

DESARROLLO DE KITS DE MICROCONTROLADORES ACCESIBLES DESDE INTERNET

*Bonifacio Martín del Brío, Antonio Bono Nuez, Alberto Marco López
y Carlos Bernal Ruiz*

*Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, EUITIZ.
Universidad de Zaragoza. antoniob@unizar.es*

RESUMEN

En este artículo se presenta el desarrollo de circuitos sencillos basados en microcontroladores cuya difusión se realiza en exclusiva desde Internet. La idea básica consiste en ofrecer a los estudiantes de asignaturas de microprocesadores un documento PDF accesible desde Internet, claro y conciso, de pequeño tamaño (rápidamente descargable) y autocontenido, que le permita el montaje y puesta en funcionamiento de una placa sencilla basada en determinado tipo de microcontrolador que pueda emplear en la preparación de una asignatura de microcontroladores, en su proyecto fin de carrera o en cualquier otro tipo de proyecto. Junto con el documento se proporciona el software (gratuito) necesario; el conjunto del “Kit” ocupa en total un número limitado de megabytes. En el artículo se expondrá la experiencia de los autores con el “Kit del 68HC11”, y se describirán los nuevos kit: “Kit del PIC” y “Kit del 68HC08”.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de sistemas basados en microcontroladores (μC) es fundamental en la formación de un ingeniero especializado en electrónica puesto que la mayor parte de los sistemas electrónicos actuales incorporan uno o varios μC [9]. Por ejemplo, en un automóvil moderno se incluyen decenas de ellos interconectados mediante una red de área local (sistema de frenado ABS, airbag, estabilización electrónica,...); por supuesto, todo tipo de control industrial incluye uno o más μC , y también éstos son abundantes en el entorno doméstico (audio y vídeo, electrodomésticos, seguridad,...).

En el desarrollo de este tipo de sistemas existen dos vertientes bien diferenciadas, aunque muy interrelacionadas: el diseño del hardware y el diseño del software; ambos aspectos deben ser sin duda practicados por el estudiante.

A menudo el desarrollo del software (programación) se practica mediante compiladores y simuladores, mientras que para el caso del hardware resulta ineludible la realización de prácticas de laboratorio con μC reales. Para el primer caso, un buen simulador es una herramienta esencial. Existen numerosos simuladores, tanto comerciales como de dominio público accesibles desde Internet [5,7]; nosotros mismos hemos desarrollado simuladores que han contado con cierta difusión [11]. Mediante simuladores gratuitos (o de precio testimonial) el alumno puede practicar la programación en ensamblador (o incluso en lenguaje C) en su propia casa.

A menudo, sobre todo en el caso de la enseñanza no presencial, el trabajo con sistemas microprocesadores puede quedarse en una mera simulación [1], pero en la formación de un ingeniero especializado en electrónica es imprescindible el trabajo con hardware real. Las alternativas existentes en este caso suelen resultar caras para un alumno medio, por lo que el empleo de placas o sistemas de desarrollo más o menos complejos a menudo se circunscribe al laboratorio. Por este motivo, en este trabajo incidimos en el desarrollo de placas de

orientación docente que un alumno medio pueda montar en casa por un precio reducido, y que pueda emplear para preparar por su cuenta una asignatura de microprocesadores, para desarrollar su proyecto fin de carrera o cualquier otro proyecto propio.

El artículo se organiza como sigue. En la Sección 2 expondremos los fundamentos de lo que nosotros denominamos “Kits de Microcontroladores”; en la Sección 3 expondremos las características del “Kit del 68HC11”, y la experiencia (muy positiva) que con él hemos tenido a lo largo de los últimos años (ahora mismo está vigente su versión 6.1); en la Sección 4 se mostrarán las características del “Kit del PIC”, y del “Kit del 68HC08”. Finalmente expondremos algunas conclusiones extraídas de los años de vigencia del primer “Kit”.

2. FILOSOFÍA DE LOS “KIT DE MICROCONTROLADORES”

Denominamos “Kit del Microcontrolador X” a un documento PDF acompañado de algunos ficheros de apoyo (compilador de ensamblador, cargador de código ejecutable,...), que permitan a un alumno de ingeniería confeccionar y poner en marcha un circuito basado en un microcontrolador de la familia X (donde X puede ser el 68HC11 de Motorola, un PIC16 de Microchip, un 68HC08 de Motorola, etc.).

Las características comunes a todos estos “Kit” son las siguientes:

- a) El circuito debe ser simple, de manera que cualquier alumno pueda construirlo en su casa, bien sobre una placa de prototipos (sin soldar), bien sobre tarjeta de circuito impreso (a una sola cara; se incluye esquema y PCB), según sus habilidades y posibilidades.
- b) El código máquina se cargará en el microcontrolador desde el puerto serie RS-232 de un computador PC estándar.
- c) El núcleo del “Kit” es un documento PDF que consta de dos partes. En una primera se realiza una introducción básica al μ C. En una segunda parte se explica detalladamente cómo construir y poner en marcha dicho circuito, y cómo programar el μ C desde un computador PC estándar. Dependiendo del tipo de herramientas gratuitas disponibles y del tipo de μ C, incluso podrá ejecutarse paso a paso un programa sobre el μ C real.
- d) Junto con el documento PDF se facilitará el software necesario para el manejo de la placa: compilador de ensamblador y cargador desde computador. Todos los programas necesarios deben ser gratuitos y, a ser posible, de tamaño reducido para facilitar su rápida descarga desde Internet. Además, se suministrarán ficheros fuente ejemplos de programación.
- e) El Kit consiste únicamente en dichos ficheros, los cuales están accesibles desde Internet. El tamaño total (PDF más ficheros auxiliares) será reducido (si es posible, de pocos megabytes), de manera que el tiempo de descarga sea limitado.
- f) Los componentes que constituyen la tarjeta deberán ser adquirirlas por cada cual en una tienda de electrónica (o por Internet). Deben emplearse exclusivamente componentes electrónicos comunes, de amplia disponibilidad.
- g) El precio total de los componentes debe ser asequible para un alumno medio (20 o 25€ por kit, es decir, un precio inferior a la mayoría de los libros de texto).

Si un “Kit” cumple con todos estos puntos, cualquier persona (alumno, ingeniero o simple aficionado) podrá acceder a él desde cualquier lugar simplemente mediante un computador conectado a Internet, y luego en su localidad adquirir los componentes y montar el circuito.

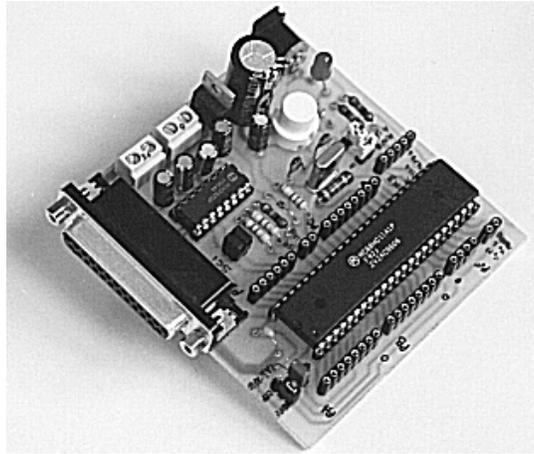


Figura 1. Kit del 68HC11 construido por un alumno de la asignatura.

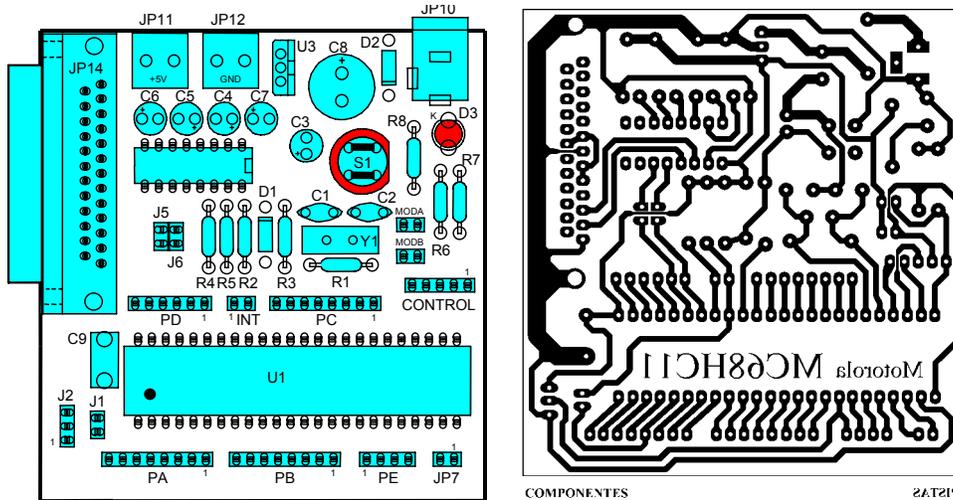


Figura 2. Esquema de distribución de componentes y PCB del Kit del 68HC11.

Obsérvese que nuestra aproximación es diferente a otras más habituales. Por ejemplo, en ocasiones se emplean sofisticadas (y muy completas) placas de prácticas comerciales, pero que debido a su complejidad y precio el alumno no puede adquirir o construir, estando tan solo disponibles en el laboratorio. Algunos profesores diseñan su propia placa que “comercializan” entre los alumnos; pero esta solución puede plantear problemas, pues, en definitiva, no somos comerciantes sino docentes, y el entorno universitario no suele ser adecuado para estas prácticas.

Otra aproximación paralela a la nuestra consiste en generar un CD-ROM [12], en el que mediante hipertexto, animaciones y hasta vídeos puede explicarse la arquitectura del microcontrolador y la confección de placas. Además, debido a la gran capacidad de los CD-ROM pueden incluirse mucho software adicional. Pero en este caso el profesor debe suministrar en persona el CD al alumno, ya que al contener cientos de megabytes de contenido su descarga desde Internet no es viable. Con nuestros “Kit” lo que se pierde en vistosidad se gana en tamaño (unos pocos megabytes), con lo que su descarga desde Internet es rápida y su difusión (incluso fuera de una Universidad) resulta muy sencilla.

3. KIT DEL 68HC11

Hasta el momento la enseñanza de μC en la EUITI de la Universidad de Zaragoza la hemos venido desarrollamos entorno al M68HC11 de Motorola [3], debido a la sencillez y linealidad de su arquitectura, elevado número de periféricos que integra, facilidad de programación desde un computador PC convencional, y amplia disponibilidad de libros de texto [9]. Además, las diversas subfamilias de μC de 8 bits de Motorola (6805, 6808, 6811) son desde hace muchos años líderes mundiales dentro de este segmento de mercado. No obstante, se debe reconocer que pese a la importancia con que aún cuenta, en la actualidad el clásico M68HC11 (introducido en 1986) está siendo superado por otros más modernos, con lo que estamos iniciando ya el cambio hacia otro μC de mayor velocidad, menor coste y dotado de memoria flash. Todo esto lo comentaremos más ampliamente en la siguiente Sección.

Comentaremos a continuación el origen y características del “Kit del 68HC11” (Fig. 1 y 2); la experiencia obtenida con él es la que aplicamos al desarrollo de los otros “Kit” de μC más modernos. En las prácticas presenciales de μC en la EUITIZ empleamos la tarjeta de evaluación de Motorola MC68HC11EVBU [3], que proporciona buenas prestaciones a un precio relativamente asequible. Dado el interés que dichas prácticas hardware despertaron en su día, animamos al alumno interesado a construir su propia tarjeta basada en un 68HC11, con el fin de que pudiera profundizar por su cuenta fuera del limitado tiempo disponible en las prácticas de la asignatura, desarrollando pequeños proyectos.

De allí nace la idea original del “Kit del 68HC11” [9]: generar un documento claro y conciso que indique al alumno paso a paso cómo construir su propia placa basada en el 68HC11, y cómo manejarla y programarla desde un computador PC estándar. La tarjeta debía cumplir las condiciones expuestas en la Sección 2 (sencilla de montar, bajo coste, etc.). Cuando comenzamos con esta idea, pocos alumnos estaban conectados a Internet, con lo cual el documento “Kit del 68HC11” lo suministrábamos fotocopiado a los interesados; junto a él proporcionábamos un disquete de 1.44MB conteniendo todo el software necesario (compilador de ensamblador AS11 y cargador/depurador PCBUG11, ambos desarrollados por Motorola y de dominio público).

Con el paso del tiempo comprobamos que cada vez más alumnos disponían de conexión a Internet; además en la Escuela se fueron conectando salas de usuarios, con lo que el documento inicial “Kit del 11” lo convertimos en un PDF que alojamos en la página web de la asignatura [9].

Asimismo iban realizándose sucesivas versiones en las que se mejoraba el documento. El cambio más sustancial lo llevamos a cabo hace dos años, cuando decidimos abandonar el famoso (y obsoleto) PCBUG11, programa MS-DOS que Motorola ya no mantenía y que daba problemas en la mayor parte de los ordenadores modernos. Este programa lo sustituimos por otro para entorno MS-Windows denominado JBUG11 [4], de similares características a PCBUG, pero que resolvía sus problemas. JBUG11 es gratuito, y el programa de instalación ocupa menos de 1MB, con lo que su descarga es rápida.

Merece la pena comentar también una experiencia de alguna manera fallida, pero que nos sirvió para reafirmarnos en la filosofía expuesta en la Sección 2. Hace unos años la Universidad de Zaragoza promovió su Anillo Digital Docente [2], como portal donde alojar cursos y asignaturas no presenciales (o semipresenciales), y cuyo acceso está limitado a los alumnos matriculados en la asignatura. Durante el primer curso incorporamos como curso este “Kit”, en forma de documento hipertexto, pero comprobamos que resultaba mucho más sencillo para el alumnos disponer de un simple y menos vistoso documento PDF de tamaño reducido, que pudiera descargarse e imprimir, que un gran documento hipertexto accesible desde Internet. En la actualidad, la web de la asignatura incluida en el Anillo Digital Docente

la utilizamos únicamente como tablón de anuncios (para colocar convocatorias de exámenes, calificaciones, etc.; recordemos que solamente los matriculados tienen acceso a ella); el resto, incluido el “Kit”, se encuentra en nuestra web pública [9].

Es importante remarcar una ventaja del 68HC11 frente a otros microcontroladores de su generación, no superada aún por otros más modernos: su modo de funcionamiento especial *bootstrap* que permite mediante un programa sencillo como PCBUG11 (o JBUG11) no solo la carga de programas ensamblador en su memoria RAM o la programación de su EEPROM, sino incluso ejecutar programas paso a paso, con puntos de ruptura, etc., por lo que para muchas aplicaciones no es necesario el empleo de los costosos emuladores en circuito.

Además, muchas versiones del 68HC11 (como la MC68HC11E9) incluyen en su ROM integrada un programa monitor denominado BUFFALO que permite también la ejecución paso a paso, puntos de ruptura, etc., sin necesidad de programa de PC alguno (simplemente se requiere un programa de comunicaciones como HYPERTERMINAL que viene incluido en el sistema operativo MS-Windows).

En resumen, el 68HC11 es un μC antiguo, pero debido a estas características, mediante una placa tremendamente simple y barata se obtienen funcionalidades que en el caso de otros microcontroladores requerirían de un sistema de desarrollo mucho más caro. Los problemas que en la actualidad se plantean con el 68HC11 (los cuales nos llevarán a migrar a otro microcontrolador más moderno) son: disponibilidad (Motorola ha dejado de fabricar algunas versiones, y las demás no son siempre fáciles de adquirir), limitada cantidad de EEPROM programable por el usuario (entre 512B y 2KB tan solo) y no disponibilidad de versiones con memoria flash.

Para finalizar, merece la pena comentar que un excelente complemento al “Kit del 68HC11” es el programa SHADOW11 [5], simulador Windows cuya versión *shareware* está disponible en Internet, y que se puede adquirir a un módico precio. SHADOW11 incorpora la filosofía de nuestro viejo Visual11 [11] (que ya no mantenemos ni recomendamos por no funcionar en las versiones modernas de Windows), como por ejemplo, la simulación de bloques hardware.

En conclusión, la experiencia con el “Kit del 68HC11” ha resultado tremendamente positiva. Muchos alumnos lo descargan de la web y lo construyen; muchos proyectos de fin de carrera de nuestra Escuela se han venido realizando con esta placa y muchas personas ajenas a nuestra Universidad acceden a nuestra web para descargarlo. De todos ellos obtenemos la realimentación que nos han permitido poco a poco depurarlo (en la actualidad está vigente la versión 6.1). Quizás destaque sobretodo su utilidad para el desarrollo de proyectos fin de carrera, ya que permite al alumno buena parte del desarrollo de su proyecto en su propio hogar, a su ritmo, y liberando recursos en la Universidad.

4. KIT DEL PIC Y KIT DEL 68HC08

Como hemos expuesto ya, el 68HC11 es un microcontrolador que, aunque todavía vigente, Motorola ya no introduce nuevas versiones y de vez en cuando elimina alguna. Puede considerarse en este sentido que está en su ciclo final (aunque Motorola sin duda mantendrá las versiones más populares durante mucho tiempo). Si queremos beneficiarnos de las tecnologías más modernas (sobretodo, en cuanto a disponer de memoria flash), tendremos que recurrir a otras familias. Obviamente la apuesta por los PIC de Arizona Microchip es segura, y la opción del 68HC08 de Motorola parece que también es buena.

4.1. El Kit del PIC

Motorola [3] es líder del mercado de microcontroladores de 8 bits desde hace años, y aunque ha habido empresas como Arizona Microchip [8] que en poco tiempo han logrado alcanzar con los ya famosos PIC grandes cotas de mercado, hasta el momento no han conseguido desbancar a Motorola de la primera posición.

Hoy en día la arquitectura PIC es muy pujante; aunque por el momento no explicamos esta familia en clase, sí que venimos empleando estos microcontroladores en diversos proyectos fin de carrera. Por ello, emprendimos la tarea de realizar un “Kit del PIC”, que en estos momentos estamos concluyendo.

Este “Kit” (Fig. 3 y 4) se basa en la misma filosofía expuesta en la Sección 2, contando con las siguientes características específicas:

- a) PCB sencillo (a una cara) compatible con los modelos de 18 y 28 patillas (Fig. 3). Concretamente lo hemos diseñado para los PIC 16F84A y 16F876A (los más usados y fáciles de encontrar a nivel de usuario particular), pero pensamos que es compatible con muchos otros.
- b) Futura ampliación (ya en marcha) para incorporar modelos de 40 pines, en concreto el 16F877A (también muy usado).
- c) El “kit” sirve tanto para grabar un micro que luego se empleará en otra placa, como para su empleo como sistema mínimo (las patillas de los μC están accesibles mediante barras de *pines* para una fácil conexión con cables a una aplicación objetivo, Fig. 3).
- d) Se encuentra disponible toda la funcionalidad del microcontrolador. A pesar de que para poder grabar el μC de la placa se consumen ciertos recursos, se han preparado en la placa unos puentes para, una vez grabado el μC , cambiarlos de posición y poder utilizar los recursos antes comprometidos.

La forma de trabajar con el “Kit del PIC” es la siguiente:

- a) Se desarrolla un programa en ensamblador y se prueba con el simulador gratuito MPLAB, suministrado por Microchip [8] (obviamente, las pruebas con el simulador nunca serán totalmente fiables).
- b) A continuación se graba el software desarrollado en la memoria flash del μC instalado en la placa “Kit del PIC” mediante el programa IC-PROG, también gratuito [6].
- c) Además, existe la posibilidad de emplear el “Kit del PIC” como programador de otro PIC ya montado en su placa objetivo gracias al conector ICSP (*In-Circuit Serial Programming*). Esto simplifica el proceso de depuración y actualización del software del μC puesto que no hay que retirarlo de su placa final. Además, ésta posibilidad permite el trabajo con dispositivos que no es posible insertarlos en nuestra placa “Kit” (por ejemplo, los de encapsulado para montaje superficial).

El “Kit del PIC” presenta las siguientes ventajas frente al “Kit del 11”:

- i) Muchas versiones de los PIC integran abundante memoria FLASH, lo que permite al usuario la realización de programas más grandes. Por ejemplo, en el HC11 la memoria EEPROM estaba limitada a 2K (en un modelo relativamente caro además), mientras que el sencillo PIC 16F876A dispone de 8K de flash.
- ii) Los microcontroladores de la familia PIC son hoy en día los más fáciles de adquirir por un estudiante o aficionado en las tiendas de electrónica habituales.



Figura 3. Kit del PIC confeccionado por un alumno de la asignatura.

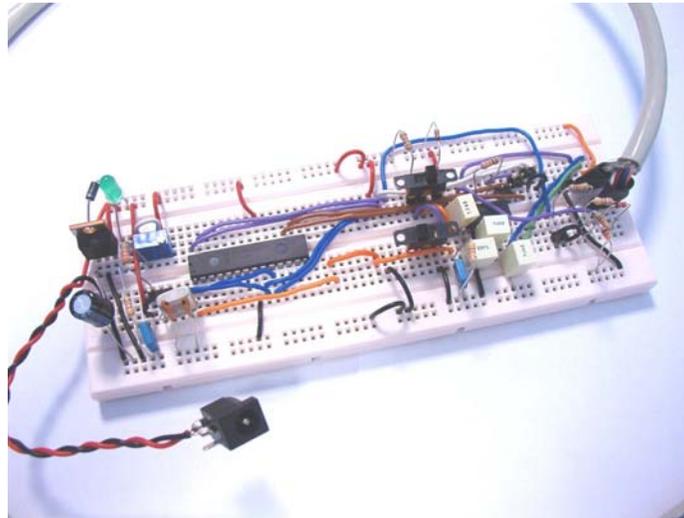


Figura 4. Debido a su sencillez, los Kit pueden construirse también sobre una placa de prototipos.

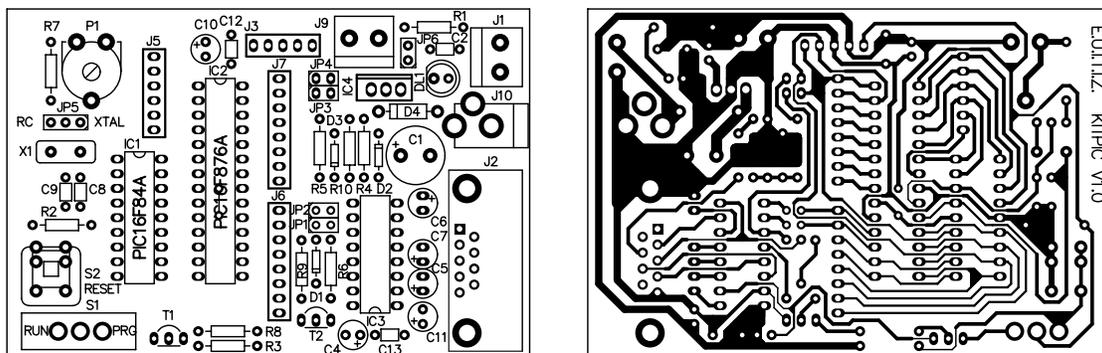


Figura 5. Kit del PIC: esquema de distribución de componentes y PCB.

No obstante, el “Kit del PIC” presenta una desventaja que puede resultar importante en aplicaciones de cierta complejidad: el entorno MPLAB es muy potente, pero “sólo” permite compilar y simular, no contemplando la emulación integrada con el hardware (ejecución paso a paso, puntos de rupturas, examinar registros o memoria,...), cosa que sí permite el “Kit del 11” debido a los recursos que Motorola integra de serie en todos los ejemplares del 68HC11. A pesar de que los PIC integran un módulo de depurado también con las citadas capacidades, no hay herramientas software gratuitas disponibles para usarlas. Por lo tanto, una futura línea de trabajo consistiría en desarrollar el equivalente al monitor BUFFALO del 68HC11 para los PIC, que implemente estas capacidades sin coste adicional.

4.2. El Kit del 68HC08

A mitad de los años noventa Intel introdujo la memoria *flash*, que debido a su pequeño tamaño de celda permitía integrar grandes cantidades dentro de un microcontrolador (tamaños típicos de memoria EPROM), a un precio muy reducido (similar a los OTP) y con posibilidad de reprogramación en circuito de forma eléctrica (como la EEPROM). Es decir, la memoria *flash* reúne lo mejor de los tipos clásicos de memoria. Por ello, poco a poco fue introduciéndose la tecnología *flash* en los microcontroladores; por ejemplo, en el caso de los PIC 16, esta amplia familia incluye numerosos miembros con este tipo de memoria.

Sin embargo, Motorola decidió no introducir memoria *flash* en sus clásicos 6805 y 6811, y prefirió crear dos nuevas familias dotadas de memoria *flash*: la 68HC08 (cuya pretensión es sustituir a la 6805) y la 68HC12 (gama alta, de 16 bits); es en estas nuevas familias donde Motorola introduce todo tipo de novedades (versiones de muy bajo número de patillas, de muy elevado número de patillas, grandes cantidades de memoria de última generación, bloques de comunicaciones CAN, USB, etc.).

La pregunta que surge rápidamente es la siguiente: ¿cuál es el sustituto natural del 68HC11 dentro de las nuevas familias de Motorola? Podría pensarse que el 68HC12, pero se trata éste de un micro de 16 bits que puede operar hasta a 25MHz, que incorpora multitud de periféricos y que solo comprenden versiones de montaje superficial (QFP) de un elevado número de patillas (68 o más).

Por otro lado, el 68HC08 es un 68HC05 muy mejorado, con abundantes periféricos integrados y memoria. Sus características son, en general, superiores a las del 68HC11, y existen versiones con todo tipo de encapsulados (DIP, PLCC, QFP,..., desde 8 a 80 patillas). La HC08 es una familia muy completa, muy variada y versátil, con ejemplares que van desde los muy pequeños y baratos (desde 1€ aproximadamente) hasta microcontroladores de potencia considerable (superando incluso a muchos ejemplares del 68HC11).

En un entorno universitario, la familia HC12 resulta quizás excesiva, sus ejemplares son caros y de difícil soldadura (muchas patillas y encapsulados QFP), mientras que la familia 68HC08 es tan versátil y amplia que cubre toda la gama que va desde el 6805 al 68HC11, es decir, tanto las aplicaciones de gama baja como media, por lo que parece una buena elección.

Para estos nuevos microcontroladores Motorola no desarrolla el software directamente, sino que hace uso de la herramienta CodeWarrior de la empresa Metrowerks [7], una herramienta muy potente, que en versión *shareware* (con coste nulo) permite realizar programas ensamblador sin límite de tamaño, y programas en C limitados a 4KB. Además esta herramienta simula (a nivel de sistema, es decir, simula bloques hardware incluso), y permite la ejecución controlada de programas sobre un 68HC08 real gracias al monitor MON08 que estos micros integran. Además, las nuevas familias HCS08 integran incluso el modo BDM (*background debug mode*), que permite el control en tiempo real (emulación en circuito) de la operación del HC08 de una forma muy simple.

En la actualidad estamos desarrollando un “Kit del 08” que se basará en CodeWarrior. Aunque el 68HC08 y los PIC de gamas baja y media en el fondo son muy parecidos en cuanto a periféricos y precio, pensamos que una ventaja del 08 frente al PIC es precisamente las facilidades que estos microcontroladores de Motorola incorporan para posibilitar una ejecución controlada de programas (y hasta emulación en circuito) sin necesidad de placas especiales ni grandes desarrollos hardware, lo cual en el caso de los PIC solo se puede llevar a cabo con herramientas caras.

5. CONCLUSIONES

Se ha expuesto la filosofía de los “Kit” de microcontroladores, y se han mostrado algunas implementaciones. Estos “Kit” permiten al alumno trabajar por su cuenta tanto en la programación como en el desarrollo de hardware, pudiendo así ampliar el tiempo limitado de las clásicas prácticas de laboratorio presenciales. Por otro lado resultan tremendamente útiles a la hora de realizar proyectos fin de carrera, puesto que cada alumno puede disponer así de su propio “sistema de desarrollo”, con el que puede llevar a cabo buena parte de su proyecto, y solamente en aquellos aspectos que así lo requieran recurrir a sistemas de desarrollo más sofisticados (emuladores), de los cuales se suele disponer de pequeño número debido a su muy elevado precio. En nuestra Escuela, en todo aquel proyecto que se requiera un microcontrolador, la primera tarea del proyectando es construirse su propio “Kit”, mediante el cual irá desarrollando el prototipo de su proyecto (tarea que a menudo realiza en su casa, liberando espacio en nuestros saturados laboratorios).

Finalmente, obsérvese que, obviamente, estos “Kit” pueden resultar más valiosos incluso en cursos no presenciales; también sabemos de muchos aficionados a la electrónica que durante todos estos años han construido el “Kit del 68HC11”.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gómez García, J.M. *Diseño de Sistemas basados en Microprocesadores Avanzados Mediante Simulación*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, 2002
- [2] <http://add.unizar.es/>
- [3] <http://e-www.motorola.com/>
- [4] <http://freespace.virgin.net/john.beatty/index.html>
- [5] <http://www.geocities.com/SiliconValley/Peaks/4125/>
- [6] <http://www.ic-prog.com/>
- [7] <http://www.metrowerks.com/>
- [8] <http://www.microchip.com/>
- [9] <http://www.unizar.es/euitiz/micros.htm>
- [10] Martín del Brío, B. *Desarrollo de Sistemas Electrónicos basados en Microprocesadores y Microcontroladores*. Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, 1999.
- [11] Martín del Brío, B. y C. Bernal Ruiz. “A software tool for teaching microcontroller system principles”. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 36, 4, pp. 279-286, 1999.
- [12] Medina, F.J., J.M. Sosa y V. Armas. “Microtutor: aplicación multimedia de aplicación a la docencia de microcontroladores de 8 bits”. *Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica TAAE 2002*, Las Palmas de Gran Canaria , 2002.