

SISTEMA DE PROTOTIPADO ELECTRÓNICO PROTO3D®; APLICACIONES A LA DOCENCIA

A. Vega¹, J.M. Cerezo², J. Monagas³, M. Enriquez⁴ y S. León⁵

Instituto Universitario de Microelectrónica Aplicada

Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

¹avega@iuma.ulpgc.es, ²cerezo@iuma.ulpgc.es, ³monagas@iuma.ulpgc.es,

⁴menriquez@diea.ulpgc.es, ⁵sonia@iuma.ulpgc.es

RESUMEN

En este trabajo se realiza una presentación general del sistema de prototipado electrónico denominado Proto3D. Este sistema se basa en la interconexión mecánica y eléctrica de módulos de circuitos impresos mediante lengüetas fabricadas en el contorno del sustrato. Se comentan las características generales, tipo de módulos, métodos de interconexión, sistemas de evaluación desarrollados, así como una comparativa con las técnicas clásicas de prototipado electrónico.

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realiza una presentación general de las características y la metodología de uso de un nuevo sistema de prototipado electrónico denominado Proto3D, el cual permite el montaje modular, rápido y eficiente de sistemas electrónicos con alto número de interconexiones [1]. Se caracteriza por la utilización de módulos de circuitos impresos interconectados mediante un “conector de contorno” especial, fabricado sobre el propio circuito impreso que compone el módulo. La utilización de este tipo de conector reduce significativamente la superficie requerida para la interconexión, así como el coste y peso del sistema final. Sus características principales son las siguientes:

- Permite el prototipado electrónico con componentes SMD y de inserción.
- Todos los conectores son macho/hembra simultáneamente, lo que permite múltiples tipo de interconexión entre módulos.
- Los módulos pueden ser reutilizados sin deterioro de los contactos.
- Distribución de las señales de GND y VDD a través de los conectores de contorno.
- Alto número de señales de E/S.
- Los contactos permiten trabajar con señales analógicas y digitales.
- No se producen falsos contactos ya que las uniones son soldadas.
- Tiempos de desarrollo más cortos en sistemas complejos.
- Posibilidad de trabajar en tres dimensiones lo que facilita el trabajo con buses.
- Pueden emplearse módulos especiales que permiten trabajar en montajes mixtos Proto3D/Wire-Wrapping/Protoboards.

Con Proto3D se puede trabajar en dos y tres dimensiones. Las herramientas clásicas de diseño electrónico están concebidas para trabajar en dos dimensiones, aunque existen un número suficientemente amplio de casos en los que al ensamblar varias tarjetas mediante conectores el sistema final presenta una estructura tridimensional.

Desde que en los albores de la electrónica se requirieron fabricar distintos circuitos impresos con objeto de su interconexión mediante conectores, hasta la fecha, muchos han sido los sistemas, que de una forma u otra, han solucionado la interconexión entre los elementos o tarjetas. Alguno de los mecanismos de interconexión ampliamente utilizados han sido: conexión de tarjetas perpendicularmente sobre placas base (buses ISA, PCI, AGP, etc.), conexiones a 90° utilizando tiras de pines acodados, conexiones apiladas de dos placas mediante tiras de pines rectos, inserción de módulos de memoria perpendiculares o inclinados con respecto al sustrato del circuito impreso, apilamiento de placas PC104, etc.

El sistema Proto3D permite el montaje de estructuras tridimensionales mediante el empleo de unos conectores especiales denominados módulos de enlace 3D. Con la utilización de estos conectores es posible el ensamblaje de módulos en posiciones muy diversas, lo que permitirá al diseñador seleccionar el tipo de estructura que mejor se ajuste a su diseño concreto.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA PROTO3D

El proceso de fabricación consiste en mecanizar el borde de un circuito impreso en forma de lengüetas (Fig. 1.a), cuyo diseño es tal, que al engarzar dos piezas mediante un desplazamiento perpendicular al plano del circuito, éstas queden mecánicamente unidas [2]. En Fig. 1.b se observa la sección transversal del conector estándar que se utiliza y que tiene un total de 22 contactos (11 por cada lado del circuito impreso). Los contactos de las esquinas están siempre unidos a GND y los centrales preferentemente a VCC, por lo que quedan 16 contactos para señales de entrada/salida. Los módulos de componentes siempre utilizan un número entero de conectores de contactos.

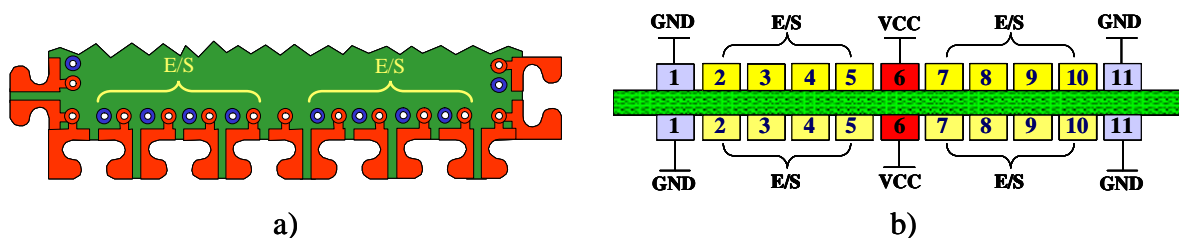


Fig.1. Asignación de pines de un conector estándar

Podemos definir como módulo Proto3D cualquier circuito impreso cuadrangular que tenga ocupado su perímetro con conectores de contorno fabricados sobre el propio sustrato. El módulo normalizado más pequeño que se puede fabricar dispone de 4 conectores; uno en cada uno de sus lados. Los conectores se referenciarán, mediante letras, en sentido inverso a las agujas del reloj, comenzando por la esquina superior izquierda. Los módulos de mayores dimensiones se realizarán como múltiplos del módulo normalizado base (Fig. 2.a). Los contactos serán identificados mediante numeración, comenzando por el uno, de izquierda a derecha mirando al conector de frente, tal como se aprecia en Fig. 2.a. En Fig. 2.b se presenta un detalle de la unión entre dos módulos en el que se aprecia que el paso entre contactos es de 2.54 mm (100 mil) y la holgura de la unión entre módulos es 0.076mm (3 mil).

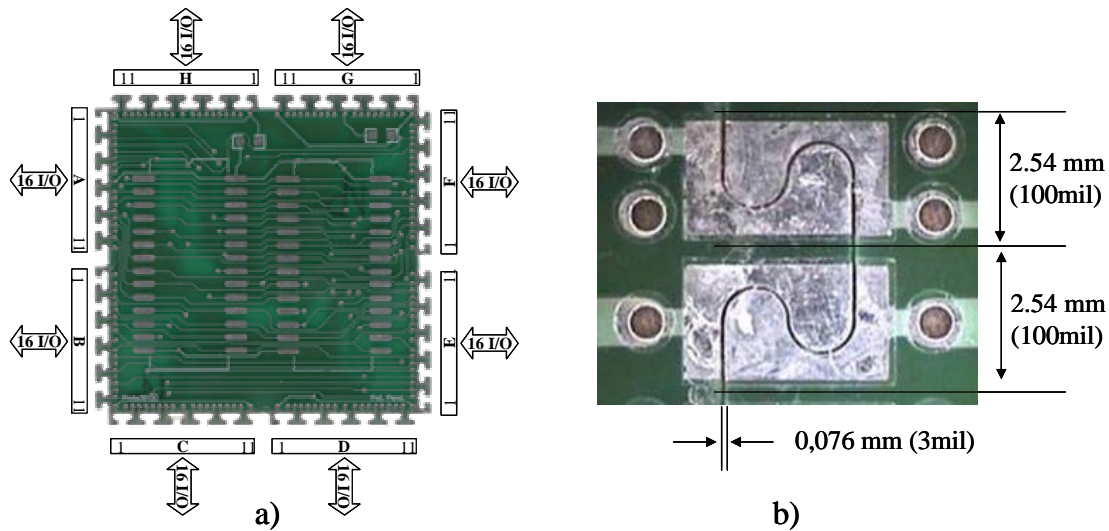


Fig.2. Asignación de conectores y detalle de la unión.

3. TIPOS DE MÓDULOS

Los módulos Proto3D se pueden clasificar según su función. De esta forma podemos encontrar módulos de componentes, módulos de enlace y módulos especiales.

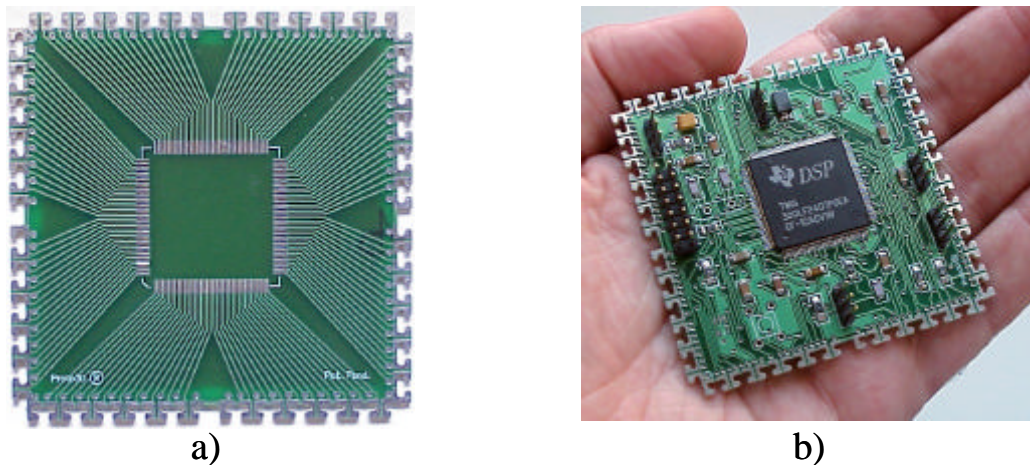


Fig. 3. Módulos de componentes

1) Módulos de componentes. Son módulos cuadrangulares de distintos tamaños que disponen en su periferia de un número par de conectores de contorno de 22 contactos. De esta forma un módulo de 1x1 dispone de 4 conectores con un total de 88 contactos, de los cuales 16 serán para GND y el resto podrá ser utilizado para VCC y señales de E/S. De igual forma podremos encontrar módulos de componentes de 2x1, 2x2, etc. En función de su aplicación estos módulos pueden ser clasificados en:

- ✓ **Módulos genéricos.** Son aquellos que únicamente incluyen geometrías (*footprint*) que permiten la soldadura de componentes electrónicos que utilicen dicha geometría u otra parecida que posibilite su soldadura (Fig. 3.a).
- ✓ **Módulos de aplicación específica.** Están diseñados de forma que incluyen toda la electrónica necesaria para la aplicación para la que están concebidos, de esta forma, podrán

ser utilizados directamente por el usuario. Dentro de este tipo de módulos podríamos encontrar módulos desarrollados sobre μC , μP y DSP's (Fig. 3.b).

- ✓ **Módulos de interconexión.** Estos módulos incorporan lógica programable de forma que mediante programación es posible realizar interconexiones entre señales de todos los conectores. Son de utilidad para interconectar módulos de aplicación específica.

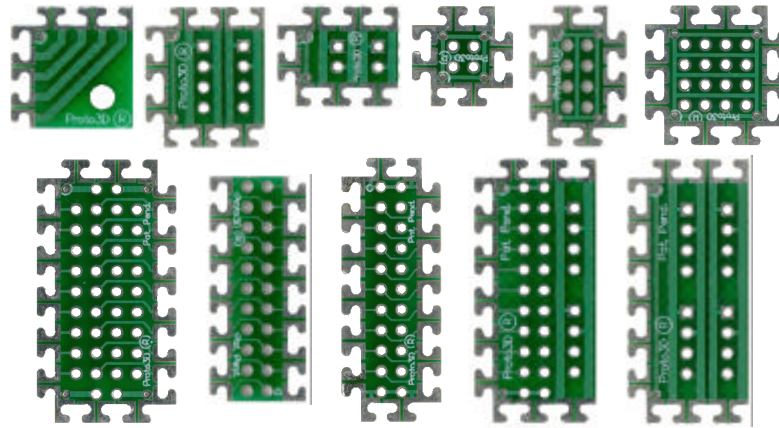


Fig. 4. Módulos de enlace 2D.

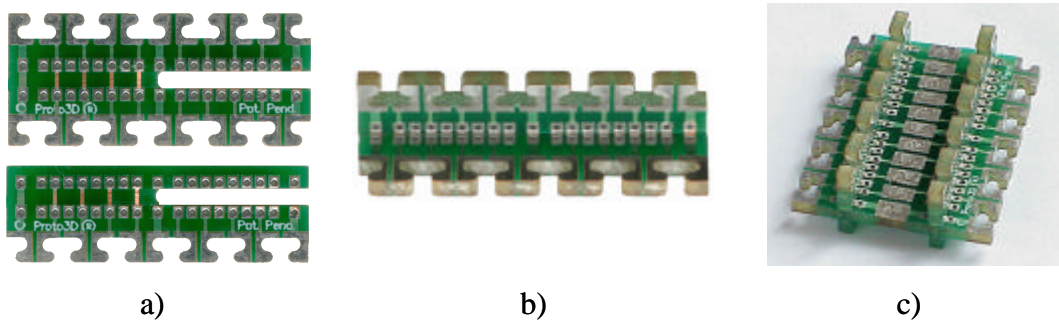


Fig. 5. Módulos de enlace 3D.

2) **Módulos de enlace.** Estos módulos no incluyen componentes electrónicos y pueden ubicarse en distintas posiciones, dependiendo de la conectividad eléctrica que se desee realizar. Su clasificación es la siguiente:

- ✓ **Módulos de enlace 2D.** Permiten acceder a los contactos de los módulos de componentes de forma sencilla, unen los distintos módulos de componentes entre sí, y suministran rigidez mecánica al conjunto. Los que disponen de un lateral recto tienen por objeto formar el contorno exterior del montaje. Estos módulos se podrán utilizar para construir hasta ocho anillos concéntricos de señales en el perímetro exterior del montaje, que podrán ser utilizados por el usuario para distribuir señales globales.
- ✓ **Módulos de enlace 3D.** Los módulos tridimensionales están formados por dos piezas de circuito impreso con uno o dos conectores de contorno que se encajan perpendicularmente entre sí (Fig. 5.a). Únicamente se requieren cuatro tipos de piezas para poder formar los distintos módulos que se necesiten. Con las distintas combinaciones de piezas se pueden obtener módulos con dos, tres o cuatro conectores de contorno. Los módulos “L” dispondrán de dos conectores, los módulos “T” de tres y los módulos “X” de cuatro. Una vez realizadas las soldaduras de unión centrales los módulos podrán ser utilizados para realizar montajes tridimensionales simples o complejos (Fig. 5.b y 5.c).

- ✓ **Módulos terminadores.** Se utilizan para finalizar los módulos de forma que éstos presenten bordes rectos. Se aprovechan además para formar un anillo exterior de masa. Los podemos encontrar rectos o de esquina (Fig. 6).



Fig. 6. Módulos Terminadores.

- 3) **Módulos especiales.** Son aquellos desarrollados para aplicaciones especiales. Entre ellos podemos señalar los módulos perforados pensados para poder realizar montajes con técnicas tipo *wire-wrapping* (Fig. 7.a) y los módulos que incorporan *protoboards* lo que permite la utilización de técnicas mixtas de prototipado (Fig. 7.b).

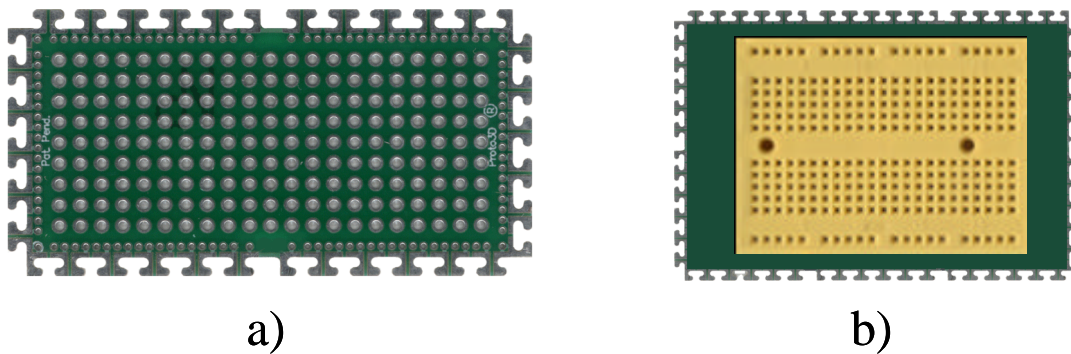


Fig. 7. Módulos Especiales.

4. MÉTODO DE MONTAJE Y SOLDADURA

El montaje mecánico de los módulos Proto3D se realiza mediante desplazamiento vertical de los sustratos, asegurándose que quedan engarzadas todas las lengüetas del conector. La exactitud con que se fabrican los conectores de contorno permite la inserción y extracción de los módulos sin esfuerzo mecánico y sin que sufran los contactos.

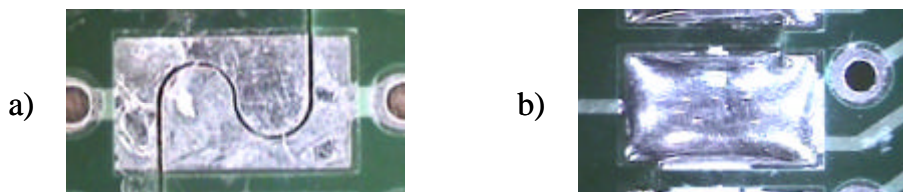


Fig. 8. Detalle de la soldadura de dos contactos

En la Fig. 8.a se aprecia en detalle la zona de contacto entre lengüetas. Para conseguir la continuidad eléctrica entre contactos hay que realizar una soldadura superficial, con cualquier soldador convencional, procurando que se cubra con estaño toda la superficie rectangular que se forma entre cada pareja de contactos (Fig. 8.b). Los módulos pueden ser desoldados y reutilizados nuevamente; esta operación podrá ser realizada con un desoldador con aspiración de estaño o mediante la utilización de una malla de cobre y un soldador convencional.

En Fig. 9.a se observa la realización de un montaje alrededor de un módulo de aplicación específica y en Fig. 9.b se aprecia un módulo de componentes genérico alrededor del cual se han montado módulos de enlace para tener acceso a todos los contactos mediante pines.

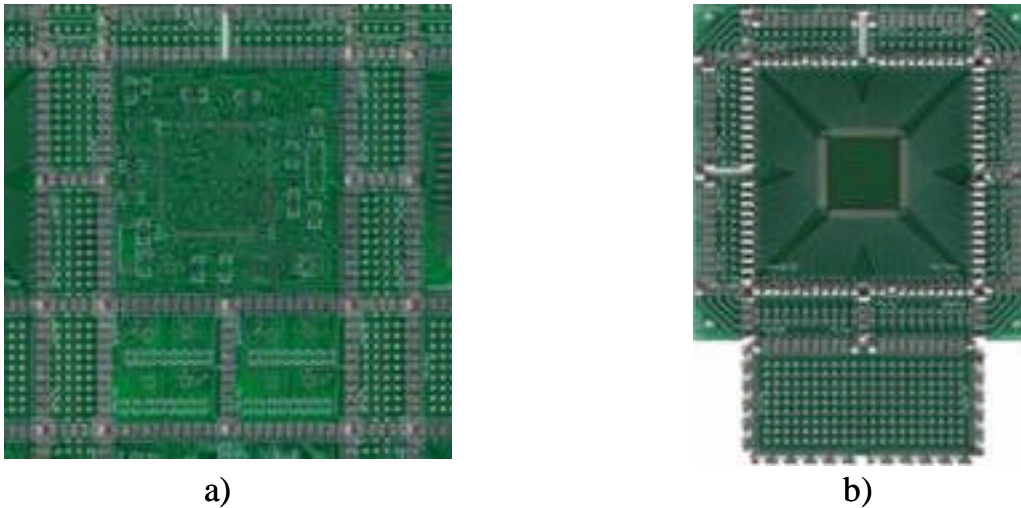


Fig. 9. Ejemplos de ensamblaje de módulos

5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Se han fabricado un número significativo de módulos con objeto de poder validar el sistema y tener experiencia de diseño. Se han abordado distintas estrategias; por un lado la fabricación de los módulos de enlace 2D y 3D, y por otro, el diseño de sistemas de evaluación a medida con objeto de analizar prestaciones. En concreto sobre los sistemas específicos probados a través de la realización de proyectos fin de carrera se han desarrollado los siguientes:

- Sistema básico de 8 bits basado en el microcontrolador MC68HC11 de Motorola (Fig. 10.a). Se ha desarrollado y probado el módulo principal, módulo de memoria y módulos de comunicaciones RS232.
- Sistema genérico de 16 bits basado en el microprocesador MC68306 de Motorola (Fig. 10.b). Se han desarrollado y probado el módulo principal del microprocesador, módulo de memoria EPROM/FLASH, módulos de memoria SRAM, módulo de programación JTAG y módulo de comunicaciones RS232.
- Sistema de 16 bits basado en el DSP TMS320LF2407 de Texas Instrument para aplicaciones de control de motores [3,4]. El sistema está compuesto por un conjunto de 18 módulos que pueden ser montados con distintas configuraciones de forma que se podrá obtener una amplia variedad de montajes finales en función de la aplicación requerida. Los módulos desarrollados inicialmente son: módulo DSP, módulos de alimentación de motor, módulo de alimentación principal, módulo de memoria RAM, módulo de extensión de líneas de control, módulo de comunicaciones CAN, módulo de comunicaciones seriales, módulos de expansión del bus y módulos de control de motor y encoger.

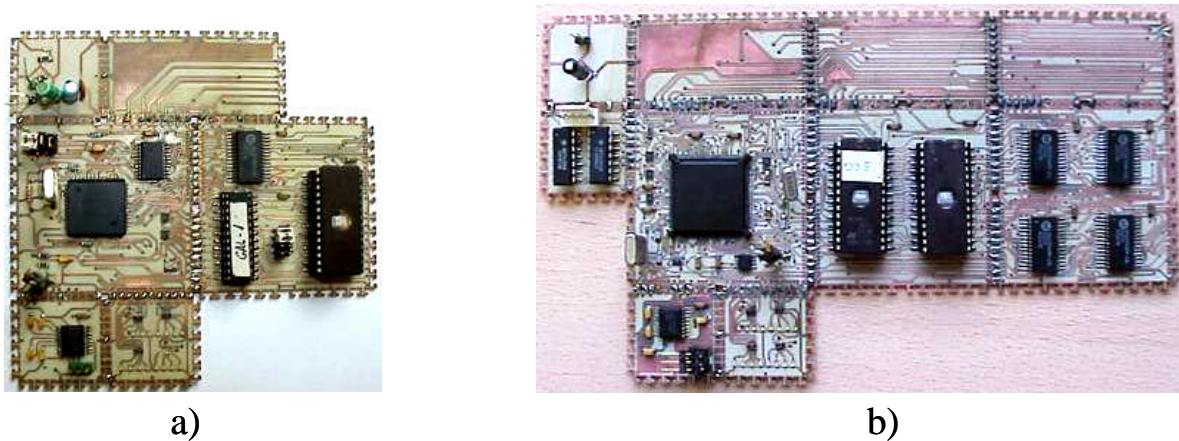


Fig. 10. Detalle de la soldadura de dos contactos

Actualmente se está trabajando en varias líneas de trabajo:

- Desarrollo librería de módulos genérica para aplicaciones con microcontroladores PIC de las familias PIC12, PIC14, PIC16, PIC17 y PIC18.
- Librería de módulos FPGA basados en las familias Spartan de Xilinx, con objeto de ser utilizados como módulos de interconexión o de aplicación específica.
- Desarrollo de una herramienta software con objeto de facilitar la utilización de los módulos FPGA como módulos de interconexión programables por el usuario.

6. COMPATIVA CON LAS TÉCNICAS DE PROTOTIPADO TRADICIONALES

En el sistema educativo universitario se requiere el montaje de prototipos electrónicos por distintas causas; por un lado, como complemento de la formación teórica del alumno, y por otro, como necesidad en la realización de prácticas de laboratorio. Además, no podemos olvidar el papel importante que suele jugar la realización de prototipos en los proyectos fin de carrera, y en las actividades de investigación y desarrollo.

La Tabla 1 presenta de forma resumida un análisis comparativo entre Proto3D y las distintas técnicas utilizadas en los laboratorios para el diseño de prototipos basándose en: el tipo de diseño, componentes empleados, material para realizar las interconexiones, capacidad de reutilizar los componentes, tiempo de montaje necesario y coste del material empleado [5-8]. De forma muy resumida, podemos indicar que las técnicas utilizadas tradicionalmente se basan en la utilización de:

- ✓ **Tarjetas perforadas** en las cuales se montan componentes de inserción y se realizan las conexiones mediante la soldadura de cableado trasero.
- ✓ **Protoboard** en las cuales se insertan componentes y circuitos integrados que se interconectan mediante cableado aéreo sin necesidad de utilizar zócalos especiales.
- ✓ **Montajes de placas con Wire Wrapping** en las cuales los componentes y circuitos de inserción se montan sobre zócalos especiales con pines largos. La conexión se realiza sobre los pines de los zócalos, enrollando el cable de cobre a su alrededor. Para ello se utiliza una herramienta, que dispone de dos agujeros, uno en el centro y otro a un lado.
- ✓ **Diseño de circuitos impresos a medida.** No es siempre el camino más rápido en el caso de pequeños montajes, debido al tiempo necesario en el diseño y fabricación del PCB.

	Tarjetas Perforadas	Protoboard	Wire Wrapping	PCB a medida	Proto3D
Tipo Diseños	Simples	Simples	Simples Intermedios	Simples Complejos	Simples Complejos
Componentes	DIP	DIP	DIP	DIP-SMD	DIP-SMD
Interconexión	Cable	Cable	Cable	Pistas	Pistas/Cables
Reutilización	SI	SI	SI	NO	SI
Tiempo Montaje	Rápido Medio	Rápido	Rápido Lento	Lento	Rápido
Coste Material	Bajo	Bajo	Medio-Bajo	Medio-Alto	Medio-Bajo

Tabla 1. Comparativa de técnicas de prototipado

Podemos concluir que Proto3D es una alternativa a las técnicas de prototipado electrónico utilizadas hasta la fecha y ha demostrado ser válida en muchos casos no cubiertos por técnicas tradicionales. En las pruebas y ensayos realizados en el laboratorio, ha demostrado ser eficiente, sobre todo, en permitir el montaje y test de componente de montaje superficial, difícilmente utilizables en laboratorio si no se realiza el diseño a medida de un circuito impreso.

9. AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado, es parte de los resultados obtenidos en el proyecto “Sistema Modular de Prototipado Electrónico en Tres Dimensiones”. Este proyecto está financiado por la Dirección General de Investigación del Ministerio de Ciencia y Tecnología, dentro del Programa Nacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones con el código TIC2001-3576. El mecanismo básico de interconexión está protegido bajo solicitud de patente PCT a nombre de la ULPGC. Proto3D es Marca Comunitaria solicitada por la ULPGC.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Vega, J.M. Cerezo, M. Chaves, A.M. Escuela y J. Monagas , “Técnicas de Prototipado Electrónico Modular en el Ámbito de la Docencia”, SAAEI, 2003
- [2] A. Vega, J. Monagas, J.M. Cerezo, A.M. Escuela, “Edge Connector for Mechanical and Electrical Interconnection of PCBs”, IECON International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 2002.
- [3] A. Vega, C. Dominguez, J.M. Cerezo, S. León, “Sistema Modular de Control de Motores DC con Comunicaciones CAN, desarrollado sobre Proto3D”, SAAEI, 2003
- [4] “Digital Signal Processing Solutions for Motor Control Using the TMS320F240 DSP-Controller” (SPRA345) (PDF Texas Instruments)
- [5] “Printed circuit Handbook” Mc Graw Hill, fourth edition, 1995. Clyde F. Coombs, Jr
- [6] R. J. K. Wassink and M. M. F. Verguld. “Manufacturing Techniques for Surface Mounted Assemblies”. Electrochemical Publications, 1995.
- [7] J. Caterina, L. Marks, “Printed Circuit Assembly Design”, McGraw-Hill, 2000.
- [8] C. Coombs, “Coombs' Printed Circuits Handbook”, 5th edition, McGraw-Hill, 2001.