

# **Microcontroladores MCS-51 y MCS-251**

POLITEXT

José Matas Alcalá  
Rafael Ramón Ramos Lara

# **Microcontroladores MCS-51 y MCS-251**

EDICIONS UPC

La presente obra fue galardonada en el séptimo concurso  
"Ajuts a l'elaboració de material docent" convocado por la UPC.

Primera edición: febrero de 2001  
Segunda edición: diciembre de 2001

Diseño de la cubierta: Manuel Andreu

© Los autores, 2001

© Edicions UPC, 2001  
Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL  
Jordi Girona Salgado 31, 08034 Barcelona  
Tel.: 934 016 883 Fax: 934 015 885  
Edicions Virtuals: [www.edicionsupc.es](http://www.edicionsupc.es)  
E-mail: [edicions-upc@upc.es](mailto:edicions-upc@upc.es)

Producción: Barcelona Digital, S.L.  
Rosselló 77, 08029 Barcelona

Depósito legal: B-45.316-2001  
ISBN: 84-8301-573-0

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

A Gemma y Alex, a mi familia, a mis amigos  
más próximos, a mis compañeros de la  
EUPVG, y a la memoria de mi padre.

José Matas

A Paula y a Rosa, a mi familia, a mis  
compañeros de la EUPVG y a mis amigos.

Rafael Ramos

## Índice

### 1 Estructura básica de un sistema microprocesador

1.1	Introducción .....	15
1.2	Estructura básica de un sistema microprocesador .....	15
1.2.1	Unidad central de proceso (CPU) .....	16
1.2.2	Módulo de entradas/salidas (E/S) .....	18
1.2.3	Buses del sistema .....	18
1.3	Estructura general de un sistema basado en microprocesador .....	21
1.4	Estructura general de un sistema basado en microcontrolador .....	23

### 2 Las familias de microcontroladores de Intel y de otros fabricantes

2.1	La familia MCS-48 .....	25
2.2	La familia MCS-51 .....	25
2.3	La familia MCS-151 .....	26
2.4	La familia MCS-251 .....	27
2.5	Microcontroladores de otros fabricantes .....	28
2.5.1	Microcontroladores de Philips .....	28
2.5.2	Microcontroladores de Siemens .....	30
2.5.3	Microcontroladores de Atmel .....	31
2.5.4	Microcontroladores de Dallas Semiconductor .....	31

### 3 Arquitectura de las familias MCS-51 y MCS-251

3.1	Arquitectura interna de la MCS-51 .....	33
3.1.1	Relación de terminales .....	34
3.1.2	Puertos de entrada/salida .....	36
3.2	Organización de la memoria y de los registros internos de la MCS-51 .....	38
3.2.1	Área de memoria de código de programa y memoria de datos .....	38
3.2.2	Área de memoria interna y de registros de propósito general .....	40
3.2.3	Área de registros especiales (SFR) .....	41
3.3	Arquitectura interna de la MCS-251 .....	44
3.3.1	Relación de terminales .....	45
3.3.2	Estructura interna de los puertos de entrada/salida .....	48
3.4	Organización de los espacios de memoria de la MCS-251 .....	48
3.4.1	Área de memoria .....	49
3.4.2	Área de registros de propósito genérico .....	51
3.4.3	Área de registros de función específica SFR .....	54

3.4.4	Compatibilidad con la arquitectura de la familia MCS-51 .....	57
3.5	Configuración de la serie 8XC251Sx .....	58
3.5.1	Configuración del acceso a la memoria externa .....	58

#### **4 Programación de las familias MCS-51 y MCS-251**

4.1	Introducción .....	63
4.2	Tipos de direccionamiento .....	64
4.2.1	Direccionamiento inmediato .....	65
4.2.2	Direccionamiento directo .....	66
4.2.3	Direccionamiento por registro .....	67
4.2.4	Direccionamiento indirecto .....	68
4.2.5	Direccionamiento por desplazamiento o indexado .....	69
4.2.6	Direccionamiento de bit .....	70
4.2.7	Direccionamiento relativo .....	73
4.3	Conjunto de instrucciones de la familia MCS-51 y MCS-251 .....	73
4.3.1	Formato de una instrucción .....	74
4.3.2	Directivas de ensamblador .....	75
4.3.3	Los registros de estado PSW y PSW1 .....	77
4.3.4	Instrucciones aritméticas .....	79
4.3.5	Instrucciones lógicas .....	83
4.3.6	Instrucciones de transferencia de datos .....	86
4.3.7	Instrucciones booleanas .....	90
4.3.8	Instrucciones de control .....	92

#### **5 El modelo de programación**

5.1	Creación y consulta a tablas .....	97
5.2	Transferencia de bloques de datos .....	98
5.3	Funciones booleanas .....	99
5.4	Retardos de tiempo .....	100
5.5	Suma y resta de datos .....	101
5.6	Contador en BCD .....	103
5.7	Multiplicación y división de datos de 16 bits .....	105
5.8	Suma y resta de datos con signo .....	109
5.9	Multiplicación y división de 16 bits con signo .....	109
5.10	Ejemplos de aplicación .....	113
5.10.1	Generación de una señal cuadrada .....	113
5.10.2	Conexión de teclas al microcontrolador .....	115
5.10.3	Conexión de un dígito de siete segmentos .....	117
5.10.4	Conexión de un teclado matricial de 4 x 4 teclas .....	118
5.10.5	Conexión de varios dígitos de siete segmentos, aplicación de "Su turno" .....	121
5.10.6	Contador de piezas .....	125
5.10.7	Control de un ascensor .....	127
5.10.8	Control de un calefactor .....	129
5.10.9	Control de una cinta elevadora .....	131
5.10.10	Control de la temperatura de un horno de cocción .....	134

## 6 Las interrupciones

6.1	Introducción .....	137
6.2	Las interrupciones en la familia MCS-51 .....	139
6.2.1	Vectorización de interrupciones en la MCS-51 .....	142
6.2.2	Habilitación de interrupciones y establecimiento de prioridades en la MCS-51 .....	143
6.2.3	Tiempos de respuesta del proceso de interrupción .....	145
6.3	El sistema de interrupciones en la familia MCS-251 .....	152
6.3.1	Habilitación de las interrupciones .....	155
6.3.2	Niveles de prioridad de las interrupciones .....	156
6.3.3	Interrupciones externas /INT0 e /INT1 .....	158
6.3.4	Interrupción de los <i>Timers</i> .....	163
6.3.5	Interrupción del <i>array</i> de contadores programables (PCA) .....	164
6.3.6	Interrupción del puerto serie .....	165

## 7 Temporizadores/contadores internos y *watchdog*

7.1	Introducción .....	173
7.2	Temporizadores/contadores para la MCS-51 .....	174
7.2.1	<i>Timer 0</i> y <i>Timer 1</i> .....	174
7.2.2	<i>Timer 2</i> .....	181
7.2.3	<i>Timer 0, 1</i> y <i>2</i> como contador .....	186
7.3	Temporizadores para la MCS-251 .....	191
7.4	Funcionamiento de los <i>Timers</i> .....	192
7.4.1	Funcionamiento como temporizador .....	193
7.4.2	Funcionamiento como contador .....	193
7.5	<i>Timer 0</i> y <i>Timer 1</i> .....	194
7.5.1	Habilitación de los <i>Timers 0</i> y <i>1</i> .....	194
7.5.2	Desbordamiento de los <i>Timers 0</i> y <i>1</i> .....	198
7.5.3	Modos de funcionamiento de los <i>Timers 0</i> y <i>1</i> .....	199
7.6	<i>Timer 2</i> .....	213
7.6.1	Modo captura .....	215
7.6.2	Modo autorrecarga .....	215
7.6.3	Modo de generador de baudios ( <i>Baud Rate Generator Mode</i> ) .....	217
7.6.4	Modo <i>Clock-out</i> .....	217
7.7	<i>Timer watchdog</i> .....	219
7.7.1	Descripción de funcionamiento .....	219
7.7.2	Utilización del timer WDT .....	220
7.7.3	<i>Timer WDT</i> durante el modo <i>Idle</i> .....	220
7.7.4	<i>Timer WDT</i> durante <i>Power Down</i> .....	220

## 8 Memoria externa

8.1	Introducción .....	221
8.2	Memorias semiconductoras .....	221
8.3	Estructura externa de las memorias .....	223
8.4	Ciclos de <i>fetch</i> , de lectura y de escritura .....	224

8.5	Conexión entre la MCS-51 y la memoria externa .....	225
8.5.1	Diagramas de tiempo para la MCS-51 .....	225
8.6	Ejemplos de conexión para la MCS-51 .....	227
8.7	Conexión con la memoria externa para la familia MCS-251 .....	231
8.8	Configuraciones de acceso a la memoria externa .....	233
8.8.1	18 bits de bus de direcciones (RD1, RD0 = 00) .....	233
8.8.2	17 bits de bus de direcciones (RD1, RD0 = 01) .....	239
8.8.3	16 bits de bus de direcciones (RD1, RD0 = 10) .....	240
8.8.4	16 bits de bus de direcciones (RD1, RD0 = 11) .....	240

## 9 Puerto de comunicación serie

9.1	Introducción .....	247
9.2	La comunicación serie en la MCS-51 .....	248
9.3	Modos de funcionamiento del puerto serie .....	250
9.3.1	Modo 0. Modo síncrono .....	250
9.3.2	Modos 1, 2 y 3. Modos asíncronos .....	250
9.3.3	El <i>Timer 2</i> como base para el puerto serie .....	252
9.4	Detección de errores .....	253
9.5	La comunicación serie en la MCS-251 .....	262
9.6	Modos de operación .....	264
9.6.1	Modo 0 o síncrono .....	264
9.6.2	Modos 1, 2 y 3. Modos asíncronos .....	267
9.7	Detección de errores .....	272
9.8	Comunicación multiprocesador .....	272
9.9	Reconocimiento automático de direcciones .....	273
9.9.1	Direcciones <i>given</i> .....	273
9.9.2	Direcciones <i>broadcast</i> .....	274

## 10 El array de contadores programables (PCA)

10.1	Introducción .....	277
10.2	Temporizador/contador del PCA .....	279
10.3	Módulos de comparación/captura del PCA .....	280
10.3.1	Modo captura .....	280
10.3.2	Modos de comparación .....	287

## 11 Entradas y salidas analógicas

11.1	Introducción .....	297
11.2	Conexión de un convertidor D/A .....	298
11.3	Convertidor A/D de bajo coste mediante aproximaciones sucesivas .....	302
11.4	Conexión de un convertidor A/D .....	305
11.5	Conversión A/D utilizando los temporizadores del microcontrolador .....	317

**12 Modos especiales de funcionamiento**

12.1	Introducción .....	327
12.2	Registro de control de potencia (PCON) .....	327
12.2.1	Bits de control del puerto serie .....	327
12.2.2	Bit de <i>Power Off</i> (POF) .....	327
12.3	Modo <i>Idle</i> .....	328
12.4	Modo <i>Power Down</i> .....	329
12.5	Modo ONCE ( <i>On-Circuit Emulation</i> ) .....	330

<b>Apéndice</b>	Juego de instrucciones de la familia MCS-51 y MCS-251 .....	331
-----------------	---	-----

<b>Bibliografía</b> .....	337
---------------------------	-----

## Bibliografía

- BERNARD ODANT; *Microcontroladores 8051 y 8052*. Paraninfo, 1995.
- GONZÁLEZ VAZQUEZ, J.A; *Introducción a los microcontroladores 8X52, 8X51*. Mc Graw Hill, 1992.
- ANGULO, J.Mª; *Microprocesadores y Microcontroladores 8085, MCS-51 y ST6*. Paraninfo, 1992.
- Embedded Microcontroller User's Manual. 8XC251SA, 8XC251SB, 8XC251SP, 8XC251SQ.
- SENCER YERALAN Y ASHUSTOSH AHLUWALIA; *Programming and interfacing the 8051 Microcontroller*. Addison-Wesley, 1995.
- JAMES W. STEWART; *The 8051 Microcontrollers, Hardware, Software and interfacing*. Prentice-Hall, 1993.
- THOMAS W. SHULTZ; *C and the 8051. Programming and Multitasking*. Prentice-Hall, 1993.
- JOHN UFFENBECK; *Microcomputers and Microprocessors. The 8080, 8085, and Z-80*. Prentice-Hall, 1991.
- BARRY B. BREY; *Los microprocesadores de INTEL. Arquitectura. Programación e interfaces*. Prentice-Hall, 1994.
- RICHARD J. PRESTOPNIK; *The Microprocessor Peripheral IC Reference Manual*. Prentice-Hall, 1989.
- MATAS, José, et al ; *Entorno de desarrollo para la placa evaluadora EV80C51FX*. Revista Española de Electrónica, pág. 52-55, Abril 1995.
- ANDREW TANENBAUM; *Structured computer organization*. Prentice-Hall, 1990.
- DOUGLAS V. HALL; *Microprocessors and Interfacing, Programming and Hardware*. Mc-Graw Hill, 1992.
- A.C. DOWNTON; *Computadores y Microprocesadores*. Addison-Wesley, 1993