

EQUIPO DIDÁCTICO PARA LA FAMILIA DE μ C 8051

Barrón, Mariano y Martínez, Javier

Dpto de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad del País Vasco

Avenida de Otaola, 29, 20600 Eibar (Gipuzkoa)

Tfno: 943.208.444 – Fax: 943.203.196 – Email: ispbarum@sb.ehu.es

RESUMEN

En este trabajo se describe brevemente un Equipo Didáctico diseñado en la Escuela y utilizado para la enseñanza de los microcontroladores y para la realización de los Proyectos Fin de Carrera. El artículo expone el hardware del Equipo, el material didáctico desarrollado (manuales, transparencias, programas, etc.), y el método de programación empleado con el sistema microcontrolador. Finalmente se muestran algunos aspectos de la experiencia obtenida con el Equipo a lo largo del pasado curso escolar.

1. INTRODUCCIÓN

Pese a la creciente integración de funciones dentro de un chip, cada sistema microcomputador requiere el desarrollo de un hardware. La comparación de diferentes sistemas basados en microcontrolador (μ C) encuentra un parecido básico en todos ellos [1]. Por esta razón se impone una estandarización, que en el Equipo Didáctico se ha traducido en un diseño modular, con tarjetas de formato europeo, provistas de un conector DIN-41612 de 96 contactos para las señales del bus. Los sistemas modulares obviamente no están diseñados de manera óptima para todo uso, ya que pueden contener funciones redundantes, que en un diseño especial se evitan. Pero por otro lado, la redundancia proporciona flexibilidad al aportar una reserva de recursos que permite efectuar adaptaciones durante la vida útil de un producto. En un sistema de este tipo, las aplicaciones industriales se resuelven añadiendo al bus, las tarjetas que la aplicación demande. Los Proyectos Fin de Carrera de los alumnos se prestan más al diseño de tarjetas específicas que también se conectan al bus del sistema.

Tradicionalmente la programación de los sistemas basados en microcontroladores, se ha realizado utilizando el lenguaje ensamblador propio de cada μ C, debido a que resulta mucho más sencillo hacer un buen programa ensamblador que un buen compilador. Sin embargo, la programación en lenguajes de alto nivel es deseable por razones de eficacia o productividad, por la posibilidad de reutilizar las funciones creadas, y porque se obtienen programas adaptables a otros procesadores, mejor documentados y más fáciles de mantener y/o

modificar. Pese a ello, todavía se argumentan razones a favor del uso del lenguaje ensamblador tales como: *Programando en lenguaje ensamblador se obtiene un programa más corto y más rápido*, o *Es muy difícil depurar un programa escrito en un lenguaje de alto nivel*. La primera afirmación pierde validez cuando se utilizan compiladores optimizados, y a la segunda le sucede lo mismo cuando se usan buenos depuradores de código fuente. Hoy día se dispone de excelentes compiladores y depuradores para el μC 8051, pero lamentablemente su costo es todavía demasiado elevado como para contar con un software de este tipo por cada puesto de prácticas en las Escuelas. Mientras se mantenga esta situación, queda el recurso de utilizar las versiones de evaluación que pueden obtenerse de forma gratuita a través de Internet. Este es el caso del *PK51 Evaluation Kit*, Versión 5.20 de la casa Keil, cuyo uso se describe aquí. El software de evaluación contiene: ensamblador, compilador C, linker, depurador de alto nivel, etc., pero las herramientas limitan el tamaño máximo del fichero absoluto a 2 Kbytes. Esta limitación es muy severa para el desarrollo de aplicaciones comerciales, pero no lo es tanto para la realización de prácticas en las Escuelas. De hecho todos los ejercicios que aparecen en el manual *Aplicaciones Prácticas con el μC 8051*, descrito más adelante, con alguna limitación, pueden desarrollarse y depurarse con este software.

2. OBJETIVOS

Se pretende que el sistema sirva para adiestrar a los alumnos en el diseño del hardware y en el desarrollo del software de sistemas basados en microcontrolador. No es posible que alguien sea capaz de diseñar hardware, si anteriormente no ha visto esquemas de equipos reales y no se le han explicado los mismos. En este sentido el equipo, formado por 4 tarjetas descritas detalladamente en el manual, ofrece los ejemplos mínimos necesarios para lanzar al alumno hacia el desarrollo de su propio hardware. La programación del Equipo, se caracteriza por su eficacia y economía. La eficacia queda garantizada por la calidad del software utilizado, que permite la programación en lenguaje ensamblador y en lenguaje C y va provisto de un simulador y depurador de código fuente. La economía se logra debido a que el método sirve para cualquier μC derivado de la familia 8051, independientemente del número de patillas que posea, y porque no resulta necesario utilizar emuladores. Solo se precisa que el sistema μC posea un puerto serie para dialogar con un PC, y que contenga en su memoria de código un pequeño *Kernel* o programa que haga posible el diálogo. Los propios fabricantes del software proporcionan el método para obtener el *Kernel*, cuyo tamaño rara vez supera los 4 kbytes.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

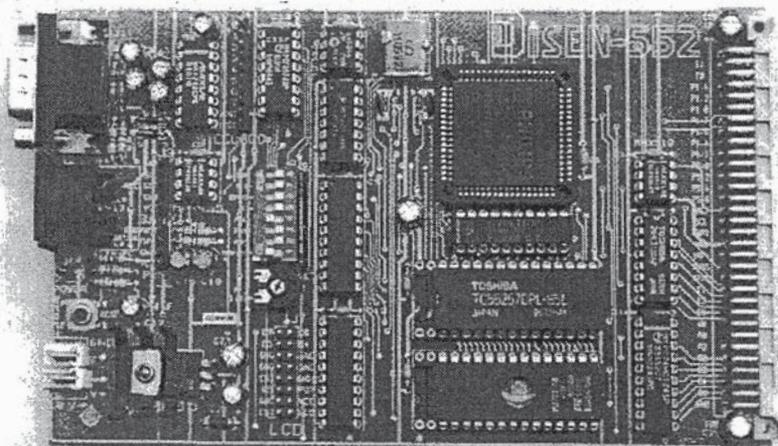
El Equipo Didáctico para la Familia de μC 8051 está formado por:

- Tarjeta microcontroladora
- Equipo de experimentos, y cables de conexión para montaje de las prácticas.
- Tarjeta expansora de puertos
- Tarjetas opcionales
- Manual *Aplicaciones Prácticas con el μC 8051* y transparencias para las clases
- Disquetes con el Software *PK51 Evaluation Kit* y con los ejemplos prácticos

3.1. Tarjeta microcontroladora

La tarjeta, de dimensiones 160x100 mm, véase fotografía número 1, ha sido, pensada para un doble uso en la Escuela y en la Industria, lo que justifica su diseño modular, su formato normalizado, sus conectores estandarizados, y la incorporación de un μC con capacidad para procesar señales analógicas y digitales. Va provista de un μC PCB80C552 de Philips [2], compatible con el μC Intel 8051, pero dotado de más circuitos periféricos, los cuales le aportan un valor añadido para las aplicaciones prácticas y como objeto de estudio en el aula. Los capítulos 5 y 6 del manual *Aplicaciones Prácticas con el μC 8051* describen con detalle la tarjeta y todos sus chips. El μC PCB80C552 incluye la CPU y todos los periféricos del μC 8051 disponiendo además de:

- 128 bytes de RAM interna extra (256 bytes en total).
- Un *timer&counter* (T2) unido a 4 registros de captura y a 3 registros de comparación.
- Un convertidor AD de 10 bits de resolución, para 8 entradas analógicas multiplexadas.
- Dos salidas de pulsos de anchura modulada (PWM) de 8 bits de resolución.
- Un puerto con 8 hilos de entrada o salida digitales (P4).
- Un puerto con 8 hilos de entrada analógicas o digitales (P5).
- Circuitería de interface con el bus serie I²C.
- Un temporizador de vigilancia (T3, *watchdog*).



Fotografía 1. Tarjeta microcontroladora

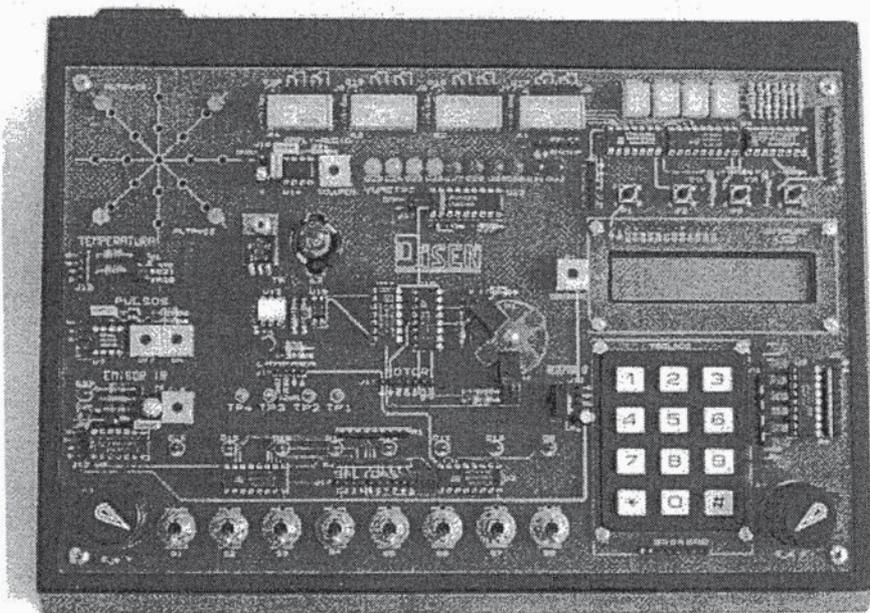
La tarjeta complementa los recursos del μC con:

- 32Kb de memoria EPROM con los programas MONITOR_1 y MONITOR_2.
- 32Kb de memoria RAM para cargar, depurar y ejecutar los programas del usuario.
- 512 bytes de memoria EEPROM a través de bus I²C.
- Dos convertidores DAC de 8 bits de resolución, a través de bus I²C.
- Conector para línea serie RS-232 o RS-485.

- Conector para línea serie PC.
- Conector para teclado de PC.
- Conector para un teclado matricial de hasta 16 teclas.
- Conector para un display LCD de hasta 4 líneas por 40 caracteres.
- Conector DIN-41612 de 96 contactos para expansión en tarjetas adicionales.

3.2. Equipo de experimentos

El equipo agrupa un hardware variado que ofrece la posibilidad de realizar todas las prácticas de μ Cs durante el ciclo educativo de los alumnos, permitiendo la experimentación con elementos reales de carácter analógico o digital. La descripción detallada del mismo aparece en el capítulo 10 del manual *Aplicaciones prácticas con el μ C 8051*. Va montado en una caja de plástico, fotografía 2, de: 260x185x75 mm, que incluye la fuente de alimentación.



Fotografía 2. Equipo de Experimentos

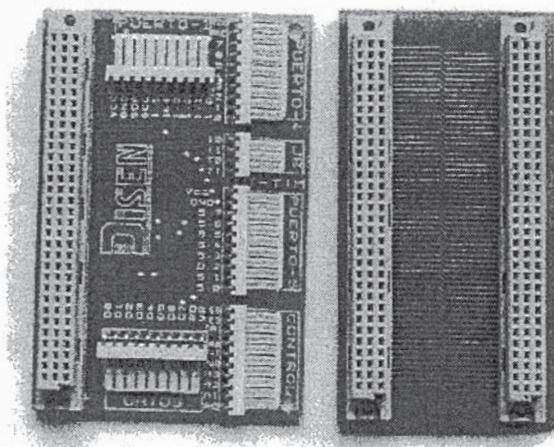
Los módulos de prácticas que incorpora son:

- Puerto de salida digital con 8 indicadores LED.
- Puerto de entrada digital con 8 interruptores dotados de circuito supresor de rebotes.
- Cuatro pulsadores (dos con rebotes y dos sin rebotes).
- Cuatro relés de doble contacto conmutado.
- Dos potenciómetros lineales (Valor analógico entre 0 y 5 V)
- Indicador analógico (vúmetro) con 10 diodos LED.

- Teclado matricial de 12 teclas.
- Display de cuatro dígitos de 7 segmentos.
- Display de cristal líquido (LCD) de 2 líneas de 16 caracteres.
- Generador de onda cuadrada con ajuste de los tiempos Ton y Toff.
- Emisor y Receptor de infrarrojos.
- Amplificador de audio y altavoz.
- Control de temperatura de un conjunto calefactor-termistor.
- Conjunto Motor DC, excitador para motor, y *encoder* óptico incremental.
- Regulación de luminosidad de una lámpara de 12 V por control de fase mediante triac.

3.3. Tarjeta expansora de puertos

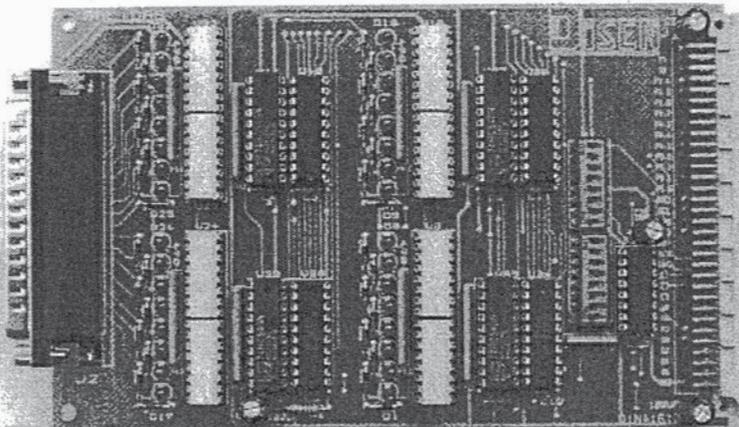
Es una tarjeta de dimensiones 96x65 mm que se une al conector DIN de 96 contactos de la Tarjeta microcontroladora, presentando los hilos del bus en conectores molex, para facilitar a los alumnos el conexionado de las prácticas con el Equipo de experimentos. La fotografía 3 muestra en su lado izquierdo la tarjeta expansora de puertos. En el lado derecho de la misma aparece un *backplane* para conectar la Tarjeta microcontroladora con una tarjeta de prototipos.



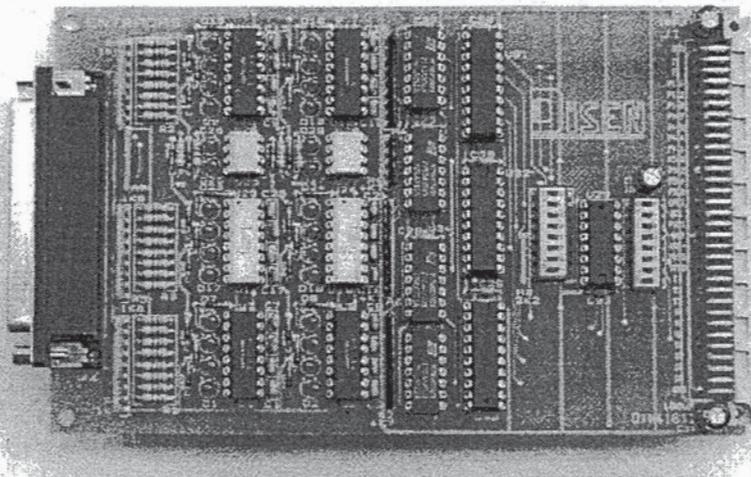
Fotografía 3. Tarjeta expansora de puertos y *backplane* para prototipos

3.4. Tarjetas opcionales

Hasta el momento, se han desarrollado dos tarjetas de 160x100 mm que pueden unirse a la tarjeta microcontroladora, mediante el conector DIN-41612 de 96 contactos. Se trata de la tarjeta de salidas digitales optoaisladas (32 salidas), y de la tarjeta de entradas digitales optoaisladas (24 entradas, mas 4 entradas para interrupciones y contadores). Las características y esquemas de las mismas se encuentran en el apéndice A del manual *Aplicaciones Prácticas con el μC 8051*. Las fotografías 4 y 5 muestran la tarjeta de salidas y la tarjeta de entradas optoaisladas, respectivamente. Se encuentra en fase de desarrollo otra tarjeta que aporta dos puertos serie y un puerto Centronics para conexión de una impresora.



Fotografía 4. Tarjeta de 32 salidas optoaisladas



Fotografía 5. Tarjeta de 24 + 4 entradas optoaisladas

3.5. Manual “Aplicaciones Prácticas con el μ C 8051”

Dedicado al estudio de μ C PCB80C552 y a su programación en ensamblador y en lenguaje C. Trata de cubrir aspectos relacionados con el diseño del hardware y el diseño del software. El manual incluye los esquemas completos de la tarjeta microcontroladora, del Equipo de

experimentación y los de las tarjetas de entradas y salidas optoaisladas. Además explica todos los chips de la tarjeta Disen-552 y los distintos mapas de memoria que puede adoptar, según sea la programación del PLD que incorpora. Los cinco últimos capítulos están dedicados a las prácticas con el Equipo de experimentación, realizadas principalmente en lenguaje C. La mayor parte de las transparencias utilizadas para las clases se han sacado de este manual. El índice de materias del mismo puede dar una idea de su contenido y extensión:

1. Microcontrolador 80C552	1
2. SIO1, Puerto serie I ² C.....	33
3. Especificaciones del bus I ² C.....	63
4. Tarjeta DISEN-552.....	85
5. Chips de la tarjeta DISEN-552	96
6. Programa Monitor DISEN-552.....	114
7. Ensamblador para la familia 8051.....	141
8. Compilador C para la familia 8051	172
9. Funciones de librería del compilador C.....	190
10. Equipo de Experimentos DISEN-EXP.....	207
11. Prácticas con visualizadores.....	219
12. Prácticas con teclados.....	237
13. Generación de música con microcontrolador	257
14. Prácticas de regulación (velocidad, temperatura, luminosidad).....	271
15. Comunicaciones serie.....	280
Apéndice A. Tarjetas de Entradas y Salidas	296
Apéndice B. Juego de instrucciones del μ C 8051	301

3.6. Discos con el software

El software *PK51 Evaluation Kit* puede obtenerse en la dirección de Internet www.keil.com. La versión 5.20 ocupa 3 discos de 1.44 Mbytes. El tercer disco dispone de espacio suficiente para almacenar los ejemplos prácticos y el fichero DM51.PDF, el cual contiene la Guía de Usuario de las herramientas de desarrollo de Keil. Este fichero se obtiene en la misma dirección de Internet y puede imprimirse con el programa Acrobat Reader de Adobe Systems. De forma muy breve, podemos decir que el software consta de:

- Compilador C51
- Macro ensamblador A51
- Utilidades 8051 (Linker, Gestor de librerías, Conversor de código objeto, etc.)
- μ Vision. Entorno integrado para Windows
- dScope. Simulador y depurador de código fuente para Windows

Todos los programas ejecutables y las utilidades, se lanzan desde μ Vision sin que resulte necesario aprender la sintaxis de la línea de llamada de las herramientas de desarrollo. El entorno integrado μ Vision, véase figura 1, es un interface de usuario para Windows, con un completo sistema de ayuda en línea. Contiene un editor, un gestor de proyectos, y un gestor de aplicaciones. El editor permite abrir varios ficheros en varias ventanas, y muestra con distintos colores, los diferentes elementos del lenguaje C. El gestor de proyectos facilita el mantenimiento actualizado de los proyectos cada vez que se realizan cambios en los ficheros fuente. Por último, el gestor de aplicaciones permite incluir llamadas a programas externos, dentro de los menús desplegable de μ Vision

```
µVision/51 evaluation - MOTOR.PRJ
File Edit Project Run Options Tools Window Help
RESUMEN.TXT
Conectar los puertos serie del PC y de la Tarjeta Disen-552
Co MOTOR.C
  ET0 = 1;      /* 921.600 / 200 = 4608 */
  EA = 1;      /* -4608 = 0xEE00 */
  )/* FIN DE InitTimer0 */
Ex
  UCHAR GetADC(UCHAR canal)
  {
  Adc = 0;     /* ADCI=ADEX=0, para poder iniciar conversión software
  canal &= 0x7; /* Asegura que el canal esté en la gama 0..7 */
  canal |= 0x8; /* Pone bit 3 a 1 para iniciar conversión A/D */
  ADCON = canal; /* Inicia la conversión A/D del canal solicitado */
  while((ADCON&0x10)!=0)
  ; /* La conversión termina cuando ADCON.4 toma valor 1 */
  return(ADCH); /* Retorna el valor leído en sólo 8 bits */
  }/* FIN DE GetADC */

  UCHAR DISPLAY[4], INDICE ;

  InteTimer0() interrupt 1
```

Figura 1. Aspecto del entorno integrado para Windows µVision

El programa dScope, véase figura 2, es un simulador y depurador de código fuente que puede llamarse desde Windows o desde dentro de µVision. Se trata de un producto software que simula la mayor parte de las características del µC 8051. Gracias a dScope es posible probar y depurar un programa sin disponer aún del hardware del µC. Es capaz de simular una gran variedad de periféricos del 8051, como los puertos serie, los *timers* o las líneas de entrada y salida.

Soporta varios µC derivados del 8051 mediante el uso de distintas DLLs (*Dynamic Link Libraries*). Antes de cargar la aplicación a depurar con dScope, es preciso cargar el *driver* apropiado para cada CPU. Por ejemplo, para simular a las CPUs de Philips 8xC552, debemos cargar el *driver* 80552.DLL.

El depurador dScope dispone del *driver* MON51.DLL, con el cual puede establecer diálogo a través del puerto serie del PC, con el puerto serie de un µC derivado del 8051, siempre que éste disponga de un pequeño *kernel* o programa monitor almacenado en EPROM. El programa Monitor_2 de la tarjeta microcontroladora del Equipo, permite la comunicación con el depurador dScope a una velocidad de 19.200 baudios. Así es posible depurar código para un µC 8051, desde un PC, con los comandos de dScope, y controlar la ejecución de programas en ensamblador o en lenguaje C, sobre el hardware completo de la aplicación.

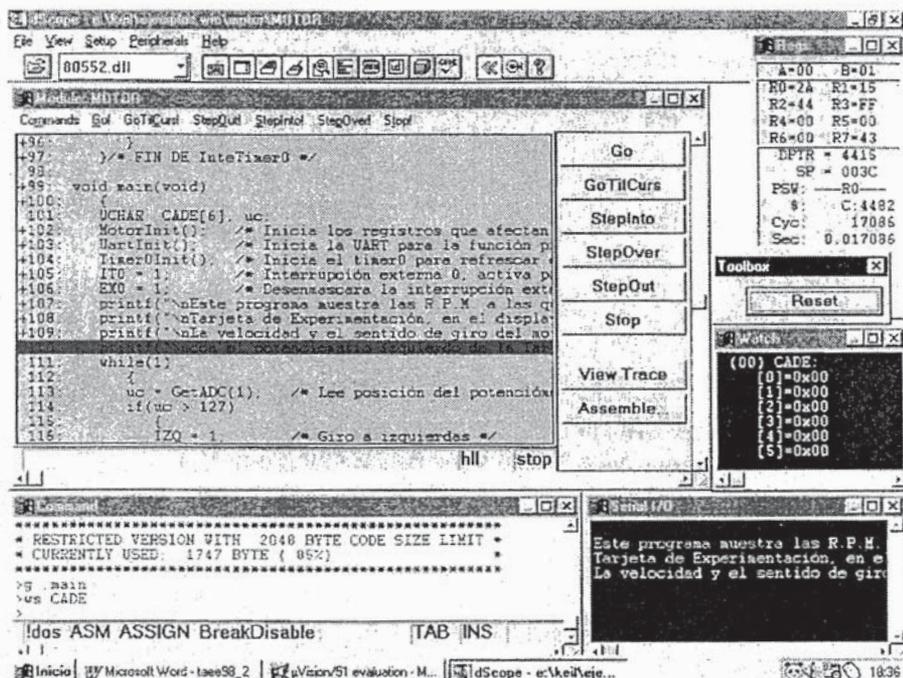


Figura 2. Aspecto del simulador y depurador de código fuente para Windows dScope

4. MÉTODO DE TRABAJO

Los programas de aplicación para de un sistema basado en μC en general están formados por varios ficheros escritos en lenguaje C y/o lenguaje ensamblador. Los primeros precisan ser compilados por el compilador C51, mientras que los segundos necesitan ser ensamblados por el ensamblador A51. Todos los ficheros que componen una aplicación deben estar agrupados en un mismo directorio. Para ayudar al mantenimiento de los proyectos, el entorno μ Vision incluye una utilidad de gestión de proyectos que facilita su actualización cada vez que se realizan cambios en los ficheros fuente. Los pasos a seguir en el desarrollo de una aplicación de μC son:

- Desde Windows lanzar el programa μ Vision
- Con el editor de μ Vision escribir los ficheros fuente en el lenguaje adecuado
- Crear un nuevo Fichero de Proyecto con *Project - New Project*. Asignar un nombre al fichero y almacenarlo en el mismo directorio que contiene a los ficheros fuente.
- Insertar los ficheros fuente en el proyecto con el comando *Add*
- Configurar las opciones del ensamblador A51 en la ventana de diálogo *Options - A51*
- Configurar las opciones del compilador C51 en la ventana de diálogo *Options - C51*
- Configurar las opciones del linker BL51 en la ventana de diálogo *Options - BL51*
- Crear el fichero ejecutable pulsando el botón *Update Project*
- Lanzar el depurador haciendo *click* en el boton dScope de μ Vision

- Seleccionar *File – Load DLL driver* y cargar el driver adecuado. Por ejemplo: 80552.DLL si se desea simular a la CPU 8x552, o MON51.DLL si se quiere enviar el programa a la tarjeta microcontroladora.
- Depurar el programa. En caso de que no funcione como se desea, modificar los ficheros fuente, actualizar el fichero ejecutable pulsando el botón *Update Project* y volver al depurador.

La depuración del programa ejecutable se realiza utilizando los comandos del depurador dScope. Un fichero escrito en lenguaje C puede depurarse en lenguaje C, o en lenguaje ensamblador. Entre las operaciones permitidas se encuentran:

- Ver el programa en ensamblador seleccionando *Commands - View Mixed*
- Colocarse en el comienzo de la función main con el comando *g, main (Go til main)*
- Correr el programa paso a paso con el comando *StepInto!*
- Ejecutar completamente una función con el comando *StepOver*
- Ejecutar código hasta la línea del cursor con el comando *GotilCurs*
- Poner *breakpoints* con un doble click en la línea de código fuente deseada.
- Iniciar la ejecución de un programa con el comando *Go!*
- Ver variables con el comando *WS*.
- Cambiar el valor actual del PC (*Program Counter*)

5. RESULTADOS

En la enseñanza de los sistemas basados en μC , se observa una cierta tendencia a la realización de prácticas de programación, la mayoría de las veces en lenguaje ensamblador, y realizadas en PC con la ayuda de programas simuladores o de sencillas tarjetas microcontroladoras, pero abandonando en muchos casos la experimentación con dispositivos reales. Pensamos que ello se debe a la carencia de equipos que permitan el montaje cómodo y rápido de las prácticas; ofreciendo al mismo tiempo la posibilidad de experimentar con elementos de naturaleza variada. El uso del Equipo de experimentos a lo largo del presente curso escolar, ha permitido romper esta tendencia, e incorporar una mayor variación de prácticas con dispositivos reales analógicos y digitales. El tiempo invertido en el montaje de las prácticas es del orden de los 2 ó 3 minutos, cuando se dispone de los cables de conexión adecuados. Para familiarizar a los alumnos con el lenguaje C, encontramos muy útil presentarles inicialmente los mismos programas resueltos en lenguaje ensamblador y en lenguaje C, mostrándoles después el código en ensamblador generado por el propio compilador. Nuestra experiencia nos dice que en muy poco tiempo encuentran más atractivo el lenguaje C, y aprenden los pequeños “trucos” que permiten obtener un código eficiente.

6. REFERENCIAS

- [1] Siemens. “Microcomputadores”. Ed Marcombo. Cap. 6, 1988
- [2] Philips. “Single-chip 8 bit microcontrollers. User manual”, 1988