

# CURSO DE APRENDIZAJE DEL MICROCONTROLADOR DE INTEL 8051

Javier Ferreiros López, Miguel Angel Berrojo Martín y Enrique Fenoll Comes

Universidad Politécnica de Madrid  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación.  
Departamento de Ingeniería Electrónica.  
Tfno: (91) 549 57 62 Ext. 352  
Fax: (91) 336 73 23  
e-mail: ferreiros@die.upm.es

## RESUMEN

*El curso está diseñado para el aprendizaje de la metodología del diseño con microcontroladores. Se ha elegido el microcontrolador de Intel 8051 por su sencillez y por su amplia difusión industrial. Pese a ser un dispositivo sencillo, su uso implica manejar la gran mayoría de conceptos relativos al diseño de sistemas basados en microcontroladores para aplicaciones industriales.*

*El curso ha sido aplicado con éxito en dos años consecutivos en un curso ofrecido al Ministerio de Educación y Ciencia por parte del Departamento de Ingeniería Electrónica de la E.T.S.I. de Telecomunicación de la U.P.M., para la actualización de profesores de Formación Profesional de la rama de electrónica, con titulaciones superiores y medias. El curso ha contado con una asistencia media de 24 alumnos.*

## 1. COMPOSICIÓN DEL CURSO

Los conocimientos que se imparten en el curso tienen aspectos teóricos y prácticos, por lo que se desarrolló material didáctico, tanto para el aula como para los laboratorios.

El temario incluye básicamente los siguientes puntos:

- Descripción general del procesador y de la familia a la que pertenece.
- Herramientas disponibles para el desarrollo de aplicaciones.
- Modelo de programación y juego de instrucciones.

- Descripción de los recursos del procesador: puertos, interrupciones, etc.
- Procedimiento de grabación de la EPROM del 8751 y diseño de un grabador controlado por PC.

## **2. HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA EL CURSO**

### **Material para las clases**

Para el aula se utilizan transparencias, de las cuales se distribuyen fotocopias a los alumnos antes de las clases, con el fin de que puedan hacer cuantas anotaciones consideren oportunas. Las transparencias contienen información esquemática, sabiendo que los alumnos tienen acceso a los manuales del fabricante, los cuales son, por supuesto, mucho más detallados. Aparte de incluir información sobre el microcontrolador también se incluyen ejemplos de aplicación de los conceptos implicados.

Para cada tema teórico, que se desarrolla en hora y media de clase, se dispone de una media de 30 transparencias, lo cual permite una cadencia relajada de exposición.

### **Material para el laboratorio**

Para las clases de laboratorio se utiliza un entorno de desarrollo compuesto por software de edición, compilación, ensamblado y simulación, así como del hardware de prueba.

Para el trabajo de laboratorio también son imprescindibles los manuales de referencia técnica de todos los elementos citados.

Las herramientas software que manejan los alumnos son las siguientes:

- \* Editor de texto.
- \* Macro ensamblador y enlazador de objetos para la familia 8051 de Intel.
- \* Simulador de la familia 8051.
- \* Software para la grabación y verificación de la EPROM del 8751.

Todas estas herramientas se ejecutan en un PC, con unos requerimientos de memoria, disco duro y gráficos mínimos.

El hardware sobre el que se realizan las prácticas de laboratorio se ha desarrollado específicamente para este fin. Consiste en una tarjeta de circuito impreso con los elementos y características siguientes:

- Procesador 8751, que dispone de 4 Kbytes de EPROM para grabar programas.
- Hardware anejo necesario para el funcionamiento del procesador.
- Interfaz de bus de datos y selección de dirección para conectarse a un slot ISA de PC, en la dirección de puerto 0x300 H.
- Interfaz de un puerto del microcontrolador con un conversor digital - analógico de 8 bits.

- Conexiones disponibles a todos los terminales libres del microcontrolador.
- Zona de wrapping para ampliar el hardware a voluntad.

El interfaz con el PC es de 8 bits bidireccional, de tal manera que el intercambio de información entre el PC y el microcontrolador puede realizarse en los dos sentidos. En cualquier caso, todas estas operaciones se realizan bajo demanda del PC, lo que simplifica el protocolo de comunicación.

La tarjeta se alimenta directamente del slot del PC, aunque también se puede alimentar externamente (pudiendo eliminar por lo tanto los integrados de interfaz con el PC) para realizar prácticas en las que el microcontrolador trabaja de forma autónoma.

También se ha diseñado el grabador de las EPROM del 8751. El estudio de este sistema se incluye en las clases teóricas y se entrega toda la documentación necesaria para que los alumnos interesados en montar su propio grabador puedan hacerlo. También se entrega el programa en C que controla el grabador.

### 3. DESARROLLO DEL CURSO

El curso está programado para una semana, en formato intensivo, de manera que por las mañanas se imparten las clases teóricas y por las tardes se desarrollan las prácticas relacionadas con esa teoría.

La siguiente tabla muestra en versión comprimida a cuatro días la composición mínima del curso. La adaptación a otro esquema temporal de más días se puede realizar en base a esta programación.

<i>Día</i>	<i>Horario</i>	<i>Tarea</i>	<i>Temario</i>
<i>Día 1</i>	Mañana	Clase 1	Microcontroladores - Familia MCS 51
		Clase 2	Juego de Instrucciones del 8051
	Tarde	Clase 3	Simulador del 8051 - Ejemplo
		Laboratorio 1	Prácticas con las herramientas software
<i>Día 2</i>	Mañana	Clase 4	Ensamblador y Enlazador MCS 51
		Clase 5	Entradas /Salidas del 8051
	Tarde	Laboratorio 2	Desarrollo de una aplicación con el 8751 ( <i>parte 1</i> )
<i>Día 3</i>	Mañana	Clase 6	Contadores/ Temporizadores del 8051
		Clase 7	Comunicaciones serie del 8051
	Tarde	Laboratorio 3	Desarrollo de una aplicación con el 8751 ( <i>parte 2</i> )
<i>Día 4</i>	Mañana y Tarde	Clase 8	Programación de la EPROM del 8751
		Laboratorio 4	Desarrollo de una aplicación con el 8751 ( <i>parte 3</i> )

Se puede observar, en primer lugar, una tendencia clara: al principio el número de clases en el aula es mayor y al final, el curso pasa a ser esencialmente práctico en el laboratorio, dejando para el aula temas complementarios.

Esto, en principio, es necesario y finalmente es positivo para la marcha del curso. Evidentemente, antes de ir al laboratorio se necesitan algunos conocimientos previos. De ahí el número mayor de clases en el primer día. A medida que el alumno va aumentando sus conocimientos, tanto del microcontrolador como de las herramientas de que dispone en el laboratorio, la carga teórica disminuye, incrementándose el énfasis en el aspecto práctico. Es en el laboratorio donde el alumno corrobora y asimila lo que se ha explicado en las clases teóricas.

Precisamente éste es otro de los puntos que se han cuidado en la redacción de la programación del curso: que previamente a que el alumno vaya al laboratorio, se le hayan impartido en clase los conocimientos necesarios. Dicho de otra manera, las prácticas nunca cubren más aspectos que los que se han expuesto previamente en el aula.

Es importante también que la práctica complete el conocimiento de todo lo expuesto en la clase inmediatamente anterior. De esta manera minimizamos el tiempo entre la exposición teórica de un concepto y su comprobación práctica, lo cual robustece el aprendizaje.

### **Clases teóricas**

La duración de las clases teóricas son de hora y media, dejando descansos de un cuarto de hora entre ellas.

Las clases teóricas se han diseñado partiendo de la base de que el alumno conoce los conceptos básicos de funcionamiento de los microprocesadores. El contenido teórico parte de la explicación del concepto de microcontrolador a partir del concepto de microprocesador, de forma que en cada una de las clases se abordan los aspectos específicos del microcontrolador sin necesidad de entrar en los detalles de conceptos generales.

En las distintas lecciones se explica el modo de funcionamiento de todos los dispositivos que integra el microcontrolador. Se ha procurado que estas exposiciones se centren en los mecanismos esenciales de funcionamiento, dejando los detalles minuciosos de utilización como parte del trabajo de laboratorio. De esta forma se facilita la comprensión de los dispositivos y se evita que las clases teóricas se hagan tediosas.

Se incluyen dos clases teóricas para la explicación de las herramientas software que el alumno utilizará en el laboratorio. El propósito de estas lecciones es el de minimizar el tiempo de aprendizaje de manejo de las herramientas en el laboratorio. El simulador de que se dispone es una herramienta muy útil que permite ver lo que implica la ejecución de cada instrucción en el interior del microcontrolador.

### **Laboratorios**

Las prácticas a realizar en el laboratorio disponen de un guión que se entrega al alumno. Antes de comenzar el trabajo en el laboratorio, se describen los objetivos de la práctica y se hacen breves comentarios sobre algunos detalles destacables del guión que tienen delante.

El trabajo en laboratorio se ha programado para una duración de tres horas, tiempo suficiente para completar las tareas propuestas. En el guión se incluyen sugerencias para mejorar o ampliar el

trabajo, de forma que aquellos alumnos que finalicen la práctica propuesta antes del tiempo previsto, puedan aprovechar al máximo el laboratorio.

Las prácticas se realizaron por parejas. Esto es recomendable ya que por una parte fomenta la discusión entre los miembros de la pareja, permite resolver lagunas complementarias y por otra, favorece la costumbre del trabajo en equipo. Con el fin de resolver las dudas que puedan ir apareciendo a lo largo de la sesión, el laboratorio es atendido por un grupo de profesores, cuyo número va a depender del número total de alumnos: en nuestro caso, para un alumnado de 24 personas dispuestas en 12 puestos de trabajo, consideramos conveniente que éste grupo estuviese compuesto de tres profesores, uno de los cuales era el que había diseñado y preparado la práctica.

En los guiones de las prácticas se incluye una posible solución para cada una de las tareas que se proponen. Se hace un especial énfasis en que los alumnos busquen su propia solución, pero, en el caso de que no la encuentren, pueden realizar la práctica con la solución facilitada.

Para aquellos alumnos que han encontrado soluciones a los problemas propuestos, las soluciones incluidas en el guión suponen una referencia para valorar sus propias soluciones y pueden aportar nuevos puntos de vista. Es un material más para el aprendizaje de la posible diversidad de soluciones a un mismo problema.

El diseño de las prácticas se ha realizado de manera incremental: se descomponen en subapartados cuyos resultados se utilizarán en los siguientes subapartados. Con ello se tratan mejor los temas puntuales de implementación y finalmente, utilizando el trabajo realizado en los primeros apartados, se resuelve un problema de mayor entidad.

Las prácticas se plantean para resolver el mismo problema con distintos métodos; con ello se consigue que el alumno explore la utilización de diversos recursos y no pierda el tiempo en resolver distintos problemas, que al final probablemente requerirían los mismos recursos.

Respecto al contenido de las prácticas que se realizan en el curso, cabe destacar, en la primera de ellas, la utilización de un programa simulador del microcontrolador para PC. Por un lado presenta un gran valor didáctico, pues permite analizar con detalle las distintas acciones que tienen lugar en el procesador cuando se ejecuta una instrucción, lo que facilita en gran medida la comprensión del funcionamiento del microcontrolador y de cada una de sus instrucciones. Por otro lado es una herramienta muy asequible que permite verificar y depurar los programas antes de que sean grabados en el microcontrolador.

Siguiendo la idea de práctica incremental, la disposición global del resto de las prácticas fue la siguiente:

- \* Realizar un retado basado en bucles anidados.
- \* Lectura indexada de una tabla.
- \* Lectura indexada de varias tablas.
- \* Suma de los valores de dos tablas.
- \* Suma de armónicos.
- \* Escritura de datos en un puerto.
- \* Realizar un retardo mediante temporizadores.

- \* Lectura cíclica de los datos de una tabla a la frecuencia indicada por un temporizador.
- \* Lectura cíclica de los datos de varias tablas a la frecuencia indicada por un temporizador, de manera que la conmutación de tabla se controla mediante otro temporizador.
- \* Generar mediante el conversor D/A de la placa una señal y un armónico utilizando lo anteriormente implementado.

Las prácticas se realizan en su mayor parte en PC's: se escribe el código, se ensambla, se enlaza y finalmente se simula. Dicho proceso se repite hasta depurar por completo el programa de cada uno de los subapartados. Con el fin de mejorar el aprendizaje, los resultados finales de cada práctica se implementan en una placa que se ha diseñado expresamente para el laboratorio (ver apartado 2.). Esta tarea implica: generar el código del programa de tal manera que sea utilizable por el grabador, programar la memoria EPROM del 8751, alimentar la tarjeta y hacer las medidas correspondientes sobre ésta utilizando un osciloscopio.

Al final del curso, a los alumnos se les entrega la placa de prácticas, para que puedan seguir practicando en sus centros de origen, una vez terminado el curso.

#### **4. EVALUACIÓN**

El curso se está impartiendo, desde hace dos años, a profesores de Formación Profesional, en el marco de un curso de actualización del profesorado de F.P., con una temática más global: Microprocesadores, Hardware y Software del PC y el lenguaje de Programación C.

En el curso se hizo especial hincapié en la aplicabilidad de los conocimientos impartidos, no solo desde el punto de vista industrial sino también desde el docente, en el marco de la Formación Profesional.

La evaluación del curso se llevó a cabo mediante unas encuestas a los alumnos en las que anónimamente podían destacar los puntos que consideraran positivos o negativos, así como también se les pedía ideas para mejorar o incluir nuevas actividades.

Como fruto de estas valoraciones, el curso se ha ido retocando, tanto desde el punto de vista organizativo como desde el de sus contenidos. Como ejemplos de estos retoques podemos citar, entre otras, las mejoras introducidas en los guiones de prácticas, con la inclusión de soluciones en los mismos, o con una descripción más detallada de los pasos necesarios para completar las tareas.

#### **5. CONCLUSIONES**

De las encuestas recogidas entre los asistentes, se deduce que el curso que se presenta en el artículo ha tenido una buena aceptación, debido a dos factores principales:

Por un lado el interés de la materia impartida: el diseño de sistemas basados en microcontroladores. Estos dispositivos, fruto del avance en integración de dispositivos en un chip, incluyen en una única pastilla un sencillo ordenador orientado al campo de control de procesos, y

han sido utilizados con profusión en diverso productos de gran consumo, en los cuales otras opciones de control resultaban desproporcionadas y costosas.

Por otro lado, la orientación práctica del curso, les permitió aplicar las técnicas de diseño a la realización de un pequeño sistema, capacitándoles para que, a su vez, puedan impartir estos conocimientos a sus propios alumnos de Formación Profesional.

## **6. AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer la oportunidad de impartir este curso a los organizadores del programa de actualización de profesores de Formación Profesional en el que se integró: el Dr. D. Antonio García Guerra y el Dr. D. Santiago Aguilera Navarro del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica de Madrid.