

# Utilización de cupones para la puesta en marcha, capacitación y entrenamiento en líneas de ensamblaje SMD

Sergio Guberman, Diego Brengi, Gustavo Rodríguez, Marcelo Acevedo y Salvador Tropea

*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}@inti.gob.ar

**Resumen**—En este trabajo se presenta la utilización de “cupones” de prueba para realizar la puesta en marcha, calibración y ajuste de líneas de ensamblaje de tecnología de montaje superficial (SMT). La experiencia se realizó en dos líneas diferentes: La Planta Piloto de armado en el INTI, y la línea SMT de la empresa Pixart S.A.

Los cupones han demostrado su utilidad para medir y comparar aspectos clave como la repetibilidad en la aplicación de pasta de estaño, la precisión en el posicionamiento automático de componentes y la calidad de la soldadura en cada línea. También han sido de gran importancia para brindar capacitación a los técnicos y operarios, por ejemplo en la configuración del equipamiento, conceptos de inspección, y para refinar los procedimientos en general, fomentando la adopción de buenas prácticas de manufactura tanto en entornos industriales como en ámbitos de investigación y formación.

**Palabras clave**—PCB, circuitos impresos, diseño, cupón, montaje, ensamblaje, SMT, montaje superficial, caracterización, entrenamiento

## I. INTRODUCCIÓN

Los cupones de prueba pueden ser herramientas valiosas para la calibración de los equipos que conforman las líneas de ensamblaje de tecnología de montaje superficial (SMT) [1] [2]. A través del uso de estos cupones, se puede verificar y comparar parámetros como la precisión en el posicionamiento o la calidad de la soldadura, evaluando máquinas y procesos, así como también permiten entrenar a operadores en la detección temprana de defectos de soldadura, y reforzar la adopción de buenas prácticas de manufactura por parte de los diseñadores.

## II. DISEÑO DE CUPONES

Los circuitos electrónicos suelen tener una gran variedad de componentes electrónicos. Es por este motivo que, para esta primera experiencia, se decidió armar una placa de prueba con varios encapsulados diferentes.

Basándonos en los diseños de cupones ya presentados anteriormente [2], se diseñaron dos cupones adicionales (MIX-01 y MIX-02) con el objetivo de agregar distintos tipos de encapsulados. En la placa de pruebas fabricada finalmente se combinaron tres cupones:

- **Cupón MIX-01:** Contiene encapsulados del tipo 0402, SOD80C/MiniMELF, SOT23, SOIC-14, BGA-48 (Ball Grid Array), 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.

Cada uno de estos cupones tiene un tamaño de 10x3 cm, esta diseñado con KiCad [3] [4] y pensado para fabricarse en una sola capa (simple faz).

La documentación y los archivos de fabricación de cada cupón fue generada automáticamente con la herramienta KiBot, implementando metodologías CI/CD en el entorno que provee GitHub [5] [6] [7] [8]. Esta herramienta permite controlar el flujo de trabajo, automatizando tareas como la verificación ERC y DRC, generación de archivos gerber, listado de materiales y vistas 3D.

## III. PANEL DE PRUEBA

El tamaño y la forma de los cupones diseñados tienen como objetivo que los mismos resulten fáciles de ubicar en los bordes de un panelizado, o que puedan combinarse fácilmente entre sí para obtener un panel de prueba.

Para este caso de aplicación se utilizó una combinación de los tres cupones mencionados anteriormente, para lograr la mezcla adecuada de encapsulados y el grado de dificultad requerida en un único panel de pruebas.

En la Figura 1 se muestran las dimensiones del panel resultante. Este panel fue confexionado y fabricado por una empresa argentina [9] en material FR4, espesor de 1,6 mm y utilizando una terminación HASL (Hot Air Solder Leveling). Cada panel tuvo un costo aproximado de 4,5 dólares en un lote de 70 unidades. En la Figura 2 se observa el panel fabricado.

## IV. DOS CASOS DE APLICACIÓN Y ESTUDIO

Utilizando el mismo panel, se realizaron pruebas en dos líneas de ensamblaje SMT. Mencionamos a continuación estos casos de aplicación.

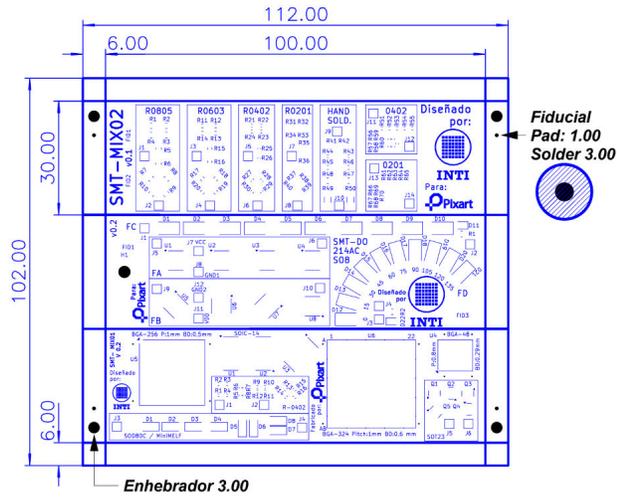


Figura 1. Dimensiones del panel de prueba, realizado con la combinación de tres cupones.

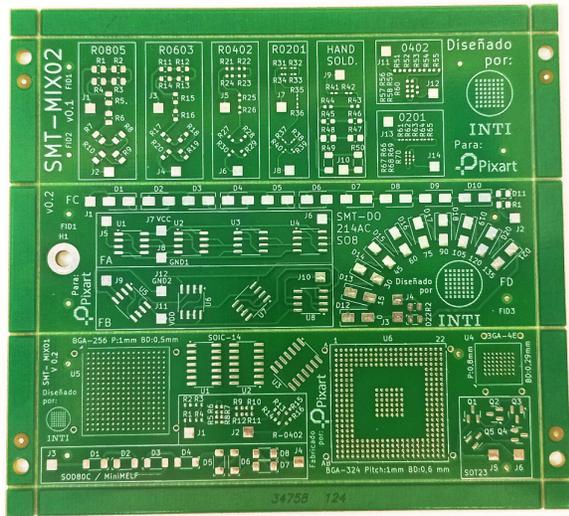


Figura 2. Foto del panel conformado por tres cupones. La placa contiene componentes 0201, 0402, 0603, SOIC-14, SOT-23 y BGA entre otros.

#### IV-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 [10] que posee equipamiento para el armado, inspección y retrabajo en baja escala, enfocada en la producción de los primeros prototipos de un producto o sistema electrónico, y también en actividades de capacitación. Los equipos involucrados en esta línea son (Ver Figura 3):

- Impresora para stencil 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 3. Línea SMT de prototipado en INTI. De izquierda a derecha: Pick and Place y horno de refusión.

#### IV-B. Línea de armado en Pixart S.R.L.

La empresa Pixart [11], en su planta ubicada en la Plaza Industrial de Escobar, provincia de Buenos Aires, posee dos líneas de montaje superficial, una de alto volumen y otra de volumen medio. Para este estudio se utilizó esta última línea, la cual esta conformada por el siguiente equipamiento (Ver Figura 4):

- Impresora para stencil 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 4. Línea SMT en Pixart S.R.L. De izquierda a derecha: Impresora de stencil, Pick and Place y horno de refusión.

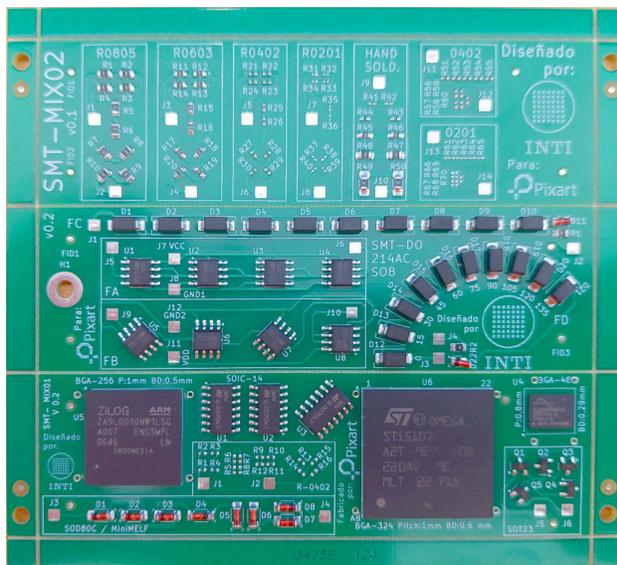
## V. RESULTADOS

La puesta en marcha de una línea de ensamblaje involucra un gran despliegue técnico y varias horas de trabajo. Podemos mencionar algunas de las actividades que son necesarias realizar:

- Manejo de placas y componentes.
- Limpieza e instalación del stencil.
- Selección y manejo de la pasta de estaño.
- Gestión de stock de componentes electrónicos y carga de los mismos (rollos y bandejas) en la Pick and Place.

- Carga de la información y secuencia de posicionamiento para la Pick and Place, incluyendo el manejo de fiduciales.
- Selección y configuración del perfil de temperatura, con sus pruebas asociadas.
- Controles de proceso e inspección en cada etapa y en el resultado final, como por ejemplo el uso de microscopios o sistemas AOI (Automated Optical Inspection).
- Mantenimiento de los equipos.
- Protocolos de seguridad, gestión de la calidad y sistemas de trazabilidad.
- Conocimiento y consulta de normas, como por ejemplo la IPC-A-610 [12] entre otras.

Se fabricaron varios paneles en ambas líneas de armado, con el personal técnico propio de cada una de ellas. En la Figura 5 se muestra un panel armado. En las Figuras 6, 7, 8 y 9 se pueden observar sectores de los cupones correctamente soldados.



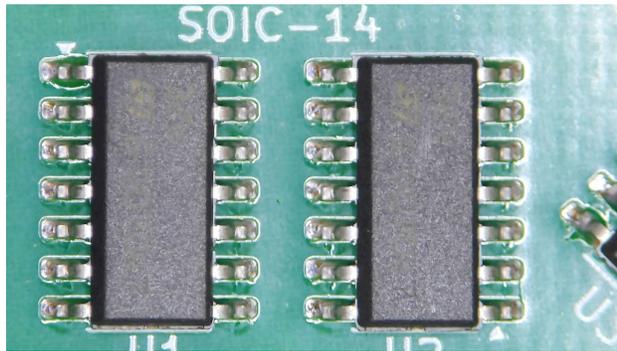


Figura 9. Circuitos integrados con encapsulado SOIC-14 soldados en el cupón.



Figura 10. Configuración errónea del componente D22 en la Pick and Place.

nando las placas resultantes, por ejemplo observando la calidad de las soldaduras y detectando errores de posicionamiento.

- Comparar resultados entre distintas líneas de producción, analizando tiempos de proceso y eficiencia.

El análisis de los componentes BGA, presentes en el panel de pruebas, será presentado en otro trabajo, ya que merece un tratamiento particular y detallado.

## VII. TRABAJO FUTURO

Como próximo paso se planea incorporar más cupones, por ejemplo para la prueba de componentes como PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier), QFP (Quad Flat Package) y QFN (Quad Flat No-Leads). Además se propone realizar placas de prueba con ejemplos de buenas y malas prácticas, con fallas y errores intencionales, de manera de tener una herramienta educativa adicional que refuerce en el diseñador de PCBs los conceptos de Diseño para la Manufacturabilidad (DFM) [13] y Diseño para el armado (DFA).

## VIII. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo y la confianza depositada en nosotros por parte de la empresa Pixart S.R.L., en especial a Gabriel Ortiz y Juan Pablo Menditto. También debemos mencionar 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 donar los kits con los componentes BGA que fueron utilizados en nuestras pruebas.

## REFERENCIAS

- [1] Wikipedia, The Free Encyclopedia, "Surface-mount technology", en.wikipedia.org/wiki/Surface-mount\_technology (accedido el 9 de abril, 2025).
- [2] 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
- [3] "KiCad EDA - Schematic Capture & PCB Design Software", www.kicad.org (accedido el 6 de mayo, 2024).
- [4] 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.
- [5] S. Tropea, "Generación automática de archivos de fabricación en KiCad", Congreso Argentino de Sistemas Embebidos 2020, ISBN: 978-987-46297-7-7 , pp. 104–106, 2020. Link
- [6] "KiBot, a robot to easier our KiCad journey", Link (accedido el 9 de abril, 2025).
- [7] A. Shmakov, "PCBOps: Applying CI/CD to PCB design projects", KiCon 2019, 2019. Link (accedido el 9 de abril, 2025).
- [8] A. Mahpour, "Continuous integration and deployment in ECAD", 2020. Link (accedido el 9 de abril, 2025).
- [9] Ernesto Mayer S.A, "Mayer Circuitos Impresos". Link.
- [10] 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
- [11] Pixart S.R.L, "Pixart Argentina". Link.
- [12] IPC, Association Connecting Electronics Industries, "IPC-A-610, Acceptability of Electronic Assemblies", versión J, marzo de 2024. Link.
- [13] Happy Holden, Clyde F. Coombs; "Planning for Design, Fabrication and Assembly", Printed Circuits Handbook, Sixth Edition, McGraw-Hill, Chapter 19.1.,2008.