

Soldadura y Entrenamiento en Chips BGA: Estudio comparativo de procesos.

Gustavo Rodríguez, Diego Brengi, Sergio Guberman 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: {grodriguez, brengi, sguberman, macevedo}@inti.gob.ar

Resumen—Este trabajo presenta las actividades realizadas para la soldadura e inspección de encapsulados Ball Grid Array (BGA). Para tal fin se diseñaron y utilizaron cupones de pruebas específicos, en combinación con diferentes chips BGA. Las pruebas se llevaron a cabo en tres escenarios complementarios: una planta piloto de prototipado en el INTI, una línea industrial de montaje superficial en la empresa Pixart S.R.L., y una estación de retrabajo especializada en BGA. Se abordaron aspectos críticos como los métodos de posicionamiento, la configuración de perfiles térmicos de soldadura y la inspección mediante rayos X. Los resultados obtenidos demostraron la utilidad de los cupones en procesos de entrenamiento, permitiendo validar procedimientos, identificar limitaciones operativas y consolidar buenas prácticas de manufactura en entornos industriales y educativos. La experiencia sentó además bases sólidas para futuros entrenamientos prácticos, la incorporación de conceptos de diseño para la manufactura y la transferencia de conocimientos sobre tecnología BGA.

Palabras clave—PCB, circuitos impresos, cupones, BGA, ensamblaje, SMT, inspección, caracterización, entrenamiento, montaje superficial, rayos X.

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología de montaje superficial ó SMT (“Surface-Mount Technology” en inglés) consiste en un método de ensamblaje de placas electrónicas, en el cual los componentes se colocan directamente sobre la superficie de la placa de circuito impreso [1]. En la actualidad, constituye una de las técnicas de ensamblaje más difundidas dentro de la industria electrónica, debido a que posibilita una mayor densidad de componentes y contribuye a mejorar la eficiencia en la producción de placas. A medida que la industria electrónica evoluciona, también lo hacen los diferentes tipos de encapsulados empleados en el montaje superficial. En este marco, los encapsulados *Ball Grid Array* (BGA) han adquirido una presencia significativa, lo que hace necesario contar con un manejo adecuado de esta tecnología durante el proceso de ensamblado de placas electrónicas.

Esto se logra mediante los procesos de puesta en marcha, calibración y entrenamiento de las líneas de ensamblaje SMT, los cuales generalmente se realizan utilizando placas de prueba, comúnmente denominadas *cupones*. Estas pueden ser de diseño propio, comerciales o provistas por alguno de los proveedores del equipamiento involucrado en la línea. Para

la realización del presente trabajo se emplearon cupones de diseño propio.

I-A. Cupones

Los *cupones* son estructuras de prueba y/o control de calidad que se ubican en el mismo panel de ensamble, generalmente en los márgenes del circuito impreso que se desea fabricar. Por este motivo, suelen tener dimensiones reducidas, de modo que no afecten significativamente el área útil disponible. La Figura 1 muestra un ejemplo de la disposición de estos cupones dentro de un panel de fabricación.

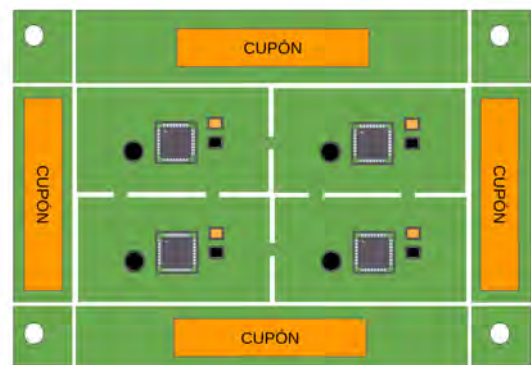


Figura 1. Panelizado de un circuito impreso con una distribución de cupones típica.

La norma IPC-2221B [2], en sus apéndices A y B, definen varios cupones de prueba orientados a evaluar características de fabricación. Algunos ejemplos son:

- **Cupón A/B:** Contiene agujeros metalizados que se utilizan para evaluar estrés térmico, retrabajo y fisuras en el cilindro metalizado (vía).
- **Cupón C:** Utilizado para testear la fuerza necesaria para despegar el cobre del sustrato.
- **Cupón D:** Evalúa la resistencia de interconexión y continuidad.
- **Cupón M:** Destinado a probar la soldabilidad en componentes SMD.

Ninguno de los cupones mencionados en la norma IPC-2221B tienen como finalidad la prueba ni el entrenamiento con el

equipamiento que integra una línea de ensamble SMT. Por este motivo, se diseñaron cupones específicos para el presente trabajo. En [3] se detallan los criterios adoptados para su diseño y la forma en que fueron implementados. Estos diseños también se emplean con fines de entrenamientos, actividad considerada fundamental para la enseñanza y el perfeccionamiento de los conceptos de *Diseño para la Manufacturabilidad (DFM)* [4] [5].

I-B. Chips de encapsulados BGA

Los encapsulados *BGA (Ball Grid Array)* constituyen una tecnología ampliamente consolidada en el sector electrónico, reconocida por su capacidad para alojar una alta densidad de conexiones en un espacio reducido (Ver Fig 2). Dentro de la familia de este tipo de encapsulados (*Grid Array*), ofrecen una mejor relación entre costo y facilidad de uso en comparación con alternativas como *Pin Grid Array (PGA)* o *Land Grid Array (LGA)*. En la actualidad, es común que

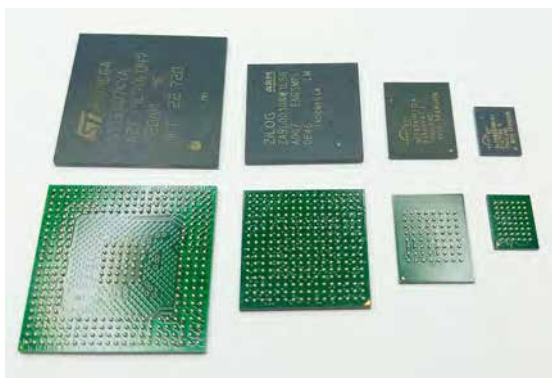


Figura 2. Chips BGA con diferentes encapsulados BGA-324, BGA-256, BGA-64 y BGA-48. Estos son los que fueron utilizados para desarrollar el presente trabajo.

los nuevos circuitos integrados con funcionalidades avanzadas estén disponibles únicamente en este formato. Esta tendencia ha impulsado la estandarización del uso de encapsulados BGA en la industria local. Sin embargo, su adopción plantea diversos desafíos técnicos [6], tanto en el diseño como en la precisión del posicionamiento durante el ensamble, la definición de perfiles térmicos de soldadura y las posteriores tareas de inspección. En un escenario global donde la fabricación y el ensamble de dispositivos electrónicos se concentran en países como China, podría parecer innecesario promover la producción local de placas electrónicas con estos encapsulados. No obstante, existen varias razones 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 ensamble) [4].
- 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.

II. DISEÑO DE CUPONES Y PANEL DE PRUEBA

Los circuitos electrónicos suelen tener una gran variedad de componentes electrónicos. Por ese motivo, para llevar a cabo el presente trabajo se diseñó una placa que integra diferentes encapsulados, incluyendo chips BGA.

Basándose en los diseños de cupones presentados en trabajos previos [3], se desarrollaron dos cupones adicionales (MIX-01 y MIX-02) con el objetivo de incluir distintos tipos de encapsulados. Como resultado, se obtuvo una placa de pruebas conformada por la combinación (ver Fig. 3) de tres cupones diferentes:

- **Cupón MIX-01:** Contiene encapsulados del tipo 0402, SOD80C/MiniMELF, SOT23, SOIC-14, BGA-48, BGA-256 y BGA-324.
- **Cupón MIX-02:** Contiene encapsulados del tipo 0805, 0603, 0402 y 0201.
- **Cupón DO-214AC-SO8:** Contiene encapsulados DO-214AC y encapsulado SO8.

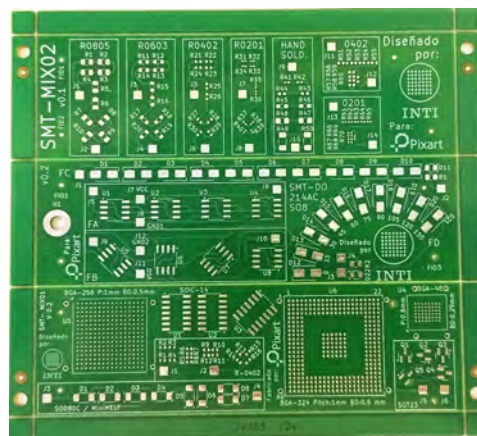


Figura 3. Placa de prueba conformada por la combinación de tres cupones diferentes.

El tamaño y la forma de los cupones diseñados tuvieron como objetivo facilitar su ubicación en los bordes de un panelizado o su combinación entre sí para obtener un panel de prueba. Cada cupón posee un tamaño de 10x3 cm, fue diseñado en KiCad [7] [8] y pensado para fabricarse en una sola capa (simple faz).

III. ESCENARIOS DEL PROCESO

Utilizando el mismo panel, se realizaron pruebas en dos líneas de ensamble SMT y en una estación de retrabajo especializada en chips con encapsulados BGA.

En ambas líneas de ensamble se empleó el mismo esténcil de acero inoxidable y la misma pasta de estaño con plomo, marca ALPHA modelo OM-5300 (62Sn/36Pb/2Ag).

A continuación, se presentan los diferentes escenarios empleados y sus respectivos casos de aplicación.

III-A. Planta Piloto de armado en INTI

En el área de Micro y Nanotecnologías del INTI funciona una planta piloto para el prototipado de circuitos impresos [9],

que cuenta con equipamiento para el armado, la inspección y el retrabajo en baja escala. Esta línea está orientada a la producción de los primeros prototipos de un producto o sistema electrónico, así como a actividades de capacitación. Los equipos involucrados (ver Fig. 4) en esta línea son:

- Impresora para estencil modelo NeoDen FP2636 (manual).
- 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.



Figura 4. Línea SMT de prototipado en INTI. De izquierda a derecha: pick-and-place y horno de refusión.

III-B. Línea de armado en Pixart S.R.L

La empresa Pixart S.R.L. [10], ubicada en la Plaza Industrial de Escobar, provincia de Buenos Aires, dispone de dos líneas de montaje superficial: una de alto volumen y otra de volumen medio. Para el presente trabajo se empleó esta última línea, conformada (ver Fig. 5) por el siguiente equipamiento:

- Impresora para estencil modelo G5 de la firma GKG (automática).
- 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.



Figura 5. Línea SMT en Pixart S.R.L. De izquierda a derecha: Impresora de estencil, pick-and-place y horno de refusión.

III-C. Estación de Retrabajo PACE IR-3000

Dentro del laboratorio de electrónica en el área de Micro y Nanotecnologías del INTI, junto a la planta piloto para el prototipado de circuitos impresos, se encuentra una estación de retrabajo especializada en chips de tecnología BGA. El equipo utilizado (ver Fig. 6) corresponde al modelo IR-3000 de la firma PACE, el cual emplea tecnología de calor por infrarrojos para realizar procesos soldadura y desoldadura de estos chips. Este cuenta con un sistema visual compuesto de un prisma y una mecánica de alta precisión para el posicionamiento del componente.

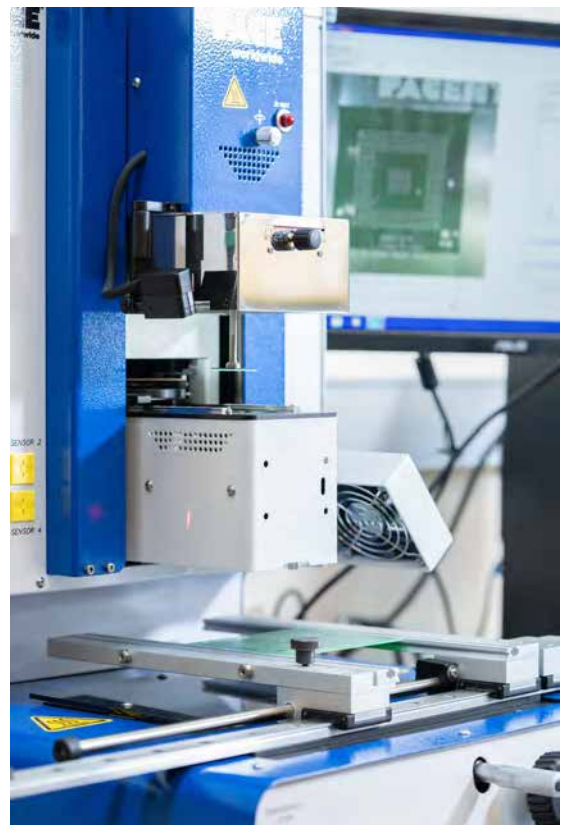


Figura 6. Equipo PACE IR-3000 para retrabajo de chips BGA. En el centro de la imagen se observa el sistema de prisma entre el chip bga y la placa.

IV. ACTIVIDADES REALIZADAS

En esta sección se describen algunos de los aspectos más críticos y relevantes del entrenamiento de soldadura de chips BGA y del posterior tratamiento y análisis de las imágenes radiográficas. Se hace especial énfasis en las etapas de posicionamiento, soldadura e inspección.

Existen numerosos factores que deben considerarse para utilizar un BGA correctamente, desde la etapa inicial de diseño del PCB hasta la inspección final. En la presente experiencia se emplearon varios encapsulados, mostrados en la Figura 2, cuyas características principales se resumen en la tabla I:

Tabla I
ENCAPSULADOS BGA UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS.

Nombre	N° 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

IV-A. Posicionamiento con sistema de visión

En la línea de ensamblaje para prototipado se utilizó un equipo pick-and-place modelo LE40V, provisto de un sistema de visión que mejora la precisión mecánica en la colocación de componentes. Para operar este sistema, se configuró previamente un patrón de reconocimiento para cada componente. El procedimiento consistió en que el equipo levantara el componente con una boquilla, lo trasladara hasta la cámara fija, comparara la imagen con el patrón y verificara su correcta orientación. En caso afirmativo, el componente era ubicado en su posición final sobre el PCB. La Figura 7 muestra un ejemplo del reconocimiento de patrón y la verificación del posicionamiento.

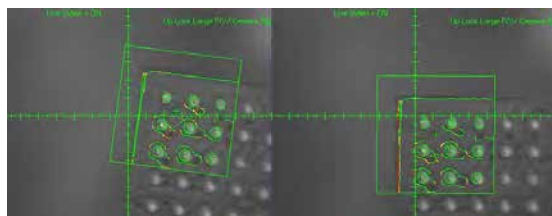


Figura 7. Reconocimiento de patrón en un chip BGA. Con error de posicionamiento (izquierda). Posición correcta (derecha).

IV-B. Posicionamiento con prisma

El equipo IR-3000 emplea un sistema óptico basado en prisma para superponer la imagen de la huella del PCB con la de las bolitas del BGA. Esta imagen combinada se envía a una cámara y se visualiza en la PC, lo que permite al operador, mediante micrómetros de alta precisión, alinear el componente hasta que los pads coincidían con las bolitas. Una vez alcanzada la alineación, el prisma se retira y el chip descende sobre la placa.

La Figura 8 ilustra este proceso de alineación.

IV-C. Soldadura

La soldadura de los encapsulados BGA se realizó principalmente mediante hornos de refusión multizona, ajustados de modo que siguieran el perfil térmico recomendado para este tipo de componentes. Para las pruebas, se utilizaron dos hornos distintos: uno de 3 zonas y otro de 10 zonas. En la Figura 9 se muestra el cupón específico para BGA, con los componentes ya soldados.

Por otro lado, se empleó el equipo IR-3000 el cual dispone de fuentes de calor por infrarrojo superior e inferior, monitoreo de temperatura, y control en lazo cerrado. Estas

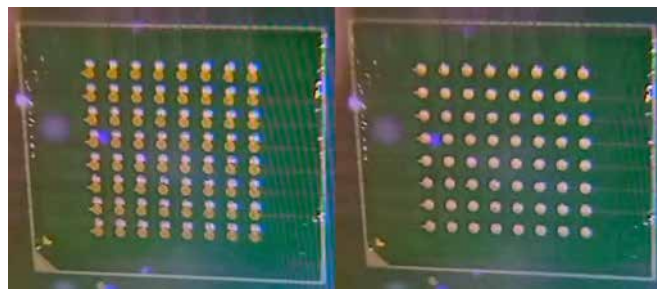


Figura 8. Vista compuesta de un chip BGA-64 y la placa, usando un prisma. Placa y chip desalineados (izquierda). Placa y chips alineados (derecha).

características permiten definir en el software perfiles térmicos personalizados, adecuados a las necesidades del componente.

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.

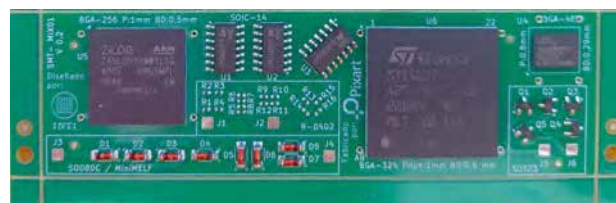


Figura 9. Cupón MIX-01, específico para encapsulados BGA finalizado el proceso de soldadura.



Figura 10. Equipo de rayos X con el que se obtuvieron las imágenes radiográficas.

IV-D. Inspección con rayos X

Una de las principales dificultades en el uso de encapsulados BGA es la imposibilidad de inspeccionar visualmente todos los puntos de soldadura para verificar contacto eléctrico, ausencia de cortocircuito, calidad de la soldadura, entre otros aspectos. Por este motivo, se recurrió a la inspección mediante equipos de rayos X para controlar el proceso e investigar fallas. Para este trabajo se utilizó un radiógrafo modelo X5600 (ver Fig. 10) de la firma Seamark [11], con un rango de voltaje de operación del tubo entre 40 y 90 kV. Este equipo trabaja fuera de la línea de ensamble.

Algunas de las imágenes obtenidas se pueden ver en las Figuras 11 y 12.

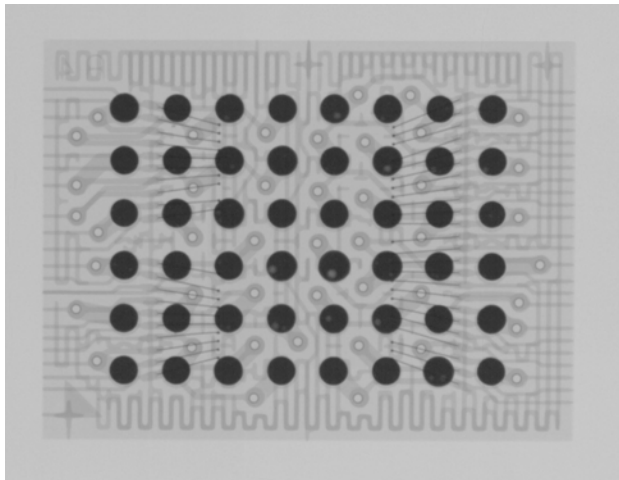


Figura 11. Radiografía del chip BGA-48, soldado en la placa de pruebas.



Figura 12. Pantalla del equipo radiográfico, al inspeccionar un chip BGA-256 soldado en la placa de pruebas.

IV-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. 13 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), resultando 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 transformaciones como escalado, rotación o perspectiva a una de las imágenes. Esta técnica necesita de puntos de referencia en ambas, 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. 14 se observa una imagen obtenida con esta técnica, 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 [12] para la edición de imágenes.

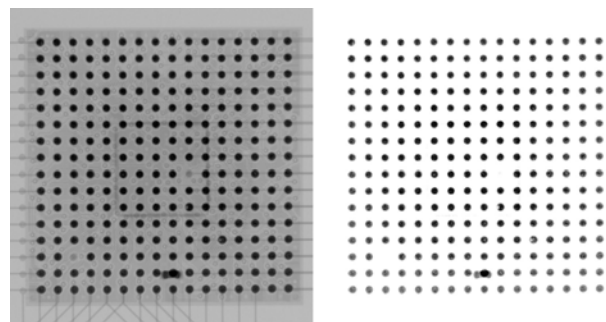


Figura 13. Radiografía de chip BGA-256 con dos bolitas faltantes. Imagen sin procesar (izquierda). Imagen postprocesada para realzar la falla (derecha).

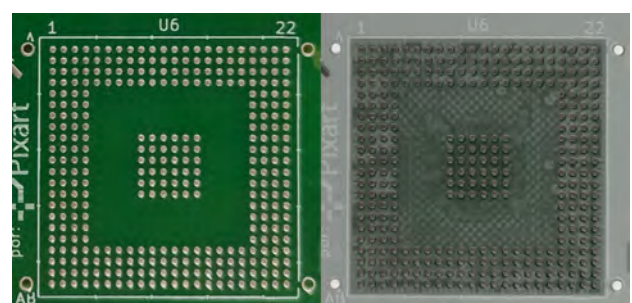


Figura 14. Placa vacía (izquierda). Radiografía de chip BGA-324 superpuesta con una foto de la placa vacía, usando cuatro vías de referencia (derecha).

V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A lo largo del trabajo se emplearon distintos encapsulados, placas de prueba, equipos y métodos aplicados al

posicionamiento y la soldadura. En los tres escenarios analizados, el proceso de soldadura de componentes BGA arrojó resultados aceptables. En todos los casos se recurrió a imágenes de rayos X para observar y analizar los resultados. Esta revisión resultó relevante para validar los procesos de soldadura, identificar fallos y proponer posibles soluciones.

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 evidenció 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 radicó en la capacidad del operario para configurar y optimizar de los procesos. La destreza se manifestó en la parametrización precisa del equipo —como la velocidad de impresión, la presión del squeegee y la separación del estencil—, así como en el diseño de perfiles térmicos complejos y estables que garantizaron la repetibilidad en miles de unidades.

En contraste, la línea de prototipado, que empleó una impresora de estenciles manual y un horno de tres zonas, demandó un conjunto de habilidades marcadamente diferentes. En este caso, la pericia manual y agudeza visual del operario constituyeron el eje central del proceso. El éxito del ensamblaje de componentes BGA dependió directamente de la precisión en la alineación del estencil sobre los pads del PCB y de la deposición uniforme de la pasta de soldar. Además, la gestión del horno de tres zonas exigió 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 un estudio más profundo de la temática. En conjunto, el trabajo validó procesos, identificó limitaciones operativas y estableció bases sólidas para futuros entrenamientos prácticos con tecnología BGA en entornos locales. De este modo, se favorece la vinculación con el sector industrial, que puede encontrar en esta tecnología una oportunidad para fortalecer sus procesos

de manufactura.

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] Wikipedia, The Free Encyclopedia, “Surface-mount technology”, en.wikipedia.org/wiki/Surface-mount_technology (accedido el 19 de agosto, 2025).
- [2] IPC, Association Connecting Electronics Industries, “IPC-2221B, Generic Standard on Printed Board Design, APENDIX A”, versión 4.0, abril de 2022. Link.
- [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] Happy Holden, Clyde F. Coombs; “Planning for Design, Fabrication and Assembly”, Printed Circuits Handbook, Sixth Edition, McGraw-Hill, Chapter 19.1., 2008.
- [5] M. K. Bhatti et al., “Hands on training on surface mount technology (SMT) assembly line for development of LED based lights”, 2013 IEEE 5th Conference on Engineering Education (ICEED), Kuala Lumpur, Malaysia, 2013, pp. 37–42, doi: 10.1109/ICEED.2013.6908299. Link.
- [6] 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.
- [7] “KiCad EDA - Schematic Capture & PCB Design Software”, www.kicad.org (accedido el 6 de mayo, 2024).
- [8] Medrano, A., Ángel Serra and Carlos Hernández Soto. “KiCad, Herramienta de Software Libre de Modelado de Circuitos Impresos para el Desarrollo de Hardware”, Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 38, No. 2, pp. 177-186, 2017. ISSN 1316-7081. ISSN Elect. 2244-8780. Universidad de Los Andes (ULA). Link.
- [9] 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.
- [10] Pixart S.R.L., “Pixart Argentina”. Link.
- [11] X5600 X-ray Inspection System, “Seamark SMT Solutions”. Link.
- [12] The GIMP Team, “GNU Image Manipulation Program (GIMP)”. Link.
- [13] IPC, Association Connecting Electronics Industries, “IPC-A-610, Acceptability of Electronic Assemblies”, versión J, marzo de 2024. Link.
- [14] IPC, Association Connecting Electronics Industries, “IPC-7095C, Design and Assembly Process Implementation for BGAs”, versión C, enero de 2013. Link.