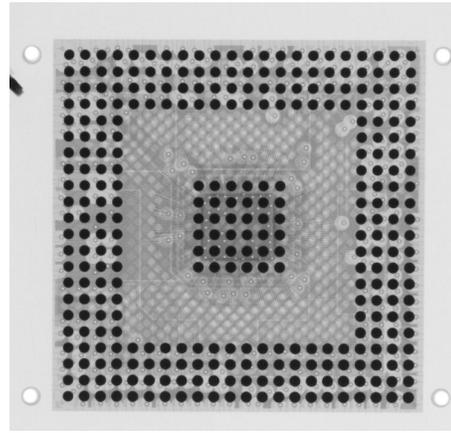


Figura 7. Radiografía del chip BGA de 324 bolitas, soldado en la placa de pruebas.

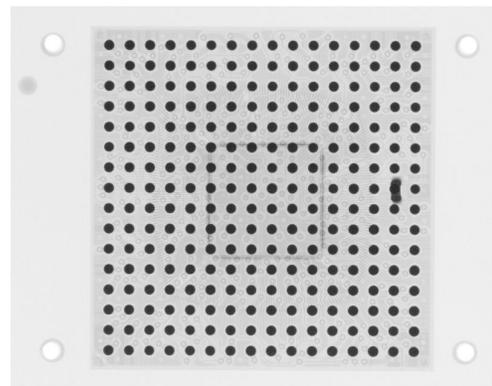


Figura 8. Radiografía del chip BGA de 256 bolitas, soldado en la placa de pruebas.

transformaciones como escalado, rotación o perspectiva a una de las imágenes. Esta técnica necesita de puntos de referencia en ambas imágenes, para lo cual se colocaron vías (agujeros metalizados) en los alrededores del BGA, debido a que las mismas se visualizan tanto en la foto como en la radiografía. En la Fig. 10 se observa una imagen obtenida con esta técnica (usando la Fig. 7 de base), donde se pueden ver los pads, alineados con las bolitas, además de detalles como la serigrafía. Las “sombras” que se observan alrededor de los pads se deben a la pequeña desalineación entre bolitas soldadas y los pads. Estas imágenes pueden servir para un análisis más detallado cuando la radiografía sola no es concluyente.

En todos los casos, se utilizó el software GIMP [7] para la edición de imágenes.

IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Durante la experiencia de entrenamiento en soldadura e inspección de chips BGA se utilizaron diversos encapsulados, placas de prueba, equipos y métodos para el posicionamiento

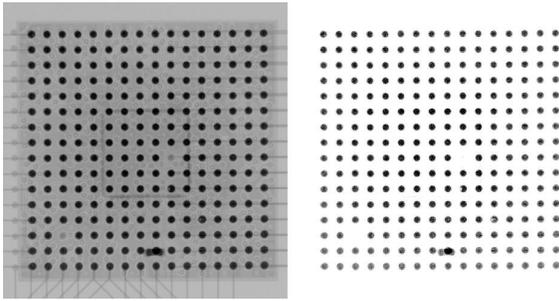


Figura 9. Radiografía de chip BGA de 256 bolitas con dos bolitas faltantes. Imagen sin procesar (izquierda). Imagen postprocesada para realzar la falla (derecha).

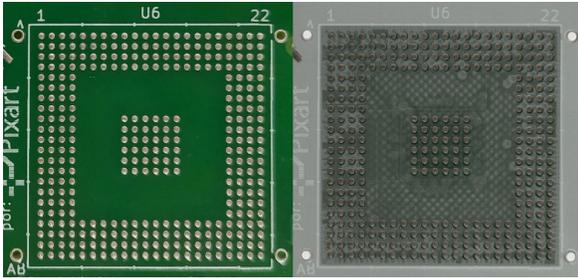


Figura 10. Placa vacía (Izquierda). Radiografía de chip BGA-324superpuesta con una foto de la placa vacía, usando cuatro vías de referencia (Derecha).

y la soldadura. En los tres escenarios analizados con sus diferentes tecnologías, el proceso de soldadura de componentes BGA arrojó resultados aceptables. En todos los casos se utilizaron imágenes de rayos X para observar los resultados. Esta revisión es fundamental para validar los distintos procesos de soldadura, detectar fallos y encontrar sus posibles soluciones.

Con el objetivo de efectuar una comparativa entre ambas líneas de ensamblaje, se trabajó con pasta con plomo, cuya menor temperatura de refusión frente a la pasta sin plomo facilitó la configuración del perfil térmico en los hornos. El análisis comparativo entre dichas líneas revela una diferencia significativa en las competencias requeridas por el personal operativo.

En la línea de ensamblaje industrial, equipada con una impresora de estenciles automatizada y un horno de refusión de diez zonas, el factor clave para el éxito reside en la capacidad del operario para la configuración y optimización de los procesos. La destreza se manifiesta en la parametrización precisa del equipo, como la velocidad de impresión, la presión del squeegee y la separación del estencil, y en el diseño de perfiles térmicos complejos y estables que garanticen la repetibilidad en miles de unidades.

En contraposición, la línea de prototipado, que utiliza una impresora de estenciles manual y un horno de tres zonas, demanda un conjunto de habilidades marcadamente distintas. Aquí, la pericia manual y agudeza visual del operario se convierten en el eje central del proceso. El éxito del ensamblaje de componentes BGA depende directamente de la precisión

en la alineación del estencil sobre los pads del PCB y de la deposición uniforme de la pasta de soldar. Adicionalmente, la gestión del horno de tres zonas exige un profundo conocimiento práctico para definir un perfil térmico robusto, compensando de esta manera las limitaciones operativas del equipo.

La diversidad de escenarios abordados permitió consolidar conocimientos y perfeccionar las habilidades de todo el personal involucrado, además de facilitar el estudio más profundo de la temática. En conjunto, la experiencia permitió validar procesos, identificar limitaciones operativas y sentar bases sólidas para futuros entrenamientos prácticos con tecnología BGA en entornos locales.

V. TRABAJO FUTURO

Como actividad futura se plantea generar distintos tipos de falla, considerando, por ejemplo, las mencionadas en las normas IPC-A-610 [8] e IPC-7095 [9], para su posterior tratamiento y análisis. También se buscará perfeccionar las técnicas de uso de los equipos de inspección por rayos X y el tratamiento posterior de las imágenes.

Asimismo, se planifica realizar un curso práctico sobre el manejo de chips BGA y fomentar la vinculación con empresas que puedan beneficiarse de la incorporación de esta tecnología.

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo y la confianza brindados por la empresa Pixart S.R.L., en especial a Gabriel Ortiz y Juan Pablo Menditto. También destacamos la buena predisposición y colaboración de Alejandro y Marcos Mayer, de la empresa Mayer S.A. Por último, agradecemos a Mike y María, de PACE Worldwide, por la donación de los kits con componentes BGA que fueron utilizados en las pruebas realizadas.

REFERENCIAS

- [1] Brengi D., Tropea S., Parra V. y Huy C. , “Soldadura, inspección y verificación, en laboratorio, de un prototipo con chip BGA”, II Congreso de Microelectrónica Aplicada (uEA 2011), ISBN: 978-950-34-0749-3, pp. 95–100, 2011. Link
- [2] Happy Holden, Clyde F. Coombs; “Planning for Design, Fabrication and Assembly”, Printed Circuits Handbook, Sixth Edition, McGraw-Hill, Chapter 19.1.,2008
- [3] Brengi, D., S. Guberman, G. Rodríguez, and M. Acevedo, “Diseño de placas para entrenamiento y puesta a punto de una línea de ensamble de circuitos impresos con tecnología de montaje superficial”, Congreso Argentino de Sistemas Embebidos 2024, ISBN: 978-631-90145-2-5, pp. 102–105, 2024. Link
- [4] Pixart S.R.L., “Pixart Argentina”. Link.
- [5] Brengi, D., S. Guberman, G. Rodríguez, M. Acevedo, and A. Lozano, “Nueva planta piloto para prototipado e investigación de circuitos impresos”, Congreso Argentino de Sistemas Embebidos 2024, ISBN: 978-631-90145-2-5, pp. 63–66, 2024. Link
- [6] X5600 X-ray Inspection System, “Seamark SMT Solutions”. Link.
- [7] The GIMP Team, “GNU Image Manipulation Program (GIMP)”. Link.
- [8] IPC, Association Connecting Electronics Industries, “IPC-A-610, Acceptability of Electronic Assemblies”, versión J, marzo de 2024. Link.
- [9] IPC, Association Connecting Electronics Industries, “IPC-7095C, Design and Assembly Process Implementation for BGAs”, versión C, enero de 2013. Link.