

# **SIMULADOR DIDACTICO PARA LOS PRIMEROS PASOS EN EL MUNDO DE LOS MICROPROCESADORES**

B. Martín del Brío, A. Bono Nuez, A. Ciriano Sebastián, J. M. López Pérez  
Tecnología Electrónica. E.U. de Ingeniería Técnica Industrial, Universidad de Zaragoza.  
Corona de Aragón 35, 50009 Zaragoza

Teléfono 976.351609 Fax 976.555638 E-mail nenet@posta.unizar.es

**RESUMEN.-** En este trabajo presentamos SD6800, un entorno de simulación de sistemas microprocesadores pertenecientes a la conocida familia de 8 bits de Motorola, que ha sido realizado a medida de una asignatura de la especialidad de Electrónica Industrial. Los objetivos planteados para su desarrollo se centran en disponer de editor de programas, compilador y simulador en un único entorno de trabajo, de intuitivo y sencillo manejo. La simulación abarca todo un sistema microprocesador, incluyendo diversos periféricos, siendo su fin último el complementar eficazmente las prácticas hardware realizadas en la citada asignatura de microprocesadores. Asimismo, se discute como se compagina montaje y simulación en dichas prácticas.

## **1.- INTRODUCCION Y ANTECEDENTES**

La asignatura de tercer curso "Microprocesadores e Instrumentación Electrónica" es la que se dedica específicamente a los microprocesadores dentro de la especialidad de Electrónica Industrial de la E.U. de Ingeniería Técnica Industrial de la Universidad de Zaragoza. Los alumnos de la asignatura han cursado con anterioridad "Electrónica Digital" y "Electrónica Analógica", por lo que deben disponer ya de conocimientos suficientes de electrónica y de sistemas lógicos.

Dentro de la citada asignatura, en el cuatrimestre dedicado a microprocesadores se expone todo aquello que un futuro especialista en Electrónica Industrial debe saber sobre el tema. De entre los numerosos microprocesadores disponibles, la asignatura se centra en los de 8 bits, incidiendo especialmente en los microcontroladores por diversas razones:

- Aunque cada día existen microprocesadores más potentes, las bases conceptuales fundamentales son esencialmente las mismas que las que aparecen en los clásicos de 8 bits, como los ya "legendarios" 6800/02, 6502, 8080/8085 ó Z80 [1, 2].
- El estudio de los tradicionales microprocesadores de 8 bits facilita la comprensión de los conceptos básicos a alumnos sin contacto previo con el tema [1, 2], conceptos que pueden ser eclipsados por el estudio de los grandes avances incorporados en los más modernos, y que podrán ser valorados en un estudio futuro.

- El tipo de microprocesador más empleado en Electrónica Industrial es el microcontrolador, de ellos, los de 8 bits dominan claramente el mercado actual debido a que optimizan la relación prestaciones/precio dentro de este campo.

Los microprocesadores empleados como ilustración son el 6800/02 y el 68HC11, aunque siempre se trata de ofrecer una visión global, aplicable a cualquier familia sin más que estudiar sus características particulares. Las razones de esta elección son diversas, por una parte Motorola es líder en el mercado, por otra consideramos los microprocesadores de Motorola altamente pedagógicos. También cabe destacar la tradición del trabajo con microprocesadores de Motorola en nuestro Departamento, lo que supone disponer de abundante información y bibliografía, además de diversas herramientas hardware y software.

El 6800, aunque "antiguo" (como el 6502 o el 8085), presenta una arquitectura sencilla y de gran valor didáctico en nuestra opinión, de modo que nos sirve para introducir los conceptos básicos sobre arquitectura de microprocesadores, juego de instrucciones y modos de direccionamiento, y, posteriormente, abordar la problemática del diseño de sistemas. Por su parte, el 68HC11 [3] ilustra los conceptos básicos sobre microcontroladores, y al ser un descendiente directo del 6800, todo lo previamente aprendido es aplicable directamente al HC11 (incluidos las instrucciones y modos de direccionamiento). Este, además de ser uno de los microcontroladores más empleados en el mundo, presenta importantes ventajas desde un punto de vista educativo, como la gran cantidad de periféricos integrados, que ilustran todo lo que puede hacerse con un microcontrolador y facilitan enormemente la tarea de realizar montajes en el laboratorio, bien en prácticas, bien en proyectos de final de carrera. Además, el montaje de un sistema basado en un 68HC11 y su programación desde un ordenador personal resulta una tarea sencilla y asequible a cualquier estudiante, debido a las facilidades introducidas en él por Motorola (modo de operación de arranque externo o *bootstrap*, facilidades para la programación de la EEPROM integrada, etc. [3]).

## 2.- INTEGRACION MONTAJES Y SIMULACION (HARDWARE Y SOFTWARE)

Las prácticas de la asignatura se dividen en prácticas hardware, realizadas en el laboratorio de electrónica, y de simulación, realizadas en una sala de ordenadores PC (486 a 50 MHz con 8 MB de RAM). En una primera práctica de simulación el alumno se introduce en los aspectos básicos de la programación en ensamblador; a partir de entonces se combinan prácticas hardware y simulación, con la idea de aprovechar lo mejor de "ambos mundos".

Como herramienta básica de las prácticas hardware se emplea la tarjeta de Motorola 68HC11EVBU [4], de coste relativamente bajo. Esta consiste en un sistema mínimo basado en la versión E9 del 68HC11, el cual incluye el programa monitor BUFFALO en su ROM interna, que permite la compilación de programas, ejecución paso a paso, acceso a memoria y registros, etc., bien desde un ordenador convencional, bien haciendo uso de una terminal RS-232 "tonta" (teclado más pantalla), mediante la que enviar los comandos al monitor, y que muestra en pantalla su respuesta. Puesto que en el laboratorio de electrónica no contamos con ordenadores, hemos adoptado la segunda solución, haciendo uso de unas antiguas terminales RS-232 (las típicas de fósforo verde de hace años) "jubiladas" por el Centro de Cálculo. La gran ventaja de esta solución es que podemos realizar prácticas de control de periféricos (visualizadores, teclados, conversores, sensores, etc.) en el lugar más adecuado, el propio laboratorio de electrónica. En definitiva, de esta

manera el alumno puede hacer prácticas de hardware que obviamente se aproximan más a la realidad del trabajo con microprocesadores, que unas prácticas de simulación.

No obstante, se plantean los siguientes problemas: por cuestiones presupuestarias el número de puestos de trabajo resulta muy reducido (únicamente ocho, para un curso de unos ochenta alumnos del que se hace cargo un único profesor, y sin apoyo de personal de laboratorio); por otra parte, el trabajo directamente con la tarjeta es más incómodo que si se emplease un ordenador para editar, compilar y quizás realizar una depuración previa, por lo que resulta desaconsejable abordar prácticas muy complejas con este material. Además, las tarjetas solamente están disponibles para el alumno en el momento de la práctica.

Debido a estas circunstancias, y siendo conscientes además de que algunos conceptos podrían comprenderse más fácilmente haciendo uso de las posibilidades que ofrece la simulación, compaginamos las citadas prácticas de montaje con otras de este tipo. El objetivo de éstas es enseñar al alumno los fundamentos de la programación en ensamblador, facilitar la comprensión de cómo opera internamente el microprocesador, estudiar en detalle las interrupciones, etc. Con este fin, hemos venido utilizando durante los dos últimos cursos académicos el programa MICRO [5], de cuya existencia tuvimos constancia por primera vez en las TAAE'94 [6]. La idea de partida nos pareció muy buena, simular no solo un microprocesador (M6800), sino también la operación de todo un pequeño sistema, incluyendo un interfase de periféricos (una PIA M6821), al que se conectan unos interruptores y diodos LED.

### **3.- SD6800: SIMULADOR DIDACTICO DEL M6800**

Pese al indudable interés del programa MICRO, durante el desarrollo de las prácticas con él nos encontramos con algunos problemas. Dejando aparte ciertos detalles concretos en la simulación de determinadas instrucciones, en nuestra opinión este programa no resulta suficientemente intuitivo, y tampoco permite un acceso libre y sencillo a todos los recursos del microprocesador simulado. Además, desarrollado en la UNED, está orientado claramente a enseñanza no presencial, por lo que se ha dedicado buena parte de sus recursos y orientación a la simulación tanto de un sistema microprocesador como de un entrenador hardware, con su teclado y visualizador, cosa que en principio no interesa en nuestro caso, pues contamos con tarjetas para prácticas de montaje "reales". Por otra parte, el programa se muestra reiterativo en ciertas preguntas que formula al usuario una y otra vez, pues no almacena las respuestas en el proceso de simulación, por lo que una sesión media o larga de trabajo con él puede cansar al usuario.

Debido a todas estas circunstancias decidimos desarrollar nuestro propio simulador, el SD6800 [7] (Simulador Didáctico de un sistema basado en el 6800), realizado en lenguaje C (haciendo uso del bien conocido entorno de Borland) a medida de la asignatura y de sus intereses concretos, y con la idea en mente de trabajar con un simulador cuyo código fuente podamos modificar y ajustar en todo momento, en función de los intereses de la asignatura, subsanar defectos (en ocasiones pequeños y fáciles de solventar, pero que pueden marcar la diferencia entre una herramienta agradable o otra sumamente tediosa de empleo), corregir pequeños fallos en la implementación de las instrucciones, etc., cuestiones estas imposibles de abordar si se trabaja con un simulador cuyo código fuente no está disponible.

Así, partiendo de una idea similar a la de MICRO, SD6800 simula todo un sistema microprocesador basado en un 6800, que incluye (Figura 1) 8 KB de RAM, 8 KB de ROM, y una PIA M6821 (interfase paralelo), dejando de lado la opción incluida en MICRO de

simulación de un entrenador con teclado y visualizador (físicamente disponible en nuestro laboratorio de electrónica), y dando más peso a su carácter intuitivo, en el que, por ejemplo, se permita un fácil acceso a todos los recursos del microprocesador, en todo momento pueda abandonarse la simulación, etc.

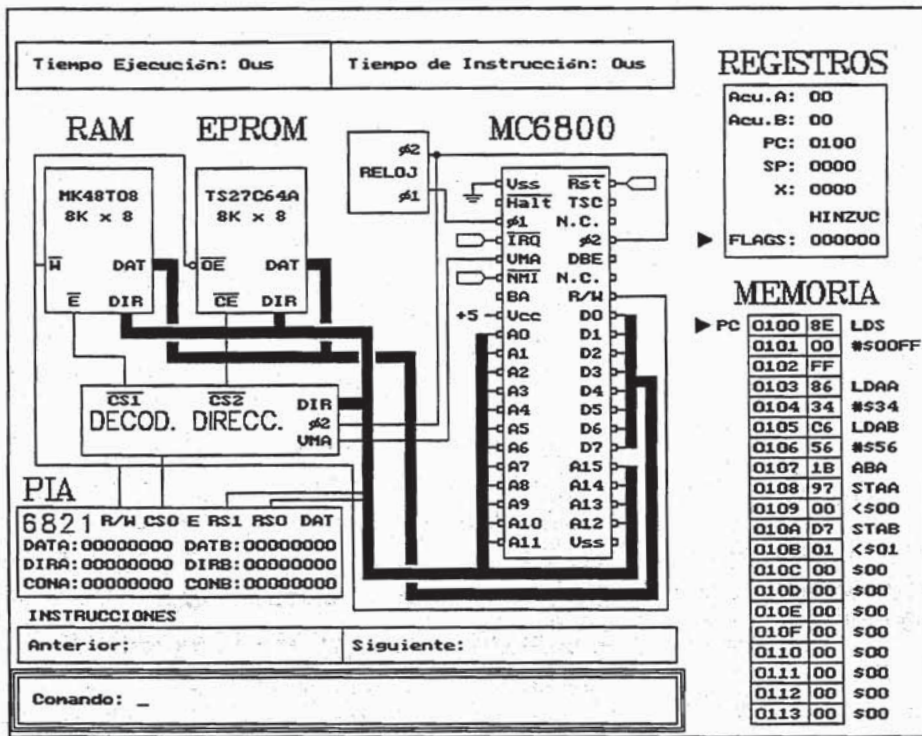


Figura 1.- Pantalla principal con las cuatro áreas (ventanas) de trabajo: línea de comando, memoria, registros y tiempo de ejecución (la zona del sistema y de instrucciones no son accesibles).

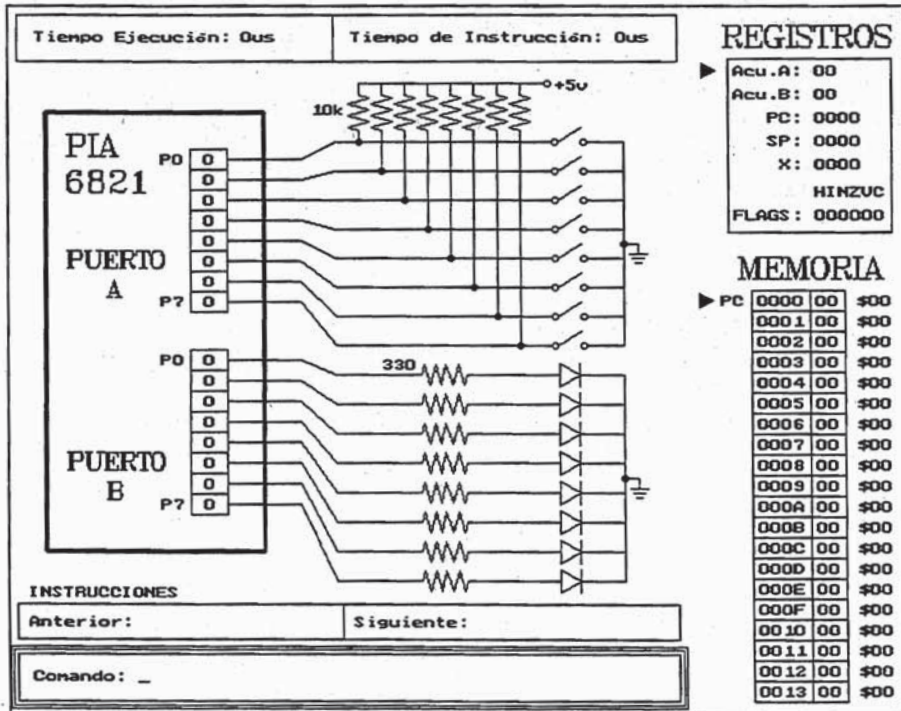


Figura 2. Ejemplo de pantalla de simulación de periféricos.

Algunas de las características más destacables de SD6800 son las siguientes:

- Entorno de simulación **dividido en ventanas** (Figura 1) en las que se puede visualizar y/o modificar directamente los contenidos de memoria y registros sin más que situar el cursor sobre ellos (el cambio de ventana de trabajo se realiza mediante la tecla de tabulación).
- Desde la ventana que incluye la **línea de comandos** se puede ordenar la ejecución paso a paso (comando 'S') o total de un programa ('G'), colocar puntos de ruptura ('B'), invocar la ayuda del simulador ('H') o salir del mismo ('Q').
- El programa ensamblador que realiza el alumno se presenta tanto en hexadecimal como **desensamblado**, facilitando así su seguimiento durante los procesos de simulación y depurado.
- Un elemento diferencial en relación a otros disponibles es que no solo se ha construido un simulador, sino más bien **todo un entorno de trabajo**, desde el que se puede llamar al editor del MS-DOS para crear un fichero fuente (comando 'E'), compilarlo (comando 'C', que invoca el ensamblador de dominio público AS0 de Motorola), cargarlo en memoria ('L'), y simularlo, todo ello sin necesidad de salir al sistema operativo.
- También se simula la generación de interrupciones y reset (con lo que el alumno puede programar rutinas de servicio y de reset), la programación de la EPROM que albergaría el programa definitivo, etc., con la idea de disponer de un simulador que aproxime al alumno a algunas de las circunstancias con las que deberá enfrentarse en una realización real de un sistema microprocesador.
- En esta línea, se simula también la conexión de diversas tarjetas de periféricos, que se controlarían con la PIA del sistema, como puedan ser LEDs, interruptores, visualizadores de siete segmentos o conversores A/D (Figura 2). La concepción modular de SD6800 hace que fácilmente puedan integrarse en el entorno nuevos periféricos simulados, que el alumno puede controlar por programa.

PANTALLA DE AYUDA	
ENTORNO DE TRABAJO	
TAB:	Desplazamiento entre las ventanas
ENTER:	Acceso directo a datos en las ventanas
ESC:	Salida al DOS
COMANDOS	
E [NonFich.SRC]:	Edición de programa
C [NonFich.SRC]:	Compilación de programa
L [NonFich.S19]:	Carga de programa en la memoria
P [NonFich.S19]:	Programación de la EPROM
G [Dirección]:	Ejecución total de programa
S [Dirección]:	Ejecución Paso a Paso de programa
N:	Ejecución de interrupción NMI
I:	Ejecución de interrupción IRQ
R:	Ejecución de rutina Reset
D [ExtFich]:	Visualización archivos de directorio actual
M Dirección:	Movimiento por la memoria
B [Dirección]:	Poner/Quitar puntos de ruptura
H:	Mostrar pantalla de ayuda
Q:	Salida al DOS

Figura 3.- Pantalla de ayuda mostrando los comandos.

Por último, es interesante destacar que los requisitos del equipo necesario para trabajar con el entorno son reducidos, a saber: ordenador PC compatible basado en microprocesador 8086 o superior, sistema MS-DOS 3.3 o superior, 640 KB de RAM y monitor con tarjeta VGA. De este modo, cualquier alumno que disponga de un PC, por pequeño que éste sea, puede practicar en su casa.

#### 4.- CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Por lo tanto, SD6800 es, más que un simulador, un entorno de trabajo que permite la iniciación del alumno en el trabajo con microprocesadores, ilustrando la operación interna de un microprocesador, permitiendo el aprendizaje de la programación en ensamblador, así como la realización de prácticas de control de diversos periféricos. SD6800 presenta como ventajas su diseño a medida para las necesidades de la asignatura (complementando las citadas deficiencias de las prácticas hardware), su manejo completamente intuitivo, el disponer en un mismo entorno de editor, compilador y simulador. Además, al haber sido desarrollado por nosotros mismos y estar destinado a su empleo intensivo en prácticas, podremos ir puliendo poco a poco los detalles problemáticos que vayan surgiendo, de modo que en poco tiempo podremos disponer de un simulador mucho más robusto, pues no hay banco de pruebas más duro que el de un numeroso grupo de estudiantes trabajando a diario con él. Esta es parte del trabajo que desarrollaremos durante el próximo curso 1996-97.

Por otra parte, gracias a SD6800, el trabajo del alumno no se ve limitado a las prácticas de control de periféricos que se realizan en el laboratorio, sino que puede estudiar y profundizar por su cuenta en casa, con la ayuda de un PC de reducidas prestaciones.

En estos momentos el entorno es en gran parte operativo, pudiéndose simular programas básicos. En la actualidad se están completando los detalles de simulación de la PIA, y se están desarrollando los módulos software que simulan las distintas tarjetas de periféricos conectables al sistema (ver Figura 2), que esperamos tener finalizados en pocas semanas.

Debido a que en la actualidad *Windows* en sus diferentes versiones se ha convertido en un estándar *de facto*, y en un próximo futuro todavía lo será más, planeamos realizar un versión de SD6800 para dicho entorno, lo que redundará en una apariencia mucho más "profesional" y facilitará aún más el aprendizaje de su uso. A la par, se está comenzando el desarrollo de un simulador para el 68HC11 basado en una filosofía similar a SD6800, pero ya directamente para entorno *Windows*.

#### 5.- REFERENCIAS

- [1] Cahill, S.J. "Digital and Microprocessor Engineering". Prentice-Hall, 1993.
- [2] Kleitz, W. "Digital Electronics. A Practical Approach". Prentice-Hall, 1996.
- [3] "M68HC11 Reference Manual". Motorola, 1991.
- [4] "M68HC11EVBU User's Manual". Motorola, 1992.
- [5] Varela, F.J., Gómez, J.M. y Castro, M. "Programa Micro". Ed. Marcombo, 1994.
- [6] *Actas del I Congreso TAAE'94*. Universidad Politécnica de Madrid, 1994.
- [7] Bono Nuez, A. "SD6800: Simulador Didáctico de un Sistema Microprocesador". Proyecto Fin de Carrera, EUITIZ, Universidad de Zaragoza, Sept. 1995.