

MICROCONTROLADORES: UN LABORATORIO A DISTANCIA

Andrés Santos, Eduardo I. Boemo, Julio Faura, Arsenio Vilallonga

Dpto. Ingeniería Electrónica
E.T.S.I. Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
28040 Madrid

FAX: (91) 336 73 23
e-mail: andres@die.upm.es

RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados de un laboratorio experimental sobre microcontroladores, llevado a cabo con estudiantes de tercer año de la ETSIT-UPM. El objetivo ha sido evaluar la realización de un curso práctico sobre microprocesadores, que incluya tanto aspectos hardware como software, que tenga un costo extremadamente bajo y que no requiera la utilización de los recursos de los laboratorios docente, ya muy masificados. Los resultados han sido altamente positivos y actualmente se estudia su incorporación en la docencia de primer ciclo.

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente la enseñanza teórica de microprocesadores se complementa con la realización de prácticas utilizando un equipo de desarrollo comercial. Este suele incluir un microprocesador, puertos de E/S, temporizadores, etc, así como algunas herramientas *software* de ensamblado y depuración. En la ETSIT-UPM los primeros cursos sobre microprocesadores comenzaron en 1980 como asignatura optativa en 5º curso, utilizando el legendario AIM-65 de *Rockwell*, basado en el μ P 6502. Esta asignatura, en la modificación del Plan de Estudios de 1983, pasó a ser obligatoria para todos los alumnos en 3^{er} curso, lo que significó atender a un número excesivo de estudiantes (aproximadamente 400 por año). Desde 1990 se imparte la familia 68000, realizándose las prácticas de laboratorio con sistemas de desarrollo TM-683 de la empresa *Promax*.

Aunque los sistemas de desarrollo permiten a los estudiantes trabajar con un sistema real y realizar programas en ensamblador, aún existen serias limitaciones. La experimentación con *hardware* adicional debe limitarse a usar elementos sencillos (*displays*, conversores

A/D y D/A, teclados matriciales, etc.), conectados a través de puertos de E/S estándares. La alta relación alumnos/equipos (aproximadamente 400/23) obliga a limitar drásticamente el tiempo disponible para probar el circuito y a descartar cualquier práctica de laboratorio que implique el acceso directo a los buses del sistema. Como consecuencia, aunque las prácticas incluyen algún desarrollo *hardware*, en su mayor parte son un ejercicio de programación. No es posible abarcar algunos temas importantes tales como la conexión de otros periféricos de la familia, la construcción de un sistema completo (incluyendo CPU, memorias, circuitos de comunicación serie, ...), la programación de las rutinas de inicialización contenidas en la EPROM del sistema, etc.

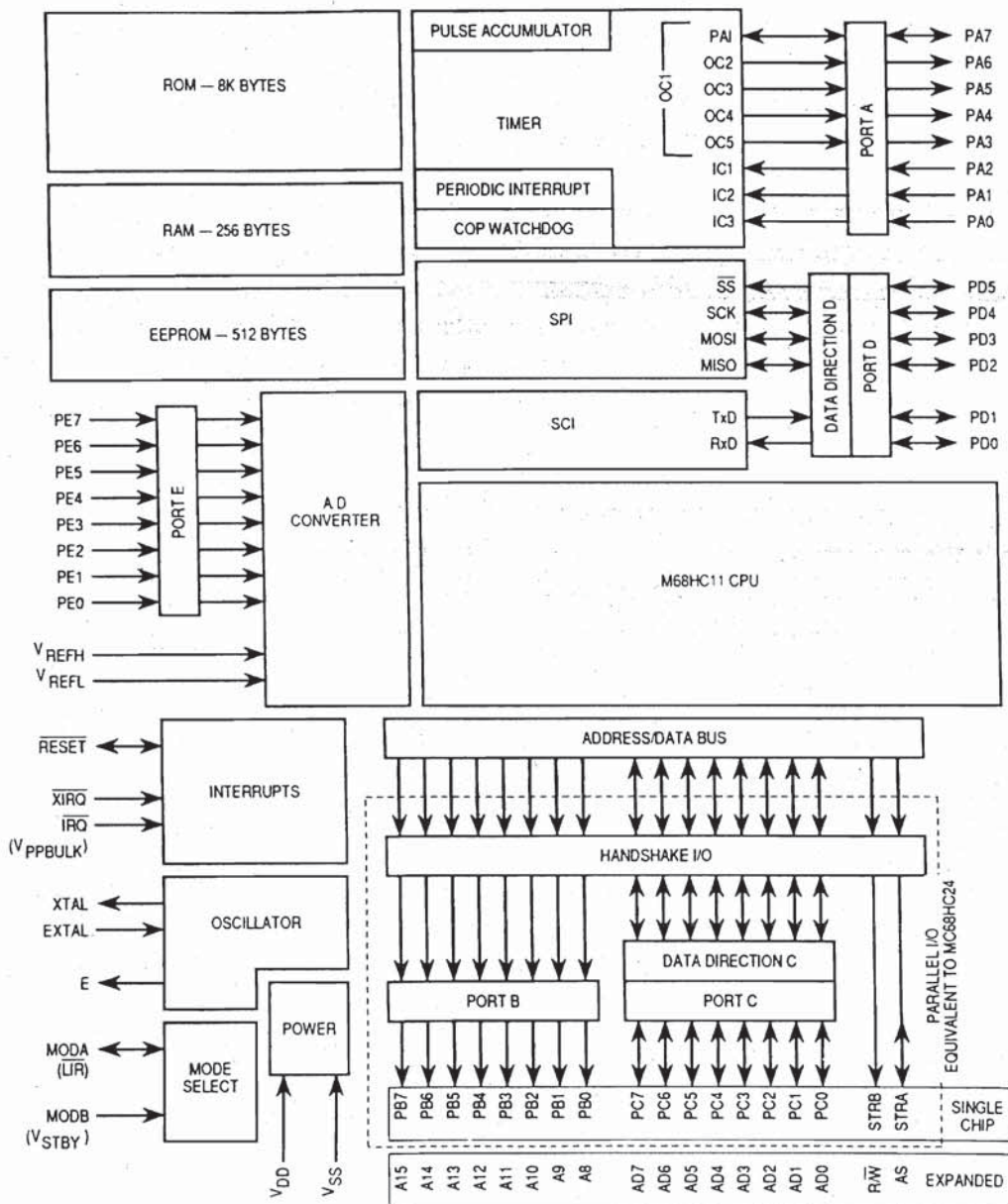


Fig.1: Diagrama de Bloques del 68HC11

La aparición de microcontroladores de bajo coste constituyen una posible solución para los problemas descritos arriba. Aunque concebidos para aplicaciones industriales, sus excelentes características los convierten en una herramienta ideal para educación. Los microcontroladores ofrecen un sistema completo en un único *chip*. Por un precio extremadamente bajo (entre 1000 y 3000 pta.) se puede obtener un sistema que incluye un microprocesador de 8 bits, memorias (RAM, EPROM, incluso EEPROM), puertos de E/S, temporizadores, conversores A/D, líneas serie de comunicación, etc. Combinando este "componente" con otros circuitos comerciales, el alumno puede construir íntegramente (*hardware* y *software*) una gran variedad de sistemas electrónicos de medición y control.

Desde el punto de vista de organización docente, las ventajas son notables. Cada alumno puede construir el circuito en su casa; no necesita adquirir ningún sistema de desarrollo; las herramientas mínimas se limitan a un PC, un polímetro, un soldador y una fuente de alimentación. Como consecuencia, se reduce el tiempo de permanencia del alumno en el laboratorio, que se limita usualmente a la utilización del osciloscopio para depurar algún problema durante la etapa de montaje.

Finalmente, la posibilidad de producir en serie un pequeño sistema de desarrollo a un costo muy bajo y tamaño reducido constituye un camino, que hasta hoy era impensable, para la enseñanza práctica de temas relacionados con microprocesadores, dentro de un plan de educación a distancia.

2. LA FAMILIA DE MICROCONTROLADORES 68HC11

La oferta de microcontroladores existente es actualmente muy amplia, tanto en 4, 8 o 16/32 bits. Los principales fabricantes son: Motorola, Mitsubishi, Intel, NEC, Philips, Hitachi, Matsushita, SGS Thompson, National y Texas. Para este laboratorio se eligió la familia de 8 bits, 68HC11 de Motorola. Las razones que avalan esta decisión son múltiples:

- Presenta excelentes características para realizar todo tipo de tareas que requieran una fuerte interacción con el entorno.
- Dispone memoria EEPROM (no volátil, pero con posibilidad de escritura). Este hecho por sí solo es decisivo, pues permite incluso almacenar programas sin necesidad de un grabador de EPROM.
- Dispone de temporizadores/contadores de gran versatilidad, e interfaces analógicas.
- El equipo necesario para su utilización se reduce a un ordenador personal con puerto serie RS-232-C. No es necesario adquirir un sistema de desarrollo. Esto constituye otro factor decisivo.
- Motorola es líder dentro del mercado de microcontroladores de 8 bits, con una participación de alrededor del 30 %.

De las muchas versiones disponibles de este microcontrolador, se eligieron dos: una más económica pero sin memoria EPROM (el 68HC11A1), y otra un poco más cara pero con 12 Kbytes de memoria EPROM (el 68HC711E9) que permite realizar programas más complejos.

En la Fig.1 se muestra la arquitectura interna del 68HC11. Los principales componentes son [1], [2]:

- CPU: procesador de 8 bits. Es una versión mejorada del 6801.
- EPROM: la versión 68HC711E9 dispone de 12 Kbytes
- EEPROM: 512 bytes de memoria de lectura/escritura no volátil.
- RAM: 256 bytes en el A1, 512 en el E9.
- Puertos de E/S: hasta 38 líneas independientes.
- Contadores/Temporizadores: incluye captura de entradas, comparación de salidas, acumulador de pulsos, interrupción en tiempo real, etc.
- Comunicaciones serie: tiene dos puertos, uno compatible RS-232-C y otro para conexión con periféricos, que opera hasta 2 Mbits/s.
- Conversor A/D de 8 bits con un multiplexor analógico de 8 entradas.

En la Fig.2 se muestra el circuito adicional mínimo para comenzar a utilizar el microcontrolador. Además de 68HC11, es necesario un conversor para obtener los niveles de tensión RS-232 (el MAX232 por ejemplo), un cristal de 8 MHz y un reducido número de resistencias de configuración y condensadores. El costo total de esta placa no supera las 5.000 pta.

El *software* mínimo necesario está compuesto por un ensamblador y el programa de depuración PCBUG11 de Motorola (ambos de libre disposición). Éste último permite enviar datos y programas al 68HC11 a través de la línea serie, así como examinar el contenido de registros y memorias, ejecutar programas (con puntos de ruptura si se desea, etc.). También permite escribir en las memorias EEPROM y EPROM (lo cual requiere una pequeña modificación *hardware* para aplicar la tensión de programación). Las posibilidades del programa PCBUG11 vienen dadas por uno de los modos de funcionamiento del 68HC11. Se puede hacer que cada vez que el procesador arranque entre en el modo *bootstrap*: así, después del *reset*, ejecuta una pequeña rutina (almacenada en ROM) que se encarga de recibir un programa por la línea serie y almacenarlo en su memoria interna. Esta posibilidad la utiliza PCBUG11 que envía un pequeño programa (un *talker*) que le permite posteriormente enviar otros programas, leer y escribir en las memorias y puertos, ejecutar programas, etc. Como consecuencia, no es necesario disponer de un programa monitor en EPROM o ROM ni de un sistema de desarrollo más o menos complejo, pero siempre costoso. Adicionalmente, existen

también muchos programas de libre disponibilidad: ensambladores, simuladores, intérprete de BASIC, compilador de C, etc.

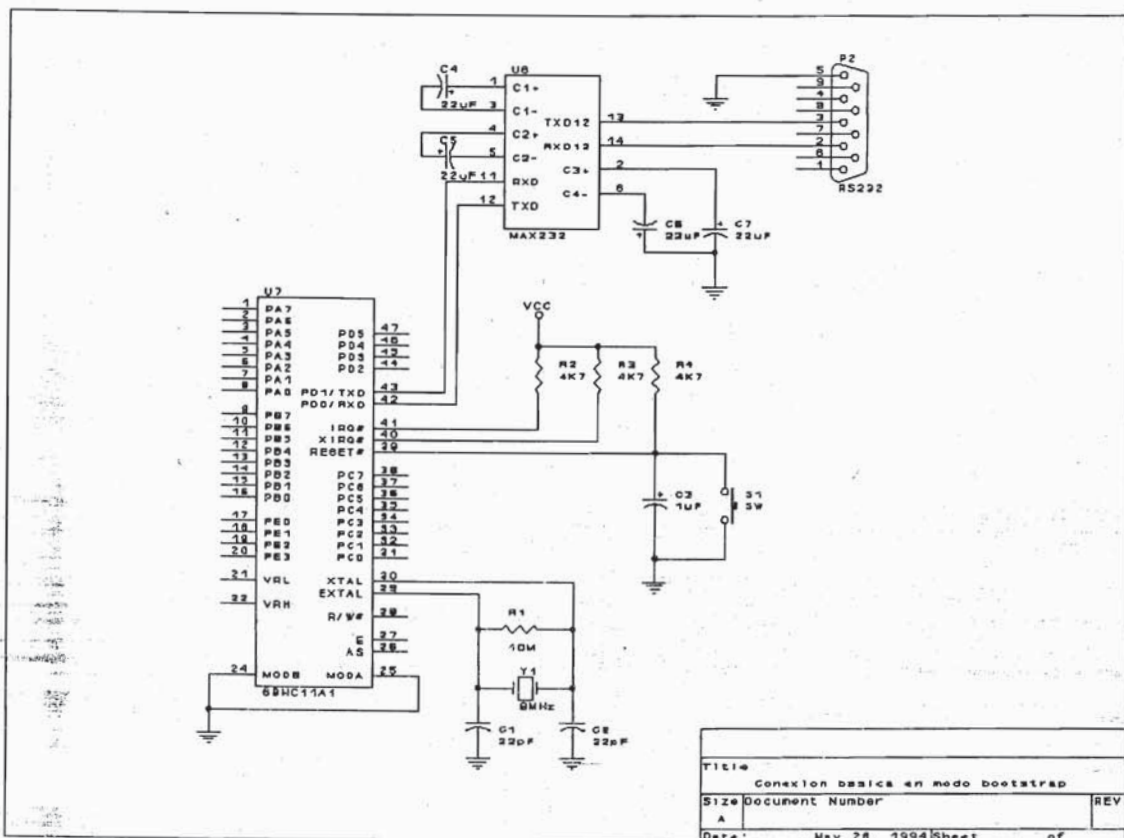


Fig.2: Configuración Mínima del 68HC11

Para los profesores interesados en evaluar la opción que ofrecen los microcontroladores, una posibilidad interesante durante la etapa de iniciación es el *kit* de evaluación 68HC11EVBU, compuesto por una pequeña placa con un 68HC11 y que incluye una área para *wrapping*; un disquete con los programas básicos: ensamblador, *software* de transmisión, y un manual de usuario. Algunos ejemplos de utilización de esa placa en el ámbito universitario son recogidos anualmente por el fabricante en una publicación [3], [4].

3. 68HC11 VS. 68000 EN EDUCACIÓN

En la Tabla 1 se ilustran las principales temas para evaluar la adecuación del 68HC11 frente a un sistema de desarrollo sobre el 68000 como el TM-683 (que incluye además de la CPU, dos VIAs 6522 y una DUART 68681)

Sin duda, una asignatura básica de microprocesadores centrada en el 68HC11 permite la realización de un buen número de prácticas incluyendo tanto *hardware* como *software*.

Si bien la CPU del 68000 es más potente que la del 68HC11, éste supera al anterior en las posibilidades de comunicación con el exterior. En un laboratorio de electrónica, donde el objetivo es que el alumno diseñe y construya sus propios circuitos, las ventajas del 68HC11 son evidentes.

Por otra parte, cualquier microcontrolador de 8 bits, permite establecer una relación balanceada la entre potencia de la tecnología disponible, la complejidad de la práctica y el límite de tiempo (un cuatrimestre). Dado que el estudiante parte de cero (debe comenzar por ir a comprar los componentes para armar su propio sistema de microprocesadores), se encuentra frente a una situación común en ingeniería: la resolución de un problema desconocido, utilizando una herramienta desconocida, disponiendo de un tiempo limitado. La potenciación de esta habilidad es sin duda uno de los más valiosos aportes de la enseñanza a través de laboratorios.

Sin embargo, hay algunos temas que sería más adecuado estudiarlos con una procesador como el 68000: controladores de acceso directo a memoria (DMA), memorias dinámicas, multiproceso, etc. No obstante, estos temas pueden considerarse como más avanzados y de hecho, no se tratan más que superficialmente y sin prácticas de laboratorio en la asignatura básica.

	68HC11	Sistema 68000
Juego de Instrucciones	145	56 (122)
Modos de direccionamiento	6	14
Capacidad de direccionamiento	2^{16}	2^{24}
Interrupciones	2 líneas externas 32 vectores	3 líneas externas 256 vectores
Puertos de E/S	38	16
Contadores/Temporizadores	3 de entrada 4 de salida 1 de E/S	2 de entrada 2 de salida
Canales comunicación serie	2	2
Entradas analógicas	8 canales	Externa
Conexión memorias adicionales	Sí	Sólo si se permite acceso a buses
Posibilidad de trabajar en casa	Sí	No
Costo del equipo básico	Muy reducido (5 - 10.000 pta)	Medio (> 100.000 pta)

Tabla I: 68HC11 vs. 68000 en Educación

4. DESARROLLO DEL LABORATORIO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

A fin de verificar en la práctica las ventajas potenciales que ofrecían los microcontroladores en educación, y detectar posibles problemas de implementación, durante el curso académico 1993/94 se propuso a algunos estudiantes la posibilidad de construir en su casa un prototipo basado en el 68HC11 para alguna aplicación sencilla. Sólo se requería como condiciones la disponibilidad de un PC y ganas de *cacharrear*.

Además de las prácticas habituales del Laboratorio de Sistemas Digitales I (medidores de frecuencia, tensión, temperatura, control de motores, generadores de funciones, etc.), se permitió a los estudiantes proponer circuitos relacionados con sus intereses personales. De allí surgieron otras aplicaciones tales como:

- Temporizador para un laboratorio de fotografía.
- Afinador de guitarra.
- Control de maquetas de trenes.
- Sistema de "riego" automático.
- Reloj-despertador.

Aunque la estrategia inicial era que cada estudiante comprara sus componentes, esta vez se realizó una compra centralizada. Una vez obtenido los *chips* cada estudiante montó su propia placa para el diseño de la aplicación elegida, sin hacer casi uso del laboratorio de la Escuela. Algunos eligieron la opción de hacer una placa de circuito impreso; otros prefirieron construirla con *wrapping*, lo que hizo necesario proveer a los alumnos las herramientas necesarias, dado el alto costo de las mismas. La mayoría de las placas necesitaron alguna corrección, pero fueron cambios mínimos y fáciles de realizar. En ningún caso se utilizó instrumental más sofisticadas (y adecuado) tales como analizadores de estados lógicos o emuladores, para hacer funcionar el circuito.

Dentro de los inconvenientes, el principal fue sin duda la obtención de los *chips*. Por razones de costo y disponibilidad, para cantidades superiores a 50 unidades es prudente establecer un acuerdo con un proveedor y efectuar la compra en el cuatrimestre anterior al laboratorio. Otra conclusión importante es que el profesor debe favorecer la utilización de un único tipo de microcontrolador pues una excesiva variedad de circuitos aumenta la cantidad de problemas a resolver (versiones de *software* incompatibles, zócalos de difícil obtención, plazos de entrega inciertos, etc.).

El balance final ha mostrado resultados altamente positivos. La respuesta de los estudiantes ha sido muy buena; han construido una serie de circuitos muy interesantes y hoy son dueños de un pequeño sistema de desarrollo, que pueden reutilizar en otros diseños. Finalmente, han obtenido más conocimientos que en la práctica normal, basada en un equipo ya diseñado al que poco se le podía añadir. Actualmente se estudia la organización necesaria para la inclusión de prácticas obligatorias de este tipo para todos los estudiantes de tercer año, reservando los sistemas basados en el 68000 para una aplicación limitada: ilustrar y entrenar a los alumnos en las particularidades de los microprocesadores de 16/32 bits.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a Sergio Ocaña y José Pérez de la compañía SELCO por el apoyo continuo que han prestado a este proyecto educativo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *"HC11 Reference Manual"*. Motorola Inc, 1991.
- [2] *"MC68HC11E9 Technical Data"*. Motorola Inc, 1992.
- [3] *"Motorola University Design Contest"*. Motorola Inc, 1992.
- [4] *"68HC11 Application Guidebook"*. Motorola Inc, 1993.