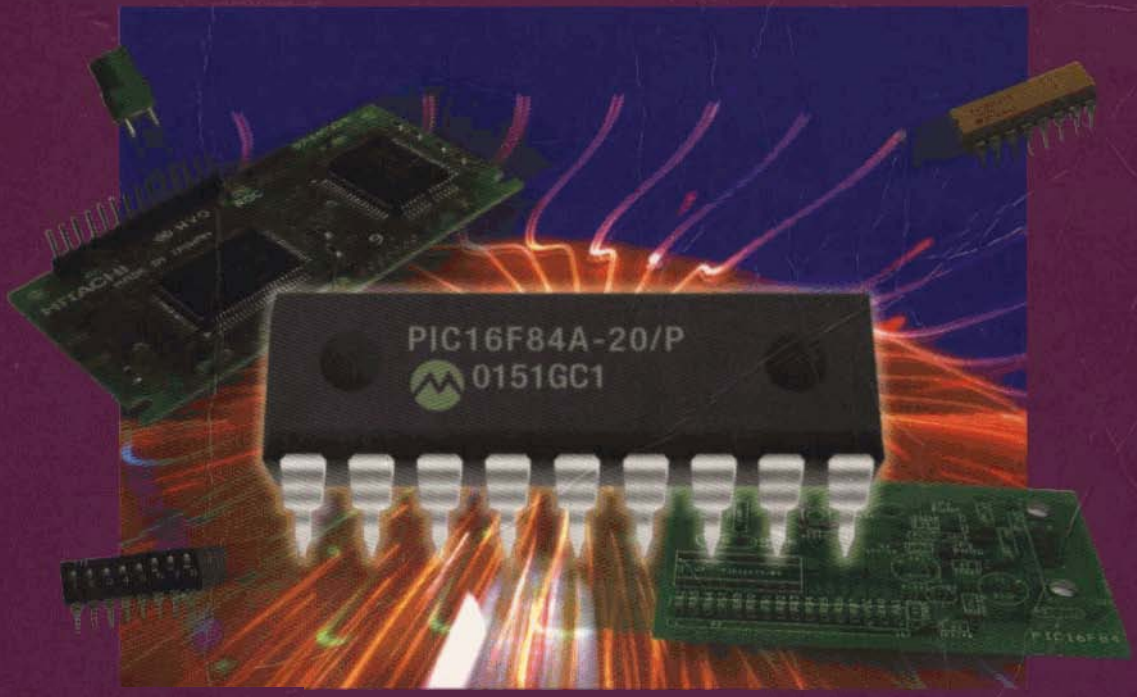
Microcontrolador PIC16F84

Desarrollo de proyectos



Enrique Palacios
Fernando **Remiro**
Lucas J. López

Incluye CD-ROM

Alfaomega Ra-Ma®

Microcontrolador PIC16F84

Desarrollo de proyectos

Este libro pretende introducir al lector en la realización de proyectos de circuitos electrónicos construidos con el popular microcontrolador PIC16F84. Para lograrlo se muestra un elevado número de ejercicios resueltos que el lector podrá desarrollar fácilmente con medias a su alcance.

Tanto los aficionados sin grandes conocimientos de electrónica, pero con inquietud suficiente para montar sencillos trabajos con microcontroladores, como los estudiantes de carreras técnicas de electrónica y los estudiantes de Ingeniería Industrial, Telecomunicaciones o Informática, encontrarán de gran utilidad esta obra para la realización de sus primeros proyectos.

El libro resulta eminentemente práctico ya que contiene más de 160 ejercicios resueltos con sus programas y esquemas, siendo muchos de ellos proyectos clásicos, como termómetros, relojes, calendarios, cerraduras electrónicas, control de *displays*, termostatos, temporizadores, alarmas, sirenas, comunicación con la computadora, juegos, control de motores, microrobots. etc.

El software utilizado es de libre distribución y los circuitos emplean componentes que pueden adquirirse fácilmente en cualquier tienda de productos electrónicos. Para el desarrollo de cualquiera de los proyectos planteados no se precisa de grandes medios materiales, por lo que realizarlos resulta sencillo, económico y ameno, además, se incluye un CD-ROM que contiene el software necesario, las soluciones a los ejercicios y notas técnicas.



ISBN 970-15-1033-X

9 789701 510339

Alfaomega Grupo Editor

Microcontrolador PIC16F84

Desarrollo de proyectos

Microcontrolador PIC16F84

Desarrollo de proyectos

Enrique **Palacios** Municio
Fernando Remiro Domínguez
Lucas J. López Pérez

Alfaomega Ra-Ma®

Microcontrolador PIC16F84. Desarrollo de proyectos
© Enrique Palacios Municio, Fernando Remiro Domínguez
y Lucas J. López Pérez

ISBN 84-7897-600-0, edición original publicada por RA-MA Editorial,
MADRID, España. Derechos reservados © RA-MA Editorial

MARCAS COMERCIALES: RA-MA ha **intentado a lo largo de este libro distinguir las marcas registradas de los términos descriptivos, siguiendo el** estilo de mayúsculas **que utiliza el fabricante, sin intención de infringir la** marca y ***sólo*** **en beneficio del propietario de la misma.**

Primera edición: Alfaomega Grupo **Editar,** México, agosto 2004

© 2004 ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V.
Pitágoras 1139, Col. Del Valle, 03100 **México, D.F.**

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana
Registro No. 2317

ISBN 970-15-1033-X

Derechos reservados.
Esta obra es propiedad intelectual de su autor y los derechos de publicación en lengua española han sido legalmente transferidos al editor. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito **del propietario de los derechos del copyright.**

NOTA IMPORTANTE
La información contenida en *esta* obra tiene un fin exclusivamente didáctico y, por lo tanto, no está previsto su aprovechamiento a nivel profesional o industrial. Las indicaciones técnicas y programas incluidos, han sido elaborados con gran cuidado por el autor y reproducidos bajo estrictas normas de control. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V. no será jurídicamente responsable por: errores u omisiones; daños y perjuicios que se pudieran atribuir al uso de la información comprendida en este libro, **ni por la utilización indebida que pudiera dársele.**

Edición autorizada para venta en México y todo el continente americano

Impreso en México - Printed in Mexico

A mi mujer, Maribel, por su apoyo, cariño y paciencia.
A mis hijos, Cristina y Enrique, mi mayor fuente de alegrías y satisfacciones.
A mis padres, Enrique y Sagrario, en reconocimiento a su sacrificio.

Enrique

A mis padres, hijo y demás personas importantes de mi vida.

Lucas

A mis dos mujeres, Natalia con la que decidí compartir mis días y Mónica que me alegra cada día desde que nació y que a sus tres años no deja de querer ayudarme a escribir y programar microcontroladores y periféricos.

Fernando

CONTENIDO

PRÓLOGO XXI

CAPITULOS

1. MICROCONTROLADOR PIC16F84 1
2. PERIFÉRICOS BÁSICOS 9
3. GRABACIÓN DE MICROCONTROLADORES PIC 21
4. ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA 37
5. ARQUITECTURA INTERNA 47
6. ENSAMBLADOR 57
7. MPLAB 77
8. PROGRAMACIÓN ELEMENTAL 101
9. SALTOS 119
10. SUBRUTINAS 141
11. MANEJO DE TABLAS 157
12. SUBRUTINAS DE RETARDO 169
13. LCD 187
14. EEPROM DE DATOS 213
15. TIMER 0 223
16. OTROS RECURSOS 235
17. INTERRUPCIONES. LECTURA DE ENTRADAS 253

18. INTERRUPCIÓN POR DESBORDAMIENTO DEL TIMER 0 271
19. TECLADO MATRICIAL 289
20. COMUNICACIÓN CON ORDENADOR 305
21. BUS I2C 331
22. 24LC256, MEMORIA EEPROM EN BUS I2C 345
23. DS1624, TERMÓMETRO EN BUS I2C 359
24. DS1307, RELOJ CALENDARIO EN BUS I2C 371
25. SAA1064, CONTROLADOR DE DISPLAY 397
26. PCF8574, EXPANSOR DE BUS I2C 409
27. PCF8591, ADC Y DAC EN BUS I2C 423
28. BUS DE UNA LÍNEA 441
29. MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA 467
30. MOTORES PASO A PASO 481
31. SERVOMOTORES DE RADIOCONTROL 505
32. SENSORES PARA MICROROBÓTICA 515
33. CONSTRUCCIÓN DE UN MICROROBOT 543

APÉNDICES

A. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PIC16F84A 565
B. REPERTORIO DE INSTRUCCIONES 569
C. CONSTANTES Y OPERADORES 587
D. PRINCIPALES DIRECTIVAS DEL ENSAMBLADOR MPASM 589
E. REGISTROS ESPECIALES 601
F. GRABADOR T20-SE 611
G. CÓDIGO ASCII 613
H. DIRECCIONES DE INTERNET 615
I. CONTENIDO DEL CD-ROM 617
ÍNDICE ALFABÉTICO 619

ÍNDICE

PRÓLOGO XXI

Capitulo 1: MICROCONTROLADOR PIC16F84 1

1.1 Microcontroladores PIC 1
1.2 Alimentación de un PIC16F84 2
1.3 Puertos de entrada/salida 3
1.4 Oscilador 4
1.4.1 Oscilador XT 5
1.4.2 Oscilador RC 5
1.4.3 Osciladores HS y LP 5
1.4.4 Utilizando una señal de reloj externa 6
1.5 Reset 7
1.6 Montaje del entrenador 8

Capítulo 2: PERIFÉRICOS BÁSICOS 9

2.1 Diodo LED 9
2.2 Interruptores y pulsadores 11
2.3 Entradas digitales con optoacopladores 11
2.4 Display de siete segmentos 12
2.5 Controlando cargas a 230 V 13
2.5.1 Control con relé 14
2.5.2 Control con relé miniatura en cápsula DIL 16
2.5.3 Control mediante fototriac 16
2.5.4 Control de potencia con triac 18
2.6 Zumbador 19

Capítulo 3: GRABACIÓN DE MICROCONTROLADORES PIC 21

3.1 Grabación de un microcontrolador 21
3.2 Grabadores 22
3.3 Software de grabación IC-Prog 24
3.4 Grabación con medios reducidos 25
3.5 Proceso de grabación 26
3.6 Buffer de almacenamiento de programas 31
3.7 IC-Prog trabajando bajo Windows 2000 o XP 31
3.8 Errores frecuentes en la programación 32
3.9 Prácticas de laboratorio 34

Capítulo 4: ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA 37

4.1 Arquitectura interna del PIC16F84 37
4.2 Organización de la memoria 37
4.3 Memoria de programa 39
4.4 El contador de programa (PC) 39
4.5 Memoria de datos 41
4.6 Diferencias entre el PIC16F84A y el PIC16C84 41
4.7 Registros del SFR 42
4.8 Registros relacionados con los puertos 42
4.9 Registro PCL y contador de programa 42
4.10 Registro de trabajo W 43
4.11 Registro de estado o STATUS 43
4.12 Estado de los registros tras un reset 44
4.13 Registro de configuración 45

Capítulo 5: ARQUITECTURA INTERNA 47

5.1 Microprocesador y Microcontrolador 47
5.2 Arquitectura de Von Neumann 48
5.3 Arquitectura Harvard 49
5.4 Procesador segmentado 50
5.5 Procesador RISC 51
5.6 Arquitectura ortogonal 52
5.7 Puertos 53
5.8 Puerto A 53
5.9 Puerto B 56

Capítulo 6: ENSAMBLADOR 57

6.1 Lenguaje máquina 57
6.2 Lenguaje ensamblador 58
6.3 Programa ensamblador 58
6.4 Ficheros resultantes del ensamblado 59

6.5 El códig
6.5.1
6.5.2
6.5.3
6.5.4
6.5.5
6.6 Constan
6.7 Operado
6.8 El reper
6.9 Instrucc
6.9.1
6.9.2
6.9.3
6.9.4
6.9.5
6.10 Instrucc
6.10.1
6.10.2
6.11 Instrucc
6.12 Configu
6.13 Directiv
6.13.1
6.13.2
6.13.3
6.13.4
6.13.5
6.13.6

Capítulo 7:

7.1 Entorno
7.2 Primero
7.3 Ensamb
7.4 Fichero
7.5 Ventana
7.5.1
7.5.2
7.5.3
7.5.4
7.5.5
7.5.6
7.6 Simula
7.7 Simula
7.8 Simula
7.9 Grabac

6.5 El código fuente 59
6.5.1 Etiquetas 60
6.5.2 Código de operación 61
6.5.3 Operandos 61
6.5.4 Comentarios 61
6.5.5 Normas de estilo para escribir un archivo fuente 62
6.6 Constantes numéricas y alfanuméricas 63
6.7 Operadores aritméticos 64
6.8 El repertorio de instrucciones 64
6.9 Instrucciones de carga 66
6.9.1 clrw 66
6.9.2 clrf f 67
6.9.3 movlw k 67
6.9.4 movf f,d 67
6.9.5 movwf f 67
6.10 Instrucciones de bit 68
6.10.1 bcf f,b 68
6.10.2 bsf f,b 68
6.11 Instrucción "goto k" 68
6.12 Configurar las líneas de los puertos 69
6.13 Directivas 71
6.13.1 END 71
6.13.2 EQU 72
6.13.3 ORG 72
6.13.4 __ CONFIG 73
6.13.5 LIST P=16F84A 73
6.13.6 INCLUDE <P16F84A.INC> 73

Capítulo 7: MPLAB **77**

7.1 Entorno MPLAB 77
7.2 Primeros pasos con MPLAB IDE 78
7.3 Ensamblado del programa 84
7.4 Fichero hexadecimal resultante 86
7.5 Ventanas de visualización 87
7.5.1 Ventana de visualización de la memoria de programa 88
7.5.2 Ventana Disassembly 88
7.5.3 Ventana de visualización de los registros del SFR 88
7.5.4 Ventana de contenido de la memoria RAM 90
7.5.5 Ventana personalizada Watch 90
7.5.6 Línea de estado 91
7.6 Simulación básica 91
7.7 Simulación mediante Breakpoints y Traza 93
7.8 Simulación de entradas 95
7.9 Grabación con el archivo hexadecimal 96

7.10 Fichero listable 98
7.11 Prácticas de laboratorio 99

Capítulo 8: PROGRAMACIÓN ELEMENTAL 101

8.1 Instrucciones de suma 101
8.1.1 addlw k 102
8.1.2 addwf f,d 102
8.2 Instrucciones de resta 103
8.2.1 sublw k 103
8.2.2 subwf f,d 103
8.3 Incrementar y decrementar 104
8.3.1 decf f,d 104
8.3.2 incf f,d 104
8.4 Instrucciones lógicas 104
8.4.1 andlw k 105
8.4.2 andwf f,d 105
8.4.3 comf f,d 105
8.4.4 iorlw k 105
8.4.5 iorwf f,d 106
8.4.6 rlf f,d 106
8.4.7 rrf f,d 106
8.4.8 swapf f,d 107
8.4.9 xorlw k 107
8.4.10 xorwf f,d 107
8.5 Instrucción "sleep" 108
8.6 Algunas instrucciones útiles 109
8.7 Herramientas 111
8.7.1 Ensambladores y compiladores 111
8.7.2 Simuladores software 111
8.7.3 Emuladores 113
8.7.4 Grabadores o programadores 113
8.7.5 Sistemas de desarrollo 113
8.8 Proyectos con medios reducidos 114
8.9 Desarrollo de proyectos sencillos 115
8.10 Prácticas de laboratorio 117

Capítulo 9: SALTOS 119

9.1 Saltos condicionales 119
9.2 Saltos en función de un bit 120
9.2.1 Instrucción "btfsc f,b" 120
9.2.2 Instrucción "btfss f,b" 120

© RA-MA

9.3 Saltos en función de un registro ... 121
9.3.1 Instrucción "decfsz f,d" ... 121
9.3.2 Instrucción "incfsz f,d" ... 121
9.4 Comparación de registros ... 122
9.4.1 Comprobar que un registro vale 0 ... 122
9.4.2 Comprobar igualdad entre dos registros ... 122
9.4.3 Comprobar que un registro es mayor o menor que otro ... 123
9.4.4 Programa ejemplo ... 123
9.5 Lazos o bucles ... 125
9.5.1 Lazo de repetición infinita ... 125
9.5.2 Lazo con condición de testeo ... 126
9.5.3 Lazo que se repite un número conocido de veces ... 126
9.6 Programación y algoritmo ... 127
9.7 Diagramas de flujo ... 127
9.8 Más directivas importantes ... 130
9.8.1 CBLOCK y ENDC ... 130
9.8.2 #DEFINE ... 130
9.9 Conversión de binario natural a BCD ... 131
9.10 Salto indexado ... 134
9.11 Salto indexado descontrolado ... 136
9.12 Prácticas de laboratorio ... 138

Capitulo 10: SUBRUTINAS ... 141

10.1 Subrutinas ... 141
10.2 Subrutinas anidadas ... 143
10.3 La pila ... 145
10.4 Instrucciones "call" y "return" ... 146
10.5 Ejemplo de utilización de las subrutinas ... 147
10.6 Ventajas de las subrutinas ... 149
10.7 Librería de subrutinas ... 149
10.8 Directiva "INCLUDE" ... 149
10.9 Simulación de subrutinas en MPLAB ... 154
10.10 Programación estructurada ... 155
10.11 Practicas de laboratorio ... 156

Capitulo 11: MANEJO DE TABLAS ... 157

11.1 Tablas de datos en memoria de programa ... 157
11.1.1 Instrucción "retlw" ... 157
11.1.2 Directiva "DT" ... 159
11.2 Más directivas ... 160
11.2.1 MESSG ... 160
11.2.2 ERROR ... 161
11.2.3 IF y ENDIF ... 161

11.3 Gobierno de un display de 7 segmentos 162
11.3 Practicas de laboratorio 166

Capítulo 12: SUBRUTINAS DE RETARDO 169

12.1 Ciclo máquina 169
12.2 Medir tiempos con MPLAB 171
12.3 Instrucción "nop" 171
12.4 Retardos mediante lazo simple 172
12.5 Retardos mediante lazos anidados 174
12.6 Librería con subrutinas de retardos 176
12.7 Rebotes en los pulsadores 181
12.8 Practicas de laboratorio 184

Capitulo 13: LCD 187

13.1 Visualizador LCD 187
13.2 Patillaje 188
13.3 DDRAM 189
13.4 Caracteres definidos en la CGROM 191
13.5 Modos de funcionamiento 191
13.6 Comandos de control 192
13.7 Conexión de LCD mediante 4 bits 193
13.8 Librería de subrutinas 194
13.9 Visualización de caracteres 201
13.10 Visualización de valores numéricos 202
13.11 Conexión de LCD mediante 8 bits 203
13.12 Visualización de mensajes fijos 204
13.13 Visualización de mensajes en movimiento 208
13.14 Prácticas de laboratorio 209

Capítulo 14: EEPROM DE DATOS 213

14.1 Memoria EEPROM de datm 213
14.2 Registro EECON1 215
14.3 Librería de subrutinas 216
14.4 Lectura de la EEPROM de datos 217
14.5 Escritura en la EEPROM de datos 217
14.6 Directiva "DE" 218
14.7 Ventana "EEPROM" en el MPLAB 218
14.8 Programa ejemplo 218
14.9 Bloquear un circuito 221
14.10 Prácticas de laboratorio 222

.... 162
.... 166

.... 169

.... 169
.... 171
.... 171
.... 172
.... 174
.... 176
.... 181
.... 184

.... 187

.... 187
.... 188
.... 189
.... 191
.... 191
.... 192
.... 193
.... 194
.... 201
.... 202
.... 203
.... 204
.... 208
.... 209

.... 213

.... 213
.... 215
.... 216
.... 217
.... 217
.... 218
.... 218
.... 218
.... 221
.... 222

Capítulo 15: TIMER 0 223

15.1 El Timer 0 (TMR0) 223
15.2 TMR0 como contador 224
15.3 TMR0 como temporizador 224
15.4 El TMR0 es un registro del SFR 225
15.5 Divisor de frecuencia (Prescaler) 225
15.6 Bits de configuración del TMR0 226
15.6.1 Del registro INTCON 226
15.6.2 Del registro OPTION 226
15.7 Ejemplo del TMR0 como contador 227
15.8 Ejemplo del TMR0 como temporizador 229
15.9 Prácticas de laboratorio 233

Capítulo 16: OTROS RECURSOS 235

16.1 El Watchdog (WDT) 235
16.2 Modo de bajo consumo o "SLEEP" 237
16.3 Direccionamiento indirecto 241
16.4 Macros 243
16.5 Resistencias de Pull-Up del Puerto B 249
16.6 Prácticas de laboratorio 250

Capítulo 17: INTERRUPCIONES. LECTURA DE ENTRADAS 253

17.1 Técnica Polling 253
17.2 Interrupciones 255
17.3 Funcionamiento de una interrupción 257
17.4 Flags relacionados con interrupciones 258
17.4.1 Del registro INTCON 258
17.4.2 Del registro OPTION 259
17.5 Instrucción "retfie" 259
17.6 Interrupción externa INT 260
17.7 Registros alterados por la interrupción 261
17.8 Averiguar la causa de la interrupción 264
17.9 Fases de una interrupción 264
17.10 Interrupción RBI 267
17.11 Prácticas de laboratorio 268

Capítulo 18: INTERRUPCIÓN POR DESBORDAMIENTO DEL TIMER 0 271

18.1 Interrupción producida por el TMR0 271
18.2 Temporizaciones exactas 273
18.3 Temporizaciones largas 274
18.4 Temporizador digital 276
18.5 Prácticas de laboratorio 286

Capítulo 19: TECLADO MATRICIAL **289**

19.1 Teclado hexadecimal 290
19.2 Conexión de un teclado a un PIC16F84 290
19.3 Algoritmo de programación 292
19.4 Librería de subrutinas 293
19.5 Ejemplo de aplicación 298
19.6 Cerradura electrónica 299
19.7 Prácticas de laboratorio 303

Capítulo 20: COMUNICACIÓN CON ORDENADOR **305**

20.1 Puerto serie RS232 305
20.2 El Baudio 307
20.3 Niveles lógicos RS232 307
20.4 Formato de un byte 308
20.5 MAX232 309
20.6 Conexión puerto RS232 y PIC16F84 310
20.7 Librería de subrutinas para RS232 312
20.8 El HyperTerminal 315
20.9 Programa ejemplo 318
20.10 Librería RS232_MEN.INC 319
20.11 Sistema de monitorización 322
20.12 Sistema de gobierno desde ordenador 324
20.13 Prácticas de laboratorio 328

Capítulo 21: BUS I2C **331**

21.1 El bus I2C 331
21.2 Hardware del bus I2C 333
21.3 Transferencia de un bit por la línea SDA 334
21.4 Condiciones de START y STOP 334
21.5 Transferencia de datos 335
21.6 Formato de una transferencia de datos 336
21.7 Tipos de formatos de transferencia 337
21.8 Temporización 338
21.9 Conexión de bus I2C a un PIC16F84 339
21.10 Librería de subrutinas para bus I2C 340
21.11 Dispositivos I2C 343

Capítulo 22: 24LC256, MEMORIA EEPROM EN BUS I2C **345**

22.1 Memoria EEPROM serie 24LC256 345
22.2 Paginación de la memoria 24LC256 346
22.3 Direccionamiento como esclavo 347
22.4 Conexión de una 24LC256 a un PIC16F84 347
22.5 Escritura en la memoria 24LC256 348

© RA-MA

289
290
290
292
293
298
299
303

305
305
307
307
308
309
310
312
315
318
319
322
324
328

331
331
333
334
334
335
336
337
338
339
340
343

345
345
346
347
347
348

22.6 Lectura de la memoria 24LC256 349
22.7 Librería de subrutinas 350
22.8 Ejemplo típico de aplicación 352
22.9 Grabación de datos mediante el IC-Prog 354
22.10 Visualización de mensajes largos 355
22.11 Control de muchos mensajes 356

Capítulo 23: DS1624, TERMÓMETRO EN BUS I2C 359

23.1 El sensor de temperatura DS1624 359
23.2 Direccionamiento como esçlavo 360
23.3 Lectura de la temperatura 360
23.4 Registro de control 362
23.5 Comandos 363
23.6 Librería de subrutinas 364
23.7 Termómetro digital 367

Capítulo 24: DS1307, RELOJ CALENDARIO EN BUS I2C 371

24.1 El reloj-calendario DS1307 371
24.2 Conexión de un DS1307 a un PIC16F84 372
24.3 Registros del DS1307 374
24.4 Registro de control 375
24.5 Escritura en el DS1307 376
24.6 Lectura del DS1307 376
24.7 Librería de subrutinas 377
24.8 Programa del reloj calendario digital 379

Capítulo 25: SAA1064, CONTROLADOR DE DISPLAY 397

25.1 SAA1064, controlador de display 397
25.2 Circuito típico para modo estático 397
25.3 Circuito típico para modo dinámico 400
25.4 Direccionamiento como esclavo 400
25.5 Registros internos 401
25.6 Escritura en el SAA1064 403
25.7 Programa ejemplo 403
25.8 Termómetro de visualización en displays 404

Capítulo 26: PCF8574, EXPANSOR DE BUS I2C 409

26.1 El expansor de bus I2C PCF8574 409
26.2 Direccionamiento como esclavo 410
26.3 Escritura en el PCF8574 411
26.4 Lectura del PCF8574 411
26.5 Librería de subrutinas 412
26.6 Interrupción 413

26.7 Conexión entre PCF8574 y PIC16F84 414
26.8 Ejemplo de programa 415
26.9 Constitución interna del puerto 416
26.10 Teclado hexadecimal en bus I2C 417

Capítulo 27: PCF8591, ADC Y DAC EN BUS I2C 423

27.1 PCF8591 423
27.2 Direccionamiento como esclavo 424
27.3 Registro de control 425
27.4 El PCF8591 como DAC 426
27.5 Resolución del DAC 428
27.6 Ejemplos del PCF8591 como DAC 430
27.7 El PCF8591 como ADC 436
27.8 Ejemplo del PCF8591 como ADC 438

Capítulo 28: BUS DE UNA LÍNEA 441

28.1 Sensor de temperatura DS1820 441
28.2 Diagrama en bloques del DS1820 442
28.3 Lectura de la temperatura 443
28.4 Bus de una línea 444
28.5 Señales del bus de una línea 445
28.6 Inicialización: Pulsos Reset y Presence 445
28.7 Escritura de un bit sobre el DS1820 446
28.8 Lectura de un bit procedente del DS1820 446
28.9 Librería de subrutinas para bus de 1 línea 447
28.10 Único DS1820 conectado al bus de 1 línea 450
28.11 Termostato digital 453

Capítulo 29: MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA 467

29.1 Puente en H 468
29.2 Driver L293B 469
29.3 Giro en un único sentido 471
29.4 Giro en los dos sentidos 472
29.5 Conexión de motor c.c. y PIC16F84 473
29.6 Control de velocidad 475

Capítulo 30: MOTORES PASO A PASO 481

30.1 Motores paso a paso (PAP) 481
30.2 Principio de funcionamiento 482
30.3 Motores PAP bipolares 484
30.3.1 Motor PAP bipolar en modo Full Step 485
30.3.2 Motor PAP bipolar en modo Half Step 485
30.4 Motores PAP unipolares 486

414
415
416
417

423

423
424
425
426
428
430
436
438

441

441
442
443
444
445
445
446
446
447
450
453

467

468
469
471
472
473
475

481

481
482
484
485
485
486

30.5 Constitución interna de un motor PAP 489
30.6 Disposición de las bobinas 490
30.7 Parámetro de los motores PAP 491
30.8 Control de los motores paso a paso 492
30.9 Identificación de un motor PAP 492
30.10 Conexión motor PAP bipolar y PIC16F84 494
30.11 Conexión motor PAP Unipolar y PIC16F84 495
30.12 Control de motor PAP en modo Full Step 496
30.13 Realización de secuencias de movimientos 498
30.14 Control de motor PAP en modo Half Step 500
30.15 Control de velocidad 502

Capítulo 31: SERVOMOTORES DE RADIOCONTROL 505

31.1 Servomotores para microrobótica 505
31.2 Funcionamiento del servomotor 507
31.3 Terminales 508
31.4 Conexión de un servomotor a un PIC16F84 509

Capítulo 32: SENSORES PARA MICROROBÓTICA 515

32.1 Sensores para microrobótica 515
32.2 Inversor Trigger Schmitt 40106 515
32.3 LDR 518
32.4 Fotosensores activos 521
32.4.1 Sensor óptico CNY70 522
32.4.2 Sensores ópticos OPB703/4/5 524
32.4.3 Ejemplo de aplicación 525
32.4.4 Sensor óptico de barrera H21A1 526
32.5 Sensores infrarrojos GP2DXX 527
32.5.1 Principio de funcionamiento 528
32.5.2 GP2D05 529
32.5.3 GP2D15 530
32.5.4 GP2D12 530
32.6 Receptor para control remoto SFH5110 531
32.6.1 Descripción 531
32.6.2 Circuito detector 533
32.6.3 Circuito emisor 533
32.7 Sensor de proximidad IS471F 533
32.8 Bumpers 535
32.9 Detector por ultrasonido SRF04 537

Capítulo 33: CONSTRUCCIÓN DE UN MICROROBOT 543

33.1 Introducción a la Microbótica 543
33.2 Nivel físico. Motores 545
33.2.1 Motores de corriente continua de pequeña potencia 545

33.2.2 Motores de corriente continua con reductoras 545
33.2.3 Servomotores 545
33.2.4 Modificación de un servomotor 546
33.2.5 Fijación del motor a la estructura 549
33.3 Nivel físico. Estructura 550
33.3.1 Estructuras comerciales 550
33.3.2 Estructura del microrobot experimental "Trasto" 551
33.4 Nivel físico. Ruedas 552
33.4.1 Estructuras según la colocación de las ruedas 552
33.4.2 Ruedas "locas" 553
33.4.3 Ruedas de tracción 554
33.5 Nivel físico. Movilidad 555
33.6 Nivel de reacción 556
33.7 Nivel de control 559
33.7.1 Estrategia a seguir para un microbot rastreador 559
33.7.2 Programa del rastreador 561
33.7.3 Estrategia a seguir para un robot detector de baliza 562
33.7.4 Programa de robot detector de baliza 563

APÉNDICES

A. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PIC16F84A 565
B. REPERTORIO DE INSTRUCCIONES 569
C. CONSTANTES Y OPERADORES 587
D. PRINCIPALES DIRECTIVAS DEL ENSAMBLADOR MPASM 589
E. REGISTROS ESPECIALES 601
F. GRABADOR TE20-SE 611
G. CÓDIGO ASCII 613
H DIRECCIONES DE INTERNET 615
I. CONTENIDO DEL CD-ROM 617

ÍNDICE ALFABÉTICO 619

© RA-MA

.... 545
.... 545
.... 546
.... 549
.... 550
.... 550
..... 551
..... 552
..... 552
..... 553
..... 554
..... 555
..... 556
..... 559
..... 559
..... 561
..... 562
..... 563
..... 565
..... 569
..... 587
..... 589
..... 601
..... 611
..... 613
..... 615
..... 617
..... **619**

PRÓLOGO

Los microcontroladores se utilizan en circuitos electrónicos comerciales desde hace unos años de forma masiva, debido a que permiten reducir el tamaño y el precio de los equipos. Un ejemplo de éstos son los teléfonos móviles, las cámaras de vídeo, la televisión digital, la transmisión por satélite y los hornos microondas. Pero hasta hace poco tiempo, para el aficionado a la electrónica resultaba poco menos que imposible incluirlos en sus montajes por diversas razones: alto precio, complejidad de los montajes y, principalmente, por la escasez y el alto precio de las herramientas software.

En los últimos años se ha facilitado enormemente el trabajo con los microcontroladores al bajar los precios, aumentar las prestaciones y simplificar los montajes, de manera que en muchas ocasiones merece la pena utilizarlos en aplicaciones donde antes se utilizaba lógica discreta.

Diversos fabricantes ofrecen amplias gamas de microcontroladores para todas las necesidades. Pero, sin duda, hoy en día los microcontroladores más aceptados para diseños aficionados (y buena parte de los profesionales) son los microcontroladores PIC fabricados por *Microchip Technology Inc,* que recientemente se anunciaba como el mayor fabricante del mundo de microcontroladores de 8 bits.

En este auge ha influido decisivamente la política de *Microchip* al ofrecer la documentación y todo el software necesario de forma gratuita en su página Web *www.microchip.com*. Esto, junto con otras cuestiones técnicas, han hecho que hoy en día resulte muy fácil incluir los microcontroladores PIC no solo en los diseños de los aficionados a la electrónica, sino también en complejos sistemas digitales.

Entre los microcontroladores PIC destaca el PIC16F84 cuya simplicidad, prestaciones, facilidad de uso y precio lo han convertido en el más popular de los

microcontroladores, siendo un chip ordinario de 18 patillas, cuya pequeña estructura de plástico contiene mucha de la tecnología que se necesita conocer para entender los sistemas de control con microprocesadores.

El PIC16F84 es un dispositivo ideal para aprender técnicas de software y del microprocesador, especialmente para estudiantes de electrónica con un conocimiento previo mínimo. Es relativamente barato y, mejor aún, puede volverse a utilizar porque es fácilmente reprogramable.

El microcontrolador es un dispositivo independiente y programable; y el estudiante, ya sea ingeniero o aficionado, puede utilizarlo sin saber en detalle cómo funciona. Por otra parte, podemos aprender mucho estudiándolo internamente.

Los autores de este libro llevamos muchos años dedicándonos a la enseñanza de microprocesadores y microcontroladores. Cuando comenzamos a impartir nuestras primeras clases sobre microprocesadores, las prácticas de laboratorio eran realizadas por los alumnos sobre unos entrenadores más bien voluminosos, que disponían de un teclado, una pantalla con unos pocos displays y todo el sistema que hacía que aquello funcionara. Los estudiantes tecleaban una lista de códigos hexadecimales, pulsaban la tecla *run* y comprobaban si esa lista de códigos realizaba la función esperada. Pocos alumnos tenían claro lo que estaban haciendo e incluso algunos creían que esa "maleta" era el microprocesador. Como anécdota, cuando uno de ellos tuvo un microprocesador en sus manos preguntó dónde estaba el teclado.

Nuestra experiencia docente nos ha demostrado que para dominar este mundo de la electrónica programable es necesario que el alumno realice "todo", desde el esquema a la soldadura del último terminal, e incluso, la maqueta que dé sentido al sistema microprogramable.

Este método de trabajo plasmado en el libro tiene grandes ventajas. Entre otras, dispone que sea el propio lector quien trabaje en un entorno real, creado por él mismo y no en un sistema preconcebido que en la mayoría de los casos tarda en comprender. No implica depender de costosos equipos, accesibles únicamente en laboratorios, sino que precisa exclusivamente de medios de trabajo presentes en la vida cotidiana. Y por último, potencia la autosuficiencia y la capacidad creativa del lector, al ser el mismo el que constantemente modifica el sistema y, afianza su autoestima al comprobar que lo que ha creado, funciona y realiza la tarea para la que fue ideado.

En este libro tratamos de plasmar la experiencia adquirida en nuestros años de docencia y facilitar la creación de nuevas prácticas tomando como base las aquí descritas, habiéndose comprobado su correcto funcionamiento, salvo error de trascripción. También hemos querido mostrar una gran variedad de periféricos que pueden usarse junto con un microprocesador/microcontrolador, desde el más común de los transistores, a complejos sensores para bus I2C.

La teoria desarrollada va siempre dirigida a hacer las prácticas, siendo la imprescindible para la realización de los proyectos de dificultad creciente que trabajan sobre circuitos reales.

Esperamos que la lectura de este libro le resulte sencilla y sobre todo que cumpla la finalidad para la que esta escrito, que con los pocos medios técnicos de los que se suele disponer en casa, sea capaz de desarrollar proyectos microprogramables de una forma autodidacta. Cualquier aficionado, estudiante o ingeniero, con ayuda de este libro, debe ser capaz de empezar a utilizar el PIC16F84 inmediatamente en sus propios proyectas y diseños.

Nuestro agradeciiniento a las fabricantes *Microchip Technology Inc*, *Philips Semiconductors* y *Dallas Semiconductors*, así como a la empresa *Sagitron* por su constante esfuerzo en ayudar a los usuarios en la utilización de sus productos.

Queremos finalmente agradecer a todos los compañeros y alumnos. la ayuda prestada, sugerencias y participación en el desarrollo de esta obra: Carmen Gómez, Julio Redondo, Jesús Sanz, Javier Temprado, Gemma Gil, Juan M. Morales, José M. Escobosa, Ana Zamora, Nuria Torijano, José A. Sanz, Alejandro Pico, Loli Moreno. Sergio González-Nicolás, Javier Garcia-Caro, Diego A. Córdoba, Alfonso Martín, Eduardo F. García Folgar. Ángel Toledo y Fernando Blanco.

LOS AUTORES

CAPITULO 1

MICROCONTROLADOR PIC16F84

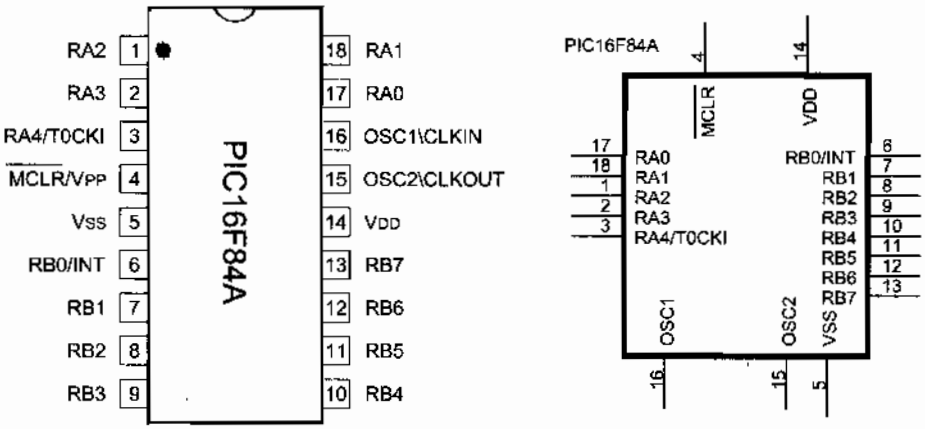
1 . MICROCONTROLADORES PIC

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes necesarios para controlar el funcionamiento de una tarea determinada, como el control de una lavadora, un teclado de ordenador, una impresora, un sistema de alarma, etc. Para ésto, el rnicrocontrolador utiliza muy pocos componentes asociados. Un sistema con rnicrocontrolador debe disponer de una memoria donde se almacena el programa que gobierna el funcionamiento del mismo que. una vez programado y configurado, sólo sirve para realizar la tarea asignada. La utilización de un rnicrocontroladoren un circuito reduce notablemente el tamaño y número de componentes y, en consecuencia, disminuye el número de averías y el volumen y el peso de los equipos, entre otras ventajas.

El microcontrolador es uno de los inventos más notables del siglo XX. En el mercado hay gran cantidad de ellos, con multitud de posibilidades y características. Cada tipo de microcontrolador sirve para una serie de casos y es el diseñador del sistema quien debe decidir cual es el microcontrolador más idóneo para cada uso.

En los últimos años han tenido un gran auge los microcontroladores PIC fabricados por *Microchip Technology Inc.* Los PIC *(Peripheral Interface Controller)* son una familia de microcontroladores que ha tenido gran aceptación y desarrollo en los últimos años gracias a que sus buenas características, bajo precio, reducido consumo, pequeño tamaño, gran calidad, fiabilidad y abundancia de información, lo convierten en muy fácil, cómodo y rápido de utilizar.

Este libro se centra en el estudio de un microcontrolador PIC muy popular, el PIC16F84. Está encapsulado en un económico DIL de 18 pines (figura 1-1). Debido a sus múltiples aplicaciones y facilidad de uso es uno de los microcontroladores más utilizados en la actualidad para la realización de proyectos sencillos.



Encapsulado DIL-18 Símbolo

Figura 1-1 Microcontrolador PIC16F84A

El microcontrolador PIC16F84 puede trabajar con una frecuencia máxima de 10 MHz. La versión avanzada PIC16F84A-20 puede llegar hasta los 20 MHz. Todos los circuitos planteados en este libro se han realizado con el PIC16F84A-04 (4 MHz máx).

En la figura 1-2 se describe un ejemplo de aplicación. Se trata del entrenador básico que se va a utilizar en los primeros temas de este libro para el aprendizaje de su manejo y programación. Este circuito se explica a continuación.

1.2 ALIMENTACIÓN DE UN PIC16F84

Normalmente el microcontrolador PIC16F84 se alimenta con 5 voltios aplicados entre los pines V_{DD} y V_{SS} que son, respectivamente, la alimentación y la masa del chip.

La figura 1-2 describe un circuito de alimentación que obtiene los 5 voltios a partir de una tensión continua de 12 voltios y de al menos 1 amperio. Este circuito se basa en el popular regulador de tensión 7805. Dispone de un diodo a la entrada para protegerlo en el caso que se aplicaran tensiones con la polaridad invertida. El condensador C4 reduce considerablemente el rizado de la tensión de entrada que finalmente el regulador 7805 se encarga de estabilizar a los 5 voltios de alimentación de todo el entrenador. Por último dispone de un diodo LED indicador de encendido.

El consumo de corriente para el funcionamiento del microcontrolador depende de la tensión de alimentación, de la frecuencia de trabajo y de las cargas que soporten sus salidas, siendo del orden de unos pocos miliamperios.

El circuito de alimentación del microcontrolador debe tratarse como el de cualquier otro dispositivo digital, debiendo conectarse un condensador de desacoplo de unos 100 nF lo más cerca posible de los pines de alimentación.

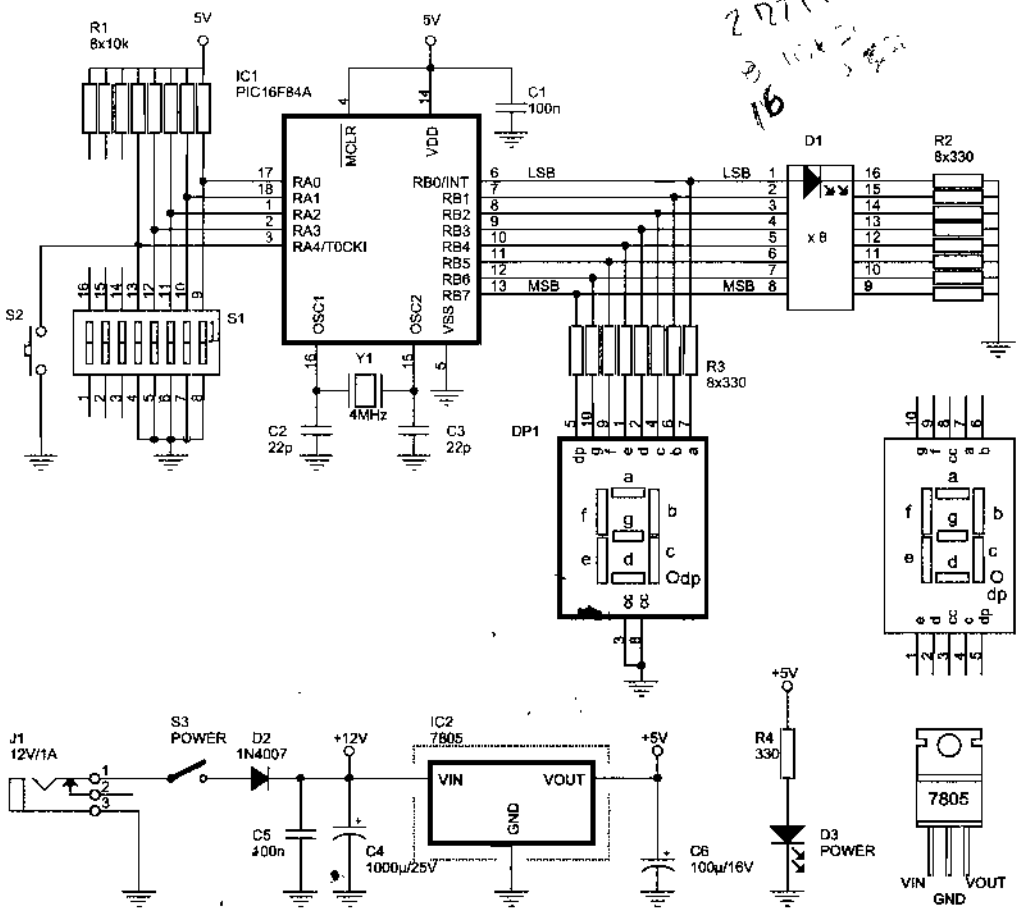


Figura 1-2 Entrenador para aprendizaje del microcontrolador PIC16F84

1.3 PUERTOS DE ENTRADA/SALIDA

El microcontrolador se comunica con el mundo exterior a través de los **puertos**. Estos están constituidos por líneas digitales de entrada/salida que trabajan entre 0 y 5 V. Los puertos se pueden configurar como entradas para recibir datos o como salidas para gobernar dispositivos externos.

El PIC16F84 tiene dos puertos, tal como se ilustra en la figura 1-2:

- El **Puerto A** con 5 líneas, pines RA0 a RA4.
- El **Puerto B** con 8 líneas, pines RB0 a RB7.

Cada línea puede ser configurada como entrada o como salida, independientemente unas de otras, según se programe. Así, por ejemplo, en el circuito de la figura 1-2 el Puerto A es configurado como entrada para leer los interruptores y el Puerto B es configurado como salida para activar la barra de diodos LEDs y el display de siete segmentos.

Las líneas son capaces de entregar niveles TTL cuando la tensión de alimentación aplicada en V_{DD} es de 5V. La máxima capacidad de corriente de cada una de ellas es:

- 25 mA, cuando el pin está a nivel bajo, es decir, cuando consume corriente (modo *sink*). Sin embargo, la suma de las intensidades por las 5 líneas del Puerto A no puede exceder de 80 mA, ni la suma de las 8 líneas del Puerto B puede exceder de 150 mA.
- 20 mA, cuando el pin está a nivel alto, es decir, cuando proporciona corriente (modo *source*). Sin embargo, la suma de las intensidades por las 5 líneas del Puerto A no puede exceder de 50 mA, ni la suma de las 8 líneas del Puerto B puede exceder de 100 mA.

1.4 OSCILADOR

Todo microcontrolador requiere de un circuito que le indique la velocidad de trabajo, es el llamado **oscilador** o **reloj**. Éste genera una onda cuadrada de alta frecuencia que se utiliza como señal para sincronizar todas las operaciones del sistema. Este circuito es muy simple pero de vital importancia para el buen funcionamiento del sistema. Generalmente todos los componentes del reloj se encuentran integrados en el propio microcontrolador y tan solo se requieren unos pocos componentes externos, como un cristal de cuarzo o una red RC, para definir la frecuencia de trabajo.

En el PIC16F84 los pines **OSC1/CLKIN y OSC2/CLKOUT** son las líneas utilizadas para este fin. Permite cinco tipos de osciladores para definir la frecuencia de funcionamiento:

- **XT**. Cristal de cuarzo.
- **RC**. Oscilador con resistencia y condensador.
- **HS**. Cristal de alta velocidad.
- **LP**. Cristal para baja frecuencia y bajo consumo de potencia.
- **Externa**. Cuando se aplica una señal de reloj externa.

1.4.1 Oscilador XT

Es el más utilizado y está basado en el oscilador a cristal de cuarzo o en un resonador cerámico. Es un oscilador estándar que permite una frecuencia de reloj muy estable comprendida entre 100 kHz y 4 MHz.

La figura 1-2 muestra la conexión típica. En muchos proyectos se utiliza un cristal de 4 MHz. El cristal debe ir acompañado de dos condensadores entre 15 y 33 pF.

Si se comprueba con un osciloscopio la señal en el pin **OSC2/CLKOUT,** se debe visualizar una onda senoidal de igual frecuencia que la del cristal utilizado.

1.4.2 Oscilador RC

Es un oscilador de bajo coste formado por una red RC (figura 1-3). Su principal inconveniente es la baja precisión, pero como contrapartida está su bajo precio, que lo hace interesante para muchas aplicaciones en las que no importa la exactitud de tiempos.

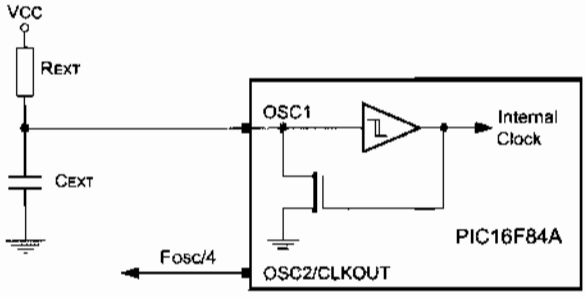


Figura 1-3 Configuración del oscilador RC

Los valores recomendados por el fabricante para este tipo de oscilador son: 5 kΩ ≤ Rext ≤ 100 kΩ y Cext > 20 pF. Los valores de frecuencia correspondiente para cada valor de condensador y resistencia se reflejan en la tabla 1-1.

La frecuencia del oscilador dividida por cuatro, está disponible en el pin OSC2/CLKOUT y puede ser usada para sincronizar otros circuitos.

1.4.3 Osciladores HS y LP

El oscilador de cristal o resonador de alta velocidad HS *(High Speed Crytal/Resonator)* trabaja a una frecuencia comprendida entre 4 MHz y 20 MHz para el PIC16F84A.

C_{EXT}	R_{EXT}	FRECUENCIA
20 pF	5 k	4,61 MHz
	10 k	2,66 MHz
	100 k	311 kHz
100 pF	5 k	1,34 MHz
	10 k	756 kHz
	100 k	82,8 kHz
300 pF	5 k	428 kHz
	10 k	243 kHz
	100 k	26,2 kHz

Tabla 1-1 Frecuencia del oscilador RC para diferentes valores de componentes

El oscilador de cristal de cuarzo o resonador cerámico de baja potencia LP *(Low Power Crystal)* es un oscilador de bajo consumo. Su cristal o resonador está diseñado para trabajar con frecuencias comprendidas entre 32 kHz y 200 kHz.

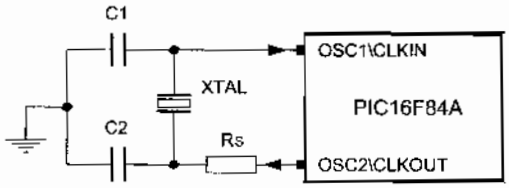


Figura 1-4 Oscilador configuración HS, XT y LP

El circuito para cualquiera de las configuraciones HS, LP y XT es el mismo (figura 1-4). El valor de los condensadores C1 y C2 depende del cristal o resonador según unas tablas que facilita el fabricante. La resistencia R_S sólo es necesaria para algunas versiones del tipo HS.

1.4.4 Utilizando una señal de reloj externa

Esta posibilidad suele ser utilizada para hacer funcionar varios microcontroladores a partir de una única señal de reloj (figura 1-5). La frecuencia del oscilador dividida por cuatro, está disponible en el pin OSC2/CLKOUT. Se utiliza en pocas ocasiones

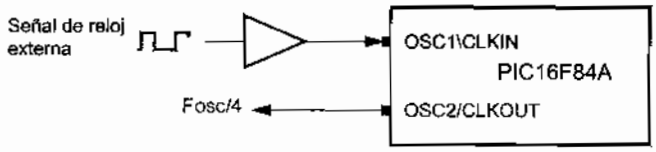
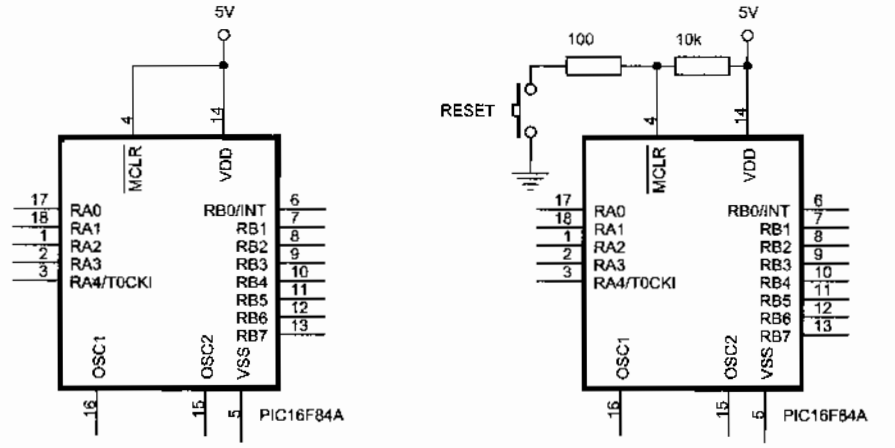


Figura 1-5 Circuito para señal de reloj externa

1.5 RESET

El llamado ***reset*** en un microcontrolador provoca la reinicialización de su funcionamiento, un "comienzo a funcionar desde cero". En este estado, la mayoría de los dispositivos internos del microcontrolador toman un estado conocido.

En los microcontroladores se requiere un pin de reset para reiniciar el funcionamiento del sistema cuando sea necesario. El pin de reset en los PIC se denomina MCLR *(Master Clear)* y produce un reset cuando se le aplica un nivel lógico bajo.



A) TÍPICA CONEXIÓN DEL PIN MCLR. B) RESET MEDIANTE PULSADOR EN PIN MCLR.

Figura 1-6 Algunas conexiones para el pin MCLR

Para tener un control sobre el reset del sistema, se puede conectar un pulsador tal como se muestra en la figura 1-6(B) y conseguir un reset manual llevando momentáneamente el pin MCLR a masa cada vez que se presiona el pulsador. El reset permanecerá mientras tengamos el pulsador presionado y no comenzará la secuencia de arranque hasta que no lo liberemos, suministrando así un nivel lógico "1" al pin MCLR. El fabricante recomienda conectar en serie con el pulsador una resistencia de 50 a 100 Ω.

El PIC16F84 también permite el llamado **Power-On Reset** *(POR),* que proporciona un reset al microcontrolador en el momento de conectar la fuente de alimentación. El PIC dispone de un temporizador denominado **Reset PWRT** *(Power-up Timer),* que proporciona un retardo de 72 ms desde el momento de la conexión a la alimentación; un reset se mantiene durante este tiempo, garantizando que V_{CC} alcance un nivel aceptable de tensión para un arranque correcto del sistema. Para utilizar este tipo de reset, hay que conectar el pin MCLR al positivo de la alimentación (figuras 1-6). Además, hay que programarlo así durante el proceso de grabación. Con ésto se evita utilizar las tradicionales redes RC externas de otros microcontroladores.

El PIC16F84 permite otras causas de reset que serán explicadas en capítulos posteriores.

1.6 MONTAJE DEL ENTRENADOR

Una vez analizado el entrenador para el aprendizaje del microcontrolador PIC16F84 descrito en la figura 1-2 se puede pasar a su montaje bien sobre placa de prototipos *Protoboard*, sobre una placa *wrapping*, circuito impreso, o cualquier otro soporte. En el montaje hay que respetar las siguientes normas:

- Comprobar todos los componentes que sea posible antes de su montaje.
- El PIC se situará de manera tal que sea fácilmente extraíble, preferiblemente en el lateral derecho de la placa (izquierdo para zurdos), de modo que no pasen cables por encima.
- Es recomendable alojar el microcontrolador en un zócalo de pines torneados para no doblar las patillas y evitar que se rompan.
- Los indicativos de menor peso de los arrays de diodos LEDs e interruptores se colocarán a la derecha.
- Los cables deben ser lo más corto posible. No se deben utilizar cables contiguos del mismo color.
- Hay que respetar el rojo para el positivo de la alimentación y el negro para el negativo.
- Una vez terminado todo, debe procederse a la comprobación de nuevo de todas las conexiones. No se debe temer el "perder" diez minutos en esta fase, ya que después puede ahorrar gran cantidad de tiempo en averías.

La tensión de alimentación de 12 V de tensión continua se puede obtener con un alimentador que puede adquirirse fácilmente en cualquier tienda de electrónica o en un hipermercado. Si lo desea el lector puede montarlo a partir del esquema de la figura 1-7.

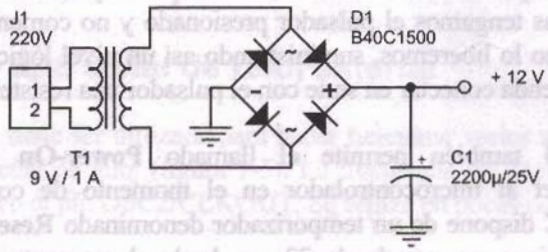


Figura 1-7 Esquema de un alimentador de 12 V de tensión continua

©RA-MA

CAPÍTULO 2

PERIFÉRICOS BÁSICOS

Las prácticas de los primeros capítulos se realizarán sobre el entrenador del esquema de la figura 1-2 en el que se utiliza como entrada unos interruptores y cuya salida se aplica a unos diodos LEDs. Es posible que el lector desee adaptar estas prácticas para su proyecto utilizando otros tipos de periféricos como los explicados en este capítulo.

En este libro se ha procurado utilizar componentes fácilmente localizables en cualquier tienda de electrónica. Si el lector desea buscar las características técnicas de versiones concretas, o adquirir componentes que en su tienda habitual no le es posible encontrar, puede intentarlo en las siguientes direcciones de Internet: www.amidata.es, www.telkron.es o www.farnell.com. Las características técnicas de todos los componentes utilizados también se facilitan en el CD-ROM que acompaña a esta obra.

Si el lector está impaciente por comenzar a programar el microcontrolador y las prácticas las va a realizar sobre el entrenador de la figura 1-2, puede por ahora saltarse este capítulo sin que sufra la continuidad del libro y volver a él conforme vaya utilizando los distintos componentes y circuitos que describimos en este tema.

2.1 DIODO LED

El diodo LED es un dispositivo que permite comprobar el funcionamiento de los circuitos de forma cómoda mediante la emisión de luz. Es barato y fácil de conectar a la salida de un microcontrolador. Se polariza en directo con una tensión en extremos entre 1,2 y 2,2 V, según modelo, y sólo requiere de 5 a 30 mA para su encendido.

El PIC16F84 es capaz de gobernar directamente diodos LED de dos formas distintas, tal como se indica en la figura 2-1:

- Conectando el cátodo del diodo a la salida del microcontrolador y el ánodo al positivo de la alimentación a través de una resistencia limitadora, como el diodo D1 de la figura 2-1. En este caso, el LED se ilumina con un nivel bajo de salida (0 V).
- Conectando el ánodo del diodo a la salida del microcontrolador a través de una resistencia limitadora y el cátodo a masa, como el diodo D2 de la figura 2-1. En este caso, el LED se ilumina con un nivel alto de salida (5 V).

La resistencia limita el valor de la corriente a un valor adecuado para iluminar el LED. Debe tener un valor comprendido entre 220 y 330 Ω. En la figura 2-1 se ha elegido 330 Ω que limita la corriente a un valor de unos 10 mA que proporciona una luminosidad suficiente para la mayoría de las aplicaciones. Si al lector le gusta que emita más luz, puede bajar su valor a 220 Ω.

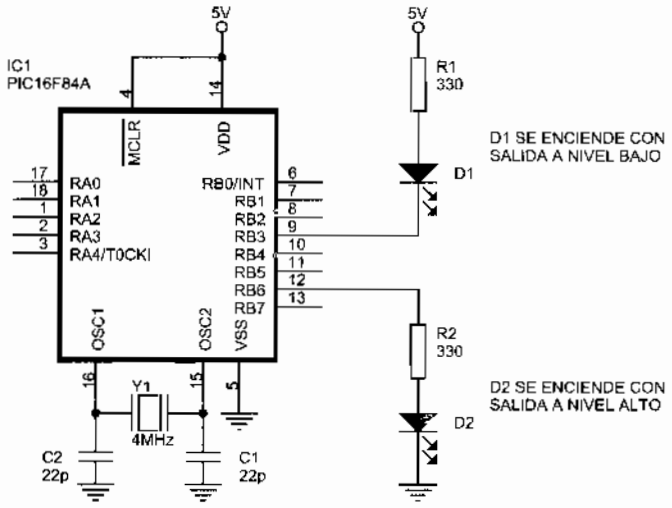


Figura 2-1 Formas de conectar un LED a un microcontrolador

Los diodos LED también se pueden encontrar encapsulados en barras de 8 ó 10 LED (figura 2-2) como los que se conectan a la salida del Puerto B de la figura 1-2.



Figura 2-2 Barra de 10 diodos LED

2.2 INTERRUPTORES Y PULSADORES

Estos dispositivos permiten introducir un nivel lógico "0" ó "1" según la posición en que se encuentren, "cerrado" o "abierto".

La lectura del estado de interruptores y pulsadores es muy simple, basta con conectar estos dispositivos entre una entrada y masa, tal como se indica en la figura 2-3 y forzar la entrada a un nivel lógico alto (5 V) mediante una resistencia de Pull-Up de unos 10 k.

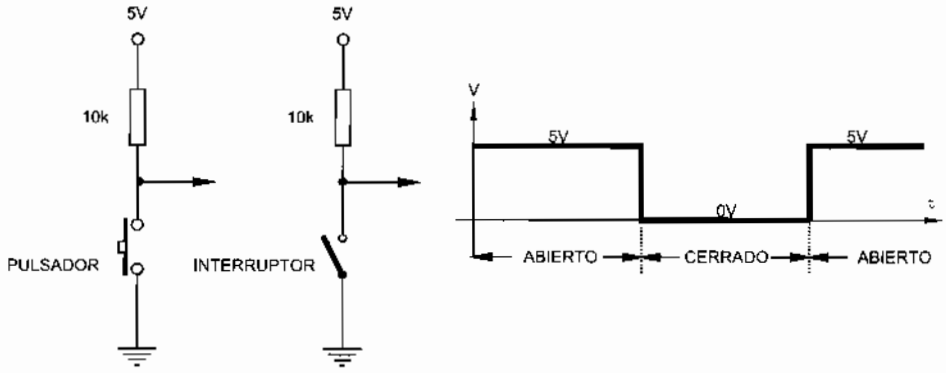


Figura 2-3 Niveles de tensión ideales en bornes de un interruptor, pulsador, etc.

Mientras el dispositivo está abierto, la entrada mantiene una tensión de 5 V que corresponde a un nivel lógico "1". Cuando se cierra, la entrada pasa a valer 0 V correspondiente al nivel lógico "0".

Hay muchos tipos de conmutadores, finales de carrera, detectores y sensores digitales con un funcionamiento similar a los pulsadores e interruptores.

2.3 ENTRADAS DIGITALES CON OPTOACOPLADORES

En algunos proyectos es necesario utilizar como entrada señales de alta tensión o señales relacionadas con la tensión de la red eléctrica. Estas tensiones no se pueden aplicar directamente al microcontrolador y es necesario aislar eléctricamente el circuito mediante un optoacoplador con un montaje como el de la figura 2-4.

El 4N25 es un popular optoacoplador, en cuya cápsula DIL-6 se encierra un diodo LED y un fototransistor. Es fácil deducir su funcionamiento:

- Cuando se aplica una tensión V_{IN}, circula una corriente por el LED del optoacoplador emitiendo un haz de luz que incide sobre el transistor y lo satura. En este caso a la entrada del microcontrolador se aplica un nivel bajo, igual que cuando estaba cerrado el interruptor de la figura 2-3.

- Cuando no se aplica tensión alguna el LED está apagado bloqueando el transistor. En la entrada se aplica un nivel alto igual que cuando estaba abierto el interruptor del circuito de la figura 2-3.

La tensión directa en extremos del LED 4N25 en conducción es de 1,2 V y para que se ilumine hay que hacer circular una corriente de unos 5 mA. La resistencia en serie con el LED debe permitir que circule esta intensidad, así, por ejemplo para una tensión V_{IN} de 24 voltios se conectaría una resistencia con un valor comercial de 4k7 (o mejor 3k9) ya que:

$$R1 = \frac{VIN - 1{,}2V}{5mA} = \frac{24V - 1{,}2V}{5mA} = 4{,}56k$$

El diodo LED soporta una tensión máxima inversa de sólo 3 V. Para aplicaciones en corriente alterna hay que conectar en paralelo con el LED un diodo de protección en inverso o, mejor, utilizar un optoacoplador que ya lo lleve integrado como el H11A1.

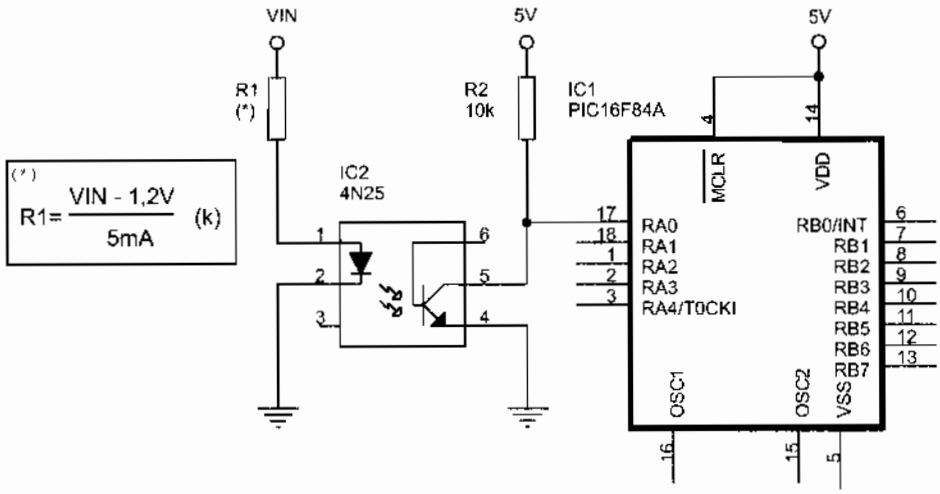


Figura 2-4 Gobierno de una entrada mediante optoacoplador 4N25

Puede comprobarse que los dos circuitos están eléctricamente aislados. La única comunicación entre ambos es la luz que emite el LED.

2.4 DISPLAY DE SIETE SEGMENTOS

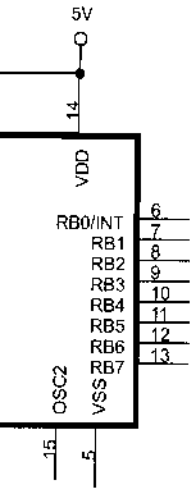
El display de siete segmentos es un periférico digital de salida que se utiliza para representar valores numéricos (figura 2-5). Cada display consta de 7 segmentos y un punto decimal, todos ellos son diodos LEDs. Estos diodos se pueden encontrar en dos configuraciones posibles, según los pines que tengan unidos: ánodo común o cátodo

pagado bloqueando el
cuando estaba abierto

ción es de 1,2 V y para
. La resistencia en serie
emplo para una tensión
ercial de 4k7 (o mejor

56k

3 V. Para aplicaciones
diodo de protección en
o como el H11A1.



lador 4N25

nte aislados. La única

ida que se utiliza para
de 7 segmentos y un
eden encontrar en dos
odo común o cátodo

común. Los segmentos de los displays se controlan directamente mediante el Puerto B y según el tipo de display la conexión al microcontrolador varía según indica la figura 2-5.

La figura 11-2 del capítulo "Manejo de tablas" muestra las posibles combinaciones de salida para la representación de números, letras y algunos signos en estos displays.

El principal problema de los displays de 7 segmentos es que requieren de muchas líneas para su control. El capítulo 25 explica el circuito integrado SAA1064 que permite el gobierno de 4 displays con un escaso número de líneas.

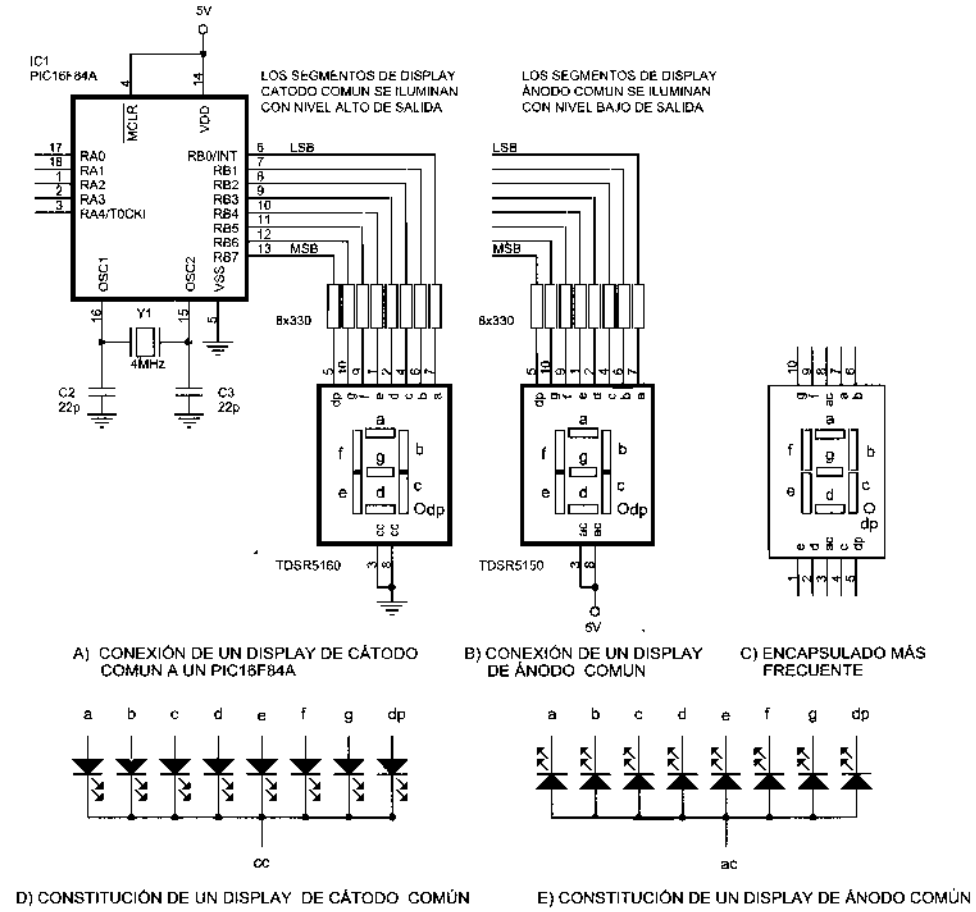


Figura 2-5 El display de siete segmentos

2.5 CONTROLANDO CARGAS A 230 V

Las explicaciones de los primeros capítulos se realizarán sobre el entrenador de la figura 1-2. Es probable que el lector desee probar para su proyecto algunas aplicaciones

que se exponen en estos capítulos, sobre circuitos reales con cargas de 230 V (bombillas, calefactores, motores, etc). A continuación se detallan varios circuitos apropiados donde el PIC16F84 controla una carga alimentada con los 230 V de la red eléctrica.

Es importante advertir que estos circuitos trabajan sobre la red eléctrica de 230V. Cualquier error, además de ocasionar daños serios en el circuito, puede provocar lesiones personales, luego hay que ser muy cauto durante el montaje y revisarlo concienzudamente. Tenga especial cuidado en aislar bien todas aquellas conexiones o cables cuyo contacto con la piel humana pueda producir descargas eléctricas, sin olvidarse tampoco de la parte metálica de los componentes de potencia.

2.5.1 Control con relé

La utilización de un relé es la forma más sencilla para gobernar dispositivos a partir de una salida del puerto, como muestra la figura 2-6. Un par de transistores Darlington son necesarios para controlar el relé.

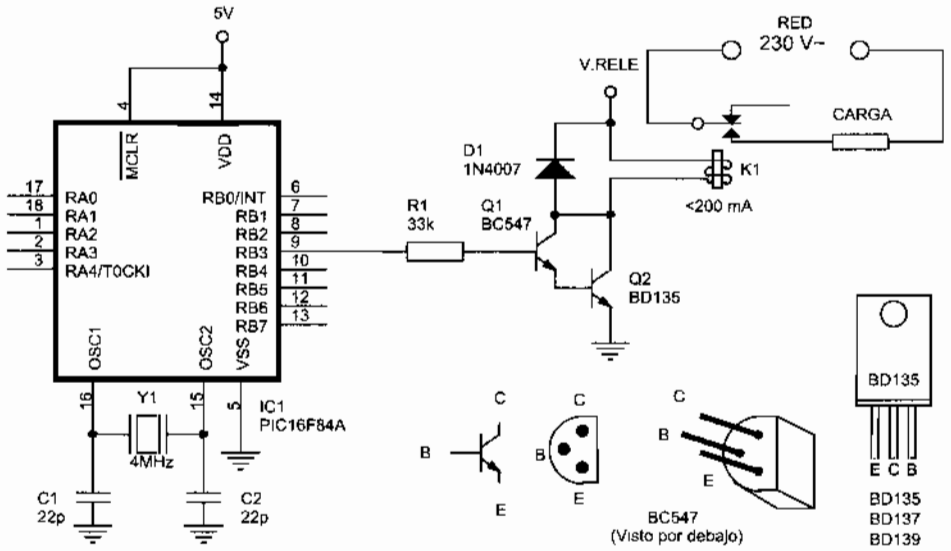


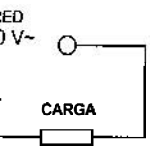
Figura 2-6 Gobierno de una carga de potencia a través de un relé

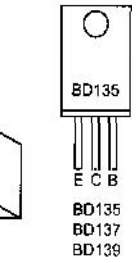
Cuando la salida del microcontrolador proporciona un nivel alto a la base del Darlington, pasa a conducción y activa el relé que, al cerrar sus contactos, puede controlar una potencia mayor en la carga. Este circuito también aisla eléctricamente la carga del microcontrolador. El valor de la potencia a controlar depende de los contactos del relé y varía mucho según el modelo, aunque casi todos ellos pueden soportar más de 5 Amperios.

230 V (bombillas.
apropiados donde
ica.

léctrica de 230V.
provocar lesiones
aje y revisarlo
las conexiones o
as eléctricas, sin

aar dispositivos a
ir de transistores





n relé

to a la base del
contactos, puede
eléctricamente la
de los contactos
oportar **más** de **5**

Es indispensable conectar un diodo en paralelo con la bobina del relé, tal como muestra la figura 2-6, como protección frente a los picos de fuerza contraelectromotriz producidos por la carga inductiva de la bobina en el momento de la conmutación.

Para controlar un cierto número de relés a partir del mismo microcontrolador, se puede utilizar un circuito integrado especializado tal como el ULN2003, figura 2-7. Este chip dispone de siete circuitos inversores realizados internamente con circuitos Darlington, que aguantan una tensión máxima de 50 V y pueden alimentar cargas de hasta 500 mA, incorpora también los indispensables diodos de protección.

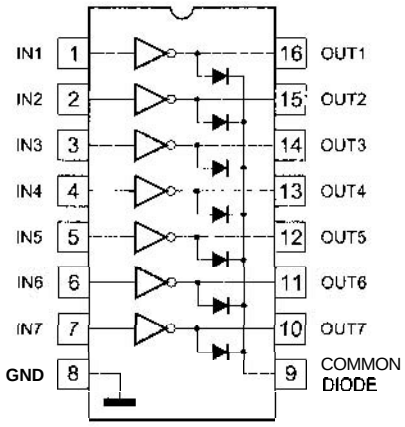


***Figura** 2-7 **Driver** ULN2003*

La figura 2-8 describe el esquema típico de conexión, donde el ULN2003 alimenta las bobinas de siete relés.

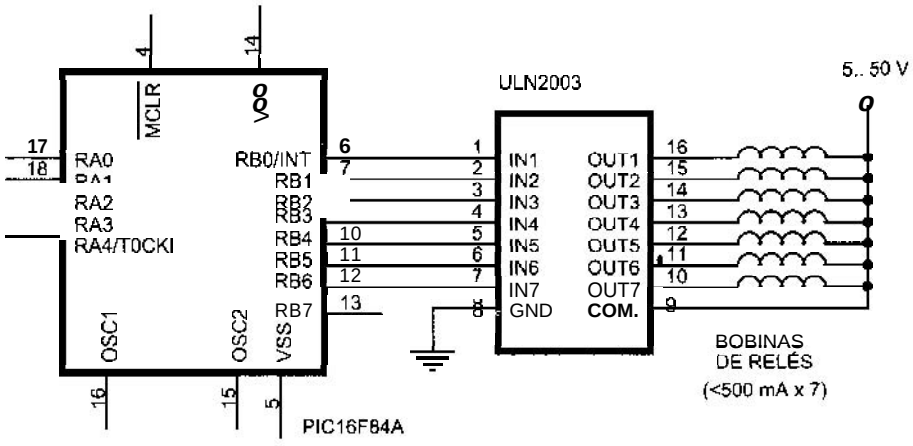


*Figura 2-8 Circuito típico **de** gobierno **de** varios relés con ULN2003*

2.5.2 Control con relé miniatura en cápsula DIL

Para cargas de hasta 10 W es mejor utilizar relés de láminas encapsulados en DIL, **que** necesitan **una** menor intensidad de activación, aunque sus contactos no permiten activar cargas **grandes.** La figura 2-9 muestra un ejemplo de aplicación donde sólo es necesario un transistor para gobernar el relé. Normalmente estos relés llevan incorporados dentro de la cápsula el diodo de protección, como se puede apreciar en la figura, para los modelos que no lo llevan es necesario conectarlo en el circuito.

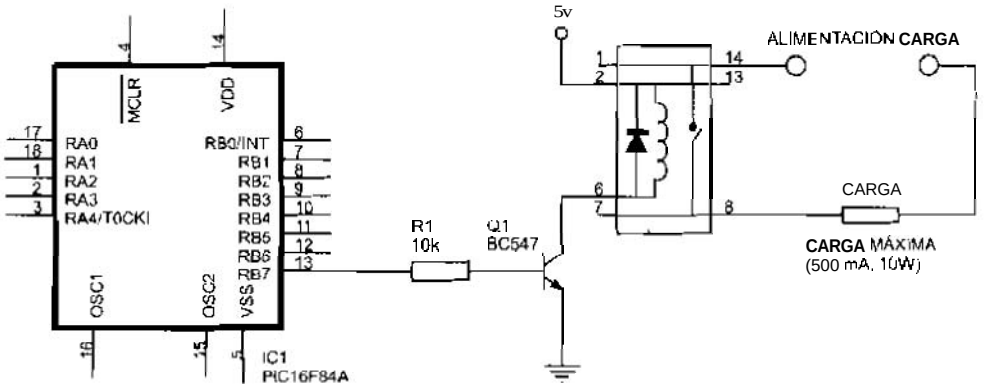


Figura **2-9** ***Gobierno*** *de pequeñas* ***cargas*** *u través de* **un** *relé* **de** *láminas* ***en*** *cápsula DIL*

2.5.3 Control mediante fototriac

En el circuito de la figura 2-10 los contactos del relé son sustituidos por un fototriac, cuyo funcionamiento es similar al dc un interruptor controlado por luz.

El necesario aislamiento entre cl microcontrolador y la **carga** de 230V **se** hace mediante un optoacoplador MOC3041, qiic es un circuito integrado que incluye un LED que controla al fototriac. Este dispositivo está especialmente diseñado para usarse como interface de sistemas lógicos con equipos que tienen que alimentarse con **los** *230* V de la red eléctrica. Sus características mas significativas son:

- Incorpora un pequeño y económico encapsulado **DIP** *6*.
- Su tensión de aislamiento de 7500 V garantiza un perfecto aislamiento entre la red eléctrica y el microcontrolador.
- Es capaz **de** proporcionar hasta 100 mA, que le permitiría alimentar directamente pequeñas cargas **de** hasta **20** W.
- Su fototriac interno permite el control de la casi totalidad de los grandes triacs, lo que no seria posible si ***se*** utilizara un fototransistor ordinario.
- Cuenta **con un** detector de paso **por cero** interno, **lo que permite economizar** un número no despreciable de componentes externos.

Cuando el instante de la conmutación de un triac no coincide con un cruce por cero de la tensión de la red el cambio repentino en la corriente produce un ruido eléctrico de alta frecuencia que introduce interferencias en la tensión de red que, por ejemplo, puede dar lugar a que señales indeseables aparezcan en la pantalla de un receptor de televisión o que se hagan audibles "chasquidos" en el altavoz de un receptor de radio. Para evitar estos problemas el MOC3041 posee un detector de paso por cero que conmuta al fototriac únicamente cuando la tensión aplicada al mismo pase por cero.

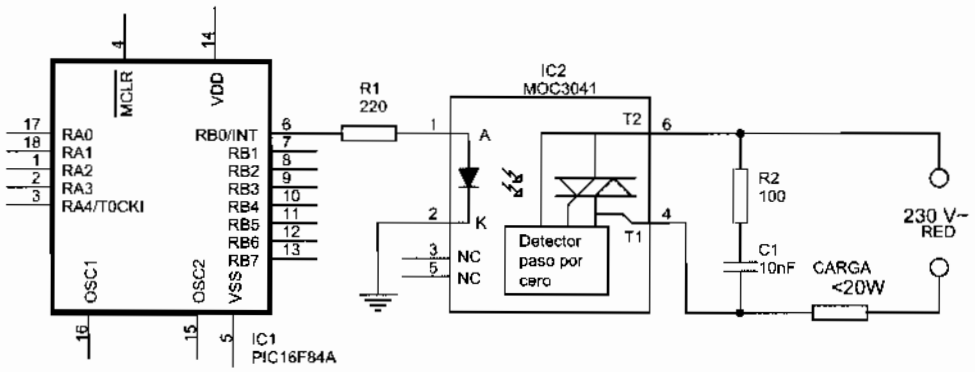


Figura 2-10 El PIC16F84A controlando una carga alimentada a 230 V y menor de 20W

En la figura 2-10, cuando la línea del Puerto B se ponga a nivel alto TTL (5 V) hará circular una corriente de unos 15 mA por el diodo LED del MOC3041, éste emitirá luz, lo que provocará que el fototriac entre en conducción en el siguiente paso por cero de la tensión de red. Una vez que el fototriac entra en conducción, se comporta prácticamente como un interruptor cerrado que enciende la carga. Hay que recordar que el triac se desactiva automáticamente cada vez que la corriente pasa por cero, por lo que es necesario bien redisparar el triac en cada semiperiodo, bien mantenerlo con la señal de control activada durante el tiempo que necesite mantenerse encendida la salida.

Cuando la línea del Puerto B pasa a nivel bajo TTL (0 V) el LED del MOC3041 se apaga. En el siguiente paso por cero de la tensión de red, el triac deja de conducir, comportándose como un interruptor abierto de forma que la carga deja de recibir corriente y se apaga.

La resistencia R1 de 220 Ω conectada al ánodo del LED de entrada al MOC3041 garantiza una circulación de los 15 mA que especifica el fabricante.

La red serie del condensador de 10 nF y la resistencia de 100 Ω en los esquemas de las figuras 2-10 y 2-11 conectada en paralelo con el triac mejora el funcionamiento del circuito para disparos indeseables del triac producidos por los picos bruscos de la tensión de red que se pueden presentar alcatoriamente. Esta red R-C es responsable de que el circuito tenga un cierto consumo, de aproximadamente 0,1 W, aunque esté desactivado. El condensador C1 debe ser capaz de soportar al menos 400 V.

Debido a las características de los triacs la carga debe tener una potencia mínima por debajo de la cual el circuito no funciona. Esta potencia mínima es de aproximadamente 1 W para el circuito de la figura 2-10. El fototriac integrado en el MOC3041 puede conmutar cargas de hasta 100 mA, es decir, 23 W a 230V. Por tanto, esta configuración puede manejar cargas entre 1 y 23 W.

2.5.4 Control de potencia con triac

La figura 2-11 describe un circuito típico de control de potencia con triac, donde la carga es conmutada mediante el triac Q1, cuyo funcionamiento es similar al de un interruptor pero controlado por la corriente que circula por su entrada G. A su vez, esta entrada es gobernada por el fototriac del MOC3041. Este circuito puede controlar cargas con potencias entre 10 y 1500 W o mayores dependiendo del triac utilizado.

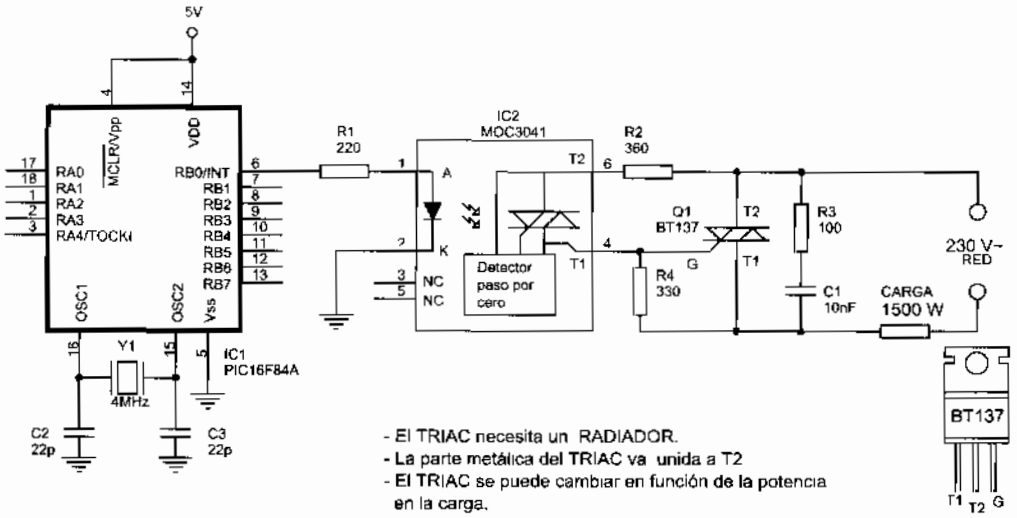


Figura 2-11 El PIC16F84A controlando una carga alimentada a 230 V

Cuando el fototriac del MOC3041 entra en conducción, drena la corriente suficiente a través del terminal de gobierno de Q1 como para conseguir que éste entre en conducción. La resistencia R2 de 360 Ω limita la corriente que pasa por el fototriac para evitar que supere su valor máximo de 100 mA.

El triac utilizado en este ejemplo es un BT137-400 de 400V/8A, con el que se puede controlar hasta cargas de 1500 W. Este triac se puede cambiar en función de la potencia en la carga por alguno de los siguientes modelos: BT136 (4 A), BT137 (8 A), BT138 (12 A), BT139 (16 A) o sus equivalentes. Para cargas fuertemente inductivas es conveniente elegir un triac que aguante hasta 600 V, tal como el BT137-600.

Para conseguir estas potencias, el triac debe ir montado sobre un buen radiador de calor, de forma que el semiconductor se refrigere adecuadamente. A la hora de poner el radiador hay que señalar que la parte metálica del componente suele conectarse al terminal T2, por lo que se debe aislar cuidadosamente el triac del radiador mediante una lamina de mica y un separador de plástico para el tornillo.

2.6 ZUMBADOR

En muchos proyectos es necesario indicar mediante tina señal audible la ocurrencia de un evento. Para ello normalmente se utiliza un zumbador piezoeléctrico miniatura corno el de la figura 2-12.

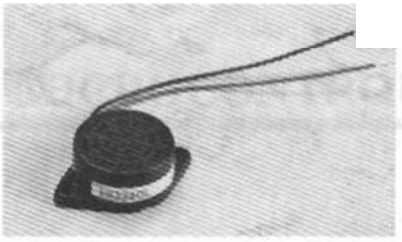
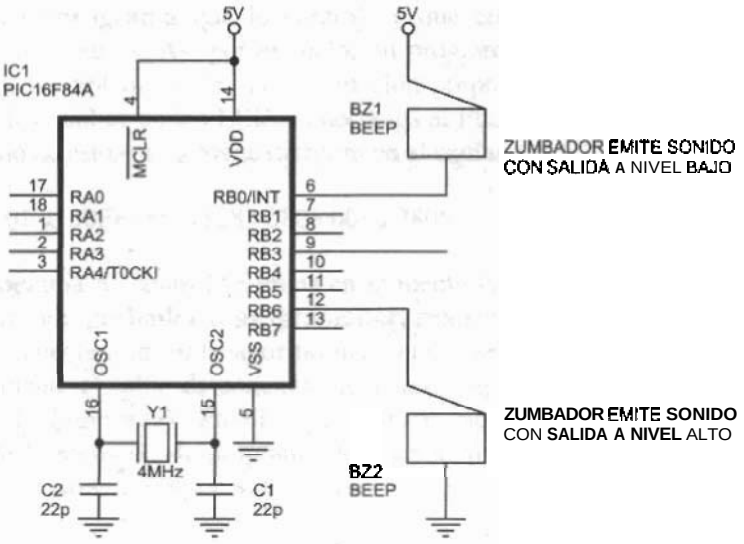


Figura 2-12 Zumbador piezoeléctrico

Un zumbador miniatura funciona con tensiones comprendidas entre 3 y 16 V y su consumo no supera los 10 mA, por lo que puede ser alimentado directamente por la salida de un microcontrolador, tal como se indica en la figura 2-13.



Fisura 2-13 *Conexión de un zumbador miniatura a un microcontrolador*

CAPÍTULO 3

GRABACIÓN DE MICROCONTROLADORES PIC

3.1 GRABACIÓN DE UN MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes necesarios para controlar el funcionamiento de una tarea determinada, como el control de un teclado de ordenador, una impresora, un sistema de alarma, una lavadora, etc. El microcontrolador dispone de una **memoria de programa** interna donde se almacena el **programa** que lo controla y que consiste realmente en una serie de números hexadecimales. Así por ejemplo, un programa para el entrenador básico de la figura 1-2 que simplemente lea la información proporcionada por los interruptores del Puerto A y la visualice en los LEDs conectados al Puerto B, tendría el siguiente formato (el significado de estos números se discutirá en el capítulo 6):

1683 0186 30FF 0085 1283 0805 0086 2805

El programa de control se graba en la memoria de programa mediante un equipo físico denominado **grabador** o **programador**, siguiendo el esquema de la figura 3-1. El grabador se conecta a un ordenador normalmente a través de un puerto serie COM 1 o COM 2 mediante el cable de conexión adecuado (algunos grabadores utilizan el puerto paralelo de la impresora). En el ordenador se ejecuta un software que controla la grabación de la memoria de programa del microcontrolador. Este proceso se denomina **grabar** o **programar** el microcontrolador.

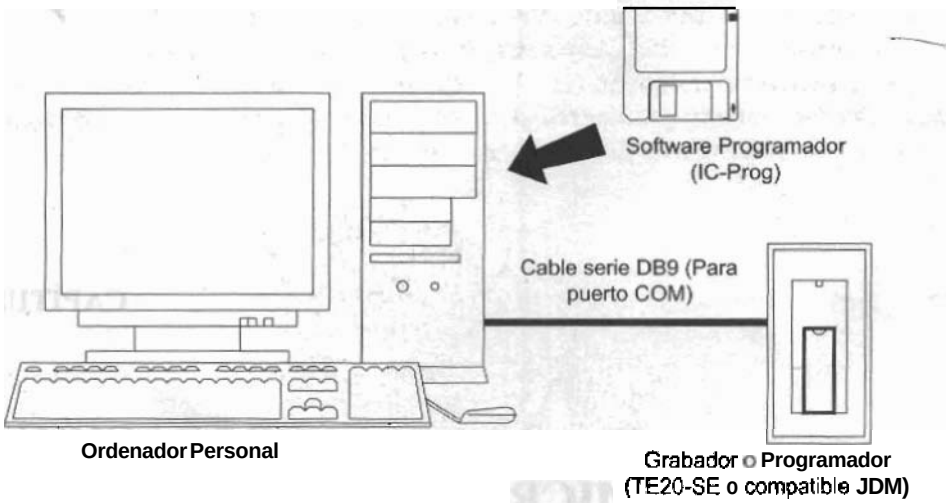


Figura 3-1 Configuración para grabar microcontroladores con medios reducidos

3.2 GRABADORES

El **grabador** *o* **programador es el equipo físico donde se** procede **a** grabar **la memoria del** microcontrolador **con** las **instrucciones del** programa de control. **Tiene un zócalo libre sobre el** que **se inserta el circuito** integrado **a** grabar, **el** cual debe orientarse adecuadamente **siguiendo la señal** de la cápsula **del chip.** Hay multitud de **grabadores** comerciales **en el** mercado **que se pueden adquirir en cualquier tienda de** electrónica.

Microchip **ofrece el** grabador PICSTART PLUS, de **muy** fácil utilización *y* garantizada **fiabilidad respaldada por el fabricante** (figura 3-2).



Figura 3-2 Programador PICSTART PLUS de Microchip Technology Inc

En Internet pueden localizarse múltiples grabadores de bajo coste para microcontroladores PIC. Uno de los más populares es el denominado *JDM* y sus múltiples versiones mejoradas, tal como el *TEJO-SE* que se puede adquirir en cualquier tienda de electrónica por un precio muy asequible (figura 3-3). Si el lector desea montarlo por si mismo, en el apéndice F se proporciona información para ello.

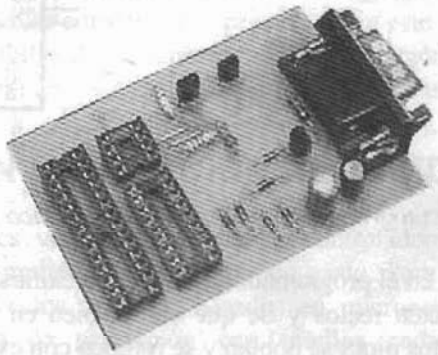


Figura 3-3 Grabador TE20-SE

El programador JDM y algunas de sus versiones está descrito en la Web de su diseñador Jens Dyekjær, www.jdm.homepage.dk/newpic.htm.

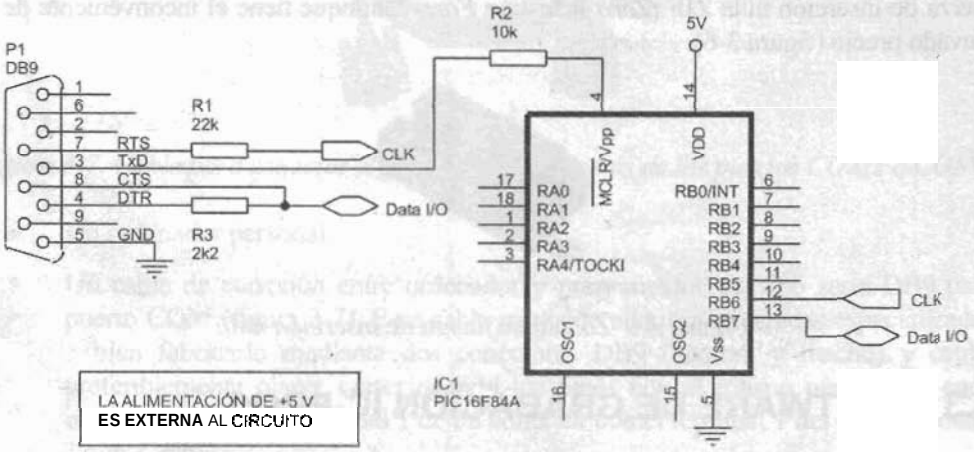


Figura 3-4 Esquema de un grabador compatible JDM básico con alimentación externa

En las figuras 3-4 y 3-5 se describen dos versiones básicas de este programador que apenas requiere componentes. Evidentemente la fiabilidad de este programador es mucho menor que la del PICSTART PLUS, pero su facilidad de construcción lo hace mriy interesante para múltiples aplicaciones. Aunque hay que hacer una observación y es que estos grabadores tan básicos no funcionan correctamente en algunos ordenadores, portátiles sobre todo. Además, una conexión incorrecta puede dañar el ordenador.

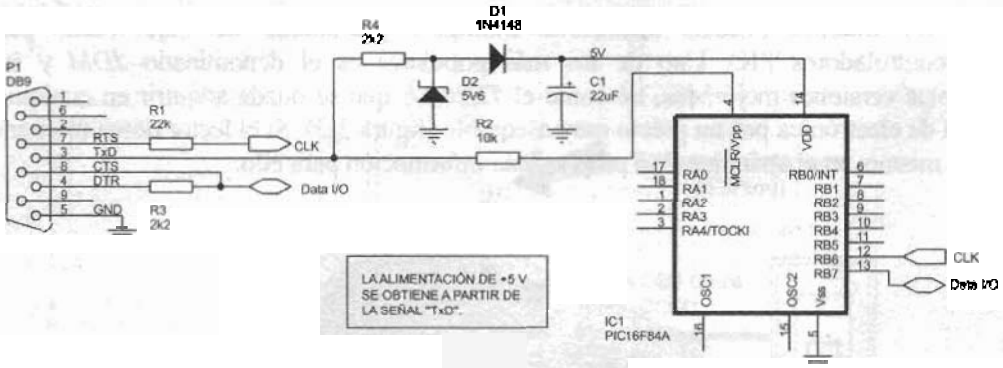


Figura 3-5 Esquema de un grabador compatible JDM básico sin alimentación externa

Al insertar un chip en el programador, hay que cerciorarse de que todos los pines o patillas del dispositivo estén rectos y de que entren bien en el zócalo. Hay que tener mucho cuidado porque estos pines se doblan y se rompen con extrema facilidad.

Cuando se realizan frecuentes reprogramaciones es aconsejable utilizar un zócalo auxiliar entre el microcontrolador y el zócalo del programador, de tal modo qiie sea los pines del zócalo auxiliar los que sufran las frecuentes inserciones y no los pines del dispositivo. Otra alternativa, es reemplazar el zócalo del programador por un zócalo de fuerza de inserción nula ZIF *(Zero Insertion Force)*, aunque tienc el inconveniente de su elevado precio (figura 3-6).



Figura 3-6 Zócalo de fuerza de inserción nula

3.3 SOFTWARE DE GRABACIÓN IC-PROG

El ***IC-Prog*** es uno dc los software más populares para la grabación de microcontroladores PIC. Permite la programación de muchos dispositivos y está probado con numerosos programadores, entre ellos todos los compatibles con JDM. Es de libre distribución y en la página Web www.ic-prog.com se puede descargar y recoger toda la información de uso.

Una vez descargado, la instalación de este software es muy sencilla. basta con descomprimir el fichero *icprog.zip* y seguir el procedimiento usual en Windows. Este archivo consta del fichero *icprog.exe*, que contiene todo el código necesario para su

funcionamiento, con versiones para cualquier sistema operativo Windows. En caso de utilizar este software con Windows XP, 2000 o NT, es necesario descargar el archivo *icprog.sys* de la misma Web y situarlo en la misma carpeta, junto con el *icprog.exe*.

En las próximas páginas se expondrán las conocimientos básicos para trabajar con la última versión, al cierre de la edición de este libro, *IC-Prog 1.05C*, con la pretensión de ayudar a todos aquéllos que se enfrentan por primera vez a este software. Para un análisis profundo de todas sus posibilidades se remite a la documentación técnica, ya que el propio programa *IC-Prog* tiene un buen sistema de ayuda qiie permite un rápido aprendizaje.

3.4 GRABACIÓN CON MEDIOS REDUCIDOS

Una de las grandes ventajas de los microcontroladores PIC es que permiten desarrollar el proceso de grabación con muy poco gasto. Para aquéllos que desarrollan sólo ocasionalmente proyectos sencillos basados en microcontroladores, es suficiente utilizar el procedimiento de grabación con medios reducidos que se indica a continuación. Según el esquema de la figura *3-1*, este procedimiento utiliza el siguiente material:

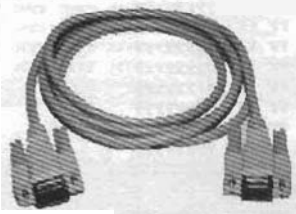


Figura 3-7 *Cable para conectar el programador a través de los puertos COM1 o COM2*

- Un ordenador personal.
- Un cable de conexión entre ordenador y programador del tipo serie DB9 para puerto COM (figura 3-7). Este cable se puede adquirir en tiendas especializadas o bien fabricarlo mediante dos conectores DR9 (hembra y macho) y cable, preferiblemente plano, conexionando los pines con el mismo número en cada extremo, es decir el terminal 1 de un conector con el terminal 1 del otro. 2 con 2, 3 con 3, etc.
- Un programador TE20-SE, de adquisición en cualquier tienda de electrónica. En apéndice F y en el CD-ROM que acompaña a este libro se ofrecen planos para su construcción.
- Como software se utiliza el IC-Prog 1.05C, que puede bajarse libremente de la Web www.ic-prog.com, y que se incluye en el CD-ROM que acompaña a esta obra, gracias a la generosidad de Bonny Gijzen, su autor.

3.5 PROCESO DE GRABACIÓN

Antes de nada hay que conectar el programador a uno de los puertos serie COM disponibles en el ordenador formando la estructura indicada en la figura 3-1. A continuación se inserta el microcontrolador PIC en el zócalo del programador respetando la correcta orientación de la cápsula.

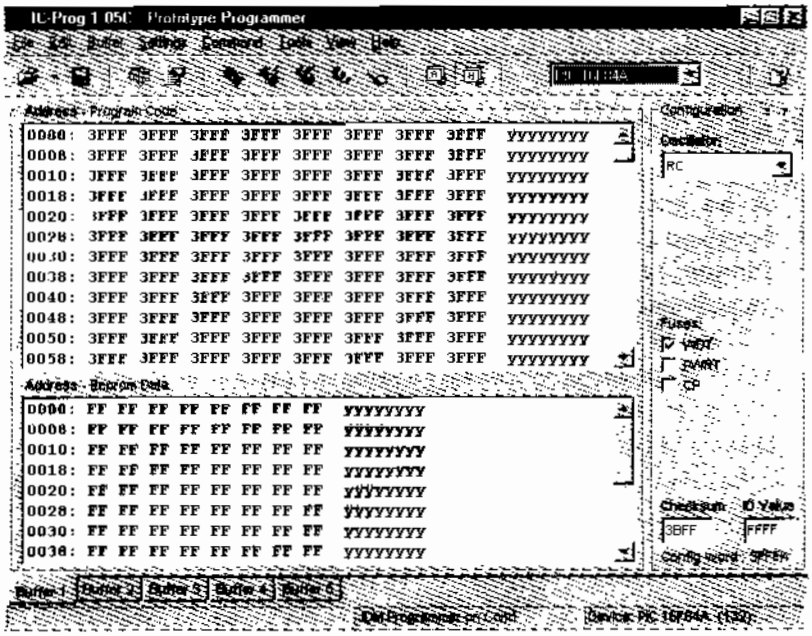


Figura 3-8 Pantalla típica del IC-Prog

Una vez que el programa está correctamente instalado, los pasos a seguir para trabajar con el *IC-Prog 1.05C* son los siguientes. Sugerimos al lector que los vaya probando en su ordenador según se va explicando:

1º  Iniciar el programa ejecutando el fichero *icprog.exe* o pulsando sobre el icono correspondiente. Conviene crear un acceso directo desde el escritorio de Windows para mayor comodidad.

icprog.exe

2º La primera vez que lo ejecutamos entraremos en una pantalla de presentación de la que se sale aceptando todas las opciones por defecto. Si trabaja con Windows 2000 o XP aparecerán unas pantallas de error debido a que todavía no se ha configurado correctamente como se explica en el apartado 3.7. Seguidamente aparece una pantalla en inglés, similar a la figura 3-8, donde se presenta toda la información necesaria para programar el dispositivo. Esta pantalla posee, al menos:

puertos serie COM
la figura 3-1. A
ramador respetando



pasos a seguir para
ector que los vaya

og.exe o pulsando
un acceso directo
ilidad.

de presentación de
abaja con Windows
e todavía no se ha
3.7. Seguidamente
se presenta toda la
pantalla posee, al

- Un área de código *(Program Code)*, donde se almacena la información a grabar. La columna de la izquierda contiene la dirección física de memoria del dispositivo, *(Address)*. En el centro del campo se presenta el valor hexadecimal y la columna de la derecha contiene la misma información en código ASCII.
- Un área de configuración *(Configuration)*, donde se indica el valor de algunos parámetros necesarios para la correcta grabación.

3º Para cambiar el idioma se debe seleccionar en el menú *Setting* > *Options* > *Language* y elegir el idioma (figura 3-9).

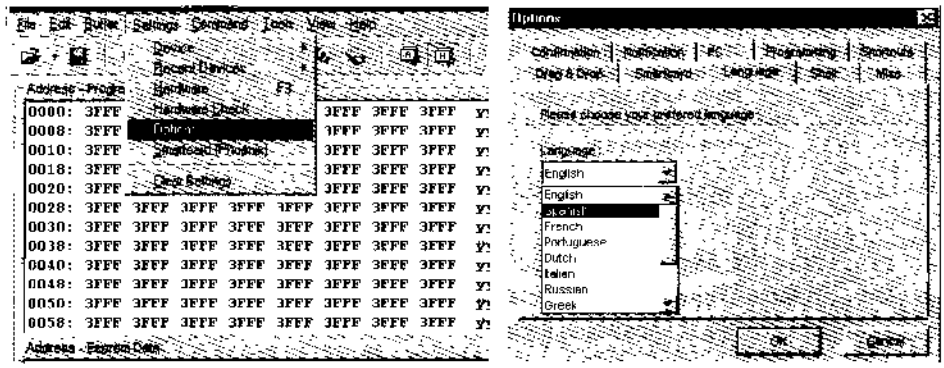


Figura 3-9 Elección del idioma

4º Configurar el hardware necesario para programar los microcontroladores PIC, es decir adaptar el IC-Prog al programador utilizado, en el caso que nos ocupa un programador compatible con JDM. Para ello hay que acceder al menú *Ajustes* > *Tipo hardware*, con lo que aparecerá la pantalla de la figura 3-10, en la que se debe elegir el tipo de programador como *JDM* y seleccionar el puerto serie adecuado *(COM 1 o COM 2)*, según lo tenga conectado en el ordenador.

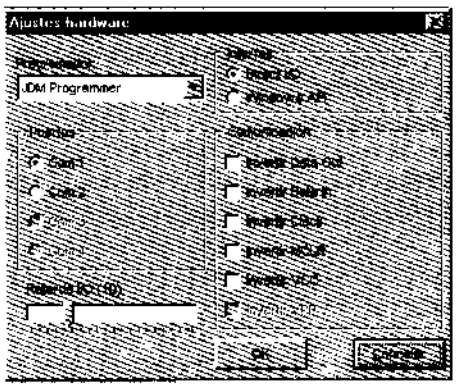


Figura 3-10 Selección del programador

5º A continuación se debe seleccionar el dispositivo a grabar, en este caso el microcontrolador PIC16F84A, en el menú *Ajustes* > *Dispositivo* > *Microchip PIC* > *Más* > *PIC16F84A*, tal como se describe en la figura 3-11.

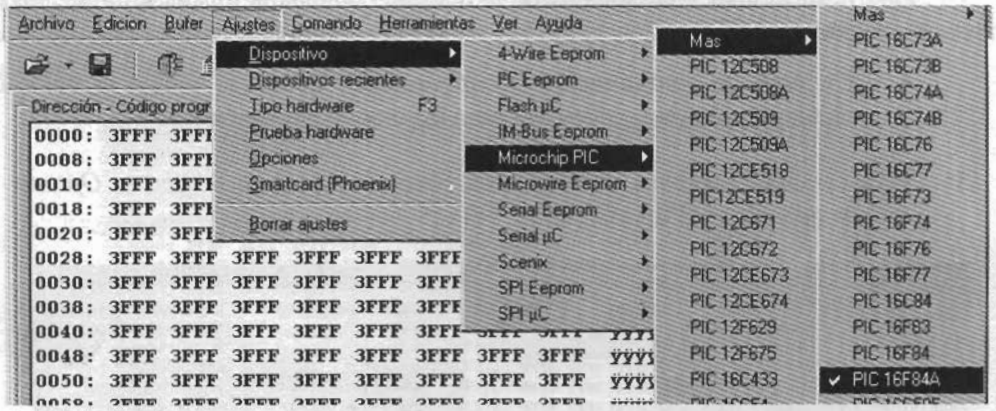


Figura 3-11 Selección del microcontrolador

El nombre del dispositivo seleccionado aparecerá en una ventana de la barra de herramientas (figura 3-12). Pulsando en la flecha de la ventana se puede elegir cualquiera de los dispositivos soportados por el software *IC-Prog*.



Figura 3-12 El nombre del dispositivo seleccionado aparece en la ventana

6º Elegir el oscilador que va a utilizar el microcontrolador en cuestión (LP, RC, XT, HS). Para ello en la ventana *Oscilador* se elige el tipo *XT* (oscilador a cristal de cuarzo) para los montajes que se realizan en este libro (figura 3-13).

7º A continuación es necesario activar los **Bits de configuración**, que permiten seleccionar varias configuraciones del dispositivos (figura 3-13). En la pantalla del IC-Prog se muestran tres:

- **WDT** *(Watchdog Timer)*. Habilitación del *Watchdog*, cuyo significado se explicará en el capítulo 16. En aplicaciones sencillas se deshabilita.
- **PWRT** *(Power-up Timer)*. Temporizador al encendido. En aplicaciones sencillas se activa.
- **CP** *(Code Protect)*. Protección de código de programa. Cuando se programa la protección del código, no es posible leer el contenido de la memoria, de tal manera que el código del programa no se puede copiar, ni

alterar, aunque sí se puede volver a borrar completamente todo el microcontrolador. En aplicaciones sencillas se suele deshabilitar.

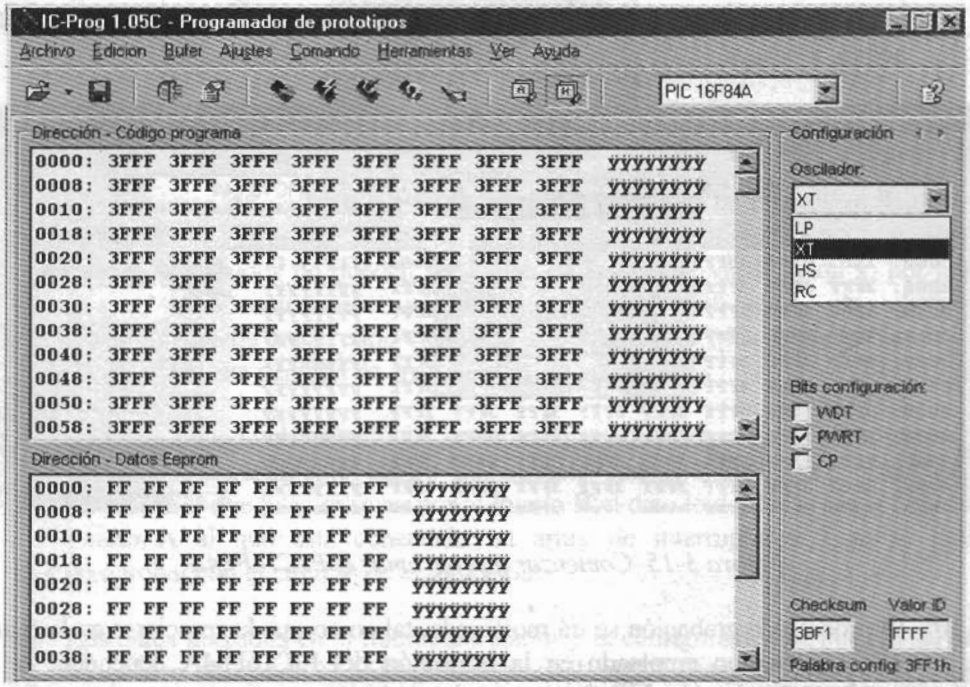


Figura 3-13 Selección del tipo de oscilador y de los bits de configuración

8º El IC-Prog ya está en condiciones de proceder a la grabación de datos en el dispositivo insertado en el programador. Para ello, en la pantalla de edición se escriben los datos del programa de control a grabar. Por ejemplo, un programa de control para el circuito de la figura 1-2 que lea la información proporcionada por los interruptores del puerto A y la visualice en los LEDs conectados al Puerto B tendría el formato: "1683 0186 30FF 0085 1283 0805 0086 2805", (el significado de estos números hexadecimales se discutirá en el capítulo 6). Una vez escritos estos códigos, la pantalla de edición tendría el aspecto de la figura 3-14. En el capítulo 7 se explicará como cargar estos datos más eficazmente a partir de un archivo creado anteriormente, sin necesidad de teclearlo.



Figura 3-14 Datos a grabar en el microcontrolador

9º Para proceder a la grabación del chip basta con activar el menú *Comando > Programa todo* (figura 3-15) o bien pulsar la tecla de función F5. También puede pulsar sobre el icono correspondiente de la barra de herramientas (rayo sobre chip). El chip comenzará a ser programado con los datos cargados en el buffer activo.



Figura 3-15 Comenzar a programar el PIC16F84A

10º El proceso de grabación se irá mostrando, tal como puede apreciarse en la figura 3-16. El tiempo empleado en la grabación del PIC16F84A dependerá de la rapidez del ordenador con el que se esté trabajando.

11º Una vez terminada la programación se procederá automáticamente a la verificación de los datos escritos en el chip, informando de este proceso con una pantalla como la que se muestra en la figura 3-16. De este modo, asegura que la programación del dispositivo ha sido efectuada correctamente.

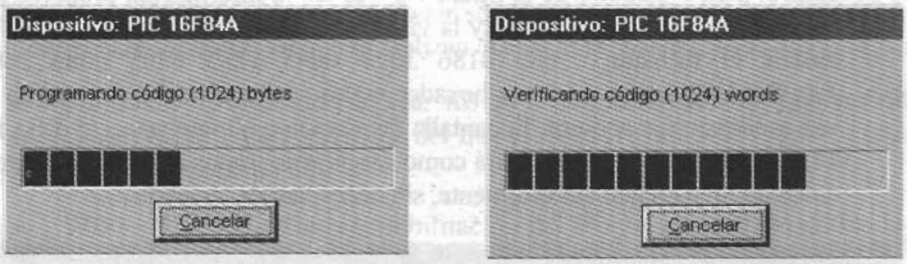


Figura 3-16 Pantallas que aparecen durante el proceso de programación y verificación

En el caso de que la verificación haya sido correcta, se informará de tal hecho mediante la ventana representada en la figura 3-17 y el proceso de grabación habrá finalizado.

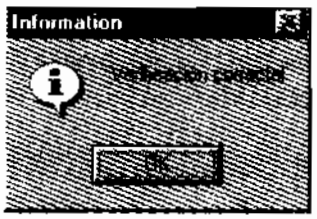


Figura 3-17 Grabación correcta

Si un microcontrolador está protegido contra la lectura de código, es decir tiene habilitada la opción CP *(Code Protect)* del área de configuración (figura 3-21), los datos grabados no pueden ser leídos en la fase de verificación y, por tanto, ésta no puede realizarse visualizando un error de verificación, sin embargo la grabación puede haber sido realizada correctamente. Más adelante se explica como evitar esta pantalla de error.

12º Una vez grabado el PIC16F84A se debe extraer del programador y comprobar su correcto funcionamiento dentro del circuito correspondiente. En este caso el programa lo que hace es sacar por el Puerto B el dato leído de las cinco líneas del Puerto A al que está conectado un array de interruptores. Esto se puede comprobar con el circuito de la figura 1-2.

13º Los datos grabados en el microcontrolador y la configuración se pueden salvar a un fichero utilizando el procedimiento usual de Windows mediante la selección del menú: *Archivo* > *Guardar como* y poniendo al archivo un nombre con extensión *.bin, por ejemplo Entrenador_01.bin.

3.6 BUFFER DE ALMACENAMIENTO DE PROGRAMAS

El IC-Prog dispone de 5 buffers para guardar datos en memoria, cada uno de ellos puede almacenar bien el contenido de un chip o de un archivo. Permite realizar diferentes operaciones con ellos, como programar un chip, comparar su contenido, etc. El acceso a cada uno de estos buffers se hace mediante las pestañas que aparecen en la parte inferior de la pantalla principal del IC-Prog (figura 3-18).

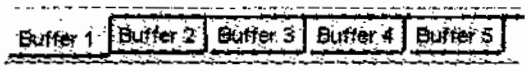


Figura 3-18 Acceso a los buffers de datos

3.7 IC-PROG TRABAJANDO BAJO WINDOWS 2000 O XP

En caso de trabajar con los sistemas operativos Windows 2000, XP o NT, se debe tener en la misma carpeta que el archivo ejecutable *icprog.exe*, el fichero *icprog.sys* para

Windows XP. Este fichero se puede descargar de la Web www.ic-prog.com . Además hay que activar la opción de *Habilitar Driver NT/2000/XP,* localizada en el menú *Ajustes > Opciones > Miscelánea* (figura 3-19).

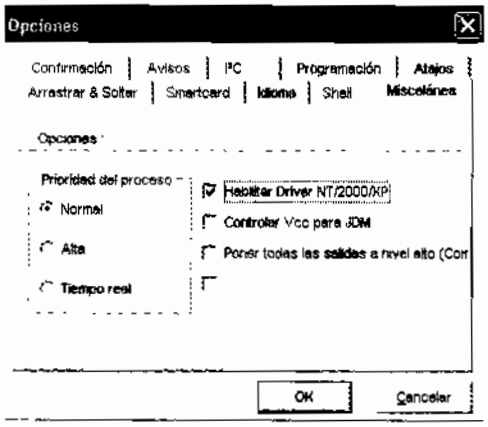


Figura 3-19 Para Windows NT, 2000 y XP hay que "Habilitar Driver NT/2000/XP"

3.8 ERRORES FRECUENTES EN LA PROGRAMACIÓN

Cuando por alguna causa la programación no se realiza correctamente IC-Prog informa de ello mediante el aviso oportuno. El error más frecuente en la programación de un PIC es el mostrado en la ventana de la figura 3-20, que informa de un error al verificar el contenido del chip en la dirección 0000h, que es la primera posición de memoria de programa del mismo.



Figura 3-20 Pantalla típica de error en la programación

Este error suele estar motivado por algún fallo en la comunicación entre el ordenador y el programador, como puede ser:

- La mala conexión del cable serie.
- La colocación errónea del PIC en el programador.
- La configuración incorrecta del puerto serie COM 1 o COM 2.
- Un chip defectuoso.
- Una configuración de la protección de código.

Para solucionarlo se deben seguir los pasos enumerados a continuación:

1º Asegurarse que no está seleccionada la protección de código CP en los bits de configuración (figura 3-21). Este es un error muy típico y en este caso el programa leería los 8 primeros bytes de datos como ceros, avisando el error de verificación en la primera dirección.



Figura 3-21 La protección del código puede ocasionar una pantalla de aparente error

Si desea mantener la protección de código y que no aparezca este error en la fase de verificación, es necesario que la deshabilite. Para ello debe seleccionar el menú *Ajustes* > *Opciones* > *Programación* y deshabilitar las dos casillas de verificación tal como se muestra en la figura 3-22.

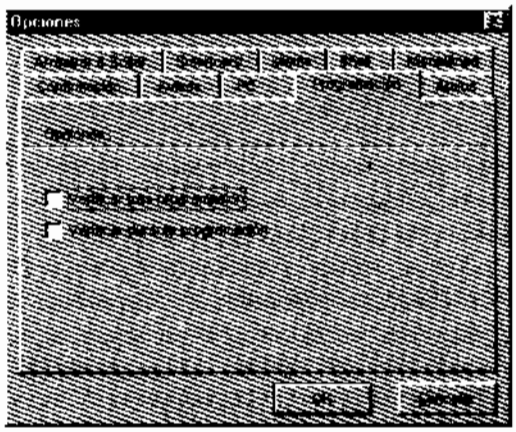


Figura 3-22 Si configura la protección del código, conviene deshabilitar la verificación

2º Una vez verificado que no ha elegido la opción de protección de código para programar el PIC puede continuar con las siguientes comprobaciones:

- Revisar que el PIC se encuentra bien introducido en el zócalo del programador, con la dirección de la cápsula correcta y sin ninguna patilla doblada o rota, lo que desgraciadamente es frecuente.

- Verificar que el cable serie está bien conectado en sus dos extremos, tanto en el conector del programador como en el ordenador.

- Comprobar con un polímetro que no hay ninguna conexión del cable rota.
- Debe asegurarse de que ha elegido en *Ajustes > Tipo > Hardware*, el tipo de programador correcto *(JDM)* y el puerto *COM* adecuado.
- Comprobar que el dispositivo elegido es el que realmente está programando *(PIC16F84A)*.

3º En caso de que ninguna de estas comprobaciones diera resultado se aconseja repetir la programación con otro chip que esté en buen estado para poder descartar que el fallo esté en el software o grabador y así asegurar que es el chip el que se encuentra en mal estado.

Cuando se trabaja en uno de los sistemas operativos Windows XP, Windows NT o *Windows 2000*, también se puede dar la pantalla de error mostrada en la figura 3-23.

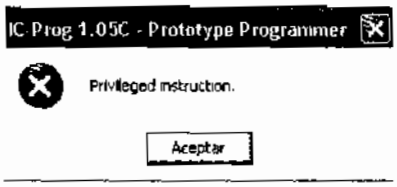


Figura 3-23 Error típico para sistemas operativos Windows 2000, XP y NT

Este error indica que el sistema no puede acceder a los puertos del ordenador y por tanto tampoco al grabador conectado a ellos, como se indicó anteriormente para solucionarlo se deberá instalar el fichero *icprog.sys* en el mismo directorio que el archivo ejecutable *icprog.exe* y, además, activar la opción de *Habilitar Driver NT/2000/XP,* que se encuentra en el menú *Ajustes > Opciones > Miscelánea* (figura 3-19). Una vez habilitado este driver, el programa pedirá volver a iniciarse y, a partir de ese momento, ya estará perfectamente preparado para realizar la programación de los dispositivos necesarios.

3.9 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en este tema, realícese la grabación en el microcontrolador de los programas que se indican y compruébese su correcto funcionamiento en el entrenador básico de la figura 1-2.

Entrenador_01.bin: Los diodos LEDs conectados al nibble bajo del Puerto B se apagan y los del nibble alto se encienden. Los datos a grabar son (el significado de estos números hexadecimales se explicará en un próximo capítulo):

1683 0186 1283 30F0 0086 2804

Entrenador_02.bin: El Puerto B, que actúa como salida, es controlado por el bit 0 del Puerto A, que actúa como entrada. De manera tal, que:

- Si RA0 = 1, se encienden todos los LEDs de salida.
- Si RA1 = 0, se encienden sólo los LEDs del nibble alto.

Los datos a grabar son:

1683 0186 30FF 0085 1283 30FF 1C05 30F0
0086 2805

Entrenador_03.bin: Lee por el Puerto A una cantidad siempre menor de 8. Esta cantidad indica el número de LEDs que se ilumina a la salida. Así, por ejemplo, si lee el dato "---00101" (cinco en decimal), en los LEDs conectados al Puerto B se iluminará el código "00011111", con los cinco diodos LEDs (D4, D3, D2, D1 y D0). Los datos a grabar son:

1683 0186 30FF 0085 1283 0805 2009 0086
2805 0782 3400 3401 3403 3407 340F 341F
343F 347F 34FF

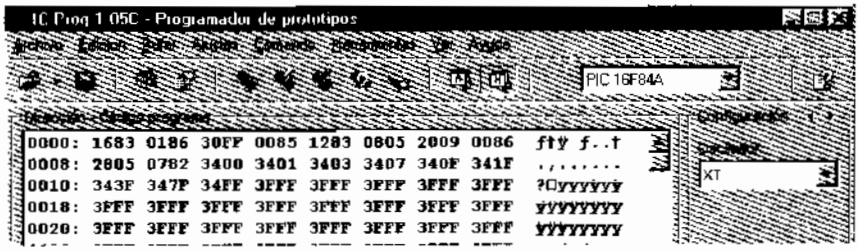


Figura 3-24 Datos a grabar con el Ic-Prog para el programa Entrenador_03.bin

Entrenador_04.bin: Los diodos pares conectados al Puerto B se encienden durante 0,4 segundos y los impares permanecen apagados. Después se encienden los impares durante el mismo tiempo y se apagan los pares. Los datos a grabar son:

1683 0186 1283 3055 0086 2009 2009 0986
2805 30C8 008D 30F9 008C 0000 0B8C 280D
0B8D 280B 0008

Entrenador_05.bin: Por la barra de LEDs conectada al Puerto B, un LED encendido rota a la izquierda durante 0,4 segundos en cada posición. Cuando llega al final se apagan todos los LEDs y de nuevo repite la operación. Los datos a grabar son (observad que son muy parecidos al anterior):

1683 0186 1283 1403 0186 2009 2009 0D86
2805 30C8 008D 30F9 008C 0000 0B8C 280D
0B8D 280B 0008

Entrenador_06.bin: En el display de 7 segmentos conectado al Puerto B se visualiza la cantidad leída por el puerto A. Así por ejemplo si por la entrada se lee "---0101", en el display se visualiza "5". Los datos a grabar son:

1683	0186	30FF	0085	1283	0805	390F	200A
0086	2805	0782	343F	3406	345B	344F	3466
346D	347D	3407	347F	3467	3477	347C	3439
345E	3479	3471					

© RA-MA

ierto B se
se lee "---

CAPÍTULO 4

ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

4.1 ARQUITECTURA INTERNA DEL PIC16F84

La figura 4-1 representa el diagrama de bloques del PIC16F84. Destacan los siguientes componentes que serán explicados más adelante:

- Memoria de programa tipo ROM Flash de 1 k x 14 bits.
- Memoria de datos dividida en 2 áreas:
  - Area RAM constituida por 22 registros de propósito específico (SFR) y 68 de propósito general.
  - Area EEPROM de datos formada por 64 registros de 8 bits.
- ALU de 8 bits y registro de trabajo W, del que normalmente recibe un operando que puede ser cualquier registro, memoria, puerto de entrada/salida o el propio código de instrucción.
- Dos puertos para la comunicación con el mundo exterior: PORTA de 5 bits <RA4:RA0> y PORTB de 8 bits <RB7:RB0>.
- Contador de programa de 13 bits, lo que en teoría permitiría direccionar 4 k de palabras de memoria, aunque el PIC16F84 sólo dispone de 1 k de memoria implementada.

4.2 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

Dentro del PIC16F84 se distinguen tres bloques de memoria:

- **Memoria de programa**. En sus 1024 posiciones contiene el programa con las instrucciones que gobiernan la aplicación. Es del tipo no volátil, es decir, el programa se mantiene aunque desaparezca la alimentación.

- **Memoria de datos RAM**. Se destina a guardar las variables y datos. Es volátil, es decir, los datos almacenados se borran cuando desaparece la alimentación.

- **Memoria EEPROM de datos**. Es una pequeña área de memoria de datos de lectura y escritura no volátil, gracias a la cual, un corte del suministro de la alimentación no ocasiona la pérdida de la información, que estará disponible al reinicializarse el programa. Se analizará con detenimiento en el capítulo 14.

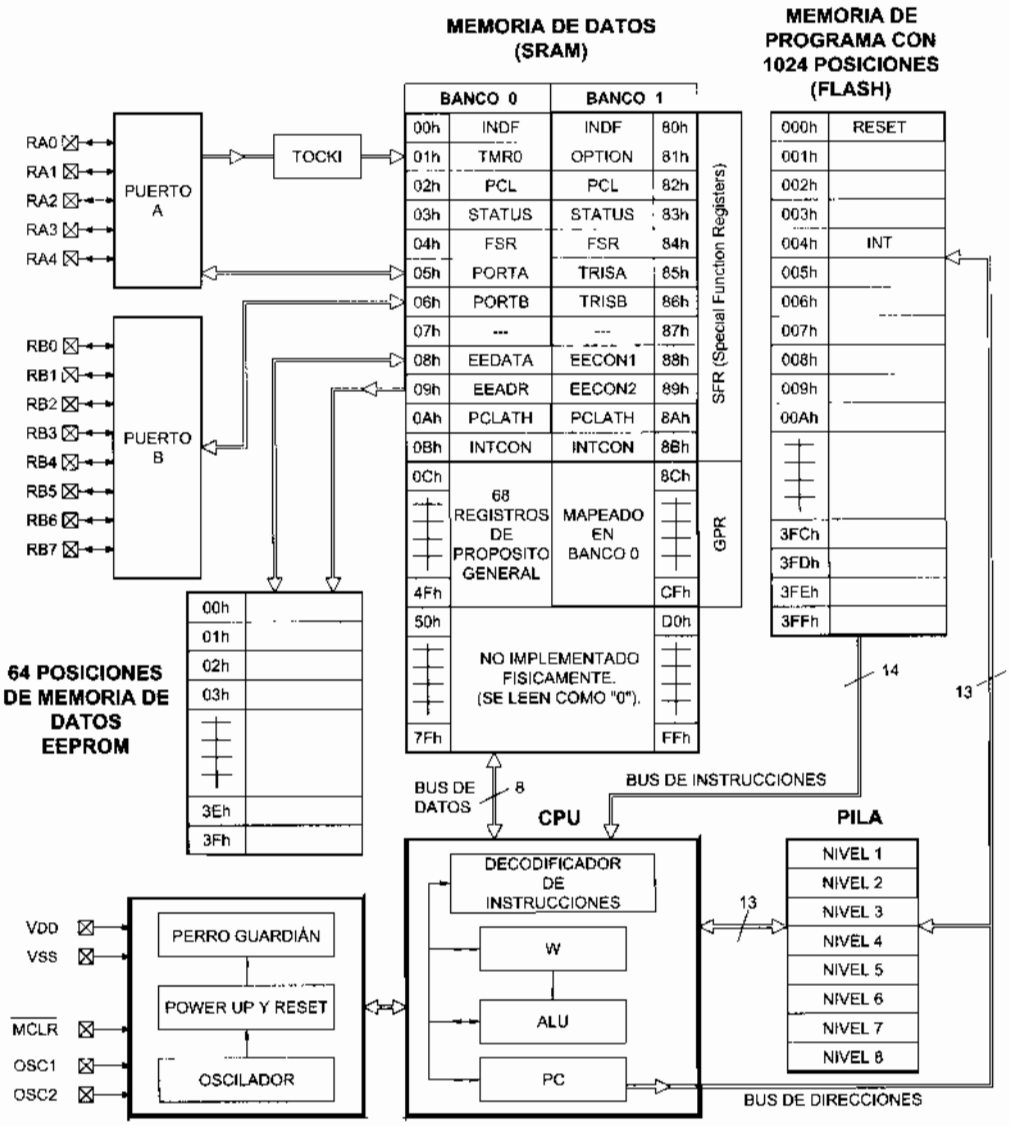


Figura 4-1 Arquitectura interna del PIC16F84

4.3 MEMORIA DE PROGRAMA

El microcontrolador está diseñado para que en su **memoria de programa** se almacenen todas las instrucciones del programa de control. El programa a ejecutar siempre es el mismo, por tanto, debe estar grabado de forma permanente. Esta característica de "no volatilidad" garantiza que la memoria mantenga su contenido aún sin alimentación, de forma que el programa no necesite volver a ser cargado en el sistema cada vez que se utilice.

La información contenida en estas memorias debe ser grabada previamente mediante un equipo físico denominado programador o grabador. Este equipo se debe conectar a un ordenador que mediante un software controla la grabación de la memoria de programa del microcontrolador. A este proceso se le llama programar o grabar el microcontrolador y se ha estudiado ampliamente en el capítulo anterior.

El PIC16F84 es un microcontrolador con un tipo memoria de programa no volátil denominada ROM **Flash**, que permite una grabación muy sencilla, rápida y cómoda, lo que representa gran facilidad en el desarrollo de diseños. La memoria del programa del PIC16F84, tiene una capacidad de 1 k (1024 posiciones) y está organizada en palabras de 14 bits. Así pues, la memoria de programa comienza en la posición 000h (posición inicial de reset) y llega hasta la 3FFh (figura 4-1). El PIC16F84 admite unas 1.000 grabaciones, y el fabricante garantiza que la información permanece inalterable durante varias decenas de años.

4.4 EL CONTADOR DE PROGRAMA (PC)

Un programa está compuesto por instrucciones que generalmente se ejecutan de forma secuencial. En el PIC16F84 cada una de esas instrucciones ocupa una posición de memoria de programa.

El **contador de programa o PC** *(Program Counter)* es un registro interno que se utiliza para direccionar las instrucciones del programa de control que están almacenadas en la memoria de programa (ver figura 4-1). Este registro contiene la dirección de la próxima instrucción a ejecutar y se incrementa automáticamente de manera que la secuencia natural de ejecución del programa es lineal, una instrucción después de otra.

El microcontrolador PIC16F84 dispone de un contador de programa que le permite direccionar los 1k x 14 bits de memoria de programa implementada, desde la posición 000h hasta la 3FFh.

En el esquema del entrenador básico de la figura 1-2, cuando el microcontrolador se conecta a la alimentación o cuando ocurre un reset, el contador de programa se pone a cero forzando así que la dirección de inicio sea la 000h. La primera instrucción ejecutada será la que esté grabada en esta posición.

Dirección	Nombre	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
BANCO 0									
00h	INDF	Registro utilizado en el direccionamiento indirecto (no es un registro físico)							
01h	TMR0	Timer / Contador de 8 bit							
02h	PCL	Registro con los 8 bits más bajos del Contador de Programa							
03h	STATUS	IRP	RP1	RP0	/TO	/PD	Z	DC	C
04h	FSR	Registro utilizado como puntero en el direccionamiento indirecto							
05h	PORTA	--	--	--	RA4/T0CKI	RA3	RA2	RA1	RA0
06h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0/INT
07h		Posición no implementada, se lee como 0							
08h	EEDATA	Registro de datos EEPROM							
09h	EEADR	Registro de direcciones EEPROM							
0Ah	PCLATH	--	--	--	Buffer escrito con los 5 bit más altos del PC				
0Bh	INTCON	GIE	EEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF
BANCO 1									
80h	INDF	Registro utilizado en el direccionamiento indirecto (no es un registro físico)							
81h	OPTION	/RBPU	INTEDG	T0SC	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
82h	PCL	Registro con los 8 bit más bajos del Contador de Programa							
83h	STATUS	IRP	RP1	RP0	/TO	/PD	Z	DC	C
84h	FSR	Registro utilizado como puntero en el direccionamiento indirecto							
85h	TRISA	--	--	--	Reg. de configuración de las líneas del Puerto A				
86h	TRISB	Registro de configuración de las líneas del Puerto B							
87h		Posición no implementada, se lee como 0							
88h	EECON1	--	--	--	EEIF	WRERR	WREN	WR	RD
89h	EECON2	Reg. de control para grabar en la EEPROM de datos (no es un registro físico)							
8Ah	PCLATH	--	--	--	Buffer escrito con los 5 bit más altos del PC				
8Bh	INTCON	GIE	EEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF

Tabla 4-1 Registros del SFR (Special Function Registers)

bit 1	bit 0
registro físico)	
DC	C
ecto	
RA1	RA0
RB1	RB0/INT
ltos del PC	
INTF	RBIF
registro físico)	
PS1	PS0
DC	C
ecto	
eas del Puerto A	
WR	RD
registro físico)	
tos del PC	
INTF	RBIF

4.5 MEMORIA DE DATOS

En esta memoria se almacenan los datos que se manejan en un programa. Estos datos varían continuamente, por lo que esta memoria debe ser de lectura y escritura. Se utiliza memoria denominada RAM que es de tipo volátil, con lo cual los datos se borran en caso de que desaparezca la alimentación.

La figura 4-1 muestra la estructura de la memoria de datos RAM del PIC16F84 donde se aprecia que está dividida en dos partes:

- **Registros de Funciones Especiales SFR** *(Special Function Registers)*. Son los primeros registros, cada uno de ellos cumple un propósito especial en el control del microcontrolador.
- **Registros de Propósito General GPR** *(General Purpose Registers)*. Son registros de uso general que se pueden usar para guardar los datos temporales del programa que se esté ejecutando. Tiene 68 posiciones para el PIC16F84.

La memoria de datos cuenta con dos **bancos** de memoria, Banco 0 y Banco 1:

- Los registros del SFR están agrupados entre las direcciones 00h a 0Bh para el Banco 0 y entre las direcciones 80h hasta 8Bh para el Banco 1. Algunos de los registros del SFR se encuentran duplicados en la misma dirección en los dos bancos, con el objeto de simplificar su acceso. Así por ejemplo, el registro STATUS se localiza en las direcciones 03h (Banco 0) y 83h (Banco 1).
- El banco de registros de propósito general está formado por 68 posiciones de memoria, ya que sólo son operativas las del Banco 0 (direcciones desde la 0Ch hasta la 4Fh), porque las del Banco 1 se mapean sobre el Banco 0. Es decir, cuando se apunta a un registro de propósito general del Banco 1 (direcciones de 8Ch hasta 0CFh), realmente se accede al mismo registro del Banco 0.

Para seleccionar el banco a acceder hay que configurar el bit 5 (RP0) del registro STATUS. Con RP0 = 0 se accede al Banco 0 y con RP0 = 1 se accede al Banco 1. El Banco 0 es seleccionado automáticamente después de un reset.

Las zonas de memoria 50h-7Fh y D0h-FFh no son empleadas y devuelven 0 en caso de lectura.

4.6 DIFERENCIAS ENTRE EL PIC16F84A Y EL PIC16C84

El microcontrolador PIC16C84 es un microcontrolador anterior al PIC16F84A y totalmente compatible con él, la diferencia principal es que su memoria de datos tiene menor tamaño. El PIC16C84 tiene 32 registros de propósito general (el mapa de memoria de datos llega hasta 2Fh) frente a los 68 registros disponibles en el PIC16F84. El

PIC16C84 fue reemplazado por el PIC16F84A de modo que los diseños que lo utilicen como elemento de control deben ser actualizados. Este proceso es transparente, se puede sustituir uno por otro sin realizar ningún tipo de modificación en la mayoría de las aplicaciones.

4.7 REGISTROS DEL SFR

La tabla 4-1 detalla los **registros de funciones especiales** SFR *(Special Function Registers)*. Estos registros se describen en su totalidad en el apéndice E y se irán explicando a lo largo del libro. Por ahora se destacan los siguientes:

4.8 REGISTROS RELACIONADOS CON LOS PUERTOS

Los registros relacionados directamente con los puertos son:

- **PORTA,** en posición 05h del Banco 0. Puerto de entrada/salida de 5 bits (pines RA4:RA0). El Puerto A puede leerse o escribirse como si se tratara de un registro cualquiera. El registro que controla el sentido (entrada o salida) de sus pines se llama TRISA y está localizado en la dirección 85h del Banco 1.
- **PORTB,** en posición 06h del Banco 0. Puerto de entrada/salida de 8 bits (pines RB7:RB0). El Puerto B puede leerse o escribirse como si se tratara de un registro cualquiera. El registro que controla el sentido (entrada o salida) de sus pines se llama TRISB y está localizado en la dirección 86h del Banco 1.
- **TRISA,** posición 85h del Banco 1. Registro de configuración de las líneas del Puerto A. Es el registro de control para el Puerto A. Un "0" en el bit correspondiente al pin lo configura como salida, mientras que un "1" lo hace como entrada.
- **TRISB,** posición 86h del Banco 1. Registro de configuración de las líneas del Puerto B. Es el registro de control para el Puerto B. Un "0" en el bit correspondiente al pin lo configura como salida, mientras que un "1" lo hace como entrada.

4.9 REGISTRO PCL Y CONTADOR DE PROGRAMA

El PIC16F84 dispone de un contador de programa de 13 bits constituido por dos registros (figura 4-2):

- **PCL** *(Program Counter Low byte)*, implementado en la posición de memoria RAM 02h (y duplicado en la posición 82h del Banco 1). Su contenido corresponde con los 8 bits más bajo del contador de programa. Este registro puede ser leído o escrito directamente.

- **PCH** *(Program Counter High byte).* Los cinco bits de mayor peso del PC corresponden con este registro. No puede ser leído ni escrito directamente.

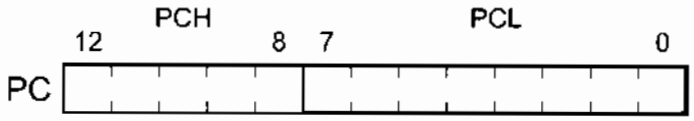


Figura 4-2 Composición del Contador de Programa (PC, Program Counter)

Durante la ejecución normal del programa el PCL se incrementa con cada instrucción, a menos que se trate de alguna instrucción de salto. Al conectar la alimentación se inicializa a (PCL) = b'00000000' y (PCH) = b'00000'.

Los 13 bits del contador de programa le permiten direccionar hasta 8 k x 14 bits. Sin embargo, el PIC16F84 dispone tan solo de 1k x 14 bits de memoria implementada, desde la posición 000h hasta la 3FFh. Los 3 bits de mayor peso del PC no los tiene en cuenta, así pues, las direcciones 30h, 430h, 830h, C30h, 1430h, 1830h y 1C30h se consideran la misma.

4.10 REGISTRO DE TRABAJO W

El **registro de trabajo W** *(Work)* es el registro principal y participa en la mayoría de las instrucciones. Se localiza dentro de la CPU del PIC16F84 como se aprecia en la figura 4-1.

La misma figura muestra como el microcontrolador posee una ALU *(Arithmetic Logic Unit)* de 8 bits. Ésta se encarga de realizar las operaciones lógicas o aritméticas que requiere la ejecución del programa con dos operandos, uno que proviene del registro W y el otro que se encuentra en cualquier otro registro o en el propio código de instrucción.

4.11 REGISTRO DE ESTADO O STATUS

El **registro de estado** o **STATUS** ocupa la posición 03h del Banco 0 ó la 83h del Banco 1 y es uno de los registros más importantes y utilizados. Los bits de este registro indican el estado de la última operación aritmética o lógica realizada, la causa de reset y los bits de selección de banco para la memoria de datos. A los bits del registro de estado se les suele denominar ***flags*** o banderas.

Su constitución interna se muestra en la tabla 4-2. A continuación se explican sus bits principales, en capítulos posteriores se explicarán el resto y en el apéndice D se realiza una descripción detallada de todo el conjunto.

IRP	RP1	RP0	/TO	/PD	Z	DC	C
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla 4-2 Registro de estado o STATUS

- **C** *(Carry bit)*. Flag de acarreo en el octavo bit. En instrucciones de suma aritméticas se activa cuando se presenta acarreo desde el bit más significativo del resultado, lo que indica que el resultado ha desbordado la capacidad del registro sobre el que trabaja, es decir, el resultado de la operación ha superado el valor 11111111_2, (255_{10}), que es el máximo valor que se puede representar con 8 bits. En el capítulo 8 se explica en detalle su funcionamiento. El significado de los dos valores posibles es:
  - C = 0. En la suma significa que no ha habido acarreo y en la resta que el resultado ha sido negativo.
  - C = 1. En la suma significa que ha habido acarreo y en la resta que el resultado ha sido positivo.
- **DC** *(Digit Carry)*. Flag de acarreo en el 4º bit de menos peso. En operaciones aritméticas se activa cuando hay un acarreo entre el bit 3 y 4, es decir, cuando hay acarreo entre los nibbles de menor y de mayor peso. Tiene un comportamiento análogo al del bit C.
- **Z** *(Zero)*. Flag de cero. Se activa a "1" cuando el resultado de una operación aritmética o lógica es cero.
  - Z = 0. El resultado de la última operación ha sido distinto de cero.
  - Z = 1. El resultado de la última operación ha sido cero.
- **RP0** *(Register Bank Select bit)*. Selección del banco para el direccionamiento directo. Señala el banco de memoria de datos seleccionado.
  - RP0 = 0. Selecciona el Banco 0.
  - RP1 = 1. Selecciona el Banco 1.

4.12 ESTADO DE LOS REGISTROS TRAS UN RESET

Después de un reset, los registros se encontrarán en el estado que se indica en la tabla 4-3 en la que las dos primeras columnas muestran los datos más importantes, que son:

- Conexión a la alimentación. Estado de los registros inmediatamente después de conectar la alimentación.
- MCLR modo normal. Estado de los registros después de llevar el pin MCLR a masa en funcionamiento normal.

DC	C
Bit 1	Bit 0

strucciones de suma
más significativo del
apacidad del registro
ha superado el valor
epresentar con 8 bits.
significado de los dos

y en la resta que el

y en la resta que el

peso. En operaciones
, es decir, cuando hay
un comportamiento

do de una operación

into de cero.
).
el direccionamiento

N RESET

o que se indica en la
más importantes, que

iatamente después de

levar el pin MCLR a

REGISTRO	CONEXIÓN A LA ALIMENTACIÓN	/MCLR MODO NORMAL	/MCLR EN "SLEEP"	INTERRUPCION EN "SLEEP"
W	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
TMR0	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
PCL	0000 0000	0000 0000	0000 0000	(Incrementa)
STATUS	0001 1xxx	000u uuuu	0001 0uuu	uuu1 0uuu
FSR	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
PORTA	---x xxxx	---u uuuu	---u uuuu	---u uuuu
PORTB	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
TRISA	---1 1111	---1 1111	---1 1111	---u uuuu
TRISB	1111 1111	1111 1111	1111 1111	uuuu uuuu
EEDATA	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
EEADR	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
PCLATH	---0 0000	---0 0000	---0 0000	---u uuuu
INTCON	0000 000x	0000 000u	0000 000u	uuuu uuuu
OPTION	1111 1111	1111 1111	1111 1111	uuuu uuuu
EECON1	---0 x000	---0 x000	---0 x000	---0 uuuu

u = No cambia, *(unchanged)*. x = Desconocido. - = No implementado.

Tabla 4-3 Estado de algunos registros después de los distintos tipos de reset

4.13 REGISTRO DE CONFIGURACIÓN

El PIC16F84A dispone de una palabra de configuración *(Configuration Word)* de 14 bits que se escribe durante el proceso de grabación del microcontrolador y que no se puede modificar durante la ejecución de un programa. Dichos bits ocupan la posición reservada de memoria de programa 2007h. La tabla 4-4 muestra la estructura de la palabra de configuración.

			CP	PWRTE	WDTE	FOSC1	FOSC0
Bit 13	...	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla 4-4 Registro de configuración

- **FOSC<1:0>** *(Flag Oscilator Selection)*. Selección del tipo de oscilador:
  - FOSC = 00. Oscilador de bajo consumo LP (32 kHz - 200 kHz)
  - FOSC = 01. Oscilador cstándar XT (100 kHz- 4MHz)
  - FOSC = 10. Oscilador de alta velocidad HS (4 MHz - 20 MHz)
  - FOSC = 11. Oscilador de bajo coste RC.
- **WDTE** *(Watchdog Enable)*. Bit de habilitación del *Watchdog*.
  - WDTE = 0. Watchdog deshabilitado.
  - WDTE = 1. Watchdog habilitado.
- **PWRTE** *(Power-up Timer Enable)*. Activación del temporizador *Power-Up*.
  - PWRTE = 0. Temporizador *Power-Up* deshabilitado.
  - PWRTE = 1. Temporizador *Power-Up* habilitado.

- **CP** *(Code Protection bit)* Bit de protección de código.
  - CP = 0. Toda la memoria de programa está protegida contra lecturas indeseables.
  - CP = 1. La memoria de programa se puede leer. No está protegida.

Durante la grabación de la palabra de configuración también se graban los identificadores ID que permiten conocer el programa, versión o cliente, correspondiente a esa grabación. Hay cuatro registros identificadores de 14 bits cada uno, pero sólo se utilizan los cuatro bits de menor peso de cada uno de ellos. Su distribución es "11 1111 1000 xxxx", siendo "x" los bits en los cuales se asigna la identificación particular.

Tanto el registro *Configuration Word* como los identificadores se pueden programar con el IC-Prog dentro del área de configuración, en la zona derecha de la figura 4-3.

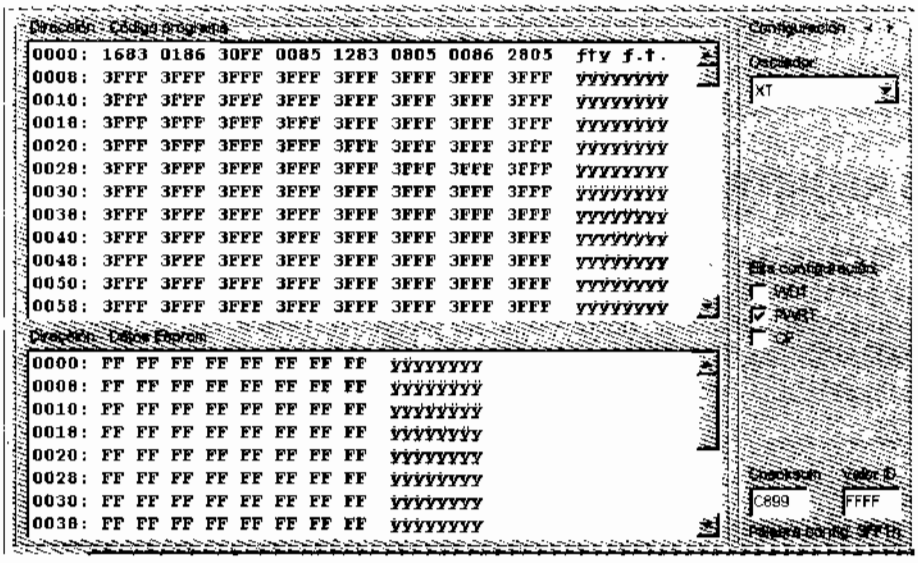


Figura 4-3 Opciones de configuración en el IC-Prog

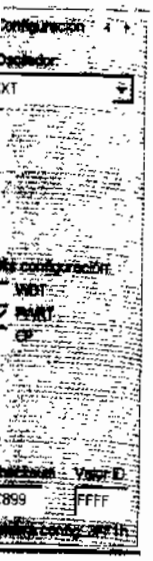
© RA-MA

da contra lecturas

rotegida.

ién se graban los
correspondiente a
uno, pero sólo se
ución es "11 1111
particular.

adores se pueden
zona derecha de la



CAPÍTULO 5

ARQUITECTURA INTERNA

Al igual que los demás miembros de su familia, el PIC16F84 se caracteriza por:

- Tener una arquitectura *Harvard.*
- Su procesador es segmentado ó *Pipeline.*
- Su procesador es tipo *RISC.*
- El formato de las instrucciones es *ortogonal.*
- La arquitectura está basada en banco de registros.

A continuación se explican algunos de estos conceptos, si bien es cierto que su conocimiento no es imprescindible para la comprensión del resto del libro es recomendable tener unas ciertas nociones sobre los mismos. Algunos de los conceptos mencionados (como por ejemplo las interrupciones) no serán analizados hasta capítulos posteriores. Si así lo desea, el lector puede saltarse este capítulo sin que sufra la continuidad del libro y volver a él conforme lo vaya necesitando.

5.1 MICROPROCESADOR Y MICROCONTROLADOR

Las figuras 5-1 y 5-2 demuestran las diferencias entre los sistemas digitales basados en microprocesador respecto de los basados en microcontrolador.

Un **microprocesador** es básicamente un chip que contiene la CPU *(Central Proccesing Unit)* que se encarga de controlar todo el sistema. Un sistema digital basado en un microprocesador es un sistema abierto ya que su configuración difiere según la aplicación a la que se destine. Se pueden acoplar los módulos necesarios para configurarlo con las características que se desee (figura 5-1). Para ello saca al exterior las líneas de sus buses de datos, direcciones y control de modo que permita su conexión con la memoria y

los módulos de entrada/salida. Finalmente resulta un sistema implementado por varios circuitos integrados dentro de una misma placa de circuito impreso.

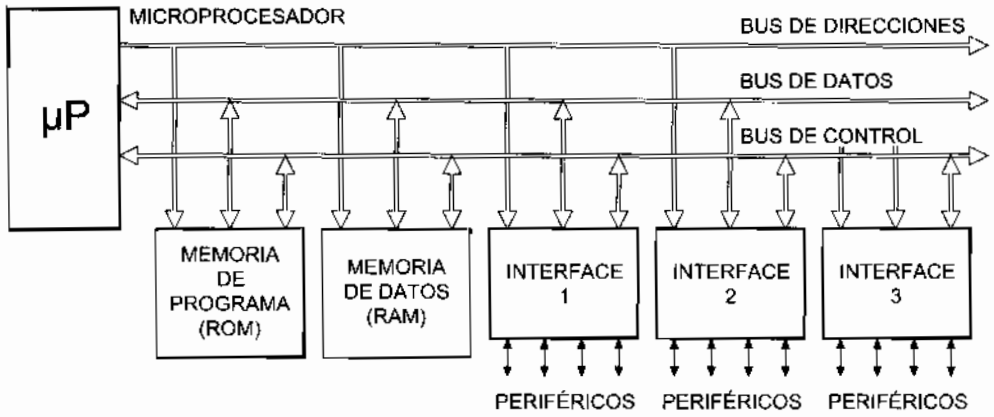


Figura 5-1 Estructura de un sistema digital basado en microprocesador

Un **microcontrolador** es un sistema cerrado, lo que quiere decir que en un solo circuito integrado se encierra un sistema digital programable completo (figura 5-2). Este dispositivo se destina a gobernar una sola tarea que no se puede modificar. Los microcontroladores disponen de los bloques esenciales: CPU, memorias de datos y de programa, reloj, periféricos de entradas/salidas, etc.

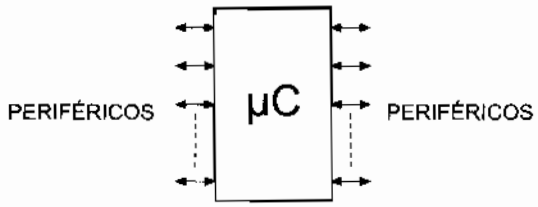


Figura 5-2 Estructura de un sistema digital basado en microcontrolador

La diferencia fundamental entre ambos es que un sistema digital basado en un microcontrolador está formado por un solo circuito integrado lo que reduce notablemente el tamaño y el coste, mientras que un sistema basado en un microprocesador, al estar compuesto por varios circuitos integrados para soportar las memorias y los módulos de entrada/salida, tiene mayor tamaño, más coste y menor fiabilidad.

5.2 ARQUITECTURA DE VON NEUMANN

La arquitectura tradicional de sistemas digitales programables se basa en el esquema propuesto por John **Von Neumann**. En este modelo la unidad central de proceso

o CPU está conectada a una memoria única que contiene las instrucciones del programa y los datos, tal como describe la figura 5-3.

El tamaño de la unidad de datos o instrucciones está fijado por el ancho del bus de datos de la memoria exterior utilizada, que es de 8 bits. Un microprocesador con un bus de 8 bits que lo conecta con la memoria deberá manejar datos e instrucciones de una o más unidades de 8 bits de longitud. Cuando deba acceder a una instrucción o dato de más de un byte de longitud, deberá realizar más de un acceso a la memoria. Por otro lado este bus único limita la velocidad de operación del microprocesador, ya que no se puede buscar en la memoria una nueva instrucción antes de que finalicen las transferencias de datos que pudieran resultar de la instrucción anterior.

Resumiendo, las dos principales limitaciones de la arquitectura tradicional o de Von Neumann son:

- La longitud de las instrucciones está limitada por la unidad de longitud de los datos, por lo tanto el microprocesador debe hacer varios accesos a memoria para buscar instrucciones complejas.
- La velocidad de operación está limitada por el efecto de cuello de botella que significa un único bus para datos e instrucciones, que impide superponer ambos tiempos de acceso.

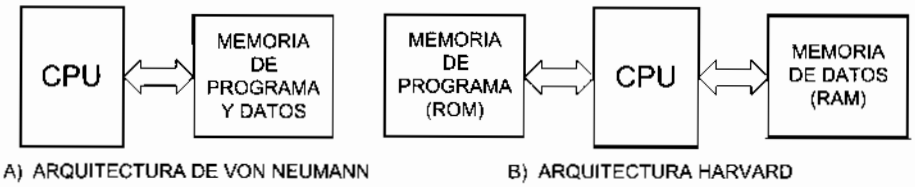


Figura 5-3 Diferencia entre la arquitectura Von Neumann y arquitectura Harvard

5.3 ARQUITECTURA HARVARD

Tradicionalmente los sistemas digitales programables se basaban en la arquitectura de Von Neumann, caracterizada por disponer de una única memoria en la que se almacenan tanto los datos como las instrucciones. A esta memoria se accede a través de un sistema de buses único. La única ventaja que posee es que simplifica la lógica del microcontrolador.

Los microcontroladores PIC utilizan una arquitectura **Harvard** que dispone de dos memorias independientes a las que se conecta mediante dos grupos de buses separados (figura 5-3):

- Memoria de datos.
- Memoria de programa.

Ambos buses son totalmente independientes y pueden ser de distintos anchos, ésto permite que la CPU pueda acceder de forma independiente y simultánea a la memoria de datos y a la de instrucciones, consiguiendo que las instrucciones se ejecuten en menos ciclos de reloj.

Esta dualidad de la memoria de datos por un lado y por otro la memoria de programa, permite la adecuación del tamaño de las palabras y los buses a los requerimientos específicos de las instrucciones y los datos.

Se puede concluir que las principales ventajas de la arquitectura Harvard son:

- El tamaño de las instrucciones no esta relacionado con el de los datos y, por lo tanto, puede ser optimizado para que cualquier instrucción ocupe una sola posición de memoria de programa. Así se logra una mayor velocidad y una menor longitud de programa.
- El tiempo de acceso a las instrucciones puede superponerse con el de los datos, logrando una mayor velocidad de operación.

5.4 PROCESADOR SEGMENTADO

Un **procesador segmentado o *Pipeline*** realiza simultáneamente la ejecución de una instrucción y la búsqueda de código de la siguiente, de esta manera, se puede ejecutar una instrucción en un ciclo. La tabla 5-1 describe el funcionamiento para un ejemplo concreto, donde cada instrucción se ejecuta en el denominado **ciclo máquina** que está constituido por cuatro ciclos de reloj.

PROGRAMA:	1er Ciclo	2º Ciclo	3er Ciclo	4º Ciclo	5º Ciclo
1. bsf STATUS,RP0	Búsqueda 1	Ejecuta 1			
2. clrf TRISB		Búsqueda 2	Ejecuta 2		
3. movlw 0xFF			Búsqueda 3	Ejecuta 3	
4. movwf TRISA				Búsqueda 4	Ejecuta 4

Tabla 5-1 Ejemplo de funcionamiento de un procesador segmentado o Pipeline

Este sistema acompañado de una estructura Harvard, permite que las instrucciones se ejecuten en un sólo ciclo máquina (4 ciclos de reloj), salvo en el caso de saltos de programa. Lo que se hace internamente es que mientras se ejecuta la instrucción actual se carga la siguiente instrucción, alcanzando una alta velocidad de ejecución, (figura 5-4).

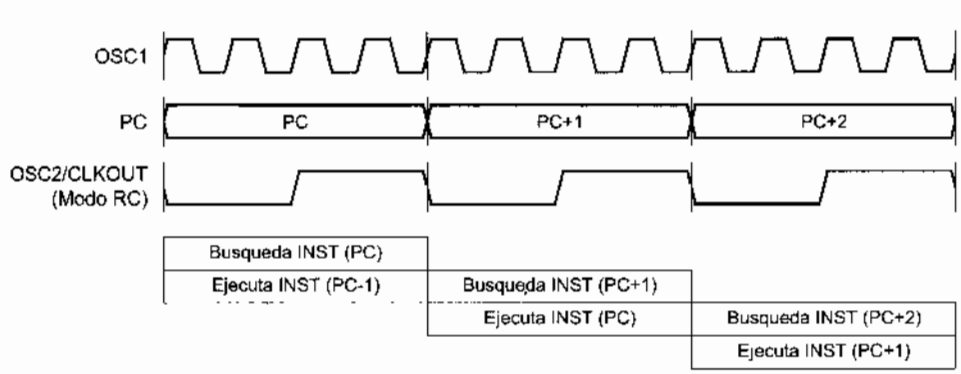


Figura 5-4 Cronograma de tiempo de un procesador segmentado

5.5 PROCESADOR RISC

Las CPUs atendiendo al tipo de instrucciones que utilizan pueden clasificarse fundamentalmente en:

- ***CISC** (Complex Instruction Set Computer)*. Son procesadores con un juego de instrucciones complejo. Su repertorio de instrucciones es elevado y algunas de ellas son muy sofisticadas y potentes. Su problema es que requieren de muchos ciclos de reloj para ejecutar las instrucciones complejas.
- **RISC** *(Reduced Instruction Set Computer)*. Son microprocesadores con un repertorio de instrucciones reducido. Las instrucciones son muy simples y suelen ejecutarse en un ciclo máquina. Los procesadores RISC suelen tener una estructura *Pipeline* y ejecutar casi todas las instrucciones en el mismo tiempo. El PIC16F84 es un microcontrolador RISC con sólo 35 instrucciones.
- **SISC** *(Specific Instruction Set Computer)*. Estos procesadores poseen un juego de instrucciones específico para cada aplicación. Están destinados a aplicaciones muy concretas.

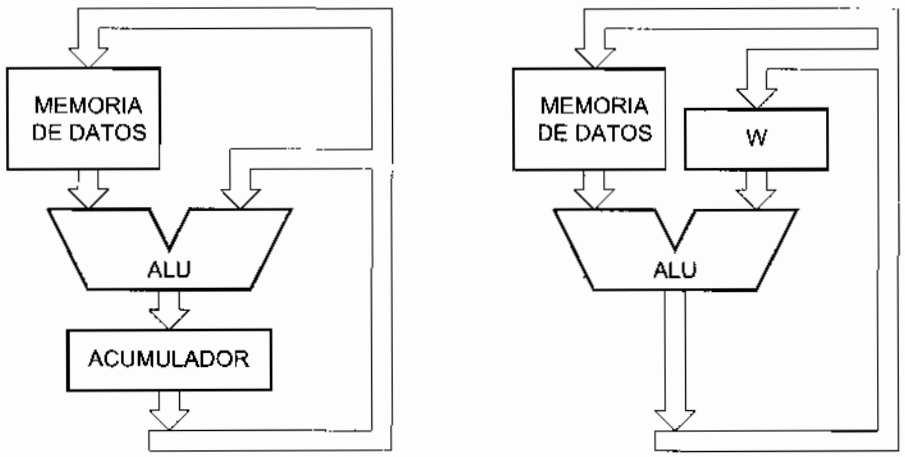
Los procesadores RISC representan un importante avance en el desarrollo de la arquitectura de los microcontroladores. Está demostrado que las instrucciones complejas de los microcontroladores CISC son empleadas sólo por algunos usuarios y muy esporádicamente. Por tal motivo *Microchip* decidió diseñar sus microcontroladores PIC con procesador RISC optimizado para ejecutar a muy alta velocidad un reducido número de instrucciones, las más frecuentemente utilizadas.

En los microcontroladores RISC las instrucciones complejas se obtienen ejecutando un conjunto de instrucciones disponibles, en lugar de ser una única instrucción como en los CISC.

5.6 ARQUITECTURA ORTOGONAL

En un microprocesador con **arquitectura ortogonal** una instrucción puede utilizar cualquier elemento de la arquitectura como fuente o destino. Ésta es una diferencia muy significativa respecto de otros microcontroladores.

La figura 5-5 representa un diagrama simplificado de la arquitectura interna del camino de los datos en la CPU de los microcontroladores PIC frente a los tradicionales. Este diagrama no representa con exactitud el circuito interno de estos microcontroladores, pero es exacto y claro desde la óptica del diseñador de sistemas digitales. La principal diferencia entre ambos radica en la ubicación del registro de trabajo, que para los PIC se denomina W *(Work Register)* y para los tradicionales es el "Acumulador".



A) MICROPROCESADOR TRADICIONAL B) MICROCONTROLADOR PIC

Figura 5-5 Diferencia de los microcontroladores PIC respecto de los tradicionales

En los microcontroladores tradicionales todas las operaciones se realizan sobre el acumulador. La salida del mismo está conectada a una de las entradas de la Unidad Aritmética y Lógica (ALU) y, por lo tanto, éste es siempre uno de los dos operandos de cualquier instrucción. La salida de la ALU va solamente a la entrada del acumulador, el resultado de cualquier operación siempre quedará en este registro.

En los microcontroladores PIC la salida de la ALU va al registro W y también a la memoria de datos, así el resultado puede guardarse en cualquiera de los dos destinos. En las instrucciones de doble operando, uno de los dos datos siempre debe estar en el registro W. La gran ventaja de esta arquitectura es que permite un gran ahorro de instrucciones ya que el resultado de cualquier instrucción que opere con la memoria, puede dejarse en la misma posición de memoria o en el registro W.

Como se estudió en el capítulo anterior, en la memoria de datos de los PICs se encuentran ubicados casi todos los registros de control del microcontrolador y sus periféricos de entrada/salida, así como las posiciones de memoria de usos generales (figura 4-1). El PIC16F84 es un microcontrolador con arquitectura basada en bancos de registros ya que todos los elementos del sistema están implementados físicamente como registros.

5.7 PUERTOS

El PIC16F84 dispone de dos puertos paralelos A y B. Las líneas de estos puertos se pueden programar individualmente como entradas o como salidas y se utilizan casi de la misma forma. Debido al escaso encapsulado, con sólo 18 pines, determinadas líneas de estos puertos se comparten con otros recursos internos. A continuación se analiza en detalle la constitución interna de éstos.

5.8 PUERTO A

El Puerto A está constituido por 5 líneas RA4:RA0 cuyo sentido de trabajo es controlado mediante el registro TRISA, en el que un bit a "0" configura la línea correspondiente como salida, y un bit a "1" como entrada. Después de un reset, todos los bits del registro TRISA quedan a uno, por lo que todas las líneas del Puerto A quedan configuradas como entradas. La figura 5-6 representa el diagrama interno de una de las líneas RA0 a RA3 del Puerto A.

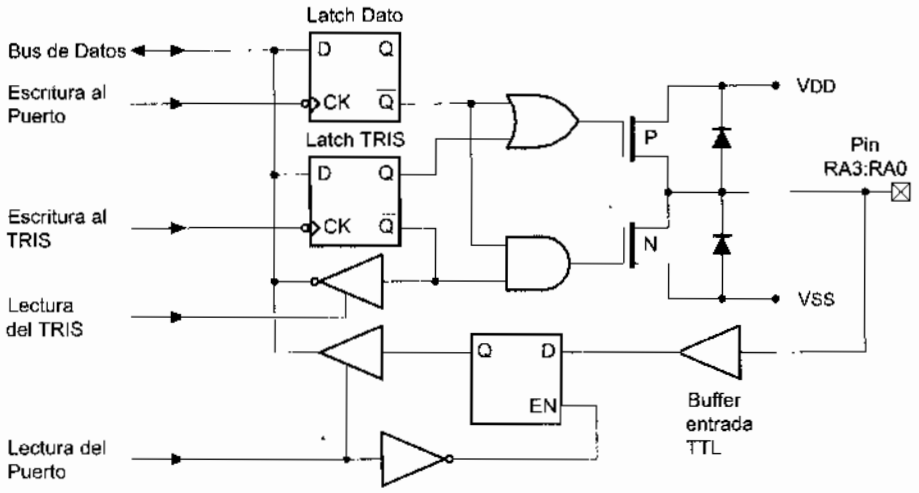


Figura 5-6 Constitución interna de los pines RA3:RA0

A continuación se analiza el funcionamiento de una línea como salida suponiendo que saca un dato a nivel lógico "1":

1º Previamente el *Latch TRIS* de configuración debe contener un "0" para que actúe como salida.
2º El dato aparece en la línea correspondiente del bus de datos interno.
3º Se activa la señal de escritura al puerto, produciendo el almacenamiento de dicho nivel en el *Latch Dato*. Si el bus de datos tenía un "1", la salida /Q pasará a tener un "0".
4º Con estos valores la puerta OR tendrá un "0" en su salida al igual que la AND y producen la conducción del transistor PMOS superior y el bloqueo del NMOS inferior.
5º La línea exterior queda conectada a la alimentación V_{DD} obteniendo un nivel alto.
6º El *Latch Dato* provoca que la línea de salida esté "latcheada" conservando su valor hasta que no se reescriba el mismo.
7º Al estar "latcheada", cuando se configura como salida saca al exterior el nivel lógico que se haya cargado por última vez en el registro de salida.

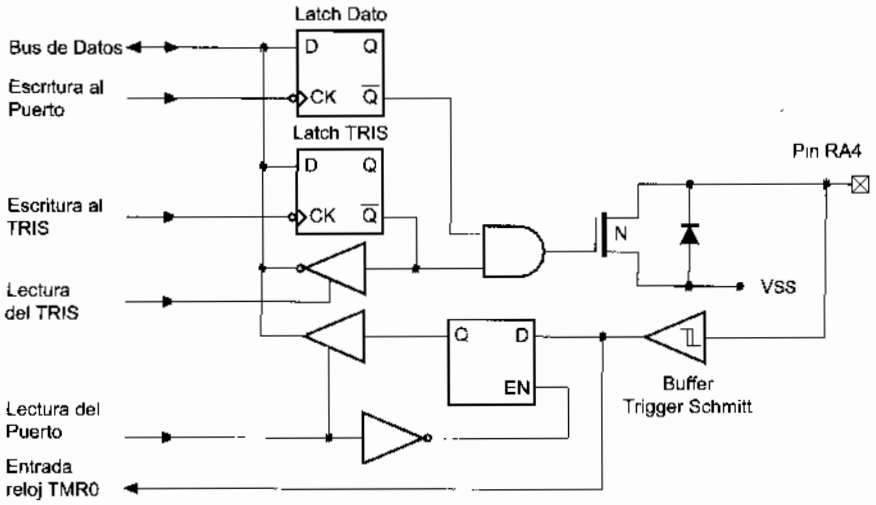


Figura 5-7 Constitución interna del pin RA4

Si una de estas líneas actúa como entrada hay que tener presente que:

1º Al programarse como entrada, la salida del *Latch TRIS* provocará un nivel alto a la salida de la puerta OR y un nivel bajo a la salida de la puerta AND, por lo que los dos transistores MOS de salida quedan bloqueados y en alta impedancia.
2º El nivel de tensión aplicado a ella desde el exterior pasa al bus interno a través del buffer triestado cuando se activa la señal de lectura del puerto.
3º Al leer una línea de entrada se obtiene el estado actual del pin correspondiente, no el dato almacenado en el latch.

4º La información presente en una línea de entrada debe mantenerse estable durante todo el ciclo de instrucción.

La línea RA4 adopta una estructura diferente (figura 5-7):

- Cuando se configura como salida tiene una configuración de tipo drenador abierto, por tanto, necesita una resistencia de Pull-Up externa. Este es un error muy común en los diseñadores noveles cuando utilizan el pin RA4 como salida por primera vez.
- Cuando se configura como entrada está provista de un Trigger Schmitt que proporciona una buena inmunidad al ruido, por ello esta línea se debe utilizar preferentemente como entrada frente a cualquier otra. Es común con la entrada externa del Timer 0.

Estas líneas son capaces de entregar niveles TTL cuando la tensión de alimentación aplicada en V_{DD} es de 5V. Cada línea de salida puede suministrar una corriente máxima de 20 mA cuando está a nivel alto o absorber una corriente máxima de 25 mA cuando está a nivel bajo. Como hay una limitación de disipación máxima de potencia del chip, está limitada la suma de corriente por las cinco líneas del Puerto A, que no puede exceder de 50 mA cuando están a nivel alto y 80 mA cuando están a nivel bajo.

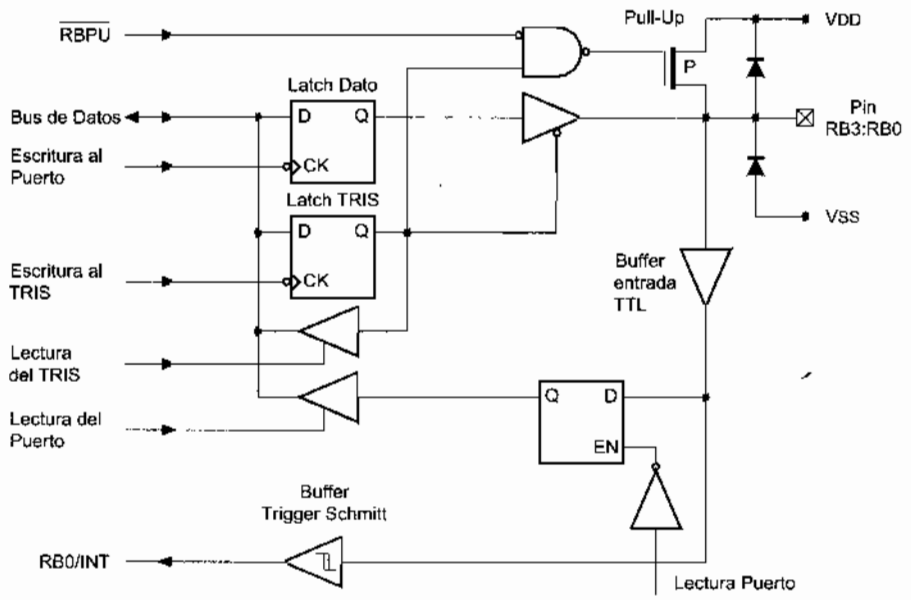


Figura 5-8 Constitución interna de los pines RB3:RB0

5.9 PUERTO B

El Puerto B es un puerto bidireccional de 8 bits completo, en el que sólo la línea RB0/INT tiene dos funciones multiplexadas, la propia de entrada/salida del puerto y la petición de interrupción externa. Las líneas RB0 a RB3 adoptan una estructura distinta a las de las líneas RB4 a RB7 según se aprecia en la figura 5-8. La razón de ser de esta diferencia radica en el hecho de que es posible programar la generación de una interrupción durante un cambio de estado de una cualquiera de las líneas RB7:RB4. Todas las líneas del Puerto B disponen de una resistencia de Pull-Up de alto valor, conectada a la alimentación.

Las líneas RB7:RB4, cuando actúan como entradas, pueden ser programadas para generar una interrupción si alguna de ellas cambia su estado lógico. La figura 5-9 muestra el diagrama interno de una de estas líneas. El circuito permite detectar la variación de una de estas señales cuando está en modo entrada, para ello, compara la última señal memorizada durante la última lectura del Puerto B. El cambio de una de las señales de entrada produce una interrupción que se refleja en el flag RBIF del registro INTCON.

Estas líneas son capaces de entregar niveles TTL cuando la tensión de alimentación aplicada en V_{DD} es de 5V. Cada línea de salida puede suministrar una corriente máxima de 20 mA cuando está a nivel alto o absorber una corriente máxima de 25 mA cuando está a nivel bajo. Como hay una limitación de disipación máxima de potencia del chip, está limitada la suma de corriente por las ocho líneas del Puerto B, que no puede exceder de 100 mA cuando están a nivel alto y 150 mA cuando están a nivel bajo.

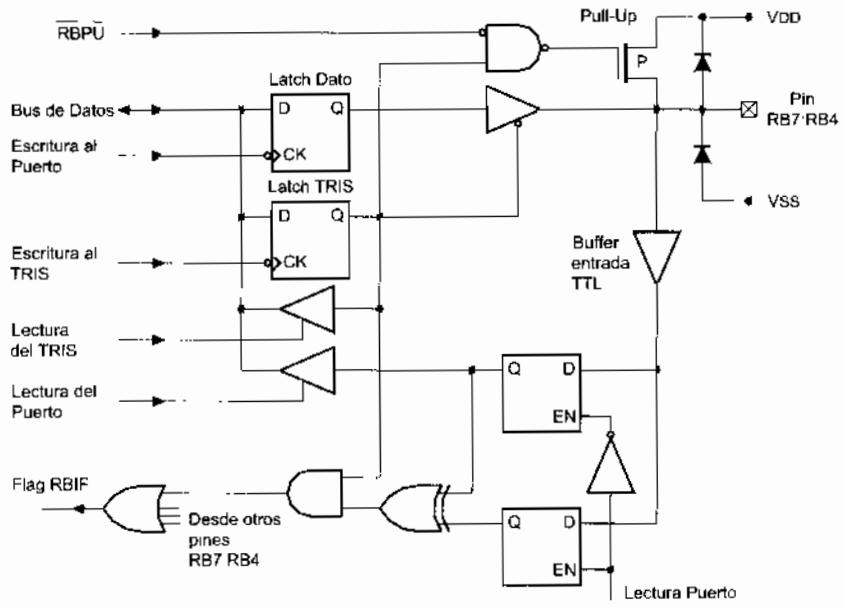


Figura 5-9 Constitución interna de los pines RB7:RB4

© RA-MA

CAPÍTULO 6

ENSAMBLADOR

6.1 LENGUAJE MÁQUINA

El Único lenguaje que entienden los microcontroladores es el formado por los ceros y unos del sistema binario. Cualquier instrucción que deba ser ejecutada por el microcontrolador debe estar expresada *en* binario. A este lenguaje se le denomina lenguaje **máquina**, por ser el que comprende el microcontrolador. Los **códigos** de este lenguaje que forman las instrucciones se llaman **códigos máquina.** Así por ejemplo, cuando el microcontrolador PIC16F84 lee el código máquina "1111000111010", está recibiendo la instrucción: *"suma 58 al registro de trabajo W y guarda el resultado en este mismo registro W"*.

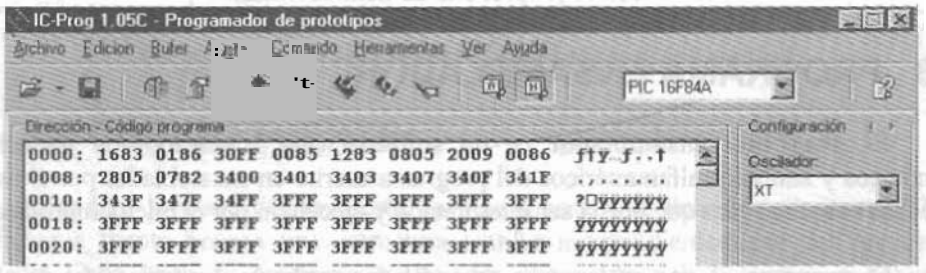


Figura 6-1 El IC-Prog utiliza el lenguaje máquina codificado en hexadecimal

Cualquier otro lenguaje que se *utilice* debe ser traducido a unos y ceros para *que* el microcontrolador pueda procesarlo. Dicha codificación binaria resulta incómoda para trabajar, por lo que muchas veces *se* utiliza la codificación hexadecimal para facilitar la interpretación de los códigos máquina y no saturar las pantallas (ni los cerebros) de unos y ceros, Así por ejemplo, en el capítulo 3 se procedió a grabar los microcontroladores

utilizando el programa IC-Prog, que trabaja en lenguaje **máquina,** pero utilizando la codificacion hexadecimal, tal como se aprecia **en el ejemplo de** la figura 6-1.

6.2 LENGUAJE ENSAMBLADOR

El lenguaje máquina cs difícil de utilizar por el hombre ya que *se* aleja de su forma natural de expresarse, **por** esto **se** utiliza el **lenguaje ensamblador,** que **es** la forma de expresar las instrucciones de una forma más natural **al** hombre y que, sin embargo, es muy cercana al microcontrolador porque cada **una** de sus instrucciones se corresponde con otra en código máquina que **el** microcontrolador es capaz de interpretar.

El lenguaje cnsarnblador utiliza **nembnicos** que son grupos de caracteres alfaniiméricos que simbolizan las órdenes o tareas a realizar con cada instrucción. Los nemonicos se corresponden con las iniciales del nombre de la instrucción **en** inglés, de forma que **"recuerdan"** la operación que realiza la instrucción, lo que facilita su memorización.

Así. por ejemplo: para ordenar al microcontrolador PIC16F84: *"suma 58 al registro de trabajo* ***W*** *y guarda el resultado* ***en*** *este mismo registro W",* en lenguaje ensamblador **sería** *"addlw d'58'"* que es mucho más amable qiic el "11111000111010" del lenguaje máquina.

Resumiendo con un ejemplo:

- Instrucción: *"Suma 58 al registro de trabajo* ***W*** *y guarda el resultado en este mismo registro".*
- Ensamblador: *addlw d'58'.*
- Máquina: 11 11**10** 0011 1010 (expresado en binario).
  3E3A (expresado en hexadecimal).

6.3 PROGRAMA ENSAMBLADOR

El **programa ensamblador** es **un software que** se encarga de traducir los nemonicos y símbolos alfanuméricos del programa escrito en ensamblador por el usuario a código máquina, para **qiic** pueda ser interpretado y ejecutado por el microcontrolador.

El programa escrito en lenguaje ensamblador recibe la denominación de **código fuente, archivo fuente** o **fichero fuente.** Suele tener la extensión *.asm. El archivo fuente debe ser traducido **a** código máquina, de lo **cual se encarga el programa ensamblador. La mayoría de los ensambladores** proporcionan **a** su **salida** un fichero que **suele tener** la extensión *.hex. **Este** fichero **puede ser grabado en** la memoria **de** programa mediante **la** utilización de un grabador **de** microcontroladores.

El ensamblador más utilizado para los PIC es el **MPASM**, que trabaja dentro de un entorno software denominado **MPLAB** que se describe en el próximo capítulo. Este entorno de trabajo es puesto a libre disposición de los usuarios por *Microchip Technology* en su página Web www.microchip.com .

6.4 FICHEROS RESULTANTES DEL ENSAMBLADO

Tras el ensamblado del fichero fuente *.asm se producen varios ficheros (figura 6-2). Los más importantes son:

- Fichero **ejecutable** o **hexadecimal**. Es un fichero con datos numéricos codificados en hexadecimal. Tiene la extensión *.hex. Contiene los códigos máquina del programa que servirán para grabar la memoria de programa del microcontrolador y ejecutarlo.
- Fichero de **errores**. Es un fichero con la extensión *.err. Contiene los errores producidos durante el proceso de ensamblado.
- Fichero **listable**. Es un fichero de texto con la extensión *.lst que contiene toda la información del programa: código fuente, códigos máquina, direcciones de cada instrucción, errores producidos, etc.

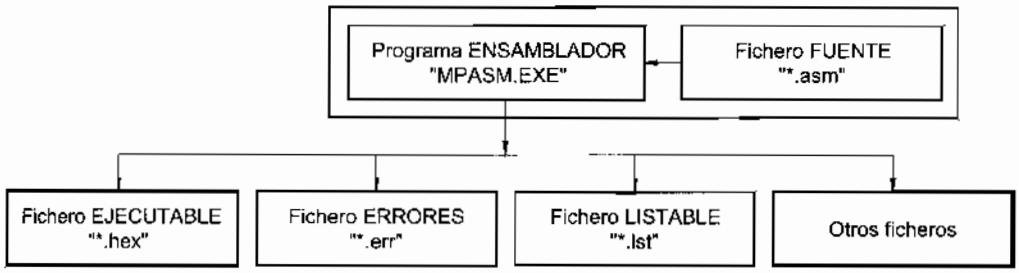


Figura 6-2 Ficheros resultantes del proceso de ensamblado

6.5 EL CÓDIGO FUENTE

El código fuente está compuesto por una sucesión de líneas de programa. Todos los ficheros fuente poseen una estructura similar independientemente del procesador utilizado. Cada línea de programa suele estar compuesta por 4 campos o columnas separados por uno o más espacios o tabulaciones. Estos campos son:

1º Campo de etiquetas.
2º Campo del código de operación.
3º Campo de operandos y datos.
4º Campo de comentarios.

A continuación se muestra un ejemplo:

1ª 2ª 3ª 4ª columna

```
;********************************** Ensam_01.ASM ********************************
;
; Por los LEDs conectados al puerto B se visualiza el valor de una constante, por ejemplo
; el número binario 01010101.
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC ; Configuración para el
                                                           ; grabador.
        LIST      P=16F84A          ; Procesador utilizado.
        INCLUDE <P16F84A.INC>       ; En este fichero se definen las etiquetas del PIC.

Constante EQU     b'01010101'       ; Por ejemplo.

; ZONA DE CÓDIGOS ******************************************************************

        ORG       0                 ; El programa comienza en la dirección 0 de la memoria de
                                    ; programa.
Inicio  bsf       STATUS,RP0        ; Pone a 1 el bit 5 del STATUS. Acceso al Banco 1.
        clrf      TRISB             ; Las líneas del puerto B se configuran como salida.
        bcf       STATUS,RP0        ; Pone a 0 el bit 5 de STATUS. Acceso al Banco 0.
        movlw     Constante         ; Carga el registro de trabajo W con la constante.
Principal
        movwf     PORTB             ; El contenido de W se deposita en el puerto de salida.
        goto      Principal         ; Se crea un bucle cerrado e infinito

        END                         ; Fin del programa
```

6.5.1 Etiquetas

La primera columna es el campo de **etiquetas**. Éstas son expresiones alfanuméricas escogidas por el usuario, su principal función es identificar a una determinada instrucción del programa, asignando a esa etiqueta el valor de la dirección de memoria correspondiente a dicha instrucción. Así, la dirección de memoria se designa en el programa por el nombre de la etiqueta facilitando la identificación de las direcciones, sobre todo en las instrucciones de salto. Por ejemplo:

```
Principal ....
          ....
          goto    Principal         ; Salta a la posición de memoria identificada mediante
                                    ; la etiqueta "Principal".
```

Asignando etiquetas a direcciones del programa se posibilita que las instrucciones puedan saltar o hacer referencia a esas instrucciones sin necesidad de recordar las direcciones físicas donde están ubicadas. Las etiquetas también tienen otras funciones que se comentarán más adelante.

Es obligatorio que las etiquetas cumplan las siguientes normas:

1º. Deben empezar por letras y luego admiten letras, números y el carácter subrayado (guión bajo) "_". Ejemplo: *Bucle_1*.

2º. No se pueden insertar espacios o tabulaciones antes de la etiqueta, si no será considerada como una instrucción.

3º. No pueden utilizarse expresiones reservadas para la utilización del ensamblador tales como:

- Instrucciones. Por ejemplo: *"goto"*, *"sleep"*, etc.
- Nombres de registros especiales (SFR). Por ejemplo: *"STATUS"*, *"PCL"*, etc.
- Nombre de cada uno de los bits de los registros especiales. Por ejemplo: *"C"*, *"Z"*, *"DC"*, etc.
- Directivas del propio ensamblador. Por ejemplo: *"END"*, *"ORG"*, *"LIST"*, etc.

6.5.2 Código de operación

La segunda columna suele ser el campo del **código de operación**, que especifica la tarea a realizar por el microcontrolador. Suele ser una instrucción del microcontrolador que es directamente traducida a código máquina por el ensamblador, por ejemplo, *"sleep"* es traducida a código máquina "00 0000 0110 0011".

6.5.3 Operandos

La tercera columna es el campo de **operandos** o **datos.** Contiene los operandos para el campo de instrucciones. Por ejemplo *"movwf PORTB"*, donde *"PORTB"* es el operando. Este campo puede contener uno o más operandos separados por comas. Dependiendo de la instrucción pueden ser números o etiquetas que representen constantes o direcciones, tal como en el programa ejemplo detallado en el apartado anterior.

Conviene que los operandos que designan a los registros de SFR, respeten la ortografía que se establece en el fichero P16F84A.INC que proporciona el fabricante *Microchip*. Este fichero establece por ejemplo que al Puerto B hay que llamarle "PORTB", al registro de estado "STATUS", etc. Debido a su importancia, el fichero P16F84A.INC será expuesto en su integridad en un próximo apartado.

6.5.4 Comentarios

La última columna es el campo de **comentarios** de los programas. Son elementos indispensables que ayudan al programador a documentar su programa, aclarar el sentido de las instrucciones y, con el tiempo, facilitar la posibilidad de correcciones y

modificaciones que lo mejoren. Los comentarios no son tenidos en cuenta por el ensamblador y por tanto no se codifican a lenguaje máquina.

Los comentarios pueden extenderse durante varias líneas y todas ellas deben comenzar siempre por punto y coma (;). No necesita tener espacios o tabulaciones que lo separen del campo anterior, e incluso puede empezar en la primera posición de la línea. El ensamblador ignora todo el texto que contenga la línea después de un carácter punto y coma, de esta manera pueden incluirse líneas que contengan sólo comentarios.

Cuando el ensamblador encuentra un punto y coma (;) lo interpreta como comentario y no genera código máquina. Es frecuente, utilizar esta técnica en la depuración de programas para anular temporalmente instrucciones que no se desean ejecutar pero que tampoco se desean borrar definitivamente.

El objetivo final de la programación será, además de conseguir programas que funcionen correctamente y sean eficientes, proporcionar sobre ellos toda la documentación necesaria. Debe tenerse en cuenta que un programa indebidamente documentado sería muy difícil de modificar en un futuro, o al menos podría resultar tan costoso que haría renunciar a tal propósito. Es buena práctica hacer uso y abuso de esta posibilidad para que los programas resulten suficientemente documentados. Con ello se consigue que los programas fuentes ganen en claridad, aunque a costa de aumentar su extensión. En este libro se ha "abusado" de los comentarios por motivos pedagógicos.

6.5.5 Normas de estilo para escribir un archivo fuente

Para simplificar la codificación del programa fuente, los ensambladores permiten que cada línea pueda estar escrita en formato libre, esto es, puede haber cualquier número de espacios entre dos campos de una línea y se puede utilizar mayúsculas o minúsculas a criterio del diseñador de programas. Sin embargo, cuando se escribe un archivo fuente hay una serie de normas de estilo comunes entre los programadores, que si bien no son obligatorias, facilitan su lectura como puede verse en el ejemplo del código fuente detallado en el apartado anterior. Éstas son:

- Conviene respetar la designación de los registros, tal como establece el fichero P16F84A.INC descrito más adelante.
- Se deben respetar las columnas. Para una mejor legibilidad del programa, se recomienda utilizar los tabuladores para definir las columnas de cada campo.
- Conviene numerar todas las filas, para un seguimiento más sencillo y una mejor corrección del archivo fuente. Normalmente es numerado de forma automática por el programa editor.
- Los espacios en blanco no son significativos en ningún campo, como tampoco lo son ni las líneas en blanco ni los tabuladores, sólo sirven para darle forma al texto.

- Los nemónicos de las instrucciones se escriben en minúsculas. Ejemplo: *movlw d'15'*.
- El nombre de la etiqueta debe aclarar en lo posible el funcionamiento del programa. Deben ser reales y referidos al programa. La tendencia actual en programación es que las etiquetas sean lo suficientemente descriptivas por sí mismas, aunque resulten un poco extensas. Para ello se juntan las palabras de una frase explicativa, comenzando la primera letra de cada palabra por mayúscula y el resto serán minúsculas. Por ejemplo, "MotorRotaDerecha".

6.6 CONSTANTES NUMÉRICAS Y ALFANUMÉRICAS

El ensamblador MPASM soporta los sistemas de numeración decimal, hexadecimal, octal, binario y el código alfanumérico ASCII. La tabla 6-1 representa la forma de especificar el sistema de numeración o códigos alfanuméricos, con un ejemplo por caso.

TIPO	SINTAXIS	EJEMPLO
Decimal	D'<cantidad>' d'<cantidad>' .<cantidad>	Movlw D'109' movlw d'109' movlw .109
Hexadecimal	H'<cantidad>' h'<cantidad>' 0x<cantidad> <cantidad>H <cantidad>h	Movlw H'6D' movlw h'6D' movlw 0x6D movlw 6DH movlw 6Dh
Octal	O'<cantidad>' o'<cantidad>'	Movlw O'155' movlw o'155'
Binario	B'<cantidad>' b'<cantidad>'	Movlw B'01101101' movlw b'01101101'
ASCII	A'<carácter>' a'<carácter>' '<carácter>'	Movlw A'M' movlw a'M' movlw 'M'
"*String*" o Cadena de Caracteres.	"<string>"	DT "Estudia DPE"

Tabla 6-1 Formato de las constantes

Las constantes hexadecimales que comiencen por una letra (A-F) deben ir precedidas de un cero para que no sean confundidas con una etiqueta, ejemplo: *movlw*

0FAh. Las constantes pueden ser opcionalmente precedidas por un signo "+" (valores positivos) o "-" (valores negativos), si no aparece signo alguno se asume que el valor es positivo. Cuando los operandos son caracteres ASCII, deben estar encerrados entre comillas simples, ejemplo: *movlw 'G'*.

6.7 OPERADORES ARITMÉTICOS

En los operandos de las instrucciones pueden aparecer expresiones matemáticas cuyo valor numérico será calculado por el programa ensamblador en el momento de ensamblar el programa fuente. Por ejemplo:

```
        movlw   MensajeFin-MensajeInicio   ; El ensamblador calcula automáticamente la longitud
                                           ; del mensaje realizando una resta.
                ..... .....                ; Resto del programa.
MensajeInicio
                ..... .....                ; (Aquí iría un mensaje de longitud desconocida).
MensajeFin
```

En el apéndice C se detalla una lista con los principales operadores lógicos y matemáticos.

6.8 EL REPERTORIO DE INSTRUCCIONES

El repertorio del PIC16F84 está compuesto por 35 instrucciones que pueden ser agrupadas para su estudio en los siguientes grupos:

- Instrucciones de carga.
- Instrucciones aritméticas.
- Instrucciones lógicas.
- Instrucciones de bit.
- Instrucciones de salto.
- Instrucciones para manejo de subrutinas.
- Instrucciones especiales.

Las principales características del repertorio de instrucciones del PIC16F84 son:

- Es un juego reducido de 35 instrucciones simples y rápidas.
- La mayoría de las instrucciones se ejecutan en 4 ciclos de reloj, menos las de salto que requieren 8 ciclos.
- Las instrucciones son ortogonales. Casi todas las instrucciones pueden usar cualquier operando.
- Todas las instrucciones tienen la misma longitud, 14 bits y todos los datos son de 8 bits.

NEMÓNICO		DESCRIPCIÓN	CÓDIGO DE OPERACIÓN	FLAGS AFECTADOS
Instrucciones de CARGA				
clrf	f	00 → (f)	00 0001 1fff ffff	Z
clrw		00 → (W)	00 0001 0xxx xxxx	Z
movf	f,d	(f) → (destino)	00 1000 dfff ffff	Z
movlw	k	k → (W)	11 00xx kkkk kkkk	Ninguno
movwf	f	(W) → (f)	00 0000 1fff ffff	Ninguno
Instrucciones de BIT				
bcf	f,b	Pone a 0 el bit 'b' del reg. 'f'.	01 00bb bfff ffff	Ninguno
bsf	f,b	Pone a 1 el bit 'b' del reg. 'f'.	01 01bb bfff ffff	Ninguno
Instrucciones ARITMÉTICAS				
addlw	k	(W) + k → (W)	11 111x kkkk kkkk	C, DC, Z
addwf	f,d	(W) + (f) → (destino)	00 0111 dfff ffff	C, DC, Z
decf	f,d	(f) - 1 → (destino)	00 0011 dfff ffff	Z
incf	f,d	(f) + 1 → (destino)	00 1010 dfff ffff	Z
sublw	k	k – (W) → W	11 110x kkkk kkkk	C, DC, Z
subwf	f,d	(f) – (W) → (destino)	00 0010 dfff ffff	C, DC, Z
Instrucciones LÓGICAS				
andlw	k	(W) AND k → (W)	11 1001 kkkk kkkk	Z
andwf	f,d	(W) AND (f) → (destino)	00 0101 dfff ffff	Z
comf	f,d	(/f) → (destino)	00 1001 dfff ffff	Z
iorlw	k	(W) OR k → (W)	11 1000 kkkk kkkk	Z
iorwf	f,d	(W) OR (f) → (destino)	00 0100 dfff ffff	Z
rlf	f,d	Rota (f) a izquierda a través del Carry → (destino)	00 1101 dfff ffff	C
rrf	f,d	Rota (f) a derecha a través del Carry → (destino)	00 1100 dfff ffff	C
swapf	f,d	Intercambia los nibbles de f → (destino)	00 1110 dfff ffff	Ninguno
xorlw	k	(W) XOR k → (W)	11 1010 kkkk kkkk	Z
xorwf	f,d	(W) XOR (f) → (destino)	00 0110 dfff ffff	Z
Instrucciones de SALTO				
btfsc	f,b	Salta si el bit 'b' del 'f' es 0	01 10bb bfff ffff	Ninguno
btfss	f,b	Salta si el bit 'b' del 'f' es 1	01 11bb bfff ffff	Ninguno
decfsz	f,d	(f)-1 → destino y salta si es 0	00 1011 dfff ffff	Ninguno
incfsz	f,d	(f)+1 → destino y salta si es 0	00 1111 dfff ffff	Ninguno
goto	k	Salta a la dirección 'k'	10 1kkk kkkk kkkk	Ninguno

Instrucciones de manejo de SUBRUTINAS			
call k	Llamada a subrutina	10 0kkk kkkk kkkk	Ninguno
retfie	Retorno de una interrupción	00 0000 0000 1001	Ninguno
retlw k	Retorno con un literal en W	11 01xx kkkk kkkk	Ninguno
return	Retorno de una subrutina	00 0000 0000 1000	Ninguno
Instrucciones ESPECIALES			
clrwdt	Borra Timer del Watchdog	00 0000 0110 0100	/TO, /PD
nop	No operación	00 0000 0xx0 0000	Ninguno
sleep	Entra en modo bajo consumo	00 0000 0110 0011	/TO, /PD

*Tabla 6-2 **Repertorio de instrucciones del** PIC16F84*

Las instrucciones se recogen en la tabla *6-2* y detallan cn su totalidad en el apéndice B. En este capitulo se estudiarán las instrucciones más sencillas.

6.9 INSTRUCCIONES DE CARGA

Las instrucciones de transferencias de datos son típicas de todos los procesadores y su misión es **transferir** el contenido un registro fuente (f) a un registro destino (d) o bien cargar el destino con una constante. En los microcontroladores PIC todos los datos residen en posiciones de la memoria de datos y en el registro de trabajo W.

En la explicación de estas instrucciones se emplea muchas veces una nomenclatura especial muy simple basada en paréntesis y flechas. **Con los paréntesis se destaca que se trata** del "contenido" de las posiciones de memoria y la flecha la dirección de la transferencia de los datos. Algunos ejemplos:

- (W) → (PORTB): Significa "*el contenido del registro W se transfiere al puerto B*".
- (2Bh) → (W): **Significa** "*el contenido de la posición 2Bh de RAM de datos se transfiere al registro de trabajo W*".
- 2Bh → (W): **Significa** "*el registro de trabajo se carga con el dato 2Bh*". (Notar la ausencia de paréntesis).

Hay cinco instrucciones de carga propiamente dichas:

6.9.1 clrw

(Clear W). El contenido del registro W se borra (se carga con b'00000000') y el flag Z se activa a "1". Esta instrucción también se podría considerar como aritmética.

```
Ejemplo:            clrw                    ; 0 → (W)
Antes instrucción:  (W) = ¿?  y  Z = ¿?
Después instrucción: (W) = 0x00  y  Z = 1.
```

6.9.2 clrf f

(Clear f). El contenido del registro 'f' se borra (se carga con b'00000000') y el flag Z se activa a uno. Esta instrucción también se podría considerar como aritmética.

```
Ejemplo:            clrf  FlagReg           ; 0 → (FlagReg)
Antes instrucción:  (FlagReg) = ¿?  y  Z = ¿?
Después instrucción: (FlagReg) = 0x00  y  Z = 1.
```

6.9.3 movlw k

(Move Literal to W). El registro W se carga con el valor de los 8 bits de la constante 'k'. Ningún flag del registro de estado es afectado.

```
Ejemplo:            movlw  0x5A             ; 5Ah → (W)
Antes instrucción:  (W) = ¿?
Después instrucción: (W) = 0x5A
```

6.9.4 movf f,d

(Move f). El contenido del registro 'f' se carga en el registro destino dependiendo del valor de 'd'. Si 'd' = 0 el destino es el registro W, si 'd' = 1 el destino es el propio registro 'f'. El flag Z del registro STATUS queda afectado: Z se activa a "1" si el resultado de la operación es cero.

```
Ejemplo 1:          movf  PORTA, 0          ; (PORTA) → (W)
Antes instrucción:  (PORTA) = 0x1A,  (W) = ¿?  y  Z = ¿?
Después instrucción: (PORTA) = 0x1A,  (W) = 0x1A  y  Z = 0

Ejemplo 2:          movf  FSR, 1            ; (FSR) → (FSR)
Antes instrucción   (FSR) = 0x00,  y  Z = ¿?
Después instrucción: (FSR) = 0x00,  y  Z = 1 (el resultado de la operación es "0").
```

6.9.5 movwf f

(Move W to f). Carga el contenido del registro W al registro 'f'. Ningún flag del registro de estado es afectado.

```
Ejemplo:            movwf PORTB             ; (W) → (PORTB)
Antes instrucción:  (PORTB) = ¿?  y  (W) = 0x4F.
Después instrucción: (PORTB) = 0x4F  y  (W) = 0x4F
```

6.10 INSTRUCCIONES DE BIT

Estas instrucciones ponen a nivel lógico "0" ó "1" un determinado bit de un registro de la memoria de datos.

6.10.1 bcf f,b

(Bit Clear f). Pone a cero el bit 'b' del registro 'f'.

Ejemplo:	*bcf FlagReg,7*	; 0 → (FlagReg,7)
Antes instrucción:	(FlagReg) = b'11000111'.	
Después instrucción:	(FlagReg) = b'01000111'.	

6.10.2 bsf f,b

(Bit Set f). Pone a uno el bit 'b' del registro 'f'.

Ejemplo:	*bsf FlagReg,7*	; 1 → (FlagReg,7)
Antes instrucción:	(FlagReg) = b'01000111'.	
Después instrucción:	(FlagReg) = b'11000111'.	

6.11 INSTRUCCIÓN "GOTO K"

En casi todos los programas se usa la instrucción de salto incondicional *goto k (Unconditional Branch)* que produce un salto a la dirección del programa indicada por "k". La constante literal "k" es la dirección de destino del salto, es decir, la nueva dirección de memoria de programa a partir de la cual comenzarán a leerse las instrucciones después de ejecutar la instrucción *goto*. Así pues, esta instrucción simplemente carga la constante k en el contador de programa (PC).

Ejemplo:	*goto Bucle*	; Bucle → (PC)
Antes instrucción:	(PC) = ¿?	
Después instrucción:	(PC) = Dirección apuntada por la etiqueta "Bucle".	

A veces se utiliza el carácter de control dólar ($) para señalar que el salto se produce a la misma posición de programa donde se encuentra situado en ese momento. Así por ejemplo, las dos próximas instrucciones son equivalentes:

```
AquiMismo   goto   AquiMismo
            goto   $
```

6.12 CONFIGURAR LAS LÍNEAS DE LOS PUERTOS

Al conectar por primera vez el PIC16F84 el bit RP0 del registro STATUS se carga automáticamente con "0", con lo que se permite el acceso a las posiciones del Banco 0 de la memoria de datos.

Para configurar las líneas de los puertos hay que acceder a los registros TRISA y TRISB que se hallan en el Banco 1 y cargar en ellos los valores adecuados. Por ello previamente hay que acceder al Banco 1 poniendo a "1" el bit RP0 del registro STATUS. Una vez configurados los puertos, habrá que volver a poner a "0" el bit RP0 del registro STATUS para poder leer la información introducida por las líneas que funcionan como entradas o para poder enviar al exterior los bits colocados sobre las líneas de salida, cuyos valores se hallan en las posiciones 5 y 6 del Banco 0, que son las direcciones del Puerto A y Puerto B respectivamente (figura 4-1)

A continuación se muestra un ejemplo, donde el Puerto A se configura como entrada y el Puerto B se configura como salida. Este programa ejemplo se puede aplicar al circuito de la figura 6-3.

```
;************************************ Ensam_03.asm ************************************
;
; Por el Puerto B se saca el dato de las cinco líneas del Puerto A al que están conectado
; un array de interruptores. Por ejemplo, si por el Puerto A se introduce "---11001", por
; el Puerto B aparecerá "xxx11001" (el valor de las tres líneas superiores no importa).

; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC ; Configuración para el
                                                           ; grabador.
        LIST      P=16F84A          ; Procesador utilizado.
        INCLUDE <P16F84A.INC>       ; Definición de algunos operandos utilizados.

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0                   ; El programa comienza en la dirección 0 de memoria de
                                    ; de programa.
Inicio  bsf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 1.
        clrf    TRISB               ; Las líneas del Puerto B se configuran como salidas.
        movlw   b'00011111'
        movwf   TRISA               ; Las 5 líneas del Puerto A se configuran como entradas.
        bcf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 0.
Principal
        movf    PORTA,W             ; Carga el registro de datos del Puerto A en W.
        movwf   PORTB               ; El contenido de W se deposita en el Puerto B.
        goto    Principal           ; Se crea un bucle cerrado e infinito.

        END                         ; Fin del programa.
```

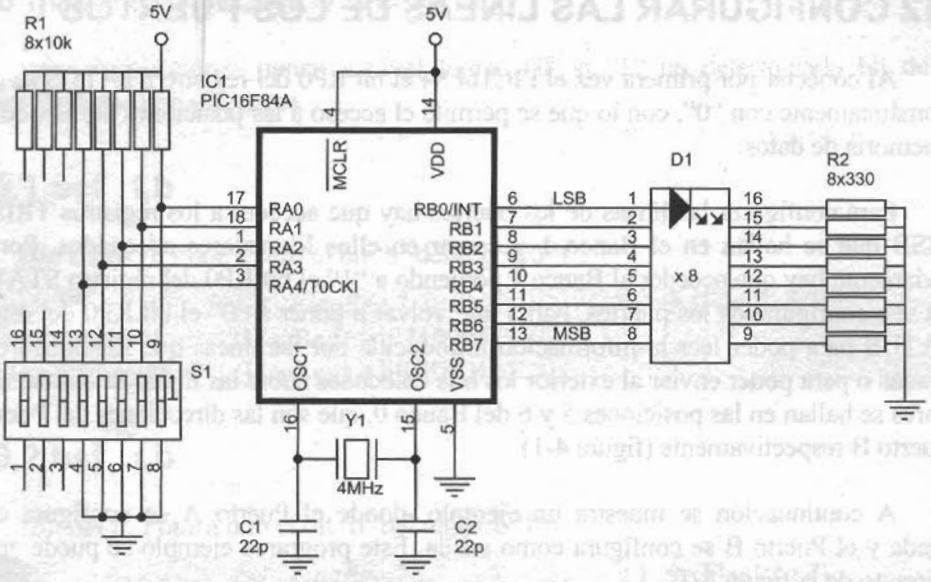


Figura 6-3 Circuito para comprobar el programa Ensam_03.asm

Los registros TRISA y TRISB ocupan las posiciones 5 y 6 del Banco 1. Los puertos PORTA y PORTB ocupan las posiciones 5 y 6 del Banco 0 (figura 4-1), por tanto, el programa anterior se puede modificar como sigue:

```
;********************************** Ensam_03.asm **********************************
;
                (Principio como el anterior)

Inicio  bsf     STATUS,RP0      ; Acceso al Banco 1.
        clrf    PORTB           ; Las líneas del Puerto B se configuran como salidas.
        movlw   b'00011111'
        movwf   PORTA           ; Las 5 líneas del Puerto A se configuran como entradas.
        bcf     STATUS,RP0      ; Acceso al Banco 0.
Principal
        (Continua igual que el anterior)
```

Según la tabla 6-2 el código máquina para la instrucción *clrf f* es 0000011fffffff, es decir, sólo se toman los siete bits bajos de la dirección del registro *f*. Como la dirección del TRISB es 86h (b'10000110') y la del PORTB es 06h (b'00000110') sus siete bits más bajos son idénticos y, por tanto, las instrucciones *clrf TRISB* y *clrf PORTB* tienen exactamente el mismo código máquina que es el 00000110000110 (186h). Lo mismo se puede decir para las instrucciones *movwf TRISA* y *movwf PORTA* que tienen el código máquina 00000010000101 (085h).

En el momento de la definición del puerto como salida, el contenido de sus latches internos pasan al exterior, en caso de que sea importante que este sea cero el programa debe añadir una instrucción *clrf PORTB* al principio:

```
;********************************** Ensam_03.asm **********************************
;
                    ... ...

Inicio    clrf      PORTB          ; Inicializa el puerto para que la línea vaya a nivel bajo
                                   ; cuando ésta se configure como salida.
          bsf       STATUS,RP0     ; Acceso al Banco 1.
          clrf      TRISB          ; Las líneas del Puerto B se configuran como salidas.
          movlw     b'00011111'
          movwf     TRISA          ; Las 5 líneas del Puerto A se configuran como entradas.
          bcf       STATUS,RP0     ; Acceso al Banco 0.
Principal
                    ... ...
```

6.13 DIRECTIVAS

Para poder ensamblar un programa automáticamente el ensamblador necesita información en forma de **directivas**, que son comandos insertados en el programa que controla el proceso de ensamblado. No son parte del repertorio de instrucciones del microprocesador y, por lo tanto, no tienen traducción al código máquina del microcontrolador, por lo que también se les llama pseudoinstrucciones.

MPASM es el programa ensamblador del PIC16F84 más utilizado, tiene más de 50 directivas que se explican en detalle en su menú *help* y en la guía *"MPASM. USER'S GUIDE"* que se puede obtener gratuitamente en la página Web del fabricante www.microchip.com. Las principales directivas se explican en el apéndice D de este libro. Algunas de estas directivas deben ser utilizadas obligatoriamente en todos los programas, pero la mayoría son opcionales y sirven para facilitar el desarrollo y la realización del programa. Las directivas del ensamblador suelen escribirse en la segunda columna y en mayúsculas, aunque no es obligatorio. Las más utilizadas son:

6.13.1 END

(End Program Block). Indica el fin del programa. Es la única directiva obligatoria. Al ensamblar un programa, el programa ensamblador debe saber dónde tiene que detener el proceso, para eso está la directiva *END*, la cual debe estar en la última línea del programa y explícitamente le indica al ensamblador el fin de aquél. Todas las líneas posteriores a la línea en la que se encuentra esta directiva son ignoradas y no se ensamblan. Ejemplo:

```
Inicio    bsf       STATUS,RP0     ; Comienza el programa ejecutable
                    ... ...
          END                      ; Fin del programa
```

6.13.2 EQU

(Define an Assembler Constant). Su sintaxis es:

<label> EQU <expr>

Es una directiva de asignación. El valor de *<expr>* es asignado a la etiqueta *<label>*. Usualmente las asignaciones con *EQU* van al principio del programa (antes de las instrucciones). Siempre que el nombre aparece en el programa es sustituido por el valor numérico de la expresión que se le haya asignado. Ejemplo:

```
ValorCarga   EQU   d'147'          ; Asigna el valor numérico de 147 a la etiqueta "ValorCarga".
```

Generalmente la etiqueta es un nombre que describe el valor de manera más significativa para el programador. Suele utilizarse para definir constantes y direcciones de memoria. Así, es más fácil recordar "ValorCarga" que su valor 147, o en el caso de una dirección de memoria PORTA que 0x05.

6.13.3 ORG

(Set Program Origin). Su sintaxis es:

[<label>] ORG <expr>

Esta directiva indica al programa ensamblador la dirección en memoria de programa a partir de la cual deben ensamblarse las instrucciones del código fuente. Es decir, la dirección de la memoria de programa donde se van a almacenar esas instrucciones es la fijada por la *<expr>* de la directiva. Ejemplo:

```
        ORG     0x04
                ...             ...
; Los códigos máquinas correspondientes a las instrucciones que aparecen en las líneas
; siguientes, deben ser ensamblados en la memoria de programa a partir de la dirección 4.
```

Si las instrucciones de un programa comienzan a escribirse sin indicar *ORG*, el ensamblador toma por defecto *ORG 0x00*.

Cuando las distintas secciones de un programa deben colocarse en diferentes áreas de memoria se usa una directiva ORG antes de cada parte del programa para especificar la dirección inicial u origen de esa porción del programa. Es decir, en un programa pueden aparecer varios ORG dependiendo de las necesidades.

En el ejemplo del fichero Ensam_03.ASM se aprecia la utilización de otras tres directivas:

6.13.4 _ _ CONFIG

En el programa Ensam_03.asm aparece como:

```
_ _CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
```

Esta directiva indica la configuración elegida para el proceso de grabación del microcontrolador. En este caso:

- No hay protección de código (_CP_OFF).
- No se habilita el Watchdog (_WDT_OFF).
- Se habilita el reset mediante Power-Up Timer (_PWRTE_ON).
- Se utiliza el oscilador por cristal de cuarzo. (_XT_OSC).

Es importante resaltar que *"_ _CONFIG"* se inicia con dos subrayados (guión bajo), no con uno. Este error es muy frecuente en los primeros programas.

6.13.5 LIST P=16F84A

Indica el tipo de procesador utilizado.

6.13.6 INCLUDE <P16F84A.INC>

Indica el fichero donde se localizan las etiquetas que nombran a los diferentes registros y el valor que le corresponde a cada uno, es decir, en el fichero P16F84A.INC se muestra como hay que nombrar a todos los registros propios del microcontrolador. Este fichero se localiza en el directorio principal del programa ensamblador y su contenido es el siguiente:

```
        LIST
;       P16F84A.INC  Standard Header File, Version 2.00    Microchip Technology, Inc.
        NOLIST

; This header file defines configurations, registers, and other useful bits of
; information for the PIC16F84 microcontroller.  These names are taken to match
; the data sheets as closely as possible.

; Note that the processor must be selected before this file is
; included.  The processor may be selected the following ways:

;       1. Command line switch:
;       C:\ MPASM MYFILE.ASM /PIC16F84A
;       2. LIST directive in the source file
;       LIST   P=PIC16F84A
;       3. Processor Type entry in the MPASM full-screen interface

;==========================================================================
```

6.13.4 _ _ CONFIG

En el programa Ensam_03.asm aparece como:

```
__CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
```

Esta directiva indica la configuración elegida para el proceso de grabación del microcontrolador. En este caso:

- No hay protección de código (_CP_OFF).
- No se habilita el Watchdog (_WDT_OFF).
- Se habilita el reset mediante Power-Up Timer (_PWRTE_ON).
- Se utiliza el oscilador por cristal de cuarzo. (_XT_OSC).

Es importante resaltar que *"_ _CONFIG"* se inicia con dos subrayados (guión bajo), no con uno. Este error es muy frecuente en los primeros programas.

6.13.5 LIST P=16F84A

Indica el tipo de procesador utilizado.

6.13.6 INCLUDE <P16F84A.INC>

Indica el fichero donde se localizan las etiquetas que nombran a los diferentes registros y el valor que le corresponde a cada uno, es decir, en el fichero P16F84A.INC se muestra como hay que nombrar a todos los registros propios del microcontrolador. Este fichero se localiza en el directorio principal del programa ensamblador y su contenido es el siguiente:

```
        LIST
;       P16F84A.INC  Standard Header File, Version 2.00    Microchip Technology, Inc.
        NOLIST

; This header file defines configurations, registers, and other useful bits of
; information for the PIC16F84 microcontroller.  These names are taken to match
; the data sheets as closely as possible.

; Note that the processor must be selected before this file is
; included.  The processor may be selected the following ways:

;       1. Command line switch:
;       C:\ MPASM MYFILE.ASM /PIC16F84A
;       2. LIST directive in the source file
;       LIST   P=PIC16F84A
;       3. Processor Type entry in the MPASM full-screen interface

;==========================================================================
```

```
;
;       Revision History
;
;=============================================================================

;Rev:  Date:   Reason:

;1.00  2/15/99 Initial Release

;=============================================================================
;
;       Verify Processor
;
;=============================================================================

        IFNDEF __16F84A
        MESSG "Processor-header file mismatch.  Verify selected processor."
        ENDIF

;=============================================================================
;
;       Register Definitions
;
;=============================================================================

W       EQU     H'0000'
F       EQU     H'0001'

;----- Register Files------------------------------------------------------

INDF            EQU     H'0000'
TMR0            EQU     H'0001'
PCL             EQU     H'0002'
STATUS          EQU     H'0003'
FSR             EQU     H'0004'
PORTA           EQU     H'0005'
PORTB           EQU     H'0006'
EEDATA          EQU     H'0008'
EEADR           EQU     H'0009'
PCLATH          EQU     H'000A'
INTCON          EQU     H'000B'

OPTION_REG      EQU     H'0081'
TRISA           EQU     H'0085'
TRISB           EQU     H'0086'
EECON1          EQU     H'0088'
EECON2          EQU     H'0089'

;----- STATUS Bits --------------------------------------------------------

IRP             EQU     H'0007'
RP1             EQU     H'0006'
RP0             EQU     H'0005'
NOT_TO          EQU     H'0004'
```

©RA-MA


```
NOT_PD          EQU     H'0003'
Z               EQU     H'0002'
DC              EQU     H'0001'
C               EQU     H'0000'

;----- INTCON Bits --------------------------------------------

GIE             EQU     H'0007'
EEIE            EQU     H'0006'
T0IE            EQU     H'0005'
INTE            EQU     H'0004'
RBIE            EQU     H'0003'
T0IF            EQU     H'0002'
INTF            EQU     H'0001'
RBIF            EQU     H'0000'

;----- OPTION_REG Bits ----------------------------------------

NOT_RBPU        EQU     H'0007'
INTEDG          EQU     H'0006'
T0CS            EQU     H'0005'
T0SE            EQU     H'0004'
PSA             EQU     H'0003'
PS2             EQU     H'0002'
PS1             EQU     H'0001'
PS0             EQU     H'0000'

;----- EECON1 Bits --------------------------------------------

EEIF            EQU     H'0004'
WRERR           EQU     H'0003'
WREN            EQU     H'0002'
WR              EQU     H'0001'
RD              EQU     H'0000'

;=========================================================================
;
;       RAM Definition
;
;=========================================================================

        __MAXRAM        H'CF'
        __BADRAM        H'07', H'50'-H'7F', H'87'

;=========================================================================
;
;       Configuration Bits
;
;=========================================================================

_CP_ON          EQU     H'000F'
_CP_OFF         EQU     H'3FFF'
_PWRTE_ON       EQU     H'3FF7'
_PWRTE_OFF      EQU     H'3FFF'
```

```
_WDT_ON         EQU     H'3FFF'
_WDT_OFF        EQU     H'3FFB'
_LP_OSC         EQU     H'3FFC'
_XT_OSC         EQU     H'3FFD'
_HS_OSC         EQU     H'3FFE'
_RC_OSC         EQU     H'3FFF'

        LIST
```

Es interesante hacer notar los valores que toman los caracteres "W" y "F", que son "0" y "1" respectivamente. Esto permite una mayor facilidad para indicar el destino del resultado de las instrucciones. Así por ejemplo:

- La instrucción *movf Registro,0* es igual que *movf Registro,W.*
- La instrucción *movf Registro,1* es igual que *movf Registro,F.*

© RA-MA

CAPÍTULO 7

MPLAB

7.1 ENTORNO MPLAB

El **MPLAB IDE** es un software de "Entorno de Desarrollo Integrado" *(Integrated Development Environment, IDE)* que se ejecuta bajo Windows. Con este entorno se puede desarrollar aplicaciones para los microcontroladores PIC.

El MPLAB incluye todas las utilidades necesarias para la realización de proyectos con microcontroladores PIC, permite editar el archivo fuente del proyecto, además de ensamblarlo y simularlo en pantalla para comprobar como evolucionan tanto la memoria de datos RAM, como la de programa ROM, los registros del SFR, etc, según progresa la ejecución del programa.

El MPLAB incluye:

- Un editor de texto.
- Un ensamblador llamado **MPASM**.
- Un simulador llamado **MPLAB SIM**.
- Un organizador de proyectos.

Este programa es gratuito. Se puede bajar en la dirección Internet del fabricante www.microchip.com. También se ha incluido en el CD-ROM que acompaña a este libro. Su instalación es muy sencilla y similar a cualquier otro programa para el sistema operativo Windows.

7.2 PRIMEROS PASOS CON MPLAB IDE

Una vez que el programa está correctamente instalado, los primeros pasos a seguir para trabajar con el *MPLAB IDE v. 6.xx* son los siguientes. Sugerimos al lector que los vaya probando en su ordenador según se va explicando:

1º Con el Explorador de Windows acceder a la carpeta "Mis Documentos" y dentro de ella crear una nueva que se llamará "PIC16F84A" (u otro nombre que considere el lector), donde se irán guardando todos los programas que se vayan diseñando. La trayectoria absoluta o *path* del fichero no puede superar la longitud máxima de 62 caracteres, esto es importante tenerlo en cuenta si se trabaja en Windows 2000 o XP donde los *path* absolutos suelen ser bastante largos. Así pues, el subdirectorio donde se guardarán los ejercicios será del tipo "C:/Mis documentos/PIC16F84A" o similar.

2º 

Iniciar el programa actuando sobre el icono correspondiente a MPLAB situado en el escritorio. Se entrará en una pantalla similar a la figura 7-1.

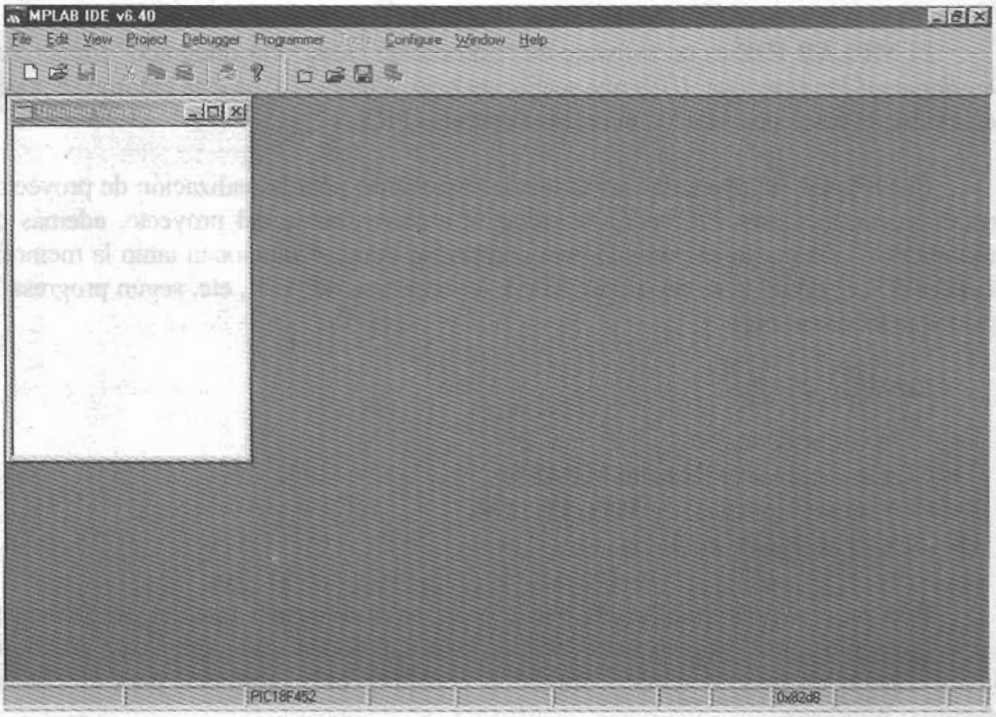


Figura 7-1 Pantalla de inicio del MPLAB IDE

A continuación se entra en la pantalla de edición, que al maximizar la hoja de trabajo queda como la figura 7-2.

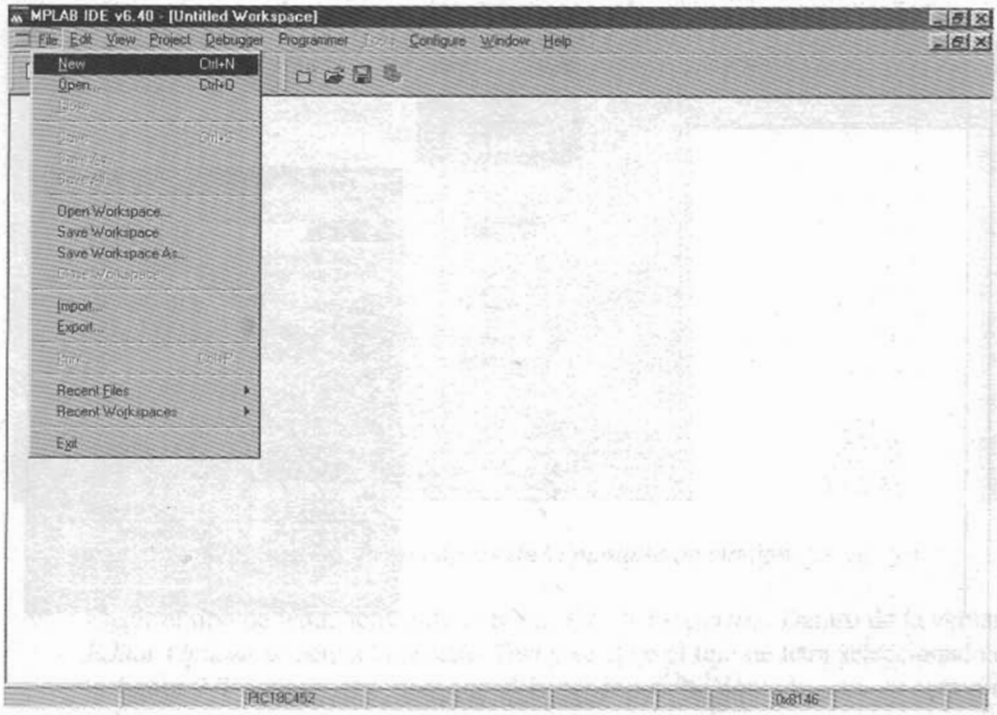


Figura 7-2 Pantalla de edición de programa en el MPLAB IDE

3º Elegir el tipo de microcontrolador. Para ello acceder al menú *Configure > Select Device* y seleccionar *PIC16F84A,* tal como se muestra en la figura 7-3.

4º A continuación es conveniente seleccionar el simulador, para ello activar el menú *Debugger > Select Tool > MPLAB SIM* (figura 7-4).

5º La frecuencia de trabajo del MPLAB SIM debe coincidir con la del circuito a simular. Para seleccionarlo acceder a *Debugger > Settings > Clock* y después comprobar que está a 4 MHz (figura 7-5).

6º Crear un nuevo archivo fuente, para ello ir al menú *File > New* (ver figura 7-2). Se entrará en la pantalla de edición en blanco donde se puede escribir el primer programa.

7º A continuación se da nombre al fichero fuente accediendo al menú *File > Save As....* Aparece un cuadro de diálogo que solicita el nombre del archivo. Se puede nombrar por ejemplo "Ensam_03.asm" y se guarda en la carpeta "C:/Mis

documentos/PIC16F84A" creada anteriormente o en aquella otra que el lector haya determinado.

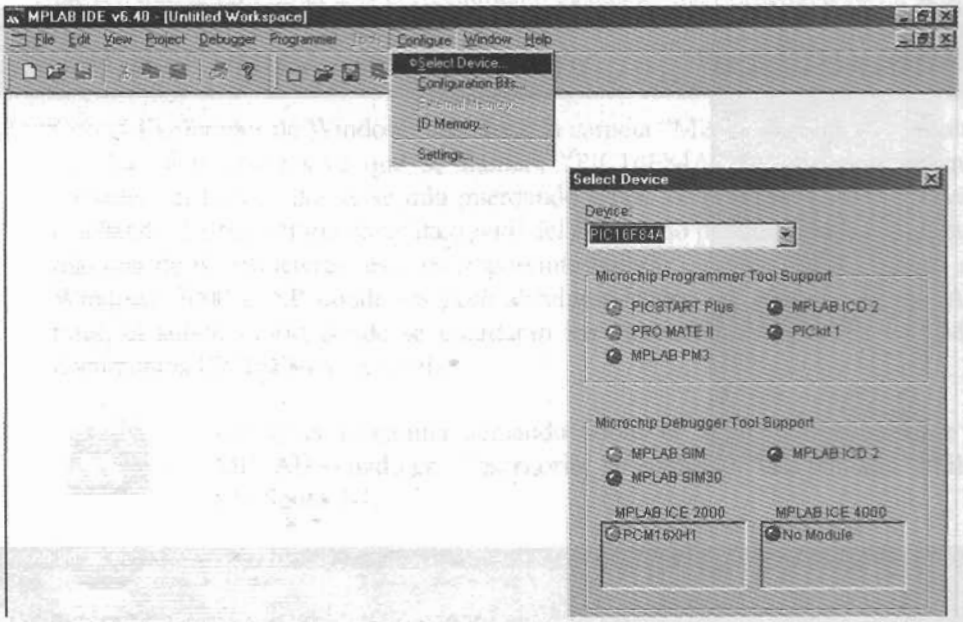


Figura 7-3 Selección del microcontrolador

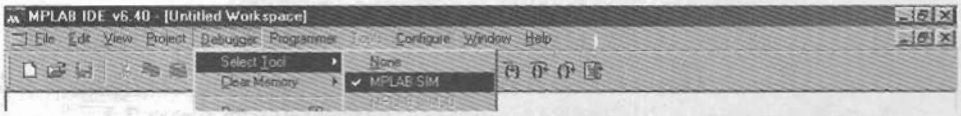


Figura 7-4 Selección del simulador

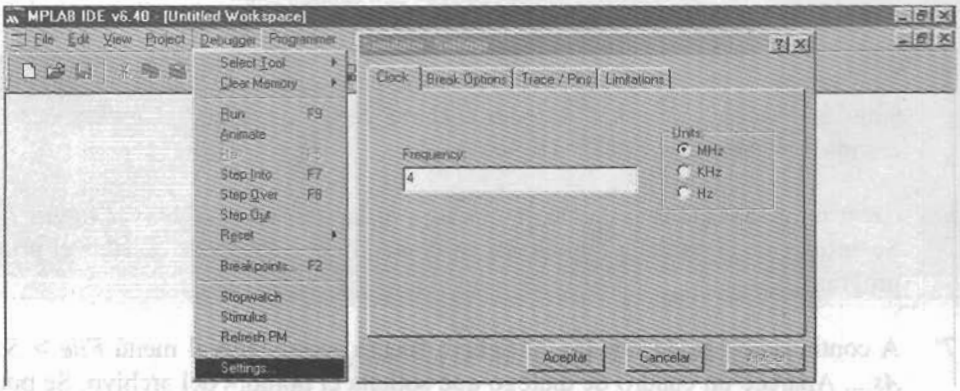


Figura 7-5 Selección de la frecuencia de simulación para el MPLAB SIM

8º Para trabajar con más comodidad es conveniente visualizar el número de cada línea. Para ello seleccionar el menú *Edit* > *Properties.* Dentro de la ventana *Editor Options* y pestaña *Editor* se activan las opciones que se indica figura 7-6

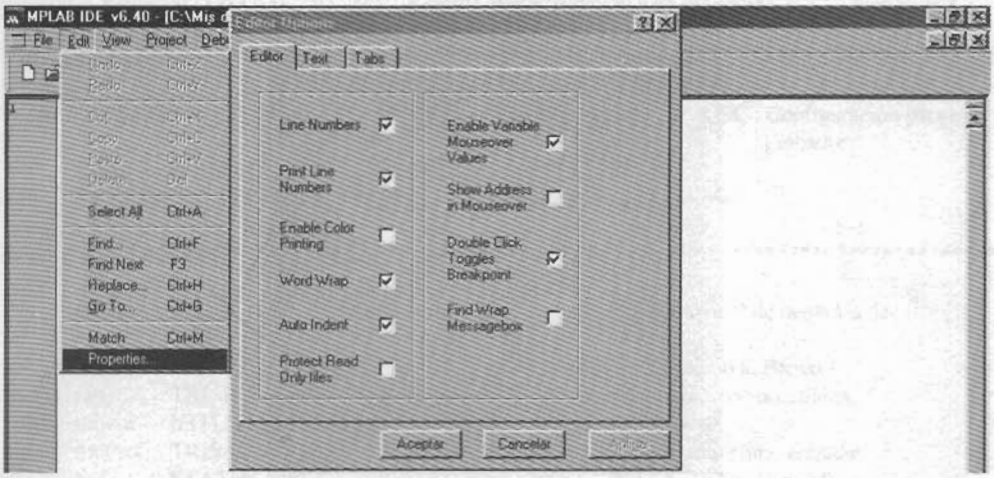


Figura 7-6 Propiedades de la pantalla de edición

9º Elegir el tipo de letra, activando el menú *Edit* > *Properties.* Dentro de la ventana *Editor Options* se activa la pestaña *Text* y se elige el tipo de letra seleccionado en la figura 7-7 o aquél otro tipo que al lector le resulte cómodo para su forma de trabajar.

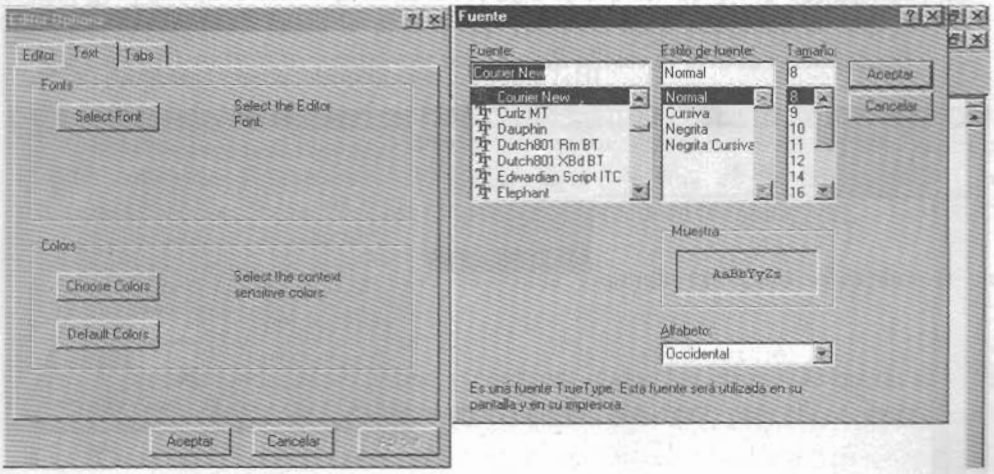


Figura 7-7 Elección del tipo de letra

10º A continuación hay que seleccionar la tabulación deseada, activando el menú *Edit > Properties.* Dentro de la ventana *Editor Options* se activa la pestaña *Tabs* y se elige el valor indicado en la figura 7-8 o aquél otro que el lector considere.

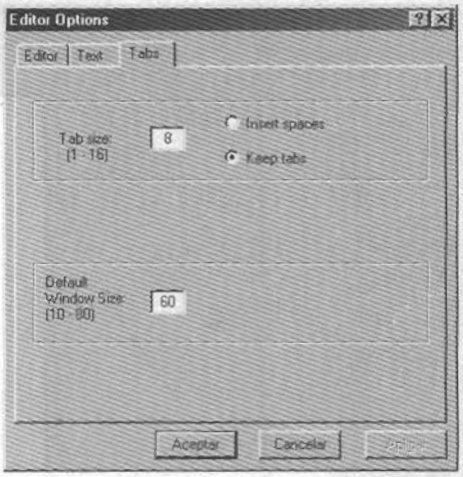


Figura 7-8 Elección de la tabulación

11º Es conveniente dejar los colores de los caracteres configurados por defecto. Para ello, activar el menú *Edit > Properties.* Dentro de la ventana *Editor Options* se activa la pestaña *Text* y el botón *Default Colors* (figura 7-7)

12º Es cómodo que cada vez que se abra el MPLAB aparezca el último programa con el que ha trabajado. Para ello, hay que activar el menú *Configure > Settings > Workspace* y activar la casilla *Reload last workspace at startup* (figura 7-9).

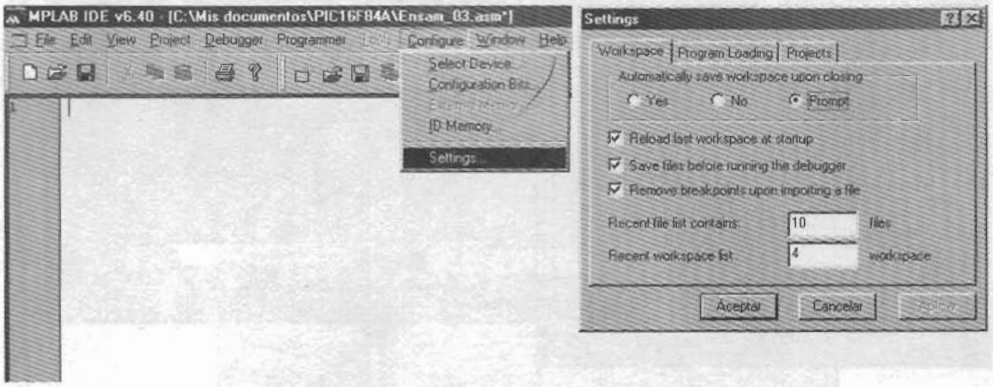


Figura 7-9 Configurar la recarga del último trabajo realizado al abrir el MPLAB

13º En la pantalla de edición se puede escribir el siguiente programa ejemplo:

```
;************************************ Ensam_03.asm ************************************
;
; Por el Puerto B se obtiene el dato de las cinco líneas del Puerto A al que está conectado
; un array de interruptores. Por ejemplo, si por el Puerto A se introduce "---11001", por
; el Puerto B aparecerá "xxx11001" (el valor de las tres líneas superiores no importa).

; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC ; Configuración para el
                                                           ; grabador.
        LIST    P=16F84A        ; Procesador.
        INCLUDE <P16F84A.INC>   ; Definición de los operandos utilizados.

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0               ; El programa comienza en la dirección 0 de memoria de
                                ; programa.
Inicio  bsf     STATUS,RP0      ; Pone a 1 el bit 5 del STATUS. Acceso al Banco 1.
        clrf    TRISB           ; Las líneas del Puerto B se configuran como salidas.
        movlw   b'11111111'
        movwf   TRISA           ; Las líneas del Puerto A se configuran como entradas.
        bcf     STATUS,RP0      ; Pone a 0 el bit 5 de STATUS. Acceso al Banco 0.
Principal
        movf    PORTA,W         ; Lee el Puerto A.
        movwf   PORTB           ; El contenido de W se visualiza por el Puerto B.
        goto    Principal       ; Crea un bucle cerrado.

        END                     ; Fin del programa.
```

Es importante recordar que *"__CONFIG"* se inicia con dos subrayados (guiones bajos), no con uno, (este error es muy frecuente en los primeros programas).

14º El programa queda como ilustra la figura 7-10.

15º Mientras el programa es editado sin salvar el nombre del mismo aparece terminado en "*" (asterisco). Una vez que el programa es grabado en disco duro este asterisco desaparece. Esta diferencia se aprecia en la figura 7-11.

16º A continuación el programa se ensambla y simula tal como se explica en los próximos apartados.

17º Una vez simulado el programa y corregido todos los errores se puede salir del MPLAB por el método habitual en Windows, activando para ello el menú *File* > *Exit*.

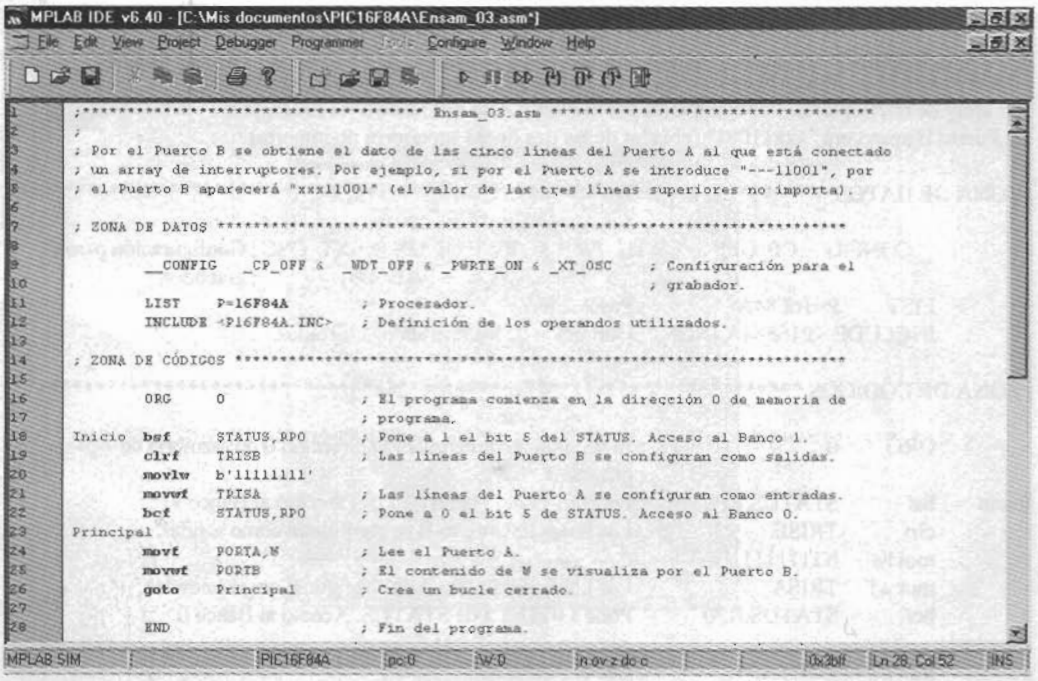


Figura 7-10 Programa ejemplo completamente editado



PROGRAMA QUE TODAVÍA NO HA SIDO SALVADO (SE AÑADE ASTERISCO AL FINAL DEL NOMBRE)



PROGRAMA QUE YA HA SIDO GRABADO EN DISCO (NO TIENE ASTERISCO AL FINAL DEL NOMBRE)

Figura 7-11 Identificación de un programa que todavía no ha sido salvado a disco

7.3 ENSAMBLADO DEL PROGRAMA

Una vez terminado de editar el programa hay que proceder a ensamblar el archivo fuente Ensam_03.asm. Para ello, hay que seleccionar el menú *Project > Quickbuild Ensam_03.asm*, o mejor abreviar con la combinación de teclas Alt+F10 (figura 7-12). En esta etapa se realiza en forma automática el ensamblado del archivo fuente y el traspaso de éste a la memoria de simulación.

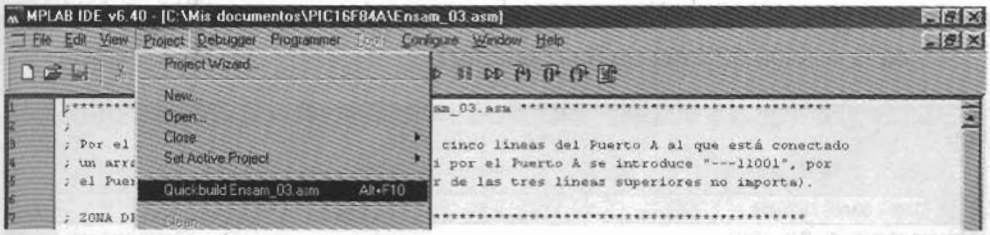


Figura 7-12 Ensamblar archivo fuente

Momentáneamente aparecerá una ventana indicando el proceso de ensamblado (figura 7-13).

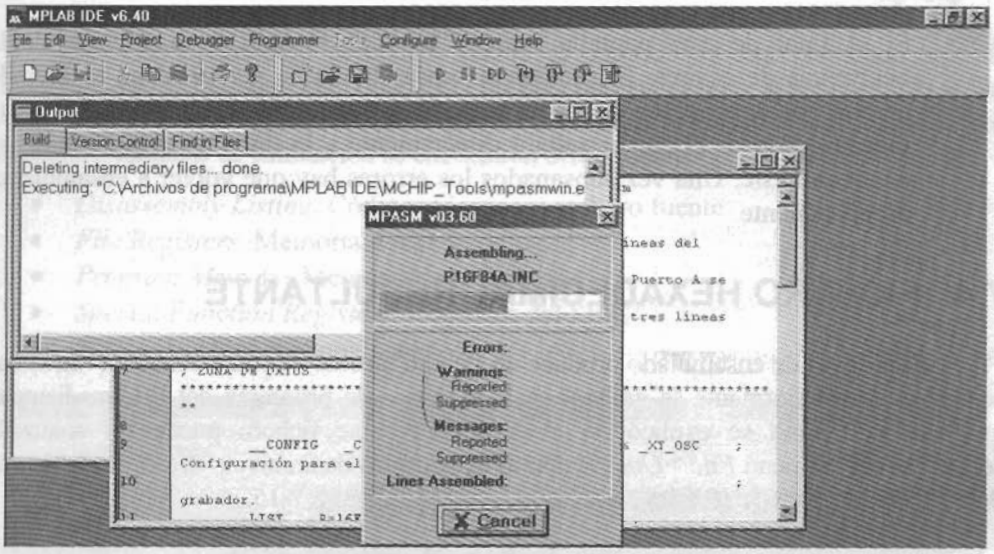


Figura 7-13 Proceso de ensamblado

Al finalizar el ensamblado, aparecerá una pantalla *MPLAB – [Output]* tal como muestra la figura 7-14, en la que indica la ocurrencia de uno de estos dos casos:

- Si al final de esta pantalla indica "*BUILD SUCCEDED*" se confirma que el ensamblado se ha producido con éxito. Por tanto, ya se está en condiciones de pasar a la simulación. En esta pantalla pueden aparecer algunos mensajes de aviso "*Message*", que llaman la atención sobre situaciones a tener en cuenta y que podrían ocasionar un error en el programa pero que no impiden el correcto ensamblado. Por ejemplo, en la figura 7-14, los mensajes llaman la atención sobre las líneas 19 y 21 que utilizan los registros TRISA y TRISB que no trabajan en el Banco 0 y hay que asegurarse que se ha programado correctamente, (para evitar este mensaje en particular se puede utilizar

"PORTA" y *"PORT B"* en lugar de *"TRISA"* y *"TRISB"* tal como se explicó en la sección 6.12 del capítulo anterior).

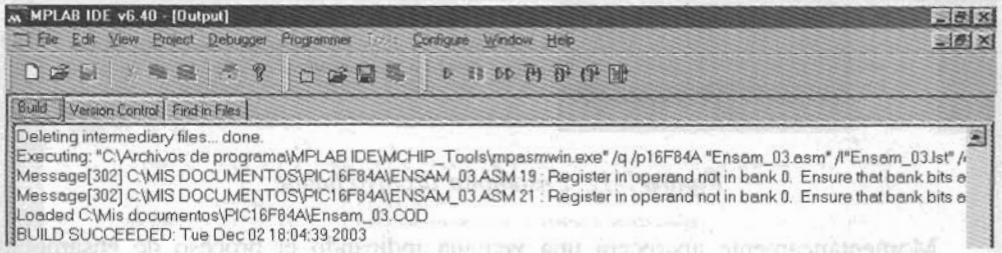


Figura 7-14 Pantalla final de proceso de ensamblado con éxito

- Si al final de esta pantalla indica *"BUILD FAILED"* se advierte de la ocurrencia de errores. El proceso de ensamblado ha generado un archivo de errores con descripción de los mismos. Si se hace doble clic sobre la línea que muestra el error el cursor saltará directamente a la línea de código donde se encuentra éste. Una vez subsanados los errores hay que volver a ensamblar el archivo fuente.

7.4 FICHERO HEXADECIMAL RESULTANTE

El proceso de ensamblado produce un fichero ejecutable con extensión (*.hex) que será el que posteriormente se grabará en la memoria de programa del PIC mediante el grabador, tal como se explicó en el capítulo 3. Ese fichero puede ser analizado seleccionando el menú *File >Open* y dentro de los tipos de archivos *All Files [*.*]* se ha de elegir el *Ensam_03.HEX*, tal como se muestra en la figura 7-15.



*Figura 7-15 Abrir el archivo resultado del ensamblado en código maquina *.HEX*

Se observa que este archivo Ensam_03.hex únicamente contiene números hexadecimales, que es la forma de representar los ceros y unos binarios de la información

que se grabará posteriormente en la memoria de programa del microcontrolador, tal como ilustra la figura 7-16.

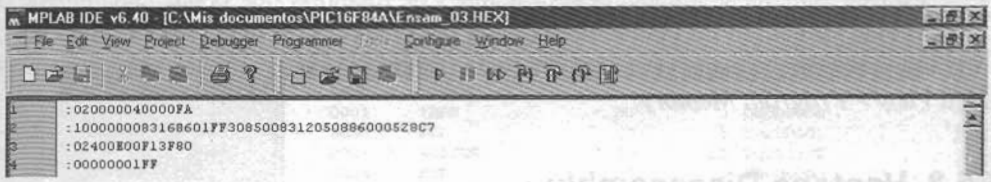


*Figura 7-16 Contenido del archivo resultado del ensamblado en código maquina *.Hex*

7.5 VENTANAS DE VISUALIZACIÓN

Una vez ensamblado el código fuente el entorno ya está preparado para la simulación del programa. Para que este trabajo sea más eficaz conviene activar las ventanas que indican el estado de todas las memorias y registros del sistema. Las principales ventanas de simulación se encuentran dentro del menú *View* y son:

- *Disassembly Listing*. Código máquina y archivo fuente.
- *File Registers*. Memoria RAM de datos.
- *Program Memory*. Memoria de programa.
- *Special Function Registers*. Registros del SFR.
- *Watch*. Ventana personalizada.

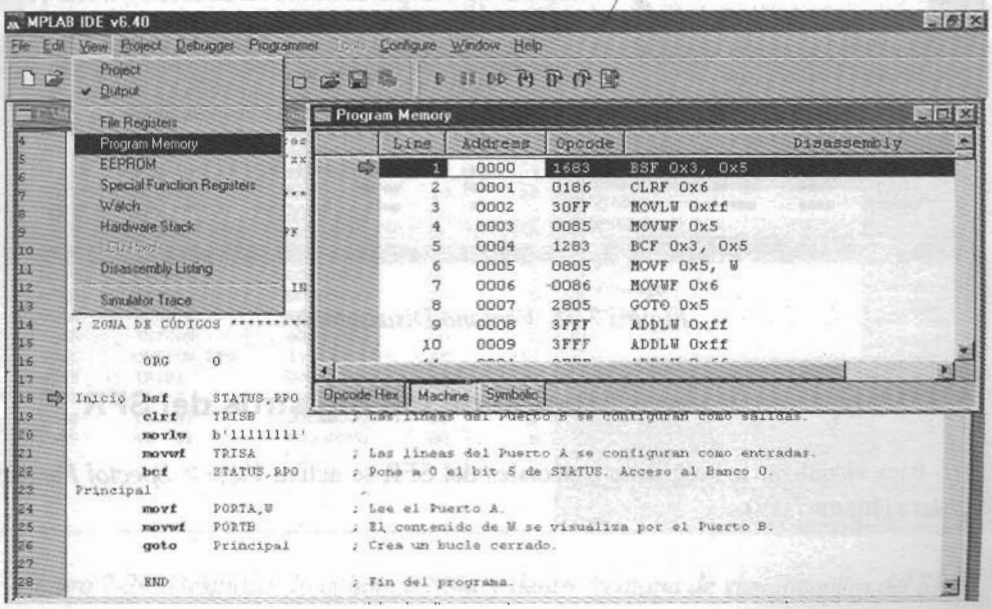


Figura 7-17 Ventana de visualización de la memoria de programa

7.5.1 Ventana de visualización de la memoria de programa

En esta ventana se aprecian las posiciones de memoria que ocupa cada una de las instrucciones, el código de operación de cada instrucción y la dirección de memoria de programa que se le ha asignado a cada etiqueta (figura 7-17). Se entra en ella activando el menú *View > Program Memory*.

7.5.2 Ventana Disassembly

Esta ventana es similar a la anterior, en la que además se ha incuido el archivo fuente (figura 7-18). Se entra en ella activando el menú *View > Disassembly Listing*.

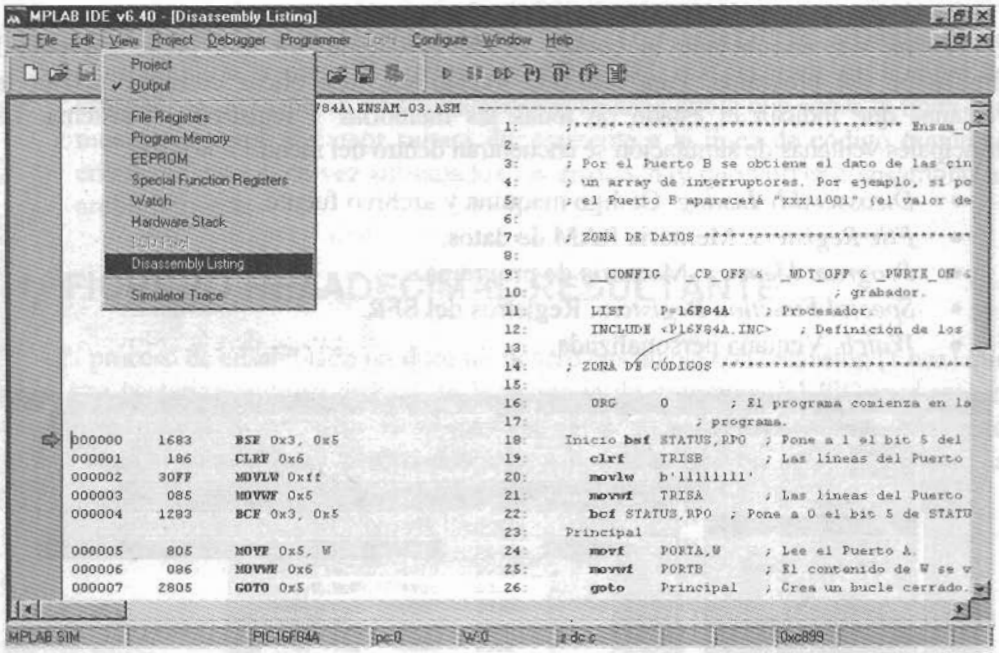


Figura 7-18 Ventana Disassembly

7.5.3 Ventana de visualización de los registros del SFR

Para visualizar los registros especiales del SFR se activa *View > Special Function Registers* (figura 7-19).

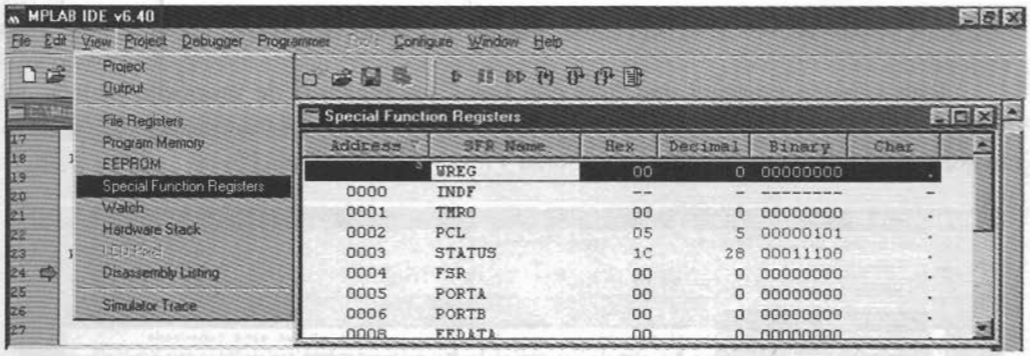


Figura 7-19 Ventana de visualización de los registros especiales

Para modificar manualmente uno de estos registros hay que hacer doble clic en la fila del registro correspondiente sobre alguna de las columnas *Hex, Decima, Binary,* o *Char* y modificarlo. Esto no es válido para los puertos que actúen como entrada, en cuyo caso hay que utilizar, dentro del menú, *Debugger*, la opción *Stimulus* tal como se explicará más adelante.

En esta ventana suele ser interesante situar la columna *Binary* a continuación de la columna *SFR Name.* Para ello, pulsar el botón derecho del ratón y elegir la opción *Properties*, saldrá una ventana como la que se muestra en la 7-20. Señalando la casilla *Binary* y pulsando sobre el botón *Move Up*, la columna *Binary* se desplazará hasta situarse en la posición deseada tal como se explica en la figura.

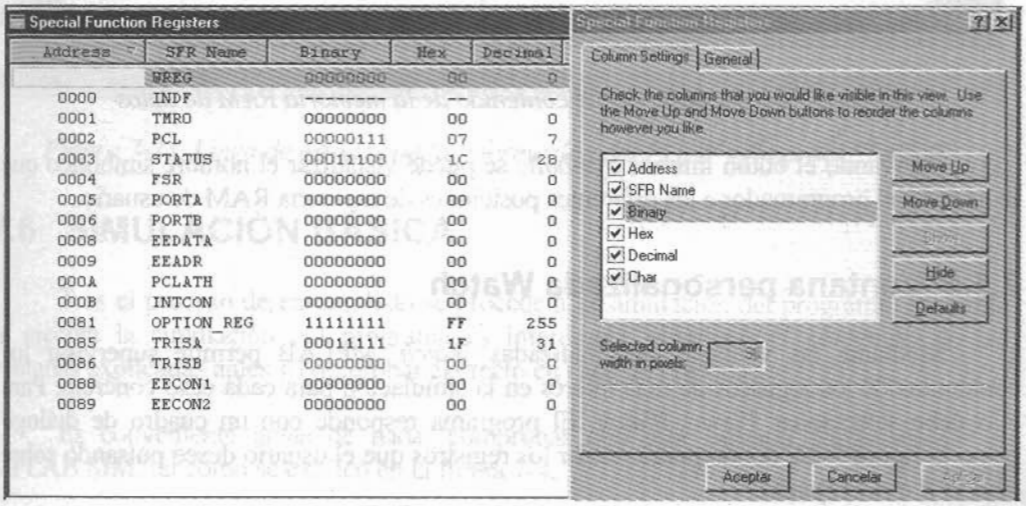


Figura 7-20 Desplazar la columna Binary dentro ventana de visualización del SFR

7.5.4 Ventana de contenido de la memoria RAM

Esta ventana presenta una lista con todos los registros de propósito general del microcontrolador simulado (figura 7-21). Para visualizar la ventana de contenido de la memoria RAM de datos hay que seleccionar *View > File Registers.*

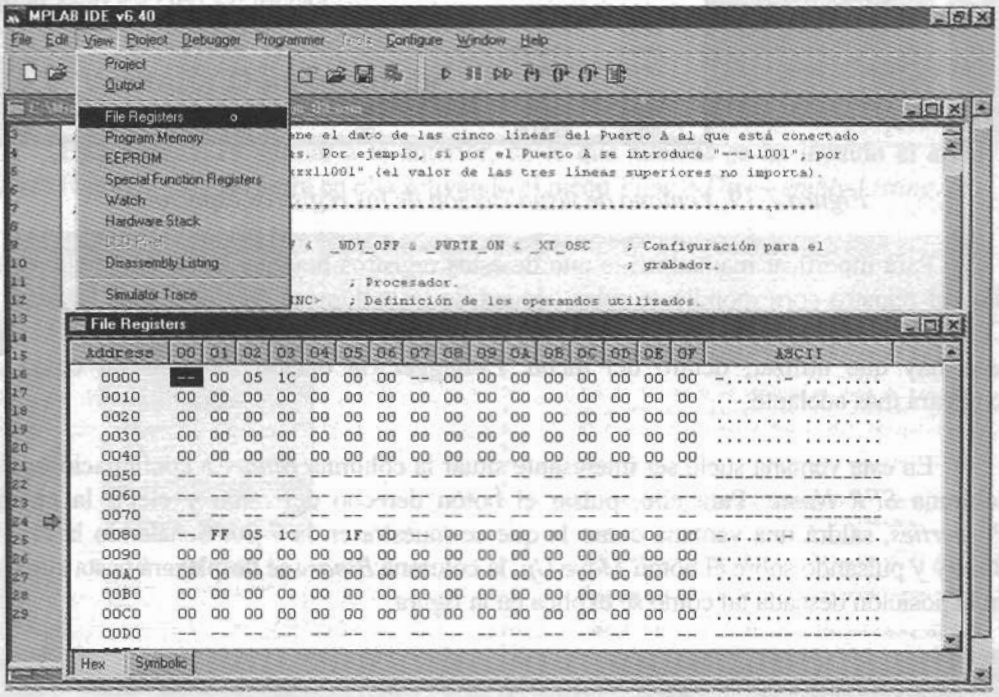


Figura 7-21 Ventana con el contenido de la memoria RAM de datos

Activando el botón inferior *Symbolic* se puede visualizar el nombre simbólico que le ha dado el programador a las diferentes posiciones de memoria RAM de usuario.

7.5.5 Ventana personalizada Watch

Mediante las ventanas personalizadas *Watch,* MPLAB permite supervisar los contenidos de los registros de más interés en la simulación para cada caso concreto. Para ello debe seleccionar *View >Watch.* El programa responde con un cuadro de diálogo como la figura 7-22, donde podrá añadir los registros que el usuario desee pulsando sobre *Add SFR* o *Add Symbol.*

La configuración de esta ventana se puede salvar para utilizarla en posteriores ocasiones. Para ello, estando situado sobre esta ventana pulsar el botón derecho del ratón

y seleccionar *Output to File* y salvar el fichero de la forma ya conocida en el entorno Windows.

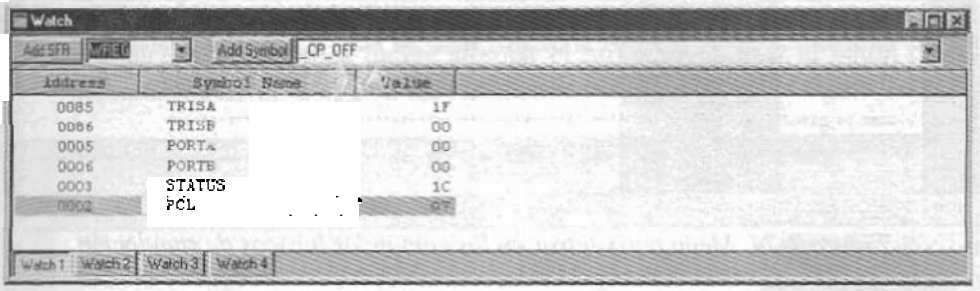


Figura 7-22 Ventana personalizada Watch

7.5.6 Línea de estado

Aunque no *es* una ventana de visualización propiamente dicha, la línea *de* estado proporciona información muy iitil sobre la situación actual del microcontrolador. Se ubica m la pane inferior de la pantalla y ofrece información en todo momento del estado *de* la simulación.

Es especialmente útil la información sobre el contenido del contador de programa, del registro de trabajo W. También indica el valor de las flags de STATUS. Si la letra está en mayúsculas indica que ese flag vale "1" y, si es minúsculas vale "0". Así en el ejemplo de la figura 7-13, Z=0, DC=1 y C=1.



Figura 7-23 Línea de estado con la información del PC, W y flags del STATUS

7.6 SIMULACIÓN BÁSICA

Tras el proceso dc ensamblado se procede a la simulación del programa. Mientras se ejecuta la simulación del programa es interesante visualizar el contenido *de* las ventanas explicadas antes y comprobar el efecto en cada una de ellas.

Es conveniente antes dc nada, comprobar que está cargado correctamente el MPLAB SIM, tal como se explicó en la figura 7-4.

Los cinco comandos más importantes para la simulación *se* localizan dentro del menú *Debbuger* y se muestran en la figura 7-24.

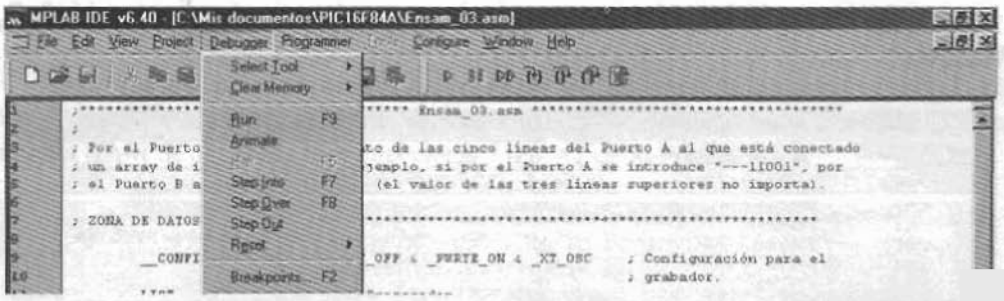


Figura 7-24 Menú para entrar en los comandos básicos de simulación

- *Run.* **Modo de ejecución continua. Ejecuta el programa constantemente. Las ventanas** abiertas **en el paso anterior no se actualizan hasta que no se produce una** parada. **Es** la **forma más rápida de simular el programa, pero no se** "ve" ni como **evoluciona la memoria ni los distintos registros. En este modo se** entra **seleccionando** *Debugger* > *Run o* **pulsando** la **tecla** F9, también **al pulsar** sobre **el icono correspondiente de la barra de herramientas** (flecha azul).

- *Animate* (o teclas ctrl+F9). **Modo de ejecución animada. Ejecuta el** programa de **forma continua pero actualizando todas las ventanas** cada vez que **se ejecuta una instrucción. Es** más lento **que el** modo "Run" **pero permite ver** como **van cambiando** los **registros.** Tal **vez sea el modo de** ejecución **más útil y recomendable. Se** entra **en este** modo **seleccionando** *Debugger* > *Animate,* o **también** al **pulsar sobre el icono correspondiente de la** barra **de** herramientas (doble **flecha** azul).

- *Halt.* **Paro.** Para **la** ejecución **del programa y actualiza todas las ventanas. Se consigue seleccionando** *Debugger* > *Run* **o** pulsando la tecla **E5.** También se entra **en cstc modo al activar el icono** correspondiente **de la** barra de herramientas **(dos barras verticales** azules).

- *Step Into.* **Ejecución paso a paso.** Ejecuta **una sola** instrucción **del** programa **cada vez** actualizando **los** valores **dc las ventanas. Es** la **forma** más **lenta de simulación pero se** comprueba **fácilmente como van evolucionando** todos **los registros y** memorias, **siendo muy** fácil detectar los **posibles errores. En este** modo **se entra seleccionando** *Debugger* > *Step Into* **o** pulsando la **tecla F7.** También **pulsando sobre el** icono **correspondiente de** la **barra de herramientas.**

- *Reset.* Equivale **a un reset por activación del pin MCLR. En este modo se entra** seleccionando *Debugger* > *Reset o* pulsando **la tecla** F6. También **si se** pulsa **sobre el** icono correspondiente **de la** barra de **herramientas.**

Otro modo de simulación muy interesante es:

- *Run to Cursor.* **Ejecución hasta la posición actual** del cursor. Para entrar en este modo de simulación, el cursor debe situarse en la línea donde está la instrucción hasta donde quiere simular el programa, pulsar el botón derecho del ratón y activar la opción *Run to Cursor* tal como indica la figura 7-25.

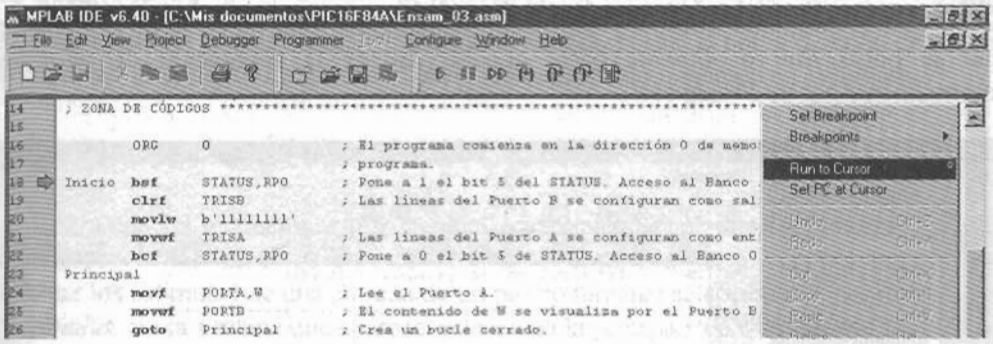


Figura 7-25 Modo de simulación "Run to Cursor"

7.7 SIMULACIÓN MEDIANTE BREAKPOINTS Y TRAZA

Un **punto de ruptura** o *BreakPoint* es un punto o instrucción donde la ejecución del programa se detiene, por ello también se le suele llamar **punto de paro,** permitiendo el análisis del estado del microcontrolador. Para continuar la ejecución del programa hay que volver a pulsar sobre *Run* o *Animate.*

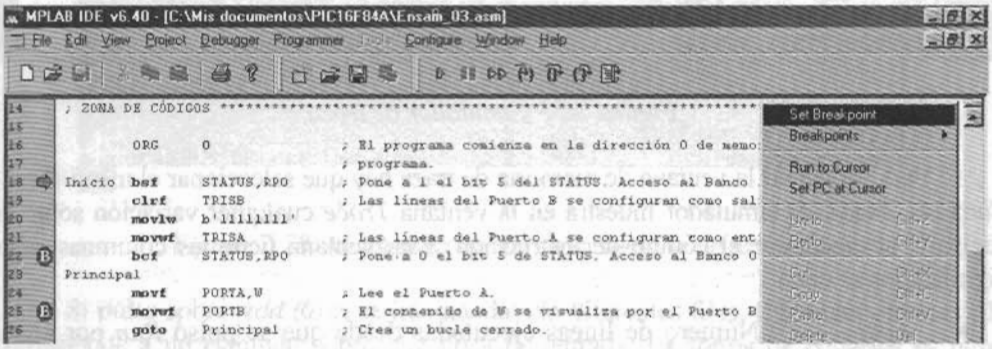


Figura 7-26 Situar un Breakpoint

Para situar un *Breakpoint* sobre una línea señalada por el cursor se pulsa el botón derecho del ratón, de manera que aparece el menú desplegable, como en la figura 7-26. Selecciona *Set Breakpoint* y aparecerá sobre el programa una "B" en rojo en la posición donde ha situado el punto de paro. Otra forma de situar o eliminar un *Breakpoint* es

realizando una doble pulsación con el ratón sobre el número de línea donde se quiere situar el punto de parada.

La ventana de **memoria de traza** es una herramienta que ayuda a simular los programas (figura 7-27). El *Simulate Trace* toma "una instantánea" de la ejecución del programa. En el simulador el buffer de traza o memoria de traza es útil para visualizar un registro a lo largo de la ejecución del programa, de manera que se puede registrar por dónde pasa el programa y después analizarlo. El simulador toma datos desde la última vez que se pulsó *Run* o *Animate* hasta que se detiene la simulación del programa (normalmente por un *Breakpoint*).

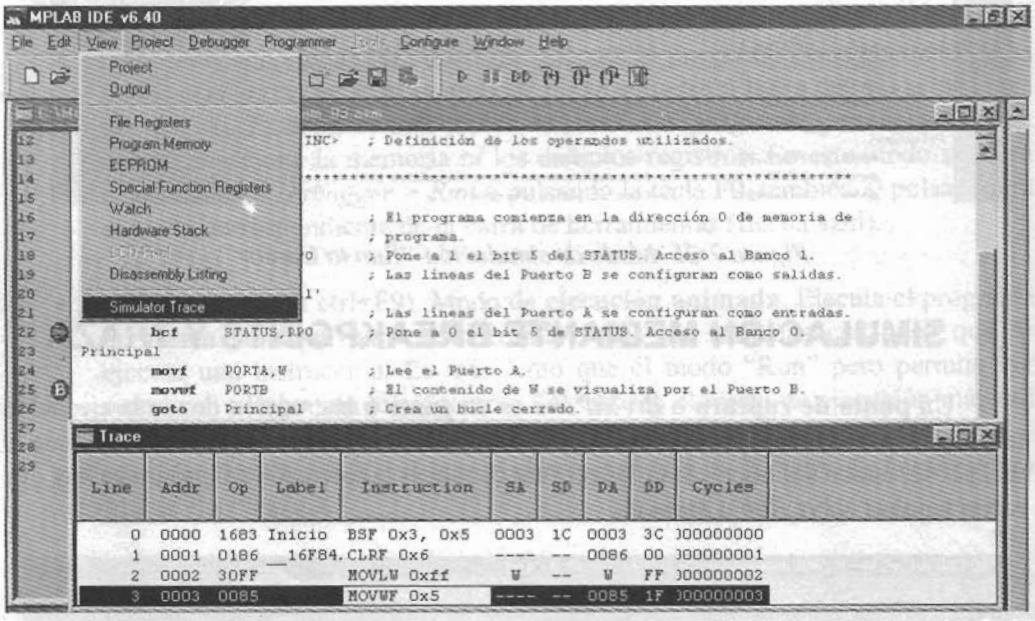


Figura 7-27 Simulador de traza

Para visualizar la ventana de memoria de traza hay que seleccionar el menú *View* > *Simulate Trace*. El simulador muestra en la ventana *Trace* cualquier variación sobre los registros al ejecutarse el código de instrucción. Esta ventana tiene las columnas cuyos significados se citan:

- *Line* Número de líneas ejecutadas desde que se pulsó *Run* por última vez.
- *Addr* Dirección de la memoria de programa donde se encuentra la instrucción.
- *Op* Código de operación numérico de la instrucción.
- *Label* Etiqueta de la instrucción si la tuviese.
- *Instruction* Instrucción ejecutada.

- *SA* Dirección numérica del registro fuente.
- *SD* Dato del registro fuente.
- *DA* Dirección numérica del registro destino.
- *DD* Dato del registro destino.
- *Cycles* Ciclos máquina transcurridos.

El contenido de la memoria de traza se puede salvar a un fichero para un posterior análisis. Para ello, estando situado sobre esta ventana pulsar el botón derecho del ratón y seleccionar *Output to File* salvando por el procedimiento conocido en Windows.

7.8 SIMULACIÓN DE ENTRADAS

Una de las operaciones más habituales de cualquier simulación consiste en variar los valores de las líneas de entrada. A ésto se denomina "estimular" la entrada. Para cambiar los estímulos de una entrada de un puerto hay que seleccionar el menú *Debugger > Stimulus.* En la ventana que aparece, selecciona la pestaña *Pin Stimulus* (figura 7-28).

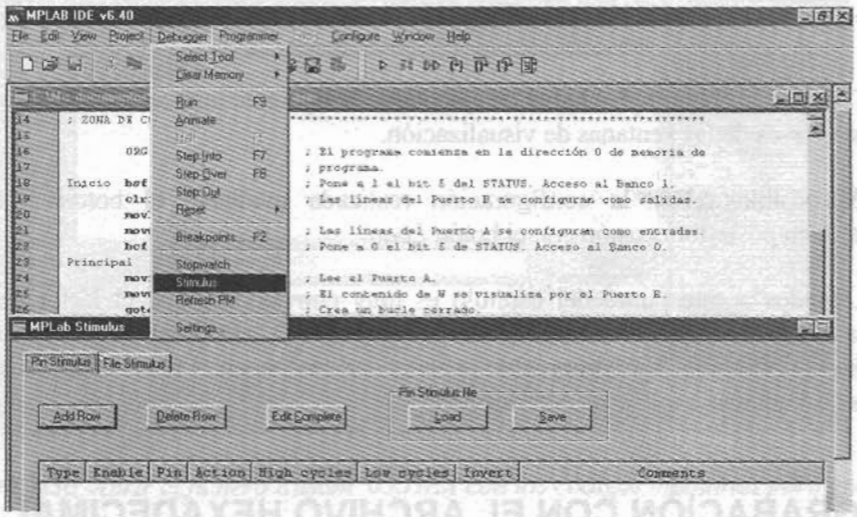


Figura 7-28 Menú para entrar en la ventana de estímulos

Si pulsa sobre *Add Row*, se irán añadiendo diferentes filas. Cada una de estas filas corresponde a un estímulo sobre una línea de entrada. La forma de editarlos es pulsar sobre la casilla correspondiente y seleccionar la patilla a la que se quiere vincular y el tipo de cambio que se desea realizar con ese pin para cada pulsación:

- *High*, poner la entrada a "1".
- *Low* , poner la entrada a "0".
- *Toggle,* cambiar de valor cada vez que se pulse. Ésta es la más habitual.
- *Pulse,* cambia el estado del pin y retorna de nuevo a su valor actual.

La figura 7-29 muestra como se ha configurado para las cinco líneas del puerto A, como entrada y en modo *Toggle*.

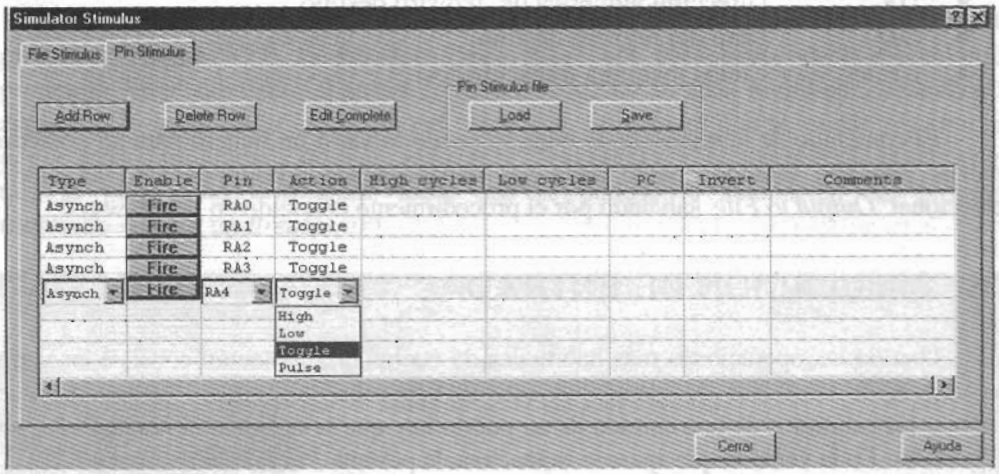


Figura 7-29 Configurar los estímulos para el Puerto A como entrada y modo Toggle

Tras pulsar el botón *fire* habrá de ejecutarse la siguiente instrucción antes de ver los cambios a través de las ventanas de visualización.

Es posible salvar la configuración realizada mediante el boton *Save* para recuperarla en posterior ocasión con el botón *Load*.

Llegados a este punto del capítulo es muy conveniente que el lector simule el funcionamiento del programa ensamblado Ensam_03.asm con diferentes combinaciones de las líneas del Puerto A y compruebe los valores de salida en el Puerto B y los cambios en todas las ventanas explicadas anteriormente.

7.9 GRABACIÓN CON EL ARCHIVO HEXADECIMAL

Una vez simulado el programa y comprobado que funciona correctamente, es tiempo de grabar físicamente dicho programa en el PIC16F84A. Con el ensamblado del archivo fuente se ha generado un archivo ejecutable con los códigos máquina a grabar en el PIC16F84A. Este archivo tiene extensión *.hex y se graba en el PIC16F84A con ayuda de un grabador y el software asociado, tal como se ha estudiado en el capítulo 3. En este caso se utilizará un programador compatible JDM y el software IC-Prog. Para ello se deben seguir los siguientes pasos:

1º Conectar el grabador al ordenador. Insertar el PIC16F84A en el zócalo correspondiente, teniendo en cuenta la orientación correcta del chip ayudándonos por la muesca de la cápsula.

2º Abrir el programa IC-Prog y comprobar que está correctamente configurado.

3º Abrir el archivo con extensión *.hex que contiene los datos a programar en el PIC16F84A. Para ello, seleccionar el menú *Archivo > Abrir archivo* y, una vez dentro de la carpeta apropiada, elegir el fichero a grabar, en este ejemplo el *Ensam_03.HEX* (figura 7-30).

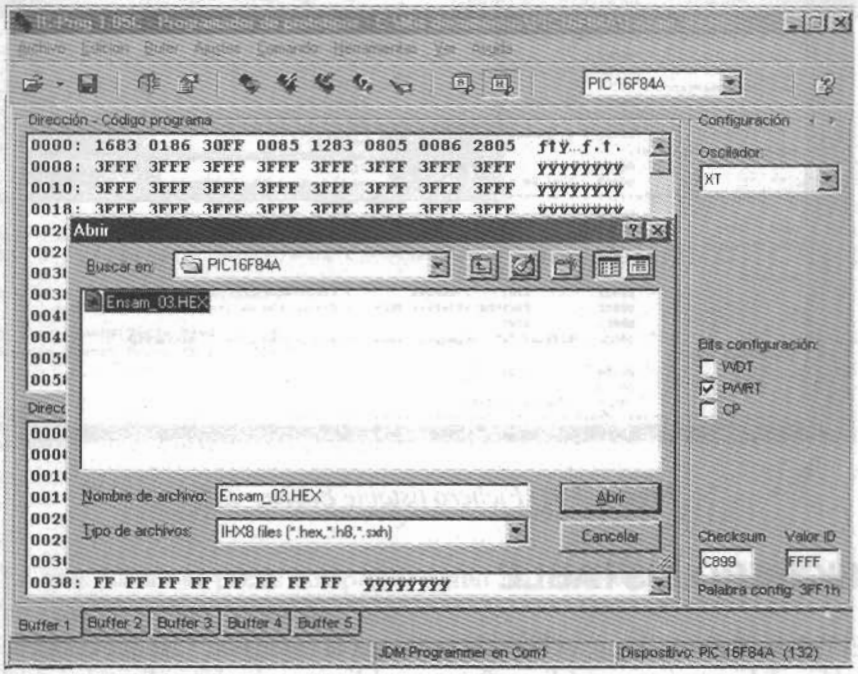


Figura 7-30 Abrir el fichero Ensam_03.HEX con los códigos máquinas para grabar

4º Comprobar que los datos se han cargado en el área de *Código de programa*. También debe comprobarse que los *Bits configuración* se ajustan a lo pretendido en el programa con la línea: "*__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC*". En este caso:

- *CP* en OFF: Protección de código inactiva.
- *WDT* en OFF: *Watchdog* inactivo.
- *PWRT* en On: *Power-up Timer* activado.
- *Oscilador*: XT (a cristal de cuarzo).

5º Proceder a la grabación física del chip, tal como se explicó en el capítulo 3.

Una vez grabado el PIC16F84A se debe extraer del grabador y comprobar su correcto funcionamiento dentro del circuito correspondiente. En este caso el programa Ensam_03.asm lo que hace es visualizar por los LEDs conectados al Puerto B el dato leído de las cinco líneas del Puerto A al que está conectado un array de interruptores. Esto se puede comprobar con el circuito de la figura 1-2.

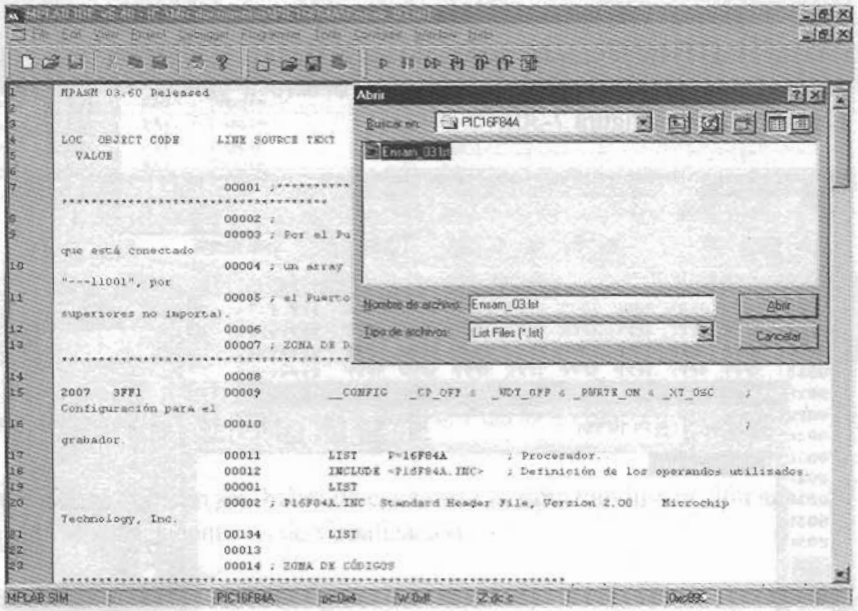


Figura 7-31 Fichero listable Ensam_03.lst

7.10 FICHERO LISTABLE

El fichero **listable** es un archivo de texto con la extensión *.lst que contiene toda la información del programa: código fuente, códigos máquina, direcciones de cada instrucción, errores producidos, etc. Este fichero puede ser analizado seleccionando el menú *File >Open* y dentro de los tipos de archivos *List Files [*.lst]* se ha de elegir el *Ensam_03.lst* (figura 7-31).

Este archivo listable contiene una copia del fichero del código fuente pero con tres columnas añadidas a la izquierda:

- Columna *LOC OBJECT VALUE*, que representa las posiciones de la memoria de programa donde se ubican las instrucciones.
- Columna *CODE*, que presenta el código hexadecimal de cada una de las instrucciones.
- La columna *LINE SOURCE TEXT*, que indica el número de línea del código fuente.

Finalmente, en las siguientes columnas aparece el código fuente tal y como se editó.

Al final del listado aparece una información adicional sobre las etiquetas utilizadas y el valor asociado a ellas. También aparece un mapa representativo del espacio de memoria utilizado. Por último informa sobre el número de errores, avisos y mensajes ocurridos (figura 7-32).

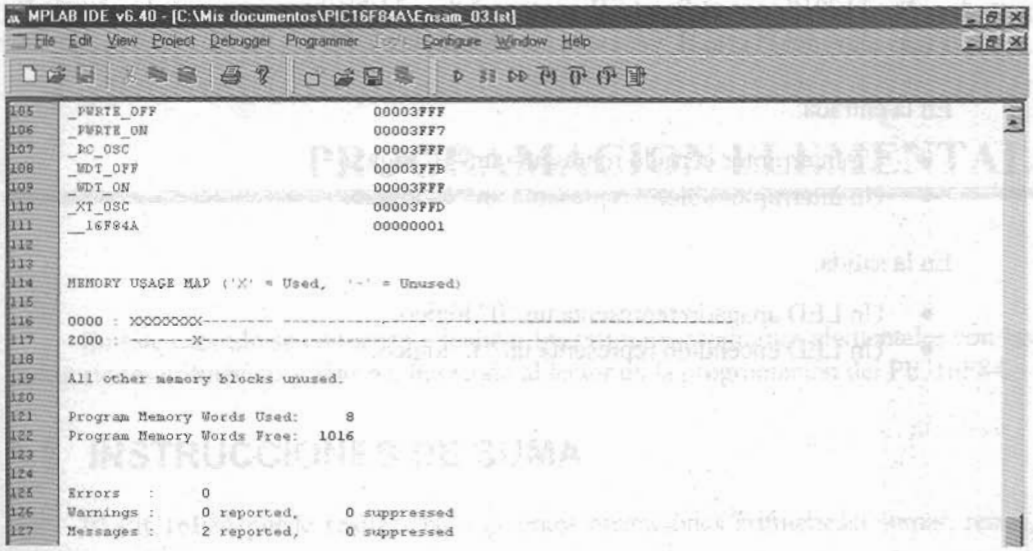


Figura 7-32 Final del fichero listable Ensam_03.lst

En este fichero se puede comprobar como las directivas y comentarios del código fuente no generan código máquina.

7.11 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

El circuito para comprobar el correcto funcionamiento de los programas será el entrenador básico para aprendizaje del PIC16F84A, representado en el esquema de la figura 1-2, que ya fue montado en el primer capítulo.

Respetando el procedimiento descrito en el capítulo diseñar, ensamblar, simular y grabar el microcontrolador y comprobar los siguientes programas. Visualizar los ficheros resultantes *.hex y *.lst de cada uno de los programas. Las soluciones se ofrecen en el CD-ROM que acompaña a este libro.

Ensam_01.asm: Por los LEDs conectados al puerto B se visualiza el valor de una constante, por ejemplo el número binario b'01010101'.

Ensam_02.asm: Los LEDs conectados al nibble bajo del Puerto B se apagarán y los del nibble alto se encenderán.

Ensam_03.asm: Por el Puerto B se obtiene el dato de las cinco líneas del Puerto A al que está conectado un array de interruptores. Por ejemplo, si por el Puerto A se introduce "---11001", por el Puerto B aparecerá "xxx11001" (no importa el valor de los tres bits más altos del Puerto B, ver esquema de la figura 1-2).

En la entrada:

- Un interruptor cerrado representa un "0" lógico.
- Un interruptor abierto representa un "1" lógico.

En la salida:

- Un LED apagado representa un "0" lógico.
- Un LED encendido representa un "1" lógico.

©RA-MA

CAPÍTULO 8

PROGRAMACIÓN ELEMENTAL

En este capítulo se comienza a realizar los primeros programas elementales con las instrucciones aritméticas y lógicas, iniciando al lector en la programación del PIC16F84.

8.1 INSTRUCCIONES DE SUMA

El PIC16F84 puede realizar las siguientes operaciones aritméticas: sumar, restar, incrementar y decrementar un registro.

La suma se realiza en aritmética binaria pura sin signo y afecta a los flags del STATUS de la siguiente forma:

- Al flag **Z** *(Zero)*. El bit Z se pone en "1" si el resultado de la operación es cero (b'00000000') y se pone Z en "0" si el resultado tiene cualquier otro valor.
- Al flag **C** *(Carry)*. Si hay un acarreo del bit 7, es decir, si el resultado es mayor que b'11111111' (255 en decimal) el bit C (Carry) se activa a "1", en caso contrario resulta C = 0.
- Al flag **DC** *(Digit Carry)*. Si hay un acarreo del bit 3 al 4, es decir que la suma de las dos mitades (nibbles) menos significativa (bits 0 a 3) resulta mayor que 15, el bit DC se pone a "1", en caso contrario se pone a "0".

Ejemplo 1:

163 (decimal)	1010 0011 (binario)	A3 (hex.)			
+ 79 (decimal)	+ 0100 1111 (binario)	4F (hex.)	C	DC	Z
242 (decimal)	1111 0010 (binario)	F2 (hex.)	0	1	0

Ejemplo 2:

209 (decimal)	11010001 (binario)	D1 (hex.)			
+ 56 (decimal)	+ 00111000 (binario)	38 (hex.)	C	DC	Z
265 (decimal)	00001001 (binario)	09 (hex.)	1	0	0

En este último ejemplo se ha superado el valor máximo de 255 (decimal) y por tanto el Carry se activa a "1". En este caso el resultado obtenido b'00001001' (9 en decimal) no corresponde con el valor decimal correcto que es 265. Si se añade el flag Carry al resultado obtenido, se obtiene b'100001001', que sí coincide con el valor correcto de 265_{10}. Como conclusión, se puede afirmar que el flag Carry es el noveno bit del registro de trabajo y por lo tanto del resultado.

El PIC16F84 tiene dos instrucciones de suma:

8.1.1 addlw k

(Add Literal to W). Suma el contenido del registro W con el literal o constante 'k'. Almacena el resultado en W. Si se produce acarreo el flag C se pone a "1".

Ejemplo 1:	*addlw 0x4F*	; (W) + 4F → (W)
Antes instrucción:	(W) = 0xA3, y C = ¿?	
Después instrucción:	(W) = 0xF2, (ya que 0xA3 + 0x4F = 0xF2) y C = 0.	

Ejemplo 2:	*addlw 0x38*	; (W) + 4F → (W)
Antes instrucción:	(W) = 0xD1, y C = ¿?	
Después instrucción:	(W) = 0x09, (ya que 0x38 + 0xD1 = 0x09 más acarreo) y C = 1.	

8.1.2 addwf f,d

(Add W and f). Suma el contenido del registro W al contenido del registro 'f'. Almacena el resultado en W si 'd' = 0 y en el registro 'f' si 'd' = 1. Si se produce acarreo el flag C se pone a "1".

Ejemplo 1:	*addwf PORTA,W*	; (PORTA) + (W) → (W)
Antes instrucción:	(W) = 0x17, (PORTA) = 0xC2, y C = ¿?	
Después instrucción:	(W) = 0xD9, (PORTA) = 0xC2, y C = 0.	

Ejemplo 2:	*addwf Contador,F*	; (Contador) + (W) → (Contador)
Antes instrucción:	(W) = 0xD1, (Contador) = 0x38, y C = ¿?	
Después instrucción:	(W) = 0xD1, (Contador) = 0x09, y C = 1.	

8.2 INSTRUCCIONES DE RESTA

La resta se realiza sumando, en binario puro sin signo, el registro "f" (o el literal "k") más el complemento a dos del contenido del registro W. Al realizar la resta en 8 bits con signo el resultado no puede exceder de +127 ni de (–128) . El flag de Carry indica si el resultado es positivo (C se pone a "1") o es negativo (C se pone a "0"). Pueden ocurrir tres casos:

- Si el resultado es positivo distinto de cero, C = 1 y Z = 0.
- Si el resultado es cero, C = 1 y Z = 1.
- Si el resultado es negativo, C = 0 y Z = 0.

El PIC16F84 dispone de dos instrucciones de resta:

8.2.1 sublw k

(Subtract W from Literal). Resta (en complemento a 2) el contenido de la constante 'k' menos el contenido del registro W y almacena el resultado en W.

Ejemplo 1:	*sublw 0x03*	; 03h – (W) → (W)
Antes instrucción:	(W) = 0x01, C = ¿? y Z = ¿?	
Después instrucción:	(W) = 0x02, C = 1 (el resultado es positivo) y Z = 0.	
Ejemplo 2:	*sublw 0x02*	; 02h – (W) → (W)
Antes instrucción:	(W) = 0x02, C = ¿? y Z = ¿?	
Después instrucción:	(W) = 0x00, C = 1 y Z = 1 (el resultado es cero).	
Ejemplo 3:	*sublw 0x02*	; 02h – (W) → (W)
Antes instrucción:	(W) = 0x03, (+3 en decimal), C = ¿? y Z = ¿?	
Después instrucción:	(W) = 0xFF, (-1 en decimal), C = 0 (resultado negativo) y Z = 0.	

8.2.2 subwf f,d

(Subtract W from f). Resta (en complemento a 2) el contenido del registro 'f' menos el contenido del registro W. Almacena el resultado en W si 'd' es cero y en 'f' si 'd' es uno.

Ejemplo 1:	*subwf Reg1,F*	; (Reg1) – (W) → (Reg1)
Antes instrucción:	(Reg1) = 0x03, (W) = 0x02, C = ¿?) y Z = ¿?	
Después instrucción:	(Reg1) = 0x01, (W) = 0x02, C = 1 (positivo) y Z = 0.	
Ejemplo 2:	*subwf Reg1,F*	; (Reg1) – (W) → (Reg1)
Antes instrucción:	(Reg1) = 0x02, (W) = 0x02, C = ¿? y Z = ¿?	
Después instrucción:	(Reg1) = 0x00, (W) = 0x02, C = 1 y Z = 1 (resultado cero).	

Ejemplo 3:	*subwf Reg1,F* ; (Reg1) – (W) → (Reg1)
Antes instrucción:	(Reg1) = 0x01, (+1 decimal), (W) = 0x02, C = ¿? y Z = ¿?
Después instrucción:	(Reg1) = 0xFF, (-1 decimal), (W) = 0x022, C = 0 (neg.) y Z = 0.

8.3 INCREMENTAR Y DECREMENTAR

El PIC16F84 posee otras instrucciones aritméticas. Son las siguientes:

8.3.1 decf f,d

(Decrement f). El contenido del registro 'f' se decrementa en una unidad. Almacena el resultado en W si 'd' = 0 (en cuyo caso 'f' no varía) y en el registro 'f' si 'd' = 1. El flag Z se activa a "1" si el resultado de la operación es cero.

Ejemplo 1:	*decf Contador,F* ; (Contador) – 1 → (Contador)
Antes instrucción:	(Contador) = 0x01 y Z = ¿?
Después instrucción:	(Contador) = 0x00 y Z = 1.

Ejemplo 2:	*decf Contador,W* ; (Contador) – 1 → (W)
Antes instrucción:	(Contador) = 0x04, (W) = ¿? y Z = ¿?
Después instrucción:	(Contador) = 0x04, (W) = 0x03 y Z = 0.

8.3.2 incf f,d

(Increment f). El contenido del registro 'f' se incrementa en una unidad. Almacena el resultado en W si 'd' = 0 (en cuyo caso 'f' no varía) y en el registro 'f' si 'd' = 1. El flag Z se activa a "1" si el resultado de la operación es cero, es decir, si hay desbordamiento al pasar de b'11111111' a b'00000000'.

Ejemplo 1:	*incf Contador,F* ; (Contador) + 1 → (Contador)
Antes instrucción:	(Contador) = 0xFF y Z = ¿?
Después instrucción:	(Contador) = 0x00 y Z = 1.

Ejemplo 2:	*incf Contador,W* ; (Contador) + 1 → (W)
Antes instrucción:	(Contador) = 0x01, (W) = ¿? y Z = ¿?
Después instrucción:	(Contador) = 0x01, (W) = 0x02 y Z = 0.

8.4 INSTRUCCIONES LÓGICAS

Las operaciones lógicas que se pueden realizar con el PIC16F84 son la AND, OR, OR exclusiva, inversión (o complemento), la rotación y el intercambio de nibbles:

8.4.1 andlw k

(AND Literal with W) Efectúa la operación AND lógica entre el contenido del registro W y la constante 'k'. Almacena el resultado en W. El flag Z se activa a "1" si el resultado de la operación es cero.

Ejemplo:	*andlw b'01011111'*	;(W) AND b'01011111' → (W)
Antes instrucción:	(W) = b'10100011'	y Z = ¿?
Después instrucción:	(W) = b'00000011'	y Z = 0.

8.4.2 andwf f,d

(AND W with f). Efectúa la operación AND lógica entre el contenido del registro W y el contenido del registro 'f'. Almacena el resultado en W si 'd' = 0 y en el registro 'f' si 'd' = 1. El flag Z se activa a "1" si el resultado de la operación es cero.

Ejemplo 1:	*andwf FSR,F*	;(W) AND (FSR) → (FSR)
Antes instrucción:	(W) = b'0010111',	(FSR) = b'11000010' y Z = ¿?
Después instrucción:	(W) = b'0010111',	(FSR) = b'00000010' y Z = 0.

Ejemplo 2:	*andwf FSR,W*	;(W) AND (FSR) → (W)
Antes instrucción:	(W) = b'0010111',	(FSR) = b'11000010' y Z = ¿?
Después instrucción:	(W) = b'0000010',	(FSR) = b'11000010' y Z = 0.

8.4.3 comf f,d

(Complement f). Realiza un complemento del contenido del registro 'f' bit a bit, invirtiendo su valor, es decir, cambia los uno por ceros y viceversa. Almacena el resultado en W si 'd' = 0 (en cuyo caso 'f' no varía) y en el registro 'f' si 'd' = 1. El flag Z se activa a "1" si el resultado de la operación es cero.

Ejemplo 1:	*comf Reg1,F*	;(/Reg1) → (Reg1)
Antes instrucción:	(Reg1) = b'00010011',	y Z = ¿?
Después instrucción:	(Reg1) = b'11101100'	(invertidos unos y ceros) y Z = 0.

Ejemplo 2:	*comf Reg1,W*	;(/Reg1) → (W)
Antes instrucción:	(Reg1) = b'00010011',	(W) = ¿? y Z = ¿?
Después instrucción:	(Reg1) = b'00010011',	(W) = b'11101100' (invertidos unos y ceros) y Z = 0.

8.4.4 iorlw k

(Inclusive OR Literal with W). Efectúa la operación OR lógica entre el contenido del registro W y la constante 'k'. Almacena el resultado en W. El flag Z se activa a "1" si el resultado de la operación es cero.

Ejemplo:	*iorlw b'00110101'.*	; (W) OR b'00110101' → (W)
Antes instrucción:	(W) = b'10011010'	y Z = ¿?
Después instrucción:	(W) = b'10111111'	y Z = 0.

8.4.5 iorwf f,d

(Inclusive OR W with f). Efectúa la operación OR lógica entre el contenido del registro W y el contenido del registro 'f'. Almacena el resultado en W si 'd' = 0 y en el registro 'f' si 'd' = 1. El flag Z se activa a "1" si el resultado de la operación es cero.

Ejemplo:	*iorwf Resultado,W*	; (W) OR (Resultado) → (W)
Antes instrucción:	(Resultado) = b'00010011',	(W) = b'10010001' y Z = ¿?.
Después instrucción:	(Resultado) = b'00010011',	(W) = b'10010011' y Z = 0.

8.4.6 rlf f,d

(Rotate Left f through Carry). Rotación de un bit a la izquierda del registro 'f', pasando por el bit de acarreo C. El desplazamiento es cerrado, formando un anillo con el bit C (Carry) del registro de estado o STATUS. Si 'd' = 1 el resultado se almacena en 'f', si 'd' = 0 el resultado se almacena en W. El contenido del Carry pasa a la posición del bit de menor peso y el bit de mayor peso pasa al Carry (figura 8-1).

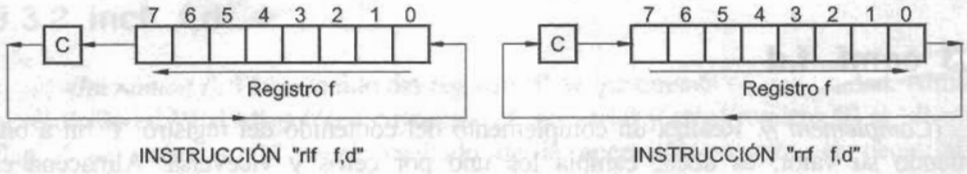


Figura 8-1 Instrucciones de rotación

Ejemplo 1:	*rlf Reg1,W*	
Antes instrucción:	(Reg1) = b'1110 0110',	W = ¿? y C = 0.
Después instrucción:	(Reg1) = b'11!0 0110',	(W) = b'1100 1100' y C = 1.

Ejemplo 2:	*rlf Reg1,F*	
Antes instrucción:	(Reg1) = b'1110 0110'	y C = 0.
Después instrucción:	(Reg1) = b'1100 1100'	y C = 1.

8.4.7 rrf f,d

(Rotate Right f through Carry). Rotación de un bit a la derecha del registro 'f', pasando por el bit de acarreo C. Similar que el anterior pero el desplazamiento es a la derecha tal como se ilustra en la figura 8-1.

Ejemplo1:	*rrf Reg1,W*
Antes instrucción:	(Reg1) = b'1110 0110', (W) = ¿? y C = 0.
Después instrucción:	(Reg1) = b'1110 0110', (W) = b'0111 0011' y C = 0.

Ejemplo2:	*rrf Reg1,F*
Antes instrucción:	(Reg1) = b'1110 0110', y C = 0.
Después instrucción:	(Reg1) = b'0111 0011', y C = 0.

8.4.8 swapf f,d

(Swap Nibbles in f). Los cuatro bits de más peso del registro 'f' se intercambian con los 4 bits de menos peso del mismo registro 'f'. Si 'd' = 0 el resultado se almacena en W, si 'd' = 1 el resultado se almacena en 'f'.

Ejemplo 1:	*swapf Reg1,W*
Antes instrucción:	(Reg1) = 0xA5 y (W) = ¿?
Después instrucción:	(Reg1) = 0xA5 y (W) = 0x5A.

Ejemplo 2:	*swapf Reg1,F*
Antes instrucción:	(Reg1) = 0xA5.
Después instrucción:	(Reg1) = 0x5A.

8.4.9 xorlw k

(Exclusive OR Literal with W). Realiza la función OR-Exclusiva entre el contenido del registro W y la constante 'k' de 8 bits. El resultado se almacena en W. El flag **Z** se activa a "1" si el resultado de la operación es cero.

Ejemplo:	*xorlw b'10101111'* ; (W) XOR b'10101111' → (W)
Antes instrucción:	(W) = b'10110101' y Z = ¿?.
Después instrucción:	(W) = b'00011010' y Z = 0.

8.4.10 xorwf f,d

(Exclusive OR W with f). Realiza la función OR-Exclusiva entre el contenido del registro W y el contenido del registro f. Almacena el resultado en f si 'd' =1 y en W si 'd' es 0. El flag Z se activa a "1" si el resultado de la operación es cero.

Ejemplo1:	*xorwf Reg,F* ; (W) XOR (Reg) → (Reg)
Antes instrucción:	(Reg) = b'10101111', (W) = b'10110101' y Z = ¿?
Después instrucción:	(Reg) = b'00011010', (W) = b'10110101' y Z = 0.

Ejemplo2:	*xorwf Reg,W* ; (W) XOR (Reg) → (W)
Antes instrucción:	(Reg) = b'10101111', (W) = b'10110101' y Z = ¿?
Después instrucción:	(Reg) = b'10101111', (W) = b'00011010' y Z = 0.

8.5 INSTRUCCIÓN "SLEEP"

Son abundantes las situaciones reales de trabajo en que el microcontrolador debe esperar, sin hacer nada, a que se produzca algún acontecimiento externo que le ponga de nuevo en funcionamiento. Para ahorrar energía, los microcontroladores PIC disponen de la instrucción especial *sleep* que les pasa al estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos. En dicho estado se detiene el reloj principal y se "congelan" sus circuitos asociados, quedando el microcontrolador en un "sueño" ("*sleep*" en inglés). Al activarse una "interrupción" ocasionada por el acontecimiento esperado, el microcontrolador se "despierta" y reanuda su trabajo.

El concepto de interrupción será estudiado con detenimiento en capítulos posteriores. Por ahora, sólo hay que conocer que el modo de bajo consumo es un modo especial de funcionamiento que ocasiona un consumo muy bajo y se entra en él con la ejecución de la instrucción *sleep*.

En el siguiente ejemplo se repite el programa de lectura del Puerto A analizado en capítulos anteriores, con la particularidad que al finalizar entra en modo bajo consumo mediante la instrucción *sleep*.

```
;********************************** Elemental_10.asm ***********************************
;
; Por el Puerto B se obtiene el dato de las cinco líneas del Puerto A al que están conectado
; un array de interruptores. Por ejemplo, si por el Puerto A se introduce "---11001", por
; el Puerto B aparecerá "xxx11001" (el valor de las tres líneas superiores no importa).
;
; Esta operación la realizará una única vez. Después el programa entrará en modo
; "Standby" o de bajo consumo del cual no podrá salir después.

; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC ; Configuración para el
                                                           ; grabador.
        LIST      P=16F84A        ; Procesador utilizado.
        INCLUDE <P16F84A.INC>     ; Definición de algunos operandos utilizados.

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0               ; El programa comienza en la dirección 0.
Inicio
        bsf     STATUS,RP0      ; Acceso al Banco 1.
        clrf    TRISB           ; Las líneas del Puerto B se configuran como salida.
        movlw   b'00011111'     ; Las 5 líneas del Puerto A se configuran como entrada.
        movwf   TRISA
        bcf     STATUS,RP0      ; Acceso al Banco 0.
Principal
        movf    PORTA,W         ; Carga el registro de datos del Puerto A en W.
        movwf   PORTB           ; El contenido de W se deposita en el Puerto B.
        sleep                   ; El programa entra en modo "Bajo Consumo" del cual no
                                ; podrá salir.
        END                     ; Fin del programa.
```

8.6 ALGUNAS INSTRUCCIONES ÚTILES

A continuación se comentan algunas instrucciones de gran utilidad en la realización de programas de aplicación.

- **Incrementar un registro en una unidad.** Por ejemplo el registro llamado Contador.

```
incf    Contador,F
```

- **Incrementar un registro en un valor "n".** Por ejemplo, para incrementar en 7 unidades el registro Operando.

```
movlw   d'7'
addwf   Operando,F
```

- **Decrementar un registro en una unidad.** Por ejemplo el registro llamado Centenas.

```
decf  Centenas,F
```

- **Decrementar un registro en un valor "n".** Por ejemplo, decrementar en 15 unidades el registro MensajeLongitud.

```
movlw   15
subwf   MensajeLongitud,F
```

- **Incrementar W.** El registro de trabajo W no ocupa posición en la memoria RAM de datos, por tanto no se puede operar directamente con él para incrementarle o decrementarle. Así por ejemplo la instrucción *"incf W,1"* no es admitida. Por tanto, para incrementar el contenido del registro W hay que hacerlo de la siguiente forma:

```
addlw 0x01
```

- **Decrementar W.** Por el mismo motivo anterior, para decrementar W hay que hacerlo de la siguiente forma:

```
sublw   0x01
```

- **Complementar W, invirtiendo sus bits.** Se hace aprovechando la particularidad de la operación lógica XOR que complementa un bit cuando se realiza una XOR con un "1": (bit) XOR 1 = (/bit).

```
xorlw b'11111111'
```

- **Negar W.** Hallando su complemento a 2, es decir, restándole de cero.

```
sublw   0               ; ya que 0 – (W) = -(W)
```

- **Poner a cero varios bits del registro W sin alterar el resto.** Se usa la operación lógica AND, poniendo en el operando inmediato un 0 en aquellos bits que se desea poner a "0" mientras que los restantes se ponen a "1". A la constante con la que se hace la operación AND se la llama **máscara**. Así por ejemplo, si desea poner a "0" los bits pares del registro W sin modificar los restantes puede usar la instrucción:

```
andlw b'10101010'
```

- **Poner a uno varios bits del registro W sin alterar el resto**. Se usa la operación lógica OR, poniendo en el operando inmediato un "1" en aquellos bits que se desea poner a "1", mientras que los restantes se ponen a "0". A la constante con la que se hace la operación OR se la llama **máscara**. Así por ejemplo, si se desea poner a "1" los 5 bits de menos peso de W sin modificar los otros tres, puede usarse la instrucción:

```
iorlw b'00011111'
```

- **Invertir varios bits de w sin alterar el resto**. Se usa la operación lógica XOR, poniendo en el operando inmediato un "1" en aquellos bits que se desea invertir mientras que los restantes se ponen a "0". A la constante con la que se hace la operación XOR se la llama **máscara.** Así por ejemplo, si desea invertir los 3 bits de mayor peso de W sin modificar los otros cinco, puede usar la instrucción:

```
xorlw b'11100000'
```

- **Multiplicar un registro por un numero potencia de 2.** Se puede hacer fácilmente desplazando un bit varias posiciones hacia la izquierda e introduciendo ceros por la derecha. Se debe tener precaución de no perder dígitos significativos por la izquierda, es decir, el resultado no puede se mayor de 255 que es el máximo número representable con 8 bits. Por ejemplo para multiplicar el contenido del registro Operando por 2, 4 y 8 se haría:

```
bcf     STATUS,C        ; El cero a introducir por la derecha.
rlf     Operando,F      ; Se multiplica por dos.
bcf     STATUS,C        ; El cero a introducir por la derecha.
rlf     Operando,F      ; Se multiplica por cuatro.
bcf     STATUS,C        ; El cero a introducir por la derecha.
rlf     Operando,F      ; Se multiplica por ocho.

; Así por ejemplo, si en principio (Operando) = b'00011010' = 26 (decimal),
; por cada desplazamiento a la derecha quedaría:
; (Operando) = b'00011010' =  26 (decimal), al principio.
; (Operando) = b'00110100' =  52 (decimal), ha multiplicado por 2, (26 x 2 =  52).
; (Operando) = b'01101000' = 104 (decimal), ha multiplicado por 4, (26 x 4 = 104).
; (Operando) = b'11010000' = 208 (decimal), ha multiplicado por 8, (26 x 8 = 208).
```

- **Dividir un registro entre un número potencias de 2.** Se puede hacer fácilmente desplazando un bit varias posiciones hacia la derecha e introduciendo ceros por la izquierda. Por ejemplo para dividir el registro Operando por 2, 4 y 8 se haría:

```
bcf     STATUS,C        ; El cero a introducir por la izquierda.
rrf     Operando,F      ; Se divide entre dos.
bcf     STATUS,C        ; El cero a introducir por la izquierda.
rrf     Operando,F      ; Se divide entre cuatro.
bcf     STATUS,C        ; El cero a introducir por la izquierda.
rrf     Operando,F      ; Se divide entre ocho.

; Así por ejemplo, si en principio (Operando) = b'00011010' = 26 (decimal),
; por cada desplazamiento a la izquierda quedaría:
; (Operando) = b'00011010' = 26 (decimal), al principio.
; (Operando) = b'00001101' = 13 (decimal), ha dividido entre 2, (26/2 = 13).
; (Operando) = b'00000110' =  6 (decimal), ha dividido entre 4, (26/4 =  6).
; (Operando) = b'00000011' =  3 (decimal), ha dividido entre 8, (26/8 =  3).
```

8.7 HERRAMIENTAS

Cuando se diseñan sistemas con circuitos programables se precisan herramientas para la puesta a punto del hardware y del software. Las más importantes son: editores de texto, ensambladores y compiladores, simuladores, grabadores, emuladores y sistemas de desarrollo.

8.7.1 Ensambladores y compiladores

El programa **ensamblador** traduce las instrucciones que se han escrito, usando los nemónicos del lenguaje máquina, a código binario ejecutable por el microcontrolador. El proceso de ensamblado produce un fichero *.hex que será el que posteriormente se grabará en la memoria de programa del PIC mediante el grabador o programador. La secuencia de nemónicos se llama código fuente del programa. El ensamblador más utilizado para los PIC es el MPASM que trabaja dentro del entorno software MPLAB.

El programa compilador traduce las instrucciones que se han escrito en lenguaje de alto nivel (por ejemplo en lenguaje C), a código binario ejecutable por el microcontrolador. Los compiladores para lenguaje C más populares son el **PICC** desarrollado por *Hi-Tech Software* (www.htsoft.com) y el **PCW** de la empresa *CCS* (www.ccsinfo.com). Un compilador para Basic es el **PICBasic Pro** propiedad de *MicroEngineering Labs* (www.melabs.com).

8.7.2 Simuladores software

Una vez que el programa se ha escrito y ensamblado o compilado se está en posesión de un fichero binario *.hex que es el que se graba en el microcontrolador. Es

casi indispensable probar este programa, haciéndolo funcionar en condiciones tan próximas como sea posible a las de utilización real. Para hacer esto hay varias posibles soluciones, las más utilizadas son dos: utilizar un económico simulador software o un potente emulador.

Como su propio nombre indica, un **simulador** por software "simula" la ejecución de las instrucciones de un programa desarrollado para un modelo de microcontrolador específico. Representa el comportamiento interno del microcontrolador y el estado de sus líneas de entrada/salida. Al ejecutar el simulador se pueden visualizar fácilmente las instrucciones donde se producen funcionamientos no deseados. Como el microcontrolador se simula por software el comportamiento no es idéntico a la realidad, sin embargo, proporciona una aproximación aceptable, especialmente cuando no es esencial el trabajo en tiempo real. Su gran ventaja es el bajo precio.

El simulador realiza la ejecución del programa mucho más lento que lo haría el mismo programa directamente sobre el microcontrolador, por eso determinadas operaciones en las que son necesarios tiempos muy precisos o críticos no se pueden probar mediante la simulación. No obstante, bien utilizado permite desarrollar aplicaciones interesantes con una mínima inversión.

El simulador gratuito más utilizado para los PIC, es el **MPLAB SIM** que trabaja dentro del entorno MPLAB ya analizado en el capítulo anterior.

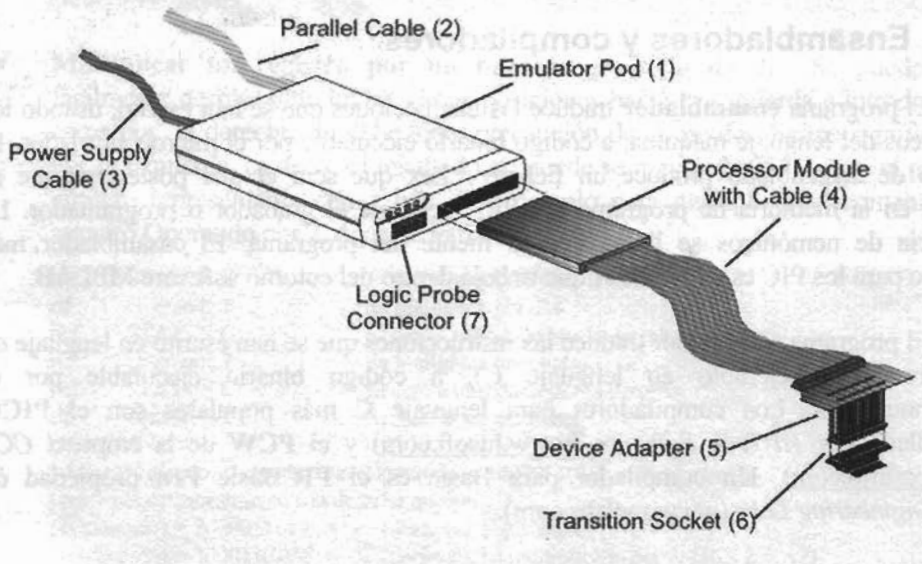


Figura 8-2 Emulador MPLAB-ICE 2000, (cortesía de Microchip Technology Inc)

8.7.3 Emuladores

El **emulador** es una potente herramienta que consiste en un complejo equipo físico controlado por un software desde un ordenador y que se comporta exactamente como el microcontrolador al que reemplaza. El fabricante *Microchip* ofrece algunos de ellos en su página Web, tal como el MPLAB-ICE 2000 (figura 8-2).

El emulador ICE 2000 dispone de una "cabeza" con idéntico patillaje que el del microcontrolador que emula. Esta cabeza se inserta en el zócalo donde irá el microcontrolador con el programa que trata de comprobar. El emulador hace funcionar el sistema como si hubiese un microcontrolador real y además con la ventaja de que visualiza en el monitor del ordenador toda la información necesaria para comprobar el funcionamiento de los programas, permitiendo realizar todo tipo de pruebas. Los resultados obtenidos son idénticos a los del producto final, puesto que a diferencia de los simuladores software la ejecución se realiza en tiempo real.

El emulador es el método de depuración más sofisticado que se puede emplear, pero su alto precio no lo hace especialmente accesible y mucho menos para uso doméstico. Para muchas aplicaciones es suficiente con el simulador software.

8.7.4 Grabadores o programadores

Una vez realizado el programa y comprobado en el simulador o emulador, se debe proceder a grabarlo en la memoria de programa del microcontrolador mediante un grabador o programador, tal como se estudió en el capítulo 3. El grabador PICSTART PLUS ofrecido por *Microchip* es uno de los más utilizados.

En Internet se ofrecen numerosos esquemas para la construcción de económicos programadores de PIC. Uno de los más populares es el JDM en sus diferentes versiones, que se utiliza junto con el programa IC-Prog. Estos ya fueron ampliamente comentados en el capítulo 3.

8.7.5 Sistemas de desarrollo

Un sistema de desarrollo está formado por un conjunto de herramientas hardware y software que permite el desarrollo de proyectos con microcontroladores. Todo sistema de desarrollo debe contar con una placa donde probar las diferentes aplicaciones. *Microchip Technology Inc* ofrece la placa de demostración PICDEM 4 (figura 8-3).

Hay muchas empresas que ofrecen completos sistemas de desarrollo para desarrollar proyectos complejos con microcontroladores PIC, que pueden incluir hasta eficaces y costosos emuladores.

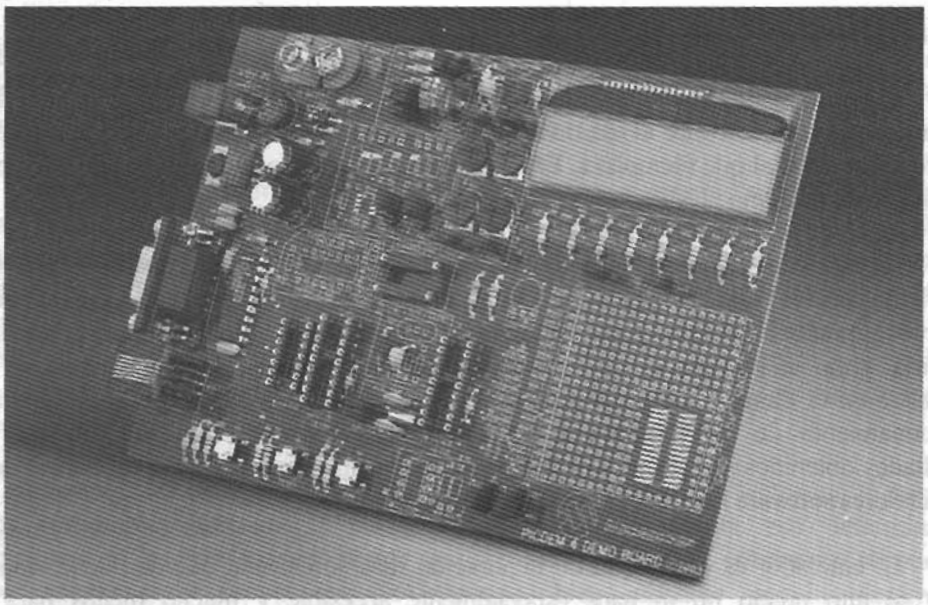


Figura 8-3 PICDEM 4 Demo Board, (cortesía de Microchip Technology Inc)

8.8 PROYECTOS CON MEDIOS REDUCIDOS

Microchip Technology Inc se ha dado cuenta de que para vender mejor sus microcontroladores tiene que facilitar y popularizar su empleo, de modo que ha puesto a disposición de los usuarios particulares herramientas eficaces y económicas que les permitan desarrollar proyectos.

Uno de los motivos del gran éxito de los microcontroladores PIC es la posibilidad de que el usuario realice su propio sistema de desarrollo con muy pocos medios. Este libro pretende ayudar en esta tarea: que el lector pueda construir su propio sistema de desarrollo de proyectos con medios reducidos. El sistema de desarrollo utilizado en este libro para el aprendizaje del microcontrolador PIC16F84 está compuesto por:

- A nivel **software**: El entorno MPLAB, que proporciona editor de programas, ensamblador y simulador, explicado en capítulo 7.
- **Grabador**: Se utilizará un grabador TE20-SE junto con el software IC-Prog explicados en capítulo 3.
- **Placa de montajes**. El entrenador descrito en la figura 1-2 servirá para el aprendizaje de las características básicas del PIC16F84. Este circuito es muy sencillo de montar y económico. A lo largo del libro se irán describiendo otros.

8.9 DESARROLLO DE PROYECTOS SENCILLOS

Una de las grandes ventajas que aportan los microcontroladores PIC es la posibilidad de utilizar medios muy económicos para poder desarrollar gran cantidad de proyectos, incluso de cierta complejidad.

Cada nuevo proyecto nace con una idea y termina con el prototipo que la implementa. La realización de cualquier proyecto para un microcontrolador se puede descomponer en varias fases, aunque no hay una separación nítida entre ellas. En el desarrollo de cada fase hay que utilizar un conjunto de herramientas hardware y software propias. La figura 8-4 describe las fases que constituyen el desarrollo de proyectos con medios reducidos:

1º **Definir** claramente el proyecto que se desea realizar con sus características y prestaciones hasta la absoluta comprensión de lo que se desea realizar. Se determinarán las necesidades de hardware, así como las partes que integrarán el programa.

2º **Diseñar el circuito físico** que implementará el proyecto. Es decir, dibujar el circuito físico que va a controlar el programa.

3º **Construcción del prototipo**. En esta fase hay que adquirir todos los componentes que configuran el proyecto. Realizar el circuito físico diseñado en la fase anterior, montándolo en una placa de circuito impreso, *wrapping* o Board, y verificar el comportamiento en lo que sea posible.

4º **Plantear el programa** necesario. Es buena práctica dibujar el diagrama de flujo general del programa antes de comenzar la edición del código fuente. Depurar este paso hasta la saciedad. Todo el tiempo que se utilice en diseñar correctamente el programa se ahorra posteriormente en tiempo de programación y en errores. Ya se tiene el diseño en papel de lo que se desea hacer.

5º **Editar el programa** de control del sistema utilizando lenguaje ensamblador en el editor del MPLAB.

6º **Ensamblar** el programa convirtiendolo a código máquina grabable en ROM, el programa fuente editado en la fase anterior. Para ello se utilizará el programa ensamblador MPASM que se facilita en el MPLAB.

7º **Simular** el programa comprobando su comportamiento antes de grabarlo en la memoria del microcontrolador. Si hubiese algún error hay que volver a editar el programa. El simulador más accesible es el MPLAB SIM integrado dentro del MPLAB.

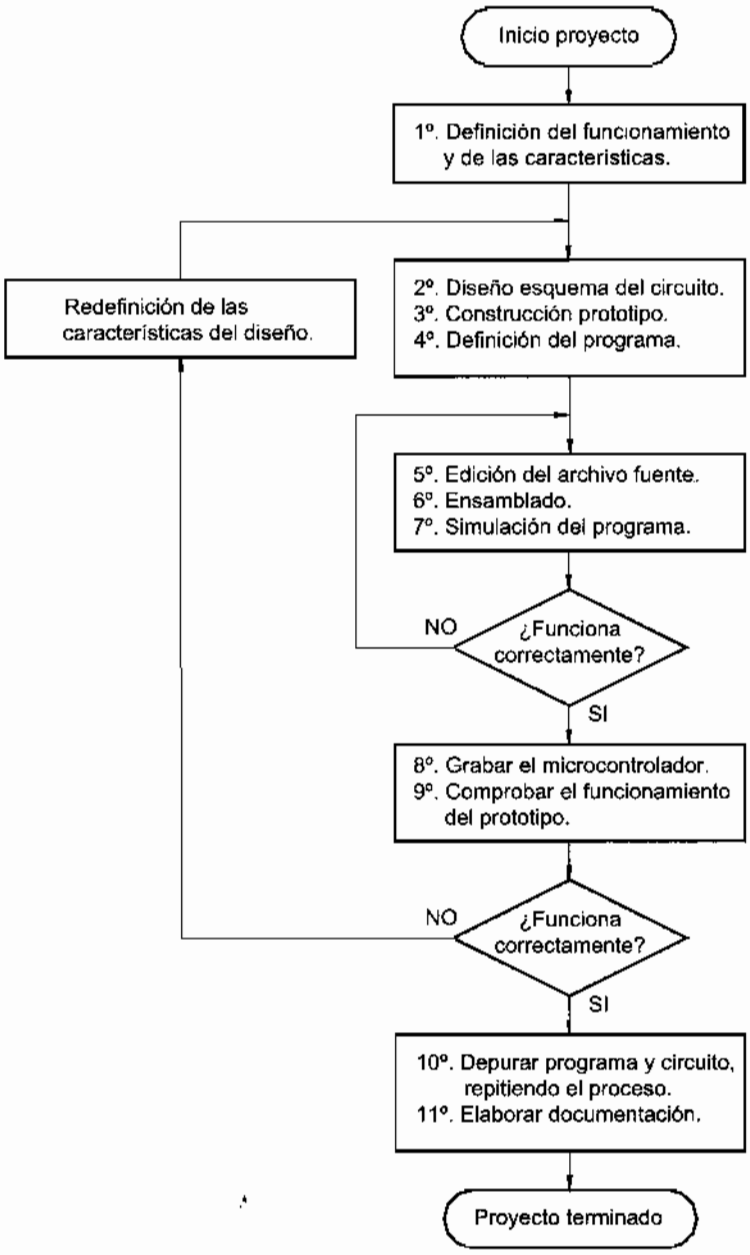


Figura 8-4 Proceso de realización de un proyecto con microcontrolador

8º **Grabar** el microcontrolador una vez comprobado el correcto funcionamiento del programa. Para ello se puede utilizar el programador TE20-SE y el programa IC-Prog. El fichero a grabar en la memoria del microcontrolador es generalmente el

© RA-MA

ejecutable con extensión *.hex y se obtiene después de realizar el ensamblado del código fuente.

9º **Comprobar** el funcionamiento del prototipo con el microcontrolador grabado. Si no cumple el funcionamiento previsto hay que volver a repetir todos los pasos de edición del programa, ensamblado, simulación y grabación con las oportunas correcciones.

10º **Depurar** el programa y el circuito repitiendo el proceso hasta alcanzar los objetivos perseguidos.

11º Elaborar la **documentación** de todo el proyecto.

Un principio general de la programación es que el software es equivalente en importancia al hardware. Esto significa que un dominio adecuado de las herramientas del ensamblador permite alcanzar un nivel elevado de aprovechamiento de las prestaciones hardware del microcontrolador, sin embargo, un deficiente aprendizaje de la programación obliga generalmente a adoptar soluciones hardware improvisadas y particulares a problemas que podrían resolverse a nivel software con mucho menor coste y mayor flexibilidad.

8.10 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores, diseñar, ensamblar, simular y grabar el microcontrolador y comprobar los siguientes programas para el esquema del entrenador de la figura 1-2. El lector puede introducir todas las mejoras que considere conveniente. Las soluciones se ofrecen en el CD-ROM que acompaña a este libro.

Elemental_01.asm: Por el Puerto B se obtiene el dato de las cinco líneas del Puerto A, al que está conectado un array de interruptores, sumándole el valor de una constante, por ejemplo 74 decimal. Es decir: (PORTB) = (PORTA) + Constante.

Elemental_02.asm: Por el Puerto B se obtiene el dato del Puerto A multiplicado por 2. Es decir: (PORTB) = 2 (PORTA) = (PORTA) + (PORTA)

Elemental_03.asm: Por el Puerto B se obtiene el dato introducido por el Puerto A, pero los bits pares de la salida se fijan siempre a "1". El orden de los bits será "b7 b6 b5 b4 b3 b2 b1 b0", siendo los pares el b6, b4, b2 y b0. Por ejemplo, si por el Puerto A se introduce el dato '---01100', por el Puerto B se visualiza '---11101'. Observa que:

- Los bits pares están a "1" , efectivamente (Puerto B) = '---1x1x1'
- Los impares permanecen con el dato del puerto de entrada, efectivamente: (Puerto A) = '---x1x0x' y (Puerto B) = '---x1x0x'

Elemental_04.asm: Por el Puerto B se obtiene el contenido del Puerto A, pero los bits impares de la salida se fijan siempre a "0". El orden de los bits será "b7 b6 b5 b4 b3 b2 b1 b0", siendo los impares el b7, b5, b3 y b1. Por ejemplo, si por el Puerto A se introduce el dato b'---01100', por el Puerto B se visualiza '00000100'. Observar que:

- Los bits impares están a "0", efectivamente: (Puerto B) = '0x0x0x0x'.
- Los pares permanecen con el dato del puerto de entrada, efectivamente: (Puerto A) = '---0x1x0' y (Puerto B) = '---0x1x0'.

Elemental_05.asm: Por el Puerto B se obtiene el dato del Puerto A invertidos los unos y los ceros. Por ejemplo, si por el Puerto A se introduce "---11001", por el Puerto B aparecerá "xxx00110". (No importa el estado de los tres bits superiores del Puerto B).

Elemental_06.asm: Por el Puerto B se obtiene el dato del Puerto A intercambiando los nibbles alto y bajo. Por ejemplo, si por el Puerto A se introduce "---1001", por el Puerto B aparecerá "1001xxx1".

Elemental_07.asm: Por el Puerto B se obtiene el dato del Puerto A desplazando un bit hacia la izquierda, por la derecha entrará un "1". Por ejemplo, si por el Puerto A se introduce "---11001", por el Puerto B aparecerá "xx110011".

Elemental_08.asm: Por el Puerto B se saca el dato del Puerto A desplazando un bit hacia la derecha, por la izquierda entrará un "0". Por ejemplo, si por el Puerto A se introduce "---11001", por el Puerto B aparecerá "0xxx1100".

Elemental_09.asm: Por el Puerto B se saca el dato del Puerto A invirtiendo los bits pares. Los impares se dejan como en la entrada.

Elemental_10.asm: Por el Puerto B se obtiene el dato de las cinco líneas del Puerto A al que están conectado un array de interruptores. Esta operación la realizará una única vez. Después el programa entrará en modo *Standby* o de bajo consumo del cual no podrá salir.

© RA-MA

CAPÍTULO 9

SALTOS

La ejecución de los programas no suele ser lineal ejecutándose una lista de instrucciones una tras otras. En puntos determinados, esta secuencia tiene que romperse por una toma de decisión o por cualquier otro motivo. Para ello, el microcontrolador PIC16F84 dispone de varias instrucciones de salto que pasan a describirse a continuación.

9.1 SALTOS CONDICIONALES

En el capítulo 6 se describió el funcionamiento de la instrucción de salto incondicional *goto*. El repertorio del PIC16F84 también dispone de instrucciones de **salto condicional**, que son aquéllas que producen un salto en función de que se cumpla o no una condición. Estas instrucciones son el único medio para realizar bifurcaciones condicionales en un programa.

El repertorio de instrucciones del PIC16F84 incluye cuatro instrucciones de salto condicional clasificadas en dos grupos:

- Aquéllas que pueden producir el salto en función del estado de un bit. Son *btfsc* y *btfss*
- Aquéllas que pueden producir el salto en función del contenido de un registro distinto de cero. Son *decfsz* e *incfsz*.

9.2 SALTOS EN FUNCIÓN DE UN BIT

Son muy poderosas ya que permiten al programa tomar decisiones en función del estado de un bit de cualquier registro o puerto de entrada/salida. Hay dos instrucciones de este tipo:

9.2.1 Instrucción "btfsc f,b"

(Bit Test f, Skip if Clear). Esta instrucción puede actuar de dos formas:

- Si el bit número 'b' del registro 'f' es "1" la instrucción que sigue a ésta se ejecuta normalmente.
- Si el bit número 'b' del registro 'f' es "0" la instrucción que sigue a ésta se ignora y se salta.

Ejemplo:

```
Aqui    btfsc   Flag,1          ; Si el bit 1 del registro Flag es "0" salta.
Falso   goto    ProcesoX        ; Ha sido "1".
Verdad          ...             ; Ha sido "0".
                                ...

Antes instrucción:      (PC) = Dirección de "Aquí".
Después instrucción:    Si el bit 1 del registro Flag = 0, (PC) = Dirección de "Verdad".
                        Si el bit 1 del registro Flag = 1, (PC) = Dirección de "Falso".
```

9.2.2 Instrucción "btfss f,b"

(Bit Test f, skip if Set). Esta instrucción actúa de forma contraria a la instrucción anterior:

- Si el bit número 'b' del registro 'f' es "0" la instrucción que sigue a ésta se ejecuta normalmente.
- Si el bit número 'b' del registro 'f' es "1" la instrucción que sigue a ésta se ignora y se salta.

Ejemplo:

```
Aqui    btfss   Flag,4          ; Si el bit 4 del registro Flag es "1" salta.
Falso   goto    ProcesoX        ; Ha sido "0".
Verdad          ....            ; Ha sido "1".
                                ....

Antes instrucción:      (PC) = Dirección de "Aquí"
Después instrucción:    Si el bit 4 del registro Flag = 1, (PC) = Dirección de "Verdad".
                        Si el bit 4 del registro Flag = 0, (PC) = Dirección de "Falso".
```

9.3 SALTOS EN FUNCIÓN DE UN REGISTRO

Las instrucciones de salto condicional *"decfsz ..."* e *"incfsz ..."* pueden producir el salto en función del contenido de un registro distinto de cero y son casos especiales de las de incremento y decremento de un registro analizadas en el capítulo 8. Estas instrucciones podrían categorizarse dentro del grupo de instrucciones aritméticas ya que efectivamente operan de forma aritmética (decrementado o incrementando) sobre los registros. Pero, a diferencia de las otras, además pueden alterar el flujo lineal del programa y por eso se las incluye en este grupo. Su forma de actuar se describe a continuación:

9.3.1 Instrucción "decfsz f,d"

(Decrement f, Skip if 0). Esta instrucción decrementa en una unidad el contenido del registro 'f'. Almacena el resultado en W si 'd' = 0 (en cuyo caso 'f' no varía) y en el registro 'f' si 'd' = 1. Después de decrementar, pueden ocurrir dos casos:

- Si el resultado es distinto de cero la instrucción que sigue a esta se ejecuta normalmente.
- Si el resultado es cero la instrucción que sigue a esta se ignora y se salta.

Ejemplo:

```
        Aqui    decfsz  Contador,F
                goto    NoEsCero
        EsCero          ....
                        ....
                        ....

Antes instrucción:      (PC) = Dirección de "Aquí".
Después instrucción:    (Contador) = (Contador) – 1  y  además:
                        - Si (Contador) = 0, (PC) = Dirección de "EsCero".
                        - Si (Contador) ≠ 0, (PC) = Dirección de "Aquí"+1 .
```

9.3.2 Instrucción "incfsz f,d"

(Increment f, Skip if 0). Esta instrucción incrementa en una unidad el contenido del registro 'f'. Almacena el resultado en W si 'd' = 0 (en cuyo caso 'f' no varía) y en el registro 'f' si 'd' = 1. Después de incrementar, pueden ocurrir dos casos:

- Si el resultado es distinto de cero la instrucción que sigue a esta se ejecuta normalmente.

- Si el resultado es cero (porque al incrementarse se ha desbordado y ha pasado del número b'11111111' al b'00000000') la instrucción que sigue a esta se ignora y se salta.

Ejemplo:

```
        Aqui    incfsz  Contador,F
                goto    Bucle
        Continua        ....
                        ....

Antes instrucción:      (PC) = Dirección de "Aquí".
Después instrucción:    (Contador) = (Contador) + 1  y  además:
                        - Si Contador = 0 (256),  (PC) = Dirección de "Continua".
                        - Si Contador ≠ 0,        (PC) = Dirección de "Aquí"+1.
```

9.4 COMPARACIÓN DE REGISTROS

Una de las más significativa aplicaciones de los saltos condicionales es la comparación entre registros:

9.4.1 Comprobar que un registro vale 0

Para saber si un registro vale 0 hay que cargar el registro sobre sí mismo mediante la instrucción "*movf*" (que es la única que posiciona flags), con lo cual se logra posicionar el flag Z sin variar su contenido. Ejemplo:

```
        movf    Registro,F      ; (Registro) → (Registro) y posiciona flag Z.
        btfss   STATUS,Z        ; ¿Es cero?, ¿Z=1?
        goto    NoEsCero        ; No.
EsCero                          ; Sí es cero y ejecuta la parte del programa correspondiente.
        ....
        ....
NoEsCero                        ; No es cero y ejecuta esta parte del programa.
        ....
```

9.4.2 Comprobar igualdad entre dos registros

Por ejemplo para comprobar si el contenido de los registros Registro1 y Registro2 son iguales el programa a realizar sería:

```
        movf    Registro1,W     ; W se carga con el valor de Registro1.
        subwf   Registro2,W     ; (Registro2) - (Registro1) → (W)  y además posiciona flag Z.
        btfsc   STATUS,Z        ; Si Z = 0, salta ya que no son iguales.
        goto    Iguales         ; Sí, son iguales y salta a ejecutar lo correspondiente.
NoIguales
```

```
        ....
        ....
Iguales
        ....
```

En lugar de la instrucción *subwf Registro2,W* se podría haber utilizado la instrucción *xorwf Registro2,W* con idéntico resultado.

9.4.3 Comprobar que un registro es mayor o menor que otro

En este caso hay que realizar la resta de ambos. Así siendo A y B dos registros cualesquiera y haciendo la operacion (A–B) se tienen las siguientes posibilidades.:

Operación (A – B)	Resultado	Bits de Carry y Zero
A > B	Positivo	C = 1 y Z = 0
A < B	Negativo	C = 0 y Z = 0
A = B	Cero	C = 1 y Z = 1

Tabla 9-1 Resultado de la comparación de dos registros

El siguiente fragmento de programa proporciona un salto a la etiqueta "MayorIgual" cuando el (RegistroA) >= (RegistroB) y salta a "Menor" cuando el (RegistroA) < (RegistroB):

```
        movf    RegistroB,W     ; (RegistroB) → (W).
        subwf   RegistroA,W     ; (RegistroA) – (RegistroB) → (W).
        btfss   STATUS,C        ; ¿C=1?, ¿resultado positivo?, ¿(RegistroA) >= (RegistroB)?
        goto    Menor
MayorIgual                      ; C=1. Entonces ha sido (RegistroA) >= (RegistroB).
        .......
        .......
Menor                           ; C=0. Entonces ha sido (RegistroA) < (RegistroB).
        .......
```

9.4.4 Programa ejemplo

En el siguiente programa ejemplo se aplican estos conceptos. El hardware utilizado será el esquema de la figura 9-1 y su explicación gráfica en la figura 9-4.

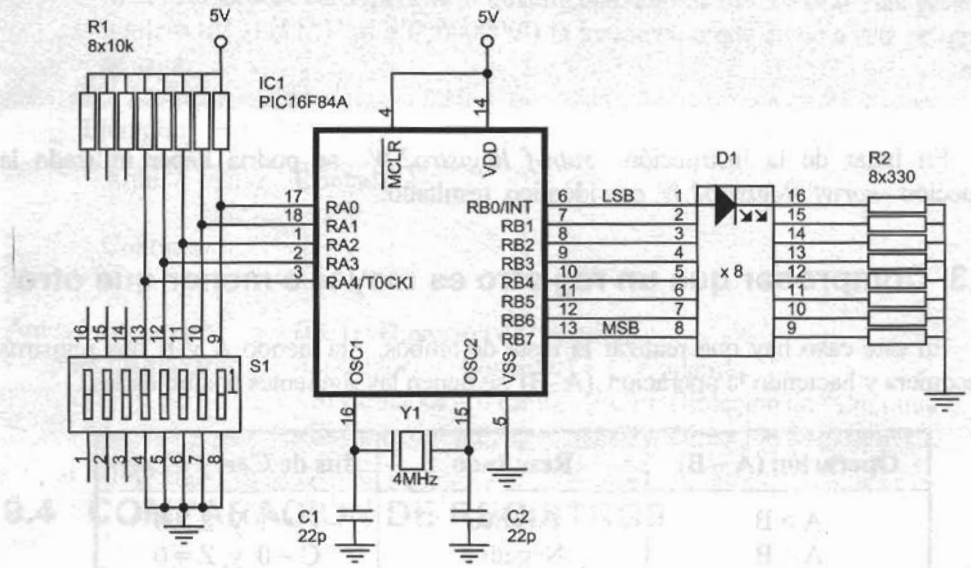


Figura 9-1 Circuito para comprobar el programa Saltos_05.asm

```
;********************************** Saltos_05.asm ***********************************
;
; Compara el dato del puerto de entrada PORTA con un "Numero". Tres posibilidades:
;  - Si (PORTA) = Numero se encienden todos los LEDs de salida.
;  - Si (PORTA) > Numero se activan los LEDs pares de salida.
;  - Si (PORTA) < Numero se encienden los LEDs del nibble alto y se apagan los del bajo.
;
; Hay que destacar que al no haber instrucciones de comparación, estas se realizan
; mediante restas.

; ZONA DE DATOS ***************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A              ; Procesador utilizado.
        INCLUDE <P16F84A.INC>           ; Fichero donde se definen las etiquetas del PIC.

Numero  EQU     d'13'                   ; Por ejemplo, este número a comparar.

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************

        ORG     0                       ; El programa comienza en la dirección 0.
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        clrf    TRISB                   ; Las líneas del Puerto B se configuran como salida.
        movlw   b'00011111'             ; Las 5 líneas del Puerto A se configuran como entrada.
        movwf   TRISA
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
Principal
        movlw   Numero                  ; Carga el número a comparar.
```

```
        subwf   PORTA,W         ; (PORTA) - Numero --> (W)
        movlw   b'11110000'     ; Supone (PORTA) es menor.
        btfss   STATUS,C        ; ¿C=1?, ¿(W) positivo?, ¿(PORTA) >= Numero?
        goto    ActivaSalida    ; No. C=0, por tanto (PORTA) < Numero.
        movlw   b'11111111'     ; Supone que son iguales.
        btfsc   STATUS,Z        ; ¿Z=0?, ¿son distintos?.
        goto    ActivaSalida    ; No. Son iguales ya que Z = 1.
        movlw   b'01010101'     ; Sí, por tanto (PORTA) > Numero.
ActivaSalida
        movwf   PORTB           ; Resultado se visualiza por el puerto de salida.
        goto    Principal       ; Crea un bucle cerrado e infinito.

        END                     ; Fin del programa.
```

9.5 LAZOS O BUCLES

Otra aplicación muy importante de los saltos condicionales son los **lazos** o **bucles**. Estos son fragmentos de programa que se repiten un número finito o infinito de veces. Los principales tipos están descritos en la figura 9-2.

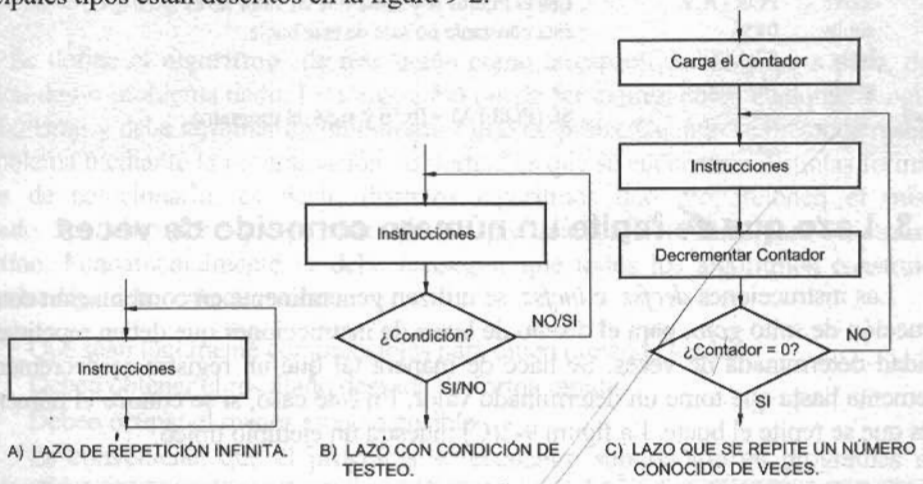


Figura 9-2 Tipos principales de lazos o bucles

9.5.1 Lazo de repetición infinita

Es un salto incondicional a una posición anterior del programa conformando un lazo de repetición infinita, sin posibilidad de tomar otro camino, figura 9-2(A). Utiliza la instrucción *goto*. Ejemplo:

```
Principal
        ....
        ....
        goto    Principal
```

9.5.2 Lazo con condición de testeo

Se utiliza una instrucción de testeo para controlar la ejecución del bucle. Para este caso la repetición del lazo es finita, pero no se puede precisar el número de veces que se repite, figura 9-2(B).

Ejemplo 1:

```
                ....
EsperaUno
        btfss   PORTA,4         ; Lee el pin 4 del Puerto A  y hasta que no se pone a 1 no sale
        goto    EsperaUno       ; de este bucle.
                ....
```

Ejemplo 2:

```
                ....
NoEsIgual
                ....
        movf    PORTA,W         ; Lee el Puerto A y hasta que su valor no es igual al de
        sublw   0x56            ; esta constante no sale de este bucle.
        btfss   STATUS,Z
        goto    NoEsIgual
EsIgual                         ; Sí, (PORTA) = 0x56 y sigue el programa.
                ....
```

9.5.3 Lazo que se repite un número conocido de veces

Las instrucciones *decfsz* e *incfsz* se utilizan generalmente en combinación con una instrucción de salto *goto*, para el diseño de lazos de instrucciones que deben repetirse una cantidad determinada de veces. Se hace de manera tal que un registro se decrementa o incrementa hasta que tome un determinado valor. En este caso, sí se conoce el número de veces que se repite el bucle. La figura 9-2(C) muestra un ejemplo típico.

```
        ....                    ; (Instrucciones precedentes del programa).
        movlw   NumeroVeces     ; Este será el número de veces que se repetirá el lazo.
        movwf   Contador        ; Carga una posición de la memoria de datos interna
Lazo                            ; Lo que sigue se ejecutará "NumeroVeces" veces
                ....            ; Aquí pueden ir otras instrucciones que se ejecutarán tantas
                ....            ; veces como se haya cargado el Contador.
        decfsz  Contador,F      ; Se decrementa el Contador hasta que llegue a 0.
        goto    Lazo            ; Si no llega a cero repite el lazo.
                ....            ; Cuando llegue a cero no ejecuta el "goto" anterior y sigue la
                ....            ; ejecución del programa.
```

9.6 PROGRAMACIÓN Y ALGORITMO

Después de haber tratado y examinado el repertorio de instrucciones básicas del microprocesador PIC16F84 es conveniente introducir algunas cuestiones primordiales sobre la metodología de la programación que faciliten el desarrollo de programas aplicables a sistemas físicos.

El proceso de programación debe desarrollarse partiendo de unas ideas que deben ser perfectamente asimiladas, comprendidas y organizadas por la persona o personas que vayan a construir el programa en cuestión. Esto lleva implícita la disminución de errores durante el proceso programador, por lo que se facilita enormemente la tarea.

El objetivo final de la programación es conseguir programas que funcionen correctamente y sean eficientes y además proporcionar la documentación necesaria sobre ellos. Debe tenerse en cuenta que un programa indebidamente documentado sería muy difícil de modificar en un futuro, o al menos podría resultar tan costoso que haría renunciar a tal propósito.

Se define el **algoritmo** de resolución como la especificación paso a paso, de la solución de un problema dado. Este algoritmo puede ser expresado en cualquier lenguaje o simbolismo y debe terminar en un número finito de pasos. Cuando se pretende resolver un problema mediante la programación, lo normal es que se encuentren distintas formas o modos de solucionarlo, es decir, distintos algoritmos que proporcionen el mismo resultado. Por tanto debe quedar claro que no hay una solución única para construir un algoritmo. Fundamentalmente se debe conseguir que todos los algoritmos construidos reúnan las siguientes características:

- Que sean fácilmente comprensibles para quien pretenda leerlos.
- Deben obtener el resultado deseado de forma rápida.
- Deben ocupar el menor espacio posible.
- Es conveniente que el programa se encuentre subdividido en programas más elementales, es decir, el programa debe ser modular y estar "estructurado".
- Además debe ser razonablemente fácil de modificar. A ésto ayuda la modularidad y la documentación que acompañe al programa.

Hay diversas formas de abordar la construcción de un algoritmo. Cada uno de estos métodos de construcción de algoritmos tiene sus ventajas e inconvenientes. Uno de los más sencillos y utilizados es la realización de los diagramas de flujo que resuelven el problema gráficamente.

9.7 DIAGRAMAS DE FLUJO

Un **diagrama de flujo** o *flowchart* es la represetación gráfica de un algoritmo para la resolución de un programa. Indica el orden en que las operaciones son llevadas a cabo y

las decisiones que determinan esta secuencia. También recibe el nombre de organigrama, ordinograma, flujograma y otros.

Los diagramas de flujo están constituidos por una serie de símbolos que contienen los pasos del algoritmo. Estos símbolos van unidos entre sí por flechas que indican el sentido de la evolución del programa. Sobre ellos se puede hacer las anotaciones que se consideren precisas. Los símbolos más importantes empleados en la representación de los diagramas de flujo se muestran en la figura 9-3.

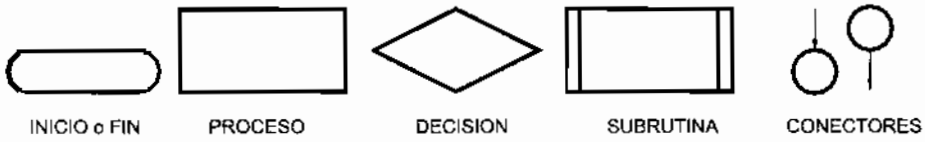


Figura 9-3 Símbolos básicos en los diagramas de flujo

- **Inicio o Fin.** Un óvalo o elipse representa el inicio o el final de la secuencia de operaciones.
- **Proceso.** Un rectángulo representa una operación de proceso, que son la mayor parte de las operaciones realizadas en un programa.
- **Decisión.** Un rombo representa una decisión que da lugar a una transferencia condicional de control. Produce una bifurcación entre dos caminos posibles, dependiendo de que la respuesta a la pregunta realizada sea SI o NO.
- **Subrutinas.** Este símbolo representa un conjunto de operaciones cuyo empleo se repite varias veces durante el programa. Se explica en profundidad en el próximo capítulo.
- **Conectores.** Indican el camino que sigue un programa muy largo que no cabe en una hoja. Como es muy importante mantener la claridad y el orden en los diagramas de flujo, estos conectores indican los puntos de ruptura y reanudación de la trayectoria de flujo, con el fin de evitar el cruce de líneas o permitir la continuación del diagrama en una hoja distinta. Los conectores se suelen representar con círculos identificados mediante un número o carácter, que sirve para identificar los conectores que enlazan una misma trayectoria de flujo.
- **Líneas y flechas.** Los símbolos estan conectados por líneas sólidas con puntas de flecha que indican el camino seguido por un programa. Nunca se deben cortar entre sí.

Mientras sea posible, el flujo debe ser de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. Los enunciados que indican las operaciones o decisiones asociadas con cada símbolo aparecen dentro de él. Estas frases no precisan ninguna formalidad, aunque se recomienda que sean suficientemente expresivas.

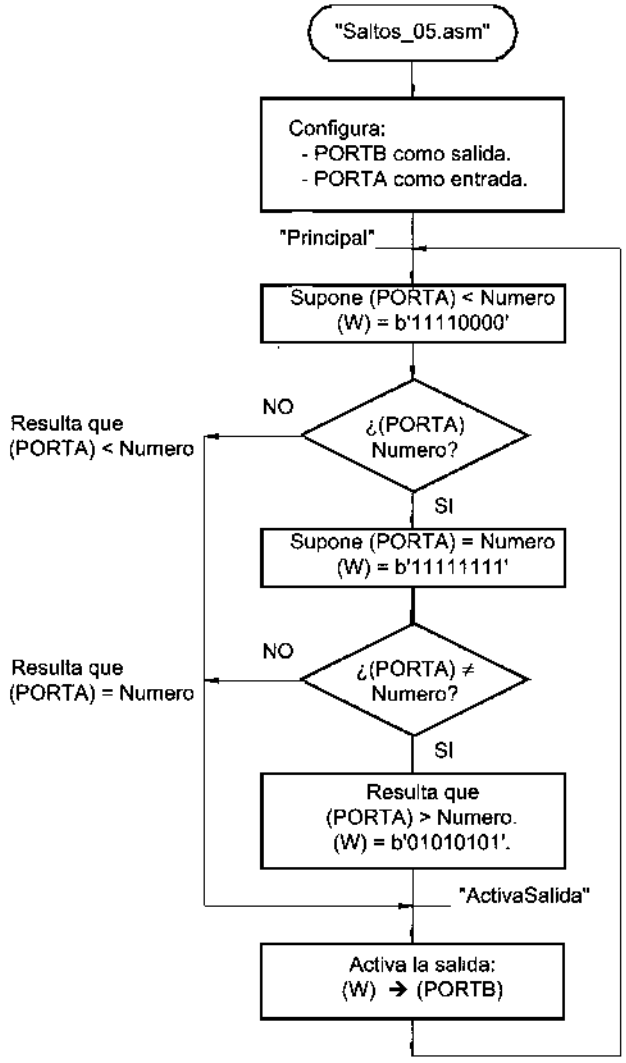


Figura 9-4 Diagrama de flujo del programa Saltos_05.asm

El diagrama de flujo es el equivalente en software de lo que es el diagrama de bloque en hardware. Sus finalidades son:

- Simplificar la codificación del algoritmo en el lenguaje particular del microcontrolador.
- Facilitar la comprensión del algoritmo por otras personas.

Los diagramas de flujo son herramientas que permiten "visualizar" el desarrollo de un programa. Emplear los diagramas de flujo para la construcción de algoritmos puede

resultar muy ilustrativo, tal como se muestra en el ejemplo descrito en la figura 9-4 que presenta la resolución del programa Saltos_05.asm descrito anteriormente.

9.8 MÁS DIRECTIVAS IMPORTANTES

En el capítulo 6 se explicaron las directivas más importantes. A continuación se exponen otras directivas muy utilizadas: *CBLOCK, ENDC* y *#DEFINE.*

9.8.1 CBLOCK y ENDC

En la mayoría de las aplicaciones el propósito de las directivas *CBLOCK (Define a Block of Constants)* y *ENDC (End Constant Block)* es asignar direcciones (generalmente de memoria RAM de datos) a muchas etiquetas. La lista queda enmarcada entre las directivas *CBLOCK* y *ENDC.*

Un ejemplo típico de utilización:

```
CBLOCK  0x0C    ; Las variables se posicionan a partir de esta posición de RAM.
Centenas        , La variable "Centenas" ocupa la posición 0x0C de RAM.
Decenas         , La variable "Decenas" ocupa la posición 0x0D de RAM.
Unidades        , La variable "Unidades" ocupa la posición 0x0E de RAM.
ENDC
```

El valor que acompaña a la directiva *CBLOCK* (0x0C en el anterior ejemplo), indica el valor de arranque para el primer nombre del bloque de etiquetas. Si este valor no es encontrado, la primera constante recibirá el valor inmediatamente superior al de la ultima constante del *CBLOCK* anteriormente definido. Por ejemplo, si a lo largo del programa del ejemplo anterior se encontrase la siguiente definición de variables, ocuparían las posiciones que se indican.

```
CBLOCK          ; Las variables se posicionan a partir de la posición de RAM definida
                ; por el último bloque CBLOCK.
Operando        , La variable "Operando" ocupa la posición 0x0F de RAM.
Resultado       , La variable "Resultado" ocupa la posición 0x10 de RAM.
Auxiliar        , La variable "Auxiliar" ocupa la posición 0x11 de RAM.
ENDC
```

Si el primer *CBLOCK* en el archivo fuente no define ningún comienzo los valores asignados empiezan con el cero, que corresponde a la zona SFR de la RAM de datos, normalmente no es correcto ya que sobrescribiría los datos de esta zona y el programa no funcionaría correctamente.

9.8.2 #DEFINE

(Define a Text Substitution Label). Su sintaxis es:

#DEFINE <name> [<string>]

Esta directiva define una cadena de sustitución de texto. Dondle quiera que *<name>* se encuentre, en el ensamblador se sustituirá por *<string>*.

Ejemplo 1:

```
#DEFINE  LED     PORTB,4          ; El LED se conecta en cstn línea
                 ...
         bsf     LED              ; Enciende el LED.
```

Ejemplo 2:

```
#DEFINE    Banco0    bcf  STATUS,RP0    ; Acceso al Ranw 0.
#DEFINE    Banco1    bsf  STATUS,RP0    ; Acceso al Banco 1.
#DEFINE    LED       PORTB,4            ; El LED se conecta en esta línea.
                 ...
Inicio
         Banco1                         ; Acceso al Banco 1.
         bcf       LED                  ; Configura esta línea como salida.
         Banco0                         ; Acceso al Banco 0.
         bsf       LED                  ; Enciende el diodo LED
                 ...
```

Esta directiva emula *#DEFINE* del ANSI C standard. Los símbolos definidos con este método no están disponibles para ser usados por el MPLAB.

9.9 CONVERSIÓN DE BINARIO NATURAL A BCD

La conversión de un numero expresado en binario natural a formato BCD *es* una de las operaciones más utilizadas en los programas con microcontrolador y que merece ser analizada en detalle. Por ejemplo el valor 124 expresado en binario natural seria 01111100, para expresarlo en BCD hay que separar las centenas, decenas y unidades quedando: 0001 0010 0100. La figura *9-5* explica el diagrama de flujo para resolver esta conversión. Un programa ejemplo que lo implementa, seria el descrito a continuación y que se puede comprobar sobre el circuito de la figura 9-6.

```
;*********************************** BCD_01.asm ************************************

; Un número binario de 8 bits es convertido a RCD. El resultado se guarda en tres posiciones
; de memorias llamadas Centenas, Docenas y Unidades. Además al final las unidades estarán en el
; nibble bajo del registro W y las decenas en el nibble alto. En los diodos LEDs conectados al
; puerto de salida se visualizarán las decenas y las unidades.

; El máximo número a convertir será el 255 que es el máximo valor que puede adquirir el
; número binario de entrada de 8 bits.

; El procedimiento utilizado es mediante restas de 10 tal como se explica en el siguiente
; ejemplo que trata de la conversión del número 124 a BCD:
```

```
;
; (Centenas)    {Decenas)    (Unidades)      ¿(Unidades)<10?      ¿(Decenas)=10?
;-------------  ----------   ------------    ----------------     ------------------------
;
;  0             0            124           NO, resta 10         Incrementa (Decenas).
;  0             1            114           NO, resta 10         NO. Incrementa (Decenas).
;  0             2            104           NO, resta 10         NO. Incrementa (Decenas).
;  0             3             94           NO, resta 10         NO. Incrementa (Decenas).
;  0             4             84           NO, resta 10         NO. Incrementa (Decenas).
;  0             5             74           NO, resta 10         NO. Incrementa (Decenas).
;  0             6             64           NO, resta 10         NO. Incrementa (Decenas).
;  0             7             54           NO, resta 10         NO. Incrementa (Decenas).
;  0             8             44           NO, resta 10         NO. Incrementa (Decenas).
;  0             9             34           NO, resta 10         NO. Incrementa (Decenas).
;  1             0             24           NO, resta 10         Si. (Decenas)=0, y además
;                                                                    incrementa (Centenas)
;  1             1             14           NO, resta 10         NO. Incrementa (Decenas)
;  1             2              4           Sí, se acabó.
;
; El número a convertir será la constante "Numero".
;
; ZONA DE DATOS *****************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C                 ; La zona de memoria de usuario comienza en esta
        Centenas                    ; dirección de memoria RAM de datos.
        Decenas                     ; Posición 0x0D de RAM.
        Unidades                    ; Posición 0x0E de RAM.
        ENDC

Numero  EQU     .124                ; Por ejemplo.

; ZONA DE CÓDIGOS ***************************************************************

        ORG     0                   ; El programa comienza en la dirección 0.
Inicio
        bsf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 1
        clrf    TRISB               ; las líneas del Puerto B se configuran como salida.
        bcf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 0
Principal
        clrf    Centenas            ; Carga los registros con el resultado inicial.
        clrf    Decenas             ; En principio (Centenas)=0 y (Decenas)=0.
        movlw   Numero
        movwf   Unidades            ; Se carga el número binario a convertir.
BCD_Resta10
        movlw   .10                 ; A las unidades se les va restando 10 en cada
        subwf   Unidades,W          ; pasada (W)=(Unidades)-10
        btfss   STATUS,C            ; ¿(C)=1?, ¿(W) positivo?, ¿(Unidades)>=10?
        goto    BIN_BCD_Fin         ; No, es menor de 10. Se acabó.
BCD_IncrementaDecenas
```

© RA-MA

Figura 9-5 Diagr

```
        movwf   Unidades            ; Recupera lo que queda por restar.
        incf    Decenas,F           ; Incrementa las decenas y comprueba si llega a
        movlw   .10                 ; 10. Lo hace mediante una resta.
        subwf   Decenas,W           ; (W)= (Decenas)-10.
        btfss   STATUS,C            ; ¿(C)=1?, ¿(W) positivo?, ¿(Decenas)>=10?
        goto    BCD_Resta10         ; No. Vuelve a dar otra pasada, restándole 10.
BCD_IncrementaCentenas
        clrf    Decenas             ; Pone a cero las decenas
        incf    Centenas,F          ; e incrementa las centenas.
        goto    BCD_Resta10         ; Otra pasada, resta 10 al número a convertir.
BIN_BCD_Fin
        swapf   Decenas,W           ; En el nibble alto de W también las decenas.
        addwf   Unidades,W          ; En el nibble bajo de W las unidades.
        movwf   PORTB               ; Se visualiza por el puerto de salida.
        sleep                       ; Se queda permanentemente en reposo.

        END                         ; Fin del programa.
```

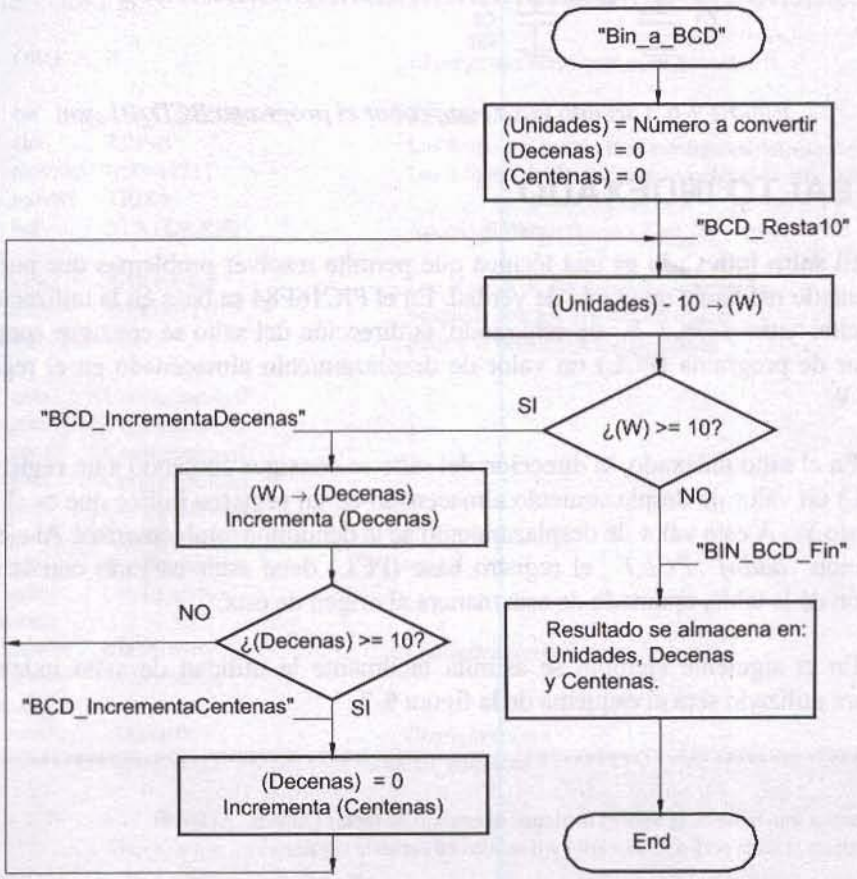


Figura 9-5 Diagrama de flujo para la conversión de un número binario natural a BCD

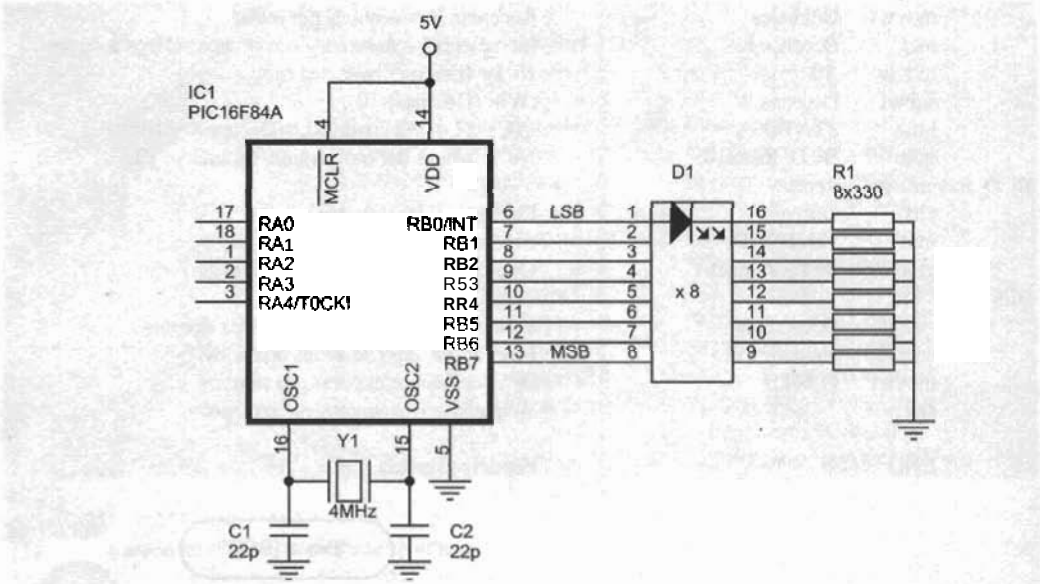


Figura 9-6 Circuito paro comprobar el programa BCD_01.asm

9.10 SALTO INDEXADO

El salto indexado es una técnica que permite resolver problemas que puedan ser representado mediante una tabla de verdad. En el PIC16F84 se basa en la utilización *de* la instrucción *addwf PCL,F*, de este modo, la dirección del salto se consigue sumando al contador de programa (PCL) un valor de desplazamiento almacenado en el registro de trabajo W.

En el salto indexado, la dirección del salto se consigue sumando a un registro base (el PCL) un valor de desplazamiento almacenado en un registro índice que es el registro de trabajo W. A este valor de desplazamiento se le denomina también *offset*. Al ejecutar la instrucción *addwf PCL,F* el registro base (PCL) debe estar cargado con la primera dirección de la tabla, apuntado de esta manera al origen de ésta.

En el siguiente ejemplo se asimila fácilmente la utilidad de salto indexado. El hardware utilizado será el esquema de la figura 9-7.

```
;********************************** Indexado_01.asm ***********************************

; Implementar una tabla de la verdad mediante el manejo de tablas grabadas en ROM.
; Por ejemplo, la tabla será de 3 entradas y 6 salidas tal como la siguiente:
;
;                C B A | S5 S4 S3 S2 S1 S0
;                ------|-------------------
;                0 0 0 | 0  0  1  0  1  0; (Configuración 0).
```

```
;                0 0 1 | a 0 1 0 0 1; (Configuración 1).
;                0 1 0 | 1 0 0 0 1 1; (Configuración 2).
;                0 1 1 | 0 0 1 1 1 1; (Configuración 3).
;                1 0 0 | 1 0 0 0 0 0; (Configuración 4).
;                1 0 1 | 0 0 0 1 1 1; (Configuración 5).
;                1 1 0 | 0 1 0 1 1 1; (Configuración 6).
;                1 1 1 | 1 1 1 1 1 1; (Configuración 7).
;
; Las entradas C, B. A se conectarán a las líneas del puerto A: RA2(C), RA1 (B) y RA0 (A).
; Las salidas se obtienen en el puerto B:
; RB5 (S5), RB4 (S4), RB3 (S3). RB2 (S2), RB1 (S1) y RB0 (S0).
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

; ZONA DE CÓDIGOS ******************************************************************************

        ORG     0                       ; El programa comienza en la dirección 0.
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        clrf    TRISB                   ; Las líneas del Puerto B se configuran como salida.
        movlw   b'00011111'             ; Las 5 líneas del Puerto A se configuran como entrada.
        movwf   TRISA
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
Principal
        movf    PORTA,W                 ; Leo el valor de las variables de entrada.
        andlw   b'00000111'             ; Se queda con los tres bits de entrada.
        addwf   PCL,F                   ; Salta a la configuración adecuada.
Tabla
        goto    Configuracion0
        goto    Configuracion1
        goto    Configuracion2
        goto    Configuracion3
        goto    Configuracion4
        goto    Configuracion5
        goto    Configuracion6
        goto    Configuracion7
Configuracion0
        movlw   b'00001010'             ; Configuración 0.
        goto    ActivaSalida
Configuracion1
        movlw   b'00001001'             ; Configuración 1.
        goto    ActivaSalida
Configuracion2
        movlw   b'00100011'             ; Configuración 2,
        goto    ActivaSalida
Configuracion3
        movlw   b'00001111'             ; Configuración 3.
        goto    ActivaSalida
Configuracion4
```

```
        movlw   b'00100000'         ; Configuración 4.
        goto    ActivaSalida
Configuracion5
        movlw   b'00000111'         ; Configuración 5.
                ActivaSalida
Configuracion6
        movlw   b'00010111'         ; Configuración 6.
        goto    ActivaSalida
Configuracion7
        movlw   b'00111111'         ; Configuración 7.
ActivaSalida
        movwf   PORTB               ; Visualiza por el puerto de salida
        goto    Principal

        END
```

En las soluciones de los ejercicios facilitadas en el CD-ROM que acompaña a este libro, se describe otra forma de implementación más eficaz mediante el programa Indexado_01B.asm.

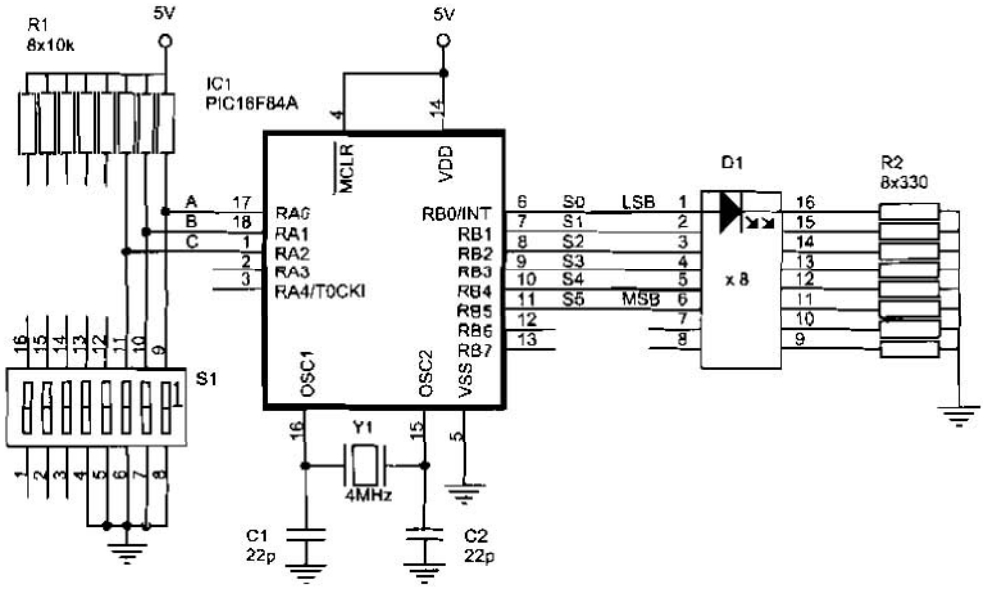


Figura 9-7 *Circuito para comprobar los programas de tabla de verdad*

9.11 SALTO INDEXADO DESCONTROLADO

Como ya se explicó en el tema 4, los 13 bits contenidos en el contador de programa y que direccionan la memoria de código están guardados en dos registros específicos (figura 9-8):

- El registro **PCL** guarda los 8 bits de menor peso, bits <7:0> del PC. Al tratarse de un registro localizado dentro del SFR (figura 4-1) se puede escribir y leer.
- Los bits <12:8> del PC se alojan en el registro **PCH**, que es un registro que no se puede leer ni escribir directamente. Para acceder a estos bits se utiliza el registro PCLATH.

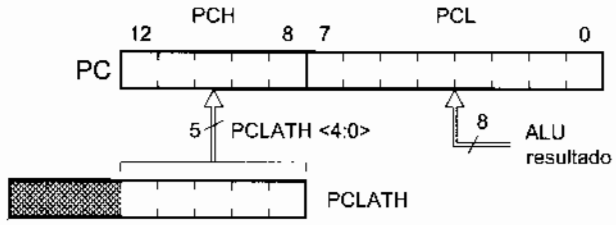


Figura 9-8 Composición del PC en instrucciones con PCL como destino

El **PCLATH** *(PC Latch High)* es un registro del SFR (figura 4-1) cuyos primeros 5 bits son transferidos al registro PCH del contador de programas, en las instrucciones que tienen por destino al PCL, como por ejemplo en la instrucción *addwf PCL,F* (figura 9-8).

Cuando se utiliza el salto indexado hay que asegurarse que al ejecutar el salto de la instrucción *addwf PCL,F*, el registro PCLATH tiene el valor correcto, porque si esto no es así, el salto es impredecible. Esto suele ocurrir cuando el valor de PCL se desborda sin que el registro PCLATH se incremente convenientemente. El siguiente programa es una prueba de un salto indexado descontrolado.

```
;********************************** Indexado_03.asm ***************************************
;
; Programa para comprobar el efecto de un uso incorrecto de la instrucción "addwf PCL,F".
; Se debe comprobar con el simulador del MPLAB.
;
; ZONA DE DATOS ******************************************************************************

        INCLUDE <P16F84.INC>
        LIST    P=16F84

; ZONA DE CÓDIGOS ****************************************************************************

        ORG     0
Inicio
        goto    Principal       ; Posición 000h de memoria de programa.
        clrw                    ; Posición 001h de memoria de programa.
        goto    Inicio          ; Posición 002h de memoria de programa.

        ORG     0xFE            ; Fija la posición de la memoria de programa en 0x0FE.
Principal
        movlw   .1              ; Posición 0FEh de memoria de programa.
        addwf   PCL,F           ; Posición 0FFh de memoria de programa.
```

```
        goto    Configuracion0    ; Posición 100h de memoria de programa.
        goto    Configuracion1    ; Posición 101h de memoria de programa.

; La intención de la instrucción "addwf PCL,F" es saltar a la posición de la instrucción
; "goto Configuracion1", que está en la posición 101h de memoria de programa pero, como el
; contenido del registro PCLATH no ha cambiado de valor, realmente salta a la posición que
; indica el contador de programa que en este caso es (PC)=(PCLATH)(PCL) = 0001h, es decir, ha
; saltado a la posición donde se encuentra la instrucción "clrw". El salto se ha descontrolado.

Configuracion0
Configuracion1

        END                       ; Fin del programa.
```

Una manera muy sencilla de resolver este problema, consiste en no utilizar la instrucción *addwf PCL,F* cuando el salto llega más allá de la dirección 0FFh de la memoria de programa o prevea que el PCL se va a desbordar. De todas formas, en la nota de aplicación AN556 del fabricante describe el manejo correcto del registro PCLATH.

9.12 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores, diseñar, ensamblar, simular, grabar el microcontrolador y comprobar los siguientes programas para el esquema de la figura 1-2. El lector puede introducir todas las mejoras que considere conveniente.

Saltos_01.asm: El Puerto B, que actúa como salida es controlado por el bit 0 del Puerto A, que actúa como entrada. De manera tal, que:

- Si el bit 0 del PORTA = 1, se encienden todos los LEDs de salida.
- Si el bit 0 del PORTA = 0, sólo se encienden los LEDs del nibble alto.

Saltos_02.asm: Compara el dato del puerto de entrada PORTA con un número (por ejemplo, el 13). Pueden darse dos posibilidades:

- Si (PORTA) = Numero, se encienden todos los LEDs de salida.
- Si (PORTA) ≠ Numero, se activan los LEDs pares y se apagan los impares.

Saltos_03.asm: Compara el dato introducido por el Puerto A que actúa como entrada con un número. Pueden darse dos posibilidades:

- Si (PORTA) es mayor o igual que "Numero" se encienden todos los LEDs.
- Si (PORTA) es menor que "Numero" se activan los LEDs pares de la salida.

Saltos_04.asm: Compara el dato del puerto de entrada PORTA con un número. Pueden darse dos posibilidades:

- Si (PORTA) es mayor que "Numero" se encienden todos los LEDs de salida.

- Si (PORTA) es menor o igual que "Numero" se activan los LEDs pares.

Saltos_05.asm: Compara el dato del puerto de entrada PORTA con un número. Pueden darse tres posibilidades:

- Si (PORTA) = Numero se encienden todos los LEDs de salida.
- Si (PORTA) > Numero se activan los LEDs pares de salida.
- Si (PORTA) < Numero sólo se encienden los LEDs del nibble alto.

Saltos_06.asm: Lee las tres líneas más bajas del puerto A, que fijan el número de LEDs que se iluminarán a la salida. Así por ejemplo, si lee el dato "---00101" (cinco) en los LEDs conectados al Puerto B se iluminará el código "00011111", encendiéndose cinco diodos LEDs (D4, D3, D2, D1 y D0). Se utilizará la instrucción de rotación *rlf*.

BCD_01.asm: Un número binario de 8 bits es convertido a BCD. El resultado se guarda en tres posiciones de memorias llamadas Centenas, Decenas y Unidades. Además al final las decenas y unidades estarán en el nibble alto y bajo respectivamente del registro W. En los LEDs conectados al puerto de salida se visualizarán las decenas y las unidades. El número a convertir será la constante "Numero" que como máximo tendrá un valor de b'11111111' (255 decimal).

Indexado_01.asm: Implementar una tabla de la verdad mediante el manejo de saltos indexados. La tabla será ideada por el lector con el número de entradas y salidas que desee y que sea físicamente posible implementar por el microcontrolador.

Indexado_02.asm: Diseñar un programa para controlar el nivel del depósito de líquido de la figura 9-9. Utiliza (entre paréntesis las líneas del microcontrolador conectadas):

- Tres sondas detectoras: SV, Sonda de Vacío (RA0); SLL, Sonda de Llenado (RA1); SR, Sonda de Rebose (RA2).
- Dos bombas de agua: B1 (RB5), B2 (RB6).
- Cinco indicadores: Vacio (RB0); Llenandose (RB1); Lleno (RB2); Rebose (RB3); Alarma (RB4).

Su funcionamiento:

- Cuando ninguna de las sondas está mojada se entiende que el depósito está vacío y se accionarán las dos bombas. El indicador "Vacio" se iluminará .
- Cuando el nivel del líquido toque la sonda de vacío "SV" seguirá llenándose el depósito con las dos bombas. El indicador "Llenandose" se ilumina.
- Cuando el nivel del líquido toque la sonda de llenado "SLL" se para la bomba B2, quedando la bomba B1 activada en modo mantenimiento. El indicador "Lleno" se ilumina.

- Si el nivel del líquido moja la sonda de rebose "SR" se apaga también la bomba B1, quedando las dos bombas fuera de servicio. El indicador "Rebose" se enciende.
- Cuando se produce un fallo o mal funcionamiento en las sondas de entrada (por ejemplo que se active la sonda de rebose y no la de vacío) se paran las dos bombas. El indicador "Alarma" se ilumina.

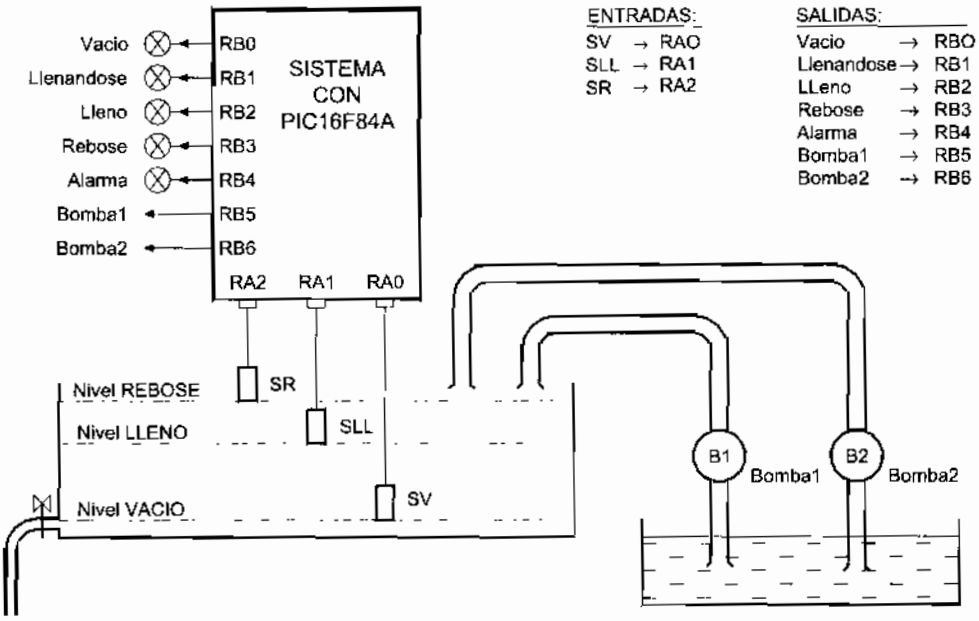


Figura 9-9 Control de un depósito de líquidos mediante microcontrolador

Indexado_03.asm: Realizar un programa ejemplo en el que se produzca un salto indexado descontrolado debido a un uso incorrecto de la instrucción *addwf PCL,F*.

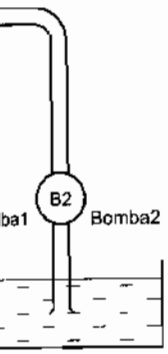
Fibonacci.asm: Obtener el último término de la secuencia de Fibonacci menor de 256 y sacar ese valor por el puerto de salida. Recordar que los términos de la secuencia de Fibonacci son: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, ... En esta secuencia los dos primeros números (0 y 1) se denominan "semillas" de la secuencia, ya que son conocidos de antemano y a partir de ellos se construyen los demás términos, de acuerdo con la regla de que cada número es la suma de los dos términos que le preceden. Por ejemplo, el término que sigue al 55 será 34 + 55= 89.

Previamente es conveniente realizar el diagrama de flujo. (La solución se ofrece en el documento Fibonacci.doc que se encuentra en el CD-ROM que acompaña a este libro).

apaga también la
dicador "Rebose"

sondas de entrada
acío) se paran las

SALIDAS:
Vacio → RBO
Llenandose → RB1
LLeno → RB2
Rebose → RB3
Alarma → RB4
Bomba1 → RB5
Bomba2 → RB6



ontrolador

produzca un salto
dwf PCL,F.

ibonacci menor de
de la secuencia de
a los dos primeros
son conocidos de
erdo con la regla de
ejemplo, el término

olución se ofrece en
mpaña a este libro).

CAPÍTULO 10

SUBRUTINAS

En la actualidad los programas tienden a diseñarse de una forma modular: cada tarea específica es realizada por un "módulo" determinado. En este capítulo trataremos estas técnicas para realizar códigos de programa más cortos y eficaces.

10.1 SUBRUTINAS

Algunas veces el mismo grupo de instrucciones es ejecutado en diferentes partes de un programa. Según el procedimiento planteado hasta el presente, cada vez que dicho tramo de programa es requerido deberá insertarse dentro del programa principal tantas veces como éste sea necesario. Sin embargo, aunque esta parezca la forma más directa de atacar el problema, la mayoría de las veces es la más ineficiente, ya que requiere mayor extensión de los programas y, en consecuencia, mayor utilización de la memoria ROM de programa del microcontrolador. El flujo del programa resulta meramente secuencial, tal como se muestra en el ejemplo de la figura 10-1, donde un mismo proceso se repite 3 veces.

La solución más efectiva en términos de ahorro de memoria, se obtiene si el grupo de instrucciones que se repite aparece una sola vez en el programa, pero con capacidad para ser ejecutado desde todos los puntos en que aquél se pide, tal como se muestra en la figura 10-1. La estructura de programación que implementa esta solución es la **subrutina**.

Una subrutina es un conjunto de instrucciones al que se tiene acceso desde cualquier punto del programa principal. Es decir, una subrutina es un subprograma que se ejecuta cada vez que el programa principal lo necesita.

Como una subrutina conceptualmente queda fuera del flujo secuencial del programa principal, son necesarios ciertos mecanismos para poder llegar a ella y, una vez que se han ejecutado las instrucciones que la componen, debe ser posible regresar al punto donde se quedó la ejecución del programa.

La acción de pasar del programa principal a la subrutina se denomina "llamada a la subrutina" y se realiza con la instrucción *call* que se debe intercalar en el programa principal, tal como se describe en la figura 10-1.

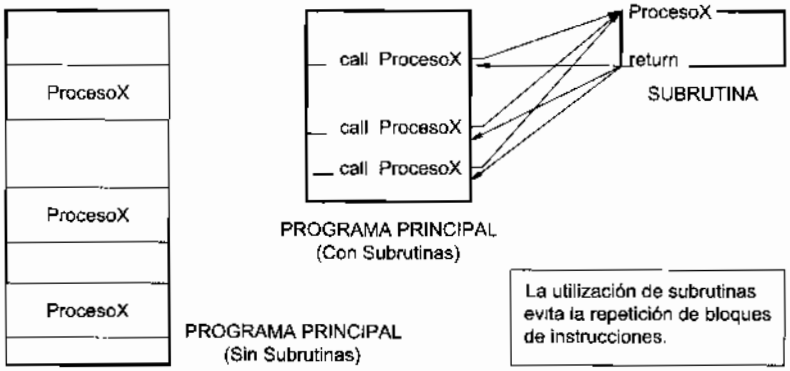


Figura 10-1 Utilización de las subrutinas

La acción de volver al programa principal después de llevar a cabo las tareas determinadas por la subrutina se llama "retorno de la subrutina" y se realiza con la instrucción *return*, con la que debe finalizar siempre las subrutinas (figura 10-1). Efectivamente, *return* es un "salto inteligente" que sabe que tiene que volver a la instrucción inmediatamente después del *call* que llamó a la subrutina.

La figura 10-1 ilustra el procedimiento de ejecución del programa con subrutinas. Las instrucciones del programa principal son ejecutadas sucesivamente hasta que se encuentra la primera instrucción *call ProcesoX*, después de lo cual, la subrutina ProcesoX se ejecuta como cualquier otra sección del programa. La última instrucción de la subrutina es *return* que causa el regreso de la secuencia de ejecución al programa principal. La instrucción ejecutada después del *return* es la que sigue al primer *call ProcesoX* en el programa principal. La ejecución del programa continúa normalmente hasta que aparece una segunda llamada al ProcesoX, *call ProcesoX*, de nuevo se transfiere el control a la subrutina y la subrutina ProcesoX es ejecutada. Al llegar a la instrucción *return* ocurre un nuevo retorno al programa principal, esta vez a la instrucción siguiente al segundo *call ProcesoX*. Lo mismo ocurre con el tercer *call ProcesoX*.

El programa con subrutinas de la figura 10-1 podría tener el siguiente formato:

```
        ....
Principal                       ; Comienzo del programa principal.
        ....
        call    ProcesoX        ; El control del programa pasa a la subrutina "ProcesoX".
        ....                    ; Después de ejecutar la subrutina la ejecución del programa
        ....                    ; vuelve a la instrucción inmediatamente después de este "call".
        ....
        call    ProcesoX        ; El control del programa pasa a la subrutina "ProcesoX".
        ....                    ; Después de ejecutar la subrutina la ejecución del programa
        ....                    ; vuelve a la instrucción inmediatamente después de este "call".
        ....
        call    ProcesoX        ; El control del programa pasa a la subrutina "ProcesoX".
        ....                    ; Después de ejecutar la subrutina la ejecución del programa
        ....                    ; vuelve a la instrucción inmediatamente después de este "call".
        ....
        ....                    ; Aquí la instrucción final del programa principal.

; Subrutina "ProcesoX" ----------------------------------------------------------------------------
        ....
ProcesoX
        ....                    ; Aquí las instrucciones de la subrutina.
        ....
        return                  ; La subrutina devuelve con "return" el control al programa principal
        ....
        ....

        END                     ; La directiva "END" se pondrá al final del programa.
```

La principal ventaja de las subrutinas es que la extensión de los programas se hace mucho más corta, tal como se aprecia en la figura. No obstante, las subrutinas presentan una desventaja que se puede detectar comparándolo con el flujo de ejecución del programa sin subrutinas de la misma figura. Se observa que el uso de subrutinas provoca una ejecución más lenta debido que se tienen que ejecutar dos instrucciones extras *call* y *return* cada vez que se realiza una llamada y el obligatorio retorno de subrutina.

10.2 SUBRUTINAS ANIDADAS

Cuando una subrutina llama a otra subrutina se produce la situación conocida como **anidamiento de subrutinas**, es decir, hay subrutinas anidadas dentro de otras. Cada *call* sucesivo sin que intervenga un *return* crea un nivel de anidamiento adicional. Esto se ilustra en la figura 10-2, donde este programa podría tener el siguiente formato:

```
        ....
Principal                       ; Comienzo del programa principal.
        ....
        call    Proceso1        ; El control del programa pasa a la subrutina "Proceso1".
        ....                    ; Después de ejecutar la subrutina "Proceso1" la ejecución del programa
        ....                    ; vuelve a la instrucción inmediatamente después del "call".
```

```
        ....            ; Aquí la instrucción final del programa principal.

; Subrutina "Proceso1" ----------------------------------------------------------------------------
; ....
Proceso1
        ....            ; Aquí las instrucciones de la subrutina "Proceso1".
        ....
        call    Proceso2 ; El control del programa pasa a la subrutina "Proceso2".
        ....            ; Después de ejecutar la subrutina "Proceso2" la ejecución del programa
        ....            ; vuelve a la instrucción inmediatamente después del "call".

        return          ; Esta subrutina devuelve el control al programa principal.

; Subrutina "Proceso2" ----------------------------------------------------------------------------
; ....
Proceso2
        ....            ; Aquí las instrucciones de la subrutina "Proceso2".
        ....
        call    Proceso3 ; El control del programa pasa a la subrutina "Proceso3".
        ....            ; Después de ejecutar la subrutina "Proceso3" la ejecución del programa
        ....            ; vuelve a la instrucción inmediatamente después del "call".

        return

; Subrutina "Proceso3" ----------------------------------------------------------------------------
; ....
Proceso3
        ....            ; Aquí las instrucciones de la subrutina "Proceso3".
        ....
        return
        ....
        ....
        END             ; La directiva "END" se pondrá al final del programa.
```

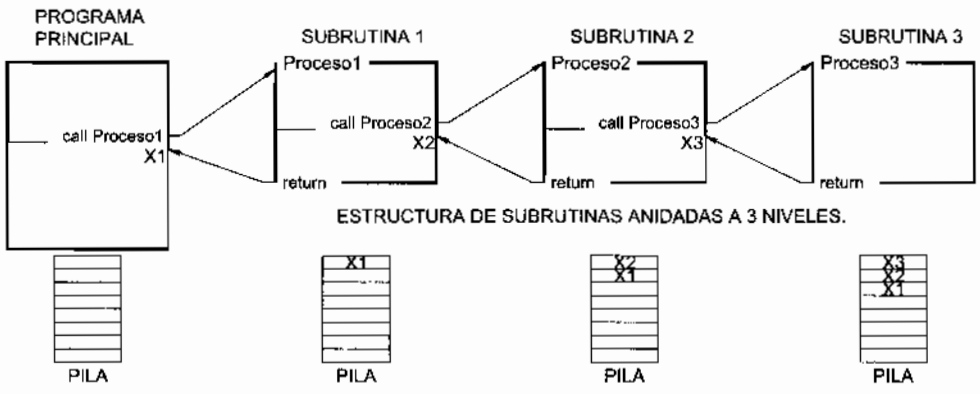


Figura 10-2 Subrutinas anidadas

El nivel
microcontrolador
más de ochos sub

10.3 LA P

La pila *(st*
de la memoria de
Su estructura es
es el primero que

Figura 10

El PIC16F
13 bits cada uno d

La manera
call, que almacen

El nivel de anidamiento está limitado para cada microcontrolador y en el microcontrolador PIC16F84 es de 8 niveles. Es decir, para un PIC16F84 no puede haber más de ochos subrutinas anidadas como las esquematizadas en la figura 10-2.

10.3 LA PILA

La pila *(stack* en inglés) es una zona de memoria que se encuentra separada tanto de la memoria de programa como de la de datos dentro del microcontrolador (figura 4-1). Su estructura es del tipo LIFO *(Last In First Out)* por lo que el último dato que se guarda es el primero que sale.

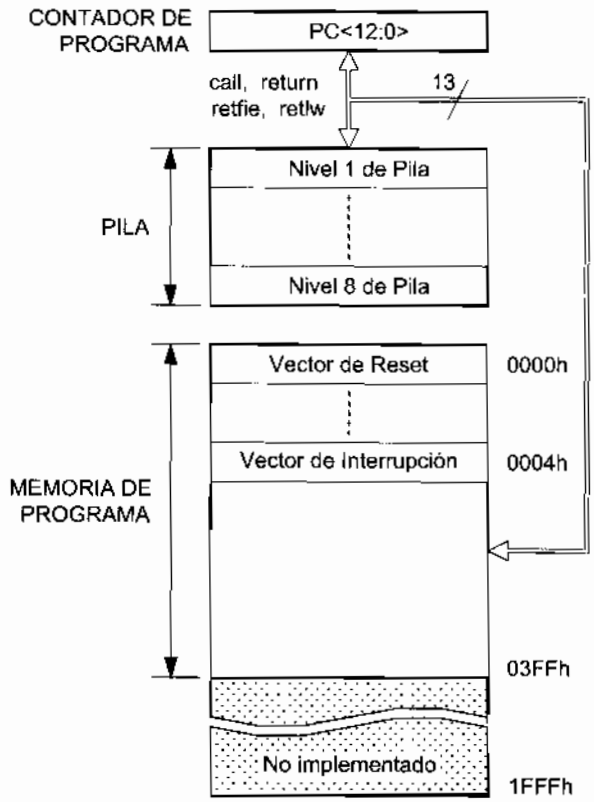


Figura 10-3 Estructura de la pila y memoria de programa del PIC16F84

El PIC16F84 dispone de una pila con ocho niveles o registros de una longitud de 13 bits cada uno de ellos (figura 10-3).

La manera de cargar la pila es a través de la llamada a subrutina con la instrucción *call,* que almacena el contenido del contador de programa (PC) en la posición superior de

la pila. Para recuperar el contenido de la pila en el PC, hay que ejecutar la instrucción de retorno de subrutina *return*.

10.4 INSTRUCCIONES "CALL" Y "RETURN"

La localización de una subrutina se identifica por la dirección de su primera instrucción. El efecto de la instrucción *call* es provocar que la ejecución se transfiera a la subrutina. De esto se desprende que la mencionada instrucción contenga la dirección de la primera posición de memoria ocupada por la subrutina (figura 10-4).

Por otro lado, la instrucción *return* que provoca el retorno al programa principal, debe "recordar" la localización de la instrucción que sigue al *call*. Esto es posible sólo si la dirección de esa instrucción ha sido preservada en una zona de memoria, que no es otra que la pila.

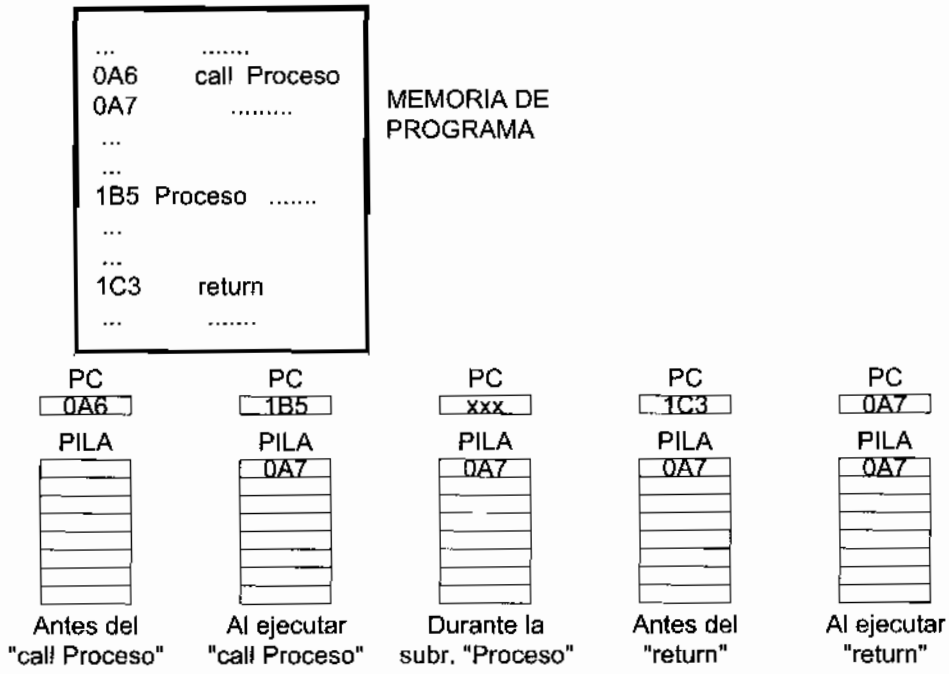


Figura 10-4 Mecanismo de funcionamiento de una subrutina

Antes de transferir el control a una subrutina, la instrucción *call* se encarga de almacenar en la pila la dirección de la instrucción que le sigue. Esto es así porque el contador de programa se incrementa automáticamente cada vez que se usa para obtener una instrucción de la memoria de programa, en el momento en que el microprocesador ejecuta una instrucción el PC ya se encuentra apuntando a la dirección de la siguiente instrucción. Por lo tanto, cuando la instrucción *call* deposita en la pila el contenido del

PC, lo que efectivamente está preservando es la dirección del punto de retorno. La figura 10-4 ilustra este mecanismo.

La transferencia de la secuencia de ejecución a la subrutina se logra cargando el PC con la dirección contenida en la instrucción *call*. De esta forma, la siguiente instrucción que se obtiene de la memoria proviene de la subrutina.

La ejecución de la instrucción *return* extrae la dirección almacenada en la pila y la transfiere al PC. Así, la próxima instrucción que se ejecuta después del *return* es precisamente la siguiente al *call* (que es la que se había guardado previamente en la pila), regresando el control al programa principal.

En las subrutinas anidadas, el efecto de cada instrucción *call* es guardar en la pila la dirección apropiada para el retorno. La instrucción *return* y sus efectos en la pila aseguran que el control del programa eventualmente regrese a la instrucción siguiente al primer *call*, figura 10-2. El número de subrutinas anidadas está limitado por el tamaño de la pila de cada microcontrolador. En el PIC16F84 la pila tiene un tamaño de 8 posiciones, por tanto el anidamiento máximo es de 8 niveles. No hay ningún mecanismo hardware que indique desbordamiento de la pila, debe ser el diseñador del programa quien debe cuidar que esto no se produzca.

10.5 EJEMPLO DE UTILIZACIÓN DE LAS SUBRUTINAS

A continuación se muestra un útil programa ejemplo de utilización de una subrutina para el circuito de la figura 10-5.

```
;********************************** Subrutinas_01.asm ***********************************
;
; Un número binario de 8 bits es convertido a BCD. El resultado se guarda en tres
; posiciones de memorias RAM de datos llamadas Centenas, Decenas y Unidades.
; Finalmente también las unidades y las decenas se visualizarán en los diodos LEDs
; conectados al Puerto B. El número a convertir será la constante "Numero".
;
; Realizar este programa utilizando una subrutina que se llame BIN_a_BCD.
;
; ZONA DE DATOS ****************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C                     ; En esta posición empieza la RAM de usuario.
        ENDC

Numero  EQU     .124                    ; Por ejemplo.

; ZONA DE CÓDIGOS **************************************************************************
```



Al ejecutar "return"

```
        ORG     0                       ; El programa comienza en la dirección 0.
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        clrf    TRISB                   ; Las líneas del Puerto B se configuran como salida.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
Principal
        movlw   Numero
        call    BIN_a_BCD
        movwf   PORTB                   ; El resultado se visualiza por la salida.
        goto    $                       ; Se queda permanentemente en este bucle.

; Subrutina "BIN_a_BCD" ---------------------------------------------------------
;
; Un número binario de 8 bits es convertido en BCD. El procedimiento utilizado es mediante
; restas de 10, tal como se explicó en el capítulo 9.
;
; Entrada: En el registro W el número binario a convertir.
; Salidas: En (Centenas), (Decenas) y (Unidades).
;          También las decenas (nibble alto) y unidades (nibble bajo) en el registro (W).

        CBLOCK                          ; En las subrutinas no se debe fijar la dirección
        Centenas                        ; de la RAM de usuario. Definida a continuación de
        Decenas                         ; la última asignada.
        Unidades
        ENDC
;
BIN_a_BCD
        clrf    Centenas                ; Carga los registros con el resultado inicial.
        clrf    Decenas                 ; En principio (Centenas)=0 y (Decenas)=0.
        movwf   Unidades                ; Se carga el número binario a convertir.
Resta10
        movlw   .10                     ; A las unidades se le va restando 10 en cada
        subwf   Unidades,W              ; pasada. (W)=(Unidades)-10.
        btfss   STATUS,C                ; ¿(Unidades)>=10?, ¿(W) positivo?, ¿C=1?
        goto    Fin_BIN_BCD             ; No, es menor de 10. Se acabó.
IncrementaDecenas
        movwf   Unidades                ; Recupera lo que queda por restar.
        incf    Decenas,F               ; Incrementa las decenas y comprueba si ha
        movlw   .10                     ; llegado a 10. Lo hace mediante una resta.
        subwf   Decenas,W               ; (W)=(Decenas)-10).
        btfss   STATUS,C                ; ¿C=1?, ¿(W) positivo?, ¿C=1?
        goto    Resta10                 ; No. Vuelve a dar otra pasada, restándole 10.
IncrementaCentenas
        clrf    Decenas                 ; Pone a cero las decenas
        incf    Centenas,F              ; e incrementa las centenas.
        goto    Resta10                 ; Otra pasada: Resta 10 al número a convertir.
Fin_BIN_BCD
        swapf   Decenas,W               ; En el nibbe alto de (W) también las decenas.
        addwf   Unidades,W              ; En el nibble bajo de (W) las unidades.
        return                          ; Vuelve al programa principal.

        END                             ; Fin del programa..
```

10.6 VENTAJAS DE LAS SUBRUTINAS

El empleo de subrutinas aporta muchas ventajas, entre las que destacan:

- Se pueden escribir como subrutinas secciones de código y ser empleadas en muchos programas (por ejemplo, la subrutina de conversión de un número binario natural a BCD).
- Dan a los programas un carácter modular. Se pueden codificar diferentes módulos para usarlos en cualquier programa obteniendo así una librería de subrutinas.
- Reduce notablemente el tiempo de programación y la detección de errores.
- El código es más fácil de interpretar, dado que las instrucciones de las subrutinas no aparecen en el programa principal. Sólo figuran las llamadas *call*.

10.7 LIBRERÍA DE SUBRUTINAS

Es frecuente necesitar más de una subrutina en los programas. También es habitual que algunas subrutinas se utilicen en varios programas. En estos casos es conveniente disponer de bibliotecas de subrutinas denominadas **librerías.**

En cada programa se cargan las subrutinas que se precisen. El ensamblador MPASM dispone de una directiva denominada ***INCLUDE*** que realiza esta función "pegando" el fichero de referencia en el programa. Dicho fichero se inserta en el código durante el proceso de ensamblado.

10.8 DIRECTIVA "INCLUDE"

El formato de la directiva *INCLUDE* es:

INCLUDE <include_file>

El fichero especificado por *<include_file>* es leído como un fichero fuente. El efecto es el mismo que si el texto entero del *<include_file>* hubiera sido insertado dentro del fichero origen en la localización donde esta directiva se encuentre. Es muy importante tener en cuenta que este fichero *<include_file>* no debe finalizar con la directiva *END*, la cual debe ir situada en el programa principal. Este error es muy frecuente y ocasiona muchos quebraderos de cabeza a los programadores noveles.

Esta directiva se ha usado hasta ahora en todos los ejercicios cuando se ha incluido al principio en los programas:

```
INCLUDE <P16F84A.INC>
```

Con la directiva anterior lo que se hace es añadir al programa la definición de los registros de SFR y de sus bits.

El *<include_file>* puede ir encerrado entre comillas o entre signos < >, tal como se indica en el ejemplo:

```
INCLUDE "c:\sys\sysdefs.inc"        ; Definiciones del sistema.
INCLUDE <P16F84A.INC>               ; Definiciones de algunos registros.
```

Si es especificada la trayectoria completa del fichero *<include_file>*, sólo en ese trayecto será buscado. En caso contrario el orden de búsqueda será: directorio actual de trabajo, directorio del fichero fuente y, por último, directorio del fichero ejecutable MPASM.EXE.

La extensión "*.INC" no es obligatoria, aunque se recomienda su utilización para diferenciarlos de los programas propiamente dichos con extensión "*.asm".

Los ficheros *include* a su vez pueden tener otras directivas *INCLUDE*, pero no es recomendable ya que puede provocar confusión. De todas formas este anidamiento tampoco puede ser ilimitado, puesto que el MPASM sólo permite hasta seis niveles.

El siguiente programa ejemplo llamado Subrutinas_02.asm, muestra la utilización de una subrutina incluida en una librería de programas BIN_BCD.INC. Este programa se puede comprobar en el circuito de la figura 9-6.

```
;********************************** Subrutinas_02.asm *********************************
;
; Repetir el programa anterior de conversión de un número binario a decimal pero
; utilizando la libreria "BIN_BCD.INC".
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C                 ; En esta posición empieza la RAM de usuario.
        ENDC

Numero  EQU     .124                ; Por ejemplo.

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0                   ; El programa comienza en la dirección 0.
Inicio
        bsf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 1.
        clrf    TRISB               ; Líneas del Puerto B configuradas como salida.
        bcf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 0.
Principal
        movlw   Numero
        call    BIN_a_BCD
        movwf   PORTB               ; El resultado se visualiza por la salida.
        goto    $                   ; Se queda permanentemente en este bucle.
```

```
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>          ; La subrutina se añadirá al final del programa
                                       ; principal
        END                            ; Fin del programa.
```

La subrutina BIN_a_BCD se localiza en la librería BIN_BCD.INC incluida al final del programa mediante la directiva INCLUDE. Esta librería podría ser:

```
;********************************* Librería "BIN_BCD.INC" *********************************
;
; Un número binario natural de 8 bits es convertido a BCD. El resultado se guarda en tres
; posiciones de memorias llamadas: BCD_Centenas, BCD_Decenas y BCD_Unidades.
;
; El procedimiento utilizado es mediante restas de 10, tal como se explicó en el capítulo 9.
;
; Entrada: En el registro W el número binario natural a convertir.
; Salidas: En (BCD_Centenas), (BCD_Decenas) y (BCD_Unidades).
;          En el registro W también las decenas (nibble alto) y unidades (nibble bajo).

; Subrutina "BIN_a_BCD" ----------------------------------------------------------------

        CBLOCK                         ; En las subrutinas no se debe fijar la dirección
        BCD_Centenas                   ; de la RAM de usuario. Se toma a continuación de
        BCD_Decenas                    ; la última asignada.
        BCD_Unidades
        ENDC
;
BIN_a_BCD
        clrf    BCD_Centenas           ; Carga los registros con el resultado inicial.
        clrf    BCD_Decenas            ; En principio las centenas y decenas a cero.
        movwf   BCD_Unidades           ; Se carga el número binario a convertir.
BCD_Resta10
        movlw   .10                    ; A las unidades se les va restando 10 en cada
        subwf   BCD_Unidades,W         ; pasada. (W)=(BCD_Unidades) -10.
        btfss   STATUS,C               ; ¿C = 1?, ¿(W) positivo?, ¿(BCD_Unidades)>=10?
        goto    BIN_BCD_Fin            ; No, es menor de 10. Se acabó.
BCD_IncrementaDecenas
        movwf   BCD_Unidades           ; Recupera lo que queda por restar.
        incf    BCD_Decenas,F          ; Incrementa las decenas y comprueba si ha llegado
        movlw   .10                    ; a 10. Lo hace mediante una resta.
        subwf   BCD_Decenas,W          ; (W)=(BCD_Decenas)-10).
        btfss   STATUS,C               ; ¿C = 1?, ¿(W) positivo?, ¿(BCD_Decenas)>=10?
        goto    BCD_Resta10            ; No. Vuelve a dar otra pasada, restándole 10 a
BCD_IncrementaCentenas                 ; las unidades.
        clrf    BCD_Decenas            ; Pone a cero las decenas
        incf    BCD_Centenas,F         ; e incrementa las centenas.
        goto    BCD_Resta10            : Otra pasada: Resta 10 al número a convertir.
BIN_BCD_Fin
        swapf   BCD_Decenas,W          ; En el nibble alto de (W) también las decenas.
        addwf   BCD_Unidades,W         ; En el nibble bajo de (W) las unidades.
        return                         ; Vuelve al programa principal.

; La directiva "END" se debe poner en el programa principal no aquí.
```

Se observa como en la librería de subrutinas la directiva *CBLOCK* no está direccionada y como esta librería NO acaba con *END*.

El fichero Subrutinas_02.lst contiene el ensamblado completo del programa donde se aprecia como la directiva *INCLUDE* "pega" el fichero BIN_BCD.INC dentro del programa principal. A continuación se exponen los fragmentos más importantes de este fichero. Se recomienda su análisis completo tal como se sugiere en un ejercicio de la práctica de laboratorio del final del capítulo:

```
MPASM 03.30.01 Released        SUBRUTINAS_02.ASM  7-2-2003  17:28:00       PAGE  1

LOC  OBJECT CODE    LINE SOURCE TEXT
  VALUE

                    00001 ;********************************** Subrutinas_02.asm ********************
                    00002 ;
                    00003 ; Repetir el programa anterior de conversión de un número binario a decimal pero
                    00004 ; utilizando la libreria "BIN_BCD.INC".
                    00005 ;
                    00006 ; ZONA DE DATOS *****************************************************
                    00007
2007 3FF1           00008       __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
                    00009       LIST   P=16F84A
                    00010       INCLUDE <P16F84A.INC>
                    00001       LIST
                    00002       ; P16F84A.INC  Standard Header File, Version 2.00    Microchip Technology, Inc.
                    00134       LIST
                    00011
                    00012       CBLOCK  0x0C              ; En esta posición empieza la RAM de usuario.
                    00013       ENDC
                    00014
0000007C            00015 Numero  EQU    .124             ; Por ejemplo.
                    00016
                    00017 ; ZONA DE CÓDIGOS ****************************************************
                    00018
0000                00019       ORG    0                 ; El programa comienza en esta dirección
0000                00020 Inicio
0000 1683           00021       bsf       STATUS,RP0     ; Acceso al banco 1.
0001 0186           00022       clrf      TRISB          ; Líneas del Puerto B configuradas como salidas.
0002 1283           00023       bcf       STATUS,RP0     ; Acceso al banco 0.
0003                00024 Principal
0003 307C           00025       movlw     Numero
0004 2007           00026       call      BIN_a_BCD
0005 0086           00027       movwf     PORTB          ; El resultado se visualiza por la salida.
0006 2806           00028       goto      $              ; Se queda permanentemente en este bucle.
                    00029
                    00030       INCLUDE <BIN_BCD.INC>    ; La subrutina se añadirá al final del programa
                    00001 ;********************************** Librería "BIN_BCD.INC" **************
                    00002 ;
                    00003 ; Un número binario de 8 bits es convertido en BCD. El resultado se guarda en tres
                    00004 ; posiciones de memorias llamadas BCD_Centenas, BCD_Decenas y BCD_Unidades.
                    00005 ;
```



```
                    0000
                    0000
                    0000
                    0000
                    0001
                    0001
                    0001
                    0001
                    0001
0000000C            0001
0000000D            0001
0000000E            0001
                    0001
                    0001
0007                0002
0007 018C           0002
0008 018D           0002
0009 008E           0002
000A                0002
000A 300A           0002
000B 020E           0002
000C 1C03           0002
000D 2817           0002
000E                0002
000E 008E           0003
000F 0A8D           0003
0010 300A           0003
0011 020D           0003
0012 1C03           0003
0013 280A           0003
0014                0003
0014 018D           0003
0015 0A8C           0003
0016 280A           0003
0017                0004
0017 0E0D           0004
0018 070E           0004
0019 0008           0004
                    0004
                    0004
                    0003
                    0003

SYMBOL TABLE
LABEL

BCD_Centenas
BCD_Decenas
BCD_IncrementaCen
BCD_IncrementaDec
BCD_Resta10
BCD_Unidades
BIN_BCD_Fin
```

a *CBLOCK* no está

o del programa donde
BCD.INC dentro del
s importantes de este
en un ejercicio de la

8:00 PAGE 1

n **********

rio a decimal pero

****

& _XT_OSC

rochip Technology, Inc.

RAM de usuario.

****

a dirección

das como salidas.

a salida.
n este bucle.

al final del programa
NC" **********

lo se guarda en tres
enas y BCD_Unidades.


```
                00006 ; El procedimiento utilizado es mediante restas de 10 tal, como se explicó en el capítulo 9.
                00007 ;
                00008 ; Entrada:    En el registro W el número binario a convertir.
                00009 ; Salidas:    En (BCD_Centenas), (BCD_Decenas) y (BCD_Unidades).
                00010 ;             En el registro W también las decenas (nibble alto) y unidades (bajo).
                00011
                00012 ; Subrutina "BIN_a_BCD" ----------------------------------------------------------
                00013
                00014       CBLOCK                  ; En las subrutinas no se debe fijar la dirección
0000000C        00015       BCD_Centenas            ; de la RAM de usuario. Se toma a continuación de
0000000D        00016       BCD_Decenas              la última asignada.
0000000E        00017       BCD_Unidades
                00018       ENDC
                00019 ;
0007            00020 BIN_a_BCD
0007 018C       00021       clrf    BCD_Centenas    ; Carga los registros con el resultado inicial.
0008 018D       00022       clrf    BCD_Decenas     ; En principio las centenas y decenas a cero.
0009 008E       00023       movwf   BCD_Unidades    ; Se carga el número binario a convertir.
000A            00024 BCD_Resta10
000A 300A       00025       movlw   .10             ; A las unidades se les va restando 10 en cada
000B 020E       00026       subwf   BCD_Unidades,W  ; pasada. (W)=(BCD_Unidades) -10.
000C 1C03       00027       btfss   STATUS,C        ; ¿(BCD_Unidades)>=10?, ¿(W) positivo?, ¿C=1?
000D 2817       00028       goto    BIN_BCD_Fin     ; No, es menor de 10. Se acabó.
000E            00029 BCD_IncrementaDecenas
000E 008E       00030       movwf   BCD_Unidades    ; Recupera lo que queda por restar.
000F 0A8D       00031       incf    BCD_Decenas,F   ; Incrementa las decenas y comprueba si ha llegado
0010 300A       00032       movlw   .10             ; a 10. Lo hace mediante una resta.
0011 020D       00033       subwf   BCD_Decenas,W   ; (W)=(BCD_Decenas)-10).
0012 1C03       00034       btfss   STATUS,C        ; ¿(BCD_Decenas)>=10?, ¿(W) positivo?, ¿C=1?
0013 280A       00035       goto    BCD_Resta10     ; No. Vuelve a dar otra pasada, restándole 10 a
0014            00036 BCD_IncrementaCentenas        ; las unidades.
0014 018D       00037       clrf    BCD_Decenas     ; Pone a cero las decenas
0015 0A8C       00038       incf    BCD_Centenas,F  ; e incrementa las centenas.
0016 280A       00039       goto    BCD_Resta10     ; Otra pasada: Resta 10 al número a convertir.
0017            00040 BIN_BCD_Fin
0017 0E0D       00041       swapf   BCD_Decenas,W   ; En el nibble alto de (W) también las decenas.
0018 070E       00042       addwf   BCD_Unidades,W  ; En el nibble bajo de (W) las unidades.
0019 0008       00043       return                  ; Vuelve al programa principal.
                00044
                00045 ; La directiva "END" se debe poner en el programa principal no aquí.
                00031                               ; principal
                00032       END                     ; Fin del programa.

SYMBOL TABLE
LABEL                       VALUE

BCD_Centenas                0000000C
BCD_Decenas                 0000000D
BCD_IncrementaCentenas      00000014
BCD_IncrementaDecenas       0000000E
BCD_Resta10                 0000000A
BCD_Unidades                0000000E
BIN_BCD_Fin                 00000017
```

```
BIN_a_BCD       00000007
C               00000000
DC              00000001
```

10.9 SIMULACIÓN DE SUBRUTINAS EN MPLAB

En el simulador del MPLAB, las subrutinas se pueden ejecutar de la formas citadas en el capítulo 7. Así, con el comando *Debugger > Step Into* se ejecutarían paso a paso todas y cada una de las instrucciones que conforman la subrutina.

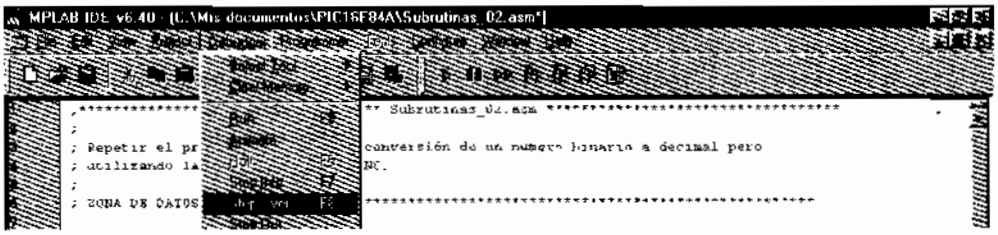


Figura 10-5 Las subrutinas se pueden ejecutar con el comando Step Over

Sin embargo, a veces en la simulación interesa ejecutar la subrutina sin tener que ejecutar una por una todas sus intrucciones. Para esto se utiliza el comando *Debugger > Step Over*, figura 10-5. Esta opción ejecuta paso a paso las instrucciones de igual forma que lo hace la opción *Debugger > Step Into*, pero cuando llega a la ejecución de una subrutina (instrucción *call*) ésta se ejecuta de igual forma que si fuera una sola instrucción. Para activar esta opción también se puede pulsar la tecla F8 o bien señalando con el ratón el icono correspondiente de la barra de herramientas.

El contenido de la pila puede visualizarse seleccionando la opción *View > Hardware Stack*, figura 10-6.

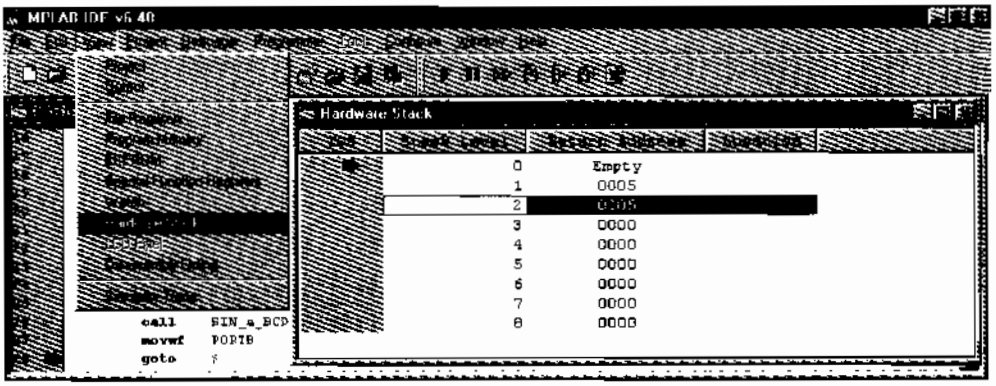


Figura 10-6 Visualización de la pila en el MPLAB

10.10 PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA

La **programación estructurada** es un importante concepto en el diseño de programas. Se entiende como la división del programa principal en módulos o **procedimientos** que realizan una determinada tarea dentro del programa y que se ejecutan uno detrás de otro, de forma preferentemente lineal y con una cantidad mínima de saltos entre ellos.

Un procedimiento consta de un conjunto de pasos necesarios para llevar a cabo una tarea del algoritmo. En el lenguaje ensamblador, las subrutinas hacen una función similar a la de los procedimientos. Para que la programación en ensamblador se aproxime a la técnica estructurada las subrutinas deben tener las siguientes características:

- Deben ser independientes. La modificación de una subrutina no debe llevar consigo la redefinición de otras.
- Hay que plantear cada subrutina de forma que el programa le proporcione unos datos de entrada. La subrutina procesa estos datos y devuelve unos resultados.
- Lo anterior obliga a definir con mucha precisión los parámetros que utilizan para transmitir datos unas subrutinas a otras. Es decir, hay que definir muy claramente los registros que se utilizan como entradas y los que se utilizan como salida. Para este fin, siempre que sea posible hay que utilizar el registro de trabajo W.
- El programa principal debe estructurarse con un único punto de entrada y un único punto de salida. Es mucho más racional entender un programa con una sola entrada y una sola salida que cuando hay saltos a otras partes del programa.
- Las instrucciones de saltos deben utilizarse lo imprescindible en el programa principal.
- Las subrutinas se deben diseñar para que puedan ser utilizadas en diferentes programas sin dificultad.

Las ventajas de la programación estructurada son:

- Simplifica el desarrollo de cada parte del algoritmo por separado, permitiendo concentrar la atención en pequeños detalles.
- Produce programas que son más fiables, fáciles de entender, documentar y modificar.

En programas pequeños quizá no sean evidentes las grandes ventajas del lenguaje estructurado. Sin embargo, cuando se trata de proyectos, éstas se convierten en factores decisivos.

En todos los programas de este libro se han utilizado con reiteración las subrutinas, en una técnica de programación que se aproxima a la estructurada. En el programa

principal se ha potenciado la utilización de llamada a subrutinas con *call,* en lugar de saltos con la instrucción *goto*. Con ello se aprovecha de las ventajas de la programación estructurada, pero se corre el riesgo de desbordar la pila, hay que tener especial precaución de no superar los 8 niveles de anidamiento de subrutinas permitido.

10.11 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores, diseñar, ensamblar, simular y grabar el microcontrolador con los siguientes programas. Comprobar su correcto funcionamiento con el esquema de la figura 1-2. El lector puede introducir todas las mejoras que considere conveniente.

Subrutinas_01.asm: Un número binario de 8 bits es convertido a BCD. El resultado se guarda en tres posiciones de memorias llamadas Centenas, Decenas y Unidades. Finalmente también las unidades y las decenas se visualizarán en los diodos LEDs conectados al puerto de salida. El número a convertir será la constante Numero (por ejemplo 124). Realizar este programa utilizando una subrutina que se llame BIN_a_BCD.

Subrutinas_02.asm: Repetir el programa anterior utilizando una librería de subrutinas. Una vez comprobado el correcto funcionamiento del programa anterior visualizar el fichero Subrutinas_02.lst generado por el ensamblador hasta su total comprensión.

Subrutinas_03.asm: El valor del puerto de entrada PORTA es convertido a BCD y el resultado se visualiza por el puerto de salida PORTB. Así por ejemplo, si en el PORTA se lee "---10111", (23 en decimal) por el PORTB se visualizará "0010 0011". Una vez comprobado el correcto funcionamiento del programa anterior, visualizar el fichero Subrutinas_03.lst generado por el ensamblador hasta su total comprensión.

© RA-MA

CAPÍTULO 11

MANEJO DE TABLAS

En algún punto de la mayoría de los proyectos es necesario utilizar una o más tablas de datos. Este capítulo trata de su manejo para el PIC16F84 con interesantes aplicaciones. Además, los conceptos expuestos son fácilmente aplicables a otros microcontroladores.

11.1 TABLAS DE DATOS EN MEMORIA DE PROGRAMA

Una tabla de datos en la memoria ROM de programa es una lista de constantes que el programa puede recoger mediante la instrucción *retlw*.

11.1.1 Instrucción "retlw"

La instrucción *retlw (Return with Literal in W),* funciona de forma similar que *return,* produce el retorno de una subrutina pero con un valor en el registro W. Dicha característica es de suma importancia cuando se desea acceder a tablas de datos en la memoria de programa.

El formato de esta instrucción es:

retlw k

Donde *"k"* es el valor de la constante que se carga en el registro de trabajo W.

Una de las mayores aplicaciones del manejo de la tabla de datos, es la resolución de tablas de verdad grabadas en ROM. A continuación se muestra un programa ejemplo suficientemente comentado para el circuito de la figura 9-7.

```
;************************************ Tablas_03.asm ************************************
;
; Implementar una tabla de la verdad mediante el manejo de tablas grabadas en ROM. Por
; ejemplo, la tabla será de 3 entradas y 6 salidas:
;
;                C B A | S5 S4 S3 S2 S1 S0
;               -------|-------------------
;                0 0 0 |  0  0  1  0  1  0; (Configuración 0)
;                0 0 1 |  0  0  1  0  0  1; (Configuración 1)
;                0 1 0 |  1  0  0  0  1  1; (Configuración 2)
;                0 1 1 |  0  0  1  1  1  1; (Configuración 3)
;                1 0 0 |  1  0  0  0  0  0; (Configuración 4)
;                1 0 1 |  0  0  0  1  1  1; (Configuración 5)
;                1 1 0 |  0  1  0  1  1  1; (Configuración 6)
;                1 1 1 |  1  1  1  1  1  1; (Configuración 7)
;
; Las entradas C, B, A se conectarán a las líneas del puerto A: RA2 (C), RA1 (B) y RA0 (A).
; Las salidas se obtendrán del puerto B: RB5 (S5), RB4 (S4), RB3 (S3), RB2 (S2), RB1 (S1)
; y RB0 (S0).
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0                       ; El programa comienza en la dirección 0.
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        clrf    TRISB                   ; Las líneas del Puerto B se configuran como salida.
        movlw   b'00011111'             ; Las 5 líneas del Puerto A se configuran como entrada.
        movwf   TRISA
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
Principal
        movf    PORTA,W                 ; Lee el valor de las variables de entrada.
        andlw   b'00000111'             ; Se queda con los tres bits bajos de entrada.
        call    TablaVerdad             ; Obtiene la configuración de salida.
        movwf   PORTB                   ; Se visualiza por el puerto de salida.
        goto    Principal

; Subrutina "TablaVerdad" -----------------------------------------------------------
;
TablaVerdad
        addwf   PCL,F
        retlw   b'00001010'             ; (Configuración 0)
        retlw   b'00001001'             ; (Configuración 1)
        retlw   b'00100011'             ; (Configuración 2)
        retlw   b'00001111'             ; (Configuración 3)
        retlw   b'00100000'             ; (Configuración 4)
        retlw   b'00000111'             ; (Configuración 5)
        retlw   b'00010111'             ; (Configuración 6)
        retlw   b'00111111'             ; (Configuración 7)

        END
```

En el programa se aprecia como la tabla está formada por una serie de datos ordenados secuencialmente, de tal forma que para leer uno de ellos se le suma el valor del registro W al contador de programa mediante la instrucción del salto indexado *addwf PCL,F*, posicionándolo en el valor requerido y extrayendo el dato de la tabla con la instrucción *retlw*. Todo lo explicado en el capítulo 9 sobre direccionamiento indexado también es válido aquí.

Los valores de las constantes están grabados y no se puede alterar. La única manera de alterar una tabla ROM es volver a grabar el microcontrolador.

No se debe confundir las tablas en ROM con las tablas de datos en la memoria RAM, que contienen variables almacenadas en los registros de la memoria de datos y que pueden alterarse.

11.1.2 Directiva "DT"

Para simplificar el uso de las instrucciones *retlw* el ensamblador MPASM facilita la directiva *DT (Define Tabla)* que sustituye el empleo repetitivo de muchas instrucciones *retlw*. Su sintaxis es:

DT <expr> [, <expr>, ..., <expr>]

Esta directiva genera durante la fase de ensamblado instrucciones *retlw*, una instrucción por cada *<expr>*. Cada carácter de una cadena es almacenado en su propia instrucción *retlw*.

Ejemplo:

```
DT "Ra-Ma", 0x10, .15
```

Esta directiva genera las instrucciones:

```
retlw   0x52   ; ('R' en ASCII)
retlw   0x61   ; ('a' en ASCII)
retlw   0x2D   ; ('-' en ASCII)
retlw   0x4D   ; ('M' en ASCII)
retlw   0x61   ; ('a' en ASCII)
retlw   0x10   ; (16 en decimal)
retlw   0x0F   ; (15 en decimal)
```

Como ejemplo de aplicación se repite el programa de la sección anterior utilizando esta directiva en lugar de instrucciones *retlw*.

```
;********************************** Tablas_04.asm ***********************************
;
; Repetir ejercicio Tablas_03.asm utilizando la directiva DT.
;
; ZONA DE DATOS ************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

; ZONA DE CÓDIGOS **********************************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0
        clrf    PORTB
        movlw   b'00011111'
        movwf   PORTA
        bcf     STATUS,RP0
Principal
        movf    PORTA,W             ; Lee el valor de las variables de entrada.
        andlw   b'00000111'         ; Se queda con los tres bits de entrada.
        call    TablaVerdad         ; Obtiene la configuración de salida.
        movwf   PORTB               ; Se visualiza por el puerto de salida.
        goto    Principal

; Subrutina "TablaVerdad" ---------------------------------------------------------
;
TablaVerdad
        addwf   PCL,F
        DT      0x0A, 0x09, 0x23, 0x0F, 0x20, 0x07, 0x17, 0x03F ; Configuraciones
                                                                ; de salida.
        END
```

Es fácil concluir que la tabla en este programa con la directiva *DT* se ha grabado de forma mucho más sencilla y corta que en el anterior programa con instrucciones *retlw*.

11.2 MÁS DIRECTIVAS

En algunos programas de este capítulo aparecen nuevas directivas tales como *MESSG, ERROR, IF* y *ENDIF* que pasan a explicarse a continuación:

11.2.1 MESSG

Esta directiva permite crear mensajes definidos por el usuario que aparecen al finalizar el proceso de ensamblado y en el fichero listable *.lst. Su sintaxis es:

MESSG "<message_text>"

Donde <*m*
Más adelante se

11.2.2 ERR

Esta direc
ensamblador MP
clásica pantalla d
80 caracteres. Su

Por ejemp
habría que poner

```
ERROR "
```

11.2.3 IF y

Estas direc
ensamblado. Su si

Si <*expr*>
las instrucciones
ENDIF. La evalua
de la lógica, falsa.
se considera como

En el sigui
memoria de progr

```
.....
FinTabla
;
        IF (FinTabl
                E
                M
                M
                M
        ENDIF
```

Hay que se
solamente durante

Donde <*message_text*> es el texto del mensaje que puede tener hasta 80 caracteres. Más adelante se exponen algunos ejemplos.

11.2.2 ERROR

Esta directiva genera un mensaje de error idéntico a cualquier error del ensamblador MPASM. Si el proceso de ensamblado ejecuta esta directiva, aparece la clásica pantalla de error. El texto del mensaje debe ir entrecomillado y puede tener hasta 80 caracteres. Su sintaxis es:

ERROR "<text string>"

Por ejemplo, para que aparezca un mensaje durante el proceso de ensamblado, habría que poner la siguiente directiva:

```
ERROR "CUIDADO!: Ha habido un error durante el ensamblado"
```

11.2.3 IF y ENDIF

Estas directivas limitan el principio y el final de un bloque condicional de ensamblado. Su sintaxis es:

IF <expr>
... .
ENDIF

Si <*expr*> es verdadera, el código inmediato al *IF* se ensamblará. En caso contrario las instrucciones siguientes se saltan hasta encontrar una directiva *ELSE* o una directiva *ENDIF*. La evaluación de una expresión que sea cero se considera, desde el punto de vista de la lógica, falsa. La evaluación de una expresión que sea cualquier valor distinto de cero se considera como verdadera.

En el siguiente ejemplo si la etiqueta "FinTabla" se localiza en una dirección de memoria de programa mayor de 0xFF el ensamblador emitirá un mensaje de error.

```
.....
FinTabla
;
        IF (FinTabla > 0xFF)
                ERROR   "CUIDADO!: La tabla ha superado el tamaño de la página de los"
                MESSG   "primeros 256 bytes de memoria ROM. NO funcionará correctamente."
                MESSG   "Para solucionarlo, procurad situar esta subrutina de manera que"
                MESSG   "no supere esta posición o leer nota de aplicación AN556"
        ENDIF
```

Hay que señalar que *IF* y *ENDIF* son directivas, no instrucciones, por tanto actúan solamente durante el tiempo de ensamblado. Las ejecuta el ensamblador MPASM, no el

microcontrolador PIC16F84 y no pueden utilizarse como instrucciones condicionales que deba ejecutar el microcontrolador. Este error es muy frecuente en diseñadores de programas para microcontroladores noveles pero que hayan trabajado anteriormente con algún lenguaje de alto nivel como C o Pascal.

11.3 GOBIERNO DE UN DISPLAY DE 7 SEGMENTOS

Mediante el uso de tablas es posible gobernar la información que aparece en un display de 7 segmentos como en la figura 11-1.

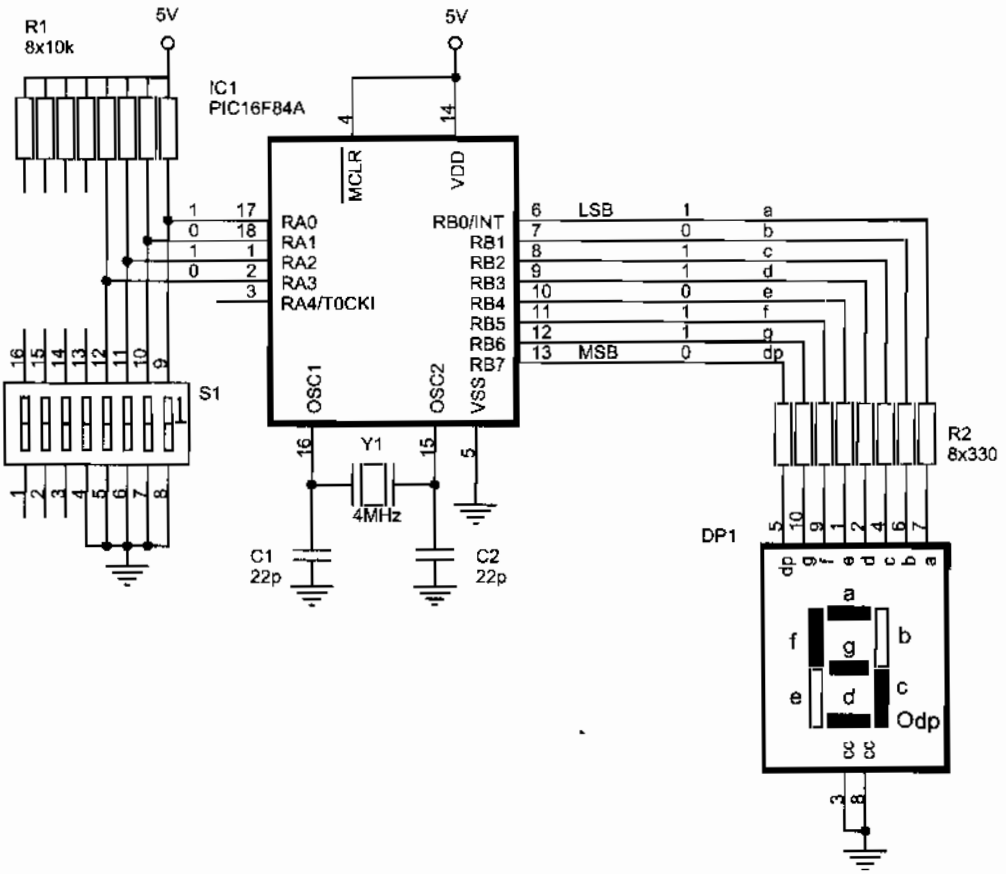
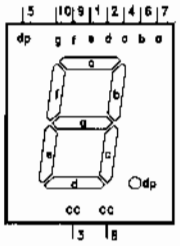


Figura 11-1 Microcontrolador gobernando un display

Así por ejemplo, la figura enseña como para representar el número 5 en el display, por el Puerto B tendría que obtenerse el código (PORTB) = b'01101101' = 6Dh. La figura 11-2 indica los segmentos que deben activarse para la representación de cada uno de los caracteres posibles.

Código ASCII (Dec.)	43
Código ASCII (Hex.)	2B
Carácter	+
Siete Segmentos	46
DISPLAY	
Código ASCII (Dec.)	54
Código ASCII (Hex.)	36
Carácter	6
Siete Segmentos	7D
DISPLAY	
Código ASCII (Dec.)	65
Código ASCII (Hex.)	41
Carácter	A
Siete Segmentos	77
DISPLAY	
Código ASCII (Dec.)	76
Código ASCII (Hex.)	4C
Carácter	L
Siete Segmentos	38
DISPLAY	
Código ASCII (Dec.)	87
Código ASCII (Hex.)	57
Carácter	W
Siete Segmentos	1D
DISPLAY	

Figura 11-2



RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
dp	g	f	e	d	c	b	a

Conexión del display al puerto de salida.

Código ASCII (Dec.)	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
Código ASCII (Hex.)	2B	2C	2D	2E	2F	30	31	32	33	34	35
Carácter	+	,	-	. (punto)	/	0	1	2	3	4	5
Siete Segmentos	46	04	40	80	00	3F	06	5B	4F	66	6D
DISPLAY											
Código ASCII (Dec.)	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
Código ASCII (Hex.)	36	37	38	39	3A	3B	3C	3D	3E	3F	40
Carácter	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?	@
Siete Segmentos	7D	07	7F	67	41	88	00	48	00	00	00
DISPLAY											
Código ASCII (Dec.)	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Código ASCII (Hex.)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B
Carácter	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Siete Segmentos	77	7C	39	5E	79	71	6F	76	19	1E	7A
DISPLAY											
Código ASCII (Dec.)	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Código ASCII (Hex.)	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53	54	55	56
Carácter	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
Siete Segmentos	38	37	54	3F	73	67	50	6D	78	1C	3E
DISPLAY											
Código ASCII (Dec.)	87	88	89	90	Del 91 hasta el 164				165	166	167
Código ASCII (Hex.)	57	58	59	5A	Del 5B hasta el A4				A5	A6	A7
Carácter	W	X	Y	Z	Desde [hasta ñ				Ñ	*	*
Siete Segmentos	1D	70	6E	49	00				55	FF	63
DISPLAY											

Figura 11-2 Ejemplo de tabla de conversión para display de siete segmentos

El siguiente programa ejemplo muestra una sencilla aplicación.

```
;************************************ Display_01.asm ***********************************
;
; En un display de 7 segmentos conectado al Puerto B se visualiza la cantidad leída por
; el Puerto A. Así por ejemplo si por la entrada lee "---0101" en el display visualiza "5".
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0                       ; El programa comienza en la dirección 0.
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        clrf    PORTB                   ; Las líneas del Puerto B se configuran como salida.
        movlw   b'00011111'             ; Las 5 líneas del Puerto A se configuran como entrada.
        movwf   PORTA
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
Principal
        movf    PORTA,W                 ; Lee la entrada
        andlw   b'00001111'             ; Máscara para quedarse con el valor de las
                                        ; entradas correspondientes al nibble bajo.
        call    Binario_a_7Segmentos    ; Convierte código binario a 7 segmentos del display.
        movwf   PORTB                   ; Resultado se visualiza por el puerto de salida.
        goto    Principal

; Subrutina "Binario_7Segmentos" ----------------------------------------------------
;
Binario_a_7Segmentos                    ; Tabla para display de 7 segmentos.
        addwf   PCL,F
Tabla   retlw   3Fh                     ; El código 7 segmentos para el "0".
        retlw   06h                     ; El código 7 segmentos para el "1".
        retlw   5Bh                     ; El código 7 segmentos para el "2".
        retlw   4Fh                     ; El código 7 segmentos para el "3".
        retlw   66h                     ; El código 7 segmentos para el "4".
        retlw   6Dh                     ; El código 7 segmentos para el "5".
        retlw   7Dh                     ; El código 7 segmentos para el "6".
        retlw   07h                     ; El código 7 segmentos para el "7".
        retlw   7Fh                     ; El código 7 segmentos para el "8".
        retlw   67h                     ; El código 7 segmentos para el "9".
        retlw   77h                     ; El código 7 segmentos para el "A".
        retlw   7Ch                     ; El código 7 segmentos para el "B".
        retlw   39h                     ; El código 7 segmentos para el "C".
        retlw   5Eh                     ; El código 7 segmentos para el "D".
        retlw   79h                     ; El código 7 segmentos para el "E".
        retlw   71h                     ; El código 7 segmentos para el "F".

        END                             ; Fin del programa.
```


Es útil confe
tal como la siguient

```
;*****************
;
; Subrutinas para conver
; poder activar displays.
;
; Si el código ASCII es
; el código erróneo b'100
;
; Si se trata de un núme
; un numero (de 0 a 9) e
;
; Entrada: En registro W
; Salida : En registro W,

        CBLOCK
        Display7s_Da
        ENDC

Numero_a_7Segmentos
        andlw   b'00
        addlw   '0'

ASCII_a_7Segmentos
        movwf   Dis
        sublw   ''
        btfsc   STA
        retlw   00h
        movf    Dis
        sublw   'Ñ'
        btfsc   STA
        retlw   55h
        movf    Dis
        sublw   ''
        btfsc   STA
        retlw   63h
;
        movf    Dis
        sublw   'Z'
        btfss   STA
        retlw   b'10
        movlw   '+'
        subwf   Dis
        btfss   STA
        retlw   b'10
;
        addwf   PCL
InicioTablaASCII
        DT      46h,
        DT      7Dh
        DT      77h,
```

Es útil confeccionar un fichero *include* con las subrutinas de gobierno del display, tal como la siguiente librería DISPLAY_7S.INC:

```
;****************************** Librería "DISPLAY_7S.INC ***********************************
;
; Subrutinas para convertir un código ASCII en su valor equivalente en 7 segmentos y así
; poder activar displays.
;
; Si el código ASCII es menor que el signo más '+' o mayor  que la letra zeta 'Z' obtiene
; el código erróneo b'10000000' para encender sólo el punto decimal del display.
;
; Si se trata de un número hay que ejecutar la subrutina "Numero_a_7Segmentos" que convierte
; un numero (de 0 a 9) en su equivalente en código de 7 segmentos.
;
; Entrada: En registro W, el dato en código ASCII a convertir.
; Salida : En registro W, el código 7 segmentos.

        CBLOCK
        Display7s_Dato              ; Aquí se reservará el valor del dato de entrada.
        ENDC

Numero_a_7Segmentos
        andlw   b'00001111'         ; Se queda con el nibble bajo.
        addlw   '0'                 ; Se pasa a ASCII sumándole el valor ASCII
                                    ; del "0" y ejecuta "ASCII_7_Segmentos".
ASCII_a_7Segmentos
        movwf   Display7s_Dato      ; Guarda el valor del carácter.
        sublw   ' '                 ; Comprueba si es " " (espacio).
        btfsc   STATUS,Z            ; ¿Es distinta de " " (espacio)?, ¿Z=0?
        retlw   00h                 ; Es " ". Devuelve el código 7-Segmentos del " ".
        movf    Display7s_Dato,W    ; Recupera el valor del dato de entrada.
        sublw   'Ñ'                 ; Comprueba si es "Ñ".
        btfsc   STATUS,Z            ; ¿Es distinta de "Ñ"?, ¿Z=0?
        retlw   55h                 ; Es "Ñ". Devuelve el código 7-Segmentos de "Ñ".
        movf    Display7s_Dato,W    ; Recupera el valor del dato de entrada.
        sublw   "º"                 ; Comprueba si es "º".
        btfsc   STATUS,Z            ; ¿Es distinta de "º"?, ¿Z=0?
        retlw   63h                 ; Es "º". Devuelve el código 7-Segmentos de "º".
;
        movf    Display7s_Dato,W    ; Comprueba si el código ASCII es mayor que la "Z".
        sublw   'Z'                 ; (W)='Z'-(Display7s_Dato)
        btfss   STATUS,C            ; ¿C=1?, ¿(W) positivo?, ¿'Z'>=(Display7s_Dato)?
        retlw   b'10000000'         ; Si el código ASCII es mayor que 'Z' es un error.
        movlw   '+'                 ; Averigua en qué orden está el carácter leído
        subwf   Display7s_Dato,W    ; dentro de la tabla de conversión, respecto del
        btfss   STATUS,C            ; primero que es '+'.
        retlw   b'10000000'         ; Si el código ASCII es menor que '+' es un error.
;
        addwf   PCL,F               ; Obtiene el código 7 segmentos.
InicioTablaASCII
        DT      46h, 04h, 40h, 80h, 00h, 3Fh, 06h, 5Bh, 4Fh, 66h, 6Dh       ; Signos y
        DT      7Dh, 07h, 7Fh, 67h, 41h, 88h, 00h, 48h, 00h, 00h, 00h       ; números.
        DT      77h, 7Ch, 39h, 5Eh, 79h, 71h, 6Fh, 76h, 19h, 1Eh, 7Ah, 38h, 37h ; Letras.
```

```
        DT      54h, 3Fh, 73h, 67h, 50h, 6Dh, 78h, 1Ch, 3Eh, 1Dh, 70h, 6Eh, 49h
FinTablaASCII
;
; Esta es la tabla para la visualización en display de siete segmentos (Ver figura 11-3).

        IF (FinTablaASCII > 0xFF)
                ERROR   "¡CUIDADO!: La tabla ha superado el tamaño de la página de los"
                MESSG   "primeros 256 bytes de memoria ROM. NO funcionará correctamente."
        ENDIF
```

Un ejemplo de aplicación podría ser el programa Display_05.asm suficientemente documentado:

```
;********************************** Display_05.asm **********************************
;
; Visualizar un carácter ASCII en el display de 7 segmentos. Utilizar la subrutina
; "ASCII_a_7Segmentos" contenida en la librería "DISPLAY_7S.INC".
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C                     ; En esta posición empieza la RAM de usuario.
        ENDC

Caracter EQU      'P'

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0                       ; El programa comienza en la dirección 0.
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        clrf    PORTB                   ; Las líneas del Puerto B se configuran como salida.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
Principal
        movlw   Caracter                ; Lee el carácter de entrada
        call    ASCII_a_7Segmentos      ; Convierte a 7 Segmentos.
        movwf   PORTB                   ; Resultado se visualiza por el puerto de salida.
        goto    Principal

        INCLUDE <DISPLAY_7S.INC>        ; Subrutina "ASCII_a_7Segmentos".
        END                             ; Fin del programa.
```

11.4 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores, diseñar, ensamblar, simular y grabar el microcontrolador con los siguientes programas. Comprobar su correcto funcionamiento con el esquema de la figura 1-2. El lector puede introducir todas las mejoras que considere conveniente.

Tablas_01.asm: Lee las tres líneas más bajas del puerto A, que fijan el número de LEDs que se iluminarán. Así por ejemplo, si se lee el dato "---00101" (cinco) se encienden cinco diodos LEDs (D4, D3, D2, D1 y D0). Se resolverá utilizando tablas mediante la instrucción *retlw*. Este ejercicio se resolvió mediante bucle en el capítulo 9 (programa Saltos_06.asm). Sería conveniente comparar las dos formas de resolverlo.

Tablas_02.asm: Igual que el anterior, y además si supera el número 8 los LEDs pares se encienden.

Tablas_03.asm: Resolver una tabla de verdad mediante el manejo de tablas grabadas en ROM. La tabla será ideada por el lector con el número de entradas y salidas que desee y que sea físicamente posible implementar por el microcontrolador.

Tablas_04.asm: Repetir el ejercicio anterior utilizando la directiva *DT*.

Tablas_05.asm: Diseñar un programa para controlar el nivel de un depósito de líquidos tal como se especificó en el ejercicio Indexado_2.asm del capítulo 9. Pero en esta ocasión resolverlo mediante la utilización de la directiva *DT*.

Tablas_06.asm: Halla la longitud de un mensaje grabado en la ROM mediante la directiva *DT* y visualiza el resultado en binario por los LEDs de la salida.

Display_01.asm: En un display de 7 segmentos conectado al Puerto B se visualiza la cantidad leída por el puerto A. Así por ejemplo si por la entrada se lee "---0101" en el display se visualizará "5".

Display_02.asm: Repetir el programa anterior pero utilizando la directiva *DT*.

Display_03.asm: En un display de 7 segmentos conectado al puerto B se visualiza una de las 26 letras del alfabeto internacional: de la "A" a la "Z". La letra a visualizar lo determina el orden leído por el Puerto A. Así por ejemplo:

- Si por el Puerto A se lee "---0000" (cero) la letra visualizada será la "A" que es la que está en el orden cero.
- Si por el Puerto A se lee "---1101" (veinticinco), la letra visualizada será la "Z", que es la que está en el orden veinticinco.

Display_04.asm: En un display de 7 segmentos conectado al puerto B se visualiza una de las 26 letras del alfabeto internacional: de la "A" a la "Z". La letra a visualizar la determina el valor de la constante "Caracter". El carácter de entrada debe estar en mayúsculas. Así por ejemplo, si la constante se expresa como *"Caracter EQU 'P'"* en el display se visualiza la letra "P".

Display_05.asm: Visualizar un carácter ASCII en el display de 7 segmentos. Utilizar la subrutina ASCII_a_7Segmentos contenida en la librería DISPLAY_7S.INC.

Display_06.asm: Visualiza por el display conectado a la salida un carácter determinado dentro de un mensaje grabado en la memoria ROM de programa mediante la directiva *DT*. El número del carácter a visualizar será la cantidad leída por la entrada. Así, por ejemplo, si el texto grabado en la ROM es: "ESTUDIA ELECTRONICA" y la cantidad leída por la entrada es "---01001" (9 en decimal) por el display aparecerá "L" que es el carácter situado en el lugar 9 del mensaje (la primera letra "E" está en el lugar 0).

© RA-MA

lida un carácter
rama mediante la
r la entrada. Así,
TRONICA" y la
parecerá "L" que
n el lugar 0).

CAPÍTULO 12

SUBRUTINAS DE RETARDO

En la mayoría de los proyectos es necesario controlar el tiempo que tardan en ejecutarse algunas acciones. Este capítulo explica una técnica para conseguirlo.

12.1 CICLO MÁQUINA

El tiempo que tarda en ejecutarse un programa depende de la frecuencia del oscilador conectado al microcontrolador y del número de ciclos máquina ejecutados. Un **ciclo máquina** es la unidad básica de tiempo que utiliza el microcontrolador. Para el PIC16F84 el ciclo máquina equivale a 4 ciclos de reloj, por lo tanto, el tiempo que tarda en producirse un ciclo máquina es igual a cuatro veces el período del oscilador (figura 12-1).



1 CICLO MÁQUINA = 4 CICLOS DE RELOJ

Figura 12-1 Ciclo máquina para el PIC16F84

Las instrucciones en el microcontrolador PIC16F84 necesitan 1 ciclo máquina para ejecutarse, excepto las de salto *(goto, call, btfss, btfsc, return, etc)* que necesitan de dos ciclos máquina.

El tiempo que tarda el microcontrolador en ejecutar una tarea viene fijado por la formula siguiente:

$$Tiempo = 4\frac{1}{f}cm$$

Siendo:

- f la frecuencia del oscilador.
- cm, el número de ciclos máquina que tarda en ejecutar la tarea.

EJEMPLO 1: Calcular la duración de 1 ciclo máquina para un PIC16F84 que utiliza un cristal de cuarzo de 4 MHz.

Solución: Aplicando la ecuación:

$$Tiempo = 4\frac{1}{f}cm = 4\frac{1}{4MHz}1 = 1\mu s$$

Así, para un sistema con un oscilador a cristal de cuarzo de 4 MHz, el ciclo máquina tiene una duración de 1 µs.

EJEMPLO 2: Calcular el tiempo que tarda en ejecutarse la instrucción *call* si el sistema funcionase con un cristal de cuarzo de 4 MHz.

Solución: Al tratarse de un salto esta instrucción dura dos ciclos máquina, por tanto, el tiempo que tarda en ejecutarse será:

$$Tiempo = 4\frac{1}{f}cm = 4\frac{1}{4MHz}2 = 2\mu s$$

EJEMPLO 3: En un sistema con microcontrolador PIC16F84 y cristal de cuarzo de 4 MHz se desea generar un retardo de 1,5 ms. Calcular el número de ciclos máquina necesarios.

Solución: De la ecuación principal se deduce:

$$Tiempo = 4\frac{1}{f}cm \qquad cm = Tiempo\frac{f}{4} = 1500\mu s\frac{4MHz}{4} = 1500$$

Con el cristal de 4 MHz, el período del oscilador será de 0,25 µs, y el ciclo máquina tendrá una duración cuatro veces mayor y de un valor igual a 1 µs. Por tanto, para conseguir 1,5 ms serán necesarios 1500 ciclos máquina.

12.2 MEDIR TIEMPOS CON MPLAB

Para calcular el tiempo de ejecución de un programa o de una subrutina, se puede contar el número de instrucciones que se realizan y multiplicarlo por 4 veces la frecuencia de la señal de reloj o por 8 en el caso de que las instrucciones sean de salto. Esto en algunas ocasiones resulta engorroso.

El MPLAB dispone de una opción de cronómetro denominada *Stopwatch* que permite medir el tiempo de ejecución de las instrucciones de los programas.

El cronómetro *Stopwatch* calcula el tiempo basándose en la frecuencia del reloj del microcontrolador PIC que se está simulando. Es necesario fijar previamente la frecuencia del oscilador empleado, para eso, se activa desde el menú *Debugger* > *Settings* > *Clock* tal como se muestra en la figura 12-2. Inmediatamente se abre un cuadro de diálogo donde se fija la frecuencia del reloj a 4 MHz para los programas utilizados en el entrenador básico de la figura 1-2.

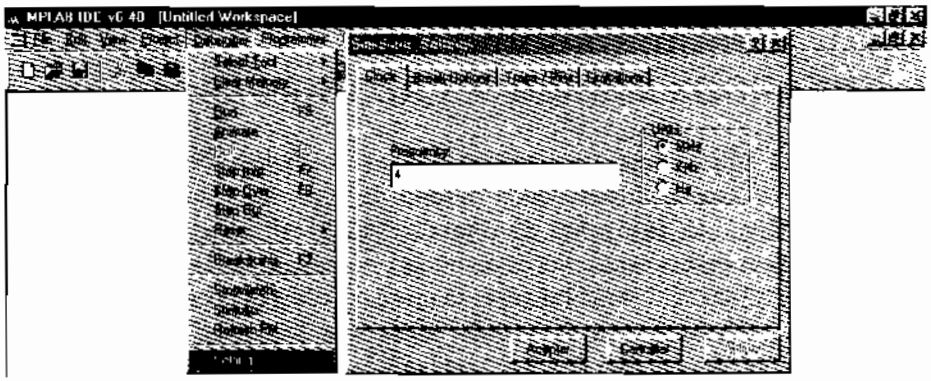


Figura 12-2 Selección de la frecuencia de simulación en el MPLAB SIM

Después se activa la opción *Debugger* > *Stopwatch*, con esto se consigue abrir la ventana que muestra el tiempo transcurrido y los ciclos máquina empleados en la ejecución de cada instrucción, como puede apreciarse en la figura 12-3.

Es importante recordar que los simuladores software no trabajan en tiempo real. Hay que tener en cuenta que el cronómetro del MPLAB trabaja mucho más lento que la realidad. Ahora bien, el tiempo que muestra será el tiempo real que tardan en ejecutarse las instrucciones.

12.3 INSTRUCCIÓN "NOP"

La instrucción *nop (No Operation)* no realiza operación alguna. En realidad, consume un ciclo máquina sin hacer nada. Se utiliza para hacer gastar tiempo al

microprocesador sin alterar el estado de los registros ni de los flags. Esta instrucción tarda 1 ciclo máquina en ejecutarse. Así, para un sistema con un oscilador a cristal de cuarzo de 4 MHz, tendrá una duración de 1 µs (4 ciclos de reloj).

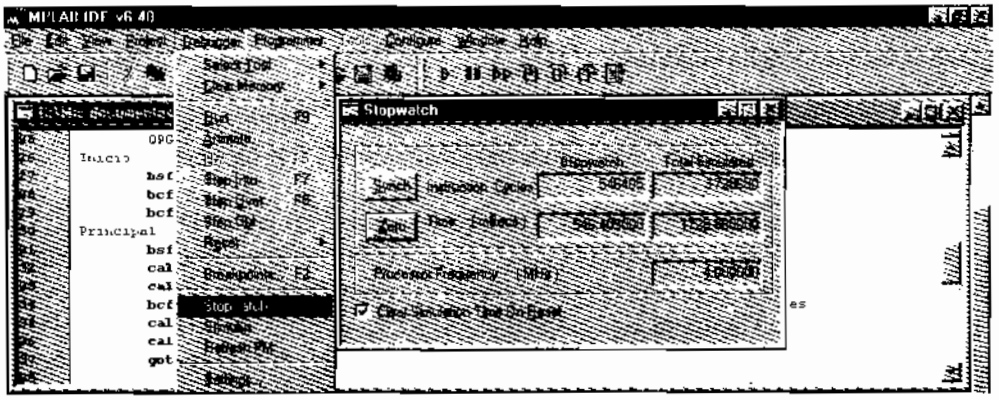


Figura 12-3 Ventana con el contenido del tiempo transcurrido

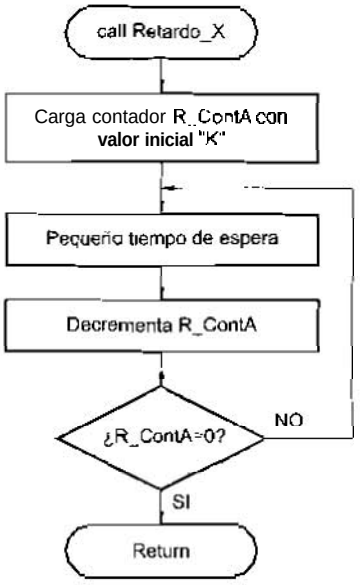
12.4 RETARDOS MEDIANTE LAZO SIMPLE

En muchas aplicaciones y proyectos con microcontroladores resulta necesario generar tiempos de espera, denominados **tiempo de retardo**. Estos intervalos pueden conseguirse mediante una **subrutina de retardo,** basada en un lazo simple de algunas instrucciones que se repiten tantas veces como sea necesario, hasta conseguir el retardo pretendido, figura 12-4(A). Como el tiempo de ejecución de cada instrucción es conocido lo único que hay que hacer es calcular el valor inicial que debe tener el registro *R_ContA*, que actúa como contador del número de iteraciones en el lazo, para obtener el tiempo de retardo deseado.

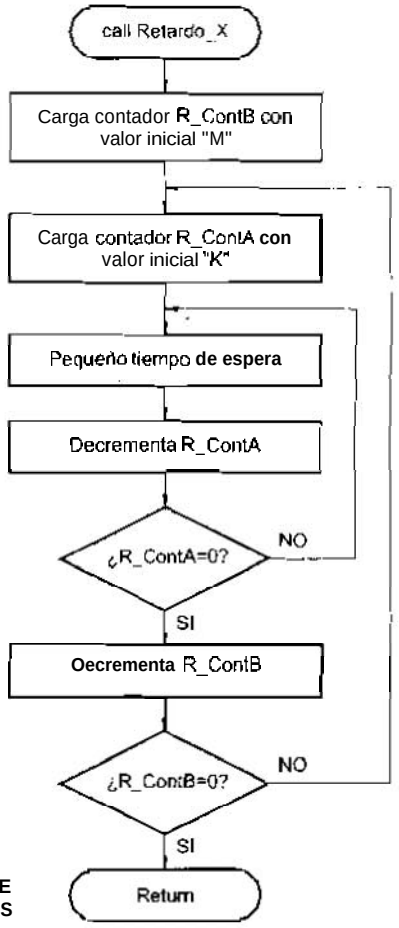
Un ejemplo típico de subrutina de retardo puede ser el siguiente fragmento de programa, donde "cm" significan "números de ciclos máquina" y en la figura 12-4(A) se muestra su diagrama de flujo:

```
Retardo 1ms                                 ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'249'                      ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "K".
        movwf   R_ContA                     ; Aporta 1 ciclo máquina.
R1ms_BucleInterno
        nop                                 ; Aporta Kx1 ciclos máquina.
        decfsz  R_ContA,F                   ; (K-1)x1 cm (cuando no salta) + 2 cm (al saltar).
        goto    R1ms_BucleInterno           ; Aporta (K-1)x2 ciclos máquina.
        return                              ; El salto de retorno aporta 2 ciclos máquina.

; En total esta subrutina tarda:
; 2 + 1 + 1 + Kx1 + (K-1)x1 + 2 + (K-1)x2 = 2 = 5 + 4K = 1001 ciclos máquina (para K=249).
; 1001 ciclos máquinas suponen 1 milisegundos (1001 µs) para una cristal de 4 MHz.
```

En el ejemplo anterior el bucle de las instrucciones *decfsz R_ContA,F* y *goto R1ms_BucleInterno* se repetirá tantas veces como determine el valor con el que se carga R_ContA, en este caso 249. Cuanto mayor sea esta constante, mayor será el tiempo de retardo.



A). ESTRUCTURA DE **UNA SUBRUTINA** DE **RETARDO** *CON* **UN LAZO** SIMPLE.



B). **ESTRUCTURA** DE UNA **SUBRUTINA DE RETARDO** CON DOS **LAZOS ANIDADOS**

***Figura** 12-4 Estructura de las subrutinas de retardo*

Es fácil deducir que **el** valor de la constante "K" con **el que se ha cargado** inicialmente **el** contador R_ContA vendrá dado **por la** siguiente ecuación, **donde el tiempo** viene **expresado en** µs:

$$Tiempo = 5 + 4K \qquad K = \frac{Tiempo - 5}{4}$$

EJEMPLO: Calcular el valor de la **constante K,** para **obtener una** subrutina de **retardo de 500** µs **con la** estructura de **de** la figura 12-4(A).

Solución: Aplicando la ecuación se **obtiene:**

$$K = \frac{Tiempo - 5}{4} = \frac{500 - 5}{4} = 123{,}7$$

Así pues se elige K=123, obteniéndose **un** tiempo **de retardo** real **de:**

$$Tiempo = 5 + 4K = 5 + 4 \cdot 123 = 497\,\mu s$$

El ajuste **fino para los** 500 µs **exactos** *se* conseguiría añadiendo 3 instrucciones *nop* **al** principio **de** la subrutina **de retardo.**

12.5 RETARDOS MEDIANTE LAZOS ANIDADOS

Para **lo** generación de retardos de niayor duración deben utilizarse lazos anidados, poniendo un lazo dc retardo dentro dc otro. La **forma de** hacerlo *se* explica en las subrutinas "Retardo_200ms" y "Retardo–100ms" del siguiente **programa** ejemplo, donde a **partir de** la estructura de 1 ms conseguido **en** la sección anterior se obtienen retardos mayores mediante la realización de lazos anidados, figura 12-4(B). Este programa es **una** útil aplicacion **de** un LED intermitente para el circuito de la figura 12-5.

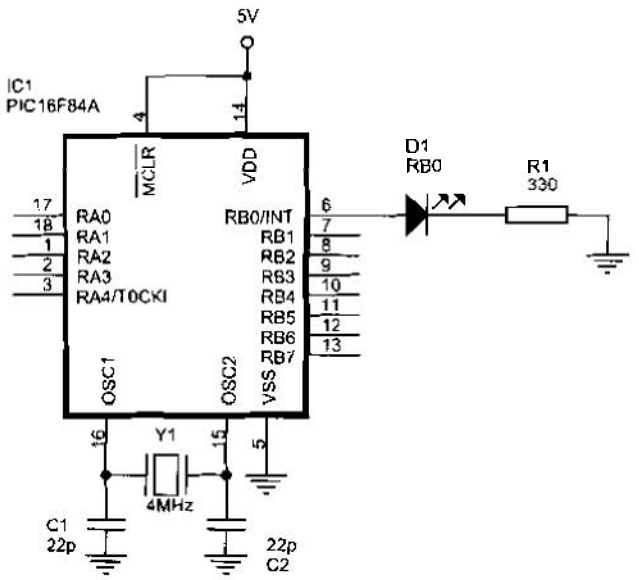


Figura 12-5 Intermitente

©RA-MA

```
;**********
;
; El LED conecta
; apaga durante
; ZONA DE DA
        __CO
        LIST
        INCLU
        CBLO
        ENDC
#DEFINE LED
; ZONA DE CÓ
        ORG
inicio
        bsf
        bcf
        bcf
Principal
        bsf
        call
        call
        bcf
        call
        call
        goto
; Subrutinas "Reta
;
        CBLOC
        R_Cont
        R_Cont
        ENDC
Retardo_200ms
        movlw
        goto
Retardo_100ms
        movlw
        goto
Retardo_1ms
        movlw
;
; El próximo bloqu
; 1 + M + M + Kx
; = (2 + 4M + 4KM
; que a 4 MHz son
;
Retardos_ms
        movwf
```

```
;********************************** Retardo_01.asm ************************************
;
; El LED conectado a la línea 0 del puerto de salida se enciende durante 400 ms y se
; apaga durante 300 ms.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C                     ; En esta posición empieza la RAM de usuario.
        ENDC

#DEFINE LED     PORTB,0

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        bcf     LED                     ; Línea del LED configurada como salida.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
Principal
        bsf     LED                     ; Enciende el LED
        call    Retardo_200ms           ; durante la suma de este tiempo.
        call    Retardo_200ms
        bcf     LED                     ; Lo apaga durante la suma de los siguientes
        call    Retardo_200ms           ; retardos.
        call    Retardo_100ms
        goto    Principal

; Subrutinas "Retardo_200ms" y "Retardo_100ms"-------------------------------------
;
        CBLOCK
        R_ContA                         ; Contadores para los retardos.
        R_ContB
        ENDC

Retardo_200ms                           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'200'                  ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
        goto    Retardos_ms             ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_100ms                           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'100'                  ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
        goto    Retardos_ms             ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_1ms                             ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'1'                    ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
;
; El próximo bloque "Retardos_ms" tarda:
; 1 + M + M + KxM + (K-1)xM + Mx2 + (K-1)Mx2 + (M-1) + 2 + (M-1)x2 + 2 =
; = (2 + 4M + 4KM) ciclos máquina. Para K=249 y M=1 supone 1002 ciclos máquina
; que a 4 MHz son 1002 µs = 1 ms.
;
Retardos_ms
        movwf   R_ContB                 ; Aporta 1 ciclo máquina.
```

```
R1ms_BucleExterno
        movlw   d'249'          ; Aporta Mx1 ciclos máquina. Este es el valor de "K".
        movwf   R_ContA         ; Aporta Mx1 ciclos máquina.
R1ms_BucleInterno
        nop                     ; Aporta KxMx1 ciclos máquina.
        decfsz  R_ContA,F       ; (K-1)xMx1 cm (cuando no salta) + Mx2 cm (al saltar).
        goto    R1ms_BucleInterno ; Aporta (K-1)xMx2 ciclos máquina.
        decfsz  R_ContB,F       ; (M-1)x1 cm (cuando no salta) + 2 cm (al saltar).
        goto    R1ms_BucleExterno ; Aporta (M-1)x2 ciclos máquina.
        return                  ; El salto de retorno aporta 2 ciclos máquina.
;
;En total estas subrutinas tardan:
; - Retardo_200ms:  2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 200007 cm = 200 ms. (M=200 y K=249).
; - Retardo_100ms:  2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 100007 cm = 100 ms. (M=100 y K=249).
; - Retardo_1ms :   2 + 1     + (2 + 4M + 4KM) =   1005 cm =   1 ms. (M=  1 y K=249).

        END
```

La estructura de lazos anidados descrita en la figura 12-4(B) funciona como contadores en cuenta descendente que permiten multiplicar entre sí los retardos producidos por cada bucle. De esta forma se puede obtener una temporización fácilmente controlable mediante el dato que se carga en cada uno de los registros que actúan como contadores.

12.6 LIBRERÍA CON SUBRUTINAS DE RETARDOS

Los retardos son probablemente las subrutinas más utilizadas dentro de los programas. Es por ello importante disponer de una buena librería de subrutinas con numerosos tiempos de temporización. A continuación se expone una librería con subrutinas de retardo de 4 µs hasta 20 segundos denominada RETARDOS.INC suficientemente documentada y que se utilizará en casi todos los programas restantes de este libro.

```
;****************************** Librería "RETARDOS.INC" *********************************
;
; Librería con múltiples subrutinas de retardos, desde 4 microsegundos hasta 20 segundos.
; Además se pueden implementar otras subrutinas muy fácilmente.
;
; Se han calculado para un sistema microcontrolador con un PIC trabajando con un cristal
; de cuarzo a 4 MHz. Como cada ciclo máquina son 4 ciclos de reloj, resulta que cada
; ciclo máquina tarda 4 x 1/4MHz = 1 µs.
;
; En los comentarios, "cm" significa "ciclos máquina".
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************************

        CBLOCK
        R_ContA                 ; Contadores para los retardos.
        R_ContB
        R_ContC
        ENDC
;
```

```
; RETARDOS de 4 hasta 10 microsegundos ----------------------------------------------
;
; A continuación retardos pequeños teniendo en cuenta que para una frecuencia de 4 MHZ,
; la llamada a subrutina "call" tarda 2 ciclos máquina, el retorno de subrutina
; "return" toma otros 2 ciclos máquina y cada instrucción "nop" tarda 1 ciclo máquina.
;
Retardo_10micros                        ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        nop                             ; Aporta 1 ciclo máquina.
        nop                             ; Aporta 1 ciclo máquina.
        nop                             ; Aporta 1 ciclo máquina.
        nop                             ; Aporta 1 ciclo máquina.
        nop                             ; Aporta 1 ciclo máquina.
Retardo_5micros                         ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        nop                             ; Aporta 1 ciclo máquina.
Retardo_4micros                         ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        return                          ; El salto del retorno aporta 2 ciclos máquina.
;
; RETARDOS de 20 hasta 500 microsegundos --------------------------------------------
;
Retardo_500micros                       ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        nop                             ; Aporta 1 ciclo máquina.
        movlw   d'164'                  ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "K".
        goto    RetardoMicros           ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_200micros                       ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        nop                             ; Aporta 1 ciclo máquina.
        movlw   d'64'                   ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "K".
        goto    RetardoMicros           ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_100micros                       ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'31'                   ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "K".
        goto    RetardoMicros           ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_50micros                        ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        nop                             ; Aporta 1 ciclo máquina.
        movlw   d'14'                   ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "K".
        goto    RetardoMicros           ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_20micros                        ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'5'                    ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "K".
;
; El próximo bloque "RetardoMicros" tarda:
; 1 + (K-1) + 2 + (K-1)x2 + 2 = (2 + 3K) ciclos máquina.
;
RetardoMicros
        movwf   R_ContA                 ; Aporta 1 ciclo máquina.
Rmicros_Bucle
        decfsz  R_ContA,F               ; (K-1)x1 cm (cuando no salta) + 2 cm (al saltar).
        goto    Rmicros_Bucle           ; Aporta (K-1)x2 ciclos máquina.
        return                          ; El salto del retorno aporta 2 ciclos máquina.
;
;En total estas subrutinas tardan:
; - Retardo_500micros:      2 + 1 + 1 + 2 + (2 + 3K) = 500 cm = 500 µs. (para K=164 y 4 MHz).
; - Retardo_200micros:      2 + 1 + 1 + 2 + (2 + 3K) = 200 cm = 200 µs. (para K= 64 y 4 MHz).
; - Retardo_100micros:      2   + 1 + 2 + (2 + 3K) = 100 cm = 100 µs. (para K= 31 y 4 MHz).
; - Retardo_50micros :      2 + 1 + 1 + 2 + (2 + 3K) =  50 cm =  50 µs. (para K= 14 y 4 MHz).
; - Retardo_20micros :      2   + 1   + (2 + 3K) =  20 cm =  20 µs. (para K=  5 y 4 MHz).
```

```
;
; RETARDOS de 1 ms hasta 200 ms. ----------------------------------------------------
;
Retardo_200ms                       ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'200'              ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "M".
        goto    Retardos_ms         ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_100ms                       ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'100'              ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "M".
        goto    Retardos_ms         ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_50ms                        ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'50'               ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "M".
        goto    Retardos_ms         ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_20ms                        ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'20'               ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "M".
        goto    Retardos_ms         ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_10ms                        ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'10'               ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "M".
        goto    Retardos_ms         ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_5ms                         ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'5'                ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "M".
        goto    Retardos_ms         ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_2ms                         ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'2'                ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "M".
        goto    Retardos_ms         ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_1ms                         ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'1'                ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "M".
;
; El próximo bloque "Retardos_ms" tarda:
; 1 + M + M + KxM + (K-1)xM + Mx2 + (K-1)Mx2 + (M-1) + 2 + (M-1)x2 + 2 =
; = (2 + 4M + 4KM) ciclos máquina. Para K=249 y M=1 supone 1002 ciclos máquina
; que a 4 MHz son 1002 µs = 1 ms.
;
Retardos_ms
        movwf   R_ContB             ; Aporta 1 ciclo máquina.
R1ms_BucleExterno
        movlw   d'249'              ; Aporta Mx1 ciclos máquina. Éste es el valor de "K".
        movwf   R_ContA             ; Aporta Mx1 ciclos máquina.
R1ms_BucleInterno
        nop                         ; Aporta KxMx1 ciclos máquina.
        decfsz  R_ContA,F           ; (K-1)xMx1 cm (cuando no salta) + Mx2 cm (al saltar).
        goto    R1ms_BucleInterno   ; Aporta (K-1)xMx2 ciclos máquina.
        decfsz  R_ContB,F           ; (M-1)x1 cm (cuando no salta) + 2 cm (al saltar).
        goto    R1ms_BucleExterno   ; Aporta (M-1)x2 ciclos máquina.
        return                      ; El salto del retorno aporta 2 ciclos máquina.
;
;En total estas subrutinas tardan:
; - Retardo_200ms:  2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 200007 cm = 200 ms. (M=200 y K=249).
; - Retardo_100ms:  2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 100007 cm = 100 ms. (M=100 y K=249).
; - Retardo_50ms :  2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) =  50007 cm =  50 ms. (M= 50 y K=249).
; - Retardo_20ms :  2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) =  20007 cm =  20 ms. (M= 20 y K=249).
; - Retardo_10ms :  2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) =  10007 cm =  10 ms. (M= 10 y K=249).
; - Retardo_5ms  :  2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) =   5007 cm =   5 ms. (M=  5 y K=249).
; - Retardo_2ms  :  2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) =   2007 cm =   2 ms. (M=  2 y K=249).
```

```
; - Retardo_1ms :   2 + 1     + (2 + 4M + 4KM) =    1005 cm =    1 ms. (M= 1 y K=249).
;
; RETARDOS de 0,5 hasta 20 segundos ----------------------------------------------
;
Retardo_20s                                 ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'200'                      ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "N".
        goto    Retardo_1Decima             ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_10s                                 ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'100'                      ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "N".
        goto    Retardo_1Decima             ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_5s                                  ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'50'                       ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "N".
        goto    Retardo_1Decima             ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_2s                                  ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'20'                       ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "N".
        goto    Retardo_1Decima             ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_1s                                  ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'10'                       ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "N".
        goto    Retardo_1Decima             ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_500ms                               ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw   d'5'                        ; Aporta 1 ciclo máquina. Éste es el valor de "N".
;
; El próximo bloque "Retardo_1Decima" tarda:
; 1 + N + N + MxN + MxN + KxMxN + (K-1)xMxN + MxNx2 + (K-1)xMxNx2 +
;  + (M-1)xN + Nx2 + (M-1)xNx2 + (N-1) + 2 + (N-1)x2 + 2 =
; = (2 + 4M + 4MN + 4KM) ciclos máquina. Para K=249, M=100 y N=1 supone 100011
; ciclos máquina que a 4 MHz son 100011 µs = 100 ms = 0,1 s = 1 decima de segundo.
;
Retardo_1Decima
        movwf   R_ContC                     ; Aporta 1 ciclo máquina.
R1Decima_BucleExterno2
        movlw   d'100'                      ; Aporta Nx1 ciclos máquina. Éste es el valor de "M".
        movwf   R_ContB                     ; Aporta Nx1 ciclos máquina.
R1Decima_BucleExterno
        movlw   d'249'                      ; Aporta MxNx1 ciclos máquina. Éste es el valor de "K".
        movwf   R_ContA                     ; Aporta MxNx1 ciclos máquina.
R1Decima_BucleInterno
        nop                                 ; Aporta KxMxNx1 ciclos máquina.
        decfsz  R_ContA,F                   ; (K-1)xMxNx1 cm (si no salta) + MxNx2 cm (al saltar).
        goto    R1Decima_BucleInterno       ; Aporta (K-1)xMxNx2 ciclos máquina.
        decfsz  R_ContB,F                   ; (M-1)xNx1 cm (cuando no salta) + Nx2 cm (al saltar).
        goto    R1Decima_BucleExterno       ; Aporta (M-1)xNx2 ciclos máquina.
        decfsz  R_ContC,F                   ; (N-1)x1 cm (cuando no salta) + 2 cm (al saltar).
        goto    R1Decima_BucleExterno2      ; Aporta (N-1)x2 ciclos máquina.
        return                              ; El salto del retorno aporta 2 ciclos máquina.
;
;En total estas subrutinas tardan:
; - Retardo_20s:    2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 20000807 cm = 20 s.
;                           (N=200, M=100 y K=249).
; - Retardo_10s:    2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 10000407 cm = 10 s.
;                           (N=100, M=100 y K=249).
; - Retardo_5s:     2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) =  5000207 cm =  5 s.
;                           (N= 50, M=100 y K=249).
```

```
; - Retardo_2s:      2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) =  2000087 cm =  2 s.
;                              (N= 20, M=100 y K=249).
; - Retardo_1s:      2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) =  1000047 cm =  1 s.
;                              (N= 10, M=100 y K=249).
; - Retardo_500ms:  2 + 1    + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) =   500025 cm = 0,5 s.
;                              (N=  5, M=100 y K=249).
```

Como ejemplo de aplicación se resuelve el programa Retardo_01.asm de la sección anterior referido al intermitente de la figura 12-5 utilizando esta librería:

```
;********************************** Retardo_02.asm ************************************
;
; El LED conectado a la línea 0 del puerto de salida se enciende durante 400 ms y se
; apaga durante 300 ms. Utiliza las subrutinas de la librería RETARDOS.INC.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC

#DEFINE LED     PORTB,0

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        bcf     LED                     ; Línea del LED configurada como salida.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
Principal
        bsf     LED                     ; Enciende el LED
        call    Retardo_200ms           ; durante la suma de este tiempo.
        call    Retardo_200ms
        bcf     LED                     ; Lo apaga durante la suma de los siguientes
        call    Retardo_200ms           ; retardos.
        call    Retardo_100ms
        goto    Principal

        INCLUDE <RETARDOS.INC>          ; Librería con subrutinas de retardo.
        END                             ; Fin del programa.
```

Se observa que el programa gana en claridad gracias a la subrutinas y a la directiva *INCLUDE <RETARDOS.INC>*. Además, es mucho más reducido que si las subrutinas se hubieran incluido directamente, aunque en la memoria de programa ocupan lo mismo.

En alguna
introducidas por l
problema durante
un punto y com
comprobado el co
subrutinas elimina

12.7 REBO

En casi todo
mecánicos para la
normalmente abier



Figu

El propósito
dependiendo si está
figura 12-7 donde se

- Cuando
- Cuando
  punto A

En algunas simulaciones de programas con MPLAB, las temporizaciones introducidas por los retardos de tiempo pueden resultar muy incomodas. Para evitar este problema durante la simulación hay que inhabilitar las subrutinas de retardo anteponiendo un punto y coma, ";", delante de cada llamada a subrutina de retardo. Una vez comprobado el correcto funcionamiento del programa habría que volver a habilitar dichas subrutinas eliminando los puntos y comas insertados.

12.7 REBOTES EN LOS PULSADORES

En casi todos los proyectos de sistemas digitales habrá ocasión de utilizar contactos mecánicos para la generación de impulsos eléctricos. Ejemplo de esto, es el pulsador normalmente abierto utilizado en el circuito de la figura 12-6.

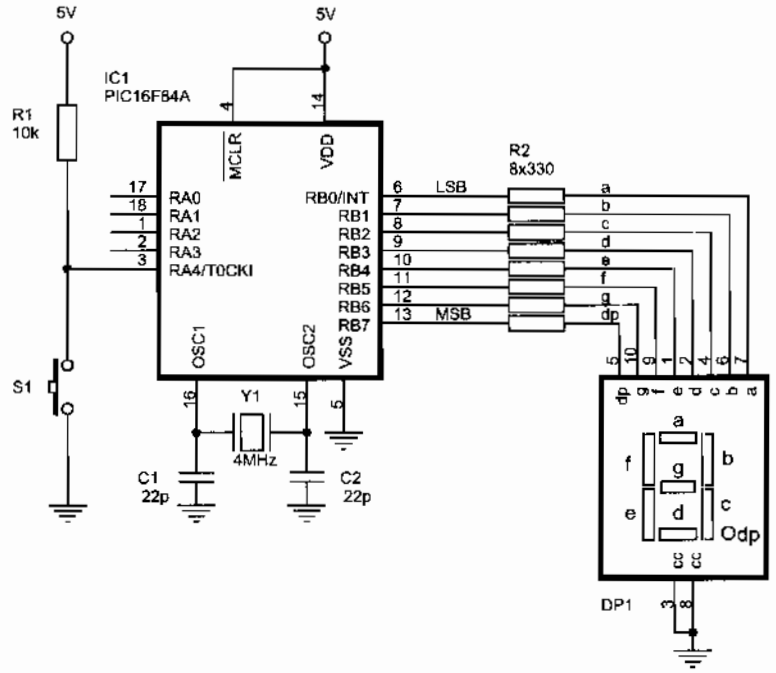


Figura 12-6 Pulsador a una entrada del microcontrolador

El propósito de este pulsador es aplicar un nivel lógico bajo o un nivel lógico alto, dependiendo si está o no pulsado. La señal producida por el pulsador se detalla en la figura 12-7 donde se aprecia como:

- Cuando no se actúa sobre el pulsador la tensión en el punto A es +5 V.
- Cuando el pulsador es presionado los contactos se cierran y la tensión en el punto A debe ser 0 V.

Idealmente, la forma de onda de tensión en A debe aparecer como se indica en la forma de onda superior de la figura 12-7. Sin embargo, en realidad la forma de onda del punto A aparecerá con una serie de **rebotes** tal como se especifica en la misma figura. Esto es debido al fenómeno de **rebote de contacto**. Cualquier dispositivo mecánico de conmutación consiste en un brazo móvil de contacto dotado de alguna clase de sistema de muelle. Cuando el brazo se mueve de una posición estable a otra el brazo rebota, lo mismo que cuando una bola de materia dura choca con una superficie también dura. El número de rebotes que ocurren en el período de rebote difiere en cada dispositivo de conmutación y de la fuerza con que se actúa sobre el pulsador.

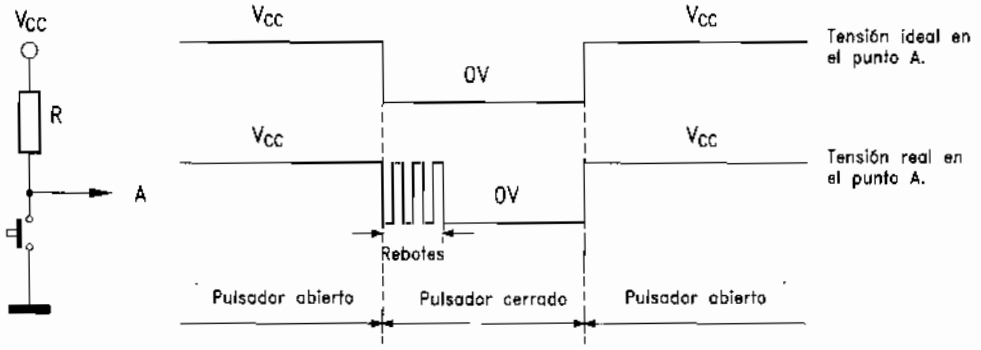


Figura 12-7 Todo pulsador produce rebotes

Si la tensión en el punto A se aplica a la entrada de un circuito digital el circuito responderá adecuadamente cuando el pulsador esté abierto, ya que no ocurre rebote alguno del contacto. Sin embargo, cuando el pulsador se presiona, el circuito responderá como si fuesen aplicadas señales múltiples, en vez de haber un solo cierre del pulsador, con resultados impredecibles e indeseables.

Estos rebotes se pueden eliminar mediante circuitos hardware (figura 32-25), sin embargo, la mayoría de las veces es suficiente con añadir un pequeño retardo en el programa cada vez que se detecta un cambio de posición en el pulsador y volver a leer el pulsador una vez pasado este tiempo. El siguiente programa es un ejemplo de ello para el circuito de la figura 12-6. La figura 12-8 detalla el funcionamiento mediante su diagrama de flujo.

```
;************************************ Pulsador_01.asm ************************************
;
; Cada vez que presione el pulsador conectado al pin RA4 incrementa un contador visualizado en el display.
;
; ZONA DE DATOS *****************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>
```

```
        CBLOCK  0x0C
        Contador                    ; El contador a visualizar.
        ENDC

#DEFINE Pulsador  PORTA,4           ; Pulsador conectado a RA4.
#DEFINE Display   PORTB             ; El display está conectado al Puerto B.

; ZONA DE CÓDIGOS ***************************************************************************

        ORG     0                   ; El programa comienza en la dirección 0.
Inicio
        bsf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 1.
        clrf    Display             ; Estas líneas configuradas como salidas.
        bsf     Pulsador            ; Línea del pulsador configurada como entrada.
        bcf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 0.
        call    InicializaContador  ; Inicializa el Contador y lo visualiza.
        call    Visualiza
Principal
        btfsc   Pulsador            ; ¿Pulsador presionado?, ¿(Pulsador) = 0?
        goto    Fin                 ; No. Vuelve a leerlo.
        call    Retardo_20ms        ; Espera que se estabilicen los niveles de tensión.
        btfsc   Pulsador            ; Comprueba si es un rebote.
        goto    Fin                 ; Era un rebote y sale fuera.
        call    IncrementaVisualiza ; Incrementa el contador y lo visualiza.
EsperaDejePulsar
        btfss   Pulsador            ; ¿Dejó de pulsar?, ¿(Pulsador) = 1?
        goto    EsperaDejePulsar    ; No. Espera que deje de pulsar.
Fin     goto    Principal

; Subrutina "IncrementaVisualiza" -----------------------------------------------

IncrementaVisualiza
        incf    Contador,F          ; Incrementa el contador y comprueba si ha
        movlw   d'10'               ; llegado a su valor máximo mediante una
        subwf   Contador,W          ; resta. (W)=(Contador)-10.
        btfsc   STATUS,C            ; ¿C=0?, ¿(W) negativo?, ¿(Contador)<10?
InicializaContador
        clrf    Contador            ; No, era igual o mayor. Por tanto, resetea.
Visualiza
        movf    Contador,W
        call    Numero_a_7Segmentos ; Lo pasa a siete segmento para poder ser
        movwf   Display             ; visualizado en el display.
        return

        INCLUDE <DISPLAY_7S.INC>    ; Subrutina Numero_a_7Segmentos.
        INCLUDE <RETARDOS.INC>      ; Subrutinas de retardo.
        END                         ; Fin del programa.
```

Hay otros muchos dispositivos como interruptores, conmutadores, finales de carrera, detectores digitales, etc, que funcionan de forma similar a los pulsadores.

12.8 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores, diseñar, ensamblar, simular, grabar el microcontrolador y comprobar los siguientes programas para el esquema de la figura 1-2. El lector puede introducir todas las mejoras que considere conveniente.

Retardo_01.asm: El LED conectado a la línea 0 del Puerto B se enciende durante 400 ms y se apaga durante 300 ms.

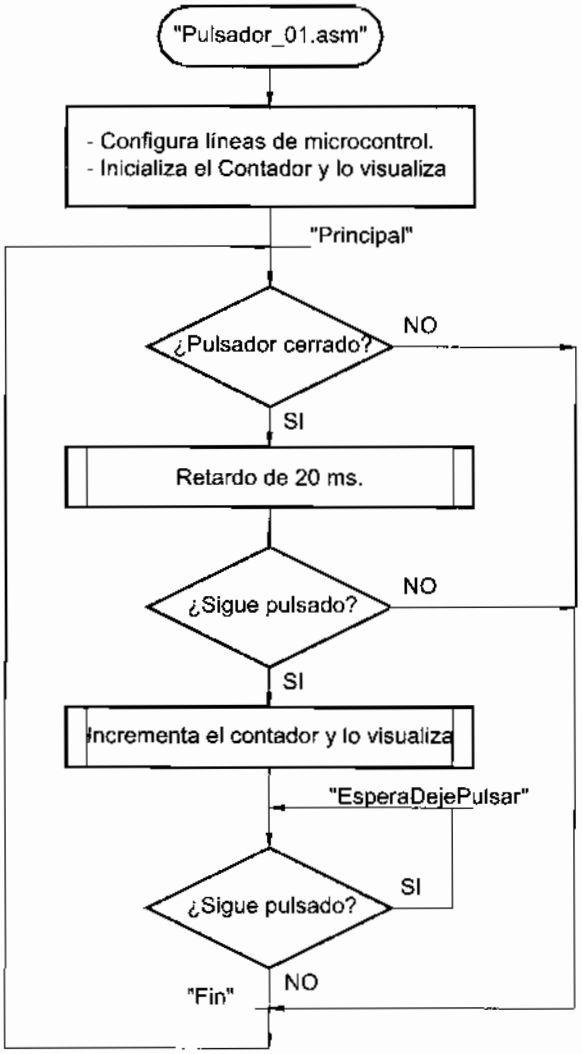


Figura 12-8 Diagrama de flujo del programa para pulsador antirrebote

Retardo_02.asm: Repetir el programa anterior utilizando las subrutinas de la librería RETARDOS.INC.

Retardo_03.asm: Los diodos pares conectados al Puerto B se encienden durante 0,5 segundos y los impares permanecen apagados. Después se invierten durante el mismo tiempo y se repite el ciclo indefinidamente.

Retardo_04.asm: Por la barra de LEDs conectada al Puerto B un LED encendido rota a la izquierda durante 0,3 s en cada posición. Cuando llega al final se apagan todos los LEDs y de nuevo repite la operación. Observe el curioso efecto visualizado en el display, ¿le dá nuevas ideas al lector?.

Retardo_05.asm: Por la barra de LEDs conectada al Puerto B un LED encendido rota a la izquierda durante 0,3 s en cada posición. Cuando llega al final comienza a rotar a derechas durante 0,5 s en cada posición. La operación se repite indefinidamente.

Retardo_06.asm: Por la barra de LEDs conectada al Puerto B un LED encendido rota a la izquierda durante 0,5 s en cada posición empezando por la línea D0. El número de posiciones a desplazar lo fija el valor de las tres primeras líneas del puerto de entrada. Así por ejemplo, si por el puerto de entrada se lee el dato "---00011" (binario) (3 decimal), la secuencia de salida sería .., 00000000, 00000001, 00000010, 00000100, 00000000, 00000001, 00000010,... (y se repite indefinidamente).

Retardo_07.asm: Por la barra de LEDs conectada al Puerto B un LED encendido rota a la izquierda durante 0,2 s cada posición. Cuando llega al final se apagan todos los LEDs y de nuevo repite la operación. Hay que realizarlo mediante el manejo de una tabla. Este ejercicio se ha implementado anteriormente utilizando la instrucción *rlf*.

Retardo_08.asm: Por la barra de LEDs conectada al puerto de salida se visualiza un juegos de luces que al lector le pueda resultar divertido. Hay que utilizar una tabla de datos. Observe el curioso efecto visualizado en el display, ¿le dá nuevas ideas al lector?.

Retardo_09.asm: El display debe visualizar un mensaje grabado en la memoria ROM mediante la directiva *DT*. Se utilizará la misma técnica que para la visualización de los juegos de luces de los programas anteriores.

Retardo_10.asm: El display debe visualizarse un mensaje grabado en la memoria ROM mediante la directiva *DT*. En lugar de medir la longitud como en programas anteriores, detectará el fin de mensaje mediante el código 0x00 grabado al final.

Retardo_11.asm: El display visualiza un contador descendente que cuenta desde la cantidad leída por el Puerto A hasta cero y vuelve a repetir. Cada dígito se visualizará durante un segundo. Por ejemplo, si por el puerto de entrada se lee "---00101" en el

display se visualizarán las cantidades: 5, 4, 3, 2, 1, 0, 5, 4, 3, ... Si en la entrada se lee una cantidad mayor de 9 o un 0 se encenderá únicamente el punto decimal.

Retardo_12.asm: Si el bit 0 del puerto de entrada es "0" lógico por el display se visualizará un contador descendente (9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0, 9, ..) con una cadencia de 0,5 s aproximadamente, si es "1" por el display se visualizará un contador ascendente (0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 0, 1, 2, ..) con una cadencia de 0,5 s.

Retardo_13.asm: Por la barra de LEDs conectada al puerto de salida se visualiza un juegos de luces con la secuencia que el lector determine. La velocidad del movimiento será fijada por la lectura de las tres líneas conectadas al puerto A, de manera que se visualice cada posición durante un tiempo:

- Si (PORTA)=0, cada posición se visualiza durante 0 x 100 ms = 0 ms. (Apagado).
- Si (PORTA)=1, cada posición se visualiza durante 1 x 100 ms = 100 ms aproximadamente.
- Si (PORTA)=2, cada posición se visualiza durante 2 x 100 ms = 200 ms aproximadamente.
- .... y así sucesivamente hasta...
- Si (PORTA)=7, cada posición se visualiza durante 7 x 100 ms = 700 ms aproximadamente.

Pulsador_01.asm: Por el display aparecerá las veces que se activa el pulsador conectado al pin RA4. Cuando llegue a 10 la cuenta se resetcará y comenzará de nuevo. Debe haber un pequeño tiempo de temporización que evite el efecto rebote del pulsador. (Hay que asegurarse que el interruptor que está en paralelo con el pulsador no está cerrado).

Pulsador_02.asm: Mientras se mantenga activado el pulsador del pin RA4, en el display contará de 0 a 9 continuamente, manteniéndose 200 ms en cada valor. Cuando deje de estar pulsador permanecerá el último valor visualizado. (Asegurarse que el interruptor que está en paralelo con el pulsador no está cerrado).

Pulsador_03.asm: Simula un dado electrónico que cuenta de 1 a 6. Mientras se mantenga activado un pulsador del pin RA4, el display contará de 1 a 6 continuamente, manteniéndose un instante en cada valor. Cuando deje de estar pulsador permanecerá el último valor visualizado. En este caso no es importante el tema de los rebotes. (Hay que asegurarse que el interruptor que está en paralelo con el pulsador no está cerrado).

CAPÍTULO 13

LCD

En muchos proyectos es necesario visualizar información a través de una pantalla de bajo coste. La forma más utilizada es mediante un display LCD tal como se explica en este capítulo.

13.1 VISUALIZADOR LCD

Las pantallas de cristal liquido o display **LCD** para mensajes *(Liquid Crystal Display)* tienen la capacidad de mostrar cualquier carácter alfanumérico, permitiendo representar la información que genera cualquier equipo electrónico de una forma fácil y económica (figura 13-1). La pantalla consta de una matriz de caracteres (normalmente de 5x7 puntos) distribuidos en una, dos, tres o cuatro líneas de 16 hasta 40 caracteres cada línea. El proceso de visualización es gobernado por un microcontrolador incorporado a la pantalla, siendo el Hitachi 44780 el modelo más utilizado.

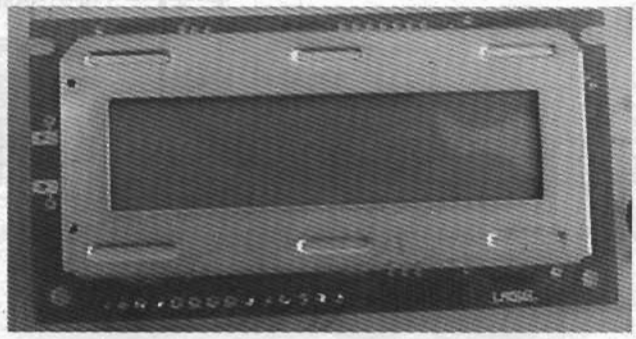


Figura 13-1 Aspecto de un módulo LM016L

Distintos fabricantes ofrecen multitud de versiones de visualizadores de cristal líquido. El modelo utilizado en este libro es el LM016L, que es un módulo LCD de dos líneas de 16 caracteres cada una. Su fácil manejo lo hace ideal para dispositivos que necesitan una capacidad de visualización pequeña o media. Las características generales de un módulo LM016L son:

- Consumo muy reducido, del orden de 7,5 mW.
- Pantalla de caracteres ASCII, además de los caracteres japoneses Kanji, caracteres griegos y símbolos matemáticos.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o a la derecha.
- Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla, visualizándose 16 caracteres por línea.
- Movimiento del cursor y cambio de su aspecto.
- Permite que el usuario pueda programar ocho caracteres.
- Pueden ser gobernados de dos formas principales:
  - Conexión con bus de 4 bits.
  - Conexión con bus de 8 bits.

Lo que a continuación se explica se refiere al modelo LM016L y con pequeñas variaciones es también válido para cualquier otro.

13.2 PATILLAJE

El módulo LM016L tiene 14 pines descritos en la figura 13-2 y tabla 13-1. Se conecta fácilmente a cualquier sistema microcontrolador, tal como se muestra en la figura 13-5. Las líneas del bus datos son triestados y pasan a estado de alta impedancia cuando el LCD no está habilitado.

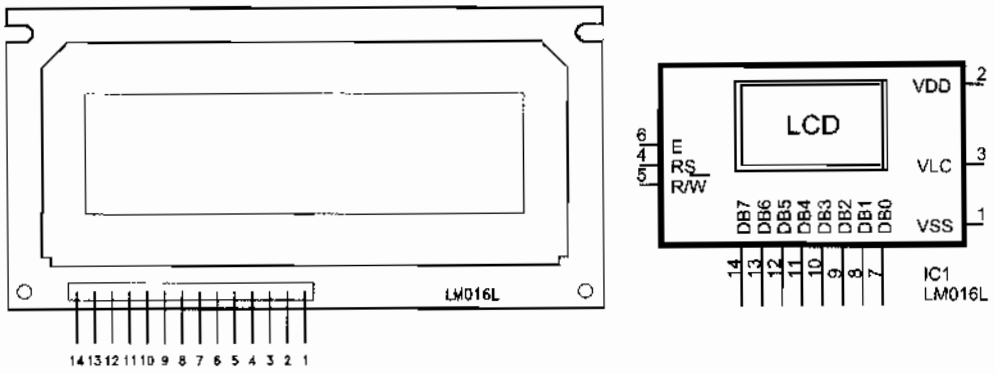


Figura 13-2 Patillaje del LCD LM016L

La alimentación es de + 5V. La regulación de contraste se realiza mediante el voltaje obtenido al dividir los 5 V con una resistencia ajustable de 10 k y aplicárselo al pin V_{LC}, como describe la figura 13-5. En algunos proyectos se elimina la resistencia ajustable y conecta V_{LC} a masa fijando el máximo contraste permanentemente.

SEÑAL	DEFINICIÓN	PINES	FUNCIÓN
DB0....DB7	*Data Bus*	7.. ..14	Bus de Datos.
E	*Enable*	6	E=0, LCD no habilitado. E=1, LCD habilitado.
R/W	*Read/Write*	5	R/W=0, escribe en LCD. R/W=1, lee del LCD.
RS	*Register Select*	4	R/S=0, Modo Comando. R/S=1, Modo Carácter.
V_{LC}	*Liquid Crystal driving Voltage*	3	Tensión para ajustar el contraste.
V_{DD}	*Power Supply Voltage*	2	Tensión de alimentación, +5V
V_{SS}	*Ground*	1	Masa.

Tabla 13-1 Función de los pines en un LM016L

13.3 DDRAM

El LM016L posee una zona de memoria RAM llamada **DDRAM** *(Data Display RAM)* donde se almacenan los caracteres que se pueden representar. Tiene una capacidad de 80 bytes, 40 por cada línea, de los cuales sólo 32 se pueden visualizar a la vez (16 bytes por línea), figura 13-3. La DDRAM almacena los códigos ASCII de los caracteres que aparecerán en pantalla y existe una correspondencia entre las filas de la pantalla y las posiciones consecutivas de memoria.



Figura 13-3 DDRAM

De las 80 posibles, las dos direcciones más importantes de la DDRAM son:

- Dirección 00h, que es el comienzo de la primera línea.
- Dirección 40h, que es el comienzo de la segunda línea.

Cada vez que se escribe un dato en la DDRAM automáticamente se apunta a la siguiente posición, donde se realizará la escritura del próximo carácter.



Figura 13-4 Caracteres definidos dentro de la tabla CGROM (cortesía de Hitachi)

13.4 CARA

El módulo
CGROM donde se
(figura 13-4). Cada
visualizar un carác
ejemplo, para visua
b'01000001'.

También per
tabla interna. Estos
(Character Generat

13.5 MODO

El LM016L,

- **Modo Com**
  "Borrar Dis
  modo coma
  indicar que
  modo tarda

- **Modo Car**
  un carácter
  ASCII a vis
  R/W debe
  También se
  en este mod

- **Modo lectu**
  LCD inform
  Busy Flag).
  de datos es
  internas y n
  el *Busy Flag*

El modo de o
problemas de tiempo
comprobar que no es
Busy Flag que sólo
instrucción que se le

RAM son:

nte se apunta a la



sía de Hitachi)

13.4 CARACTERES DEFINIDOS EN LA CGROM

El módulo LM016L posee una zona de memoria interna no volátil llamada CGROM donde se almacena una tabla con los 192 caracteres que pueden ser visualizados (figura 13-4). Cada uno de los caracteres tiene su representación binaria de ocho bits. Para visualizar un carácter debe recibir por el bus de datos el código correspondiente. Por ejemplo, para visualizar el carácter "A" el LCD debe recibir por su bus de datos el código b'01000001'.

También permite definir ocho nuevos caracteres de usuario, no incluidos en su tabla interna. Estos caracteres se guardan en una zona de RAM denominada CGRAM *(Character Generator RAM).*

13.5 MODOS DE FUNCIONAMIENTO

El LM016L, tiene tres modos de funcionamiento principales:

- **Modo Comando**. Cuando por el bus de datos el LCD recibe instrucciones como "Borrar Display", "Mover Cursor", "Desplazar a izquierda", etc. Para trabajar en modo comando, el pin RS debe estar a "0". El pin R/W también debe ser "0" para indicar que se está realizando una operación de escritura. Una operación en este modo tarda un máximo de 1,64 ms.

- **Modo Carácter o Dato**. Cuando por el bus de datos el visualizador LCD recibe un carácter a escribir en la DDRAM. Es decir, cuando se envía al LCD el carácter ASCII a visualizar. Para trabajar en este modo, el pin RS debe estar a "1". El pin R/W debe ser "0" para indicar que está realizando una operación de escritura. También se le puede llamar "modo carácter" o "modo registro". Una operación en este modo tarda un máximo de 40 µs.

- **Modo lectura del *"Busy Flag"* o LCD Ocupada**. En el bit 7 del bus de dato el LCD informa al microcontrolador de que está ocupado, (este bit es denominado *Busy Flag*). Para ello se lee el bus de dato con RS=0 y R/W=1, si el bit 7 del bus de datos es "1" indica que la pantalla LCD está ocupada realizando operaciones internas y no puede aceptar nuevas instrucciones ni datos. Hay que esperar a que el *Busy Flag* valga "0" para enviarle la siguiente instrucción o carácter.

El modo de operación de lectura del *Busy Flag* se ha ideado para evitar posibles problemas de tiempo, de manera que no se realiza ninguna operación con el LCD hasta comprobar que no está ocupado. El pin R/W permite leer el registro de estado en el modo *Busy Flag* que sólo sirve para comprobar si el controlador ha terminado de realizar la instrucción que se le ha enviado y así poder enviar más.

Para un control sencillo, se pueden realizar pausas después de cada instrucción o envío de datos para no tener que leer el registro de estado, con ello se evita el modo de lectura del *Busy Flag*. La principal ventaja de esto es que se logra ahorrar un pin del microcontrolador porque la línea R/W no es necesaria y se puede conectar directamente a masa, tal como se ilustra en la figura 13-5. La detección del *Busy Flag* se sustituye entonces por un pequeño retardo antes de realizar cualquier nueva operación con el display LCD. Este retardo debe ser mayor de 1,64 ms si trabaja en modo comando y mayor de 40 µs si trabaja en modo dato.

13.6 COMANDOS DE CONTROL

Los comandos que admite el módulo LM016L se resumen en la tabla 13-2.

COMANDO	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*
Entry Mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S
Display Control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B
Cursor and display Shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*
Function Set	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*
Set CGRAM Address	0	0	0	1	*CGRAM Address*					
Set DDRAM Address	0	0	1	*DDRAM Address*						
Read Busy Flag	0	1	BF	*DDRAM Address*						
Write RAM	1	0	*Write Data*							
Read RAM	1	1	*Read Data*							

Tabla 13-2 Comandos del visualizador LCD LM016L

Los comandos se envían a través del bus de datos. Para que el LCD los reconozca hay que poner la señal RS a nivel bajo. A continuación se detallan los comandos y símbolos de esta tabla:

- *Clear Display* (0 0 0 0 0 0 0 1). Borra pantalla y devuelve el cursor a la posición inicial (dirección 0 de la DDRAM)
- *Return Home* (0 0 0 0 0 0 1 x). Cursor a dirección origen. Devuelve el cursor la posición original de la DDRAM (dirección 00h) quedando intacto su contenido.
- *Entry Mode Set* (0 0 0 0 0 1 I/D S). Modo Entrada. Establece las características de escritura de los datos *Shift* e *Increment/Decrement*:
  - S = 0. La información visualizada en pantalla no se desplaza al escribir un nuevo carácter.

- S =
- I/D
- I/D
- *Display C*
  - B =
  - B =
  - C =
  - C =
  - D =
  - D =
- *Cursor an* del cursor
  - R/L
  - R/L
  - S/C
  - S/C
- *Function S*
  - F = 0
  - F = 1
  - N = 0
  - N = 1
  - DL =
  - DL =
- *Set CGRA*
- *Set DDRA* el puntero el centro d
- *Read Busy* además, el

13.7 CONE

La figura microcontrolador

- S = 1. La información visualizada se desplaza al escribir un nuevo carácter. La pantalla se desplaza en el sentido indicado por el bit I/D cuando el cursor llega al filo de la pantalla.
- I/D = 1. Incremento automático de la posición del cursor. La posición de la DDRAM se incrementa automáticamente tras cada lectura o escritura a la misma,
- I/D = 0. Decremento de la posición del cursor. Se decrementa el puntero de la DDRAM.

- *Display Control* (0 0 0 0 1 D C B). Control de la pantalla:
  - B = 0. *Blink OFF*, no hay efecto de parpadeo del cursor.
  - B = 1. *Blink ON*, efecto de parpadeo con un cursor rectangular.
  - C = 0. *Cursor OFF*, el cursor no se visualiza.
  - C = 1. *Cursor ON*, el cursor es visualizado.
  - D = 0. *Display OFF*, el display se apaga.
  - D = 1. *Display ON*, el display se enciende.
- *Cursor and Display Shift* (0 0 0 1 S/C R/L x x). Control de los desplazamientos del cursor y de la pantalla:
  - R/L = 0. *Left*. A la izquierda.
  - R/L = 1. *Right*. A la derecha.
  - S/C = 0. El efecto de desplazamiento se aplica sólo sobre el cursor sin alterar el contenido de la DDRAM.
  - S/C = 1. El efecto de desplazamiento se aplica sobre todo el display.
- *Function Set* (0 0 1 DL N F x x). Características de control hardware:
  - F = 0. *Font*. Caracteres de 5 x 7 puntos.
  - F = 1. *Font*. Caracteres de 5 x 10 puntos.
  - N = 0. *Number Line*. Pantalla de 1 línea.
  - N = 1. *Number Line*. Pantalla de 2 líneas.
  - DL = 0. *Data Length*. Comunicación con 4 bits. Indica al display LCD que solamente se van a utilizar las líneas DB7, DB6, DB5 y DB4 para enviarle los datos y que se hará enviando primero el nibble alto, y a continuación el nibble bajo del dato
  - DL = 1. *Data Length*. Comunicación con 8 bits.
- *Set CGRAM Address*. Se va a escribir sobre la dirección CGRAM señalada.
- *Set DDRAM Address* (1 d d d d d d d). Esta instrucción se utiliza para modificar el puntero a la DDRAM. Así por ejemplo, si la dirección es la 08h se escribirá en el centro de la primera línea.
- *Read Busy Flag*. Lee el BF indicando si hay una operación interna en curso y lee, además, el contenido de la dirección DDRAM apuntada.

13.7 CONEXIÓN DE LCD MEDIANTE 4 BITS

La figura 13-5 ilustra la forma de conectar el LCD al Puerto B del microcontrolador mediante 4 líneas y sin lectura del *Busy flag* por lo que también se

ahorra la línea R/W que se conecta a masa. La principal ventaja de este circuito es que utiliza el mínimo posible de pines (6 línesa) del microcontrolador para el control del display LCD.

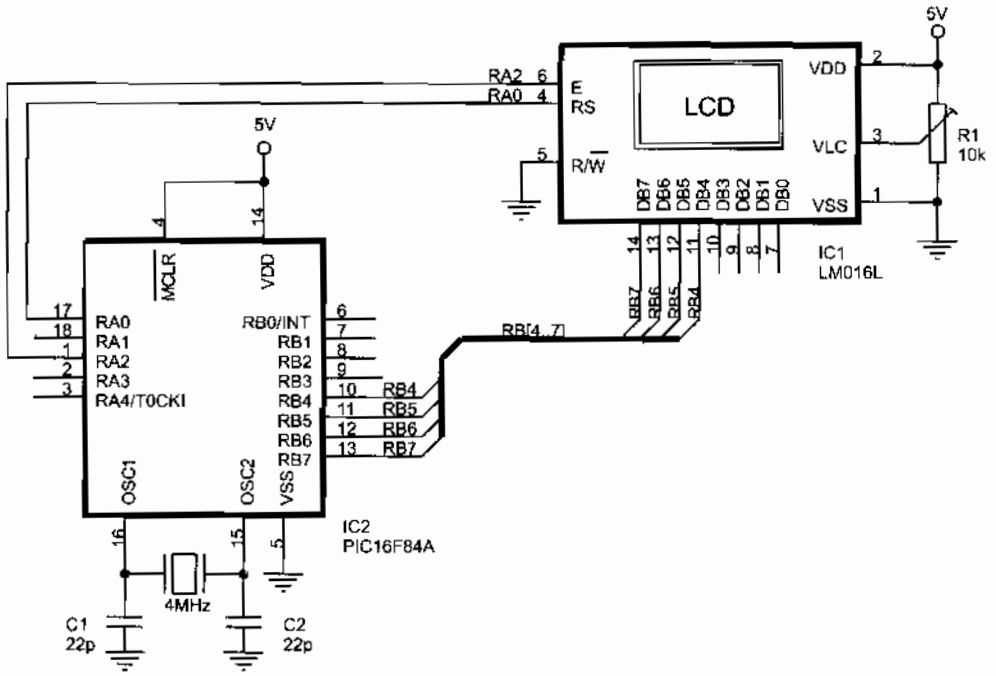


Figura 13-5 Conexión del módulo LCD al PIC16F84A mediante bus de 4 líneas

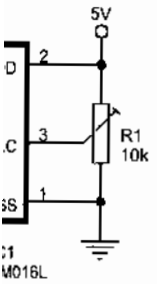
13.8 LIBRERÍA DE SUBRUTINAS

La librería LCD_4BIT.INC contiene las subrutinas de control que permiten realizar las tareas básicas de control de un módulo LCD conectado según el circuito de la figura 13-5.

Aunque esta librería está suficientemente documentada, se destacan algunas de su subrutinas principales. Otras serán comentadas más adelante.

- "LCD_Inicializa". Inicializa el módulo LCD para su correcto funcionamiento. Configura funciones del LCD, produce un reset por software, borra la memoria DDRAM y enciende la pantalla. Es necesario ejecutar esta subrutina al principio de los programas que vayan a utilizar la visualización mediante LCD. El fabricante especifica que para garantizar una correcta inicialización debe realizarse como indica la figura 13-6.
- "LCD_Carácter". Visualiza en la posición actual del cursor el código ASCII del dato contenido en el registro W.

: circuito es que
a el control del



de 4 líneas

ermiten realizar
uito de la figura

n algunas de su

funcionamiento.
orra la memoria
tina al principio
iante LCD. El
alización debe

digo ASCII del

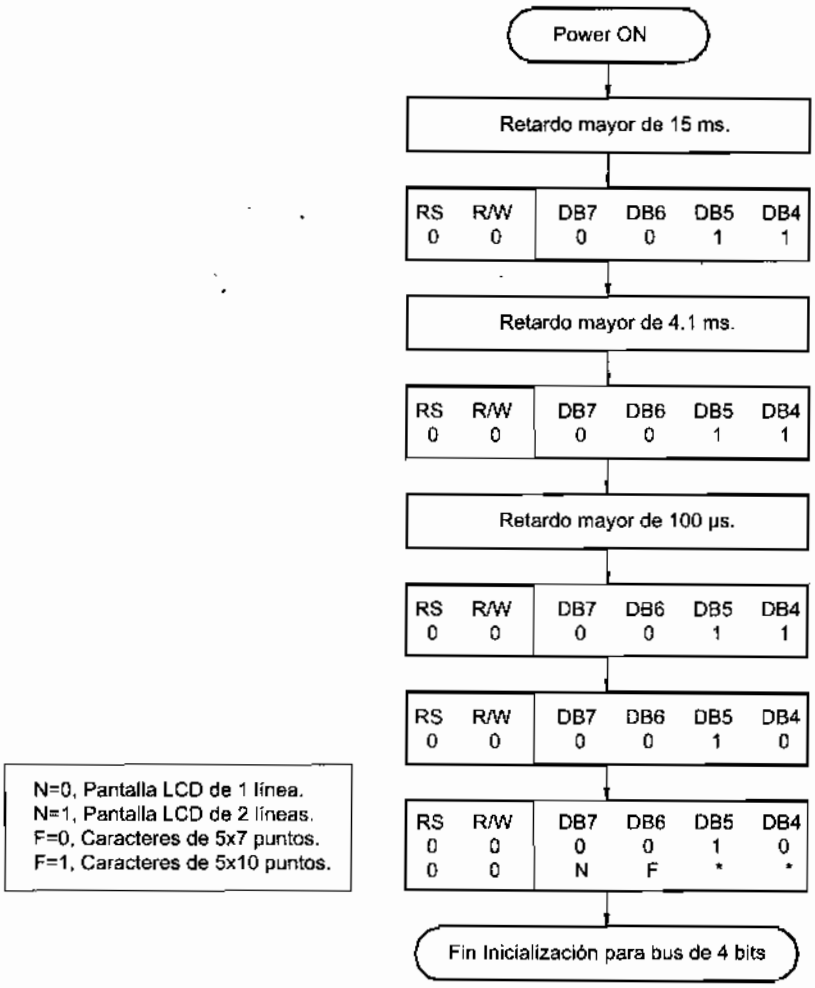


Figura 13-6 Proceso de inicialización del LM016L para conexión con bus de 4 líneas

- "LCD_Borra". Borra toda la pantalla y pone el cursor a principio de la línea 1.
- "LCD_Linea1". Envía el cursor al principio de la línea 1.
- "LCD_Linea2". Envía el cursor al principio de la línea 2.
- "LCD_PosicionLinea1". Envía el cursor a la posición de la línea 1 indicada por (W). Por ejemplo, si (W)=0x08, al ejecutar esta subrutina el cursor se irá al centro de la línea en una pantalla de 16 caracteres.
- "LCD_PosicionLinea2". Igual que el anterior para la línea 2.
- "LCD_LineaEnBlanco". Visualiza una línea en blanco.
- "LCD_DosEspaciosBlanco". Visualiza dos espacios en blanco.

Esta librería ha sido diseñada para que funcione correctamente con el circuito de la figura 13-10, donde a las líneas del bus de datos se han conectado otros dispositivos. Por

ello no deben alterar el contenido de las líneas de la parte baja del Puerto B que no son utilizadas para el LCD (pines RB3:RB0), primero se lee estas líneas y después se vuelve a enviar este dato sin cambiarlo. También debe mantener la configuración de las líneas del Puerto B cuando no se utilizan para enviar datos al LCD. De estas funciones cuida la subrutina "LCD_EscribeLCD".

El listado completo de la librería LCD_4BIT.INC es el siguiente:

```
;***************************** Librería "LCD_4BIT.INC" ************************************
;
; Estas subrutinas permiten realizar las tareas básicas de control de un módulo LCD de 2
; líneas por 16 caracteres, compatible con el modelo LM016L.
;
; El visualizador LCD está conectado al Puerto B del PIC mediante un bus de 4 bits. Las
; conexiones son:
;   -       Las 4 líneas superiores del módulo LCD, pines <DB7:DB4>  se conectan a las 4
;           líneas superiores del Puerto B del PIC, pines <RB7:RB4>.
;   -       Pin RS del LCD a la línea RA0 del PIC.
;   -       Pin R/W del LCD a la línea RA1 del PIC, o a masa.
;   -       Pin Enable del LCD a la línea RA2 del PIC.
;
; Se utilizan llamadas a subrutinas de retardo de tiempo localizadas en la librería RETARDOS.INC.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        CBLOCK
        LCD_Dato
        LCD_GuardaDato
        LCD_GuardaTRISB
        LCD_Auxiliar1
        LCD_Auxiliar2
        ENDC

LCD_CaracteresPorLinea    EQU    .16      ; Número de caracteres por línea de la pantalla.

#DEFINE LCD_PinRS         PORTA,0
#DEFINE LCD_PinRW         PORTA,1
#DEFINE LCD_PinEnable     PORTA,2
#DEFINE LCD_BusDatos      PORTB

; Subrutina "LCD_Inicializa" ---------------------------------------------------------
;
; Inicialización del módulo LCD: Configura funciones del LCD, produce reset por software,
; borra memoria y enciende pantalla. El fabricante especifica que para garantizar la
; configuración inicial hay que hacerla como sigue:
;
LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0              ; Configura las líneas conectadas al pines RS,
        bcf     LCD_PinRS               ; R/W y E.
        bcf     LCD_PinEnable
        bcf     LCD_PinRW
        bcf     STATUS,RP0
```

```
        bcf     LCD_PinRW           ; En caso de que esté conectado le indica
                                    ; que se va a escribir en el LCD.
        bcf     LCD_PinEnable       ; Impide funcionamiento del LCD poniendo E=0.
        bcf     LCD_PinRS           ; Activa el Modo Comando poniendo RS=0.
        call    Retardo_20ms
        movlw   b'00110000'
        call    LCD_EscribeLCD      ; Escribe el dato en el LCD.
        call    Retardo_5ms
        movlw   b'00110000'
        call    LCD_EscribeLCD
        call    Retardo_200micros
        movlw   b'00110000'
        call    LCD_EscribeLCD
        movlw   b'00100000'         ; Interface de 4 bits.
        call    LCD_EscribeLCD

; Ahora configura el resto de los parámetros:

        call    LCD_2Lineas4Bits5x7 ; LCD de 2 líneas y caracteres de 5x7 puntos.
        call    LCD_Borra           ; Pantalla encendida y limpia. Cursor al principio
        call    LCD_CursorOFF       ; de la línea 1. Cursor apagado.
        call    LCD_CursorIncr      ; Cursor en modo incrementar.
        return

; Subrutina "LCD_EscribeLCD" ---------------------------------------------------
;
; Envía el dato del registro de trabajo W al bus de dato y produce un pequeño pulso en el pin
; Enable del LCD. Para no alterar el contenido de las líneas de la parte baja del Puerto B que
; no son utilizadas para el LCD (pines RB3:RB0), primero se lee estas líneas y después se
; vuelve a enviar este dato sin cambiarlo.

LCD_EscribeLCD
        andlw   b'11110000'         ; Se queda con el nibble alto del dato que es el
        movwf   LCD_Dato            ; que hay que enviar y lo guarda.
        movf    LCD_BusDatos,W      ; Lee la información actual de la parte baja
        andlw   b'00001111'         ; del Puerto B, que no se debe alterar.
        iorwf   LCD_Dato,F          ; Enviará la parte alta del dato de entrada
                                    ; y en la parte baja lo que había antes.
        bsf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 1.
        movf    TRISB,W             ; Guarda la configuración que tenía antes TRISB.
        movwf   LCD_GuardaTRISB
        movlw   b'00001111'         ; Las 4 líneas inferiores del Puerto B se dejan
        andwf   PORTB,F             ; como estaban y las 4 superiores como salida.
        bcf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 0.
;
        movf    LCD_Dato,W          ; Recupera el dato a enviar.
        movwf   LCD_BusDatos        ; Envía el dato al módulo LCD.
        bsf     LCD_PinEnable       ; Permite funcionamiento del LCD mediante un pequeño
        bcf     LCD_PinEnable       ; pulso y termina impidiendo el funcionamiento del LCD.
        bsf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 1. Restaura el antiguo valor en
        movf    LCD_GuardaTRISB,W   ; la configuración del Puerto B.
        movwf   PORTB               ; Realmente es TRISB.
        bcf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 0.
        return
```

```
; Subrutinas variadas para el control del módulo LCD ----------
;
;Los comandos que pueden ser ejecutados son:
;
LCD_CursorIncr                  ; Cursor en modo incrementar.
        movlw   b'00000110'
        goto    LCD_EnviaComando
LCD_Linea1                      ; Cursor al principio de la Línea 1.
        movlw   b'10000000'     ; Dirección 00h de la DDRAM
        goto    LCD_EnviaComando
LCD_Linea2                      ; Cursor al principio de la Línea 2.
        movlw   b'11000000'     ; Dirección 40h de la DDRAM
        goto    LCD_EnviaComando
LCD_PosicionLinea1              ; Cursor a posición de la Línea 1, a partir de la
        iorlw   b'10000000'     ; dirección 00h de la DDRAM más el valor del
        goto    LCD_EnviaComando ; registro W.
LCD_PosicionLinea2              ; Cursor a posición de la Línea 2, a partir de la
        iorlw   b'11000000'     ; dirección 40h de la DDRAM más el valor del
        goto    LCD_EnviaComando ; registro W.
LCD_OFF                         ; Pantalla apagada.
        movlw   b'00001000'
        goto    LCD_EnviaComando
LCD_CursorON                    ; Pantalla encendida y cursor encendido.
        movlw   b'00001110'
        goto    LCD_EnviaComando
LCD_CursorOFF                   ; Pantalla encendida y cursor apagado.
        movlw   b'00001100'
        goto    LCD_EnviaComando
LCD_Borra                       ; Borra toda la pantalla, memoria DDRAM y pone el
        movlw   b'00000001'     ; cursor a principio de la línea 1.
        goto    LCD_EnviaComando
LCD_2Lineas4Bits5x7             ; Define la pantalla de 2 líneas, con caracteres
        movlw   b'00101000'     ; de 5x7 puntos y conexión al PIC mediante bus de
;       goto    LCD_EnviaComando ; 4 bits.

; Subrutinas "LCD_EnviaComando" y "LCD_Caracter" ----------
;
; "LCD_EnviaComando". Escribe un comando en el registro del módulo LCD. La palabra de
; comando ha sido entregada a través del registro W.  Trabaja en Modo Comando.
; "LCD_Caracter". Escribe en la memoria DDRAM del LCD el carácter ASCII introducido a
; a través del registro W. Trabaja en Modo Dato.
;
LCD_EnviaComando
        bcf     LCD_PinRS       ; Activa el Modo Comando, poniendo RS=0.
        goto    LCD_Envia
LCD_Caracter
        bsf     LCD_PinRS       ; Activa el "Modo Dato", poniendo RS=1.
        call    LCD_CodigoCGROM ; Obtiene el código para correcta visualización.
LCD_Envia
        movwf   LCD_GuardaDato  ; Guarda el dato a enviar.
        call    LCD_EscribeLCD  ; Primero envía el nibble alto.
```



```
                swapf
                call
                btfss
                call
                call
                return

; Subrutina "LCD_C
;
; A partir del carácte
; tabla CGROM del
; ASCII de la "Ñ" en
;
; Esta subrutina conv
; que puedan ser visu
;
; Entrada: en (W) el
; Salida: en (W) el có

LCD_CodigoCGRO
                movwf
LCD_EnheMinuscul
                sublw
                btfss
                goto
                movlw
                movwf
                goto
LCD_EnheMayuscul
                movf
                sublw
                btfss
                goto
                movlw
                movwf
                goto
LCD_Grado
                movf
                sublw
                btfss
                goto
                movlw
                movwf
LCD_FinCGROM
                movf
                return

; Subrutina "LCD_Do
;
; Visualiza espacios en

LCD_LineaEnBlanco
```

```
        swapf   LCD_GuardaDato,W        ; Ahora envía el nibble bajo. Para ello pasa el
                                        ; nibble bajo del dato a enviar a parte alta del byte.
        call    LCD_EscribeLCD          ; Se envía al visualizador LCD.
        btfss   LCD_PinRS               ; Debe garantizar una correcta escritura manteniendo
        call    Retardo_2ms             ; 2 ms en modo comando y 50 µs en modo cáracter.
        call    Retardo_50micros
        return

; Subrutina "LCD_CodigoCGROM" ----------------------------------------------------
;
; A partir del carácter ASCII número 127 los códigos de los caracteres definidos en la
; tabla CGROM del LM016L no coinciden con los códigos ASCII. Así por ejemplo, el código
; ASCII de la "Ñ" en la tabla CGRAM del LM016L es EEh.
;
; Esta subrutina convierte los códigos ASCII de la "Ñ", "º" y otros, a códigos CGROM para que
; que puedan ser visualizado en el módulo LM016L.
;
; Entrada: en (W) el código ASCII del carácter que se desea visualizar.
; Salida: en (W) el código definido en la tabla CGROM.

LCD_CodigoCGROM
        movwf   LCD_Dato                ; Guarda el valor del carácter y comprueba si es
LCD_EnheMinuscula                       ; un carácter especial.
        sublw   'ñ'                     ; ¿Es la "ñ"?
        btfss   STATUS,Z
        goto    LCD_EnheMayuscula       ; No es "ñ".
        movlw   b'11101110'             ; Código CGROM de la "ñ".
        movwf   LCD_Dato
        goto    LCD_FinCGROM
LCD_EnheMayuscula
        movf    LCD_Dato,W              ; Recupera el código ASCII de entrada.
        sublw   'Ñ'                     ; ¿Es la "Ñ"?
        btfss   STATUS,Z
        goto    LCD_Grado               ; No es "Ñ".
        movlw   b'11101110'             ; Código CGROM de la "ñ". (No hay símbolo para
        movwf   LCD_Dato                ; la "Ñ" mayúscula en la CGROM).
        goto    LCD_FinCGROM
LCD_Grado
        movf    LCD_Dato,W              ; Recupera el código ASCII de entrada.
        sublw   'º'                     ; ¿Es el símbolo "º"?
        btfss   STATUS,Z
        goto    LCD_FinCGROM            ; No es "º".
        movlw   b'11011111'             ; Código CGROM del símbolo "º".
        movwf   LCD_Dato
LCD_FinCGROM
        movf    LCD_Dato,W              ; En (W) el código buscado.
        return

; Subrutina "LCD_DosEspaciosBlancos" y "LCD_LineaBlanco" -------------------------
;
; Visualiza espacios en blanco.

LCD_LineaEnBlanco
```

```
        movlw   LCD_CaracteresPorLinea
        goto    LCD_EnviaBlancos
LCD_UnEspacioBlanco
        movlw   .1
        goto    LCD_EnviaBlancos
LCD_DosEspaciosBlancos
        movlw   .2
        goto    LCD_EnviaBlancos
LCD_TresEspaciosBlancos
        movlw   .3
LCD_EnviaBlancos
        movwf   LCD_Auxiliar1           ; (LCD_Auxiliar1) se utiliza como contador.
LCD_EnviaOtroBlanco
        movlw   ' '                     ; Esto es un espacio en blanco.
        call    LCD_Caracter            ; Visualiza tanto espacios en blanco como se
        decfsz  LCD_Auxiliar1,F         ; haya cargado en (LCD_Auxiliar1).
        goto    LCD_EnviaOtroBlanco
        return

; Subrutinas "LCD_ByteCompleto" y "LCD_Byte" ----------------------------------
;
; Subrutina "LCD_ByteCompleto", visualiza el byte que almacena el registro W en el
; lugar actual de la pantalla. Por ejemplo, si (W)=b'10101110' visualiza "AE".
;
; Subrutina "LCD_Byte" igual que la anterior, pero en caso de que el nibble alto sea cero
; visualiza en su lugar un espacio en blanco. Por ejemplo si (W)=b'10101110' visualiza "AE"
; y si (W)=b'00001110', visualiza " E" (un espacio blanco delante).
;
; Utilizan la subrutina "LCD_Nibble" que se analiza más adelante.
;
LCD_Byte
        movwf   LCD_Auxiliar2           ; Guarda el valor de entrada.
        andlw   b'11110000'             ; Analiza si el nibble alto es cero.
        btfss   STATUS,Z                ; Si es cero lo apaga.
        goto    LCD_VisualizaAlto       ; No es cero y lo visualiza.
        movlw   ' '                     ; Visualiza un espacio en blanco.
        call    LCD_Caracter
        goto    LCD_VisualizaBajo

LCD_ByteCompleto
        movwf   LCD_Auxiliar2           ; Guarda el valor de entrada.
LCD_VisualizaAlto
        swapf   LCD_Auxiliar2,W         ; Pone el nibble alto en la parte baja.
        call    LCD_Nibble              ; Lo visualiza.
LCD_VisualizaBajo
        movf    LCD_Auxiliar2,W         ; Repite el proceso con el nibble bajo.
;       call    LCD_Nibble              ; Lo visualiza.
;       return

; Subrutina "LCD_Nibble" ------------------------------------------------------
;
; Visualiza en el lugar actual de la pantalla, el valor hexadecimal que almacena en el nibble
; bajo del registro W. El nibble alto de W no es tenido en cuenta. Ejemplos:
```



```
; - Si (W)=b'010101
; - Si (W)=b'101011
;
LCD_Nibble
        andlw
        movwf
        sublw
        btfss
        goto
        movf
        addlw
        goto
LCD_EnviaByteLet
        movf
        addlw
LCD_FinVisualizaD
        goto
```

13.9 VISU

Como ejer
aplicación muy se
un mensaje.

```
;*****************
;
; El módulo LCD visu
;
; ZONA DE DATOS *

        __CONFIG
        LIST
        INCLUDE

        CBLOCK 0x
        ENDC

; ZONA DE CÓDIGOS

        ORG     0
Inicio
        call    LC
        movlw   'H'
        call    LC
        movlw   'o'
        call    LC
        movlw   'l'
        call    LC
        movlw   'a'
        call    LC
```

```
; - Si (W)=b'01010110', se visualizará "6".
; - Si (W)=b'10101110', se visualizará "E".
;
LCD_Nibble
        andlw   b'00001111'             ; Se queda con la parte baja.
        movwf   LCD_Auxiliar1           ; Lo guarda.
        sublw   0x09                    ; Comprueba si hay que representarlo con letra.
        btfss   STATUS,C
        goto    LCD_EnviaByteLetra
        movf    LCD_Auxiliar1,W
        addlw   '0'                     ; El número se pasa a carácter ASCII sumándole
        goto    LCD_FinVisualizaDigito  ; el ASCII del cero y lo visualiza.
LCD_EnviaByteLetra
        movf    LCD_Auxiliar1,W
        addlw   'A'-0x0A                ; Sí, por tanto, se le suma el ASCII de la 'A'.
LCD_FinVisualizaDigito
        goto    LCD_Caracter            ; Y visualiza el carácter. Se hace con un "goto"
                                        ; para no sobrecargar la pila.
```

13.9 VISUALIZACIÓN DE CARACTERES

Como ejemplo de aplicación de la librería anterior se detalla un programa de aplicación muy sencillo donde se indica el procedimiento para visualizar los caracteres de un mensaje.

```
;************************************ LCD_01.asm ************************************
;
; El módulo LCD visualiza el mensaje "Hola".
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC

; ZONA DE CÓDIGOS ******************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        movlw   'H'
        call    LCD_Caracter
        movlw   'o'
        call    LCD_Caracter
        movlw   'l'
        call    LCD_Caracter
        movlw   'a'
        call    LCD_Caracter
```

```
sleep                           ; Entra en modo de bajo consumo.

INCLUDE <LCD_4BIT.INC>          ; Subrutinas de control del módulo LCD.
INCLUDE <RETARDOS.INC>          ; Subrutinas de retardo.
END                             ; Fin del programa.
```

13.10 VISUALIZACIÓN DE VALORES NUMÉRICOS

La librería LCD_4BIT.INC contiene algunas subrutinas que permiten la visualización de valores numéricos de 8 bits:

- "LCD_ByteCompleto".Visualiza el valor hexadecimal del byte que almacena el registro W en el lugar actual del cursor. Por ejemplo, si (W)=b'00001110', visualiza "0E".
- "LCD_Byte". Igual que el anterior pero si el nibble alto es un cero visualiza un blanco en su lugar. Por ejemplo si (W)=00001110, visualiza " E" (con espacio en blanco en el nibble alto); si (W)=b'10101110', visualiza "AE".
- "LCD_Nibble". Visualiza el valor hexadecimal que almacena el nibble bajo del registro W. El nibble alto no es tenido en cuenta. Por ejemplo, si (W)=b'01010110' visualiza "6", si (W)=b'10101110' visualiza "E".

El siguiente programa ejemplo permite apreciar la diferencia de funcionamiento entre cada una de estas subrutinas.

```
;************************************ LCD_03.asm ************************************
;
; Programa ejemplo para comprender la utilización de las subrutinas de subrutinas de visualización
; de valores numéricos.
;
; Para ello se van a utilizar sucesivamente y en este orden las subrutinas:
; LCD_ByteCompleto, LCD_DosEspaciosBlancos, LCD_Byte, "LCD_DosEspaciosBlancos"
; y LCD_Nibble para dos números que serán:
;
; - En la primera línea del LCD un número con el nibble alto no cero. Por ejemplo: 1Dh.
; - En la segunda línea del LCD un número con el nibble alto igual a cero. Ejemplo: 0Dh.
;
; Así por ejemplo, para los números "1D" y "0D" se visualizaría (donde "#" viene a significar
; espacio en blanco):
; "1D##1D##D"     (Primera línea).
; "0D###D##D"     (Segunda línea).
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK0x0C
        ENDC
```



```
Numero_NoCeroAlt
Numero_CeroAlto

; ZONA DE CÓDIG

        ORG
Inicio
        call
Principal
        movlw
        call
        call
        movlw
        call
        call
        movlw
        call
        call
        movlw
        call
        call
        movlw
        call
        call
        movlw
        call
        sleep

        INCLUDE
        INCLUDE
        END
```

13.11 CONE

El módulo
tratarlo como un
también se utiliza
RA1 del microcon
µs, tal como se hiz

La ventaja
rapidez al enviar l
de 4 bits. Además,

Como incon
microcontrolador.
microcontrolador a

```
Numero_NoCeroAlto       EQU     0x1D    ; Número ejemplo nibble alto no cero.
Numero_CeroAlto         EQU     0x0D    ; Número ejemplo nibble alto cero.

; ZONA DE CÓDIGOS ********************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
Principal
        movlw   Numero_NoCeroAlto
        call    LCD_ByteCompleto
        call    LCD_DosEspaciosBlancos
        movlw   Numero_NoCeroAlto
        call    LCD_Byte
        call    LCD_DosEspaciosBlancos
        movlw   Numero_NoCeroAlto
        call    LCD_Nibble
        call    LCD_Linea2              ; Se sitúa en la segunda línea.
        movlw   Numero_CeroAlto
        call    LCD_ByteCompleto
        call    LCD_DosEspaciosBlancos
        movlw   Numero_CeroAlto
        call    LCD_Byte
        call    LCD_DosEspaciosBlancos
        movlw   Numero_CeroAlto
        call    LCD_Nibble
        sleep

        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

13.11 CONEXIÓN DE LCD MEDIANTE 8 BITS

El módulo visualizador LCD también puede ser conectado a un puerto de 8 bits y tratarlo como un periférico más, tal como se indica en la figura 13-7. En este ejemplo también se utiliza el modo *Busy Flag*, por ello se conecta el pin R/W del LCD a la línea RA1 del microcontrolador, aunque se podía haber sustituido por un retardo de 2 ms ó 50 µs, tal como se hizo con el control de 4 bits.

La ventaja fundamental del control mediante 8 bit respecto de 4 bit, es una mayor rapidez al enviar los 8 bits por el puerto de una vez, en lugar de empaquetados en bloque de 4 bits. Además, el software del control es algo más sencillo.

Como inconveniente importante destaca el aumento de las líneas ocupadas del microcontrolador. Esto es muy importante en el caso del PIC16F84 que es un microcontrolador al que precisamente no le sobran líneas de entrada/salida.

Hay que hacer observar que la librería LCD_4BIT.INC también funciona para el esquema de la figura anterior. Evidentemente, aunque la disposición de las patillas es de conexión a 8 bits, funcionará como si sólo estuviesen conectadas 4 líneas.

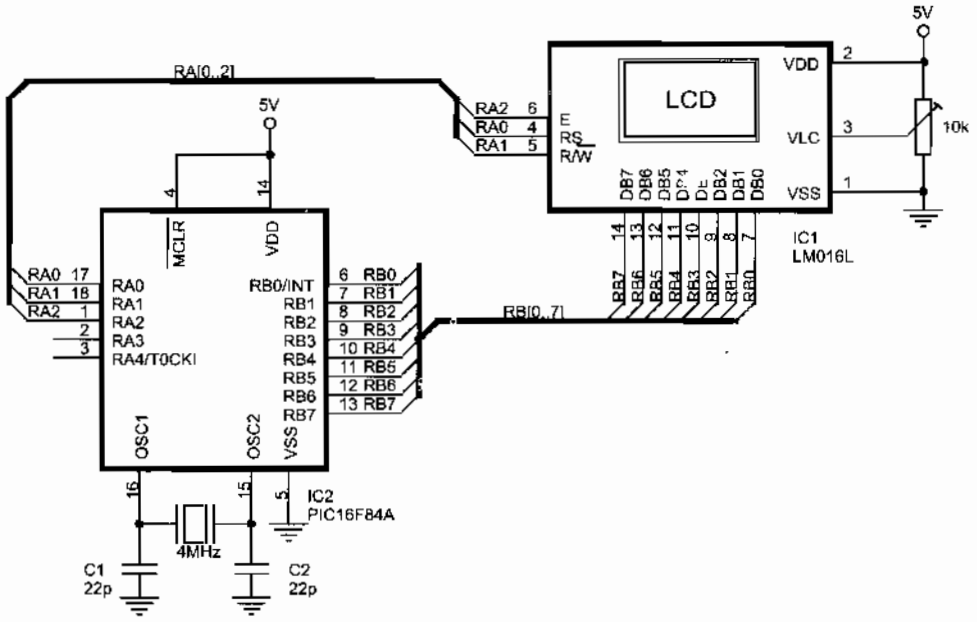


Figura 13-7 Conexión del LM016L al PIC16F84 mediante 8 bits y modo Busy Flag

13.12 VISUALIZACIÓN DE MENSAJES FIJOS

Muchos proyectos requieren visualizar mensajes más o menos largos en la pantalla de un LCD. La siguiente librería LCD_MENS.INC describe dos subrutinas para realizar esta tarea de forma muy sencilla:

- Subrutina "LCD_Mensaje", que visualiza mensajes fijos.
- Subrutina "LCD_Movimiento", que visualiza mensajes en movimiento.

Estas subrutinas están ampliamente documentada como siguen:

```
;****************************** Librería "LCD_MENS.INC" ********************************
;
; Librería de subrutinas para el manejo de mensajes a visualizar en un visualizador LCD.

        CBLOCK
        LCD_ApuntaCaracter      ; Indica la posición del carácter a visualizar
                                ; respecto del comienzo de todos los mensajes,
                                ; (posición de la etiqueta "Mensajes").
        LCD_ValorCaracter       ; Código ASCII del carácter a
        ENDC                    ; visualizar.
```

```
; Los mensajes tienen que estar situados dentro de las 256 primeras posiciones de la
; memoria de programa, es decir, no pueden superar la dirección 0FFh.

; Subrutina "LCD_Mensaje" ----------------------------------------------------------
;
; Visualiza por pantalla el mensaje apuntado por el registro W.
;
; Los mensajes deben localizarse dentro de una zona encabezada por la etiqueta "Mensajes" y que
; tenga la siguiente estructura:
;
; Mensajes                                  ; ¡Etiqueta obligatoria!
;       addwf   PCL,F
; Mensaje0                                  ; Posición inicial del mensaje.
;       DT ".. ..", 0x00                    ; Mensaje terminado en 0x00.
; Mensaje1
;       ...
;       ...
; FinMensajes
;
; La llamada a esta subrutina se realizará siguiendo este ejemplo:
;
;       movlw   Mensaje0                    ; Carga la posición del mensaje.
;       call    LCD_Mensaje                 ; Visualiza el mensaje.
;
LCD_Mensaje
        movwf   LCD_ApuntaCaracter          ; Posición del primer carácter del mensaje.
        movlw   Mensajes                    ; Halla la posición relativa del primer carácter
        subwf   LCD_ApuntaCaracter,F        ; del mensaje respecto de etiqueta "Mensajes".
        decf    LCD_ApuntaCaracter,F        ; Compensa la posición que ocupa "addwf PCL,F".
LCD_VisualizaOtroCaracter
        movf    LCD_ApuntaCaracter,W
        call    Mensajes                    ; Obtiene el código ASCII del carácter apuntado.
        movwf   LCD_ValorCaracter           ; Guarda el valor de carácter.
        movf    LCD_ValorCaracter,F         ; Lo único que hace es posicionar flag Z. En caso
        btfsc   STATUS,Z                    ; que sea "0x00", que es código indicador final
        goto    LCD_FinMensaje              ; de mensaje, sale fuera.
LCD_NoUltimoCaracter
        call    LCD_Caracter                ; Visualiza el carácter ASCII leído.
        incf    LCD_ApuntaCaracter,F        ; Apunta a la posición del siguiente carácter
        goto    LCD_VisualizaOtroCaracter   ; dentro del mensaje.
LCD_FinMensaje
        return                              ; Vuelve al programa principal.

; Subrutina "LCD_MensajeMovimiento" ------------------------------------------------
;
; Visualiza un mensaje de mayor longitud que los 16 caracteres que pueden representarse
; en una línea, por tanto se desplaza a través de la pantalla.
;
; En el mensaje debe dejarse 16 espacios en blanco, al principio y al final para
; conseguir que el desplazamiento del mensaje sea lo más legible posible.
;
        CBLOCK
```

```
        LCD_CursorPosicion              ; Contabiliza la posición del cursor dentro de la
        ENDC                            ; pantalla LCD

LCD_MensajeMovimiento
        movwf   LCD_ApuntaCaracter      ; Posición del primer carácter del mensaje.
        movlw   Mensajes                ; Halla la posición relativa del primer carácter
        subwf   LCD_ApuntaCaracter,F    ; del mensaje respecto de la etiqueta "Mensajes".
        decf    LCD_ApuntaCaracter,F    ; Compensa la posición que ocupa "addwf PCL,F".
LCD_PrimeraPosicion
        clrf    LCD_CursorPosicion      ; El cursor en la posición 0 de la línea.
        call    LCD_Borra               ; Se sitúa en la primera posición de la línea 1 y
LCD_VisualizaCaracter                   ; borra la pantalla.
        movlw   LCD_CaracteresPorLinea  ; ¿Ha llegado a final de línea?
        subwf   LCD_CursorPosicion,W
        btfss   STATUS,Z
        goto    LCD_NoEsFinalLinea
LCD_EsFinalLinea
        call    Retardo_200ms           ; Lo mantiene visualizado durante este tiempo.
        call    Retardo_200ms
        movlw   LCD_CaracteresPorLinea-1 ; Apunta a la posición del segundo carácter visualizado
        subwf   LCD_ApuntaCaracter,F    ; en pantalla, que será el primero en la siguiente
        goto    LCD_PrimeraPosicion     ; visualización de línea, para producir el efecto
LCD_NoEsFinalLinea                      ; de desplazamiento hacia la izquierda.
        movf    LCD_ApuntaCaracter,W
        call    Mensajes                ; Obtiene el ASCII del carácter apuntado.
        movwf   LCD_ValorCaracter       ; Guarda el valor de carácter.
        movf    LCD_ValorCaracter,F     ; Lo único que hace es posicionar flag Z. En caso
        btfsc   STATUS,Z                ; que sea "0x00", que es código indicador final
        goto    LCD_FinMovimiento       ; de mensaje, sale fuera.
LCD_NoUltimoCaracter2
        call    LCD_Caracter            ; Visualiza el carácter ASCII leído.
        incf    LCD_CursorPosicion,F    ; Contabiliza el incremento de posición del
                                        ; cursor en la pantalla.
        incf    LCD_ApuntaCaracter,F    ; Apunta a la siguiente posición por visualizar.
        goto    LCD_VisualizaCaracter   ; Vuelve a visualizar el siguiente carácter
LCD_FinMovimiento                       ; de la línea.
        return                          ; Vuelve al programa principal.
```

Un ejemplo de aplicación para la visualización de un mensaje fijo por la pantalla, podría ser el siguiente programa donde se aprecia la sencillez de utilización de la subrutina LCD_Mensaje.

```
;********************************** Mensaje_02.asm ************************************
;
; En la pantalla del módulo LCD se visualiza un mensaje de menos de 16 caracteres grabado
; en la memoria ROM mediante la directiva "DT". Utiliza la subrutina "LCD_Mensaje" de la
; librería LCD_MENS.INC
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>
```



```
        CBLOCK 0
        ENDC

; ZONA DE CÓDIGOS

        ORG     0
Inicio
        call    LC
        movlw   Me
        call    LC
        sleep

; Mensajes ----------
;
Mensajes
        addwf   PC
Mensaje0
        DT "Hola!, qu

        INCLUDE <
        INCLUDE <
        INCLUDE <
        END
```

La figura 13- mensajes fijos en pa

"Mensajes" es la etiqueta que s de todos los mensajes.

"LCD_ApuntaCaracter", es un r indica la posición relativa del ca a visualizar respecto de la etiqu

Los mensajes no puede superar la posición 0xF memoria de programa.

Figura 13-8 Diag

```
        CBLOCK  0x0C
        ENDC

; ZONA DE CÓDIGOS ********************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        movlw   Mensaje0                ; Apunta dónde se encuentra el mensaje.
        call    LCD_Mensaje             ; Visualiza el mensaje.
        sleep                           ; Pasa a modo bajo consumo.

; Mensajes ----------------------------------------------------------------------
;
Mensajes
        addwf   PCL,F
Mensaje0
        DT "Hola!, que tal?  ", 0x00

        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

La figura 13-8 explica el funcionamiento de la subrutina para la visualización de mensajes fijos en pantalla.

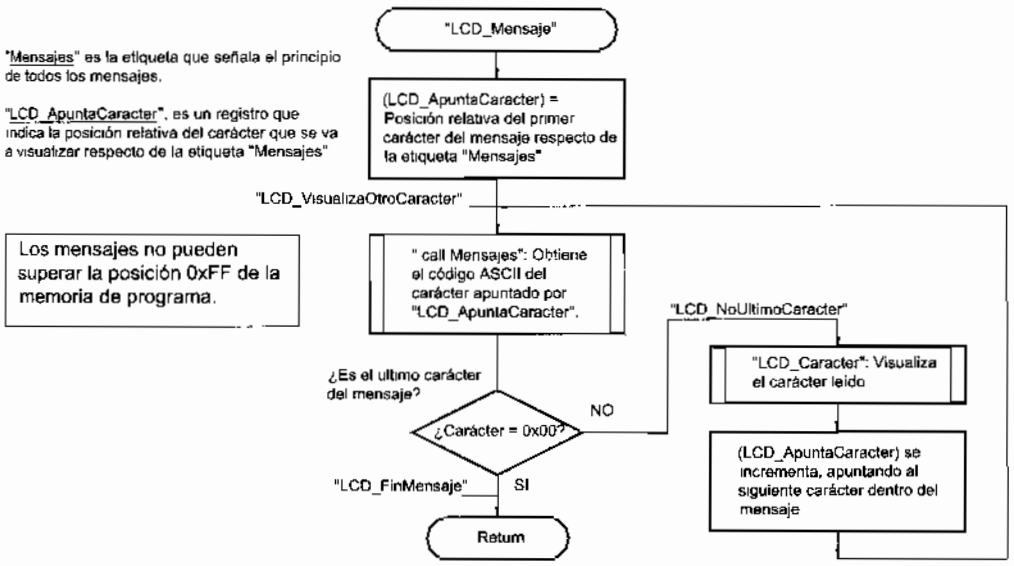


Figura 13-8 Diagrama de flujo para la subrutina de visualización de mensajes fijos

13.13 VISUALIZACIÓN DE MENSAJES EN MOVIMIENTO

La subrutina LCD_MensajeMovimiento de la librería LCD_MENS.INC, expuesta anteriormente, permite visualizar mensajes en movimiento por la pantalla. El diagrama de flujo que explica su funcionamiento se muestra en figura 13-9.

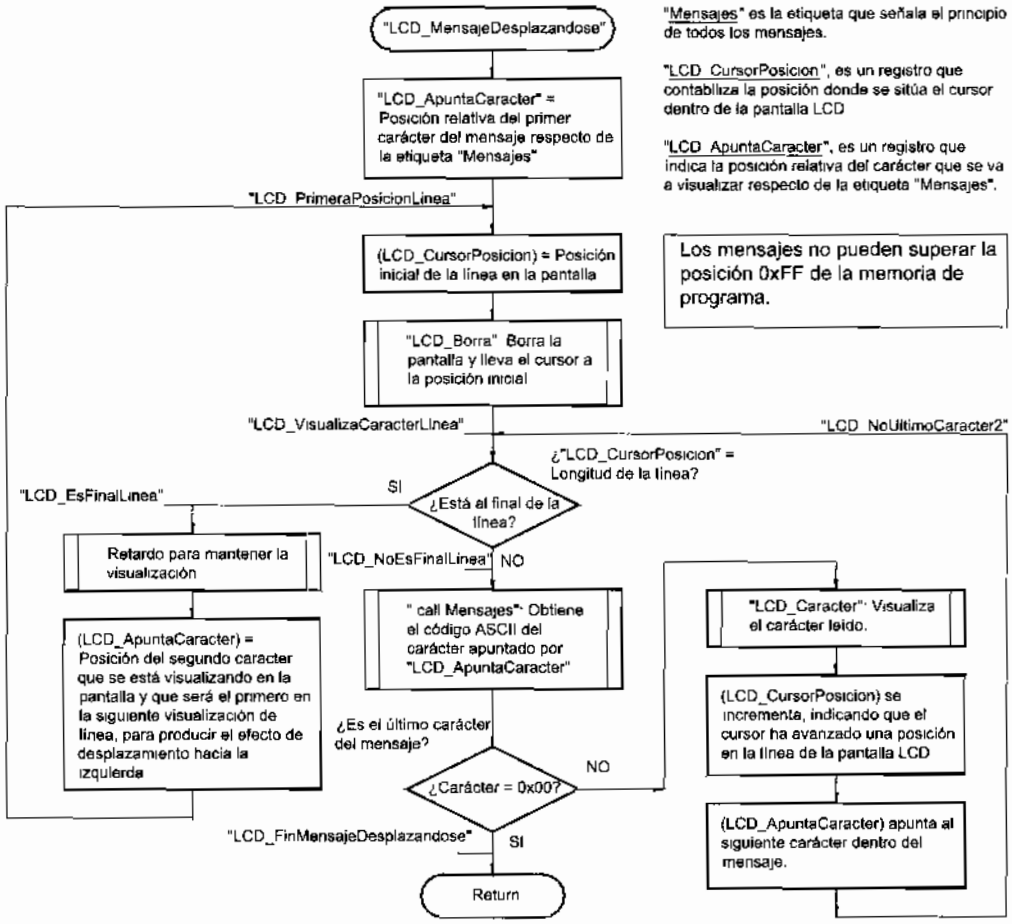


Figura 13-9 Subrutina de visualización de mensajes en movimiento

Un ejemplo de aplicación podría ser el siguiente:

```
;************************************ Mensaje_07.asm ************************************
;
; El módulo LCD visualiza un mensaje largo (más de 16 caracteres) que se desplaza a lo largo
; de la pantalla. Se utiliza la subrutina LCD_MensajeMovimiento de la librería LCD_MENS.INC.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************
```

```
        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC

; ZONA DE CÓDIGOS ********************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa          ; Prepara el display LCD.
Principal
        movlw   Mensaje0                ; Apunta al mensaje.
        call    LCD_MensajeMovimiento
        goto    Principal               ; Repite la visualización.

; "Mensajes" ------------------------------------------------------------------
;
Mensajes
        addwf   PCL,F
Mensaje0                                ; Posición inicial del mensaje.
        DT "            "               ; Espacios en blanco al principio para mejor visualización.
        DT "Estudia un Ciclo Formativo "
        DT "de ELECTRONICA."
        DT "            ", 0x0          ; Espacios en blanco al final.
;
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>          ; Subrutina "LCD_MensajeMovimiento".
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>          ; Subrutinas de control del LCD.
        INCLUDE <RETARDOS.INC>          ; Subrutinas de retardos.
        END                             ; Fin del programa.
```

Para que aparezcan las comillas, el mensaje hay que grabarlo precediendo las comillas visibles con una barra, como en el siguiente ejemplo:

```
DT "Estudia \"Desarrollo de Productos Electronicos\". Es tu futuro!"
```

13.14 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores, diseñar, ensamblar, simular y grabar el microcontrolador con los siguientes programas. Comprobar su correcto funcionamiento con el esquema de la figura 13-10. El lector puede introducir todas las mejoras que considere conveniente.

LCD_01.asm: En la pantalla del módulo LCD se visualiza el mensaje "Hola". Al terminar de escribir la frase el PIC entrará en modo de bajo consumo.

LCD_02.asm: En la pantalla se visualiza el mensaje "Hola". La escritura de cada carácter se irá realizando cada 500 ms. Después se borrará y comenzará de nuevo.

LCD_03.asm: Programa ejemplo para comprender la utilización de las subrutinas para la visualización de datos numéricos. Para ello se van a utilizar sucesivamente y en este orden las subrutinas: "LCD_ByteCompleto", "LCD_DosEspaciosBlancos", "LCD_Byte", "LCD_DosEspaciosBlancos" y "LCD_Nibble" para dos números que serán:

- En la primera línea un número con el nibble alto no cero. Por ejemplo: 1Dh.
- En la segunda línea un número con el nibble alto igual a cero. Ejemplo: 0Dh.

Así por ejemplo, para los números "1D" y "0D" se visualizaría (donde "#" viene a significar espacio en blanco):

- "1D##1D##D" (Primera línea).
- "0D###D##D" (Segunda línea).

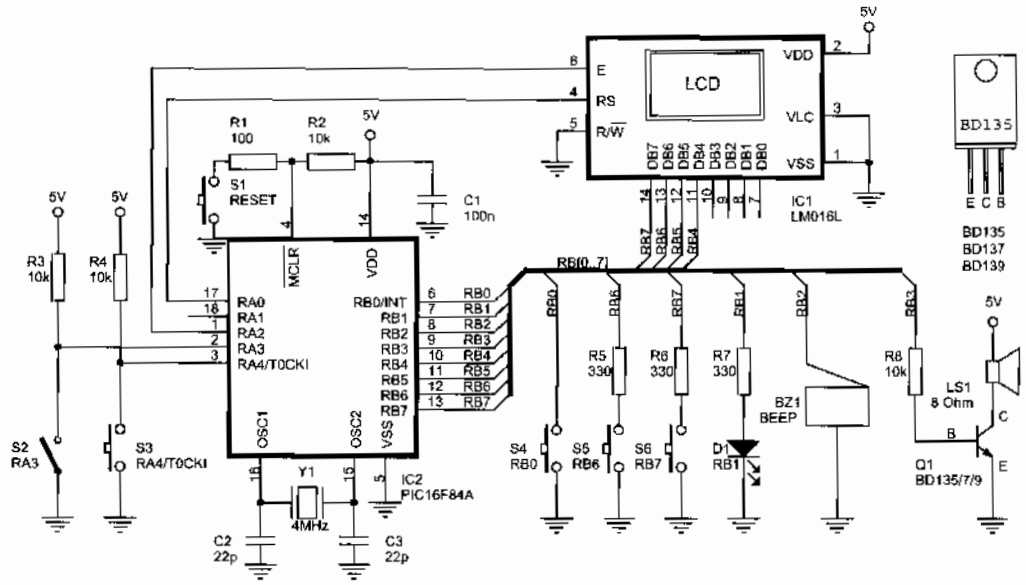


Figura 13-10 Circuito para la realización de las prácticas de este capítulo y próximos

LCD_04.asm: La pantalla visualiza un contador descendente desde 59 hasta 0 y vuelve a repetir la cuenta ininterrumpidamente. En cada valor estará unos 500 ms.

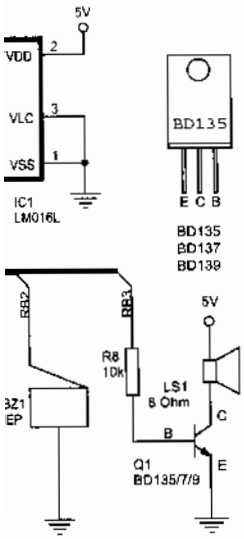
LCD_05.asm: Cada vez que presiona el pulsador conectado al pin RA4 se incrementa un contador que se visualiza en el centro de la primera línea de la pantalla.

LCD_06.asm: Igual que el anterior pero cuando llegue a su valor máximo (por ejemplo 6) se resetea y comienza de nuevo la cuenta.

ción de las subrutinas
r sucesivamente y en
DosEspaciosBlancos",
os números que serán:

r ejemplo: 1Dh.
). Ejemplo: 0Dh.

ía (donde "#" viene a



capítulo y próximos

te desde 59 hasta 0 y
unos 500 ms.

tado al pin RA4 se
nea de la pantalla.

su valor máximo (por

LCD_07.asm: Igual que el anterior, pero se incrementa mientras se mantenga presionado el pulsador una cuenta cada 200ms.

LCD_08.asm: Mientras se mantenga presionado el pulsador conectado al pin RA4 se incrementa un contador y visualiza en la pantalla en tres formatos: decimal, hexadecimal y binario. Un ejemplo:

- Primera Línea: "CE 206"
- Segunda Línea: "11001110"

Mensaje_01.asm: En pantalla se visualiza un mensaje de menos de 16 caracteres grabado en la memoria ROM mediante la directiva DT.

Mensaje_02.asm. Repetir el anterior utilizando la subrutina LCD_Mensaje de la librería LCD_MEN.INC.

Mensaje_03.asm: En pantalla se visualizan varios mensajes, uno detrás de otro. Cada mensaje permanece visualizado durante 2 segundos. Entre mensaje y mensaje la pantalla se mantiene apagada durante 200 ms.

Mensaje_04.asm: En las dos líneas de la pantalla aparecerán dos mensajes parpadeantes.

Mensaje_05.asm: En la primera línea de la pantalla aparecerá un mensaje fijo. En la segunda línea aparecerá un mensaje parpadeante.

Mensaje_06.asm: En la pantalla se visualizarán varios mensajes diferentes. El paso de uno a otro se realiza al actuar sobre el pulsador conectado a la línea RA4. En pantalla aparecerá por ejemplo:

" Mensaje 2 " (primera línea).
"COSLADA Moderna." (segunda línea).

Mensaje_07.asm: En la pantalla se visualizará un mensaje largo (de más de 16 caracteres) que se va desplazando a lo largo de la pantalla. Se utilizará la subrutina LCD_MensajeMovimiento de la librería LCD_MENS.INC.

Mensaje_08.asm: Programa para el juego de la Quiniela: Al presionar sobre el pulsador conectado al pin RA4 en la pantalla aparecerá rápidamente "1", "X", "2". Cuando suelta el pulsador, permanece el signo seleccionado.

Mensaje_09.asm: En pantalla visualiza "Cerrado" o "Abierto" según si un pulsador está presionado o no.

CAPÍTULO 14

EEPROM DE DATOS

En algunos proyectos es necesario guardar la información que se genera durante el proceso de una forma permanente, es decir, esos datos han de permanecer incluso cuando el sistema se desconecta de la alimentación. Para realizar esta función los microcontroladores PIC disponen de un área de datos EEPROM no volátil que se describe en este capítulo.

14.1 MEMORIA EEPROM DE DATOS

El PIC16F84 dispone de una zona con 64 bytes de memoria EEPROM para almacenar datos que no se pierden al desconectar la alimentación. Esto es muy útil ya que permite guardar datos permanentemente. La figura 14-1 (que es un detalle de la arquitectura interna completa de la figura 4-1) muestra la estructura de esta memoria y los registros asociados.

Como en cualquier otra memoria EEPROM se pueden realizar dos tipos de operaciones:

- Operación de lectura.
- Operación de escritura o grabación.

Un ciclo de grabación en una posición EEPROM de datos dura unos 10 ms, un tiempo muy elevado para la velocidad del procesador, que se controla mediante un temporizador interno. Al escribir en una posición de memoria ya ocupada, automáticamente se borra el contenido que había y se introduce el nuevo dato, por lo que no hay comando de borrado.

El PIC16F84A soporta un millón de ciclos de escritura/borrado de su memoria EEPROM de datos y es capaz de guardar la información inalterada durante más de 40 años.

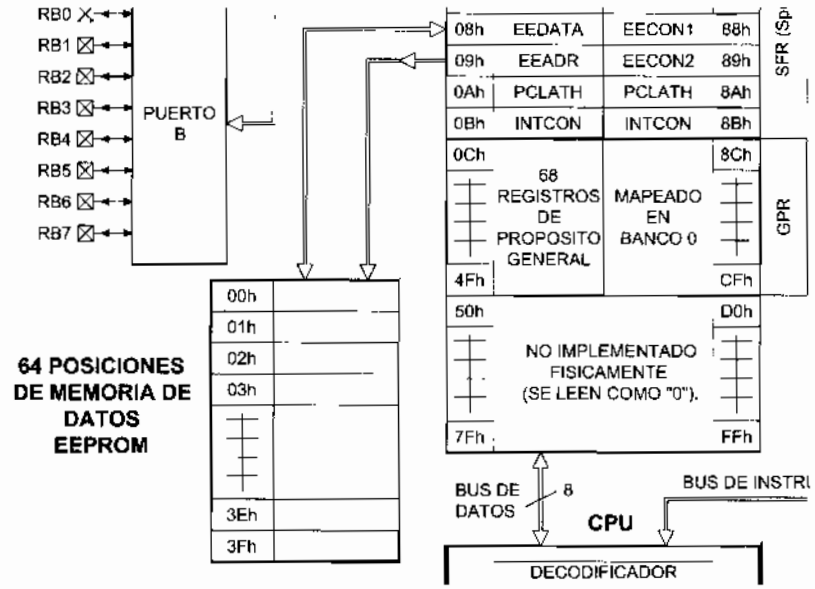


Figura 14-1 Memoria EEPROM de datos en el PIC16F84

Esta memoria no forma parte del espacio direccionable y sólo es accesible para lectura y escritura a través de registros. Los registros relacionados con esta memoria EEPROM de datos son:

- **EEDATA** *(EEPROM Data Register).* Contiene los bytes que se van a escribir o que se han leído de la EEPROM de datos.
- **EEADR** *(EEPROM Address Register).* Contiene la dirección de la EEPROM de datos a la que acceder para leer o escribir. Las 64 posiciones de memoria EEPROM ocupan las direcciones de un mapa que comienza en la posición 00h y termina en la 3Fh, por lo que los dos bits de más peso de este registro siempre valen 0.
- **EECON1** *(EEPROM Control Register 1).* Los bits de este registro definen el modo de funcionamiento de esta memoria (tabla 14-1). Los bits RD y WR del EECON1 indican respectivamente lectura o escritura. No hay que ponerlos a "0", sólo a "1", ya que se borran automáticamente cuando la operación de lectura o escritura ha sido completada.
- **EECON2** *(EEPROM Control Register 2).* Este registro no está implementado físicamente, por lo que es imposible leerlo (si se intenta leer, todos sus bits se leen como ceros). Se emplea como dispositivo de seguridad durante el proceso

de escritura de la EEPROM, para evitar las interferencias en el largo intervalo de tiempo que precisa su desarrollo.

14.2 REGISTRO EECON1

Es el registro para el control de la memoria EEPROM de datos. Se encuentra en la posición 88h del Banco 1. Sólo destina cinco bits para este control:

			EEIF	WRERR	WREN	WR	RD
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla 14-1 Registro EECON1

- **RD** *(Read Control Bit)*. Bit de control de lectura en la EEPROM. Al ponerlo en "1" se inicia la lectura de un byte en la EEPROM de datos. Este bit se limpia (se pone a "0") por hardware automáticamente al finalizar la lectura de la posición EEPROM.
  - RD = 0. No inicia la lectura de la EEPROM o la misma ha terminado.
  - RD = 1. Inicia la lectura de la EEPROM. Se borra por hardware.
- **WR** *(Write Control Bit)*. Bit de control de escritura en la EEPROM. Al ponerlo en "1" se inicia una escritura de un byte en la EEPROM de datos. Este bit se limpia (se pone en "0") por hardware automáticamente una vez la escritura de la EEPROM ha terminado.
  - WR = 0. No inicia la escritura de la EEPROM o la misma ha terminado.
  - WR = 1. Inicia la escritura de la EEPROM. Se borra por hardware.
- **WREN** *(EEPROM Write Enable bit)*. Permiso de escritura en la EEPROM.
  - WREN = 0. Prohíbe la escritura de la EEPROM.
  - WREN = 1. Permite la escritura de la EEPROM.
- **WRERR** *(EEPROM Write Error Flag Bit)*. Flag de error en la escritura. Se posiciona a "1" cuando la operación de escritura termina prematuramente debido a cualquier condición de reset. .
  - WRERR = 0. La operación de escritura se ha completado correctamente.
  - WRERR = 1. La operación de escritura ha terminado prematuramente.
- **EEIF** *(EEPROM Write Operation Interrupt Flag Bit)*. Flag de estado de interrupción por finalización de escritura en EEPROM. Señala el final con éxito de la operación de escritura de un byte en la EEPROM.
  - EEIF = 0. La operación de escritura de la EEPROM no ha terminado o no comenzó.
  - EEIF = 1. La operación de escritura de la EEPROM ha terminado. Debe borrarse por software.
- **Bits 5, 6 y 7** *(Unimplemented)*. No implementados físicamente. Se leen como "0".

14.3 LIBRERÍA DE SUBRUTINAS

Una posible librería con las subrutinas que permiten realizar las tareas básicas de control en la memoria EEPROM es la EEPROM.INC donde destacan las subrutinas:

- "EEPROM_LeeDato". El microcontrolador lee el dato que hay escrito en la posición de la EEPROM de datos del PIC apuntada por el contenido del registro de trabajo W. El resultado se proporciona en el registro de trabajo W.
- "EEPROM_EscribeDato". Escribe el dato introducido en el registro de trabajo W en la posición de memoria EEPROM apuntada por el registro EEADR.

Esta librería suficientemente documentada se detalla a continuación, aunque es necesario poseer algunos conocimientos sobre interrupciones que se explican en el capítulo 17 para comprenderla en su integridad.

```
;****************************** Librería "EEPROM.INC" ***********************************
;
; Estas subrutinas permiten realizar las tareas básicas de escritura y lectura de la
; memoria EEPROM de datos del PIC.
;
; Subrutina "EEPROM_LeeDato" ----------------------------------------------------------
;
; El microcontrolador lee el dato que hay escrito en la posición de la EEPROM del PIC apuntada
; por el contenido del registro de trabajo W. El resultado se proporciona en el mismo W.
;
; Entrada: En (W) la dirección de la memoria EEPROM a leer.
; Salida :  En (W) el byte leído.

EEPROM_LeeDato
        bcf     STATUS,RP0              ; Asegura que trabaja con el Banco 0.
        movwf   EEADR                   ; Dirección a leer.
        bsf     STATUS,RP0              ; Banco 1.
        bsf     EECON1,RD               ; Orden de lectura.
EEPROM_SigueLeyendo
        btfsc   EECON1,RD               ; El PIC indica que ha terminado la lectura
        goto    EEPROM_SigueLeyendo     ; poniendo en bajo este bit.
        bcf     STATUS,RP0              ; Banco 0.
        movf    EEDATA,W                ; El byte leído al registro W.
        return

; Subrutina "EEPROM_EscribeDato" ------------------------------------------------------
;
; Escribe el dato introducido en el registro de trabajo W en la posición de memoria EEPROM del
; PIC apuntada por el registro EEADR.
;
; Como altera el valor del registro INTCON al posicionar el flag GIE, éste se debe guardar al
; principio de la subrutina y restaurarlo al final.
;
; Entradas:       En el registro EEADR la dirección de la memoria EEPROM a escribir.
;                 En el registro W el byte a escribir.
;
```



```
        CBLOCK
        EEPROM_Guard
        ENDC

EEPROM_EscribeDato
        bcf     STATU
        movwf   EEDA
        movf    INTCO
        movwf   EEPRO
        bsf     STATU
        bcf     INTCO
        bsf     EECON
;
; El fabricante especifica que
;
        movlw   0x55
        movwf   EECON
        movlw   0xAA
        movwf   EECON
        bsf     EECON
EEPROM_TerminaEscribir
        btfsc   EECON
        goto    EEPRO
        bcf     EECON
        bcf     EECON
        bcf     STATU
        movf    EEPRO
        movwf   INTCO
        return
```

14.4 LECTURA

El proceso de
especificado en la subru

1º El registro EEA
2º Puesta a 1 del b
3º Espera a que te
a "0" el bit RD.
4º Lectura en el re

Teniendo en cue
disponible en EEDATA
leerlo mediante la instru

14.5 ESCRITU

La escritura en e
trabajando con una E

```
        CBLOCK
        EEPROM_GuardaINTCON
        ENDC

EEPROM_EscribeDato
        bcf     STATUS,RP0          ; Asegura que trabaja con el Banco 0.
        movwf   EEDATA              ; El byte a escribir.
        movf    INTCON,W            ; Reserva el valor anterior de INTCON
        movwf   EEPROM_GuardaINTCON
        bsf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 1.
        bcf     INTCON,GIE          ; Deshabilita todas las interrupciones.
        bsf     EECON1,WREN         ; Habilita escritura.
;
; El fabricante especifica que hay que seguir esta secuencia para escritura en EEPROM:
;
        movlw   0x55
        movwf   EECON2
        movlw   0xAA
        movwf   EECON2
        bsf     EECON1,WR           ; Inicia la escritura.
EEPROM_TerminaEscribir
        btfsc   EECON1,WR           ; Comprueba que termina de escribir en la EEPROM.
        goto    EEPROM_TerminaEscribir
        bcf     EECON1,WREN         ; Desautoriza la escritura en EEPROM.
        bcf     EECON1,EEIF         ; Limpia este flag.
        bcf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 0.
        movf    EEPROM_GuardaINTCON,W ; Restaura el valor anterior de INTCON.
        movwf   INTCON
        return
```

14.4 LECTURA DE LA EEPROM DE DATOS

El proceso de lectura de una posición de memoria de la EEPROM está especificado en la subrutina EEPROM_LeeDato y comprende los siguientes pasos:

1º El registro EEADR debe contener la posición de memoria a leer.
2º Puesta a 1 del bit RD del registro EECON1.
3º Espera a que termine la operación de lectura, en la cual el microcontrolador pone a "0" el bit RD.
4º Lectura en el registro EEDATA del dato direccionado.

Teniendo en cuenta la velocidad de funcionamiento de esta memoria, el dato está disponible en EEDATA después de que el bit RD se ponga a "1", por lo que es posible leerlo mediante la instrucción que sigue inmediatamente después.

14.5 ESCRITURA EN LA EEPROM DE DATOS

La escritura en esta memoria consiste en realidad en una grabación ya que se está trabajando con una EEPROM, es algo mas complicada por evidentes razones de

seguridad. Este proceso está especificado en la subrutina EEPROM_EscribeDato y comprende los siguientes pasos:

1º Se carga en el registro EEDATA el dato a grabar.
2º Se carga en EEADR la dirección de la posición a escribir.
3º Microchip recomienda deshabilitar las interrupciones durante la secuencia de escritura. (En el capítulo 17 se profundizará en esto).
4º Se ejecuta la siguiente secuencia para iniciar la escritura de cada byte:

```
movlw   0x55
movwf   EECON2
movlw   0xAA
movwf   EECON2
bsf     EECON1,WR          ; Inicia la escritura.
```

5º Esta última instrucción inicia el proceso de escritura propiamente dicho. Cuando se termina la escritura, el bit EEIF del registro EECON1 se pone a "1". Al acabar el proceso, el bit WR se pone a "0" automáticamente.
6º Mediante programa, hay que deshabilitar la escritura y poner a "0" el bit EEIF del EECON1.

14.6 DIRECTIVA "DE"

La directiva **DE** *(Declare EEPROM Data Byte)* reserva palabras de memoria de 8 bits dentro de la memoria EEPROM de datos, asignándole un valor. Cada expresión reserva un valor de 8 bits y cada carácter de una frase se guarda en una posición separada. Cuando se usa esta directiva debe fijarse un origen en 2100h para su uso con grabadores. Ejemplo:

```
ORG     0x2100              ; Corresponde a la dirección 0 de la zona EEPROM
                            ; de datos.
        DE      "Programa EEPROM_04. Versión 2.5. 15-08-2003" ,0x00
```

14.7 VENTANA EEPROM EN EL MPLAB

En el simulador del MPLAB el contenido de la memoria EEPROM puede verse seleccionando la opción *View > EEPROM.* Así, por ejemplo, una vez ensamblado el fragmento de programa del ejemplo de la sección anterior, se visualizaría como se indica en la figura 14-2.

14.8 PROGRAMA EJEMPLO

El siguiente programa es un ejemplo para una mejor comprensión de la utilización de este recurso, aplicado al esquema de la figura 14-3.

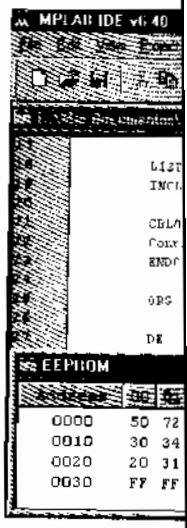


Figura 14-

```
;***************
;
; Este programa com
; datos. Cada vez qu
; primera posición d
;
; ZONA DE DATOS
        __CONFI
        LIST
        INCLUDE

        CBLOCK
        Contador
        ENDC

        ORG

        DE

; ZONA DE CÓDIG
        ORG
Inicio
        call
        clrw
        call
        movwf
        call
        call
        movlw
        call
```

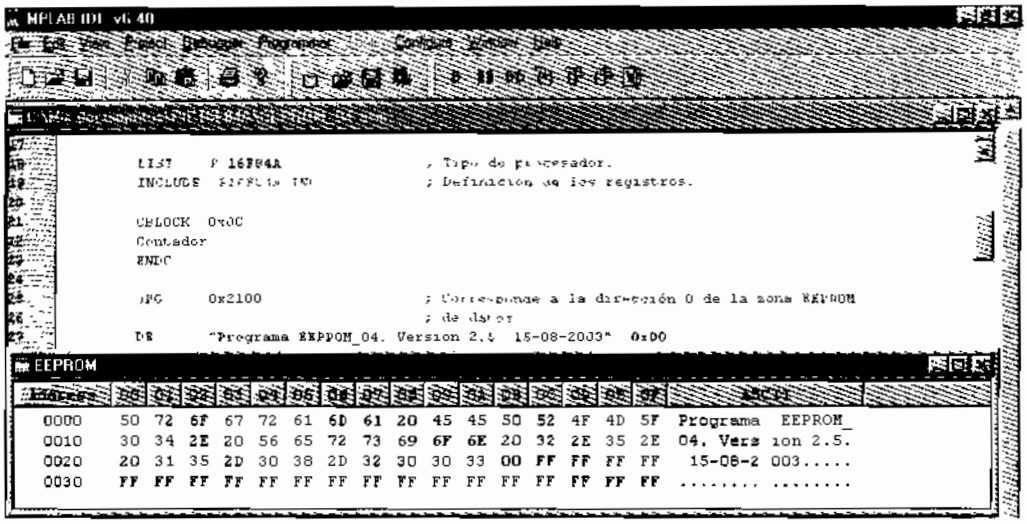


Figura 14-2 Visualización del contenido de la EEPROM de datos en el MPLAB

```
;*********************************** EEPROM_01.asm ***********************************
;
; Este programa comprueba el funcionamiento de la lectura y escritura en la memoria EEPROM de
; datos. Cada vez que el sistema es reseteado se incrementa un contador que se guarda en la
; primera posición de la memoria EEPROM de datos del PIC y es visualizado en el módulo LCD.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        Contador
        ENDC

        ORG     0x2100                  ; Corresponde a la dirección 0 de la zona EEPROM
                                        ; de datos.
        DE      0x00                    ; El contador en principio a cero.

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0                       ; El programa comienza en la dirección 0.
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        clrw                            ; Leerá la primera posición de memoria EEPROM.
        call    EEPROM_LeeDato
        movwf   Contador                ; Se guarda en "Contador".
        call    BIN_a_BCD               ; Se visualiza en BCD
        call    LCD_Byte                ; con nibble alto apagado si es cero.
        movlw   MensajeReseteado
        call    LCD_Mensaje
```

```
        incf    Contador,F              ; Se incrementa.
        movf    Contador,W              ; Ahora se graba en la EEPROM de datos.
        call    EEPROM_EscribeDato
Principal
        sleep                           ; Pasa a modo de reposo.
        goto    Principal

; "Mensajes" --------------------------------------------------------------------
;
Mensajes
        addwf   PCL,F
MensajeReseteado
        DT " reseteados.  ", 0x00
FinMensajes

        INCLUDE <EEPROM.INC>            ; Subrutinas básicas de control de la EEPROM de
        INCLUDE <RETARDOS.INC>          ; datos del PIC.
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        END
```

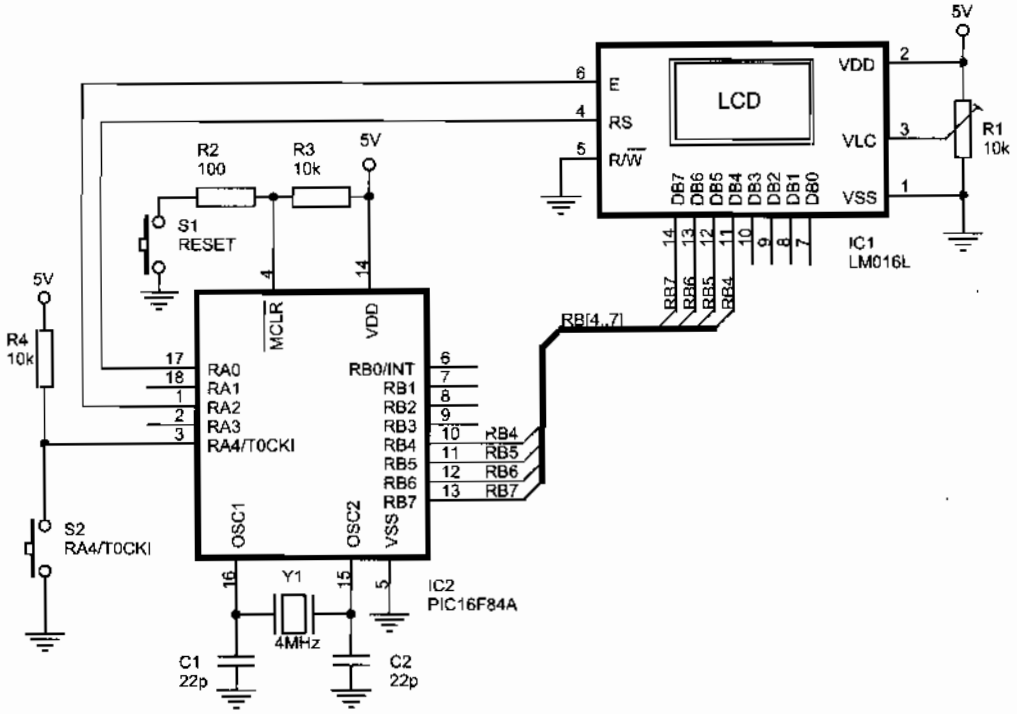


Figura 14-3 Circuito para comprobar los programas de este capítulo

14.9 BLOQUEAR UN CIRCUITO

En algunos proyectos interesa que un circuito funcione sólo un determinado número de veces, es decir, bloquear el funcionamiento del mismo cuando el diseñador lo crea oportuno. Esto es fácil de realizar con ayuda de la EEPROM de datos, tal como se ejemplifica en el siguiente programa suficientemente documentado.

```
;********************************** EEPROM_02.asm **********************************
;
; Este programa indica un procedimiento para que un prototipo con PIC funcione sólo un
; número determinado de veces fijado por el diseñador.
;
; Cada vez que el sistema es reseteado incrementa un contador que se guarda en la primera
; posición de la memoria EEPROM de datos del PIC y visualiza en la pantalla. El sistema admite
; un máximo de reseteados (por ejemplo 13), a partir del cual ya no funcionará más. Cada vez
; que se vuelva a alimentar el circuito aparecerá un mensaje de bloqueo. Para que el PIC vuelva
; a funcionar hay que volverlo a grabar.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        Contador
        ENDC

        ORG     0x2100              ; Corresponde a la dirección 0 de la zona EEPROM
                                    ; de datos.
        DE      0x00                ; El contador en principio a cero.

NumeroSecreto   EQU   .13

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0                   ; El programa comienza en la dirección 0.
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        clrw                        ; Leerá la primera posición de memoria EEPROM.
        call    EEPROM_LeeDato
        movwf   Contador            ; Lo guarda.
        movlw   NumeroSecreto       ; Ahora lo compara con el número secreto.
        subwf   Contador,W          ; Si llega al máximo pasa al modo bloqueado.
        btfsc   STATUS,C
        goto    ModoBloqueado
        movf    Contador,W
        call    BIN_a_BCD           : Se visualiza.
        call    LCD_Byte
        movlw   MensajeReseteado
        call    LCD_Mensaje
        incf    Contador,F          ; Incrementa el contador.
        movf    Contador,W          ; Ahora se graba en la EEPROM de datos.
```

```
        call    EEPROM_EscribeDato
Principal
        sleep                           ; Pasa a modo de bajo consumo.
        goto    Principal

ModoBloqueado                           ; La única forma de salir de este bloqueo
        movlw   MensajeBloqueado        ; es volver a grabar el PIC.
        call    LCD_Mensaje
        sleep
        goto    ModoBloqueado

Mensajes
        addwf   PCL,F
MensajeReseteado
        DT " reseteados.  ", 0x00
MensajeBloqueado
        DT "Estoy BLOQUEADO.", 0x00

        INCLUDE <EEPROM.INC>            ; Control de la EEPROM de datos del PIC.
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        END
```

14.10 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores, diseñar, ensamblar, simular y grabar el microcontrolador con los siguientes programas. Comprobar su correcto funcionamiento con el esquema de la figura 13-10. El lector puede introducir todas las mejoras que considere convenientes.

EEPROM_01.asm: Cada vez que el sistema es reseteado incrementa un contador que se guarda en la primera posición de la memoria EEPROM de datos del PIC y es visualizado en el LCD.

EEPROM_02.asm: Cada vez que el sistema es reseteado incrementa un contador, que se guarda en la primera posición de la memoria EEPROM de datos del PIC, y se visualiza en la pantalla. El sistema admitirá un máximo de reseteados (por ejemplo 13), a partir del cual ya no funcionará más y, si se vuelve a a alimentar el circuito, aparece un mensaje de bloqueo. Para que el PIC vuelva a funcionar habrá que volverlo a grabar.

EEPROM_03.asm: Control de las máquinas de tipo "Su Turno" habituales en múltiples comercios. En el módulo LCD se visualiza el número de turno actual. Este se incrementa cada vez que se presiona el pulsador conectado al pin RA4. La memoria EEPROM de datos del PIC almacena el último número visualizado, de forma que ante un fallo de alimentación se reanude la cuenta en el último número.

CAPÍTULO 15

TIMER 0

Muchos sistemas necesitan un estricto control de los tiempos que duran sus distintas acciones. En todos los programas diseñados hasta ahora ésto se ha realizado mediante subrutinas de retardo. Otro procedimiento más eficaz y preciso consiste en la utilización de un *timer*.

15.1 EL TIMER 0 (TMR0)

Un ***timer*** se implementa por medio de un contador que determina un tiempo preciso entre el momento en que el valor es cargado y el instante en el que se produce su **desbordamiento**. Un timer típico se describe de forma simplificada en la figura 15-1. Consiste en un contador ascendente (también podría ser descendente) que, una vez inicializado con un valor, su contenido se incrementa con cada impulso de entrada hasta llegar a su valor máximo b'11....11', desbordando y volviendo a comenzar desde cero.

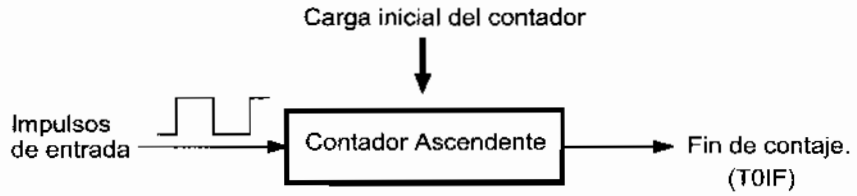


Figura 15-1 Esquema simplificado de un timer

El PIC16F84 dispone de un timer principal denominado *Timer 0* o *TMR0* que es un contador ascendente de 8 bits. El TMR0 se inicializa con un valor, que se incrementa con cada impulso de entrada hasta su valor máximo b'11111111'; con el siguiente impulso de

entrada el contador se **desborda** pasando a valer b'00000000', circunstancia que se advierte mediante la activación del flag de fin de contaje **T0IF** localizado en el registro INTCON.

Los impulsos aplicados al TMR0, pueden provenir de los pulsos aplicados al pin T0CKI o de la señal de reloj interna (Fosc/4), lo que le permite actuar de dos formas diferentes (figura 15-2):

- Como contador de los impulsos que le llegan por el pin RA4/T0CKI.
- Como temporizador de tiempos.

El actuar de una u otra forma depende del bit T0CS del registro OPTION:

- Si T0CS = 1, el TMR0 actúa como contador.
- Si T0CS = 0, el TMR0 actúa como temporizador.

15.2 TMR0 COMO CONTADOR

Cuando el TMR0 trabaja como contador se le introducen los impulsos desde el exterior por el pin RA4/T0CKI *(TMR0 External Clock Input)*. Su misión es "contar" el número de acontecimientos externos representados por los impulsos que se aplican al pin T0CKI. La figura 15-3 muestra un ejemplo.

El tipo de flanco activo se elige mediante el bit T0SE del registro OPTION:

- Si T0SE = 1, el flanco activo es descendente.
- Si T0SE = 0, el flanco activo es ascendente.

15.3 TMR0 COMO TEMPORIZADOR

Cuando el TMR0 trabaja como temporizador cuenta los impulsos de Fosc/4. Se usa para determinar intervalos de tiempo concretos. Estos impulsos tienen una duración conocida de un ciclo máquina que es cuatro veces el periodo de la señal de reloj. Para una frecuencia de reloj igual a 4 MHz el TMR0 se incrementa cada 1 µs, tal como se calculó en el capítulo 12.

Como se trata de un contador ascendente el TMR0 debe ser cargado con el valor de los impulsos que se desean contar restados de 256 que es el valor de desbordamiento. Por ejemplo, para contar cuatro impulsos, se carga al TMR0 con 256-4 = 252:

- Número de pulsos a contar: 4_{10} = b'00000100'.
- Número a cargar: $256_{10} - 4_{10} = 252_{10}$ = b'11111100'.
- Incremento a cada ciclo de instrucción: b'11111100', b'11111101', b'11111110', b'11111111', aquí se desborda pasando a b'0000000' y activando el flag T0IF.

De esta manera, con la llegada de cuatro impulsos, el timer se ha desbordado alcanzando el valor b'00000000' que determina el tiempo de temporización, en este caso 4 µs si los impulsos se hubieran aplicado cada microsegundo.

15.4 EL TMR0 ES UN REGISTRO DEL SFR

El TMR0 es un registro de propósito especial ubicado en la posición 1 del área SFR de la RAM de datos (figura 4-1). Puede ser leído y escrito al estar conectado directamente al bus de datos.

La figura 15-2 ofrece el esquema de funcionamiento del TMR0. Se puede leer en cualquier momento para conocer el estado de la cuenta. Cuando se escribe un nuevo valor sobre TMR0 para comenzar una nueva temporización, el siguiente incremento del mismo se retrasa durante los dos ciclos de reloj posteriores.

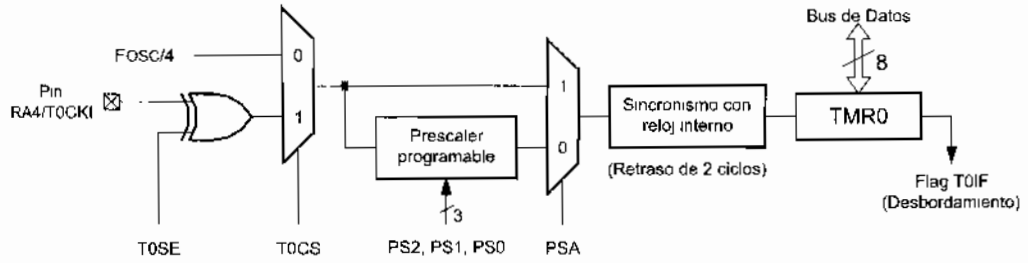


Figura 15-2 Esquema de funcionamiento del timer principal TMR0

15.5 DIVISOR DE FRECUENCIA (PRESCALER)

A veces es necesario controlar tiempos largos y aumentar la duración de los impulsos que incrementan el TMR0. Para cubrir esta necesidad se dispone de un circuito programable llamado **Divisor de Frecuencia** o ***Prescaler*** que divide la frecuencia utilizada por diversos rangos para poder conseguir temporizaciones más largas (fig. 15-2).

En realidad el PIC16F84 dispone de dos temporizadores:

- El TMR0, que actúa como temporizador principal.
- El *Watchdog* (perro guardián), que vigila que el programa no se "cuelgue". Para ello, cada cierto tiempo comprueba que el programa está ejecutándose normalmente y, si no es así, reinicializa todo el sistema. El *Watchdog* se analizará en el próximo capítulo.

El *Prescaler* puede aplicarse a uno de los dos temporizadores, al TMR0 o al *Watchdog*. Cuando se asigna al TMR0 los impulsos pasan primero por el divisor de frecuencia y una vez aumentada su duración se aplican a TMR0 (figura 15-2).

15.6 BITS DE CONFIGURACIÓN DEL TMR0

Para controlar el comportamiento del TMR0 se utilizan algunos bits de los registros OPTION e INTCON.

15.6.1 Del registro INTCON

El registro INTCON es un registro localizado en la dirección 0Bh del Banco 0 y duplicado en la 8Bh del Banco 1. Contiene los 8 bits que se muestran en la tabla 15-1, de los cuales se utilizará por ahora únicamente el T0IF (figura 15-2):

GIE	EEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla 15-1 Bit del registro INTCON utilizado por el Timer 0

- **T0IF** *(TMR0 Overflow Interrupt Flag bit).* Flag de interrupción del TMR0. Indica que se ha producido un desbordamiento del Timer 0, que ha pasado de b'11111111' a b'00000000'.
  - T0IF = 0. El TMR0 no se ha desbordado.
  - T0IF = 1. El TMR0 se ha desbordado. (Debe borrarse por software).

15.6.2 Del registro OPTION

La misión principal del registro OPTION es gobernar el comportamiento del TMR0. Algunos microcontroladores PIC tienen una instrucción denominada también *option*, por ello, el fabricante *Microchip* recomienda darle otro nombre a este registro. Así en el fichero de definición de etiquetas P16F84A.INC se le nombra como OPTION_REG. Los bits utilizados por los timers son (tabla 15-2):

/RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla 15-2 Bits del registro OPTION utilizados por el Timer 0

- **PS2:PS0**. *(Prescaler Rate Select bits).* Bits para seleccionar los valores del *Prescaler* o rango con el que actúa el divisor de frecuencia, según la tabla 15-3.
- **PSA** *(Prescaler Assignment bit).* Asignación del divisor de frecuencia
  - PSA = 0. El divisor de frecuencia se asigna al TMR0.
  - PSA = 1. El divisor de frecuencia se asigna al Watchdog.

PS2 PS1 PS0	Divisor del TMR0	Divisor del WDT
0 0 0	1:2	1:1
0 0 1	1:4	1:2
0 1 0	1:8	1:4
0 1 1	1:16	1:8
1 0 0	1:32	1:16
1 0 1	1:64	1:32
1 1 0	1:128	1:64
1 1 1	1:256	1:128

Tabla 15-3 Selección del rango del divisor de frecuencia

- **T0SE** *(TMR0 Source Edge Select bit)*. Selecciona flanco de la señal de entrada del TMR0.
  - T0SE = 0. TMR0 se incrementa en cada flanco ascendente de la señal aplicada al pin RA4/T0CKI.
  - T0SE = 1. TMR0 se incrementa en cada flanco descendente de la señal aplicada al pin RA4/T0CKI.
- **T0CS** *(TMR0 Clock Source Select bit)*. Selecciona la fuente de señal del TMR0.
  - T0CS = 0. Pulsos de reloj interno Fosc/4 (TMR0 como temporizador).
  - T0CS = 1. Pulsos introducidos a través del pin RA4/T0CKI (TMR0 como contador).

15.7 EJEMPLO DEL TMR0 COMO CONTADOR

Un ejemplo de programación del TMR0 como contador se describe a continuación, referido al esquema de la figura 15-3. Se trata de visualizar en el display LCD el número de impulsos que se aplican al pin T0CKI *(Timer 0 Clock Input)*. Estos pulsos se proporcionan por medio de la pulsación de S1.

```
;************************************ Timer0_01.asm ************************************
;
; Este programa comprueba el funcionamiento del Timer 0 como contador de los impulsos
; aplicados a la línea RA4/T0CKI, donde se ha conectado un pulsador. Cada vez que presiona
; el pulsadar se incrementa un contador visualizado en el display LCD.
; Como es un incremento por cada impulso aplicado al pin TOCKI no es necesario asignarle
; divisor de frecuencia al TMR0, por tanto, el Prescaler se asigna al Watchdog.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
```

```
        ENDC

; ZONA DE CÓDIGOS ********************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        movlw   b'00111000'             ; TMR0 como contador por flanco descendente de
        movwf   OPTION_REG              ; RA4/T0CKI. Prescaler asignado al Watchdog.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
        clrf    TMR0                    ; Inicializa el contador.

; La sección "Principal" es de mantenimiento. Sólo se dedica a visualizar el Timer 0.

Principal
        call    LCD_Linea1              ; Se pone al principio de la línea 1.
        movf    TMR0,W                  ; Lee el Timer 0.
        call    BIN_a_BCD               ; Se debe visualizar en BCD.
        call    LCD_Byte                ; Visualiza apagando las decenas en caso de que sean 0.
        goto    Principal

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        END
```

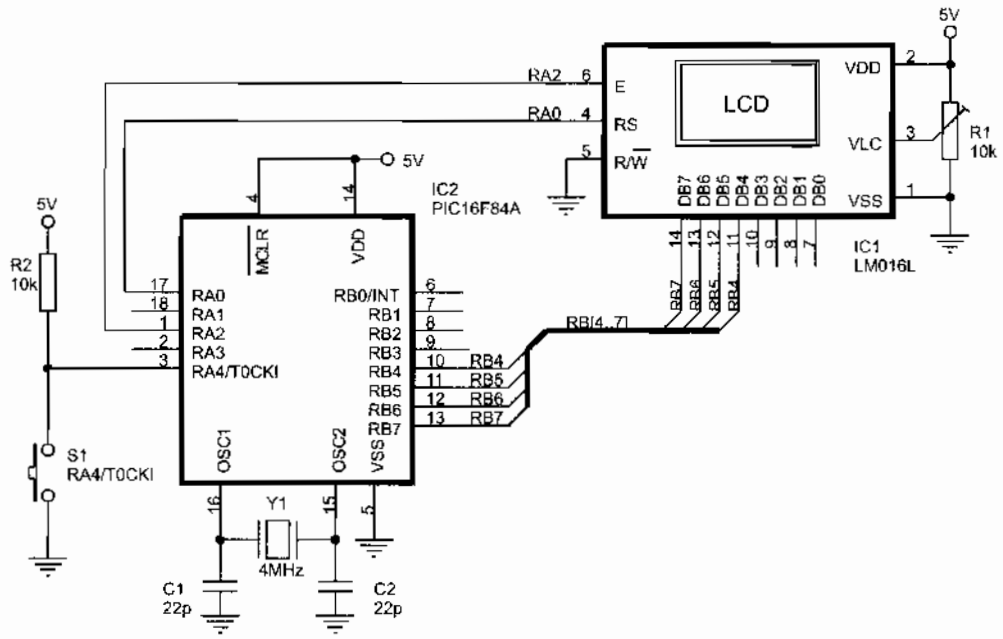


Figura 15-3 Contador de los impulsos introducidos por el pin T0CKI

15.8 EJEMPLO DEL TMR0 COMO TEMPORIZADOR

El principal problema cuando se configura el TMR0 como temporizador es el cálculo de los tiempos de temporización. Se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$Temporización = T_{CM} \cdot Prescaler \cdot (256\text{-}Carga\ TMR0)$$

Donde:

- *Temporización,* es el tiempo deseado.
- T_{CM}, es el período de un ciclo máquina e igual a $T_{CM} = 4\ T_{OSC}$. Para 4 MHz ya se ha calculado en anteriores ocasiones $T_{CM} = 4 \cdot 1/f = 4 \cdot ¼ = 1\ \mu s$.
- *Prescaler*, es el rango de divisor de frecuencia elegido.
- *(256-Carga TMR0)*, es el número total de impulsos a contar por el TMR0 antes de desbordarse en la cuenta ascendente. *"Carga TMR0"* es el valor cargado inicialmente en el TMR0 tal como se ha explicado en la sección 15.3

EJEMPLO. ¿Qué valor hay que cargar en el TMR0 para lograr un tiempo de 500 µs si se utiliza un Prescaler de 2?

Solución: Sustituyendo en la ecuación anterior queda:

$$Temporización = T_{CM}\ Prescaler\ (256 - Carga\ TMR0)$$
$$500 = 1 \times 2\ (256 - Carga\ TMR0)$$

de donde se deduce que el valor a cargar tiene que ser:

$$Carga\ TMR0 = 6$$

Así pues el valor de carga se podría poner en el programa:

```
TMRO_Carga500us  EQU   d'6'          ; Número a cargar para contar 250 pulsos antes de desbordarse.
```

O también se puede poner:

```
TMRO_Carga500us  EQU   d'256'-d'250'  ; Igual a d'6' = b'00000110'
```

Al trabajar con 8 bits es mejor ponerlo de esta forma más rápida:

```
TMRO_Carga500us  EQU   -d'250'        ; d'250' = b'11111010' y –d'250' = b'00000110'
```

En esta ecuación se desprecian los pequeños tiempos de carga, saltos, etc. Un ejemplo pudiera ser el siguiente programa para el esquema de la figura 15-4.

```
;********************************************* Timer0_02.asm *************************************
;
; Por la línea 3 del puerto B se genera una onda cuadrada de 1 kHz, por tanto, cada
; semiperiodo dura 500 µs. Los tiempos de temporización se consiguen mediante la
; utilización del Timer 0 del PIC.
;
```

```
; A la línea de salida se puede conectar un altavoz, tal como se indica en el esquema
; correspondiente, con lo que se escuchará un pitido.

; El cálculo de la carga del TMR0 se hará de forma simple despreciando el tiempo que
; tardan en ejecutarse las instrucciones.
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC

#DEFINE         Salida    PORTB,3

; ZONA DE CÓDIGOS ******************************************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        bcf     Salida                  ; Esta línea se configura como salida.
        movlw   b'00000000'
        movwf   OPTION_REG              ; Prescaler de 2 asignado al TMR0
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
Principal
        bsf     Salida                  ; La salida pasa a nivel alto
        call    Timer0_500us            ; durante este tiempo.
        bcf     Salida                  ; La salida pasa a nivel bajo
        call    Timer0_500us            ; durante este tiempo.
        goto    Principal

; Subrutina "Timer0_500us" ---------------------------------------------------
;
; Como el PIC trabaja a una frecuencia de 4 MHz, el TMR0 evoluciona cada microsegundo.
; Para conseguir un retardo de 500 µs con un prescaler de 2 el TMR0 debe contar 250
; impulsos. Efectivamente: 1 µs x 250 x 2 = 500 µs.
;
; Comprobando con la ventana Stopwatch" del simulador se obtienen unos tiempos para la onda
; cuadrada de 511 µs para el nivel alto y 513 µs para el bajo.
;
TMR0_Carga500us EQU     d'256'-d'250'

Timer0_500us
        movlw   TMR0_Carga500us         ; Carga el Timer 0.
        movwf   TMR0
        bcf     INTCON,T0IF             ; Resetea el flag de desbordamiento del TMR0.
Timer0_Rebosamiento
        btfss   INTCON,T0IF             ; ¿Se ha producido desbordamiento?
        goto    Timer0_Rebosamiento     ; Todavía no. Repite.
        return
```



```
; Comprobando con la
; cuadrada de 511 µs p

        END
```

IC1
PIC16F

17
18
1
2
3

C1
22p

Figura

El procedimi
para la mayoría de
precisas hay que ten
valor de carga del
instrucciones *nop*.
simulador del MPL
siguiente programa

```
;**********
;
; Por la línea 3 del puerto
; semiperiodo dura 500 µ
; utilización del Timer 0
;
; A esta línea de salida se
; correspondiente, con lo
;
; El cálculo de la carga d
; las instrucciones para c
; del TMR0 hay que ayu
```

; Comprobando con la ventana Stopwatch del simulador se obtienen unos tiempos para la onda
; cuadrada de 511 µs para el nivel alto y 513 µs para el bajo.

END

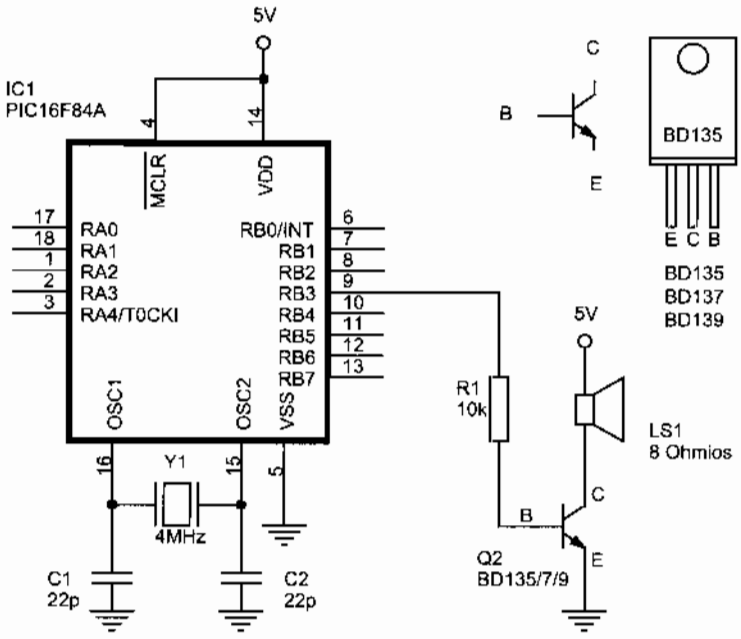


Figura 15-4 Generador de ondas cuadradas utilizando el Timer 0

El procedimiento explicado para hallar el tiempo de temporización es suficiente para la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo en caso de requerir temporizaciones precisas hay que tener en cuenta el tiempo de ejecución de las instrucciones, saltos, etc. El valor de carga del TMR0 será algo menor y habrá que hacer un ajuste fino con instrucciones *nop*. La forma más sencilla de calcularlo es experimentando con el simulador del MPLAB y el reloj de la ventana *Debugger* > *Stopwatch* (figura 12-3). El siguiente programa es un ejemplo de ello.

```
;************************************* Timer0_03.asm ************************************
;
; Por la línea 3 del puerto B se genera una onda cuadrada de 1 kHz, por tanto, cada
; semiperiodo dura 500 µs. Los tiempos de temporización se consiguen mediante la
; utilización del Timer 0 del PIC.
;
; A esta línea de salida se puede conectar un altavoz, tal como se indica en el esquema
; correspondiente, con lo que se escuchará un pitido.
;
; El cálculo de la carga del TMR0 se hará de forma que se tenga en cuenta los tiempos de
; las instrucciones para conseguir tiempos exactos. Para calcular los valores de carga
; del TMR0 hay que ayudarse del simulador del MPLAB y de la ventana de reloj Stopwatch.
```

```
;
; ZONA DE DATOS *****************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC

#DEFINE Salida  PORTB,3

; ZONA DE CÓDIGOS ***************************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        bcf     Salida                  ; Esta línea se configura como salida.
        movlw   b'00000000'
        movwf   OPTION_REG              ; Prescaler de 2 para el TMR0
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
Principal
        bsf     Salida                  ; La salida pasa a nivel alto
        call    Timer0_500us            ; durante este tiempo.
        nop                             ; Dos ciclos mediante "nop" para compensar
        nop                             ; la instrucción "goto Principal" del nivel bajo.
        bcf     Salida                  ; La salida pasa a nivel bajo
        call    Timer0_500us            ; durante este tiempo.
        goto    Principal
;
; Subrutina "Timer0_500us" ------------------------------------------------
;
; Con el simulador se comprueba que se obtienen unos tiempos para la onda cuadrada
; de 1kHz exactos, 500 µs tanto para el nivel alto como para el bajo.
;
TMR0_Carga500us EQU     -d'242'         ; Este valor se ha obtenido experimentalmente
                                        ; con ayuda del simulador del MPLAB.
Timer0_500us
        nop                             ; Algunos "nop" para ajustar a 500 µs exactos.
        nop
        movlw   TMR0_Carga500us         ; Carga el Timer 0.
        movwf   TMR0
        bcf     INTCON,T0IF             ; Resetea el flag de desbordamiento del TMR0.
Timer0_Rebosamiento
        btfss   INTCON,T0IF             ; ¿Se ha producido desbordamiento?
        goto    Timer0_Rebosamiento     ; Todavía no. Repite.
        return

        END
```


15.9 PRÁCT

Respetando e
simular y grabar e
correcto funcionami
todas las mejoras qu

Timer0_01.as
RA4/T0CKI se incre

Timer0_02.as
kHz, así pues, cad
realizarán mediante
conectar un altavoz,
escuchará un pitido.
despreciando el tiem
MPLAB los tiempos

Timer0_03.as
hará de forma que s
tiempos exactos. Par
simulador del MPLA
tiempos reales obteni

Timer0_04.as
500 µs en alto y 300 µ

Timer0_05.as
1 segundo, rebotes inc

Timer0_06.as
frecuencia máxima a
realizar un frecuencín
desarrollarlo como pro

15.9 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores, diseñar, ensamblar, simular y grabar el microcontrolador con los siguientes programas. Comprobar su correcto funcionamiento con el esquema de la figura 13-10. El lector puede introducir todas las mejoras que considere conveniente.

Timer0_01.asm: Cada vez que se actúe sobre el pulsador conectado a la línea RA4/T0CKI se incrementa un contador que se visualiza en la pantalla del módulo LCD.

Timer0_02.asm: Por la línea 3 del Puerto B se genera una onda cuadrada de 1 kHz, así pues, cada semiperiodo durará 500 µs. Los tiempos de temporización se realizarán mediante la utilización del Timer 0 del PIC. A esta línea de salida se puede conectar un altavoz, tal como se indica en el esquema correspondiente, con lo que se escuchará un pitido. El cálculo de la carga del TMR0 se hará de forma simple, despreciando el tiempo que tarda en ejecutarse las instrucciones. Comprobad con el MPLAB los tiempos reales obtenidos en alto y en bajo.

Timer0_03.asm: Igual que el anterior pero el cálculo de la carga del TMR0 se hará de forma que se tenga en cuenta los tiempos de las instrucciones para conseguir tiempos exactos. Para calcular los valores de carga del TMR0 hay que ayudarse del simulador del MPLAB y de la ventana de reloj *Stopwatch*. Compruebe con el MPLAB los tiempos reales obtenidos en alto y en bajo.

Timer0_04.asm: Por la línea 3 del Puerto B se genera una onda rectangular de 500 µs en alto y 300 µs en bajo.

Timer0_05.asm: Cuenta el número de veces que se presiona un pulsador durante 1 segundo, rebotes incluidos.

Timer0_06.asm: Frecuencímetro elemental para la señal aplicada al pin RA4. La frecuencia máxima a medir será 255 Hz. Este programa muestra el fundamento para realizar un frecuencímetro digital completo con diferentes escalas. Se anima al lector a desarrollarlo como proyecto.

Manuel Romero

CAPÍTULO 16

OTROS RECURSOS

El PIC16F84 posee algunos **recursos especiales** que le confieren una gran potencia:

- La memoria EEPROM de datos (capítulo 14).
- El *Timer* 0 (capítulo 15).
- El *Watchdog* (WDT).
- El modo bajo consumo o *sleep*.
- El direccionamiento indirecto.
- Resistencias de *Pull-Up* en el Puerto B.
- Las interrupciones (capítulo 17).

El ensamblador MPASM ofrece también otros recursos como las macros que facilitan las tareas de programación y diseño.

En este tema se analizarán el *Watchdog*, la instrucción *sleep*, el direccionamiento indirecto, las macros *y* las resistencias de *Pull-Up* del Puerto B

16.1 EL WATCHDOG (WDT)

El nombre del ***Watchdog*** (perro guardián) pretende reflejar la función de este recurso: "vigilar" que el programa no se "cuelgue" y dejen por esto de ejecutarse las instrucciones, tal como lo ha previsto el diseñador. Para realizar esta labor de vigilancia, el Watchdog da un paseo por la CPU cada cierto tiempo, asegurándose que el programa se ejecuta normalmente; en caso contrario (por ejemplo si el control está detenido en un bucle infinito o a la espera de algún acontecimiento que no se produce), el Watchdog "ladra" y provoca un reset, reinicializando todo el sistema.

El Watchdog es un temporizador de 8 bits cuyo objetivo es generar un reset general cuando se desborda su cuenta (figura 16-1). Su control de tiempo es independiente del oscilador principal del microcontrolador y se basa en una red RC interna que fija un periodo de oscilación de 18 ms. Este periodo puede ampliarse haciendo uso del Prescaler con el que se puede conseguir una relación de hasta 1:128 que corresponde a 2,3 segundos de temporización según la tabla 15-3.

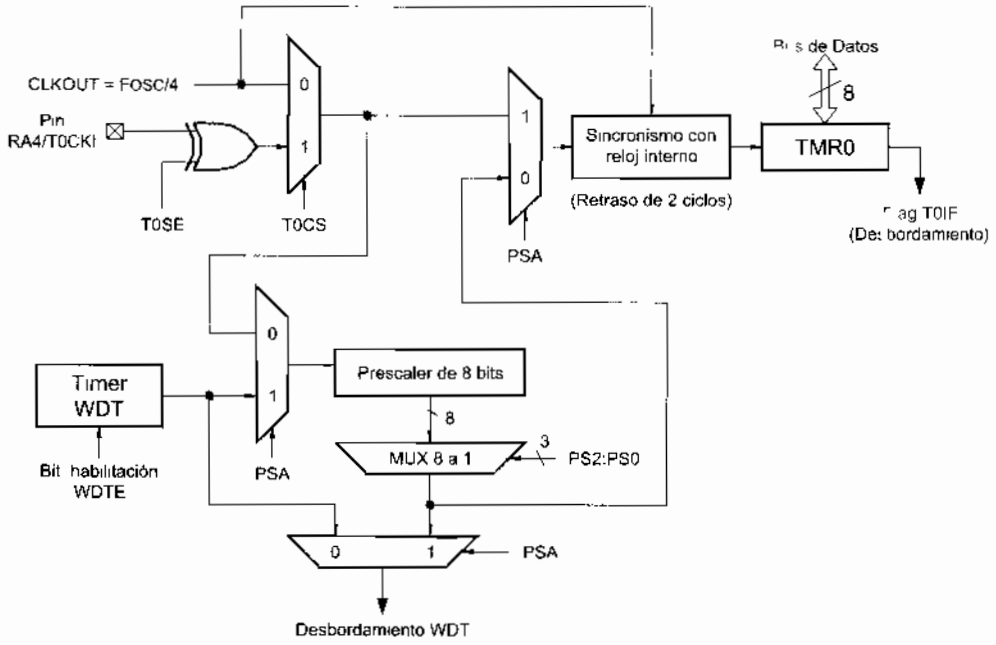
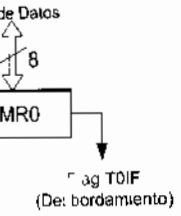


Figura 16-1 Diagama de bloques del Prescales para Timer 0 y Watchdog

El **refresco** del Watchdog consiste en la puesta a cero del mismo para comenzar la cuenta, evitando así su desbordamiento y el reset que esto provoca. Esta puesta a cero sólo se puede realizar por software mediante la instrucción *clrwdt*. El diseñador deberá analizar el programa y situar esta instrucción en los lugares más adecuados por los que transcurre el flujo del programa antes de que finalice el tiempo que controla el Watchdog. De esta manera si el programa se "cuelga" (bucle infinito, espera de acontecimiento que no se produce, etc.) el Watchdog no se refrescará y al completar su temporización provocará el reset el sistema.

El Watchdog se habilita, o no, durante el proceso de grabación del microcontrolador. Prácticamente todos los software para grabadores de microcontroladores PIC tienen en sus menús la opción específica de activar o desactivar el Watchdog. En la figura 16-2 se aprecia para el IC-Prog.

r un reset general
ndependiente del
terna que fija un
uso del Prescaler
de a 2.3 segundos



Watchdog

o para comenzar la
puesta a cero sólo
dor deberá analizar
los que transcurre
Watchdog. De esta
imiento que no se
ación provocará el

le grabación del
grabadores de
ivar o desactivar el

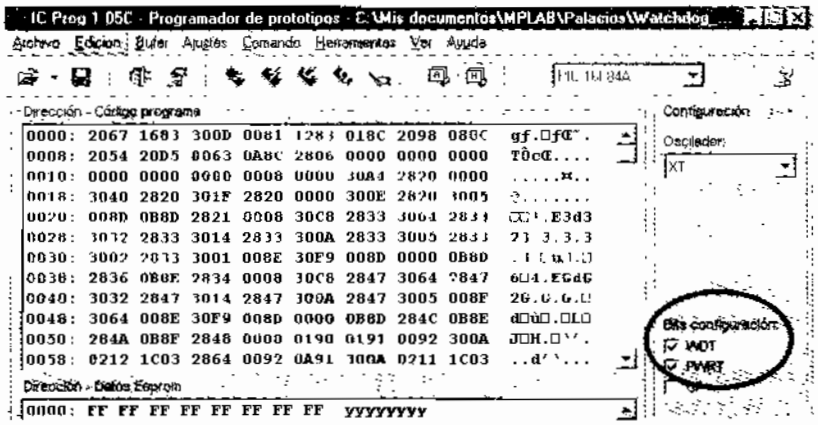


Figura 16-2 Detalle del IC-Prog donde se aprecia la habilitación del Watchdog

La habilitación del Watchdog también se puede hacer desde el programa mediante la opción *WDT_ON* de la directiva *__CONFIG*, tal como se indica:

```
__CONFIG  _CP_OFF & _WDT_ON & _PWRTE_ON & _XT_OSC
```

La utilización del Watchdog es decisión del diseñador. Este recurso no suele utilizarse en aplicaciones sencillas. Sirve para evitar posibles problemas de funcionamiento no controlables como, por ejemplo, bucles infinitos, esperas exageradamente largas de alguna determinada entrada, finales de carrera rotos, etc.

Un error de programación frecuente en diseñadores noveles consiste en habilitar el Watchdog inconscientemente o por accidente. Con desesperación comprueban como sus programas no funcionan correctamente, se resetean nada más comenzar a funcionar o simplemente el programa diseñado no realiza operación alguna. El problema es que el Watchdog está desbordándose cada poco tiempo y el sistema nunca llega a funcionar más allá de las primeras instrucciones. La solución es sencilla: si no se va a utilizar el Watchdog hay que comprobar siempre que la casilla WDT del software del grabador está deshabilitada.

16.2 MODO DE BAJO CONSUMO O "SLEEP"

Si se analiza un sistema en una situación real en que es fácil comprobar que, durante muchos intervalos de tiempo el microcontrolador está a la espera de un acontecimiento exterior, está parado. Durante estos periodos se podría "apagar" el microcontrolador para lograr un ahorro de energía. Esto es muy importante sobre todo en los sistemas alimentados por medio de pilas.

El microcontrolador PIC dispone de un modo de funcionamiento de ahorro de energía llamado modo de bajo consumo, reposo, *standby* o ***SLEEP***. Para entrar en este

modo de funcionamiento se dispone de la instrucción homónima al estado que produce denominada *sleep*.

En este estado el microcontrolador queda "dormido" (*sleep* viene a significar "sueño" en inglés), deteniendo el reloj principal y sus circuitos asociados con el consiguiente ahorro de energía. Al activarse una "interrupción", ocasionada por algún acontecimiento esperado, el microcontrolador se despierta y reanuda su trabajo.

Así pues, el modo de bajo consumo es un modo especial de funcionamiento al que se entra por medio de la instrucción *sleep* provocando los siguientes acontecimientos:

- El consumo del microcontrolador baja a unos pocos microamperios.
- Si el Watchdog está habilitado se refresca su valor, pero seguirá funcionando normalmente.
- El oscilador principal del sistema deja de funcionar.
- El timer TMR0 tampoco funciona.
- Los puertos de entrada/salida mantienen el mismo estado que tenían antes de ejecutar *sleep*.
- Los bits TO y PD del registro de estado STATUS toman los valores "1" y "0" respectivamente.

Tras una instrucción *sleep* el microcontrolador permanece en modo bajo consumo hasta que "despierte" por alguna de las razones siguientes:

- El pin de reset MCLR es activado a nivel bajo, generándose un reset.
- El Watchdog que estaba habilitado cuando se ejecutó *sleep* se desborda y genera un reset.
- Por una "interrupción" (que se explicará en el próximo capítulo) que no sea por desbordamiento de TMR0, ya que este no funciona en modo *sleep*.

La causa de un reset se puede identificar examinando los bits TO y PD del registro de estado o STATUS. La tabla 16-1 detalla estos dos bits:

IRP	RP1	RP0	/TO	/PD	Z	DC	C
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla 16-1 Bits del registro STATUS utilizados por el Watchdog y el modo SLEEP

- **/PD** *(Power Down)*. Flag de bajo consumo. Es un bit de sólo lectura, no puede ser escrito por el usuario. Sirve para detectar el modo de bajo consumo.
  - /PD = 0. Al ejecutar la instrucción *sleep* y entrar en reposo.
  - /PD = 1. Tras conectar la alimentación V_{DD} o al ejecutar la instrucción *clrwdt*.

- **/TO** *(Timer O*
  sólo lectura, r
  circuito de vig
  una condición
  - /TO = 0.
  - /TO = 1.
    instrucci

Cuando sale de
Watchdog o por una in

En el siguiente p
puede probar en el circ

```
;**********************
;
; Este programa comprueba
; la forma de detectar la caus
;
; Se conectará un pulsador al
; que se visualizará en el mo
; despertará y en la pantalla
;
; Con un Prescaler de 64 el d
; 18 x 64 = 1152 ms, es decir
;
; ZONA DE DATOS *****

        __CONFIG _CP

; Observad que el Watchdog

        LIST    P=16
        INCLUDE <P16

        CBLOCK 0x0C
        Contador
        ENDC

#DEFINE Pulsador PORTA

; ZONA DE CÓDIGOS ***

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_I
        btfss   STATU
        goto    ResetPo
        movlw   Mensaje
        call    LCD_M
        bsf     STATU
```

- **/TO** *(Timer Out)*. Flag indicador de fin temporización del Watchdog. Es un bit de sólo lectura, no puede ser escrito por el usuario. Se activa en "0" cuando el circuito de vigilancia Watchdog finaliza la temporización. Sirve para detectar si una condición de reset fue producida por el *Watchdog Timer*.
  - /TO = 0. Al desbordar el temporizador del Watchdog.
  - /TO = 1. Tras conectar V_{DD} (funcionamiento normal) o al ejecutar las instrucciones *clrwdt* o *sleep*.

Cuando sale del modo de bajo consumo, por desbordamiento del temporizador Watchdog o por una interrupción, se ejecuta la instrucción siguiente a la *sleep*.

En el siguiente programa se muestra un ejemplo de aplicación de todo esto, que se puede probar en el circuito de la figura 14-3.

```
;************************************ Watchdog_02.asm ************************************
;
; Este programa comprueba el funcionamiento del Watchdog, de la instrucción "sleep" y
; la forma de detectar la causa de un reset.
;
; Se conectará un pulsador al pin RA4 y cada vez que se presione se incrementará un contador
; que se visualizará en el modulo LCD. Si tarda más de 1 segundo en pulsar el Watchdog se
; despertará y en la pantalla aparecerá un mensaje.
;
; Con un Prescaler de 64 el desbordamiento del Watchdog se producirá cada
; 18 x 64 = 1152 ms, es decir, cada segundo aproximadamente.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_ON & _PWRTE_ON & _XT_OSC

; Observad que el Watchdog está habilitado.

        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK0x0C
        Contador
        ENDC

#DEFINE  Pulsador PORTA,4

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        btfss   STATUS,NOT_TO           ; ¿El reset fué producido por el Watchdog?
        goto    ResetPorWatchdog  ; Sí.
        movlw   MensajePulsacion        ; No. Pues entonces aparece el texto
        call    LCD_Mensaje             ; "  pulsaciones".
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
```

```
        bsf     Pulsador                ; La línea RA4 configurada como entrada.
        movlw   b'00001110'             ; Un prescaler de 64 es asignado al Watchdog.
        movwf   OPTION_REG
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
        clrf    Contador                ; Inicializa el contador y lo visualiza.
        call    VisualizaContador
        call    Retardo_2s              ; Retardo inicial de un par de segundos.
Principal
        btfss   Pulsador                ; Lee el pulsador.
        call    IncrementaVisualiza     ; Salta a incrementar y visualizar el contador.
        goto    Principal
;
; Si se produce un reset por desbordamiento del Watchdog aparece un mensaje
; significativo y sólo puede salir de aquí apagando o reseteando el sistema.
;
ResetPorWatchdog
        movlw   MensajeWatchdog
        call    LCD_Mensaje
        sleep

; Subrutina "IncrementaVisualiza" ------------------------------------------------
;
IncrementaVisualiza
        clrwdt                          ; Resetea el Watchdog.
        call    Retardo_20ms
        btfsc   Pulsador
        goto    FinIncrementa
        incf    Contador,F              ; Incrementa el contador.
VisualizaContador
        call    LCD_Linea1              ; Se pone al principio de la línea 1.
        movf    Contador,W
        call    BIN_a_BCD               ; Se debe visualizar en BCD.
        call    LCD_Byte
EsperaDejePulsar
        clrwdt                          ; Resetea el Watchdog mientras mantenga pulsado.
        btfss   Pulsador
        goto    EsperaDejePulsar
FinIncrementa
        return
;
Mensajes
        addwf   PCL,F
MensajePulsacion
        DT "   pulsaciones ", 0x00
MensajeWatchdog
        DT "   Eres LENTO", 0x00
;
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        END
```

16.3 DIRECCIONAMIENTO INDIRECTO

Las instrucciones del PIC16F84 pueden especificar los datos u operandos mediante cinco modos de direccionamiento:

- **Direccionamiento Inmediato**. El valor del dato inmediato (su valor *literal*) lo contiene el mismo código de operación que, en la ejecución de la instrucción, se carga en el registro W para su posterior procesamiento. Por ejemplo *iorlw Constante*.
- **Direccionamiento Directo**. La dirección de memoria RAM se encuentra en el mismo código de operación. Por ejemplo *movwf TMR0* o *addwf Variable*.
- **Direccionamiento de Bit**. Procesa datos de un bit. La dirección del dato es un bit. Por ejemplo *bcf STATUS,RP0*.
- **Direccionamiento Indexado**. Utilizado para el manejo de tablas mediante la instrucción *addwf PCL,F*.
- **Direccionamiento Indirecto**. La dirección del dato se encuentra contenida en el registro *INDF*. Cada vez que se hace referencia a éste, se utiliza el contenido del registro *FSR* para direccionar al operando.

Los direccionamientos inmediato, directo, de bit e indexado han sido ampliamente utilizados hasta ahora. El direccionamiento indirecto es un recurso de los microcontroladores analizado a continuación para el caso del PIC16F84.

Para el direccionamiento indirecto se utilizan los registros INDF y FSR ubicados dentro de la zona de registros especiales, concretamente en las posiciones 00h y 04h del Banco 0, aunque el registro INDF no está implementado físicamente (figura 4-1).

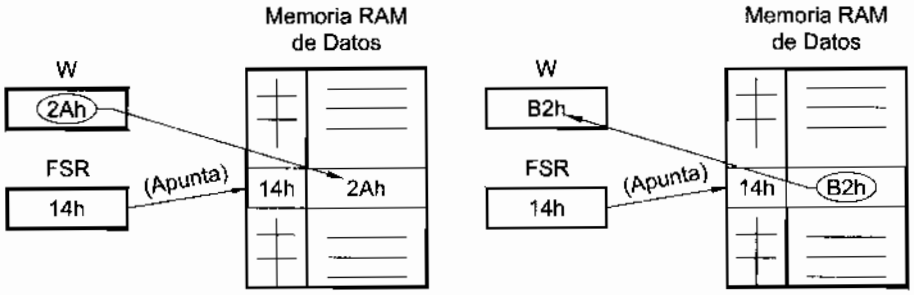
El registro FSR sirve como **puntero** para el direccionamiento indirecto. Si en cualquier instrucción se opera con el registro INDF, en realidad se estará operando con la dirección donde apunte el contenido del registro FSR. Por ejemplo, si el FSR contiene el valor 14h una instrucción que opere sobre INDF, opera en realidad sobre la dirección 14h. Se puede decir en este ejemplo que la posición 14h de memoria fue direccionada en forma indirecta a través del puntero FSR. Si FSR = 14h, la instrucción *movwf INDF* carga el contenido del registro W en la posición 14h de la RAM, tal como se muestra en la figura 16-3(A). Simbólicamente se representa:

$$(W) \rightarrow ((FSR)), \text{ en este ejemplo, } (W) \rightarrow (14h)$$

Siguiendo con otro ejemplo, si FSR = 14h, la instrucción *movf INDF,W* carga el contenido de la posición 14h de la RAM en el registro de trabajo W, tal como se muestra en la figura 16-3(B). Simbólicamente se representa:

$$((FSR)) \rightarrow (W), \text{ en este ejemplo, } (14h) \rightarrow (W)$$

Esta simbología quiere representar que el contenido de la posición de memoria especificada por el registro FSR pasa al registro de trabajo (direccionamiento indirecto). Con los dos paréntesis se indica que el contenido del registro no es un dato sino una dirección.



A) Al ejecutar *movwf INDF* B) Al ejecutar *movf INDF,W*

Figura 16-3 Funcionamiento de las instrucciones de Direccionamiento Indirecto

El direccionamiento indirecto es muy útil para el procesamiento de posiciones consecutivas de memoria RAM de datos, como se muestra en el siguiente programa ejemplo, para cuya comprobación habrá que utilizar el simulador del MPLAB.

```
;********************************** Indirecto_01.asm ************************************
;
; Este programa comprueba el funcionamiento del direccionamiento indirecto. Se trata de
; escribir con el valor de una constante a partir de la última dirección ocupada de
; la memoria RAM de datos hasta el final.
; Su correcto funcionamiento debe comprobarse con el simulador del MPLAB.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        RAM_Contador
        ENDC

Constante           EQU   2Ah              ; Por ejemplo.
RAM_UltimaDireccion EQU   4Fh              ; Última dirección de RAM de datos utilizada para
                                           ; el PIC16F84A.
; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG   0
Inicio
        movlw RAM_UltimaDireccion-RAM_Contador ; Número de posiciones a escribir.
        movwf RAM_Contador
```



```
        movlw
        movwf
RAM_EscribeConsta
        movlw
        movwf
        incf
        decfsz
        goto
Principal
        sleep

        END
```

Al ejecutar
obtiene el resulta
memoria RAM de

- La posici
  00h.
- A partir d
  última po
  2AEh.
- Las posic
  correspon
  contenido.

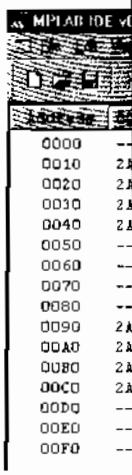


Figura 16-4 Mem

16.4 MACR

Las **macro**
elaboración de pro

```
        movlw   RAM_Contador+1          ; Primera posición de RAM libre.
        movwf   FSR                     ; Primera dirección de memoria RAM a escribir
RAM_EscribeConstante
        movlw   Constante               ; Escribe el valor de la constante en la posición
        movwf   INDF                    ; apuntada por FSR. (W) -> ((FSR))
        incf    FSR,F                   ; Apunta a la siguiente dirección de memoria.
        decfsz  RAM_Contador,F
        goto    RAM_EscribeConstante
Principal
        sleep                           ; Pasa a reposo.

        END
```

Al ejecutar este programa y comprobar su funcionamiento con el simulador se obtiene el resultado que muestra la figura 16-4 donde se aprecia el contenido de la memoria RAM de usuario en la ventana *File Registers* del simulador:

- La posición 0Ch la variable RAM_Contador que al finalizar el programa vale 00h.
- A partir de la primera posición libre que es la 0Dh hasta la posición 4Fh, que es la última posición de RAM en el Banco 0, se llena con el valor de la constante 2AEh.
- Las posiciones desde 8Ch hasta CFh del Banco 1 están mapeadas con las correspondiente del Banco 0 (ver figura 4-1) y por tanto almacenan el mismo contenido.

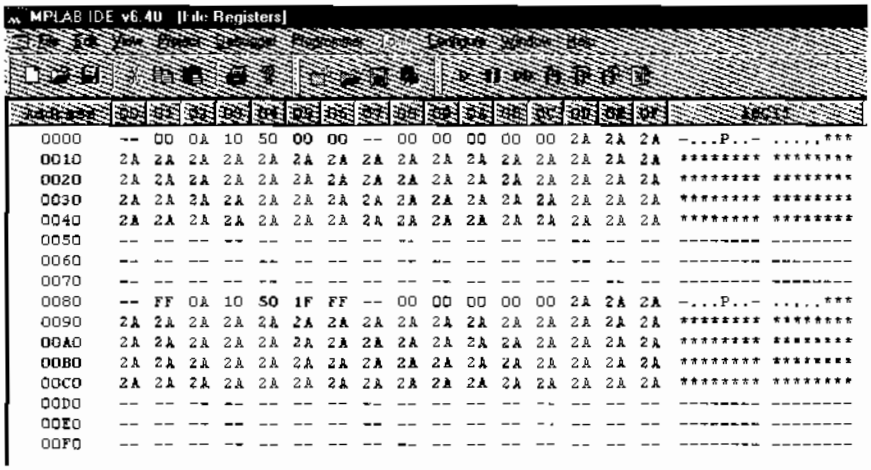


Figura 16-4 Memoria RAM de datos después de ejecutar el programa Indirecto_01.asm

16.4 MACROS

Las **macros** son una potente herramienta del ensamblador que facilita la elaboración de programas. Una macro consiste en una serie de instrucciones y directivas

que se agrupan en una sola orden mayor de forma que se comporta como una única instrucción cuando es invocada. Suele utilizarse para automatizar la utilización de grupos de instrucciones usadas con frecuencia. Las macros pueden aceptar argumentos, lo que las hacen muy flexibles.

Antes de que una macro pueda ser invocada en una línea del programa fuente como si se tratase de una instrucción, debe ser definida por el diseñador de acuerdo a la siguiente sintaxis:

<label> MACRO [<arg>,<arg> ..., <arg>]

.
:

ENDM

Donde *<label>* es una etiqueta que define a la macro y *<arg >* es cualquier número de argumentos opcionales que se le proporciona a la macro. Los valores asignados a estos argumentos cuando se invoca la macro serán posteriormente sustituidos por los nombres de los argumentos que se encuentran dentro de la macro.

El cuerpo de la macro puede contener instrucciones o directivas. El ensamblador ejecuta el procesado de la macro hasta que encuentra alguna directiva de fin de la macro, generalmente *ENDM*.

Una vez la macro ha sido definida puede ser invocada en cualquier punto del programa utilizando una llamada a la macro con el siguiente formato:

<macro_name> [<arg>, ..., <arg>]

Donde *<macro_name>* es el nombre de la macro previamente definida. Hay que proporcionarle los argumentos *<arg>* solicitados en la definición de la macro.

La macro no ocupa código máquina alguno mientras no sea invocada, cuando esto ocurre la macro se expandirá en el lugar del programa en que se encuentre.

Un ejemplo de definición de macro podría ser:

```
; Macro "SaltaSiIgual" ----------------------------------------------------------
;
; Compara el valor del (Registro) con una "Constante". Si:
;  -      (Registro) = Constante, salta a la dirección indicada por el argumento "Salto" y el
;         flag Z se pone a "1".
;  -      (Registro) ≠ Constante, no salta y el flag Z se pone a "0".

SaltaSiIgual  MACRO  Registro, Constante, Salto
        movlw   Constante               ; Va a realizar la comparación mediante resta.
        subwf   Registro,W              ; (W)=(Registro)-Constante
```

```
        btfsc   STATUS,Z                ; ¿Z=0?, ¿(W) distinto 0?, ¿(Registro) distinto Constante?
        goto    Salto                   ; Ha resultado (Registro)=Constante y salta.
        ENDM
```

Un ejemplo de invocación de esta macro puede ser:

```
SaltaSiIgual  Contador,0xF9,Visualiza
```

Lo que produciría el siguiente código en el proceso de ensamblado.

```
        movlw   0xF9                    ; Va a realizar la comparación mediante resta.
        subwf   Contador,W              ; (W)=(Registro)-Constante
        btfsc   STATUS,Z                ; ¿Z=0?, ¿(W) distinto 0?, ¿(Registro) distinto Constante?
        goto    Visualiza               ; Ha resultado (Registro)=Constante y salta.
```

El diseñador puede crear su propia librería de macros con los fragmentos de programas más utilizados y tratarla como instrucciones personalizadas. Un ejemplo de útil librería con macros es el siguiente:

```
;****************************** Librería "MACROS.INC" **********************************
;
; Éstas son algunas macros útiles y de frecuente uso.
;
; Macro "Incrementa" ---------------------------------------------------------------
;
; Incrementa el valor del (Registro). Pueden ocurrir dos casos:
;   -   Que (Registro) no supere el valor "Maximo", entonces salta a la etiqueta apuntada
;       por el argumento "Salto". El flag Carry se pone a "1".
;   -   Que (Registro) supere el valor "Maximo", entonces se inicializa con el valor de
;       del argumento "Minimo". El flag Carry se pone a "0".
;
Incrementa      MACRO  Registro, Minimo, Maximo, Salto
        incf    Registro,F              ; Incrementa el valor del registro.
        movf    Registro,W              ; ¿Ha llegado a su valor máximo?
        sublw   Maximo                  ; (W)=Maximo-(Registro).
        btfsc   STATUS,C                ; ¿C=0?, ¿(W) negativo?, ¿Maximo<(Registro)?
        goto    Salto                   ; No, Es Maximo>=(Registro) y salta.
        movlw   Minimo                  ; Sí, ha resultado Maximo<(Registro), entonces
        movwf   Registro                ; inicializa el registro.
        ENDM

; Macro "SaltaSiIgual" -------------------------------------------------------------
;
; Compara el valor del (Registro) con una "Constante". Si:
;   -   (Registro)=Constante, salta a la dirección indicada por el argumento "Salto" y el
;       flag Z se pone a "1".
;   -   (Registro)distinto "Constante", no salta y el flag Z se pone a "0".

SaltaSiIgual    MACRO  Registro, Constante, Salto
        movlw   Constante               ; Va a realizar la comparación mediante resta.
        subwf   Registro,W              ; (W)=(Registro)-Constante.
```

```
        btfsc   STATUS,Z                ; ¿Z=0?, ¿(W) distinto 0?, ¿(Registro) distinto Constante?
        goto    Salto                   ; Ha resultado (Registro)=Constante y salta.
        ENDM

; Macro "SaltaSiMayor" ----------------------------------------------------------
;
; Compara el valor del (Registro) con una "Constante". Si:
; -     (Registro)>Constante, salta a la dirección indicada por el argumento "Salto" y el
;       flag Carry se pone a "0".
; -     (Registro)<=Constante, no salta y el flag Carry se pone a "1".

SaltaSiMayor    MACRO Registro, Constante, Salto
        movf    Registro,W              ; Va a realizar la comparación mediante resta.
        sublw   Constante               ; (W)=Constante-(Registro).
        btfss   STATUS,C                ; ¿C=1?, ¿(W) positivo?, ¿Constante>=(Registro)?
        goto    Salto                   ; Ha resultado Constante<(Registro) y salta.
        ENDM

; Macro "SaltaSiMenor" ----------------------------------------------------------
;
; Compara el valor del (Registro) con una "Constante". Si:
; -     (Registro)<Constante, salta a la dirección indicada por el argumento "Salto" y el
;       flag Carry se pone a "0".
; -     (Registro)>=Constante, no salta y el flag Carry se pone a "1".

SaltaSiMenor    MACRO Registro, Constante, Salto
        movlw   Constante               ; Va a realizar la comparación mediante resta.
        subwf   Registro,W              ; (W)=(Registro)-Constante
        btfss   STATUS,C                ; ¿C=1?, ¿(W) positivo?, ¿(Registro)>=Constante?
        goto    Salto                   ; Ha resultado (Registro)<Constante y salta.
        ENDM

; Macro "VisualizaBCD" ----------------------------------------------------------
;
; Visualiza en la pantalla del módulo LCD el contenido de un (Registro) expresado en BCD.
;
VisualizaBCD    MACRO Registro
        movf    Registro,W
        call    BIN_a_BCD               ; Se debe visualizar en BCD.
        call    LCD_Byte                ; Con decena apagada si es cero.
        ENDM
```

Para comprender las ventajas en la utilización de las macros se expone un programa resuelto sin macros tal como se ha hecho hasta ahora y posteriormente con las macros definidas en la librería MACROS.INC.

```
;************************************ Macro_01.asm ************************************
;
; Se conectará un pulsador al pin RA4 y mientras se mantenga pulsado se incrementarán dos
; contadores distintos que se visualizarán en la pantalla del modulo LCD:
;  - El Contador1 se visualiza en la línea 1 y cuenta de 3 a 16.
;  - El Contador2 se visualiza en la línea 2 y cuenta de 7 a 21.
;
```



```
; ZONA DE DATOS

        __CONFIG
        LIST
        INCLUDE

        CBLOCK0
        Contador1
        Contador2
        ENDC

Minimo1 EQU     .3
Maximo1 EQU     .1
Minimo2 EQU     .7
Maximo2 EQU     .2

#DEFINE Pulsador P

; ZONA DE CÓDIGO

        ORG     0
Inicio
        call    LC
        bsf     ST
        bsf     Pu
        bcf     ST
        movlw   Mi
        movwf   Co
        movlw   Mi
        movwf   Co
        call    Vis
Principal
        btfss   Pul
        call    Inc
        goto    Prin
;
; Subrutina "Incrementa
;
; Subrutina que incremen
;
IncrementaVisualiza
        incf    Con
        movf    Con
        sublw   Max
        btfsc   STA
        goto    Incr
        movlw   Min
        movwf   Con
IncrementaContador2
        incf    Con
        movf    Con
        sublw   Max
        btfsc   STA
```

```
; ZONA DE DATOS ********************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        Contador1
        Contador2
        ENDC

Minimo1 EQU     .3
Maximo1 EQU     .16
Minimo2 EQU     .7
Maximo2 EQU     .21

#DEFINE  Pulsador PORTA,4          ; Línea donde se conecta el pulsador.

; ZONA DE CÓDIGOS ******************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0         ; Acceso al Banco 1.
        bsf     Pulsador           ; Línea del pulsador configurada como entrada.
        bcf     STATUS,RP0         ; Acceso al Banco 0.
        movlw   Minimo1            ; Inicializa los contadores
        movwf   Contador1
        movlw   Minimo2
        movwf   Contador2
        call    VisualizaContadores
Principal
        btfss   Pulsador           ; Lee el pulsador.
        call    IncrementaVisualiza ; Salta a incrementar y visualizar el contador.
        goto    Principal
;
; Subrutina "IncrementaVisualiza" ----------------------------------------------
;
; Subrutina que incrementa el contador y lo visualiza.
;
IncrementaVisualiza
        incf    Contador1,F        ; Incrementa el contador 1.
        movf    Contador1,W        ; ¿Ha llegado a su valor máximo?
        sublw   Maximo1            ; (W) = Maximo1 - (Contador1).
        btfsc   STATUS,C           ; ¿C=0?, ¿(W) negativo?, ¿Maximo1<(Contador1)?
        goto    IncrementaContador2 ; No, ha resultado Maximo1>=(Contador1)
        movlw   Minimo1            ; Sí, ha resultado Maximo1<(Contador1), entonces
        movwf   Contador1          ; inicializa el registro.
IncrementaContador2
        incf    Contador2,F        ; Incrementa el contador 2.
        movf    Contador2,W        ; ¿Ha llegado a su valor máximo?
        sublw   Maximo2            ; (W) = Maximo2 - (Contador2).
        btfsc   STATUS,C           ; ¿C=0?, ¿(W) negativo?, ¿Maximo2<(Contador2)?
```

```
        goto    VisualizaContadores; No, ha resultado Maximo2>=(Contador2)
        movlw   Minimo2                 ; Sí, ha resultado Maximo2<(Contador2), entonces
        movwf   Contador2               ; inicializa el registro.
VisualizaContadores
        call    LCD_Linea1
        movf    Contador1,W
        call    BIN_a_BCD
        call    LCD_Byte
        call    LCD_Linea2
        movf    Contador2,W
        call    BIN_a_BCD
        call    LCD_Byte
        call    Retardo_200ms           ; Se incrementa cada 200 ms.
        return
;
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        END
```

A continuación se expone el mismo programa pero resueltos con macros.

```
;********************************** Macro_02.asm ************************************
;
; Es el mismo ejercicio que Macro_01.asm, pero resueltos con macros.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC

        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        Contador1
        Contador2
        ENDC

Minimo1 EQU     .3
Maximo1 EQU     .16
Minimo2 EQU     .7
Maximo2 EQU     .21

#DEFINE  Pulsador  PORTA,4              ; Línea donde se conecta el pulsador.

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        INCLUDE <MACROS.INC>            ; La definición de las macros se deben realizar
                                        ; antes de que éstas sean invocadas.
        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
```



```
        bsf     Puls
        bcf     STA
        movlw   Min
        movwf   Con
        movlw   Min
        movwf   Con
        call    Visu
Principal
        btfss   Puls
        call    Incr
        goto    Princ
;
; Subrutina "IncrementaV
;
; Subrutina que increment
;
IncrementaVisualiza
        Incrementa
IncrementaContador2
        Incrementa
VisualizaContadores
        call    LCD
        VisualizaBCD
        call    LCD
        VisualizaBCD
        call    Retar
        return
;
        INCLUDE <RE
        INCLUDE <BI
        INCLUDE <LC
        END
```

La subrutina In
y acercándose a la
definición de las mac
de que las macros sea

Seguro que al f
añadir a la librería q
nuevas formas de res
hacerlo y, además, a
utilización de este re
el libro.

16.5 RESISTE

Una forma usu
correspondiente **resis**

```
        bsf     Pulsador                ; Línea del pulsador configurada como entrada.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
        movlw   Minimo1                 ; Inicializa los contadores
        movwf   Contador1
        movlw   Minimo2
        movwf   Contador2
        call    VisualizaContadores
Principal
        btfss   Pulsador                ; Lee el pulsador.
        call    IncrementaVisualiza     ; Salta a incrementar y visualizar el contador.
        goto    Principal
;
; Subrutina "IncrementaVisualiza" ---------------------------------------------
;
; Subrutina que incrementa el contador y lo visualiza.
;
IncrementaVisualiza
        Incrementa      Contador1,Minimo1,Maximo1,IncrementaContador2
IncrementaContador2
        Incrementa      Contador2,Minimo2,Maximo2,VisualizaContadores
VisualizaContadores
        call    LCD_Linea1
        VisualizaBCD    Contador1
        call    LCD_Linea2
        VisualizaBCD    Contador2
        call    Retardo_200ms
        return
;
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        END
```

La subrutina IncrementaVisualiza se ha simplificando mucho ganando en claridad y acercándose a la filosofía del lenguaje estructurado. Es importante señalar que la definición de las macros mediante el *INCLUDE <MACROS.INC>* debe realizarse antes de que las macros sean invocadas, por ello se coloca al principio del programa.

Seguro que al finalizar este ejercicio al lector se le han ocurrido nuevas macros para añadir a la librería que se adapten a su forma de trabajar y le han surgido ideas sobre nuevas formas de resolver los múltiples ejercicios propuestos hasta ahora. Le animamos a hacerlo y, además, a reformar todos los ejercicios que se planteen en adelante mediante la utilización de este recurso. Y no olvide actualizar su librería de macros conforme avanza el libro.

16.5 RESISTENCIAS DE PULL-UP DEL PUERTO B

Una forma usual de producir pulsos es mediante pulsadores que necesitan de su correspondiente **resistencia de Pull-Up** (figura 15-3). El PIC16F84 permite configurar

una resistencia de Pull-Up interna en cada una del las líneas del Puerto B, ahorrando estas necesarias resistencias externas cuando se utilizan pulsadores u otros dispositivos externos de lectura (figura 16-5).

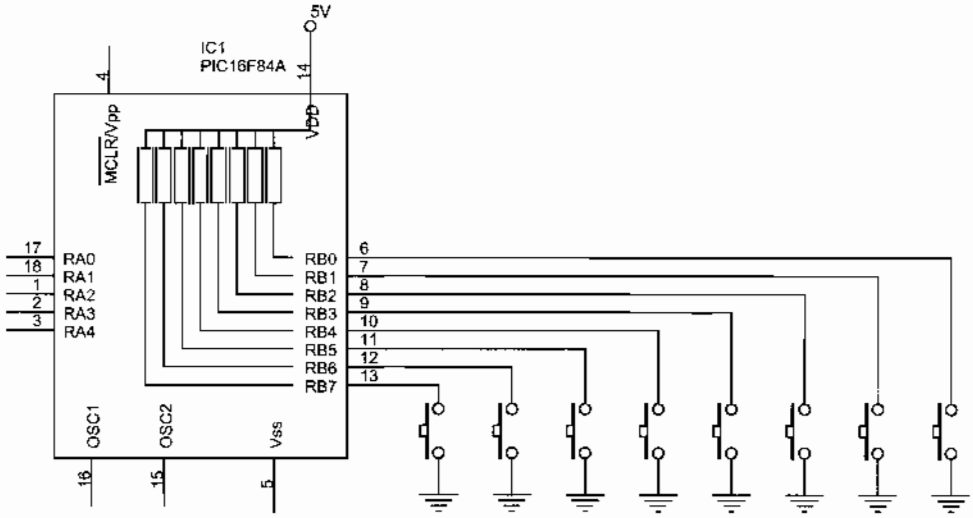


Figura 16-5 Resistencias de Pull-Up internas del PIC16F84A

Para configurar esta resistencia hay que utilizar el bit NOT_RBPU del registro OPTION:

/RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla 16-2 Bit para configurar las resistencias de Pull-Up del Puerto B

- **/RBPU,** *(Resistor Port B Pull-Up Enable bit).* Habilitación de las resistencias de Pull-Up del Puerto B.
  - /RBPU = 0. Habilita las resistencias de Pull-Up del Puerto B.
  - /RBPU = 1. Deshabilita las resistencias de Pull-Up del Puerto B.

Por tanto para activar las resistencias de Pull-Up del Puerto B basta con resetear el bit NOT_RBPU del registro OPTION utilizando instrucción:

bcf OPTION_REG,NOT_RBPU

16.6 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores, diseñar, ensamblar, simular y grabar el microcontrolador con los siguientes programas. Comprobar su

correcto funcionamiento
todas las mejoras que con

WATCHDOG Y SLE

Watchdog_01.asm
mismo se producirá cada
producirá un incremento
volverá a la situación de
aproximadamente.

Watchdog_02.asm
incrementará un contador
en pulsar el Watchdog se

DIRECCIONAMIEN

Indirecto_01.asm:
direccionamiento indirecto
última dirección ocupada
funcionamiento debe com

Indirecto_02.asm:
de la memoria RAM de da
por ejemplo, en la direcció
dirección 22h se escribe
incluida, ya que a partir de

A continuación se
desde la dirección 00h ha
dirección y su contenido.
SFR. Cada visualización se

MACROS

Macro_01.asm: Se
pulsado se incrementarán d

- El Contador 1
- El Contador 2

Macro_02.asm: Rep

correcto funcionamiento con el esquema de la figura 13-10. El lector puede introducir todas las mejoras que considere conveniente.

WATCHDOG Y SLEEP

Watchdog_01.asm: El PIC se pone en modo bajo consumo. El despertar del mismo se producirá cada vez que el Watchdog desborde su cuenta, en ese momento se producirá un incremento de un contador que se visualizará en la pantalla y nuevamente volverá a la situación de bajo consumo. El proceso debe repetirse cada medio segundo aproximadamente.

Watchdog_02.asm: Cada vez que se presione el pulsador conectado al pin RA4, se incrementará un contador que se visualizará en el display LCD. Si tarda más de 1 segundo en pulsar el Watchdog se despertará y en la pantalla aparecerá un mensaje.

DIRECCIONAMIENTO INDIRECTO

Indirecto_01.asm: Este programa comprobará el funcionamiento del direccionamiento indirecto. Se trata de escribir con el valor de una constante a partir de la última dirección ocupada de la memoria RAM de datos hasta el final. Su correcto funcionamiento debe comprobarse con el simulador.

Indirecto_02.asm: Se trata de escribir, a partir de la de la última dirección ocupada de la memoria RAM de datos hasta el final, el contenido con el valor de la dirección. Así, por ejemplo, en la dirección 20h se escribe "20", en la dirección 21h se escribe "21", en la dirección 22h se escribe "22" y así sucesivamente. Se escribirá hasta la dirección 4Fh incluida, ya que a partir de la dirección 50h no están implementadas en un PIC16F84.

A continuación se procederá a la lectura de la memoria RAM de datos completa, desde la dirección 00h hasta la 4Fh. En la pantalla del display LCD se visualizará la dirección y su contenido. Observar que las direcciones de 00h a 0Bh corresponden al SFR. Cada visualización se mantendrá durante medio segundo en pantalla.

MACROS

Macro_01.asm: Se conectará un pulsador al pin RA4 y mientras se mantenga pulsado se incrementarán dos contadores distintos que se visualizarán en la pantalla:

- El Contador 1 se visualizará en la línea 1 y cuenta de 3 a 16.
- El Contador 2 se visualizará en la línea 2 y cuenta de 7 a 21.

Macro_02.asm: Repetir el ejercicio anterior mediante la utilización de macros.

Macro_03.asm: Programa para el Juego de la Bonoloto. Al presionar sobre el pulsador conectado al pin RA4, se incrementará un contador rápidamente de 1 a 49. Cuando se suelta el pulsador aparece el número seleccionado. No es necesario eliminar los rebotes del pulsador que incluso facilitarán la obtención de números pseudoaleatorios.

Otros: Aumentar el número de macros de la librería MACROS.INC hasta que se adapte a los gustos del lector. Comprobar después el correcto funcionamiento de las mismas reformando algunos de los programas hechos hasta ahora.

© RA-MA

Damián

CAPÍTULO 17

INTERRUPCIONES. LECTURA DE ENTRADAS

En casi todos los proyectos es necesario leer alguna entrada de tipo digital tal como pulsadores, interruptores, sensores digitales, o similares. Este capítulo explica el modo de realizarlo con la máxima eficacia.

17.1 TÉCNICA POLLING

Hasta ahora la técnica utilizada para la lectura de entradas al microcontrolador, como por ejemplo pulsadores, ha consistido en la comprobación cíclica por parte del programa del estado de la entrada correspondiente, a esta técnica se la llama ***Polling*** o "por sondeo". El siguiente programa de control para el circuito de la figura 17-1 es un ejemplo de su utilización.

```
;********************************** Int_INT_01.asm ***************************************
;
; Cada vez que presione el pulsador conectado al pin RB0, se incrementará un contador
; que es visualizará en el módulo LCD. La lectura se realiza mediante la técnica Polling
; leyendo constantemente el estado de la entrada.
;
;ZONA DE DATOS ********************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        Contador                        ; El contador a visualizar.
        ENDC
```

```
#DEFINE  Pulsador          PORTB,0          ; Línea donde se conecta el pulsador.

; ZONA DE CÓDIGOS ********************************************************************

         ORG     0
Inicio
         call    LCD_Inicializa
         bsf     STATUS,RP0               ; Acceso al Banco 1.
         bsf     Pulsador                 ; La línea RB0/INT se configura como entrada.
         bcf     OPTION_REG,NOT_RBPU      ; Activa las resistencias de Pull-Up del Puerto B.
         bcf     STATUS,RP0               ; Acceso al Banco 0.
         clrf    Contador                 ; Inicializa el contador y lo visualiza.
         call    VisualizaContador

; La sección "Principal" es de mantenimiento. Está leyendo constantemente; la línea de entrada
; mediante técnica Polling.

Principal
         btfss   Pulsador                 ; Lee el pulsador.
         call    IncrementaVisualiza      ; Si pulsa, salta a incrementar y visualizar el contador.
         goto    Principal
;
; Subrutina "IncrementaVisualiza" ----------------------------------------------
;
; Incrementa un contador y lo visualiza.
;
IncrementaVisualiza
         call    Retardo_20ms             ; Espera a que se estabilice el nivel de tensión.
         btfsc   Pulsador                 ; Confirma si es un rebote.
         goto    Fin_Incrementa
         incf    Contador,F               ; Incrementa el contador y después lo visualiza.
VisualizaContador
         call    LCD_Linea1
         movf    Contador,W
         call    BIN_a_BCD                ; Se debe visualizar en BCD.
         call    LCD_Byte
EsperaDejePulsar
         btfss   Pulsador
         goto    EsperaDejePulsar
Fin_Incrementa
         return

         INCLUDE <RETARDOS.INC>
         INCLUDE <BIN_BCD.INC>
         INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
         END
```

La figura 17-2(A) muestra el diagrama básico de funcionamiento de esta técnica. Aunque éste es el método más sencillo para leer una entrada presenta el inconveniente de una pérdida de eficacia, ya que el programa tiene que quedar encerrado en un bucle permanente que permita leer la entrada. Las desventajas de la técnica *Polling* son:

- Hay que in
- Al periféric
  la interven

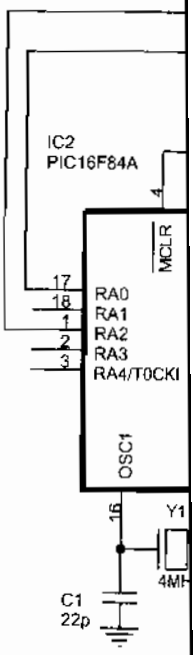


Figura 17-1 Un

17.2 INTERR

Una **interrup**
externo puede interru
de entonces se prod
interrupción, ésta a
programa exactament
tarea justo donde la
característica de la i
instante preciso y, por

Este método e
perderá el tiempo p
únicamente atenderá
interrupción.

- Hay que interrogar a las entradas en cada ciclo de programa.
- Al periférico se le atiende después de realizar la consulta y no cuando solicita la intervención del microcontrolador.

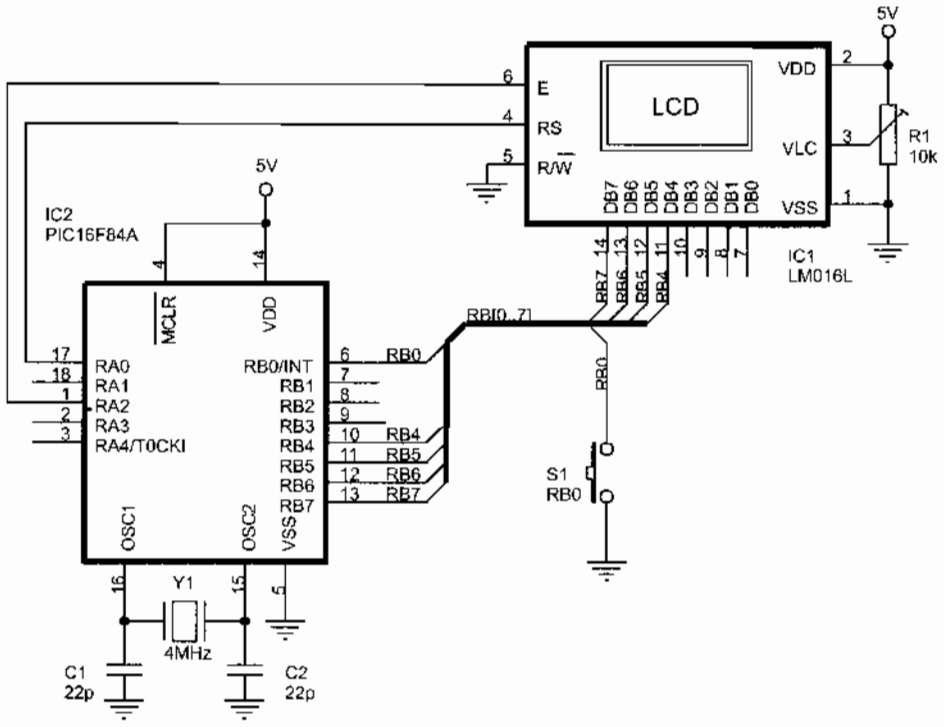


Figura 17-1 Una entrada se puede leer mediante técnica Polling o Interrupciones

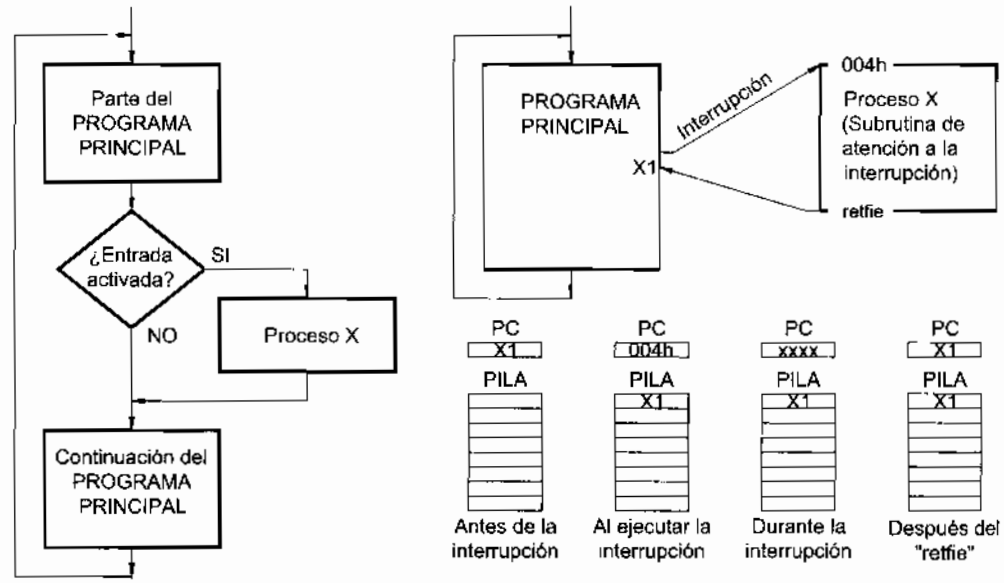
17.2 INTERRUPCIONES

Una **interrupción** consiste en un mecanismo por el cual un evento interno o externo puede interrumpir la ejecución de un programa en cualquier momento. A partir de entonces se produce automáticamente un salto a una **subrutina de atención a la interrupción**, ésta atiende inmediatamente el evento y retoma luego la ejecución del programa exactamente donde estaba en el momento de ser interrumpido, continuando su tarea justo donde la dejó, tal como ilustra la figura 17-2(B). La interrupción tiene la característica de la inmediatez, nace de la necesidad de ejecutar una subrutina en el instante preciso y, por tanto, se considera su intervención urgente.

Este método es más eficaz que la técnica *Polling* ya que el microcontrolador no perderá el tiempo preguntando a la línea de entrada para leer el estado, sino que únicamente atenderá al periférico cuando éste se lo pida mediante la solicitud de interrupción.

Las interrupciones constituyen el mecanismo más importante para la conexión del microcontrolador con el exterior ya que sincroniza la ejecución de programas con los acontecimientos externos. Esto es muy útil, por ejemplo, para el manejo de dispositivos de entrada que requieren de una atención inmediata, tales como detección de pulsos externos, recepción de datos, activación de pulsadores, etc.

El funcionamiento de las interrupciones es similar al de las subrutinas, de las cuales se diferencian, principalmente, en los procedimientos que las ponen en marcha. Así como las subrutinas se ejecutan cada vez que en el programa aparece una instrucción *call*, las interrupciones se ponen en marcha al aparecer en cualquier instante un evento externo al programa, por lo tanto, una interrupción se activa por un mecanismo hardware.



A) LECTURA DE UNA ENTRADA MEDIANTE TÉCNICA "POLLING" O DE CONSULTA.

B) LECTURA DE UNA ENTRADA MEDIANTE INTERRUPCIONES.

Figura 17-2 Funcionamiento de la técnica Polling frente a las Interrupciones

El PIC16F84 dispone de 4 posibles fuentes de interrupción:

- Interrupción **INT**. Por activación del pin RB0/INT.
- Interrupción **RBI**. Por cambio de estado en una o varias de las 4 líneas de más peso RB7:RB4 del Puerto B.
- Interrupción **T0I**. Por desbordamiento del Timer 0.
- Interrupción **EEI**. Por la finalización de la escritura en la EEPROM de datos.

El programa deberá tener mecanismos que permitan identificar la causa de la interrupción.

17.3 FUNCIONAMIENTO DE UNA INTERRUPCIÓN

Cuando se produce cualquiera de los sucesos indicados anteriormente se origina una petición de interrupción que, si se acepta, origina el siguiente mecanismo hardware:

1º Salva el valor actual del contador de programa (PC) guardando su contenido en la pila, figura 17-2(B).
2º El bit GIE *(Global Interrupt Enable)* del registro INTCON es puesto a cero, lo que prohíbe cualquier otra interrupción.
3º El PC se carga con el valor 004h, que es la posición del vector de interrupción.
4º Comienza a ejecutarse el programa de atención a la interrupción que se encuentra a partir de la dirección 004h.

Los bits de control localizados en el registro INTCON habilitan y configuran las interrupciones. Cada causa de interrupción actúa con dos flags representados en la figura 17-3.

- Uno de ellos actúa como flag de señalización que indica si se ha producido o no la interrupción: T0IF, INTF, RBIF y EEIF.
- El otro funciona como permiso o prohibición de la interrupción en sí: T0IE, INTE, RBIE, EEIE y GIE.

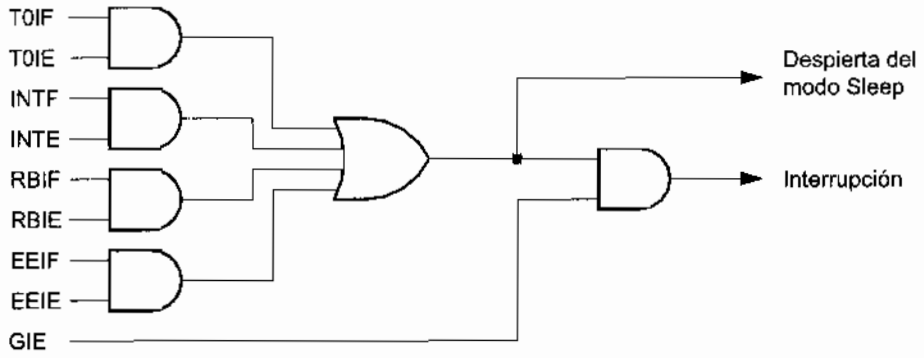


Figura 17-3 Interrupciones en el PIC16F84

Hay un único **vector de interrupción** en la dirección 004h. Sea cual sea la interrupción, el contador de programa se carga con la dirección 004h, figura 17-2(B). A continuación debe comprobar los diferentes indicadores para saber cuál es el dispositivo que produce la interrupción y actuar según sea el caso.

En el PIC16F84 las interrupciones se comportan casi exactamente igual que las subrutinas. Desde el punto de vista del control del programa, una interrupción produce el mismo efecto que ocurriría si el programa tuviese un *"call 004h"* en el punto en que se produjo la interrupción, ejecutando la **subrutina de atención de interrupción**.

17.4 FLAGS RELACIONADOS CON INTERRUPCIONES

Los flags relacionados con las interrupciones se alojan en los registros INTCON y OPTION.

17.4.1 Del registro INTCON

El registro INTCON *(Interrupts Control Register)* es el registro para el control de las interrupciones, está localizado en la dirección 0Bh del Banco 0 ó 8Bh del Banco 1. Es el encargado del manejo de las interrupciones y contiene los 8 bits que se muestran en la tabla 17-1, de los cuales unos actúan como flags señaladores del estado de la interrupción y otros como bit de permiso o autorización para que se pueda producir la interrupción:

GIE	EEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla 17-1 Bits del registro INTCON

- **GIE** *(Global Interrupt Enable)*. Flag de habilitación global del permiso de interrupción. Se borra automáticamente cuando se reconoce una interrupción para evitar que ninguna otra se produzca mientras se está atendiendo a la primera. Al retornar de la interrupción con una instrucción *retfie*, el bit GIE se vuelve a activar poniéndose a "1". Para el resto de los flags no se ha previsto mecanismo de puesta a cero, por lo que el programa de atención a la interrupción debe realizar el tratamiento de la correspondiente interrupción y además debe poner el o los flags de indicación de interrupción a "0".
  - GIE = 0. No autoriza interrupción de ningún tipo.
  - GIE = 1. Autoriza cualquier tipo de interrupción. Se pone a "1" de forma automática con la instrucción *retfie*.
- **EEIE** *(EEPROM Write Complete Interrupt Enable)*. Habilitación de la interrupción EEI. Flag que autoriza la interrupción por escritura completada de un byte en la EEPROM de datos del PIC. (El flag EEIF se encuentra en el registro EECON1).
  - EEIE = 0. Interrupción EEI deshabilitada.
  - EEIE = 1. Interrupción EEI habilitada.
- **T0IE** *(TMR0 Interrupt Enable bit)*. Habilitación de la interrupción T0I. Flag que autoriza la interrupción por desbordamiento del Timer 0.
  - T0IE = 0. Interrupción T0I deshabilitada.
  - T0IE = 1. Interrupción T0I habilitada.
- **INTE** *(External INT Enable bit)*. Habilitación de la interrupción externa INT. Flag que autoriza la interrupción externa a través del pin RB0/INT.
  - INTE = 0. Interrupción INT deshabilitada.
  - INTE = 1. Interrupción INT habilitada.

- **RBIE** *(RB Port Change Interrupt Enable)*. Habilitación de la interrupción RBI. Flag que autoriza la interrupción por cambio de estado de las líncas RB7:RB4 del Puerto B.
  - RBIE = 0. Interrupción RBI deshabilitada.
  - RBIE = 1. Interrupción RBI habilitada.
- **T0IF** *(TMR0 Overflow Interrupt Flag bit)*. Flag de estado de la interrupción producida por el TMR0. Indica que se ha producido una interrupción por desbordamiento del Timer 0, es decir, que ha pasado de b'11111111' (FFh) a b'00000000' (00h).
  - T0IF = 0. El TMR0 no se ha desbordado
  - T0IF = 1. El TMR0 se ha desbordado. (Debe borrarse por software).
- **INTF** *(External Interrupt Flag bit)*. Flag de estado de la interrupción externa INT. Indica que se ha producido una interrupción a través del pin RB0/INT.
  - INTF = 0. No hay interrupción externa por el pin RB0/INT.
  - INTF = 1. Ha ocurrido una interrupción externa por la línea RB0/INT. (Debe borrarse por software).
- **RBIF** *(RB port change Interrupt Flag)*. Flag de estado de la interrupción RBI. Indica que se ha producido una interrupción por cambio de estado de cualquiera de las líneas RB4 a RB7.
  - RBIF= 0. Ninguna de las entradas RB7 a RB4 ha cambiado de estado.
  - RBIF = 1. Cualquiera de las líneas RB7 a RB4 del Puerto B ha cambiado. (Debe borrarse por software).

17.4.2 Del registro OPTION

La misión principal del registro OPTION es gobernar el comportamiento del TMR0, como se estudió en el capítulo 15, pero también tiene un bit relacionado con las interrupciones externas:

/RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla 17-2 Bit del registro OPTION utilizados por las interrupciones

- **INTEDG** (*Interrupt Edge Select bit*). Selector de flanco de la interrupción INT.
  - INTEDG = 0. Interrupción por flanco descendente del pin RB0/INT.
  - INTEDG = 1. Interrupción por flanco ascendente del pin RB0/INT.

17.5 INSTRUCCIÓN "RETFIE"

La instrucción *retfie* utilizada al final de la subrutina de interrupción es idéntica a un retorno de subrutina *return*. Además coloca automáticamente a "1" el bit GIE,

volviendo a habilitar las interrupciones. Al terminar la subrutina de servicio a la interrupción el programa principal continúa donde fue interrumpido.

Es importante recalcar que la subrutina de atención a la interrupción debe situarse a partir de la dirección 0x004 y acabar con la instrucción *retfie*.

17.6 INTERRUPCIÓN EXTERNA INT

La fuente de interrupciones externa INT es muy importante para atender eventos externos en tiempo real. Cuando en la línea RB0/INT se hace una petición de interrupción el bit INTF del registro INTCON se pone a "1" de forma automática y, si el bit GIE está a "1", se pone en marcha el mecanismo ya comentado de la interrupción.

Mediante el bit INTDEG del registro OPTION es seleccionado el flanco activo de RB0/INT, ya que con éste puesto a "1" el flanco activo es el ascendente y cuando está a "0" el flanco activo es el descendente.

El programa de atención a la interrupción antes de regresar al programa principal debe borrar el flag INTF, puesto que en caso contrario al ejecutar la instrucción de retorno de interrupción *retfie* se volverá a desarrollar el mismo proceso de interrupción.

A continuación se expone un programa ejemplo para el hardware de la figura 17-1, cuyo pulsador producirá una interrupción externa INT al actuar sobre él. Es un ejemplo típico de lectura de entradas digitales aplicable a multitud de proyectos.

```
;************************************ Int_INT_02.asm ***************************************
;
; Cada vez que presiona el pulsador conectado al pin RB0/INT se incrementa un contador
; que es visualizado en el módulo LCD. La lectura del pulsador se hará mediante interrupciones.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        Contador                        ; El contador a visualizar.
        ENDC

#DEFINE Pulsador        PORTB,0         ; Línea donde se conecta el pulsador.

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4                       ; Vector de interrupción.
        goto    ServicioInterrupcion
```



```
Inicio
            call
            bsf
            bsf
            bcf
            bcf
            bcf
            clrf
            call
            movlw
            movwf

; La sección "Prin

Principal
            sleep
            goto

; Subrutina "Servi
;
; Subrutina de ser
;
ServicioInterrupci
            call
            btfsc
            goto
            incf
VisualizaContado
            call
            movf
            call
            call
FinInterrupcion
            bcf
            retfie

            INCLU
            INCLU
            INCLU
            END
```

En este
respecto de la t
tiempo en que
se consigue un

17.7 REC

Durante
contador de p
contenido de l

```
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        bsf     Pulsador                ; La línea RB0/INT se configura como entrada.
        bcf     OPTION_REG,NOT_RBPU     ; Activa las resistencias de Pull-Up del Puerto B.
        bcf     OPTION_REG,INTEDG       ; Interrupción INT se activa por flanco de bajada.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
        clrf    Contador                ; Inicializa el contador y lo visualiza.
        call    VisualizaContador
        movlw   b'10010000'             ; Habilita la interrupción INT y la general.
        movwf   INTCON

; La sección "Principal" es de mantenimiento. Sólo espera las interrupciones en modo de bajo consumo.

Principal
        sleep                           ; Pasa a modo de bajo consumo o reposo.
        goto    Principal

; Subrutina "ServicioInterrupcion" ----------------------------------------------
;
; Subrutina de servicio a la interrupción. Incrementa un contador y lo visualiza.
;
ServicioInterrupcion
        call    Retardo_20ms            ; Espera a que se estabilice el nivel de tensión.
        btfsc   Pulsador                ; Comprueba si es un rebote.
        goto    FinInterrupcion         ; Era un rebote y por tanto sale.
        incf    Contador,F              ; Incrementa el contador y lo visualiza.
VisualizaContador
        call    LCD_Linea1
        movf    Contador,W
        call    BIN_a_BCD               ; Se debe visualizar en BCD.
        call    LCD_Byte
FinInterrupcion
        bcf     INTCON,INTF             ; Limpia flag de reconocimiento (INTF).
        retfie                          ; Retorna y rehabilita las interrupciones (GIE=1).

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        END
```

En este ejemplo se aprecia la diferencia del funcionamiento de las interrupciones respecto de la técnica *Polling*, o de consulta, utilizada en el programa Int_INT_01.asm. El tiempo en que el programa no es interrumpido está en modo de bajo consumo, con lo que se consigue un importante ahorro de energía.

17.7 REGISTROS ALTERADOS POR LA INTERRUPCIÓN

Durante la interrupción el único registro que se salvaguarda en la pila es el contador de programa. La subrutina de atención a la interrupción puede modificar el contenido de los registros del microcontrolador. Al iniciarla conviene guardar el valor de

los mismos y restaurarlos en su valor antes de la instrucción *retfie*. No es predecible cuando se producirá una interrupción. Si al regreso de la subrutina de atención a la interrupción los registros no se encuentran en el mismo estado que antes de la interrupción, el programa no funcionará correctamente al usar datos que ya no son correctos.

A primera vista, salvar y restaurar los registros sin modificar sus contenidos parece que es una tarea fácil. El contenido de los registros W y STATUS deben guardarse primero, junto con los demás registros que varíen su valor durante la ejecución de la subrutina de servicio a la interrupción. Sin embargo, aunque en principio parezca correcto el siguiente procedimiento de salvarguarda de registros y restauración, éste no funcionará bien:

```
        ORG     0                       ; Dirección de comienzo del programa
        goto    Inicio
        ORG     4                       ; Vector de interrupción.
        goto SevicioInterrupcion.

Inicio
                ...                     ...

; Subrutina "ServicioInterrupcion" ----------------------------------------------------------------------------
;
: Subrutina de atención a la interrupción.  Como esta subrutina altera los valores del registro de trabajo
; W, del STATUS y de otros registros, habrá que  preservar su valor previo y después restaurarlo al final.

        CBLOCK
        Guarda_W
        Guarda_STATUS
        Guarda_RegistroA
        Guarda_RegistroB
          ..... ....
        ENDC

; Primero preserva los valores que tenían W y STATUS antes de producirse la interrupción.

ServicioInterrupcion
        movwf   Guarda_W                ; Guarda W y STATUS.
        movf    STATUS,W                ; Esta instrucción es incorrecta porque corrompe el
        movwf   Guarda_STATUS           , contenido del STATUS
        movf    RegistroA,W             ; Guarda el contenido del Registro A alterado en esta
        movwf   Guarda_RegistroA        ; subrutina.
        movf    RegistroB,W             ; Guarda el contenido del Registro B.
        movwf   Guarda_RegistroB.
          ..... .....                   ; Aquí se desconoce en qué banco de registros se trabaja.

; (Aquí el resto de la subrutina de atención a la interrupción).
          ...                           ...

; Ahora restaura los valores que tenían W y STATUS y de los registros alterados por la interrupción
; antes de producirse ésta.
```



```
        movf    Gua
        movwf   Reg
        movf    Gua
        movwf   Reg
        movf    Gua
        movwf   STA
        movf    Gua
        bcf     INT
        retfie
```

El fragmento
mover el registro de
estado STATUS. M
restaurar los registros

```
; Primero preserva los val
; puede utilizar la instrucci

ServicioInterrupcion
        movwf   Guar
        swapf   STA
        movwf   Guar
        movf    Regis
        movwf   Guar
        movf    Regis
        movwf   Guar
          ..... .....
        bcf     STAT
          ..... .....
```

(Aquí el resto de la subruti

```
          ..... .....
; Ahora restaura los valores
; antes de producirse ésta.

        movf    Guard
        movwf   Regist
        movf    Guard
        movwf   Regist
        swapf   Guard
        movwf   STAT
        swapf   Guard
        swapf   Guard
        bcf     INTC
        retfie
```

La instrucción
STATUS. Aunque los

```
movf    Guarda_RegistroB,W      ; Restaura el contenido del RegistroB antes de producirse
movwf   RegistroB               ; la interrupción.
movf    Guarda_RegistroA,W      ; Restaura el contenido del RegistroA antes de producirse
movwf   RegistroA               ; la interrupción.
movf    Guarda_STATUS,W         ; Esta instrucción también es incorrecta porque altera
movwf   STATUS                  ; el contenido del STATUS.
movf    Guarda_W,W              ; Otra instrucción que vuelve a alterar el STATUS.
bcf     INTCON,INTF             ; Limpia el flag de reconocimiento de la interrupción.
retfie                          ; Retorna y rehabilita la interrupción.
```

El fragmento de programa anterior no funciona correctamente, ya que el hecho de mover el registro de trabajo W a otro registro corrompe el flag Z y modifica el registro de estado STATUS. Microchip recomienda una secuencia de código que permite salvar y restaurar los registros sin modificarlos:

```
; Primero preserva los valores que tenían W y STATUS antes de producirse la interrupción. No se
; puede utilizar la instrucción "movf STATUS,W", porque corrompe el contenido del STATUS.

ServicioInterrupcion
        movwf   Guarda_W            ; Guarda W y STATUS.
        swapf   STATUS,W            ; Ya que "movf STATUS,W" corrompe el bit Z.
        movwf   Guarda_STATUS
        movf    RegistroA,W         ; Guarda el contenido del Registro A alterado en esta
        movwf   Guarda_RegistroA    ; subrutina.
        movf    RegistroB,W         ; Guarda el contenido del Registro B.
        movwf   Guarda_RegistroB.
          ..... .....
        bcf     STATUS,RP0          ; Para asegurarse que trabaja dentro del Banco 0.
          ..... .....

(Aquí el resto de la subrutina de servicio de atención a la interrupción).

          ..... .....
; Ahora restaura los valores que tenían W y STATUS y de los registros alterados por la interrupción
; antes de producirse ésta.

        movf    Guarda_RegistroB,W  ; Restaura el contenido del RegistroB antes de producirse
        movwf   RegistroB           ; la interrupción.
        movf    Guarda_RegistroA,W  ; Restaura el contenido del RegistroA antes de producirse
        movwf   RegistroA           ; la interrupción.
        swapf   Guarda_STATUS,W     ; Restaura STATUS, dejándolo como estaba.
        movwf   STATUS
        swapf   Guarda_W,F          ; Restaura W como estaba antes de producirse la
        swapf   Guarda_W,W          ; interrupción.
        bcf     INTCON,INTF         ; Limpia el flag de reconocimiento de la interrupción.
        retfie                      ; Retorna y rehabilita la interrupción.
```

La instrucción *swapf STATUS,W* mueve los datos sin afectar al flag Z del registro STATUS. Aunque los conjuntos de 4 bits se inviertan en el proceso, posteriormente son

restaurados a su situación inicial. Si se empleara la instrucción *movf STATUS,W* se corrompería el bit Z.

17.8 AVERIGUAR LA CAUSA DE LA INTERRUPCIÓN

El microcontrolador sólo dispone de un vector de interrupción en la dirección 004h. Esto quiere decir que, sea cual sea la fuente de la interrupción, el contador de programa se carga con la dirección 004h

Dentro de la subrutina de atención a la interrupción, el programa deberá identificar la causa de la interrupción. Para ello, debe testear el estado de los flags de interrupción de cada una de las fuentes habilitadas, para deducir cual fue la que causó la interrupción y así decidir que acción tomar. En el siguiente fragmento de programa se muestra una forma de hacerlo:

```
..... .....

; Pasa a detectar la causa de la interrupción y ejecutar la subrutina correspondiente.

        btfsc   INTCON,INTF     ; ¿Interrupción por activación línea RB0/INT?
        call    Interrupcion_INT ; Ejecuta la subrutina de atención a interrupción INT.
        btfsc   INTCON,RBIF     ; ¿Interrupción por cambio en el Puerto B?
        call    Interrupcion_RBI ; Ejecuta la subrutina de atención a interrupción RBI.
        btfsc   INTCON,T0IF     ; ¿Interrupción por desbordamiento TMR0?
        call    Interrupcion_T0I ; Ejecuta la subrutina de atención a interrupción T0I.
    ..... .....
```

17.9 FASES DE UNA INTERRUPCIÓN

Como resumen de todo lo explicado hasta ahora, pasamos a enumerar las acciones que realiza automáticamente el microcontrolador y las que el diseñador debe tener en cuenta a la hora de confeccionar el programa:

1º El programa debe habilitar las interrupciones correspondientes mediante una instrucción en la inicialización similar a la siguiente:

```
movlw   b'10111000'     ; Activa interrupción del TMR0 (T0IE), por flanco en RB0 (INT),
movwf   INTCON          ; por cambio en líneas del Puerto B (RBIE) y la general (GIE).
```

2º Cuando ocurre una interrupción el flag correspondiente (T0IF, INTF o RBIF) se activa. Si el bit de permiso correspondiente (T0IE, INTE o RBIE) está a "1" y el bit de habilitación de todas las interrupciones GIE está a "1", se produce la interrupción.

3º Para evitar que se produzca otra interrupción mientras se está atendiendo a otra anterior, el bit GIE se pone automáticamente a "0" por hardware.

4º El valor del contador de programa (PC) se guarda en la pila.

5º El PC se carga con el valor 004h, que es el vector de interrupciones.

6º El programa debe comenzar la subrutina de atención a la interrupción con un salto a la posición de memoria, donde se encuentra las instrucciones correspondientes a la interrupción.

```
ORG     0               ; Dirección de comienzo del programa
goto    Inicio
ORG     4               ; Vector de interrupción.
goto    SevicioInterrupcion.
```

7º Seguidamente el programa debe guardar todos los registros que puedan ser modificados por la subrutina de atención a la interrupción.

```
; Subrutina "ServicioInterrupcion" ----------
;
; Subrutina de atención a la interrupción. Como esta subrutina altera los valores del registro de trabajo
; W, del STATUS y de otros registros, habrá que preservar su valor previo y después restaurarlo al final.

        CBLOCK
        Guarda_W
        Guarda_STATUS
        Guarda_RegistroA
        Guarda_RegistroB
          ..... .....
        ENDC

; Primero preserva los valores que tenían W y STATUS antes de producirse la interrupción. No se
; puede utilizar la instrucción "mov STATUS,W" porque corrompe el contenido del STATUS.

ServicioInterrupcion
        movwf   Guarda_W                ; Guarda W y STATUS.
        swapf   STATUS,W                ; Ya que "movf STATUS,W" corrompe el bit Z.
        movwf   Guarda_STATUS
        movf    RegistroA,W             ; Guarda el contenido del Registro A alterado en esta
        movwf   Guarda_RegistroA        ; subrutina.
        movf    RegistroB,W             ; Guarda el contenido del Registro B.
        movwf   Guarda_RegistroB.
          ..... .....
        bcf     STATUS,RP0              ; Para asegurarse que trabaja dentro del Banco 0.
```

8º A continuación, si están habilitadas varias vías de interrupción el programa debe explorar el valor de los flag para determinar la causa de la interrupción.

```
btfsc   INTCON,INTF             ; ¿Interrupción por activación línea RB0/INT?
call    Interrupcion_INT        ; Ejecuta la subrutina de atención a interrupción INT.
btfsc   INTCON,RBIF             ; ¿Interrupción por cambio en el Puerto B?
call    Interrupcion_RBI        ; Ejecuta la subrutina de atención a interrupción RBI.
btfsc   INTCON,T0IF             ; ¿Interrupción por desbordamiento TMR0?
call    Interrupcion_T0I        ; Ejecuta la subrutina de atención a interrupción T0I.
```

9º Dependiendo de la causa de la interrupción, se bifurca a la subrutina correspondiente.

10º Una vez finalizado el tratamiento de la interrupción el programa debe devolver los valores que tenían los registros antes de producirse la interrupción.

```
movf    Guarda_RegistroB,W      ; Restaura el contenido del RegistroB antes de producirse
movwf   RegistroB               ; la interrupción.
movf    Guarda_RegistroA,W      ; Restaura el contenido del RegistroA antes de producirse
movwf   RegistroA               ; la interrupción.
swapf   Guarda_STATUS,W         ; Restaura STATUS, dejándolo como estaba.
movwf   STATUS
swapf   Guarda_W,F              ; Restaura W como estaba antes de producirse la
swapf   Guarda_W,W              ; interrupción.
bcf     INTCON,INTF             ; Limpia el flag de reconocimiento de la interrupción.
retfie                          ; Retorna y rehabilita la interrupción.
```

11º El programa debe borrar los flags que indican las fuentes de las interrupciones (INTF, RBIF, T0IF o EEIF) antes del retorno al programa principal.

```
bcf     INTCON,INTF             ; Limpia los flags de reconocimiento de la interrupción.
bcf     INTCON,RBIF
bcf     INTCON,T0IF
retfie                          ; Retorna y rehabilita la interrupción.
```

12º Cuando llega a la última instrucción de la rutina de interrupción *retfie*, el contador de programa se carga con el valor que se guardó inicialmente en la pila (figura 17-2.B) y el bit GIE se pone automáticamente a "1".

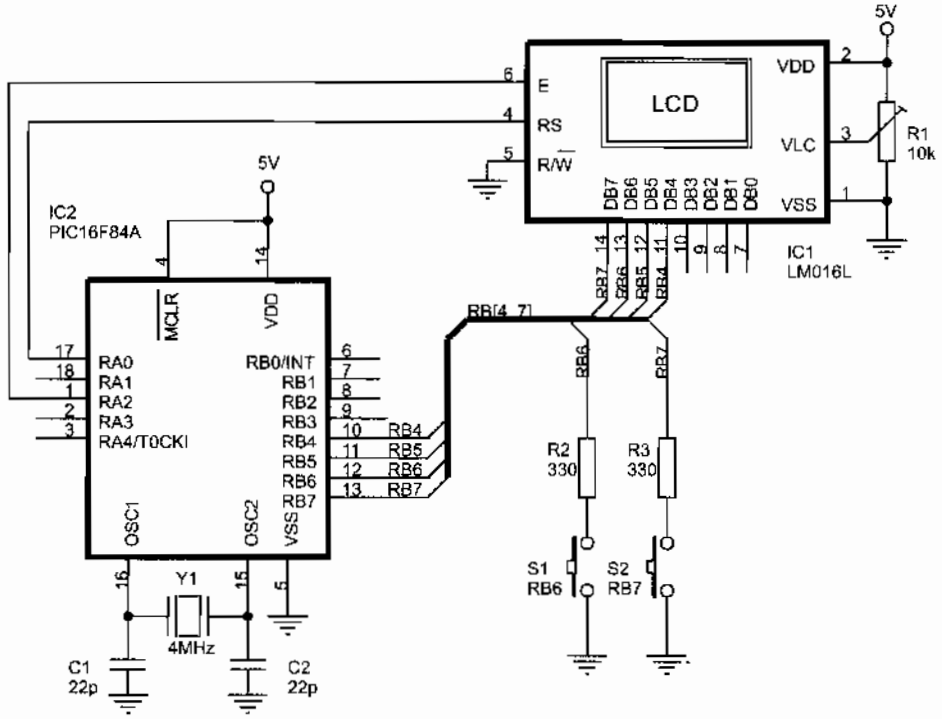


Figura 17-4 Circuito para estudiar las interrupciones RBI

17.10 INTERR

Para activar la
RBIE y GIE del regi
produce un cambio d
del registro INTCON

A continuación
en el cual se procede
con los pulsadores e
cortocircuiten las líne
estos pulsadores. La
ninguna nueva línea
eran utilizada para g
muchos proyectos.

```
;*********************
;
; Por el zumbador se oirá un
;
; ZONA DE DATOS *****
        __CONFIG _CP
        LIST    P=16
        INCLUDE <P16

        CBLOCK  0x0C
        ENDC

#DEFINE EntradaRB7
#DEFINE EntradaRB6
#DEFINE Zumbador

; ZONA DE CÓDIGOS ***
        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    Servicio
Inicio
        bsf     STATU
        bsf     Entrada
        bsf     Entrada
        bcf     Zumbad
        bcf     OPTION
        bcf     STATU
        movlw   b'10001
        movwf   INTCO
Principal
        sleep
        goto    Principa
```

17.10 INTERRUPCIÓN RBI

Para activar la interrupción por cambio de nivel en los pines <RB7:RB4> los bits RBIE y GIE del registro INTCON deben de estar a "1", en estas condiciones cuando se produce un cambio de nivel en cualquiera de las líneas RB7 a RB4 se activa el flag RBIF del registro INTCON.

A continuación se desarrolla un programa ejemplo para el circuito de la figura 17-4 en el cual se procede a la lectura de dos pulsadores mediante interrupción RBI. En serie con los pulsadores es necesario conectar una resistencia con la finalidad de que no cortocircuiten las líneas RB6 y RB7 cuando envía datos a la pantalla y a la vez se activan estos pulsadores. La característica más sobresaliente de este circuito es que no consume ninguna nueva línea del microcontrolador, pues utiliza dos líneas (RB6 y RB7) que ya eran utilizada para gobernar el módulo LCD. Esta técnica puede ser aprovechada en muchos proyectos.

```
;************************************ Int_RBI_03.asm ************************************
;
; Por el zumbador se oirá un pitido largo cuando pulse RB7 y uno corto cuando pulse RB6.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        ENDC

#DEFINE  EntradaRB7      PORTB,7
#DEFINE  EntradaRB6      PORTB,6
#DEFINE  Zumbador        PORTB,2

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    ServicioInterrupcion
Inicio
        bsf     STATUS,RP0
        bsf     EntradaRB7
        bsf     EntradaRB6
        bcf     Zumbador
        bcf     OPTION_REG,NOT_RBPU
        bcf     STATUS,RP0
        movlw   b'10001000'
        movwf   INTCON
Principal
        sleep
        goto    Principal
```

```
; Subrutina "ServicioInterrupcion" ----------------------------------------
;
ServicioInterrupcion
        call    Retardo_20ms
        btfss   EntradaRB7              ; ¿Está presionado el pulsador de RB7?
        call    PitidoLargo
        btfss   EntradaRB6              ; ¿Está presionado el pulsador de RB6?
        call    PitidoCorto
EsperaDejePulsar                        ; Espera a que desaparezcan las señales de entrada.
        btfss   EntradaRB7
        goto    EsperaDejePulsar
        btfss   EntradaRB6
        goto    EsperaDejePulsar
        bcf     INTCON,RBIF
        retfie

; Subrutinas "PitidoCorto" y "PitidoLargo" --------------------------------------------
;
PitidoLargo
        bsf     Zumbador
        call    Retardo_200ms
PitidoCorto
        bsf     Zumbador
        call    Retardo_20ms
        bcf     Zumbador
        return

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

Este tipo de interrupciones es especialmente idóneo para el control de un teclado matricial de 4 x 4 pulsadores, como se estudiará en el capítulo 19.

17.11 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores diseñar, ensamblar, simular, grabar el microcontrolador y comprobar los siguientes programas para el esquema de la figura 13-10. El lector puede introducir todas las mejoras que considere conveniente.

INTERRUPCIÓN EXTERNA "INT"

Int_INT_01.asm: Cada vez que presione el pulsador conectado al pin RB0 se incrementará un contador que se visualizará en el módulo LCD. La lectura se realizará mediante la técnica *Polling* consultando constantemente el estado de la entrada.

Int_INT_02.asm: Cada vez que presione el pulsador conectado al pin RB0/INT, se incrementará un contador que se visualizará en el módulo LCD. La lectura del pulsador se hará mediante interrupciones.

Int_INT_03.asm: Cada vez que presione el pulsador conectado al pin RB0/INT se incrementará un contador que se visualiza en el módulo LCD. Si se mantiene pulsado se incrementa cada 200 ms. La lectura del pulsador se hará mediante interrupciones.

Int_INT_04.asm: Cada vez que presione el pulsador conectado a la línea RB0/INT se conmutará el estado dc un LED conectado a la línea RB1. La lectura del pulsador se realizará mediante interrupciones.

Int_INT_05.asm: Mientras se mantenga activado el pulsador conectado al pin RB0/INT el LED conectado a la línca RB1 parpadeará con una cadencia de 500 ms encendido y 200 ms apagado.

Int_INT_06.asm: Cada tres veces que se actúe sobre el pulsador conectado al pin RB0/INT el LED conectado a RB1 conmuta de encendido a apagado y viceversa.

Int_INT_07.asm: Cada vez que presione el pulsador conectado al pin RB0/INT conmutará el estado de un LED conectado a la línea RB1. Al mismo tiempo en el módulo LCD se visualizará un mensaje desplazándose por la pantalla.

Int_INT_08.asm: Cada vez que se oprima el pulsador conectado a la línea RB0/INT se pondrá intermitente, o no, un mensaje publicitario que aparece en la pantalla del módulo LCD. En la línea superior aparecerá "Mensaje FIJO" o "M. INTERMITENTE" y en la inferior un mensaje publicitario fijo o intermitente según corresponda.

INTERRUPCIÓN "RBI" POR CAMBIO EN LAS LÍNEAS <RB7:RB4>

Int_RBI_01.asm: Cada vez que presione el pulsador conectado a la línea RB6 se incrementará un contador visualizado en el módulo LCD.

Int_RBI_02.asm: Cada vez que se actúe sobre el pulsador conectado al pin RB6 se incrementará un minutero, es decir, contará de 0 a 59 y cuando llegue a 59 volverá de nuevo a 0. Mientras se mantenga pulsado se incrementará cada 200 ms, además, se oirá un pitido procedente de un zumbador.

Int_RBI_03.asm: En el zumbador conectado a la línea RB2 se oirá un pitido largo cuando pulse RB7 y uno corto cuando pulse RB6.

Int_RBI_04.asm: Cuando se presiona el pulsador conectado al pin RB7 en el módulo LCD se visualiza "Flanco de SUBIDA", cuando deje de oprimir el pulsador en la pantalla del módulo LCD aparecerá "FLANCO de bajada". Este ejercicio pretende

demostrar que la interrupción RBI por cambio en las líneas RB7:RB4 del Puerto B se produce tanto en el flanco de bajada como en el de subida.

Int_RBI_05.asm: A las líneas RB7 y RB6 se conectan dos pulsadores que producen una interrupción en el PIC cada vez que se pulsan. En el módulo LCD se visualizará el nombre del pulsador activado: "RB7" o "RB6".

© RA-MA

uerto B se

adores que
lo LCD se

Freddy Alejandro

CAPÍTULO 18

INTERRUPCIÓN POR DESBORDAMIENTO DEL TIMER 0

En el tema anterior se estudió el concepto de interrupción y se citaron las 4 posibles fuentes de interrupción del PIC16F84:

- Interrupción INT. Por activación del pin RB0/INT.
- Interrupción RBI. Por cambio de estado en una de las 4 líneas de más peso <RB7:RB4> del Puerto B.
- Interrupción T0I. Por desbordamiento del TMR0.
- Interrupción EEI. Por la finalización de la escritura en la EEPROM de datos.

Este tema trata de la interrupción por desbordamiento del Timer 0 y la ejemplifica con diversas aplicaciones de gran utilidad para incluir en proyectos.

18.1 INTERRUPCIÓN PRODUCIDA POR EL TMR0

Para autorizar la interrupción por desbordamiento del TMR0 los bits T0IE y GIE del registro INTCON deben posicionarse a "1". En estas condiciones cuando el temporizador TMR0 se desborda, al pasar de b'11111111' (FFh) a b'00000000' (00h), activa el flag T0IF del registro INTCON produciendo una interrupción.

En el tema 15 sobre el Timer 0 se estudió la ecuación que permite calcular el tiempo de temporización de TMR0:

$$Temporización = T_{CM} \cdot Prescaler \cdot (256 - Carga\ TMR0)$$

Un ejemplo aplicable a muchos proyectos es el siguiente programa para el esquema de la figura 15-4, donde se explica una forma sencilla de generar ondas cuadradas, produciendo un pitido en el altavoz.

```
;************************************ Int_T0I_01.asm ************************************
;
; Por la línea 3 del puerto B se genera una onda cuadrada de 10 kHz, cada semiperiodo dura
; 50 µs. Los tiempos de temporización se lograrán mediante la interrupción por desbordamiento
; del Timer 0. A la línea de salida se puede conectar un altavoz que producirá un pitido.
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC

TMR0_Carga50us  EQU     -d'50'
#DEFINE         Salida  PORTB,3

; ZONA DE CÓDIGOS ******************************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4                       ; Vector de interrupción.
        goto    Timer0_Interrupcion
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        bcf     Salida                  ; Línea configurada como salida.
        movlw   b'00001000'
        movwf   OPTION_REG              ; Sin prescaler para TMR0 (se asigna al Watchdog).
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
        movlw   TMR0_Carga50us          ; Carga el TMR0.
        movwf   TMR0
        movlw   b'10100000'
        movwf   INTCON                  ; Autoriza interrupción T0I y la general (GIE).
Principal                               ; No puede pasar a modo de bajo consumo
        goto    $                       ; porque detendría el Timer 0.

; Subrutina "Timer0_Interrupcion" ---------------------------------------------
;
; Como el PIC trabaja a una frecuencia de 4 MHz el TMR0 evoluciona cada microsegundo. Para
; conseguir un retardo de 50 µs con un prescaler de 1 el TMR0 tiene que contar 50 impulsos.
; Efectivamente: 1 µs x 50 x 1 = 50 µs.
;
Timer0_Interrupcion
        movlw   TMR0_Carga50us
        movwf   TMR0                    ; Recarga el timer TMR0.
        btfsc   Salida                  ; Testea el anterior estado de la salida.
        goto    EstabaAlto
EstabaBajo
```



```
        bsf
        goto
EstabaAlto
        bcf
FinInterrupcion
        bcf
        retfie

; Comprobando con
; 56 µs para el nivel

        END
```

El proce
suficientemente

18.2 TEM

En caso d
ejecución de las
y habrá que ha
experimentalmer
> *Stopwatch*. Pa
una señal cuadra

```
;**********

; Por la línea 3 del pu
; 50 µs exactos. Los
; Timer 0. A la línea

; El cálculo de la car
; ejecutarse las instru
; de carga del TMR0

; ZONA DE DATOS

        __CONFI
        LIST
        INCLUDE

        CBLOCK
        ENDC

TMR0_Carga50us
#DEFINE Salida

; ZONA DE CÓDIG

        ORG
```

```
        bsf     Salida                  ; Estaba bajo y lo pasa a alto.
        goto    FinInterrupcion
EstabaAlto
        bcf     Salida                  ; Estaba alto y lo pasa a bajo.
FinInterrupcion
        bcf     INTCON,T0IF             ; Repone flag del TMR0.
        retfie

; Comprobando con el simulador del MPLAB se obtienen unos tiempos para la onda cuadrada de
; 56 µs para el nivel alto y de 55 µs para el bajo.

        END
```

El procedimiento aplicado para hallar el tiempo de temporización es suficientemente preciso para la mayoría de las aplicaciones.

18.2 TEMPORIZACIONES EXACTAS

En caso de requerir temporizaciones exactas, hay que tener en cuenta el tiempo de ejecución de las instrucciones y de los saltos. El valor de carga del TMR0 será algo menor y habrá que hacer un ajuste fino con instrucciones *nop*. Esto normalmente se realiza experimentalmente utilizando el simulador del MPLAB y el reloj de la ventana *Debugger > Stopwatch*. Para comprobarlo se va a repetir el programa anterior sobre la generación de una señal cuadrada de 10 kHz, pero en esta ocasión calculada con exactitud.

```
;********************************** Int_T0I_02.asm ***********************************
;
; Por la línea 3 del puerto B se genera una onda cuadrada de 10 kHz. Cada semiperiodo dura
; 50 µs exactos. Los tiempos de temporización se lograrán mediante la interrupción del
; Timer 0. A la línea de salida se puede conectar un altavoz que producirá un pitido.
;
; El cálculo de la carga del TMR0 se realiza teniendo en cuenta los tiempos que tardan en
; ejecutarse las instrucciones y saltos para conseguir tiempos exactos. Para calcular el valor
; de carga del TMR0 se ayuda del simulador del MPLAB y de la ventana de reloj Stopwatch.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        ENDC

TMR0_Carga50us  EQU     -d'43'          ; Obtenido experimentalmente con ayuda del
#DEFINE Salida  PORTB,3                 ; simulador del MPLAB.

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
```

```
        goto    Inicio
        ORG     4                       ; Vector de interrupción.
        goto    Timer0_Interrupcion
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        bcf     Salida                  ; Esta línea se configura como salida.
        movlw   b'00001000'
        movwf   OPTION_REG              ; Sin prescaler para TMR0 (se asigna al Watchdog).
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
        movlw   TMR0_Carga50us          ; Carga el TMR0.
        movwf   TMR0
        movlw   b'10100000'
        movwf   INTCON                  ; Autoriza interrupción T0I y la general (GIE).
Principal                               ; No puede pasar a modo de bajo consumo
        goto    $                       ; porque detendría el Timer 0.

; Subrutina "Timer0_Interrupcion" ----------------------------------------------
;
; Como el PIC trabaja a una frecuencia de 4 MHz el TMR0 evoluciona cada microsegundo. Para
; conseguir un retardo de 50 microsegundos con un prescaler de 1 el TMR0 tiene que contar
; 43 impulsos. Efectivamente: 1 µs x 1 x 43 + tiempo de los saltos y otros = 50 µs.
;
; Las instrucciones "nop" se ponen para ajustar el tiempo a 50 µs exacto y lograr una onda
; cuadrada perfecta. El simulador del MPLAB comprueba unos tiempos para la onda cuadrada de
; 10 kHz exactos de 50 µs para el nivel alto y otros 50 µs para el bajo.

Timer0_Interrupcion
        nop
        movlw   TMR0_Carga50us
        movwf   TMR0                    ; Recarga el TMR0.
        btfsc   Salida                  ; Testea el anterior estado de la salida.
        goto    EstabaAlto
EstabaBajo
        nop
        bsf     Salida                  ; Estaba bajo y lo pasa a alto.
        goto    FinInterrupcion
EstabaAlto
        bcf     Salida                  ; Estaba alto y lo pasa a bajo.
FinInterrupcion
        bcf     INTCON,T0IF             ; Repone flag del TMR0.
        retfie                          ; Retorno de interrupción

        END
```

18.3 TEMPORIZACIONES LARGAS

Con la máxima división de frecuencia posible (Prescaler = 256) la temporización máxima que se puede conseguir para un circuito con cristal de cuarzo de 4 MHz es para una (Carga TMR0 = 0) igual a:

$$Temporización = T_{CM} \cdot Prescaler \cdot (256 - Carga\ TMR0)$$
$$Temporización = 1 \times 256 \times (256 - 0) = 65.536\ \mu s = 65\ ms$$

Para lograr temporizaciones de tiempo mayores hay que utilizar un registro auxiliar de la forma que se explica en el siguiente programa ejemplo que trata de implementar un intermitente para el circuito del esquema 18-1 y que puede utilizarse en muchos proyectos.

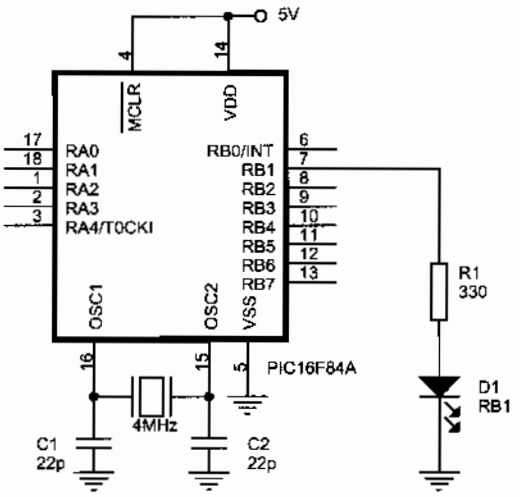


Figura 18-1 Circuito para intermitentes

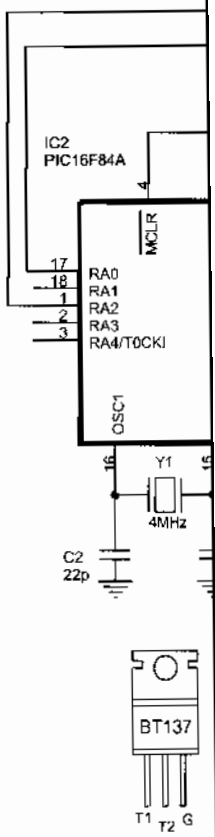
```
;********************************** Int_T0I_04.asm ************************************
;
; Un LED conectado a la línea 1 del puerto de salida se enciende durante 800 ms y apaga
; durante otros 500 ms. Los tiempos de temporización se realizarán mediante la utilización
; de la interrupción por desbordamiento del Timer 0 del PIC.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        Registro50ms                    ; Registro auxiliar para conseguir una
        ENDC                            ; temporización mayor.

Carga500ms      EQU     d'10'
Carga800ms      EQU     d'16'
TMR0_Carga50ms  EQU     -d'195'
#DEFINE         LED     PORTB,1

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4                       ; Vector de interrupción.
        goto    Timer0_Interrupcion
```

```
Inicio
        bsf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 1.
        bcf     LED                 ; Línea del LED configurada como salida.
        movlw   b'00000111'
        movwf   OPTION_REG          ; Prescaler de 256 asignado al TMR0.
        bcf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 0.
        movlw   TMR0_Carga50ms      ; Carga el TMR0.
        movwf   TMR0
        movlw   Carga500ms
        movwf   Registro50ms
        movlw   b'10100000'
        movwf   INTCON              ; Autoriza interrupción del TMR0 (T0IE) y la GIE.
Principal                           ; No puede pasar a modo bajo consumo porque
        goto    $                   ; el Timer 0 se detendría.

; Subrutina "Timer0_Interrupcion" ------------------------------------------
;
; Como el PIC trabaja a una frecuencia de 4 MHz el TMR0 evoluciona cada microsegundo.
; El bucle central se hace en un tiempo de 50 ms. Para ello se utiliza un prescaler
; de 256 y el TMR0 tiene que contar 195. Efectivamente 195 x 256 = 49929 µs = 50 ms.
; Para conseguir una temporización de 500 ms habrá que repetir 10 veces el lazo de 50 ms.
; Para conseguir una temporización de 800 ms habrá que repetir 16 veces el lazo de 50 ms.

Timer0_Interrupcion
        movlw   TMR0_Carga50ms
        movwf   TMR0                ; Recarga el TMR0.
        decfsz  Registro50ms,F      ; Decrementa el contador.
        goto    FinInterrupcion
        btfsc   LED                 ; Testea el último estado del LED.
        goto    EstabaEncendido
EstabaApagado
        bsf     LED                 ; Estaba apagado y lo enciende.
        movlw   Carga800ms          ; Repone el contador nuevamente para que esté
        goto    CargaRegistro50ms   ; 800 ms encendido.
EstabaEncendido
        bcf     LED                 ; Estaba encendido y lo apaga.
        movlw   Carga500ms          ; Repone el contador nuevamente para que esté
CargaRegistro50ms                   ; 500 ms apagado.
        movwf   Registro50ms
FinInterrupcion
        bcf     INTCON,T0IF         ; Repone flag del TMR0.
        retfie                      ; Retorno de interrupción.

        END
```

18.4 TEMPORIZADOR DIGITAL

Mediante una ajustada elección de la carga del Timer 0 se puede lograr una base de tiempo suficientemente precisa para desarrollar proyectos basados en temporizaciones de tiempo real. Un proyecto típico puede ser un reloj digital propuesto en los ejercicios finales de este capítulo. Otro proyecto típico es un temporizador de precisión como el de

la figura 18-2 dor
carga con los 230



Fig

El funciona
del programa de
insertados, figuras

```
;*****************
;
; Programa de control
; de temporización se
;   -   En estado de
;       tiempo dese
;   -   Si se pulsa "
;   -   Cuando acal
;   -   Si pulsa "AJ
;       de paro: inte
```

la figura 18-2 donde a su salida hay conectado un módulo de potencia para alimentar una carga con los 230 V de la red eléctrica, analizado en el capítulo 2.

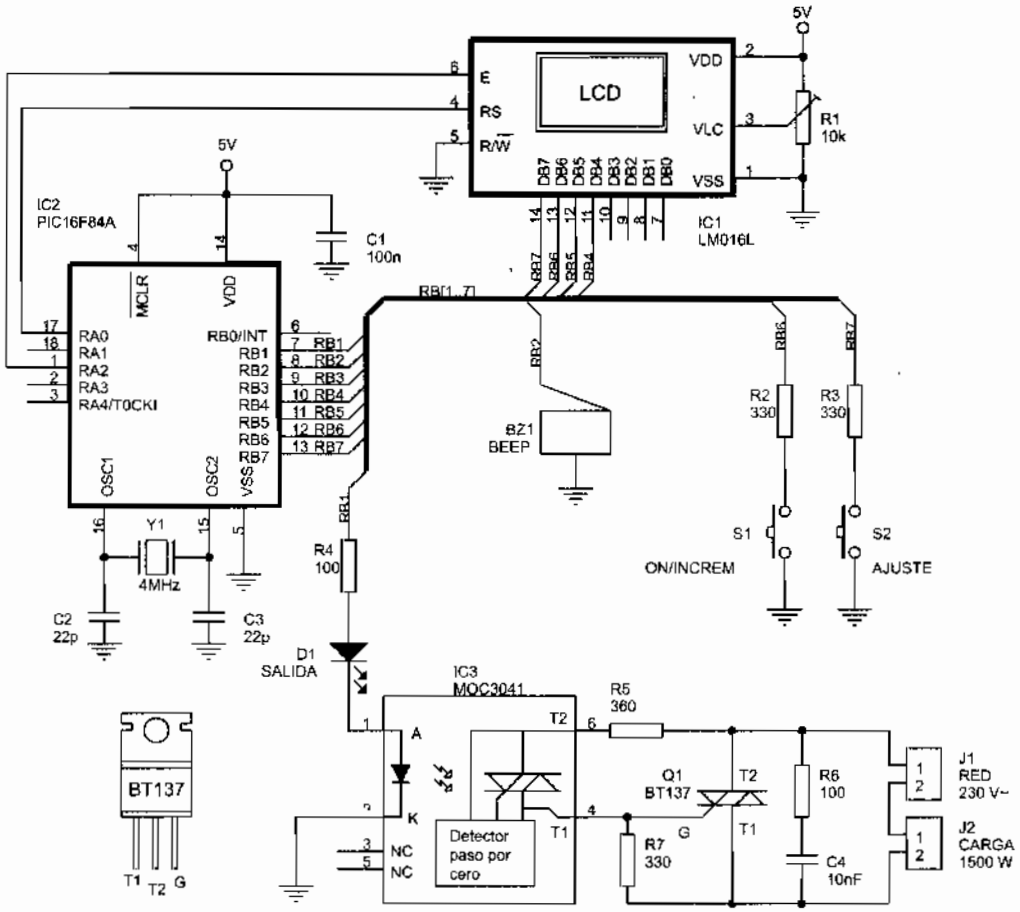


Figura 18-2 Esquema del temporizador digital de precisión

El funcionamiento de este temporizador de precisión se detalla en los comentarios del programa de control expuesto a continuación y en los diagramas descriptivos insertados, figuras 18-3 a 18-6.

```
;********************************** INT_Temporizador.asm ********************************
;
; Programa de control para un temporizador digital de precisión. La programación del tiempo
; de temporización se realiza mediante dos pulsadores: "AJUSTE" y "ON/INCREM". Funcionamiento:
;   -   En estado de reposo la salida del temporizador está apagada y el pantalla aparece el
;       tiempo deseado para la próxima temporización.
;   -   Si se pulsa "ON/INCREM" comienza la temporización.
;   -   Cuando acaba la temporización pasa otra vez a reposo.
;   -   Si pulsa "AJUSTE" antes que haya acabado el tiempo de temporización actúa como pulsador
;       de paro: interrumpe la temporización, apaga la carga y pasa al estado de reposo.
```

```
;
; Para ajustar la temporización al tiempo deseado.
;   -       Pulsa "AJUSTE" y ajusta el tiempo deseado mediante el pulsador "ON/INCREM".
;   -       Se vuelve a pulsar "AJUSTE" y pasa a modo de reposo.
;
; Al apagar el sistema debe conservar el tiempo de temporización deseado para la próxima vez
; que se encienda.
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        TiempoDeseado                       ; El tiempo deseado de temporización.
        Tiempo                              ; Tiempo que resta de temporización.
        FlagsModos                          ; Guarda los flags con los diferentes
        ENDC                                ; modos de funcionamiento.

        ORG     0x2100                      ; Corresponde a la dirección 0 de la zona
                                            ; EEPROM de datos. Aquí se va a guardar el
        DE      0x00                        ; tiempo de temporización deseado.

#DEFINE F_Temporizador_ON       FlagsModos,2
#DEFINE F_Temporizador_Ajuste   FlagsModos,1
#DEFINE F_Temporizador_OFF      FlagsModos,0

#DEFINE SalidaTemporizador      PORTB,1     ; Salida donde se conecta la carga.
#DEFINE Zumbador                PORTB,2     ; Salida donde se conecta el zumbador.
#DEFINE AjustePulsador          PORTB,7     ; Los pulsadores están conectados a estas
#DEFINE IncrementarPulsador     PORTB,6     ; líneas del Puerto B.

; ZONA DE CÓDIGOS ******************************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    ServicioInterrupcion

Mensajes
        addwf   PCL,F
Mensaje_ON
        DT "  En MARCHA", 0x00
Mensaje_Ajuste
        DT "Tiempo  deseado:", 0x00
Mensaje_OFF
        DT "    PARADO", 0x00

; Instrucciones de inicialización. ------------------------------------------
;
Inicio  call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0
```



```
        movlw   b'0000011
        movwf   OPTION_
        bsf     AjustePuls
        bsf     Incrementa
        bcf     SalidaTem
        bcf     Zumbador
        bcf     STATUS,I
        clrw
        call    EEPROM_
        movwf   TiempoDe
        call    ModoTem
        movlw   b'10001000
        movwf   INTCON
Principal
        goto    Principal
```

Figura 18-

```
; Subrutina "ServicioInterrupcion
;
; Detecta qué ha producido la int

ServicioInterrupcion
        btfsc   INTCON,T
        call    Temporizad
        btfss   INTCON,R
        goto    FinInterrupc
        btfss   AjustePulsa
```

```
        movlw   b'00000111'             ; Prescaler de 256 asignado al TMR0 habilita
        movwf   OPTION_REG              ; resistencias de Pull-Up del Puerto B.
        bsf     AjustePulsador          ; Configurados como entradas.
        bsf     IncrementarPulsador
        bcf     SalidaTemporizador      ; Configurados como salidas.
        bcf     Zumbador
        bcf     STATUS,RP0
        clrw                            ; Lee la posición 0x00 de memoria EEPROM de datos
        call    EEPROM_LeeDato          ; donde se guarda el tiempo deseado de la última vez
        movwf   TiempoDeseado           ; que se ajustó.
        call    ModoTemporizador_OFF    ; Modo de funcionamiento inicial.
        movlw   b'10001000'             ; Activa interrupciones RBI.
        movwf   INTCON
Principal
        goto    Principal
```

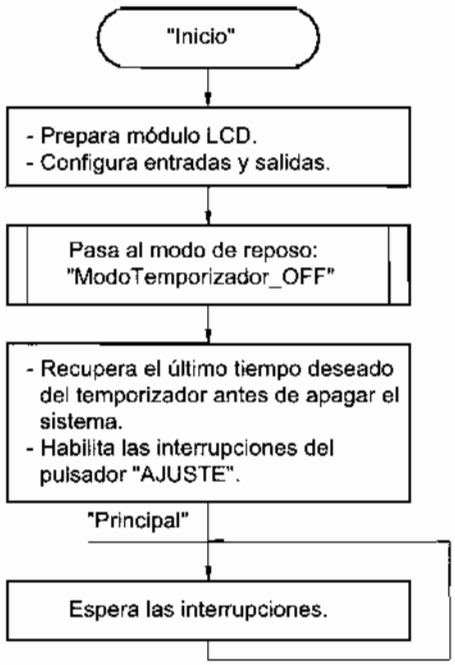


Figura 18-3 Diagrama de flujo principal del temporizador

```
; Subrutina "ServicioInterrupcion" ----------------------------------------
;
; Detecta qué ha producido la interrupción y ejecuta la subrutina de atención correspondiente.

ServicioInterrupcion
        btfsc   INTCON,T0IF
        call    Temporizador
        btfss   INTCON,RBIF             ; Si es una interrupción RBI lee los pulsadores.
        goto    FinInterrupcion
        btfss   AjustePulsador          ; ¿Está presionado el pulsador de "AJUSTE"?
```

```
        call    CambiarModo             ; Sí, pues salta a la subrutina correspondiente.
        btfsc   IncrementarPulsador     ; ¿Pulsado "ON/INCREM"?
        goto    FinInterrupcion         ; No, pues salta al final y sale.
;
        call    Retardo_20ms            ; Espera que se estabilice el nivel de tensión.
        btfsc   IncrementarPulsador; Si es un rebote del pulsador "ON/INCREM" sale fuera.
        goto    FinInterrupcion
        btfsc   F_Temporizador_OFF      ; ¿Estaba en reposo cuando pulsó "ON/INCREM"?
        call    ModoTemporizador_ON     ; Sí, pues comienza la temporización.
        btfsc   F_Temporizador_Ajuste   ; ¿Estaba ajustando tiempo?
        call    IncrementarTiempoDeseado ; Sí, pues pasa a incrementar el tiempo deseado.
FinInterrupcion
        bcf     INTCON,RBIF             ; Limpia los flags de reconocimiento.
        bcf     INTCON,T0IF
        retfie
```

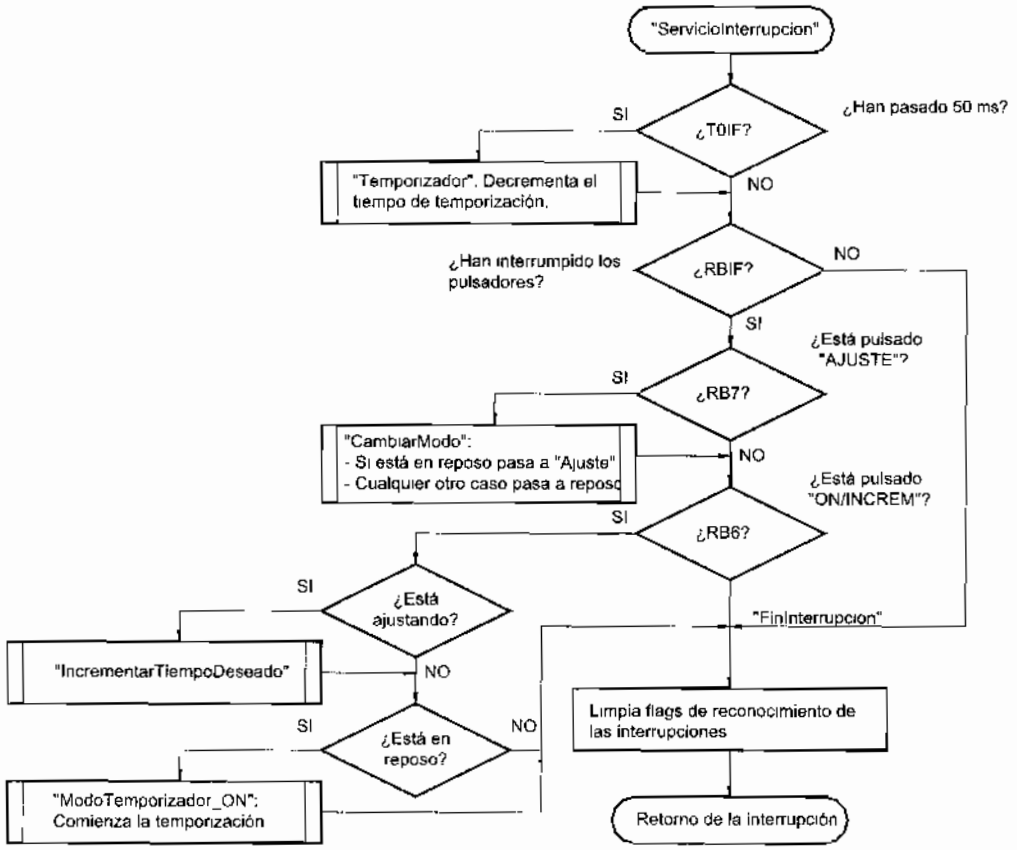


Figura 18-4 Diagrama de flujo de la subrutina de atención a las interrupciones

```
; Subrutinas "CambiarModo" y todas las de MODO de funcionamiento ----------
;
; Subrutina de atención a la interrupción producida al presionar el pulsador "AJUSTE" que cambia
; el modo de funcionamiento.
```

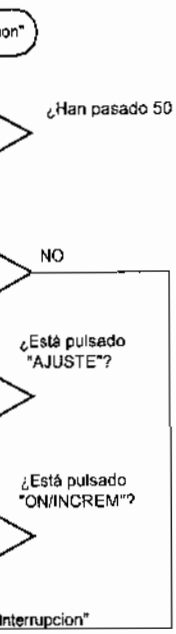
spondiente.

de tensión.
" sale fuera.

"ON/INCREM"?
ón.

mpo deseado.

nto.



miento de

rupción

s interrupciones

." que cambia


```
; Hay identificados tres modos de funcionamiento que se diferencian mediante los tres flags:
;  A)    Modo "Temporizador_OFF" o estado inicial. A él se pasa en el estado inicial cada vez
;        que termina una temporización o cuando se aborta la temporización sin esperar a que
;        finalice. Reconocido por el flag F_Temporizador_OFF, bit 0 del registro FlagsModos.
;        una temporización  o cada vez que se aborta la temporización sin esperar a que finalice.
;  B)    Modo "Temporizador_Ajuste", donde se ajusta la temporización deseada cuando funcione
;        como temporizador. Reconocido por el flag F_Temporizador_Ajuste, bit 1 del FlagsModos.
;  C)    Modo "Temporizador_ON", la salida está activada mientras dure la temporización.
;        Reconocido por el flag F_Temporización_ON, que es el bit 2 del registro FlagsModos.
;
; El programa consigue que esté activado uno sólo de los flags anteriores.

; El contenido del registro (FlagsModos) diferencia los siguientes modos de funcionamiento:
; - (FlagsModos)=b'00000001'. Está en el modo "Temporizador_OFF", en reposo.
; - (FlagsModos)=b'00000010'. Está en el modo "Temporizador_Ajuste", ajustando tiempo deseado.
; - (FlagsModos)=b'00000100'. Está en el modo "Temporizador_ON", activa la carga y temporizador.
;
; Al pulsar "AJUSTE" pueden darse tres casos:
; - Si estaba en modo "Temporizador_OFF", pasa a modo "Temporizador_Ajuste".
; - Si estaba en modo "Temporizador_Ajuste", pasa a modo "Temporizador_OFF", pero antes salva
;  el tiempo de temporización deseado en la EEPROM de datos.
; - Si estaba en modo "Temporizador_ON", pasa a modo "Temporizador_OFF". (Interrumpe la
;  temporización).

CambiarModo
        call    PitidoCorto             ; Cada vez que pulsa origina un pitido.
        btfsc   AjustePulsador          ; Si es un rebote sale fuera.
        goto    EsperaDejePulsar
        btfsc   F_Temporizador_OFF      ; ¿Está en reposo?
        goto    ModoTemporizador_Ajuste ; Sí, pues pasa a ajustar la temporización.
        btfss   F_Temporizador_Ajuste   ; ¿Está ajustando?
        goto    ModoTemporizador_OFF    ; No, pues pasa a reposo.
                                        ; Sí, pues antes de pasar a reposo salva en la
        clrw                            ; posición 00h de memoria EEPROM de datos el tiempo
        movwf   EEADR                   ; de temporización deseado. Se conserva aunque se
        movf    TiempoDeseado,W         ; apague la alimentación.
        call    EEPROM_EscribeDato
ModoTemporizador_OFF
        bcf     SalidaTemporizador      ; Apaga la carga y resetea tiempo deseado.
        call    Pitido
        movlw   b'00000001'             ; Actualiza el registro FlagsModos pasando al
        movwf   FlagsModos              ; modo inicial "Temporizador_OFF".
        bcf     INTCON,T0IE             ; Prohíbe las interrupciones del TMR0.
        movf    TiempoDeseado,W         ; Repone otra vez el tiempo que se desea para la
        movwf   Tiempo                  ; próxima temporización.
        call    LCD_Borra               ; Borra la pantalla.
        movlw   Mensaje_OFF             ; En pantalla el mensaje correspondiente.
        goto    FinCambiarModo

ModoTemporizador_Ajuste
        bcf     SalidaTemporizador      ; Apaga la carga
        movlw   b'00000010'             ; Actualiza el registro FlagsModos pasando al
```

```
        movwf   FlagsModos              ; modo "Temporizador_Ajuste".
        clrf    Tiempo                  ; Resetea el tiempo.
        clrf    TiempoDeseado
        bcf     INTCON,T0IE             ; Prohíbe las interrupciones del TMR0.
        call    LCD_Borra
        movlw   Mensaje_Ajuste          ; En pantalla el mensaje correspondiente.
        goto    FinCambiarModo
```

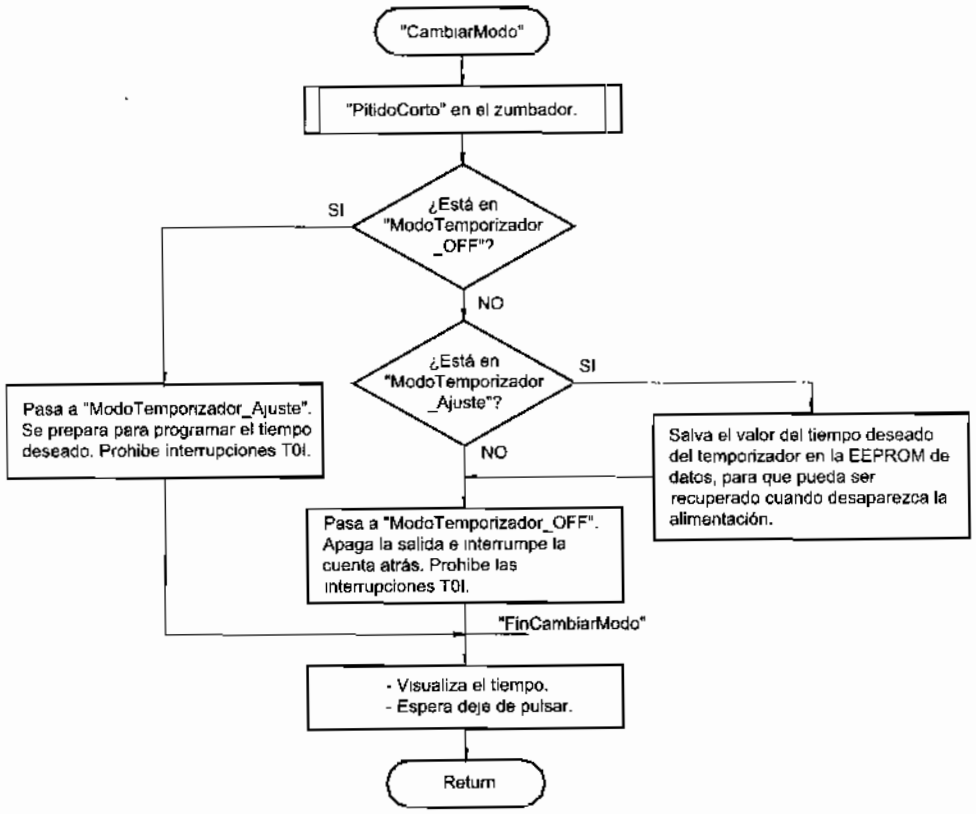


Figura 18-5 Diagrama de flujos de la subrutina CambiarModo

```
ModoTemporizador_ON
        movf    TiempoDeseado,W         ; Si el tiempo deseado es cero pasa a modo
        btfsc   STATUS,Z                ; de trabajo "Temporizador_OFF".
        goto    ModoTemporizador_OFF
        movwf   Tiempo
        call    PitidoCorto
        movlw   b'00000100'             ; Actualiza el registro FlagsModos pasando al
        movwf   FlagsModos              ; modo "Temporizador_ON".
        movlw   TMR0_Carga50ms          ; Carga el TMR0.
        movwf   TMR0
        movlw   Carga_1s                ; Y el registro cuyo decremento contará los
        movwf   Registro50ms            ; segundos.
        bsf     INTCON,T0IE             ; Autoriza las interrupciones de TMR0.
```

```
        call    LCD_Borra
        bsf     SalidaTemporizador      ; Enciende la carga.
        movlw   Mensaje_ON              ; En pantalla el mensaje correspondiente.
FinCambiarModo
        call    LCD_Mensaje
        call    VisualizaTiempo
EsperaDejePulsar
        btfss   AjustePulsador          ; Espera deje de pulsar.
        goto    EsperaDejePulsar
        return

; Subrutina "Temporizador" ----------------------------------------------------
;
; Esta subrutina va decrementando el tiempo de temporización y visualizándolo en la pantalla.
; Se ejecuta debido a la petición de interrupción del Timer 0 cada 50 ms exactos, comprobado
; experimentalmente con la ventana Stopwatch del simulador del MPLAB.

        CBLOCK
        Registro50ms                    ; Guarda los incrementos cada 50 ms.
        ENDC
TMR0_Carga50ms  EQU     -d'195'         ; Para conseguir la interrupción cada 50 ms.
Carga_1s EQU    d'20'                   ; Leerá cada segundo (20 x 50ms = 1000 ms).

Temporizador
        call    Retardo_50micros        ; Ajuste fino de 71 microsegundos para
        call    Retardo_20micros        ; ajustar a 50 milisegundos exactos.
        nop
        movlw   TMR0_Carga50ms          ; Carga el Timer0.
        movwf   TMR0
        decfsz  Registro50ms,F          ; Decrementa el contador.
        goto    FinTemporizador         ; No ha pasado 1 segundo y por tanto sale.
        movlw   Carga_1s                ; Repone el contador nuevamente.
        movwf   Registro50ms
        btfss   F_Temporizador_ON       ; Si no está en modo "Temporizador_ON" sale
        goto    FinTemporizador         ; fuera.
        decfsz  Tiempo,F
        goto    VisualizaContador       ; Visualiza el tiempo restante.
        bcf     SalidaTemporizador      ; Apaga la salida
        call    VisualizaTiempo         ; Visualiza cero segundos en la pantalla.
        call    Pitido                  ; Tres pitidos indican final de la temporización.
        call    Retardo_500ms
        call    Pitido
        call    Retardo_500ms
        call    PitidoLargo
        call    Retardo_500ms
        call    ModoTemporizador_OFF    ; Acabó la temporización.
        goto    FinTemporizador
VisualizaContador
        call    VisualizaTiempo
FinTemporizador
        return

; Subrutina "VisualizaTiempo" -------------------------------------------------
```

```
;
; Visualiza el registro Tiempo en formato "Minutos:Segundos". Así por ejemplo, si
; (Tiempo)=124 segundos, en la segunda línea de la pantalla visualiza " 2:04", ya que 124
; segundos es igual a 2 minutos más 4 segundos.
;
VisualizaTiempo
        movlw   .5                      ; Para centrar visualización en la
        call    LCD_PosicionLinea2      ; segunda línea.
        movf    Tiempo,W                ; Convierte el tiempo deseado (y expresado sólo en
        call    MinutosSegundos         ; segundos) a minutos y segundos.
        movf    TemporizadorMinutos,W   ; Visualiza los minutos.
        call    BIN_a_BCD               ; Lo pasa a BCD.
        call    LCD_Byte
        movlw   ':'                     ; Visualiza dos puntos.
        call    LCD_Caracter
        movf    TemporizadorSegundos,W  ; Visualiza los segundos.
        call    BIN_a_BCD               ; Lo pasa a BCD.
        goto    LCD_ByteCompleto
        return
```

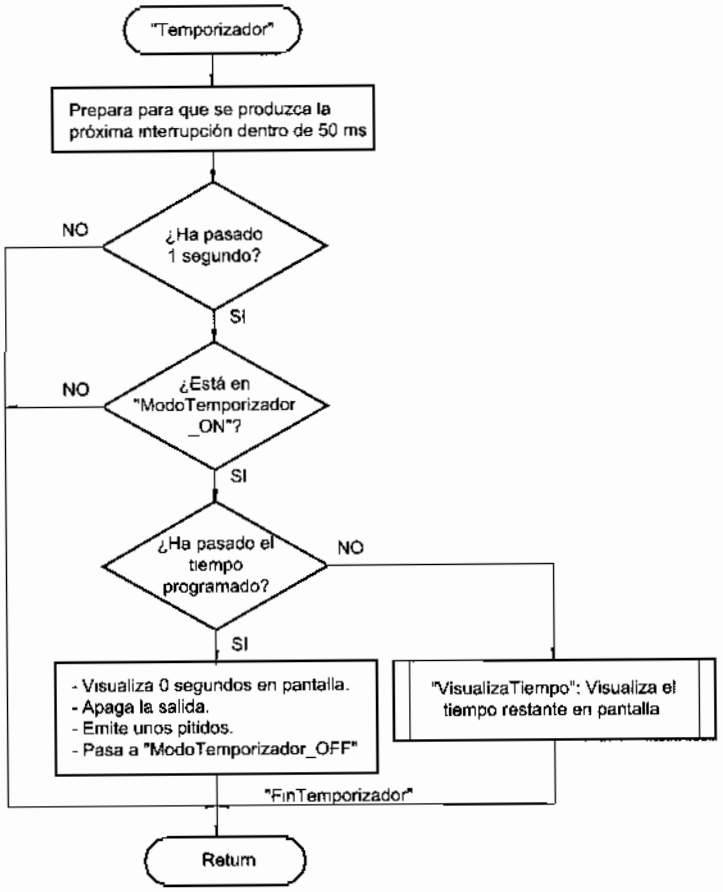


Figura 18-6 Diagrama de flujos de la subrutina Temporizador

```
; Subrutina "MinutosSegundos" ----------------------------------------------------
;
; Una cantidad expresada exclusivamente en segundos y contenida en el registro W es
; convertida a minutos y segundos. El resultado se guarda en dos posiciones de memoria
; llamadas TemporizadorMinutos y TemporizadorSegundos.
;
; El máximo número a convertir será el 255 que es el máximo valor que puede adquirir el
; número binario de entrada de 8 bits. (255 segundos = 4 minutos + 15 segundos)
;
; El procedimiento utilizado es mediante restas de 60 tal como se explica en el siguiente
; ejemplo que trata de la conversión del 124 segundos a minutos y segundos.
; 124 segundos = 2 minutos + 4 segundos.
;
; Minutos        Segundos  ¿(Segundos)<60?
; -------        --------  ------------------------------------------
;   0              124     NO. Resta 60 a (Segundos) e incrementa (Minutos).
;   1               64     NO. Resta 60 e (Segundos) e incrementa (Minutos).
;   2                4     Sí, se acabó.
;
; Entrada: En el registro W el número de segundos a convertir.
; Salidas:  En (TemporizadorMinutos) y (TemporizadorSegundos) el resultado.

        CBLOCK
        TemporizadorMinutos
        TemporizadorSegundos
        ENDC
;
MinutosSegundos
        movwf   TemporizadorSegundos    ; Carga el número de segundos a convertir.
        clrf    TemporizadorMinutos     ; Carga los registros con el resultado inicial.
Resta60 movlw   .60                     ; Resta 60 en cada pasada.
        subwf   TemporizadorSegundos,W  ; (W)=(TemporizadorSegundos)-60.
        btfss   STATUS,C                ; ¿(W) positivo?, ¿(TemporizadorSegundos)>=60?.
        goto    FinMinutosSegundos      ; No, es menor de 60. Acabó.
        movwf   TemporizadorSegundos    ; Sí, por tanto, recupera lo que queda por restar.
        incf    TemporizadorMinutos,F   ; Incrementa los minutos.
        goto    Resta60                 ; Y vuelve a dar otra pasada.
FinMinutosSegundos
        return

; Subrutina "IncrementarTiempoDeseado" -------------------------------------------
;
; Subrutina de atención a la interrupción por cambio de la línea RB6 a la cual se ha
; conectado el pulsador "INCREMENTAR".
; Estando en el modo "Temporizador_Ajustar" incrementa el valor del tiempo deseado
; expresado en segundos en intervalos de 5 segundos y hasta un máximo de 255 segundos.
;
SaltoIncremento EQU     .5

IncrementarTiempoDeseado
        call    PitidoCorto             ; Cada vez que pulsa se oye un pitido.
        movlw   SaltoIncremento         ; Incrementa el tiempo deseado de temporización
        addwf   Tiempo,F                ; saltos de "SaltoIncremento" segundos.
```

```
        btfsc   STATUS,C                ; Si pasa del valor máximo lo inicializa.
        clrf    Tiempo
        call    VisualizaTiempo         ; Visualiza mientras espera que deje de pulsar.
        call    Retardo_100ms
        btfss   IncrementarPulsador; Mientras permanezca pulsado,
        goto    IncrementarTiempoDeseado ; incrementa el dígito.
        movf    Tiempo,W                ; Actualiza el tiempo deseado.
        movwf   TiempoDeseado           ; Este es el tiempo deseado.
        return

; Subrutinas "PitidoLargo", "Pitido" y "PitidoCorto" ----------------------------
;
PitidoLargo
        bsf     Zumbador
        call    Retardo_500ms
Pitido  bsf     Zumbador
        call    Retardo_200ms
PitidoCorto
        bsf     Zumbador
        call    Retardo_20ms
        bcf     Zumbador
        return
;
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        INCLUDE <EEPROM.INC>
        END
```

18.5 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores, diseñar, ensamblar, simular, grabar el microcontrolador y comprobar los siguientes programas para el esquema de la figura 13-10.

INTERRUPCIÓN POR DESBORDAMIENTO DEL TMR0

Int_T0I_01.asm: Por la línea 3 del puerto B se genera una onda cuadrada de 10 kHz, es decir, cada semiperiodo durará 50 µs. Los tiempos de temporización se realizarán mediante la utilización de la interrupción por desbordamiento del Timer 0 del PIC y el cálculo se hará de modo aproximado.

Int_T0I_02.asm: Repetir el ejercicio anterior para un valor exacto de tiempo.

Int_T0I_03.asm: Un LED conectado a la línea 1 del puerto de salida se enciende durante 500 ms y apaga durante otros 500 ms.

Int_T0I_04.asm: Un LED conectado a la línea 1 del puerto de salida se enciende durante 800 ms y apaga durante 500 ms

Int_T0I_05.asm: En el módulo LCD se visualiza constantemente un mensaje largo que se desplaza por la pantalla. Al mismo tiempo el diodo LED conectado a la línea RB1 se enciende durante 500 ms y apaga durante otros 500 ms a modo de segundero.

Int_T0I_06.asm: En la línea superior del visualizador LCD aparece un mensaje fijo. En la línea inferior aparece un mensaje intermitente que se enciende durante 500 ms segundos y apaga durante 300 ms.

GENERACIÓN DE ONDAS CUADRADAS

Int_Cuadrada_01.asm: Por la línea 3 del puerto B se genera una onda cuadrada. El valor de la onda cuadrada cambia mediante activación del pulsador conectado al pin 7 del Puerto B como indica la tabla 18-1.

PULSACIÓN	FRECUENCIA	SEMIPERIODO
(Inicial)	10 kHz	50 µs. = 1 x 50 µs
Primera	5 kHz	100 µs. = 2 x 50 µs
Segunda	2 kHz	250 µs. = 5 x 50 µs
Tercera	1 kHz	500 µs. = 10 x 50 µs
Cuarta	500 Hz	1000 µs. = 20 x 50 µs
Quinta	200 Hz	2500 µs. = 50 x 50 µs
Sexta	100 Hz	5000 µs. = 100 x 50 µs
Séptima	50 Hz	10000 µs. = 200 x 50 µs

Tabla 18-1 Funcionamiento del programa Int_Cuadrada_01.asm

Al conectarlo a la alimentación genera una frecuencia de 10 kHz. Al presionar el pulsador por primera vez cambia a 5 kHz, al actuar una segunda vez 2 kHz y así sucesivamente. El módulo LCD visualiza la frecuencia generada.

Int_Cuadrada_02.asm: En un altavoz se producirá el sonido de una sirena que será fijado como desee el diseñador. En la posible solución se ha decidido que la frecuencia inicial sea de 300 Hz, subiendo hasta 4 kHz y volviendo a bajar de nuevo a su valor inicial y así continuamente.

Int_Cuadrada_03.asm: Al presionar el pulsador conectado a la línea RB7, produce la activación de una sirena y en el módulo LCD aparece un mensaje del tipo "Sirena ACTIVADA". Para apagar la sirena hay que actuar sobre el pulsador conectado a la línea RB6 y en el visualizador LCD aparece un mensaje del tipo "Sirena APAGADA".

Int_Cuadrada_04.asm: Ejemplo de control del ciclo de trabajo de una onda cuadrada. Por la línea 3 del Puerto B se genera una onda cuadrada de frecuencia constante a 100 Hz y ciclo de trabajo variable desde 0% a 100%, es decir, el tiempo en alto varía entre 0 µs (0%) y 10000 µs (100%). El valor del ciclo de trabajo cambia mediante activación del pulsador conectado al pin 7 del Puerto B: al conectarlo por primera vez se genera un ciclo de trabajo del 0%, al presionar el pulsador cambia al 10%, al presionar una segunda vez al 20% y así sucesivamente hasta la décima pulsación que alcanzará el 100% para volver a repetir el ciclo. El módulo LCD visualiza el ciclo de trabajo vigente.

RELOJ DIGITAL Y TEMPORIZADOR DE PRECISIÓN

Int_Reloj_01.asm: Programa para un reloj digital en tiempo real sin puesta en hora. Se visualiza en un formato: " 8:47:39. Las temporizaciones necesarias del reloj se logran mediante el Timer 0, que produce una interrupción cada 50 ms.

Int_Reloj_02.asm: Programa para un reloj digital en cuanto al ajuste manual de las horas, es decir, sólo se van a ajustar las horas, el resto del reloj digital no funciona. Esto se realiza mediante el pulsador "INCREMENTAR" conectado al pin RB6 mediante una resistencia de 330 Ω. El reloj se visualiza en un formato: " 8:00:00" (segunda línea), donde los minutos y segundos siempre valdrán cero y el dígito de las horas se mantiene intermitente. Cada vez que se pulse INCREMENTAR, el dígito de las horas se incrementará. Las temporizaciones necesarias del reloj se logran mediante el Timer 0, que produce una interrupción cada 50 milisegundos. Con esto se logra el tiempo base necesario para obtener los 500 ms de la intermitencia.

Int_Reloj_03.asm: Programa para un reloj digital en cuanto al ajuste manual de las horas y minutos, más concretamente en cuanto al cambio entre ajuste de horas y minutos. Esto se realiza mediante el pulsador "MODO" conectado a la línea RB7 a través de una resistencia de 330 Ω. El reloj se visualiza en formato: " 0:00:00", donde las horas, minutos y segundos siempre valen cero. Se mantiene intermitente el dígito seleccionado por el pulsador "MODO" de la siguiente forma:

1º Pulsa "MODO", las "Horas" se ponen intermitente.
2º Pulsa "MODO", pasa a ajustar los "Minutos" de forma similar.
3º Pulsa "MODO", acaba la puesta en hora, pasando a visualización normal, (por ahora todo a cero).

Int_Reloj_04.asm: Programa para un reloj digital completo con puesta en hora resuelto a partir de los tres ejercicios anteriores. En el capítulo 24 se explica otro reloj en tiempo real cuyos diagramas de flujo descriptivos se pueden aplicar aquí.

Int_Reloj_05.asm: Visualiza el tiempo que mantiene presionado un pulsador.

Int_Temporizador.asm: Programa de control para el temporizador digital de precisión de la figura 18-2.

CAPÍTULO 19

TECLADO MATRICIAL

Los sistemas con microcontroladores tienen como finalidad el proceso de datos. Éstos se obtienen de formas muy variadas, puede ser de manera automática por medio de sensores que midan parámetros físicos o de manera manual, en cuyo caso tienen que ser suministrados por los usuarios. Para este último caso se pueden usar pulsadores cuando la información es muy simple, tal como se ha hecho hasta ahora, o mediante teclados de mayor o menor complejidad.

En este capítulo estudiaremos los teclados matriciales, que sin duda son los más utilizados en la realización de proyectos con microcontroladores (figura 19-1), y se desarrollarán interesantes aplicaciones con ellos.

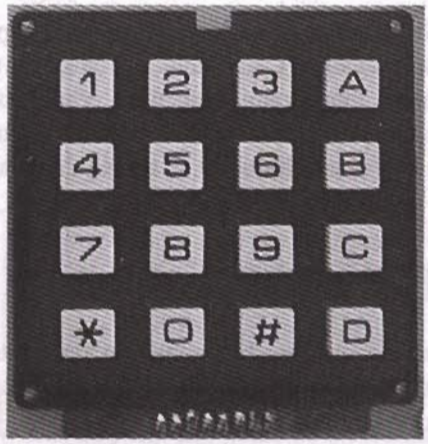


Figura 19-1 Teclado matricial

19.1 TECLADO HEXADECIMAL

Un **teclado matricial** está constituido por una matriz de pulsadores dispuestos en filas y columnas, figuras 19-2 y 19-3. Su intención es reducir el número de líneas necesarias para su conexionado.

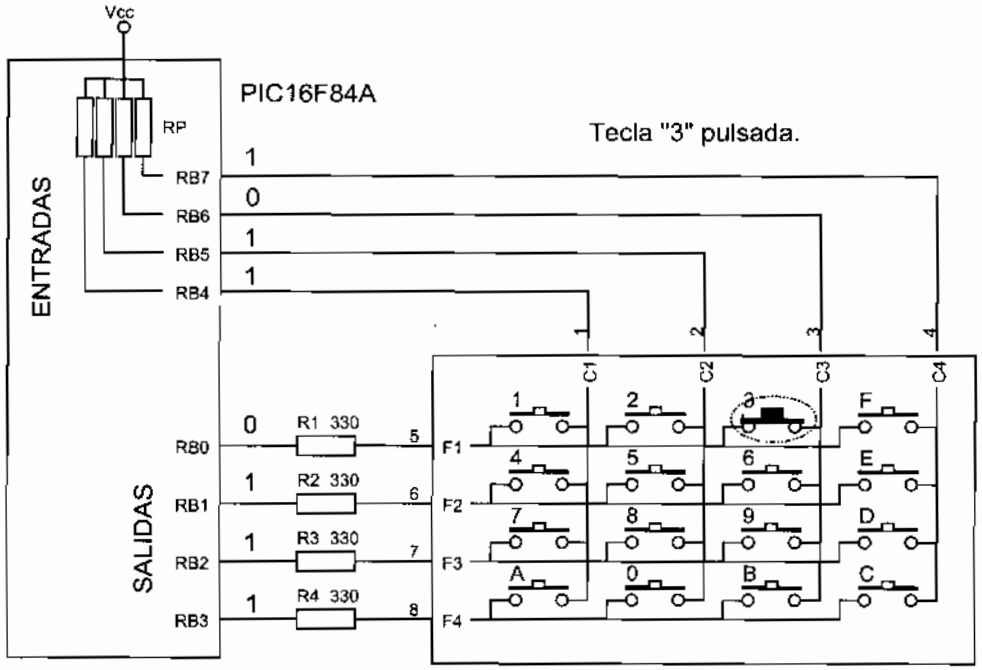


Figura 19-2 Conexión de un teclado matricial a un microcontrolador

La figura 19-3 muestra la constitución interna y el aspecto físico de un teclado matricial hexadecimal o de 16 teclas. Cada tecla se conecta a una fila y a una columna. Las 16 teclas necesitan sólo 8 líneas para conectarse con el exterior, en lugar de las 16 líneas que hubieran necesitado las teclas independientes. Cuando una tecla es pulsada, queda en contacto una fila con una columna y, si no hay tecla alguna presionada, las filas están desconectadas de las columnas.

19.2 CONEXIÓN DE UN TECLADO A UN PIC16F84

La figura 19-4 describe una posible conexión de un teclado hexadecimal a un sistema con microcontrolador PIC16F84A. En la figura 19-2 se destacan los aspectos principales de su conexión:

- Las filas del teclado se conectan a las líneas de la parte baja del Puerto B configuradas como salida.

- Las columnas del teclado se conectan a las líneas de la parte alta del Puerto B del PIC16F84A configuradas como entradas.

Para detectar si hay alguna tecla pulsada se aplica a las filas un nivel bajo y tres altos (figura 19-2). Si se presiona alguna tecla en la fila por la que se aplica el nivel bajo, ese nivel bajo aparecerá en la columna correspondiente con la que ha hecho el contacto. En el ejemplo de la figura se pulsa la tecla "3" cuando el microcontrolador explora la fila F1, este cero aparece en la columna C3, y es leído por la línea RB6.

Si en una fila no hay pulsada tecla alguna, las entradas se encuentran en estado flotante, razón por la que son necesarias resistencias de Pull-Up. Por ello en la configuración del PIC16F84A es necesario activar las resistencias internas de Pull-Up para el Puerto B.

Leyendo los niveles de los terminales de las columnas conectados a las líneas RB4 a RB7 se podrá deducir si hay alguna tecla pulsada en la fila donde está aplicado el nivel bajo. Si no hay pulsada tecla alguna, en todas las columnas se lee un nivel alto. Escribiendo secuencialmente el nivel bajo por cada una de las líneas RB0 a RB3 conectadas a las filas y leyendo los niveles en las columnas, se podrá determinar la tecla pulsada en su caso.

Las resistencias de 330 Ω en serie con las filas tienen como misión evitar cortocircuitos entre las líneas de la parte baja y alta del Puerto B cuando el microcontrolador utilice estas líneas para funciones distintas de la exploración del teclado.

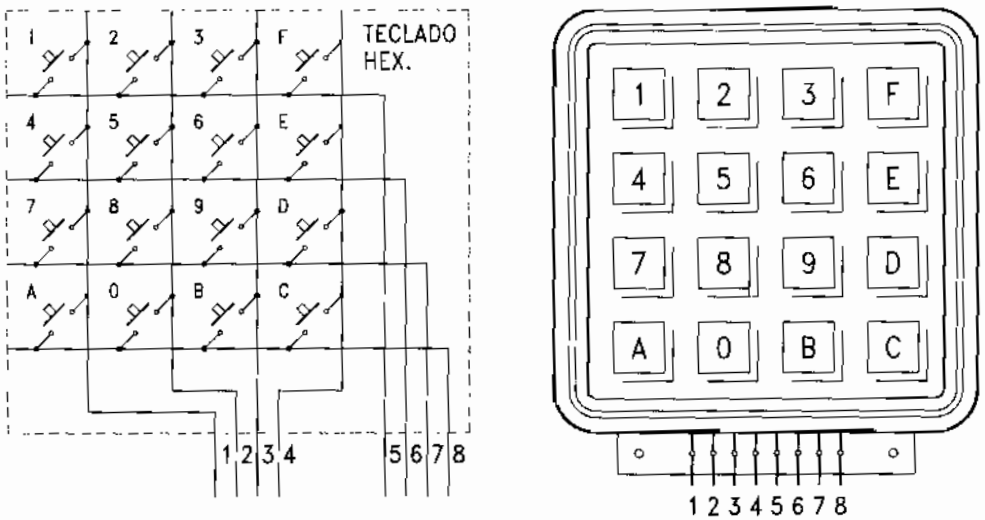


Figura 19-3 Constitución interna y aspecto físico de un teclado matricial hexadecimal

19.3 ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN

La técnica de programación usada para explorar este teclado está esquematizada en el diagrama de flujo de la subrutina Teclado_LeeOrdenTecla que lee el orden de la tecla pulsada (figura 19-6). Se entiende como "orden" el número que le corresponde a cada tecla leyéndola de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, independientemente de la serigrafía dibujada sobre ella, figura 19-5(A).

La exploración del teclado debe deducir el "orden" de la tecla pulsada sin importar lo serigrafiado sobre ésta. Cada tecla tiene asignado el número de orden indicado en la figura y que se va contabilizando en la variable Tecl_TeclaOrden. El programa utiliza una tabla de conversión para convertir el orden de la tecla a su valor real para cada tipo de teclado.

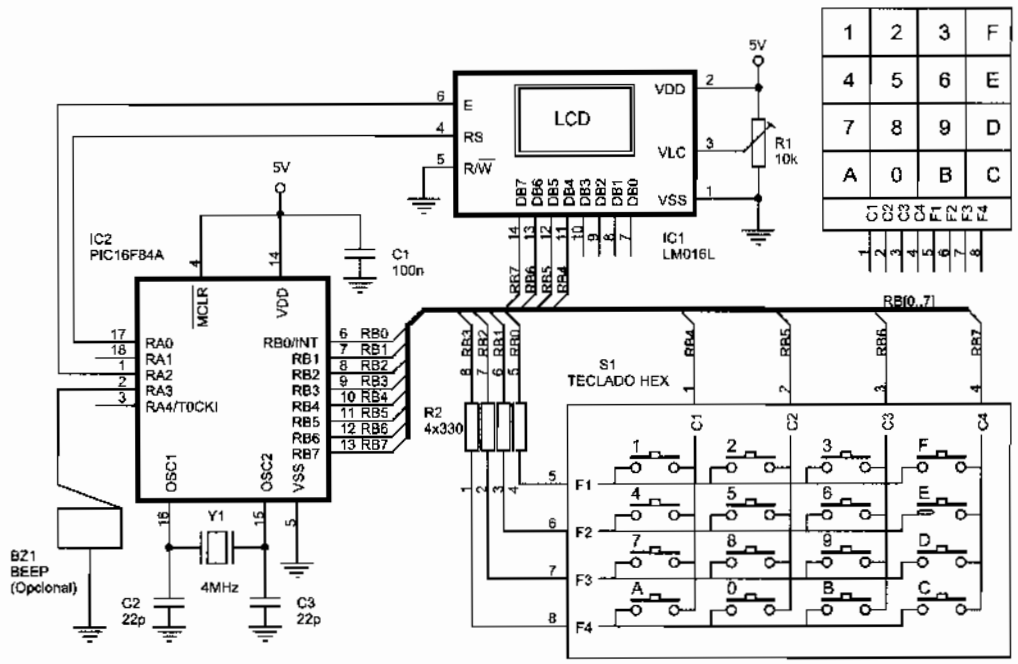


Figura 19-4 Conexión de un teclado matricial hexadecimal a un PIC16F84A

La figura 19-5 expone la relación entre el número de orden de las teclas y los valores correspondientes para un teclado hexadecimal. Así, la tecla "7" ocupa el orden 8, la tecla "F" ocupa el orden 3 y la tecla "9" el orden 10. Si cambia el teclado es necesario cambiar la tabla de conversión.

En el diagrama de flujo de la figura 19-6 se aprecia que la exploración del teclado comienza colocando a "0" la primera fila (línea RB0 del microcontrolador) y las restantes a "1". Se va testeando el estado de cada una de las columnas e incrementando al mismo

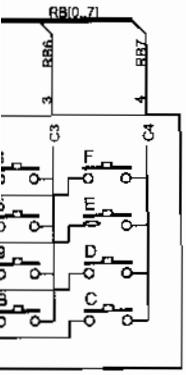
squematizada en
orden de la tecla
responde a cada
ientemente de la

ada sin importar
n indicado en la
grama utiliza una
ara cada tipo de

1	2	3	F
4	5	6	E
7	8	9	D
A	0	B	C

C1 C2 C3 C4 F1 F2 F3 F4

1 2 3 4 5 6 7 8



PIC16F84A

e las teclas y los
ocupa el orden 8,
clado es necesario

ración del teclado
lor) y las restantes
entando al mismo

tiempo el valor de la variable Tecl_TeclaOrden, de manera tal que su valor coincide con el orden de la tecla cuya columna se lee y a cuya fila se aplica un cero. Las columnas son exploradas de forma secuencial, comprobando si hay un "0". Si no lo encuentra pone a "0" la fila siguiente y la anterior a "1", comprobando nuevamente las columnas e incrementando el valor de la variable Tecl_TeclaOrden. Si alguna tecla es pulsada, el valor de orden de la tecla es guardado en el registro de trabajo y acaba la exploración del teclado. El bit de Carry del STATUS se activa a "1" indicando que hay alguna tecla pulsada y a "0" si no ha pulsado tecla alguna.

Como conclusión de la técnica de lectura de un teclado hexadecimal a continuación se expone una librería de subrutinas para su control.

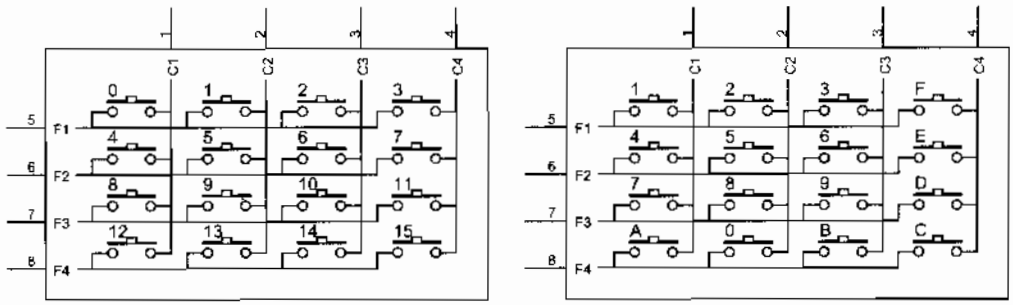


Figura 19-5 Relación entre el orden de teclas y la serigrafía de un teclado hexadecimal

19.4 LIBRERÍA DE SUBRUTINAS

La librería TECLADOS.INC contiene las subrutinas de control del teclado hexadecimal. Para la confección de los programas se utilizarán las siguientes subrutinas:

- "Teclado_Inicializa". Configura las líneas del Puerto B según la conexión del teclado realizada y comprueba que no hay pulsada tecla alguna al principio.
- "Teclado_EsperaDejePulsar". Permanece en esta subrutina mientras siga pulsada la tecla. Se utiliza para que no repita la misma lectura varias veces.
- "Teclado_LeeOrdenTecla". Lee el teclado obteniendo en el registro W el orden de la tecla pulsada. Además, posiciona el flag Carry para indicar si se ha presionado alguna tecla.
- "Teclado_LeeHex". Lee un teclado hexadecimal. En el registro de trabajo W aparece el valor hexadecimal de la tecla pulsada. Además posiciona el flag Carry para indicar si se ha presionado alguna tecla.

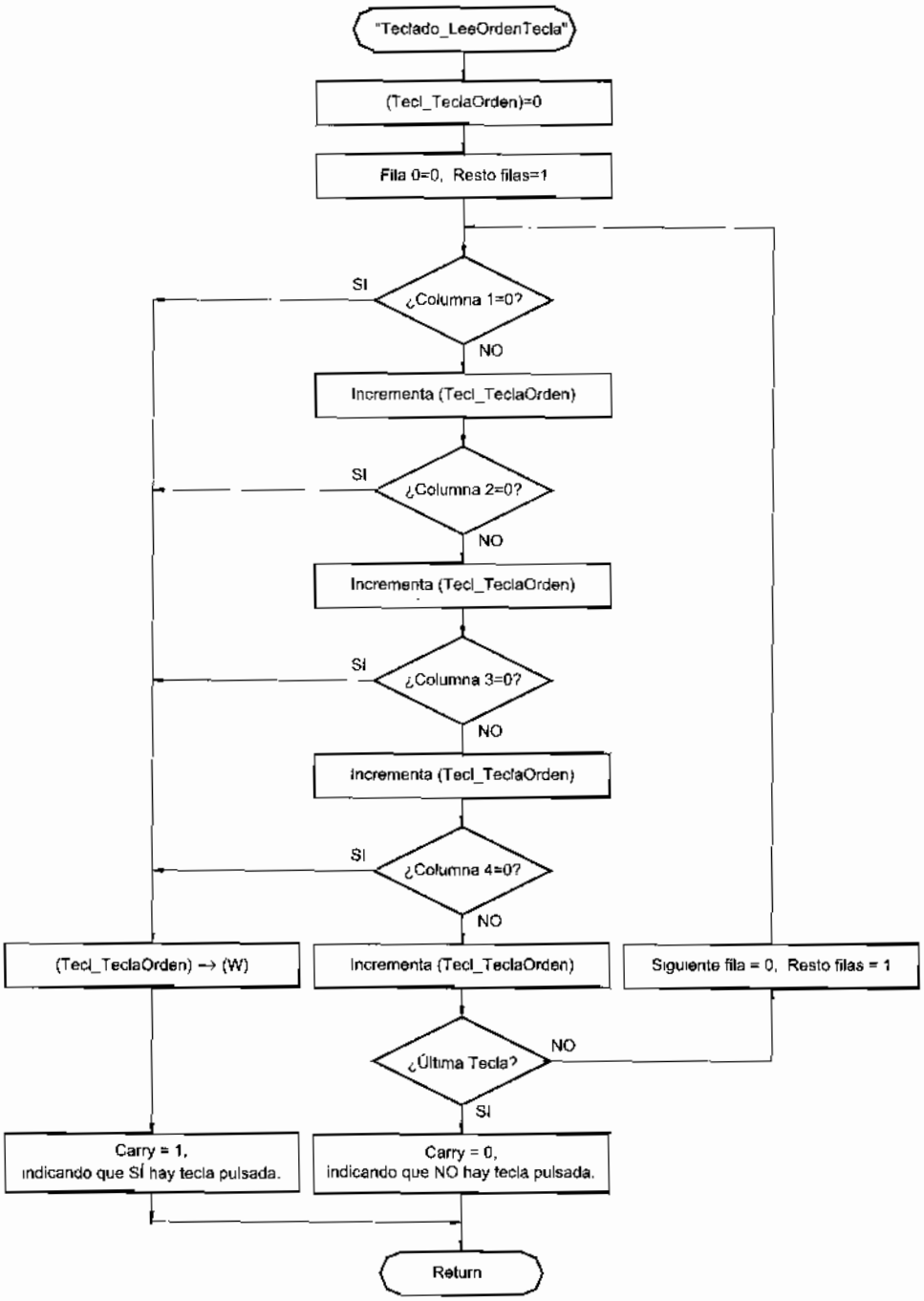


Figura 19-6 Diagrama de flujo para la exploración de un teclado hexadecimal


```
;*****************
;
; Librería de subrutir
; conectado al Puerto
;
;
;
;
;           RB0 -->
;
;           RB1 -->
;
;           RB2 -->
;
;           RB3 -->
;
;
; Los números que se
; que no tiene por qué
; de la tecla al valor q
;
; ZONA DE DATOS
;
            CBLOCK
            Tecl_Tecla
            ENDC

Tecl_UltimaTecla    E

; Subrutina "Teclado_
;
; Cada tecla tiene asig
; Tecl_TeclaOrden. Pa
; utiliza una tabla de c
; A continuación se ex
; valores correspondie
;
;               ORDEN
;                     0
;                     4
;                     8
;                     1
;
; Así, en este ejemplo,
; tecla "9" el orden 10.

; Si cambia el teclado
;
; Entrada: En (W) el o
; Salida:  En (W) el v
;
Teclado_LeeHex
            call        T
```

© RA-MA


```
;***************************** Librería "TECLADO.INC" **********************************
;
; Librería de subrutinas para la gestión de un teclado organizado en una matriz de 4 x 4 y
; conectado al Puerto B según la disposición siguiente y explicada en la figura 19-2 del libro:
;
;                    RB4 RB5 RB6 RB7
;                     ^   ^   ^   ^
;                    |---|---|---|---|
;          RB0 -->   | 0 | 1 | 2 | 3 |
;                    |---|---|---|---|
;          RB1 -->   | 4 | 5 | 6 | 7 |
;                    |---|---|---|---|
;          RB2 -->   | 8 | 9 |10 |11 |
;                    |---|---|---|---|
;          RB3 -->   |12 |13 |14 |15 |
;                    |---|---|---|---|
;
; Los números que se han dibujado dentro de cada cuadrado corresponden al orden de las teclas,
; que no tiene por qué coincidir con lo serigrafiado sobre ellas. El paso del número de orden
; de la tecla al valor que hay serigrafiado sobre la misma se hace con una tabla de conversión.
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************************
;
        CBLOCK
        Tecl_TeclaOrden                 ; Orden de la tecla a chequear.
        ENDC

Tecl_UltimaTecla  EQU     d'15'         ; Valor de orden de la última tecla utilizada.

; Subrutina "Teclado_LeeHex" *******************************************************************
;
; Cada tecla tiene asignado un número de orden que es contabilizado en la variable
; Tecl_TeclaOrden. Para convertir a su valor según el tipo de teclado en concreto se
; utiliza una tabla de conversión.
; A continuación se expone la relación entre el número de orden de la tecla y los
; valores correspondientes para el teclado hexadecimal más utilizado.
;
;          ORDEN DE TECLA:              TECLADO HEX. UTILIZADO:
;               0  1  2  3                    1 2 3 F
;               4  5  6  7                    4 5 6 E
;               8  9 10 11                    7 8 9 D
;              12 13 14 15                    A 0 B C
;
; Así, en este ejemplo, la tecla "7" ocupa el orden 8, la tecla "F" ocupa el orden 3 y la
; tecla "9" el orden 10.

; Si cambia el teclado también hay cambiar de tabla de conversión.
;
; Entrada: En (W) el orden de la tecla pulsada.
; Salida:  En (W) el valor hexadecimal para este teclado concreto.
;
Teclado_LeeHex
        call    Teclado_LeeOrdenTecla   ; Lee el Orden de la tecla pulsada.
```

```
        btfss   STATUS,C                ; ¿Pulsa alguna tecla?, ¿C=1?
        goto    Tecl_FinLeeHex          ; No, por tanto sale.
        call    Tecl_ConvierteOrdenEnHex ; Lo convierte en su valor real mediante tabla.
        bsf     STATUS,C                ; Vuelve a posicionar el Carry, porque la
Tecl_FinLeeHex                          ; instrucción "addwf PCL,F" lo pone a "0".
        return
;
Tecl_ConvierteOrdenEnHex                ; Según el teclado utilizado resulta:
        addwf   PCL,F
        DT      1h,2h,3h,0Fh            ; Primera fila del teclado.
        DT      4h,5h,6h,0Eh            ; Segunda fila del teclado
        DT      7h,8h,9h,0Dh            ; Tercera fila del teclado.
        DT      0Ah,0h,0Bh,0Ch          ; Cuarta fila del teclado.
Teclado_FinTablaHex
;
; Esta tabla se sitúa al principio de la librería con el propósito de que no supere la
; posición 0FFh de memoria ROM de programa. De todas formas, en caso que así fuera
; visualizaría el siguiente mensaje de error en el proceso de ensamblado:
;
        IF (Teclado_FinTablaHex > 0xFF)
                ERROR   "Atención: La tabla ha superado el tamaño de la página de los"
                MESSG   "primeros 256 bytes de memoria ROM. NO funcionará correctamente."
        ENDIF

; Subrutina "Teclado_Inicializa" ----------------------------------------------
;
; Esta subrutina configura las líneas del Puerto B según la conexión del teclado realizada
; y comprueba que no hay pulsada tecla alguna al principio.

Teclado_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0              ; Configura las líneas del puerto:
        movlw   b'11110000'             ; <RB7:RB4> entradas, <RB3:RB0> salidas
        movwf   PORTB
        bcf     OPTION_REG,NOT_RBPU     ; Habilita resistencia de Pull-Up del Puerto B.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al banco 0.
;       call    Teclado_EsperaDejePulsar
;       return
;
; Subrutina "Teclado_EsperaDejePulsar" ----------------------------------------
;
;Permanece en esta subrutina mientras siga pulsada la tecla.
;
Teclado_Comprobacion    EQU     b'11110000'

Teclado_EsperaDejePulsar:
        movlw   Teclado_Comprobacion    ; Pone a cero las cuatro líneas de salida del
        movwf   PORTB                   ; Puerto B.
Teclado_SigueEsperando
        call    Retardo_20ms            ; Espera a que se estabilicen los niveles de tensión.
        movf    PORTB,W                 ; Lee el Puerto B.
        sublw   Teclado_Comprobacion    ; Si es lo mismo que escribió es que ya no pulsa
        btfss   STATUS,Z                ; tecla alguna.
        goto    Teclado_SigueEsperando
```



```
        return
;
; Subrutina "Teclado_Le
;
; Lee el teclado, obtenien
;
; Salida:  En (W) el núm
;                  se pu
;
Teclado_LeeOrdenTecla:
        clrf    Tecl
        movlw   b'11
Tecl_ChequeaFila
        movwf   POR
Tecl_Columna1
        btfss   POR
        goto    Tecl
        incf    Tecl
Tecl_Columna2
        btfss   POR
        goto    Tecl
        incf    Tecl
Tecl_Columna3
        btfss   POR
        goto    Tecl
        incf    Tecl
Tecl_Columna4
        btfss   POR
        goto    Tecl
        incf    Tecl
;
; Comprueba si ha chequea
; el contenido del registro
;
Tecl_TerminaColumnas
        movlw   Tecl
        subwf   Tecl
        btfsc   STA
        goto    Tecl
        bsf     STA
        rlf     POR
        goto    Tecl
Tecl_NoPulsada
        bcf     STA
        goto    Tecl
Tecl_GuardaValor
        movf    Tecl
        bsf     STA
Tecl_FinTeclado Lee
        return
```

```
        return
;
; Subrutina "Teclado_LeeOrdenTecla" ----------------------------------------
;
; Lee el teclado, obteniendo el orden de la tecla pulsada.
;
; Salida:  En (W) el número de orden de la tecla pulsada. Además Carry se pone a "1" si
;          se pulsa una tecla ó a "0" si no se pulsa tecla alguna.
;
Teclado_LeeOrdenTecla:
        clrf    Tecl_TeclaOrden         ; Todavía no ha empezado a chequear el teclado.
        movlw   b'11111110'             ; Va a chequear primera fila.
Tecl_ChequeaFila                        ; (Ver esquema de conexión).
        movwf   PORTB                   ; Activa la fila correspondiente.
Tecl_Columna1
        btfss   PORTB,4                 ; Chequea la 1ª columna buscando un cero.
        goto    Tecl_GuardaValor        ; Sí, es cero y por tanto guarda su valor y sale.
        incf    Tecl_TeclaOrden,F       ; Va a chequear la siguiente tecla.
Tecl_Columna2                           ; Repite proceso para las siguientes
        btfss   PORTB,5                 ; columnas.
        goto    Tecl_GuardaValor
        incf    Tecl_TeclaOrden,F
Tecl_Columna3
        btfss   PORTB,6
        goto    Tecl_GuardaValor
        incf    Tecl_TeclaOrden,F
Tecl_Columna4
        btfss   PORTB,7
        goto    Tecl_GuardaValor
        incf    Tecl_TeclaOrden,F
;
; Comprueba si ha chequeado la última tecla, en cuyo caso sale. Para ello testea si
; el contenido del registro Tecl_TeclaOrden es igual al número de teclas del teclado.
;
Tecl_TerminaColumnas
        movlw   Tecl_UltimaTecla
        subwf   Tecl_TeclaOrden,W       ; (W) = (Tecl_TeclaOrden)-Tecl_UltimaTecla.
        btfsc   STATUS,C                ; ¿C=0?, ¿(W) negativo?, ¿(Tecl_TeclaOrden)<15?
        goto    Tecl_NoPulsada          ; No, se ha llegado al final del chequeo.
        bsf     STATUS,C                ; Sí. Va a chequear la siguiente fila.
        rlf     PORTB,W                 ; Apunta a la siguiente fila.
        goto    Tecl_ChequeaFila
Tecl_NoPulsada
        bcf     STATUS,C                ; Posiciona C=0, indicando que no ha pulsado
        goto    Tecl_FinTecladoLee      ; tecla alguna y sale.
Tecl_GuardaValor
        movf    Tecl_TeclaOrden,W       ; El orden de la tecla pulsada en (W) y sale.
        bsf     STATUS,C                ; Como hay tecla tecla pulsada, pone C=1.
Tecl_FinTecladoLee
        return
```

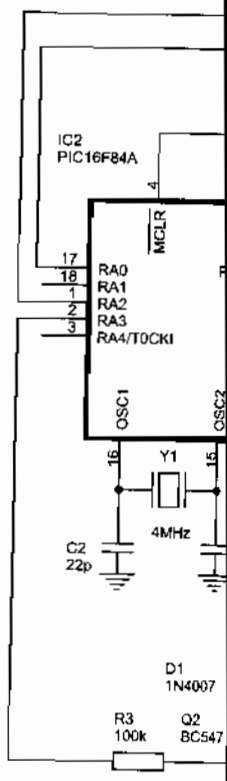
19.5 EJEMPLO DE APLICACIÓN

A continuación se detalla un ejemplo de programa típico para la lectura de un teclado por parte de un PIC16F84A, referido al esquema de la figura 19-4 y librería de subrutinas anterior y que puede ser utilizado en múltiples proyectos.

```
;************************************ Teclado_03.asm ************************************
;
; El módulo LCD visualiza el valor hexadecimal de la tecla pulsada. Para la lectura del
; teclado se utiliza la interrupción por cambio en las líneas <RB7:RB4> del Puerto B (RBI).
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    ServicioInterrupcion
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        call    Teclado_Inicializa      ; Configura las líneas del teclado.
        movlw   b'10001000'             ; Habilita la interrupción RBI y la general.
        movwf   INTCON
Principal
        sleep                           ; Espera en modo bajo consumo que pulse teclado.
        goto    Principal

; Subrutina "ServicioInterrupcion" ------------------------------------------------
;
ServicioInterrupcion
        call    Teclado_LeeHex          ; Obtiene el valor hexadecimal de la tecla pulsada.
        call    LCD_Nibble              ; Visualiza el valor en pantalla.
        call    Teclado_EsperaDejePulsar ; Para que no se repita el mismo carácter
        bcf     INTCON,RBIF             ; mientras permanece pulsado. Limpia flag.
        retfie

        INCLUDE <TECLADO.INC>           ; Subrutinas de control del teclado.
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```


19.6 CERR

Un proyect
una cerradura elec



El programa
diagrama de flujo qu

```
;**********
;
; Cerradura Electrónica: la
; por teclado sea correcta.
;
```

19.6 CERRADURA ELECTRÓNICA

Un proyecto clásico a realizar con teclado hexadecimal trata de la realización de una cerradura electrónica cuyo esquema se muestra en la figura 19-7.

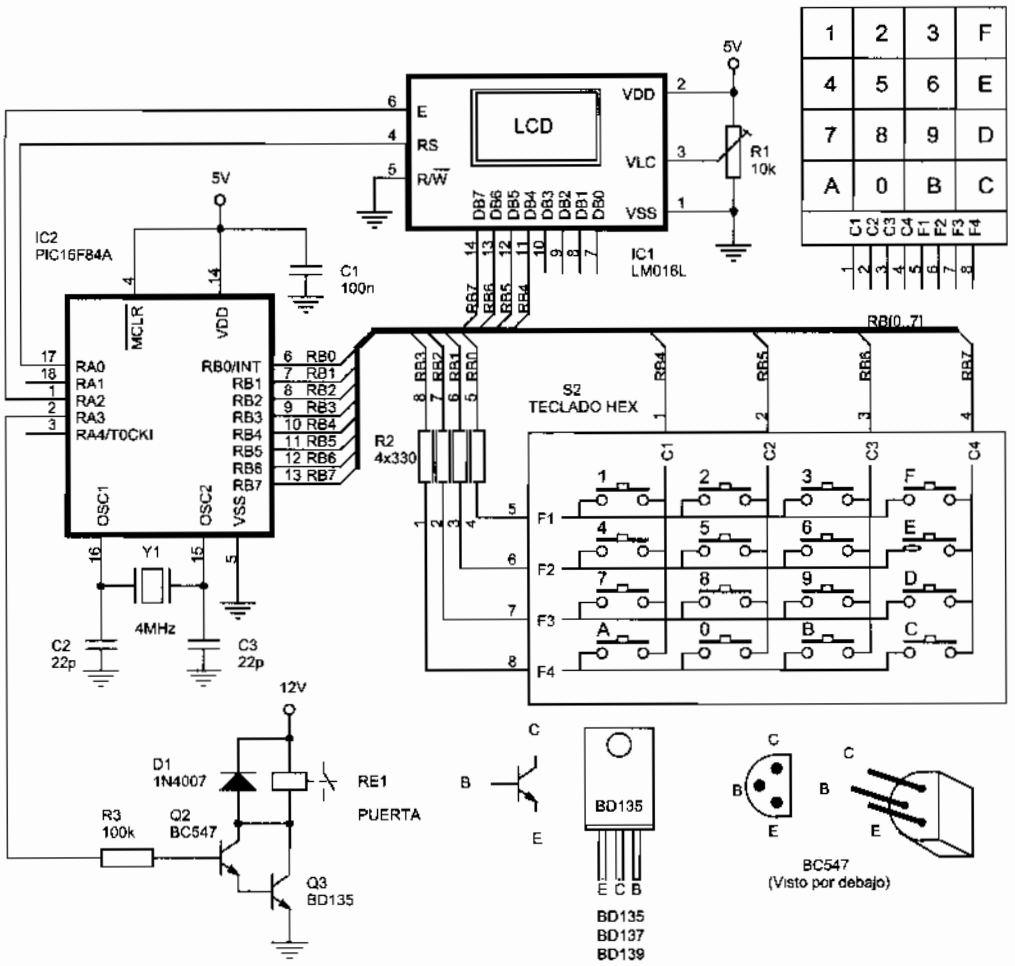


Figura 19-7 Cerradura electrónica

El programa de control se expone a continuación. La figura 19-8 detalla el diagrama de flujo que describe el funcionamiento de la subrutina más importante.

```
;************************************ Teclado_09.asm ************************************
;
; Cerradura Electrónica: la salida se activa cuando una clave de varios digitos introducida
; por teclado sea correcta. El esquema se describe en la figura 19-7.
;
```

```
; Tiene una salida "CerraduraSalida" que, cuando se habilita, activa durante unos segundos
; el electroimán de la cerradura permitiendo la apertura de la puerta:
;  - Si (CerraduraSalida) = 1, la puerta se puede abrir.
;  - Si (CerraduraSalida) = 0, la puerta no se puede abrir.
;
;Funcionamiento:
; - En pantalla visualiza "Introduzca CLAVE". Según se va escribiendo, visualiza asteriscos '*'.
; - Cuando termine de escribir la clave pueden darse dos posibilidades:
;   -   Si la clave es incorrecta la cerradura sigue inactivada, en pantalla aparece el mensaje
;       "Clave INCORRECTA" durante unos segundos y tiene que repetir de nuevo el proceso.
;   -   Si la clave es correcta la cerradura se activa durante unos segundos y la puerta
;       puede ser abierta. En pantalla aparece: "Clave CORRECTA" (primera línea) y "Abra
;       la puerta" (segunda línea). Pasados unos segundos, se repite el proceso.
;
; ZONA DE DATOS *****************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        ENDC

; La clave puede tener cualquier tamaño y su longitud se calcula:

#DEFINE  LongitudClave     (FinClaveSecreta-ClaveSecreta)
#DEFINE  CerraduraSalida   PORTA,3

; ZONA DE CÓDIGOS ***************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    ServicioInterrupcion

Mensajes
        addwf   PCL,F
MensajeTeclee
        DT      "Teclee CLAVE:", 0x00
MensajeClaveCorrecta
        DT      "Clave CORRECTA", 0x00
MensajeAbraPuerta
        DT      "Abra la puerta", 0x00
MensajeClaveIncorrecta
        DT      "Clave INCORRECTA", 0x00
;
LeeClaveSecreta
        addwf   PCL,F
ClaveSecreta
        DT      4h,5h,6h,0Eh            ; Ejemplo de clave secreta.
        DT      7h,8h
FinClaveSecreta
```



```
Inicio  call    LCD
        bsf     STAT
        bcf     Cerra
        bcf     STAT
        call    Teclad
        call    Inicial
        movlw   b'1000
        movwf   INTC
Principal
        sleep
        goto    Princip

; Subrutina "ServicioInterru
;
        CBLOCK
        ContadorCaracte
        GuardaClaveTec
        ENDC

ServicioInterrupcion
        call    Teclad
;
; Según va introduciendo los
; las posiciones RAM "Clav
; FSR como apuntador. Por
;
        movwf   INDF

        movlw   '*'
        call    LCD_C
        incf    FSR,F
        incf    Contad
        movlw   Longitu
        subwf   Contad
        btfss   STATU
        goto    FinInte
;
; Si ha llegado aquí es porqu
; procede a comprobar si la c
; dígitos almacenados en las
; correcto de la clave almace
;
; Para acceder a las posicion
; direccionamiento indirecto
;
; Para acceder a memoria RC
; el registro ContadorCaracte
;
        call    LCD_B
        clrf    Contado
        movlw   ClaveTe
        movwf   FSR
ComparaClaves
```

```
Inicio  call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0
        bcf     CerraduraSalida         ; Defino como salida.
        bcf     STATUS,RP0
        call    Teclado_Inicializa      ; Configura las líneas del teclado.
        call    InicializaTodo          ; Inicializa el resto de los registros.
        movlw   b'10001000'             ; Habilita la interrupción RBI y la general.
        movwf   INTCON
Principal
        sleep                           ; Espera en modo bajo consumo que pulse alguna tecla.
        goto    Principal

; Subrutina "ServicioInterrupcion" ----------------------------------------
;
        CBLOCK
        ContadorCaracteres
        GuardaClaveTecleada
        ENDC

ServicioInterrupcion
        call    Teclado_LeeHex          ; Obtiene el valor hexadecimal de la tecla pulsada.
;
; Según va introduciendo los dígitos de la clave, estos van siendo almacenados a partir de
; las posiciones RAM "ClaveTecleada" mediante direccionamiento indirecto y utilizando el
; FSR como apuntador. Por cada dígito leído en pantalla se visualiza un asterisco.
;
        movwf   INDF                    ; Almacena ese dígito en memoria RAM con
                                        ; direccionamiento indirecto apuntado por FSR.
        movlw   '*'                     ; Visualiza asterisco.
        call    LCD_Caracter
        incf    FSR,F                   ; Apunta a la próxima posición de RAM.
        incf    ContadorCaracteres,F    ; Cuenta el número de teclas pulsadas.
        movlw   LongitudClave           ; Comprueba si ha introducido tantos caracteres
        subwf   ContadorCaracteres,W    ; como longitud tiene la clave secreta.
        btfss   STATUS,C                ; ¿Ha terminado de introducir caracteres?
        goto    FinInterrupcion         ; No, pues lee el siguiente carácter tecleado.
;
; Si ha llegado aquí es porque ha terminado de introducir el máximo de dígitos. Ahora
; procede a comprobar si la clave es correcta. Para ello va comparando cada uno de los
; dígitos almacenados en las posiciones RAM a partir de "ClaveTecleada" con el valor
; correcto de la clave almacenado en la posición ROM "ClaveSecreta".
;
; Para acceder a las posiciones de memoria RAM a partir de "ClaveTecleada" utiliza
; direccionamiento indirecto siendo FSR el apuntador.
;
; Para acceder a memoria ROM "ClaveSecreta" se utiliza direccionamiento indexado con el
; el registro ContadorCaracteres como apuntador.
;
        call    LCD_Borra               ; Borra la pantalla.
        clrf    ContadorCaracteres      ; Va a leer el primer carácter almacenado en ROM.
        movlw   ClaveTecleada           ; Apunta a la primera posición de RAM donde se ha
        movwf   FSR                     ; guardado la clave tecleada.
ComparaClaves
```

```
        movf    INDF,W              ; Lee la clave tecleada y guardada en RAM.
        movwf   GuardaClaveTecleada ; La guarda para compararla después.
        movf    ContadorCaracteres,W ; Apunta al carácter de ROM a leer.
        call    LeeClaveSecreta     ; En (W) el carácter de la clave secreta.
        subwf   GuardaClaveTecleada,W ; Se comparan.
        btfss   STATUS,Z            ; ¿Son iguales?, ¿Z=1?
        goto    ClaveIncorrecta     ; No, pues la clave tecleada es incorrecta.
        incf    FSR,F               ; Apunta a la próxima posición de RAM.
        incf    ContadorCaracteres,F ; Apunta a la próxima posición de ROM.
        movlw   LongitudClave       ; Comprueba si ha comparado tantos caracteres
        subwf   ContadorCaracteres,W ; como longitud tiene la clave secreta.
        btfss   STATUS,C            ; ¿Ha terminado de comparar caracteres?
        goto    ComparaClaves       ; No, pues compara el siguiente carácter.
ClaveCorrecta                       ; La clave ha sido correcta. Aparecen los mensajes
        movlw   MensajeClaveCorrecta ; correspondientes y permite la apertura de la
        call    LCD_Mensaje         ; puerta durante unos segundos.
        call    LCD_Linea2
        movlw   MensajeAbraPuerta
        call    LCD_Mensaje
        bsf     CerraduraSalida     ; Activa la cerradura durante unos segundos.
        goto    Retardo
ClaveIncorrecta
        movlw   MensajeClaveIncorrecta
        call    LCD_Mensaje
Retardo
        call    Retardo_2s
        call    Retardo_1s
InicializaTodo
        bcf     CerraduraSalida     ; Desactiva la cerradura.
        clrf    ContadorCaracteres  ; Inicializa este contador.
        movlw   ClaveTecleada       ; FSR apunta a la primera dirección de la RAM
        movwf   FSR                 ; donde se va a almacenar la clave tecleada.
        call    LCD_Borra           ; Borra la pantalla.
        movlw   MensajeTeclee       ; Aparece el mensaje para que introduzca la clave.
        call    LCD_Mensaje
        call    LCD_Linea2          ; Los asteriscos se visualizan en la segunda línea.
FinInterrupcion
        call    Teclado_EsperaDejePulsar
        bcf     INTCON,RBIF
        retfie

        INCLUDE <TECLADO.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>

; Las posiciones de memoria RAM donde se guardará la clave leída se definen al final, después
; de los Includes, ya que van a ocupar varias posiciones de memoria mediante el
; direccionamiento indirecto utilizado.

        CBLOCK
        ClaveTecleada
        ENDC

        END                         ; Fin del programa.
```

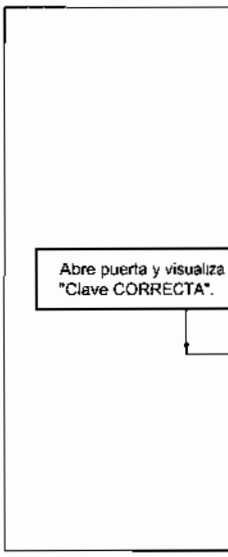



Figura 19-8

19.7 PRÁCTI

Respetando el
simular, grabar el
esquema de la figur
conveniente, por ejer

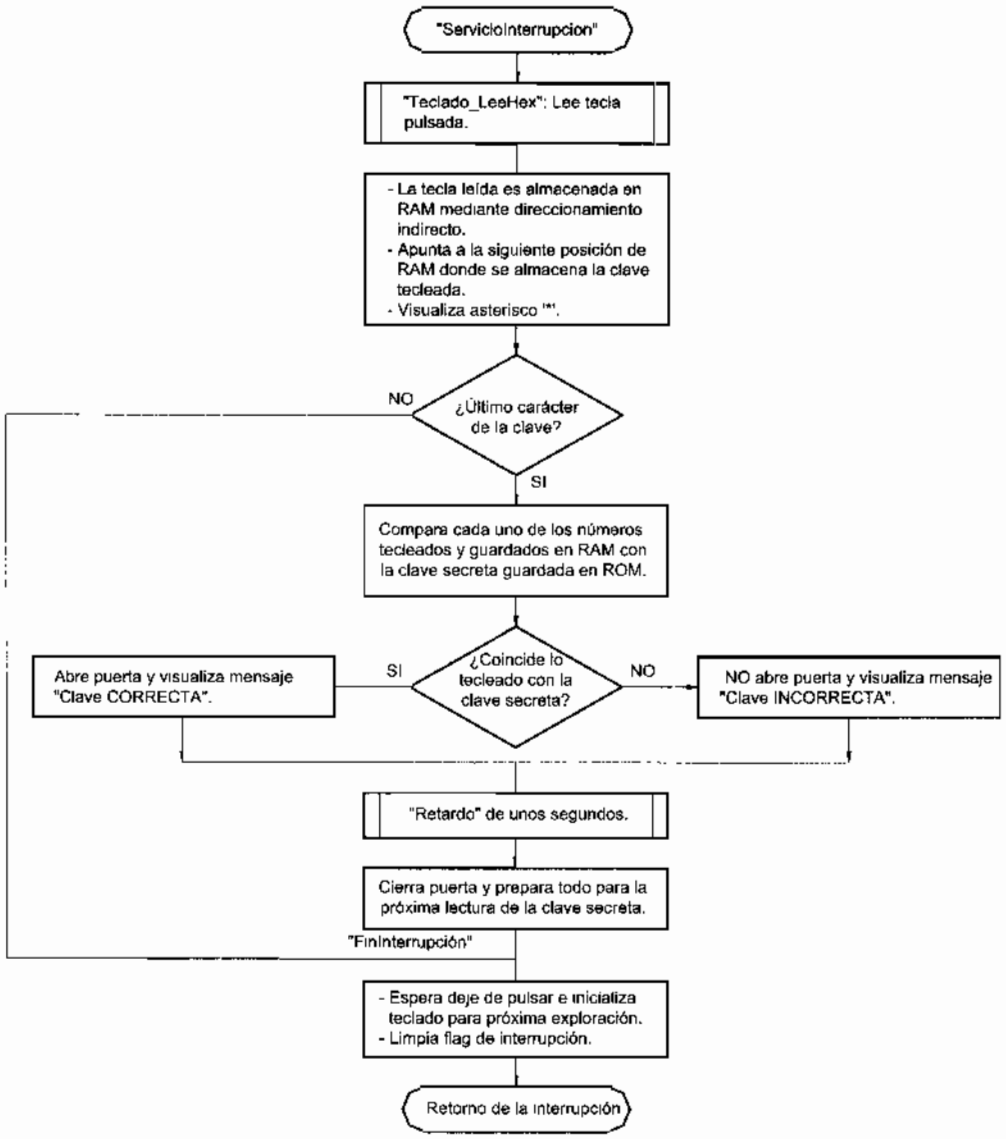


Figura 19-8 Diagrama de flujo principal para la cerradura electrónica

19.7 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores, diseñar, ensamblar, simular, grabar el microcontrolador y comprobar los siguientes programas para el esquema de la figura 19-4. El lector puede introducir todas las mejoras que considere conveniente, por ejemplo añadirle el sonido de un pitido cada vez que pulse una tecla.

Teclado_01.asm: En el visualizador LCD aparece el orden de la tecla pulsada. Se utiliza la técnica Polling o lectura constante del puerto al que se ha conectado el teclado.

Teclado_02.asm: En la pantalla se visualiza el valor hexadecimal de la tecla pulsada. Se utiliza la técnica lectura constante del puerto al que se ha conectado el teclado.

Teclado_03.asm: Lo que se va escribiendo por el teclado aparece en la pantalla del display LCD. Utiliza la interrupción de las líneas <RB7:RB4> del Puerto B donde está conectado el teclado.

Teclado_04.asm: Supone un teclado con los 16 primeros caracteres del alfabeto occidental, por tanto habrá que cambiar la tabla respecto de los ejercicios anteriores. Lo que se va escribiendo por el teclado aparece por pantalla como si fuera un teclado de caracteres alfabéticos.

Teclado_05.asm: Primero aparece un mensaje de presentación que se desplaza a lo largo de la pantalla. Luego en la primera línea aparece un mensaje estático y lo que se va escribiendo por el teclado aparece en el visualizador LCD.

Teclado_06.asm: Lo que se está escribiendo por el teclado aparece en la pantalla. Cuando llega al final de la primera línea pasa a la segunda. Cuando llega al final de la segunda línea borra todo y comienza de nuevo al principio de la primera.

Teclado_07.asm: Los valores decimales que se escriben por el teclado aparecen en la pantalla del display LCD. Si pulsa cualquier otra tecla que no sea número lo interpreta como tecla de borrado de la pantalla.

Teclado_08.asm: Suma el valor de tres teclas consecutivas pulsadas. En la primera línea aparece en hexadecimal y en la segunda en decimal. Así por ejemplo si pulsa "A", "6" y "F" en pantalla aparecerá:

- "Hex: A+6+F=1F " (Primera Línea).
- "Dec: 10+06+15=31" (Segunda Línea).

Teclado_09.asm: Programa de una cerradura electrónica cuya salida se activa cuando una clave de varios dígitos introducida por el teclado sea correcta (figura 19-7).

© RA-MA

Gabriel Comucho

CAPÍTULO 20

COMUNICACIÓN CON ORDENADOR

Algunos circuitos microprogramados se encargan de almacenar parámetros que cada cierto tiempo han de ser recogidos o "volcados" en otros sistemas para su estudio (estadístico por ejemplo). Es frecuente que los sistemas de recogida de datos sean ordenadores personales, por lo que en la realización de algunos proyectos será necesario dotar al sistema de la capacidad de intercambiar información con ordenadores. Este es el tema del presente capítulo.

20.1 PUERTO SERIE RS232

La forma más común y sencilla de comunicar cualquier dispositivo con un ordenador es a través de su **puerto serie**, que es compatible con el denominado estándar **RS232** *(o EIA232 Standard)*. En un ordenador puede haber varios puertos series, normalmente denominados COM 1, COM 2, etc.

Los puertos serie son accesibles mediante conectores. La norma RS232 establece dos tipos de conectores llamados DB-25 (de 25 pines) y DB-9 (de 9 pines), machos y hembras, figura 20-1. La norma RS232 se estableció para conectar un ordenador con un modem, por lo que aparecen muchas patillas en los conectores DB-25 que en otro tipo de aplicaciones no se utilizan y en las que es más común utilizar el conector tipo DB-9.

Cada una de las patillas del conector RS232 tiene una función especificada por la norma. Hay unos terminales por los que se transmiten y reciben datos y otros que controlan el establecimiento, flujo y cierre de la comunicación. La figura 20-2 describe las patillas del DB-9.

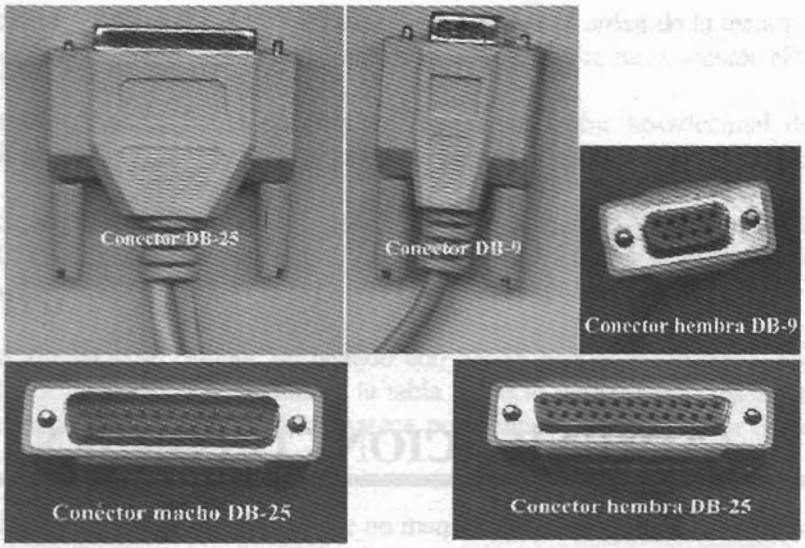
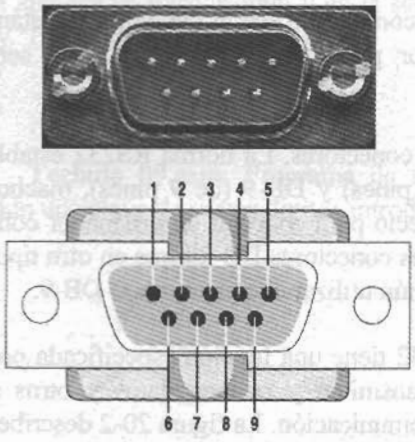


Figura 20-1 Conectores RS232

Para comunicarse con un microcontrolador es suficiente con tres líneas:

- Línea de transmisión (TxD), pin 3 (*Transmitted Data*).
- Línea de recepción (RxD), pin 2 *(Received Data).*
- Pin de masa (SG), pin 5 *(Signal Ground).*

Las especificaciones del puerto serie están contenidas en la norma RS232 (ó *EIA232 Standard).* En este capítulo se expondrán aquellas necesarias para comunicarse con un microcontrolador.



PIN	SEÑAL
1	*Data Carrier Detect (DCD)*
2	***Received Data (RxD)***
3	***Transmitted Data (TxD)***
4	*Data Terminal Ready (DTR)*
5	***Signal Ground (SG)***
6	*Data Set Ready (DSR)*
7	*Request to Send (RTS)*
8	*Clear to Send (CTS)*
9	*Ring Indicator (RI)*

Figura 20-2 Patillaje del conector DB-9

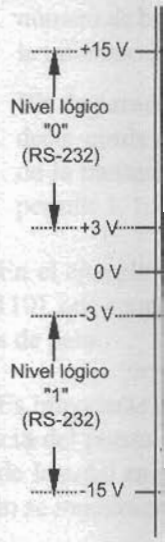
20.2 EL BAU

Un dato import
transmisión, que es l
unidad de tiempo. Ha
Baudio, que es propo
de información enviad

La velocidad a
normalizada a 75, 150
demasiado pequeños p
multitud de aplicacion

20.3 NIVELES

La figura 20-3
una transmisión serie



Fig

- Los datos se
conexión repr
- Para garantiza
V.
- Del mismo m
- Los voltajes m

20.2 EL BAUDIO

Un dato importante a tener en cuenta en cualquier comunicación es la **velocidad de transmisión,** que es la cantidad de información enviada por la línea de transmisión en la unidad de tiempo. Hay distintas unidades para expresar esta medida, la más utilizada es el **Baudio**, que es proporcional a los Bits/segundo (bps), definidos como el número de bits de información enviados por segundo.

La velocidad a la que pueden trabajar los puertos COM de un ordenador está normalizada a 75, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 Baudios, etc. Estos valores son demasiado pequeños para los estándares de hoy en día, pero suficientemente rápidos para multitud de aplicaciones.

20.3 NIVELES LÓGICOS RS232

La figura 20-3 ilustra los requisitos en cuanto a niveles lógicos que debe cumplir una transmisión serie según la norma RS232. A destacar:

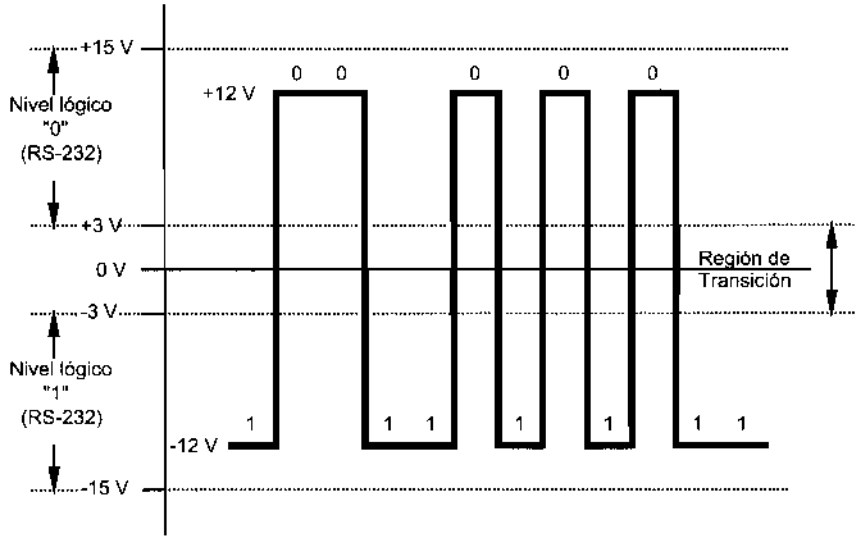


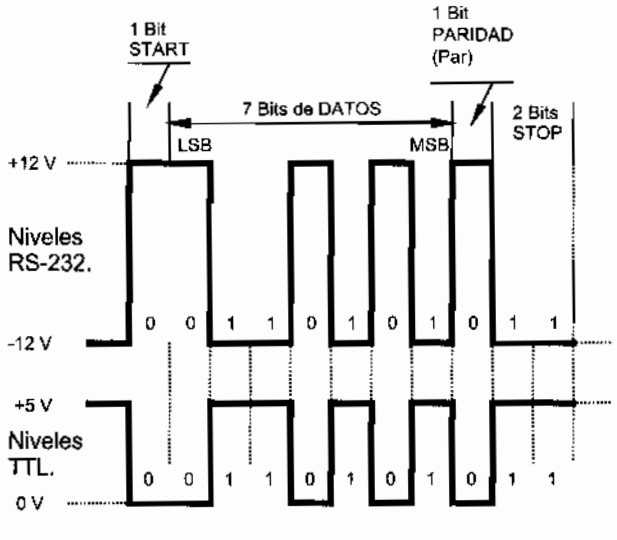
Figura 20-3 Niveles de tensión lógicos para RS232

- Los datos se transmiten con lógica negativa, es decir, un voltaje positivo en la conexión representa un "0", mientras que un voltaje negativo representa un "1".
- Para garantizar un "0" lógico una línea debe mantener un voltaje entre +3 y +15 V.
- Del mismo modo para "1" lógico garantizado debe estar entre –3 y -15 V.
- Los voltajes más usados son +12 V para el "0" y –12 V para el "1".

- Es importante resaltar que cuando un puerto serie no está transmitiendo mantiene el terminal de transmisión a "1" lógico a –12 V, normalmente.
- La banda muerta entre +3 V y -3 V se conoce como la región de transición donde los niveles lógicos no están definidos. Esto significa que cualquier valor entre +3 y -3 voltios puede interpretarse ambiguamente como "0" ó "1".

Si se aumenta la velocidad de transmisión las señales de datos se vuelven susceptibles a pérdidas de voltaje causadas por la capacidad, resistencia e inductancia del cable. Estas pérdidas son conocidas como efectos de alta frecuencia y aumentan con la longitud del cable.

Estos valores de tensión proporcionan un amplio margen de seguridad que es de gran utilidad cuando los cables deben pasar por zonas cercanas a elementos que generan interferencias eléctricas: motores, transformadores, equipos de comunicación, etc. Estos elementos, unidos a la longitud del cable, pueden hacer disminuir la señal hasta en varios voltios, sin que afecte adversamente al nivel lógico de la entrada.



Código ASCII de la "V": 1010110.

Figura 20-4 Ejemplo de envío de un byte según normas RS232

20.4 FORMATO DE UN BYTE

La comunicación de datos en un puerto serie RS232 se usa normalmente para efectuar comunicaciones asíncronas sin tiempo preestablecido para iniciarse. Los datos llegan en paquetes de información normalmente de 8 bits. Algunos equipos envían carácter por carácter, otros guardan muchos caracteres en la memoria y cuando les toca enviarlos los envían uno tras otro.

El protocolo es
4 partes, ilustradas en

- **Bit de inicio**
"1" a un "0"
detecta el bit
entonces, deb
función de la

- **Bits de datos**
de *Start*. El b
y el de mayo
suele consisti

- **Bit de parid**
bit de paridad
sencillas no
transmisión. S
palabra de da
número de bit
la informació

- **Bit de parad**
decir, queda a
de la transmis
permite 1, 1.5

En el ejemplo
(101 0110), que corres
dos bits de paro.

Es importante h
diferencia del puerto
forma de la señal en
tal como se muestra en

20.5 MAX232

En el mercado
niveles TTL y niveles
fabricado por *Dallas S*

El MAX232 co
a +5 V) y viceversa
drivers TTL → RS23

El protocolo establecido por la norma RS232 envía la información estructurada en 4 partes, ilustradas en la figura 20-4 con un ejemplo:

- **Bit de inicio o arranque** *(Start)*. Es un paso de –12 V a +12 V, es decir, de un "1" a un "0" lógico en la lógica negativa de la norma RS232. Cuando el receptor detecta el bit de inicio sabe que la transmisión ha comenzado y, a partir de entonces, debe leer las señales de la línea a distancias concretas de tiempo en función de la velocidad fijada por emisor y receptor.
- **Bits de datos** *(Datas)*. Los bits de datos son enviados al receptor después del bit de *Start*. El bit de menos peso LSB *(Least Significant Bit)* es transmitido primero y el de mayor peso MSB *(Most Significant Bit)* el último. Un carácter de datos suele consistir en 7 u 8 bits. En el ejemplo de la figura 20-4 trabaja con 7 bits.
- **Bit de paridad** *(Parity)*. Dependiendo de la configuración de la transmisión un bit de paridad puede ser enviado después de los bits de datos. En aplicaciones sencillas no suele utilizarse. Con este bit se pueden descubrir errores en la transmisión. Se puede dar paridad par o impar. En la paridad par, por ejemplo, la palabra de datos a transmitir se completa con el bit de paridad de manera que el número de bits "1" enviados sea par, como en el ejemplo de la figura 20-4, donde la información del byte de datos más paridad es b'01010110' (cuatro "1").
- **Bit de parada** *(STOP)*. La línea queda a –12 V después del último bit enviado, es decir, queda a "1" en la lógica negativa de la norma RS232. Indica la finalización de la transmisión de una palabra de datos. El protocolo de transmisión de datos permite 1, 1.5 ó 2 bits de parada.

En el ejemplo de la figura anterior se envía un bit de inicio, una palabra de 7 bits (101 0110), que corresponde a la letra "V" en código ASCII, un bit de paridad par y luego dos bits de paro.

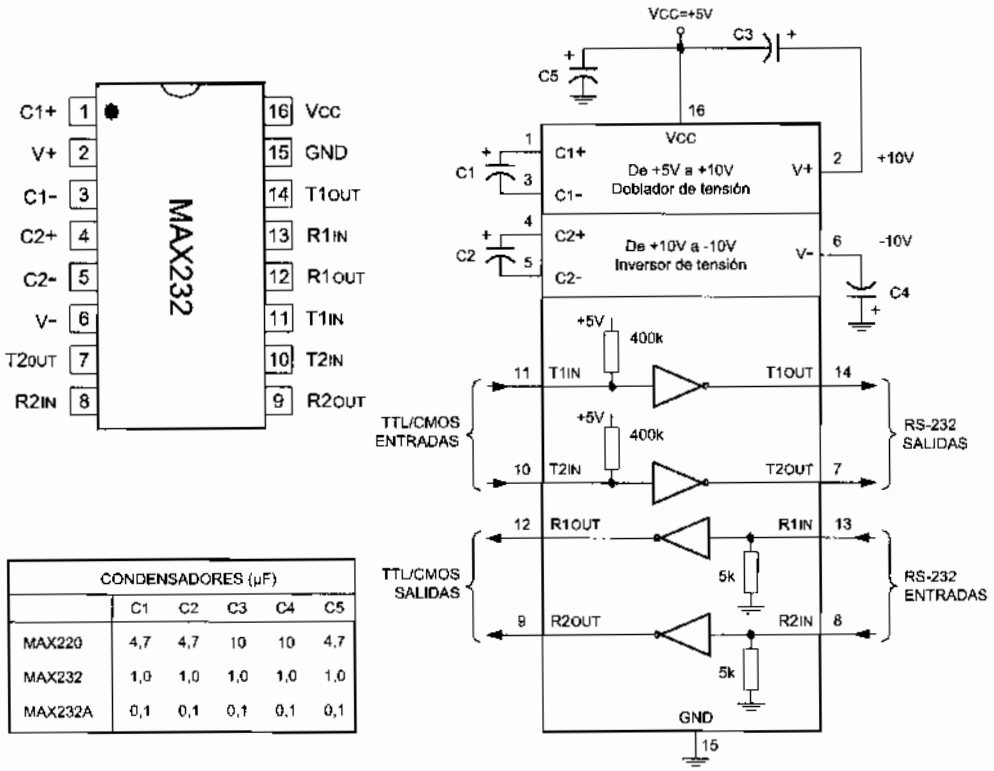
Es importante hacer observar, que el microcontrolador trabaja con lógica positiva a diferencia del puerto RS232 del ordenador que trabaja con lógica negativa. Por tanto la forma de la señal en el microcontrolador (niveles TTL) será inversa a los niveles RS232 tal como se muestra en la figura 20-4.

20.5 MAX232

En el mercado hay muchos circuitos integrados que permiten la conversión entre niveles TTL y niveles RS232. Entre ellos destaca el transceptor MAX232 (figura 20-5), fabricado por *Dallas Semiconductor-MAXIM*, www.dalsemi.com.

El MAX232 convierte los niveles RS232 (cerca de +12 y -12 V) a voltajes TTL (0 a +5 V) y viceversa sin requerir nada más que una fuente de +5 V. El chip contiene dos drivers TTL → RS232 y dos RS232 → TTL. Necesita cuatro condensadores externos de

unos pocos microfaradios para generar el voltaje RS232 internamente tal como se muestra en las figuras 20-5 y 20-6.



CONDENSADORES (µF)					
	C1	C2	C3	C4	C5
MAX220	4,7	4,7	10	10	4,7
MAX232	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
MAX232A	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Figura 20-5 MAX232

20.6 CONEXIÓN PUERTO RS232 Y PIC16F84

Para comunicarse con un microcontrolador se pueden utilizar sólo tres patillas del puerto serie RS232. Éstas son:

- Pin de transmisión (TxD).
- Pin de recepción (RxD).
- Pin de masa (SG).

La figura 20-7 muestra un ejemplo de circuito para comunicar un ordenador y un microcontrolador PIC16F84A a través del puerto serie RS232.

El primer problema a resolver es que los niveles lógicos TTL que salen del microcontrolador no son compatibles con los niveles lógicos RS232 del puerto serie del ordenador, razón por la cual se debe introducir en el circuito un interface que traduzca los

datos del microcontrolador al puerto y viceversa. Este chip puente puede ser el MAX232 o alguno similar.

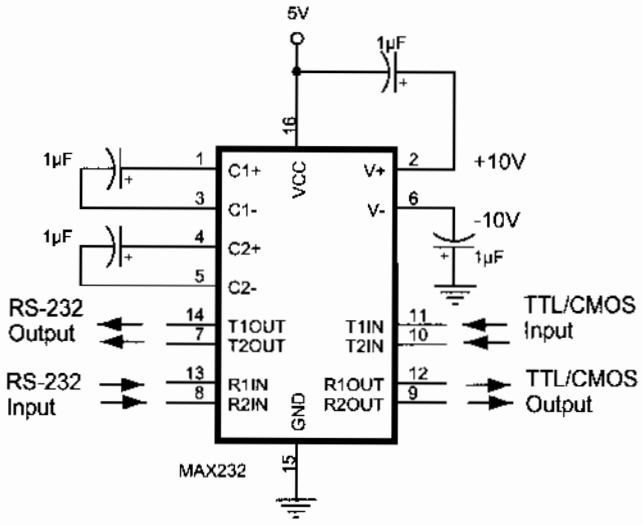


Figura 20-6 Conexión típica del MAX232

En el esquema de la figura 20-7 se aprecia como se utiliza un par de drivers de los cuatro disponibles.

- La línea TxD (pin 3 del conector DB9) del puerto serie RS232 transmite información con niveles RS232, por tanto se conecta al pin R1IN del MAX232 para convertir estos niveles a TTL y transmitírselos al PIC16F84A a través de la patilla R1OUT.
- Del mismo modo la información que envía el PIC16F84A con niveles TTL entra en la línea T1IN del MAX232 para convertirla en niveles RS232 y poder ser recibida por el puerto serie RS232 a través de su línea RxD, pin 2 del conector DB9.

Hay que tener cuidado para no equivocarse con la polaridad de los condensadores electrolíticos al conectarlos en el circuito.

Para el control de la comunicación del ordenador con el microcontrolador es necesario el siguiente software:

- Unas subrutinas que gestionen el software del microcontrolador, como las utilizadas en la librería RS232.INC que se explicará en la próxima sección.
- Un programa para el ordenador que gestione el control del sistema, tal como el *HyperTerminal* de Windows o similar.

A continuación se explican ambos.

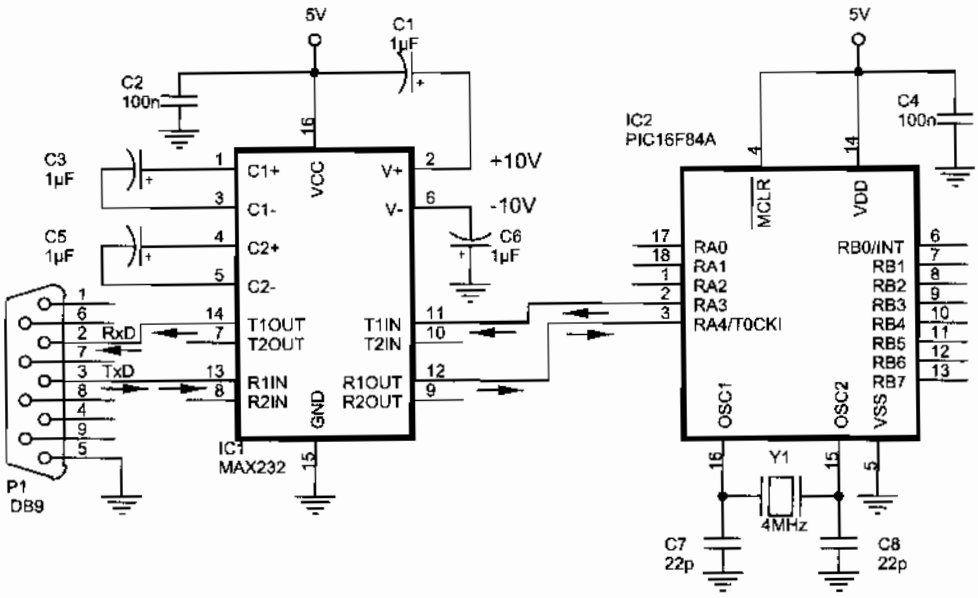


Figura 20-7 Conexión del MAX232 a un PIC16F84A

20.7 LIBRERÍA DE SUBRUTINAS PARA RS232

La siguiente librería denominada RS232.INC recoge unas subrutinas de control muy sencillas para la comunicación de un PIC16F84 con un ordenador. Estas subrutinas permiten realizar las tareas básicas de comunicación con el puerto serie RS232 conectado según el esquema de la figura 20-7. Las subrutinas principales son:

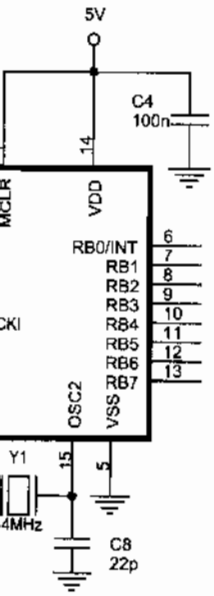
- "RS232_Inicializa", configura las líneas de salida y entrada del PIC.
- "RS232_LeeDato", el microcontrolador lee el dato por la línea de entrada.
- "RS232_EnviaDato", el microcontrolador envía un dato por la línea de salida.

Esta librería está suficientemente documentada y se detalla a continuación:

```
;********************************* Librería "RS232.INC" ***************************************
;
; Estas subrutinas permiten realizar las tareas básicas de control de la transmisión
; serie asincrona según normas RS-232.
;
; Los parámetros adoptados para la comunicación son los siguientes:
; - Velocidad de transmisión de 9600 baudios. La duración de cada bit será 104 µs.
; - Un bit de inicio o Start a nivel bajo.
; - Dato de 8 bits.
; - Sin paridad.
; - Dos bits de final o Stop a nivel alto.
```



```
; El tiempo entre bit y bit debe
; Como la velocidad de transm
; 1/9600 Baudios = 104 µs. Se

        CBLOCK
        RS232_ContadorBit
        RS232_Dato
        ENDC

#DEFINE RS232_Entrada
#DEFINE RS232_Salida

; Subrutina "RS232_Inicializa"

; Configura las líneas de salida

RS232_Inicializa
        bsf     STATUS,
        bsf     RS232_E
        bcf     RS232_S
        bcf     STATUS,
        return

; Subrutina "RS232_LeeDato"

; El microcontrolador lee el dat
; peso. El dato leído se envía fi

; El ordenador parte siempre de
; envía información. La secuen
; 1º      Espera que se ejecute
; 2º      Deja pasar un tiempo
;         saltarse el bit de Start
; 3º      Lee el resto de los bi
;         periodo entre lectura
;
; Salida: En el registro de trabaj

RS232_LeeDato
        movlw   d'8'
        movwf   RS232_C
RS232_EsperaBitStart
        btfsc   RS232_E
        goto    RS232_E
        call    Retardo_
        call    Retardo_
RS232_LeeBit
        bcf     STATUS,
        btfsc   RS232_E
        bsf     STATUS,
        rrf     RS232_D
        call    Retardo_
```



34A

232

subrutinas de control
dor. Estas subrutinas
erie RS232 conectado

del PIC.
nea de entrada.
r la línea de salida.

ontinuación:

****


```
;
; El tiempo entre bit y bit debe coincidir con el periodo de la señal leída o enviada.
; Como la velocidad de transmisión o recepción es de 9600 baudios, el periodo será:
; 1/9600 Baudios = 104 µs. Se utilizará pues la subrutina Retardos_100micros.

        CBLOCK
        RS232_ContadorBits
        RS232_Dato
        ENDC

#DEFINE  RS232_Entrada    PORTA,3        ; Línea por la que se reciben los datos.
#DEFINE  RS232_Salida     PORTA,4        ; Línea por la que se envían los datos.
;
; Subrutina "RS232_Inicializa" ---------------------------------------------
;
; Configura las líneas de salida y entrada del microcontrolador.

RS232_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0
        bsf     RS232_Entrada           ; Esta línea se configura como entrada.
        bcf     RS232_Salida            ; Esta línea se configura como salida.
        bcf     STATUS,RP0
        return

; Subrutina "RS232_LeeDato" ------------------------------------------------
;
; El microcontrolador lee el dato por la línea de entrada comenzando por el bit de menor
; peso. El dato leído se envía finalmente en el registro de trabajo W.
;
; El ordenador parte siempre de un nivel alto, que es el estado que tiene cuando no
; envía información. La secuencia utilizada es:
; 1º    Espera que se ejecute el pulso negativo del bit Start o flanco de bajada.
; 2º    Deja pasar un tiempo una y media veces mayor que el periodo de transmisión para
;       saltarse el bit de Start y lee el primer bit en su mitad.
; 3º    Lee el resto de los bits de datos, esperando un tiempo igual a la duración del
;       periodo entre lectura y lectura para testearlos en mitad del bit.
;
; Salida: En el registro de trabajo W el byte leído.

RS232_LeeDato
        movlw   d'8'                    ; Número de bits a recibir.
        movwf   RS232_ContadorBits
RS232_EsperaBitStart
        btfsc   RS232_Entrada           ; Lee la entrada y espera a que sea "0".
        goto    RS232_EsperaBitStart    ; No, pues espera el nivel bajo.
        call    Retardo_100micros       ; El primer bit debe leerlo un tiempo igual a una
        call    Retardo_50micros        ; vez y media el periodo de transmisión.
RS232_LeeBit
        bcf     STATUS,C                ; Ahora lee el pin. En principio supone que es 0.
        btfsc   RS232_Entrada           ; ¿Realmente es cero?
        bsf     STATUS,C                ; No, pues cambia a "1".
        rrf     RS232_Dato,F            ; Introduce el bit en el registro de lectura.
        call    Retardo_100micros       ; Los siguientes bits los lee un periodo más tarde.
```

```
        decfsz  RS232_ContadorBits,F    ; Comprueba que es el último bit.
        goto    RS232_LeeBit            ; Si no es el último bit pasa a leer el siguiente.
        call    Retardo_200micros       ; Espera un tiempo igual al los 2 bits de Stop.
        movf    RS232_Dato,W            ; El resultado en el registro W.
        return

; Subrutinas "RS232_EnviaDato" y "RS232_EnviaNúmero" ----------------------------------
;
; El microcontrolador envía un dato por la línea de salida comenzando por el bit de menor
; peso. En dato enviado será el que le llegue a través del registro de trabajo W.
; 1º.   Envía un "0" durante un tiempo igual al periodo de la velocidad de transmisión.
;       Este es el bit de "Start".
; 2º.   Envía el bit correspondiente:
;       - Si va a enviar un "0" permanece en bajo durante el periodo correspondiente.
;       - Si va a escribir un "1" permanece en alto durante el periodo correspondiente.
; 3º.   Envía dos bits "1" durante un tiempo igual al período de la velocidad de
;       transmisión cada uno. Estos son los dos bits de Stop.
;
; Entrada: En (W) el dato a enviar.

RS232_EnviaNumero                       ; Envía el código ASCII de un número.
        addlw   '0'                     ; Lo pasa a código ASCII sumándole el ASCII del 0.
RS232_EnviaDato
        movwf   RS232_Dato              ; Guarda el contenido del byte a transmitir.
        movlw   d'8'                    ; Éste es el número de bits a transmitir.
        movwf   RS232_ContadorBits
        bcf     RS232_Salida            ; Bit de Start.
        call    Retardo_100micros
RS232_EnviaBit                          ; Comienza a enviar datos.
        rrf     RS232_Dato,F            ; Lleva el bit que se quiere enviar al Carry para
        btfss   STATUS,C                ; deducir su valor. ¿Es un "1" el bit a transmitir?
        goto    RS232_EnviaCero         ; No, pues envía un "0".
RS232_EnviaUno
        bsf     RS232_Salida            ; Transmite un "1".
        goto    RS232_FinEnviaBit
RS232_EnviaCero
        bcf     RS232_Salida            ; Transmite un "0".
RS232_FinEnviaBit
        call    Retardo_100micros       ; Éste es el tiempo que estará en alto o bajo.
        decfsz  RS232_ContadorBits,F    ; Comprueba que es el último bit.
        goto    RS232_EnviaBit          ; Como no es el último bit repite la operación.
        bsf     RS232_Salida            ; Envía dos bits de Stop.
        call    Retardo_200micros
        return
```

El programa necesario para gestionar los datos con el ordenador puede ser uno cualquiera que controle el puerto serie. Uno muy común es el *HyperTerminal* de Windows que es muy sencillo de utilizar, aunque los hay mejores.

Es importante resaltar que la configuración en el formato de transmisión y recepción debe ser igual para el programa de comunicaciones del ordenador que para las

subrutinas utilizadas po
configuración:

- Velocidad de tra
- Bits de datos: 8.
- Paridad: Ningur
- Bits de parada:

20.8 EL HYPER

HyperTerminal e
resulta válido para cone
comunicaciones mucho
por su facilidad de uso y

Puede ocurrir que
seguir el mismo procedi
en el siguiente orden: *P*
Windows > *Comunicaci*

Para ejecutar *Hyp*

1º Dentro de Wi
Comunicacione
un programa
denominada *Hy*
al usuario la in
nueva conexión



Figura 20-8 H

subrutinas utilizadas por el microcontrolador. En nuestro caso utilizaremos la siguiente configuración:

- Velocidad de transmisión: 9600 baudios.
- Bits de datos: 8.
- Paridad: Ninguna.
- Bits de parada: 2.

20.8 EL HYPERTERMINAL

HyperTerminal es un programa general de comunicaciones de Windows que resulta válido para conectarse con otros ordenadores o dispositivos. Hay programas de comunicaciones mucho más potentes que éste, sin embargo, *HyperTerminal* se caracteriza por su facilidad de uso y su fácil adquisición, ya que viene integrado dentro de Windows.

Puede ocurrir que el programa *HyperTerminal* no esté cargado, para ello hay que seguir el mismo procedimiento que para cualquier otro programa de Windows, ejecutando en el siguiente orden: *Panel de Control* > *Agregar o Quitar programas* > *Instalación de Windows* > *Comunicaciones* y activar la casilla correspondiente a *HyperTerminal*.

Para ejecutar *HyperTerminal* hay que seguir los siguientes pasos:

1º Dentro de Windows hay que activar *Inicio* > *Programas* > *Accesorios* > *Comunicaciones* y seleccionar *HyperTerminal*. Se advierte de que no se trata de un programa sino de una carpeta cuyo contenido es un único programa denominada *Hypertrm*. Cada vez que se ejecuta el programa *Hypertrm* se le pide al usuario la información suficiente para crear en la carpeta *HyperTerminal* una nueva conexión, es decir, un lugar de destino con el que conectarse.



Figura 20-8 HyperTerminal

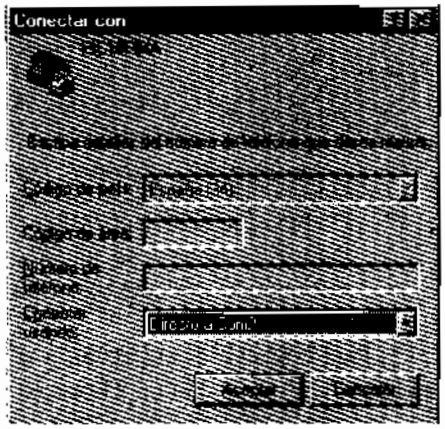


Figura 20-9 Conectar con...

2º Ejecutar el programa *Hypertrm* para crear una nueva conexión, para ésto se le pregunta el nombre que asignará a la conexión, se teclea por ejemplo "PIC16F84A" y se elige un icono con el que se quiera representar la conexión (figura 20-8).

3º En la siguiente pantalla *Conecta con* se selecciona la opción *Conectar usando: Directo a Com2* (figura 20-9). Se va a utilizar el puerto serie COM 2 para comunicar el ordenador y el microcontrolador. También se puede elegir el COM 1 si le es más conveniente al lector.

4º Aparece una pantalla con las *Propiedades de COM2* donde se establecen las apropiadas para el sistema utilizado. En nuestro caso hay que elegir las reflejadas en la pantalla de la figura 20-10.

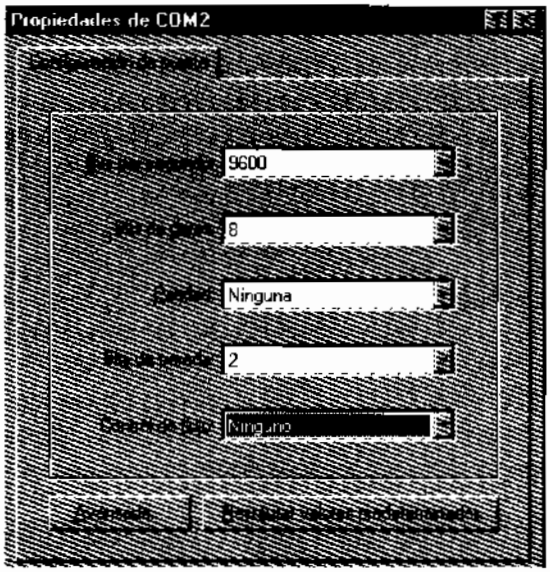
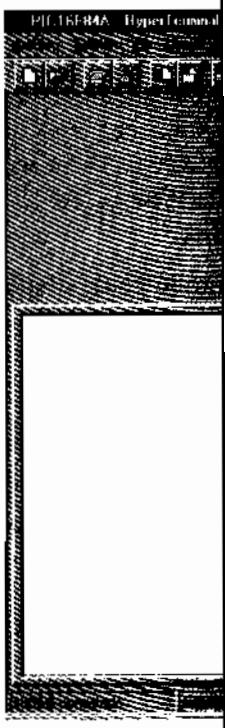


Figura 20-10 HyperTerminal. Configuración del puerto

5º A continuación aparece la pantalla de trabajo (figura 20-11).

6º Convendría seleccionar una fuente de letra grande para un trabajo más cómodo. Para ello, dentro de la pantalla de trabajo activar la opción *Ver > Fuente* y seleccionar, por ejemplo, el tipo de letra *Lucida Console 14* o alguna parecida.

Para conectar el ordenador y el microcontrolador a través del puerto serie COM 2, basta con activar la opción *Llama* (o icono de teléfono colgado) y para desconectar hay que activar opción *Desconecta* (o icono de teléfono descolgado). Evidentemente la conexión entre el puerto COM y el microcontrolador debe estar cableada de forma correcta mediante un cable RS232 como el de la figura 3-7 o similar.



Una vez confi
ha de ejecutar el icon
figura 20-12.

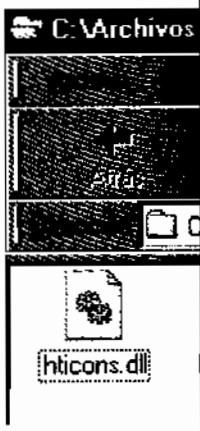


Figura 20-

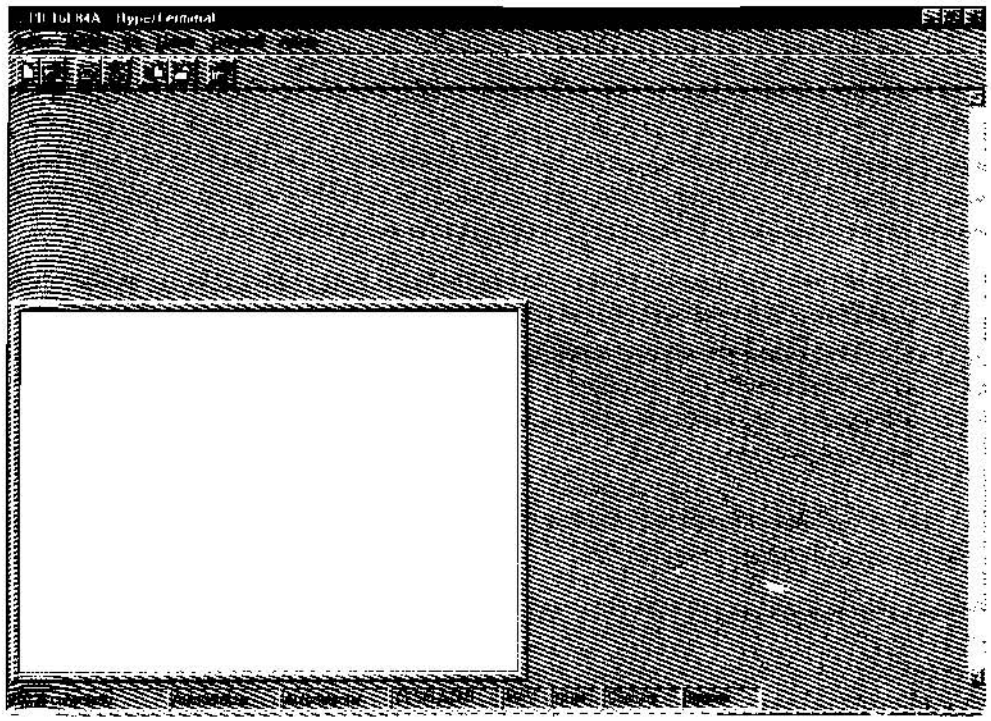


Figura 20-11 HyperTerminal. Pantalla de trabajo

Una vez configurada una conexión, para comenzar la comunicación simplemente ha de ejecutar el icono de la conexión previamente configurada, tal como se muestra en la figura 20-12.

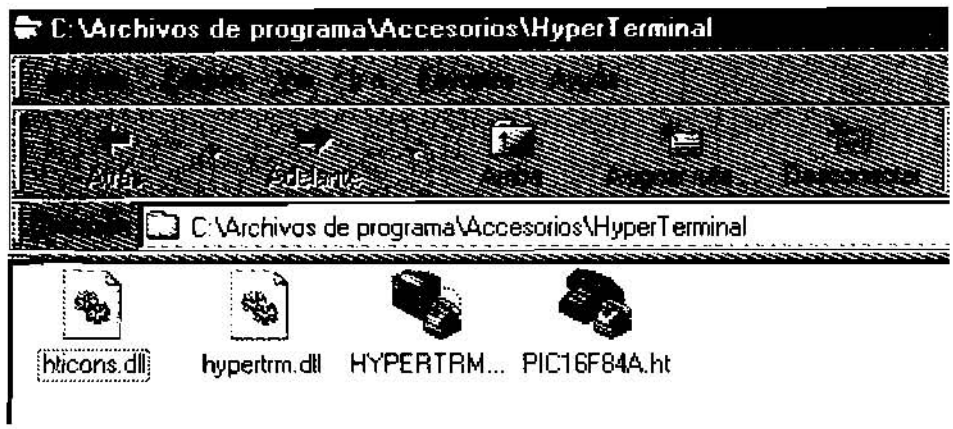


Figura 20-12 HyperTerminal. Ejemplos de conexiones configuradas

20.9 PROGRAMA EJEMPLO

Escribir por el teclado de un ordenador y que esta información se visualice en la pantalla del módulo LCD de un sistema con microcontrolador es un ejemplo inmediato de las aplicaciones que la conexión entre microcontrolador y puerto RS232 de un ordenador puede ofrecer. Para el correcto funcionamiento del siguiente programa ejemplo hay que cutnplir los tres requisitos fundamentales de este tipo de comunicaciones:

- **Hardware**: Se ejecuta sobre el circuito de la figura 20-13, no se ha de olvidar conectarlo al puerto COM 1 o COM 2 del ordenador a través del cable RS232.
- Un programa de comunicaciones que se debe abrir en el ordenador, como el *HyperTerminal* u otro similar.
- **Programa de control del rnicrocontrolador que** se debe ejecutar en el microcontrolador.

Un programa de control grabado en el rnicrocontrolador podría ser el siguiente ejemplo suficientemente **documentado:**

```
;********************************** RS232_02.asm ***********************************

; En el módulo LCD se visualizan los caracteres que se escriban en el teclado del ordenador
; y se transmiten a través de su puerto serie. Estos datos volverán a ser enviados por el
; microcontrolador al ordenador, por lo que también se visualizarán en su monitor.

; Se utilizará un programa de comunicaciones para que el ordenador pueda enviar datos
; a través de su puerto serie, como el HyperTerminal de Windows o alguno similar.

; Concluyendo, lo que re escriba en el teclado del ordenador aparecerá en la pantalla del
; módulo LCD y en el monitor del HyperTerminal.

; ZONA DE DATOS ***********************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        GuardaDato
        ENDC

; ZONA DE CÓDIGOS *********************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa          ; Inicializa el LCD y las líneas que se
        call    RS232_Inicializa        ; van a utilizar en la comunicación con el puerto
Principal                               ; serie RS232.
        call    RS232_LeeDato           ; Espera recibir un carácter.
        movwf   GuardaDato              ; Guarda el dato recibido.
        call    LCD_Caracter            ; Lo visualiza.
```



```
        movf    Gua
        call    RS2
        goto    Prin

        INCLUDE <R
        INCLUDE <L
        INCLUDE <R
        END
```

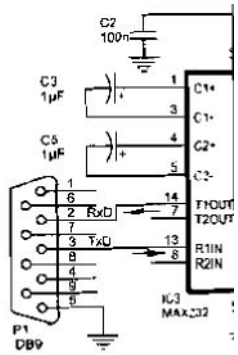


Figura 2

20.10 LIBRER

Una aplicacii
hacia el ordenador.
RS232_MEN.INC,

- "RS232_M
el microcon
- "RS232_Li
del ordenad

```
;**********
;
; Estas subrutinas permi
; ordenador a través del
;
; Subrutina "RS232_Me
```

```
        movf    GuardaDato,W            ; Y ahora lo reenvía otra vez al ordenador.
        call    RS232_EnviaDato
        goto    Principal               ; Repite el proceso.
;
        INCLUDE <RS232.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

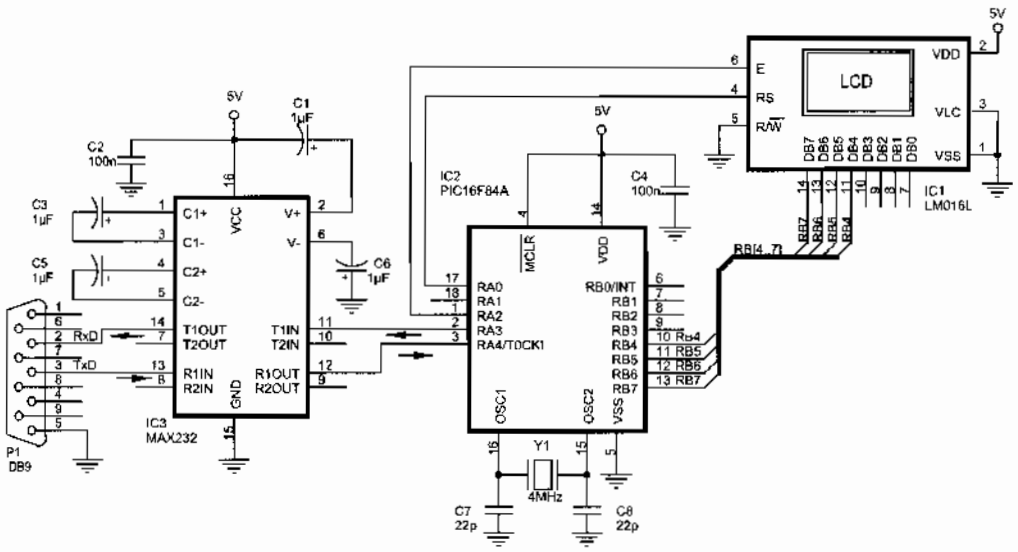


Figura 20-13 Hardware para el programa RS232_02.asm y otros

20.10 LIBRERÍA RS232_MEN.INC

Una aplicación muy útil es enviar mensajes desde el circuito del microcontrolador hacia el ordenador. Una librería con subrutinas para conseguir este objetivo puede ser la RS232_MEN.INC, con las subrutinas:

- "RS232_Mensaje". Visualiza en el monitor del ordenador un mensaje grabado en el microcontrolador.
- "RS232_LineasBlanco". Visualiza unas cuantas líneas en blanco en el monitor del ordenador.

```
;****************************** Librería "RS232MEN.INC" ***********************************
;
; Estas subrutinas permiten transmitir mensajes desde el microcontrolador hacia el
; ordenador a través del puerto serie RS232.
;
; Subrutina "RS232_Mensaje" ----------------------------------------------------------
```

```
;
; Envía por el puerto serie el mensaje apuntado por el registro W y grabado en memoria
; de programa del PIC. El mensaje se visualizará en el monitor del ordenador. Esta
; subrutina sigue la estructura de funcionamiento similar a la ya conocida "LCD_Mensaje"
; para visualización de mensajes en pantallas de  modulos LCD.
;
        CBLOCK
        RS232_ApuntaCaracter            ; Apunta al carácter a visualizar.
        RS232_ValorCaracter             ; Valor ASCII del carácter a visualizar.
        ENDC

RS232_Mensaje
        movwf   RS232_ApuntaCaracter    ; Posición del primer carácter del mensaje.
        movlw   Mensajes                ; Halla la posición relativa del primer carácter
        subwf   RS232_ApuntaCaracter,F  ; del mensaje respecto del comienzo de todos los
                                        ; mensajes (identificados mediante la etiqueta
                                        ; "Mensajes").
        decf    RS232_ApuntaCaracter,F  ; Para compensar la posición que ocupa la
RS232_VisualizaOtroCaracter             ; instrucción "addwf PCL,F".
        movf    RS232_ApuntaCaracter,W  ; Apunta al carácter a visualizar.
        call    Mensajes                ; Obtiene el código ASCII del carácter apuntado.
        movwf   RS232_ValorCaracter     ; Guarda el valor de carácter.
        movf    RS232_ValorCaracter,F   ; Lo único que hace es posicionar flag Z. En caso
        btfsc   STATUS,Z                ; que sea "0x00", que es código indicador final
        goto    RS232_FinMensaje        ; de mensaje, sale fuera.
RS232_NoUltimoCaracter
        call    RS232_EnviaDato         ; Visualiza el carácter ASCII leído.
        incf    RS232_ApuntaCaracter,F  ; Apunta a la posición del siguiente carácter
        goto    RS232_VisualizaOtroCaracter ; dentro del mensaje.
RS232_FinMensaje
        return

; Subrutina "RS232_LineasBlanco" ----------------------------------
;
; Visualiza unas cuantas líneas en blanco en el monitor del ordenador.

        CBLOCK
        RS232_ContadorLineas
        ENDC

RS232_LineasBlanco
        movlw   d'10'                   ; Por ejemplo este número de líneas en
        movwf   RS232_ContadorLineas    ; blanco.
R232_LineasBlancoLazo
        movlw   .10                     ; Código del salto de línea
        call    RS232_EnviaDato
        decfsz  RS232_ContadorLineas,F
        goto    R232_LineasBlancoLazo
        movlw   .13                     ; Código del retorno de carro.
        call    RS232_EnviaDato         ; Finaliza con un retorno de carro.
        return
```


El siguiente
HyperTerminal.

```
;*****************
;
; Este programa envía un
; ordenador. Es decir, en
;
; ZONA DE DATOS ***

        __CONFIG
        LIST    P=
        INCLUDE <P

        CBLOCK 0x0
        ENDC

RetornoCarro    EQU
CambioLinea     EQU

; ZONA DE CÓDIGOS *

        ORG     0
Inicio
        call    LCD
        call    RS23
Principal
        movlw   Men
        call    RS23
        call    Reta
        goto    Princ

; "Mensajes" ----------

Mensajes
        addwf   PCL,
Mensaje0
        DT RetornoCa
        DT " En el I.E.
        DT RetornoCa
        DT "    se pue
        DT RetornoCa
        DT "    DESA
        DT CambioLin

        INCLUDE <R
        INCLUDE <R
        INCLUDE <L
        INCLUDE <R
        END
```

El siguiente programa ejemplo lanza un mensaje publicitario a la ventana del *HyperTerminal*.

```
;************************************ RS232_05.asm ************************************
;
; Este programa envía un mensaje grabado en la memoria de programa del microcontrolador al
; ordenador. Es decir, en el monitor del ordenador aparecerá el mensaje grabado en el PIC.
;
; ZONA DE DATOS ***********************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        ENDC

RetornoCarro    EQU     .13             ; Código de tecla "Enter" o "Retorno de Carro".
CambioLinea     EQU     .10             ; Código para el cambio de línea.

; ZONA DE CÓDIGOS *********************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa          ; Inicializa el módulo LCD y las líneas que se
        call    RS232_Inicializa        ; van a utilizar en la comunicación con el puerto
Principal                               ; serie RS232.
        movlw   Mensaje0                ; Carga la primera posición del mensaje.
        call    RS232_Mensaje           ; Lo visualiza en el ordenador.
        call    Retardo_5s
        goto    Principal
;
; "Mensajes" ----------------------------------------------------------
;
Mensajes
        addwf   PCL,F
Mensaje0
        DT RetornoCarro
        DT " En el I.E.S. ISAAC PERAL de Torrejon de Ardoz"
        DT RetornoCarro, CambioLinea
        DT "    se puede estudiar el Ciclo Formativo"
        DT RetornoCarro, CambioLinea
        DT "  DESARROLLO de PRODUCTOS ELECTRONICOS."
        DT CambioLinea, CambioLinea, CambioLinea, 0x00

        INCLUDE <RS232.INC>
        INCLUDE <RS232MEN.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

20.11 SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

Un sistema de monitorización de entradas permite visualizar en el monitor del ordenador el estado de unas entradas conectadas al PIC16F84A, como en el ejemplo de la figura 20-14. A continuación se expone un ejemplo de programa de control suficientemente documentado.

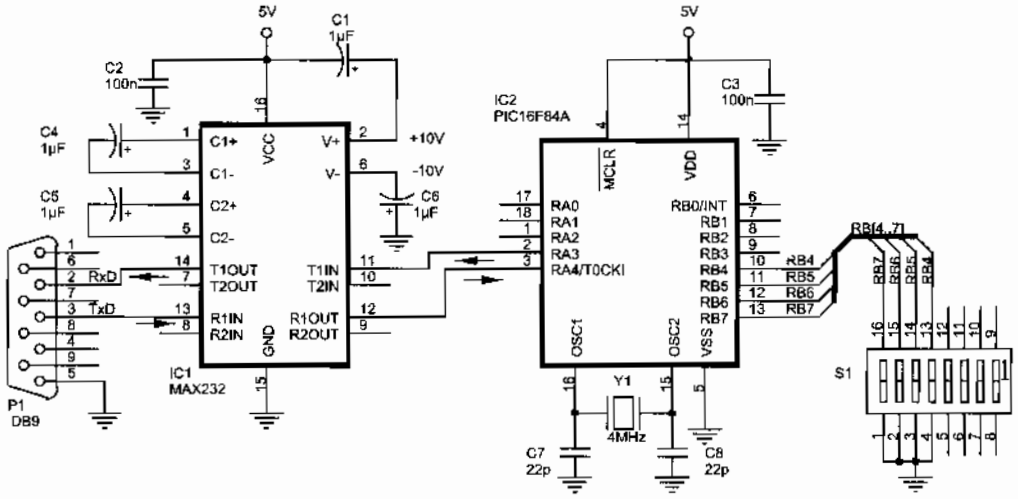
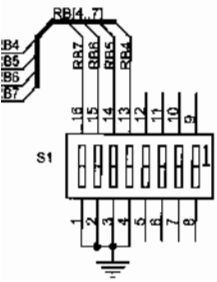


Figura 20-14 Sistema de monitorización

```
;************************************ RS232_10.asm ************************************
;
; SISTEMA DE MONITORIZACIÓN: Se trata de leer el estado de las entradas conectadas a las
; líneas <RB7:RB4> del Puerto B y se envía por el puerto RS232 a un terminal para monitorizar
; el estado de los mismos.
; Se utilizará las interrupciones por cambio de nivel en una línea del Puerto B, por ello
; las entradas deben conectarse a la parte alta del Puerto B.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK0x0C
        ENDC

RetornoCarro    EQU   .13          ; Código de tecla "Enter" o "Retorno de Carro".
CambioLinea     EQU   .10          ; Código para el cambio de línea.

#DEFINE Entrada0 PORTB,4           ; Define dónde se sitúan las entradas.
#DEFINE Entrada1 PORTB,5
#DEFINE Entrada2 PORTB,6
```

r en el monitor del
) en el ejemplo de la
)grama de control



****

adas a las
nitorizar

****

o de Carro".

as.


```
#DEFINE Entrada3 PORTB,7

; ZONA DE CODIGOS **********************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4                       ; Aquí se sitúa el vector de interrupción para
        goto    LeeEntradasVisualiza    ; atender las subrutinas de interrupción.

Mensajes                                ; Los mensajes no deben sobrepasar las 256
        addwf   PCL,F                   ; primeras posiciones de memoria de programa.
MensajeEntradas
        DT RetornoCarro, CambioLinea
        DT "Entrada 3   Entrada 2   Entrada 1   Entrada 0"
        DT RetornoCarro, CambioLinea
        DT "--------  --------  --------  --------"
        DT RetornoCarro, CambioLinea, 0x00
MensajeAbierto
        DT " Abierto    ", 0x00
MensajeCerrado
        DT " Cerrado    ", 0x00

Inicio
        call    RS232_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0              ; Configura como entrada las 4 líneas correspondientes
        bsf     Entrada0                ; del Puerto B respetando la configuración del
        bsf     Entrada1                ; resto de las líneas.
        bsf     Entrada2
        bsf     Entrada3
        bcf     OPTION_REG,NOT_RBPU     ; Activa las resistencias de Pull-Up del Puerto B.
        bcf     STATUS,RP0
        call    RS232_LineasBlanco      ; Visualiza unas cuantas líneas en blanco
        call    RS232_LineasBlanco      ; para limpiar la pantalla.
        call    LeeEntradasVisualiza    ; Lee las entradas y visualiza por primera vez.
        movlw   b'10001000'             ; Habilita la interrupción RBI y la general.
        movwf   INTCON
Principal
        sleep                           ; Espera en modo de bajo consumo que se
        goto    Principal               ; modifique una entrada.

; Subrutina de Servicio a la Interrupcion" ----------------------------------------
;
; Lee el estado de las entradas y las monitoriza en la pantalla del HyperTerminal.

LeeEntradasVisualiza
        call    RS232_LineasBlanco
        movlw   MensajeEntradas         ; Nombre de las entradas.
        call    RS232_Mensaje           ; Lo visualiza en el ordenador.
LeeEntrada3
        btfss   Entrada3                ; ¿Entrada = 1?, ¿Entrada = Abierta?
        goto    Entrada3Cerrado         ; No, está cerrada.
        call    VisualizaAbierto
        goto    LeeEntrada2
```

```
Entrada3Cerrado
        call    VisualizaCerrado
LeeEntrada2
        btfss   Entrada2                ; Se repite el procedimiento para las
        goto    Entrada2Cerrado         ; demás entradas.
        call    VisualizaAbierto
        goto    LeeEntrada1
Entrada2Cerrado
        call    VisualizaCerrado
LeeEntrada1
        btfss   Entrada1
        goto    Entrada1Cerrado
        call    VisualizaAbierto
        goto    LeeEntrada0
Entrada1Cerrado
        call    VisualizaCerrado
LeeEntrada0
        btfss   Entrada0
        goto    Entrada0Cerrado
        call    VisualizaAbierto
        goto    FinVisualiza
Entrada0Cerrado
        call    VisualizaCerrado
FinVisualiza
        call    RS232_LineasBlanco
        bcf     INTCON,RBIF             ; Limpia el flag de reconocimiento de la
        retfie                          ; interrupción.
;
VisualizaAbierto
        movlw   MensajeAbierto          ; Visualiza el mensaje "Abierto"
        call    RS232_Mensaje           ; en el HyperTerminal.
        return
VisualizaCerrado
        movlw   MensajeCerrado          ; Visualiza el mensaje "Cerrado"
        call    RS232_Mensaje           ; en el HyperTerminal.
        return

        INCLUDE <RS232.INC>
        INCLUDE <RS232MEN.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

20.12 SISTEMA DE GOBIERNO DESDE ORDENADOR

Una de las aplicaciones más interesantes es el control mediante ordenador de dispositivos conectados a un microcontrolador. En el siguiente ejemplo, mediante el teclado de un ordenador, se van a controlar cuatro salidas simuladas con cuatro diodos LEDs. El hardware utilizado es el descrito en la figura 20-15 y el programa de control a cargar en el PIC16F84A podría ser:

```
;********************************** RS232_11.asm ***********************************
;
; SISTEMA DE GOBIERNO DESDE ORDENADOR: Desde el teclado de un ordenador se desea comandar
; el movimiento de una estructura móvil, según la siguiente tabla:
;
;       TECLA (Por ejemplo)     MOVIMIENTO
;       -------------------     ----------
;               t               Adelante
;               b               Atrás
;               a               Izquierda
;               l               Derecha
;            Espacio            Parada
;
; La pulsación de cualquiera de estas teclas activa el estado de las salidas correspondiente
; RB3 (Adelante), RB2 (Atrás), RB1 (Izquierda), RB0 (Derecha) y apaga el resto.
;
; El movimiento que se está realizando aparece reflejado en un mensaje en el visualizador LCD
; del sistema y también en la pantalla del ordenador.
;
; El programa debe permitir modificar facilmente en posteriores revisiones en el hardware de
; la salida. Es decir, para activar las salidas conviene utilizar el direccionamiento por bit
; en lugar de por byte (utilizar instrucciones "bsf" y "bcf", en lugar de "mov..").
;
; ZONA DE DATOS ***********************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16f84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        TeclaPulsada                    ; Va a guardar el contenido de la tecla pulsada.
        MensajeApuntado                 ; Va a guarda la dirección del mensaje apuntado.
        ENDC

#DEFINE SalidaAdelante    PORTB,3       ; Define dónde se sitúan las salidas.
#DEFINE SalidaAtras       PORTB,2
#DEFINE SalidaIzquierda   PORTB,1
#DEFINE SalidaDerecha     PORTB,0

TeclaAdelante   EQU   't'               ; Código de las teclas utilizadas.
TeclaAtras      EQU   'b'
TeclaIzquierda  EQU   'a'
TeclaDerecha    EQU   'l'
TeclaParada     EQU   ' '               ; Código de la tecla espaciadora, (hay un espacio,
                                        ; tened cuidado al teclear el programa).
; ZONA DE CÓDIGOS *********************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        call    RS232_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0              ; Configura como salidas las 4 líneas del
        bcf     SalidaAdelante          ; del Puerto B respetando la configuración del
```

```
        bcf     SalidaAtras             ; resto de las líneas.
        bcf     SalidaIzquierda
        bcf     SalidaDerecha
        bcf     STATUS,RP0
        call    Parado                  ; En principio todas las salidas deben estar
Principal                               ; apagadas.
        call    RS232_LeeDato           ; Espera a recibir un carácter.
        call    TesteaTeclado
        goto    Principal

; "Mensajes" ----------------------------------------------------------------
;
Mensajes
        addwf   PCL,F
MensajeParado
        DT "Sistema PARADO", 0x00
MensajeAdelante
        DT "Marcha ADELANTE", 0x00
MensajeAtras
        DT "Marcha ATRAS", 0x00
MensajeIzquierda
        DT "Hacia IZQUIERDA", 0x00
MensajeDerecha
        DT "Hacia DERECHA", 0x00

; Subrutina "TesteaTeclado" -------------------------------------------------
;
; Testea el teclado y actúa en consecuencia.

TesteaTeclado
        movwf   TeclaPulsada            ; Guarda el contenido de la tecla pulsada.
        xorlw   TeclaAdelante           ; ¿Es la tecla del movimiento hacia adelante?
        btfsc   STATUS,Z
        goto    Adelante                ; Sí, se desea movimiento hacia adelante.
;
        movf    TeclaPulsada,W          ; Recupera el contenido de la tecla pulsada.
        xorlw   TeclaAtras              ; ¿Es la tecla del movimiento hacia atrás?
        btfsc   STATUS,Z
        goto    Atras                   ; Sí, se desea movimiento hacia atrás.
;
        movf    TeclaPulsada,W          ; Recupera el contenido de la tecla pulsada.
        xorlw   TeclaIzquierda          ; ¿Es la tecla del movimiento hacia la izquierda?
        btfsc   STATUS,Z
        goto    Izquierda               ; Sí, se desea movimiento hacia la izquierda.
;
        movf    TeclaPulsada,W          ; Recupera el contenido de la tecla pulsada.
        xorlw   TeclaDerecha            ; ¿Es tecla del movimiento hacia la derecha?
        btfsc   STATUS,Z
        goto    Derecha                 ; Sí, se desea movimiento hacia la derecha.
;
        movf    TeclaPulsada,W          ; Recupera el contenido de la tecla pulsada.
        xorlw   TeclaParada             ; ¿Es la tecla de parada?.
        btfss   STATUS,Z
```



```
        goto    Fin
Parado
        bcf     Salid
        bcf     Salid
        bcf     Salid
        bcf     Salid
        movlw   Men
        goto    Visu
Adelante
        bcf     Salid
        bsf     Salid
        bcf     Salid
        bcf     Salid
        movlw   Mens
        goto    Visu
Atras
        bcf     Salid
        bsf     Salid
        bcf     Salid
        bcf     Salid
        movlw   Mens
        goto    Visu
Izquierda
        bcf     Salid
        bcf     Salid
        bsf     Salid
        bcf     Salid
        movlw   Mens
        goto    Visu
Derecha
        bcf     Salid
        bcf     Salid
        bcf     Salid
        bsf     Salid
        movlw   Mens

; Según el estado de las sa
; el monitor del ordenador.

Visualiza
        movwf   Mens
        call    LCD
        movf    Mens
        call    LCD
        call    RS23
        movf    Mens
        call    RS23
        call    RS23
Fin     return

        INCLUDE <RS
        INCLUDE <RS
        INCLUDE <LC
        INCLUDE <LC
        INCLUDE <RE
        END
```

```
        goto    Fin                 ; No es ninguna tecla de movimiento. Sale.
Parado
        bcf     SalidaAdelante      ; Como se ha pulsado la tecla de parada se
        bcf     SalidaAtras         ; desactivan todas las salidas.
        bcf     SalidaIzquierda
        bcf     SalidaDerecha
        movlw   MensajeParado
        goto    Visualiza
Adelante
        bcf     SalidaAtras
        bsf     SalidaAdelante
        bcf     SalidaIzquierda
        bcf     SalidaDerecha
        movlw   MensajeAdelante
        goto    Visualiza
Atras
        bcf     SalidaAdelante
        bsf     SalidaAtras
        bcf     SalidaIzquierda
        bcf     SalidaDerecha
        movlw   MensajeAtras
        goto    Visualiza
Izquierda
        bcf     SalidaAdelante
        bcf     SalidaAtras
        bsf     SalidaIzquierda
        bcf     SalidaDerecha
        movlw   MensajeIzquierda
        goto    Visualiza
Derecha
        bcf     SalidaAdelante
        bcf     SalidaAtras
        bcf     SalidaIzquierda
        bsf     SalidaDerecha
        movlw   MensajeDerecha

; Según el estado de las salidas visualiza el estado del sistema en el visualizador LCD y en
; el monitor del ordenador.

Visualiza
        movwf   MensajeApuntado     ; Guarda la posición del mensaje.
        call    LCD_Borra           ; Borra la pantalla del modulo LCD.
        movf    MensajeApuntado,W   ; Visualiza el mensaje en la pantalla
        call    LCD_Mensaje         ; del visualizador LCD.
        call    RS232_LineasBlanco  ; Borra la pantalla del ordenador.
        movf    MensajeApuntado,W
        call    RS232_Mensaje       ; Lo visualiza en el HyperTerminal.
        call    RS232_LineasBlanco
Fin     return

        INCLUDE <RS232.INC>
        INCLUDE <RS232MEN.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

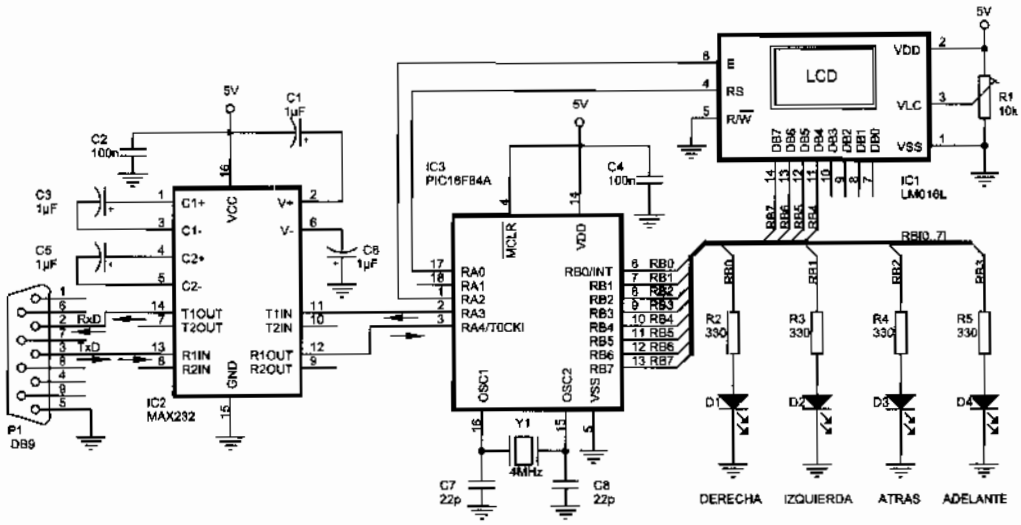


Figura 20-15 Sistema de gobierno mediante ordenador

20.13 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

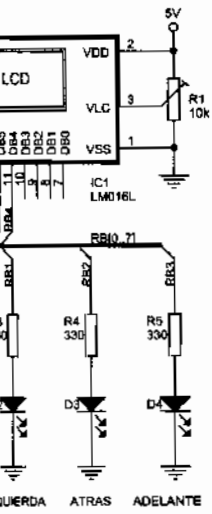
Respetando el procedimiento descrito en los temas anteriores, diseñar, ensamblar, simular, grabar el microcontrolador y comprobar los siguientes programas utilizando el hardware apropiado para cada uno de ellos. El lector puede introducir todas las mejoras que considere conveniente.

RS232_01.asm: Lo que se escriba por el teclado del ordenador se visualizará en el módulo LCD.

RS232_02.asm: Programa igual que en anterior con la diferencia de que lo escrito por el teclado del ordenador se visualizará en el módulo LCD y volverá a ser enviado al ordenador por lo que se visualizará, también en el monitor de este.

RS232_03.asm: Lo que se escriba por el teclado se visualizará en el módulo LCD y en el monitor del ordenador, pero en este último se visualizará un solo carácter por línea.

RS232_04.asm: Este programa es igual que el RS232_02.asm pero con la diferencia de que si pulsa el retorno de carro comienza a escribir en la segunda línea del módulo LCD.



dor

diseñar, ensamblar,
gramas utilizando el
ir todas las mejoras

se visualizará en el

cia de que lo escrito
erá a ser enviado al

i en el módulo LCD
o carácter por línea.

2.asm pero con la
la segunda línea del

RS232_05.asm: Envía un mensaje grabado en la memoria de programa del microcontrolador al ordenador que aparece en la pantalla del ordenador. Se utilizará una subrutina RS232_Mensaje que previamente se ha realizado en la librería RS232MEN.INC.

RS232_06.asm: Envía varios mensajes grabados en la memoria de programa del microcontrolador al monitor del ordenador. Cada mensaje permanecerá en el monitor durante unos segundos hasta que aparezca el siguiente.

RS232_07.asm: En el monitor del ordenador se visualizan mensajes grabados en la memoria de programa del microcontrolador. El cambio de mensaje se ejecuta cada vez que se pulse la tecla *Enter*.

RS232_08.asm: Visualiza en la pantalla del módulo LCD el código ASCII en formato hexadecimal de la tecla pulsada y también en el monitor del ordenador en formato decimal. Por ejemplo:

- Monitor del ordenador: *"k-107"*, donde la "k" es la tecla pulsada y el "107" el código ASCII en formato decimal.
- Pantalla LCD: *"k-6B"*, donde la "k" es la tecla pulsada y el "6B" el código ASCII en formato hexadecimal.

RS232_09.asm: Sistema de monitorización. Se utilizará el circuito descrito en esquema de la figura 20-14. Se trata de leer el estado de las entradas conectadas a las líneas RB4 a RB7 del Puerto B y se envía vía serie por el puerto RS232 al ordenador para monitorizar el estado de los mismos. El estado de las entradas se mostrará cada 5 segundos.

RS232_10.asm: Igual que el ejercicio anterior pero realizado mediante interrupciones por cambio en una de las líneas altas del Puerto B.

RS232_11.asm: Sistema de gobierno desde ordenador. Se utilizará el montaje de la figura 20.15. Desde el teclado de un ordenador se desea gobernar el movimiento de una estructura móvil, según la tabla 20-1. La pulsación de cualquiera de estas teclas activa el estado de las salidas correspondiente RB3 (Adelante), RB2 (Atrás), RB1 (Izquierda), RB0 (Derecha) y apaga el resto.

El movimiento que se está realizando aparece reflejado en un mensaje en la pantalla del módulo LCD del sistema y también en el monitor del ordenador.

El programa debe permitir una fácil modificación en el hardware de salida para posteriores revisiones. Para activar las salidas conviene utilizar el direccionamiento por bit en lugar de por byte, y emplear instrucciones *bsf* y *bcf*, en lugar de las "mov".

TECLA	MOVIMIENTO
T	Adelante
B	Atrás
A	Izquierda
L	Derecha
(Espacio)	Parada

Tabla 20-1

© RA-MA

CAPÍTULO 21

BUS I2C

Actualmente hay en el mercado multitud de dispositivos que son gobernados por un bus serie desarrollado por la empresa *Philips* que es conocido como bus I2C. Entre estos dispositivos podemos encontrar desde un simple circuito integrado hasta sistemas completos, como puede ser un sintonizador. En este capítulos y posteriores se describe el bus I2C, así como algunos de los dispositivos que se pueden utilizar.

21.1 EL BUS I2C

Numerosos proyectos que utilizan microcontroladores de 8 bits suelen regirse por criterios de diseños muy reiterados:

- El sistema consta de, al menos, un microcontrolador y varios dispositivos periféricos como memorias, LCD, convertidores ADC, etc.
- La conexión entre los distintos dispositivos que componen el sistema debe ser fácil de realizar y su coste mínimo.
- Estos sistemas suelen realizar funciones que no requieren una alta tasa de transferencia de datos, generalmente no superior a 100 kbits por segundo.
- El sistema no debe depender de los dispositivos conectados a él. De otro modo no sería posible realizar modificaciones o mejoras.

Para implementar un sistema que satisfaga estos criterios se necesita una estructura de **bus serie**, ya que aunque no tienen ni la capacidad ni la velocidad de los buses paralelos, requieren poco hardware y un mínimo de cableado. Este bus serie no debe ser simplemente un hilo de conexión, debe incorporar una serie de procedimientos o protocolos para la correcta comunicación entre los componentes del sistema.

Todos estos criterios son la base sobre la que se fundamentan las especificaciones del **bus serie I2C** para la interconexión de circuitos integrados o bus I^2C *(IIC, Inter Integrated Circuit Bus)* desarrollado por *Philips Semiconductors* (www.semiconductors.philips.com) y que es ampliamente utilizado en la industria electrónica.

El I2C es un bus serie, formado por dos hilos, que puede conectar varios dispositivos mediante un hardware muy simple, tal como ilustra la figura 21-1. Por esos dos hilos se produce una comunicación serie, bit a bit. Se transmiten dos señales, una por cada línea:

- **SCL,** *(Serial Clock)*. Es la señal de reloj que se utiliza para la sincronización de los datos.
- **SDA,** (*Serial Data)*. Es la línea para la transferencia serie de los datos.

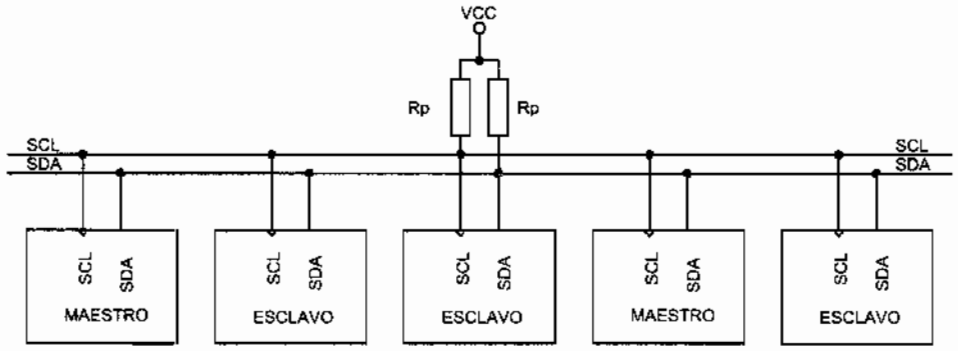


Figura 21-1 Estructura de un bus I2C

Los dispositivos conectados al bus I2C mantienen un protocolo de comunicaciones del tipo maestro/esclavo (o *master/slave*). Las funciones del maestro y del esclavo se diferencian en:

- El circuito maestro inicia y termina la transferencia de información, además de controlar la señal de reloj. Normalmente es un microcontrolador.
- El esclavo es el circuito direccionado por el maestro.

La línea SDA es bidireccional, es decir, tanto el maestro como los esclavos pueden actuar como transmisores o receptores de datos, dependiendo de la función del dispositivo. Así por ejemplo, un display es sólo un receptor de datos mientras que una memoria recibe y transmite datos.

La generación de señales de reloj (SCL) es siempre responsabilidad del maestro.

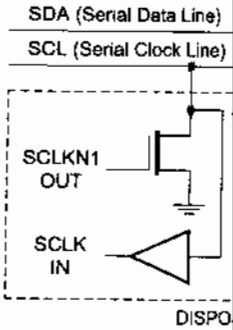
Cada dispositivo conectado al bus I2C es reconocido por una única dirección que lo diferencia del resto de los circuitos conectados. Los dispositivos compatibles con bus

I2C suelen llevar 2
diseñador pueda evit
dirección.

El bus I2C pu
dispositivo capaz de
un solo microcontrola

21.2 HARDW

El hardware de
salida de los dispositi
para poder realizar la



Fig

Las líneas SDA
de unas resistencias d
cada dispositivo puede

- Que el transist
correspondient
decir, el bus es
- Que el transist
de la línea dep
hay ningún ot
través de la res

El cálculo de las
la capacidad del bus y

I2C suelen llevar 2 ó 3 pines para poder modificar esta dirección de modo que el diseñador pueda evitar que en un mismo diseño haya 2 o más esclavos con la misma dirección.

El bus I2C puede ser *multi-master*, esto significa que puede soportar más de un dispositivo capaz de controlar el bus. Los sistemas más comunes están constituidos por un solo microcontrolador maestro.

21.2 HARDWARE DEL BUS I2C

El hardware del bus I2C se basa en la And cableada (figura 21-2). Las etapas de salida de los dispositivos conectados al bus deben ser drenador abierto, o colector abierto, para poder realizar la función And cableada.

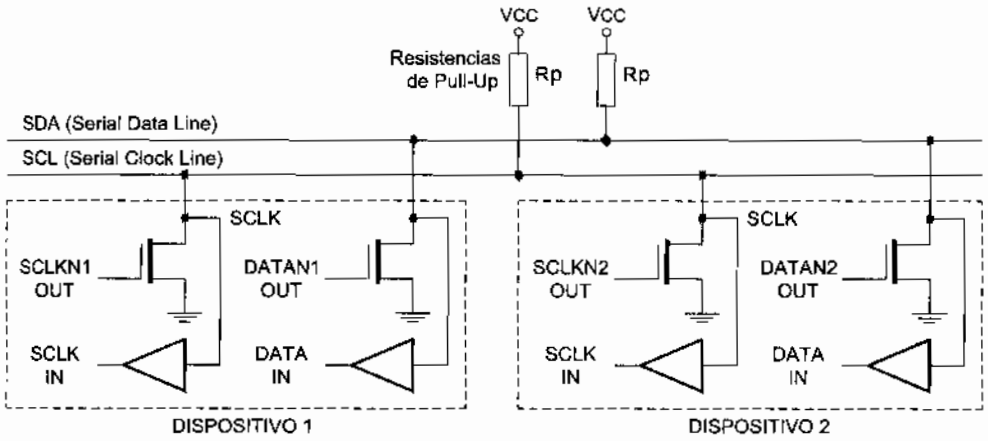


Figura 21-2 Etapa de salida de los dispositivos I2C

Las líneas SDA y SCL están conectadas a tensión positiva de alimentación a través de unas resistencias de Pull-Up, Rp. Dependiendo del estado del transistor de salida de cada dispositivo puede ocurrir alguno de estos dos casos:

- Que el transistor esté saturado, con lo cual lleva a nivel bajo o "0", a la línea correspondiente, independientemente del estado de los otros transistores. Es decir, el bus está ocupado a nivel bajo.
- Que el transistor esté en corte (estado de alta impedancia) con lo cual el estado de la línea depende de los otros transistores. Es decir, el bus está libre y, si no hay ningún otro transistor saturado, la línea se encuentran en estado alto a través de la resistencia de Pull-Up conectada a la alimentación.

El cálculo de las resistencias de Pull-Up depende de la tensión de alimentación, de la capacidad del bus y del número de dispositivos conectados. Esto se tabula en unas

tablas que facilita el fabricante *Philips Semiconductors*. De todas formas, un valor de 4k7 es satisfactorio para la mayoría de las aplicaciones.

Se pueden transferir datos por el bus a una velocidad máxima de 100 kbits por segundo (modo *standard*). El número de dispositivos conectados al bus viene limitado por la capacidad máxima admitida, que es de 400 pF.

21.3 TRANSFERENCIA DE UN BIT POR LA LÍNEA SDA

Para transferir un bit por la línea de datos SDA debe ser generado un pulso de reloj por la línea SCL (figura 21-3). Los bits de datos transferidos por la línea SDA deben mantenerse estables mientras la línea SCL esté a nivel alto. El estado de la línea SDA sólo puede cambiar cuando la línea SCL está a nivel bajo.

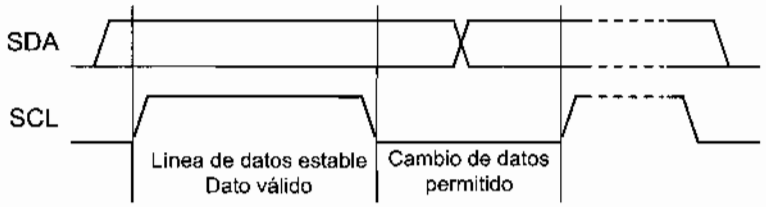


Figura 21-3 Transferencia por un bit por el bus I2C

Si la línea SDA cambia mientras SCL está a nivel alto, no se interpreta como dato, sino como una condición especial *(Start* o *Stop)*, explicada a continuación.

21.4 CONDICIONES DE START Y STOP

Para que la transferencia de información pueda ser iniciada el bus no debe estar ocupado. Esto quiere decir que los transistores de salida de todos los dispositivos conectados al bus I2C deben estar en alta impedancia. Para indicar que el bus está libre (no ocupado) las líneas del reloj (SCL) y datos (SDA) deben estar a nivel alto. Una vez que se ha verificado esto, el transmisor procederá a enviar un bit cada pulso de reloj.

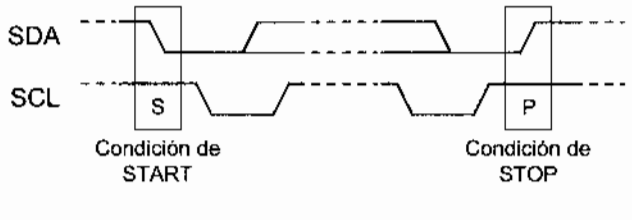


Figura 21-4 Condiciones de Start y Stop

En la transmisi

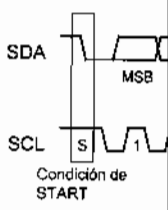
1º **Condición d**
permanece a
datos.
2º **Transmisión**
3º **Condición d**
nivel alto. Ést

Las condicione
maestro. El bus I2C
considera libre de nu
dispositivos esclavos
necesario que le permi

21.5 TRANSF

Cada dato envi
bytes que se puede en
por el bit 7 que es de m

Una vez que s
asentimiento o recon
receptor ejecuta este re
Cada grupo de 8 bits d



Fig

El bit de recono
de reloj SCL correspo
transmisor deja libre la
ha de hacer que la líne
impuso de reloj SCL (f

Si el esclavo-rec
debe detectar la situac

En la transmisión de datos se da la siguiente secuencia de sucesos (figura 21-4):

1° **Condición de *Start***. SDA debe estar en flanco de bajada mientras que SCL permanece a nivel alto. Esta condición señala el comienzo de la transferencia de datos.
2° **Transmisión de los bits** de información a cada pulso de reloj.
3° **Condición de *Stop*. SDA** en flanco de subida mientras que SCL permanece a nivel alto. Ésta es la condición que indica el fin de la transferencia.

Las condiciones de Start y Stop son siempre generadas por el microcontrolador maestro. El bus I2C se considera ocupado después de la condición de Start. El bus se considera libre de nuevo después de un cierto tiempo tras la condición de Stop. Los dispositivos esclavos compatibles con bus I2C deben poseer el hardware de acoplamiento necesario que le permita detectar las condiciones de Start y Stop.

21.5 TRANSFERENCIA DE DATOS

Cada dato enviado por la línea SDA debe tener 8 bits (un byte). El número de bytes que se puede enviar no tiene restricción. El byte de datos se transfiere empezando por el bit 7 que es de mayor peso, denominado MSB *(Most Significant Bit)*.

Una vez que se han transmitido los 8 bits el receptor deberá mandar un bit de asentimiento o reconocimiento *(acknowledgement)* en el noveno pulso de reloj. El receptor ejecuta este reconocimiento poniendo la señal SDA a un nivel bajo (figura 21-5). Cada grupo de 8 bits debe ser asentido.

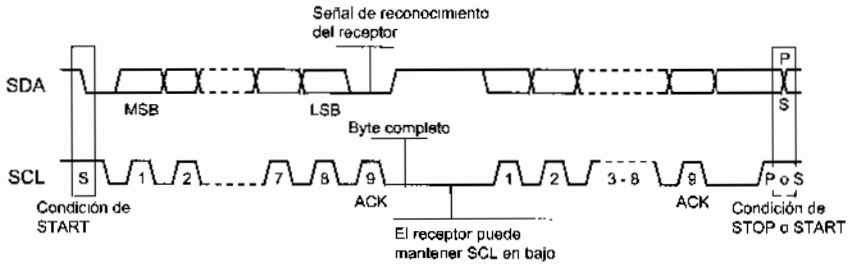


Figura 21-5 Transferencia de datos por el bus I2C

El bit de reconocimiento ACK es obligatorio en la transferencia de datos. El pulso de reloj SCL correspondiente al bit de reconocimiento es generado por el maestro. El transmisor deja libre la línea SDA (la pone en alta impedancia o a nivel alto). El receptor ha de hacer que la línea SDA pase a nivel bajo estable durante el periodo alto del noveno impuso de reloj SCL (figura 21-6).

Si el esclavo-receptor que esta direccionado no desea recibir mas bytes el maestro debe detectar la situación y no enviarle más datos. Esto se indica porque el esclavo no

genera el bit ACK del último byte quedando la línea SDA a nivel alto, lo cual es detectado por el maestro que puede generar la condición Stop y aborta la transferencia de datos.

No es imprescindible enviar una condición de Stop para abortar una transferencia de datos. Si se repite la condición de Start se aborta la transferencia de datos anterior y se comienza una nueva.

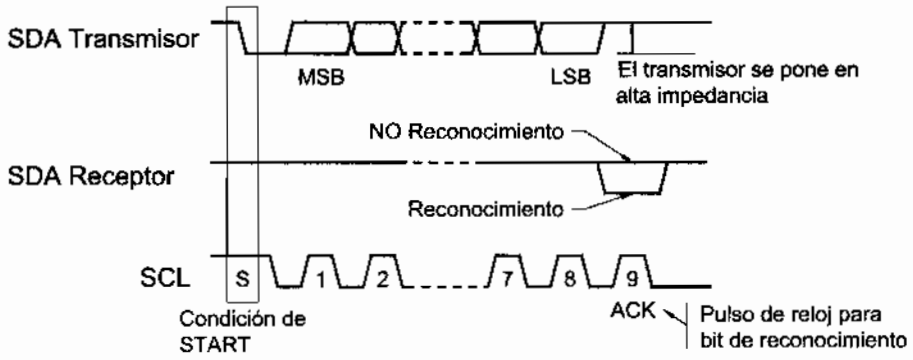


Figura 21-6 Reconocimiento de datos en el bus I2C

Si un maestro-receptor esta recibiendo datos de un esclavo-transmisor, debe generar un bit ACK tras cada byte recibido de transmisor. Para finalizar la transferencia de datos no debe generar el bit ACK tras el último byte enviado por el esclavo. El esclavo-transmisor debe dejar libre la línea de datos SDA para permitir que el maestro genere la condición de Stop o de Start.

Si un dispositivo esclavo no puede recibir o transmitir un byte de datos completo hasta que haya acabado alguna de sus operaciones internas, puede mantener la línea SCL a nivel bajo lo que fuerza al maestro a permanecer en un estado de espera (figura 21-5). La transferencia de datos se reanudará cuando el dispositivo esclavo se encuentre listo para otro byte de datos y desbloquee la línea de reloj SCL.

21.6 FORMATO DE UNA TRANSFERENCIA DE DATOS

Los datos transferidos tienen la forma de la figura 21-7, donde se aprecia que para operar un esclavo sobre el bus I2C son necesarios seis pasos para enviar o recibir información:

1º Un bit de Start, que señaliza el inicio de la transferencia de datos.
2º Siete bits de direccionamiento de un esclavo.
3º Un bit de lectura/escritura (R/W) que define si el esclavo es transmisor o receptor.
4º Un bit de reconocimiento ACK *(acknowledgement)*.

5º Un mensaje dividido en bytes (8 bits).
6º Un bit de Stop, que indica el fin de la comunicación.

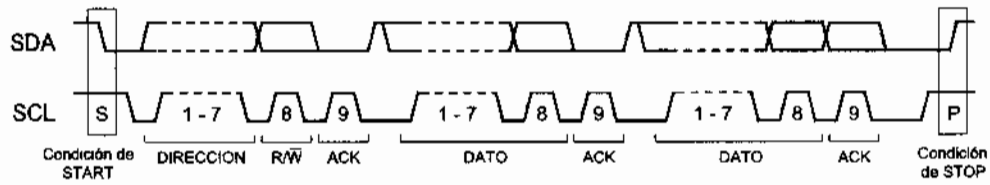


Figura 21-7 Transferencia completa de datos

Puesto que puede haber varios esclavos conectados al bus, el maestro debe indicar mediante una dirección de esclavo a cuál de ellos va destinada la información a transferir, *(slave address)*. Cada esclavo tiene una única dirección con la que es identificado. Todos los esclavos están escuchando continuamente la línea para reconocer si es a ellos a quien se dirige el maestro. El procedimiento de dirección para el bus I2C establece que el primer byte después de la condición de Start determina el esclavo seleccionado por el maestro (figura 21-8).

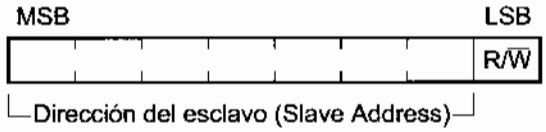


Figura 21-8 Primer byte después del bit de Start

Los 7 primeros bits del primer byte marcan la dirección del esclavo. El octavo bit (R/W) determina la dirección de los datos:

- Si R/W=0, el esclavo es receptor. Significa que el maestro escribirá información en el esclavo seleccionado.
- Si R/W=1, el esclavo es emisor. Significa que el maestro leerá información del esclavo seleccionado.

Cuando un microcontrolador maestro envía una dirección después de la condición de Start cada dispositivo comprueba los siete primeros bits de la dirección con la suya propia. El que coincida se considera el dispositivo seleccionado por el maestro, que será un esclavo-receptor o esclavo-emisor dependiendo del bit R/W.

21.7 TIPOS DE FORMATOS DE TRANSFERENCIA

Los posibles formatos de transferencia son:

1º **Maestro-emisor transmite al esclavo-receptor**. Si el bit 8 es de escritura, (R/W=0), la secuencia será la descrita en la figura 21-9:

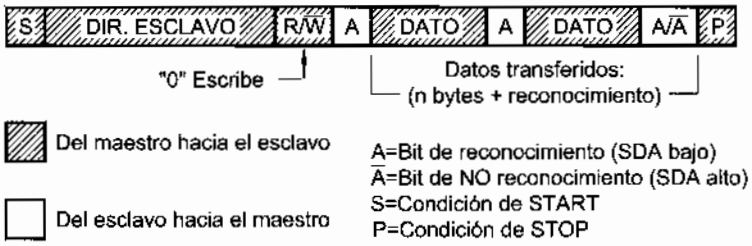


Figura 21-9 Maestro escribe datos en el esclavo

2º **Maestro-receptor lee de un esclavo-emisor** inmediatamente después del primer byte. Si el bit 8 es de lectura, (R/W=1), la secuencia será la descrita en la figura 21-10:

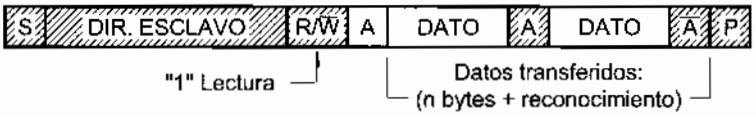


Figura 21-10 Maestro lee datos del esclavo

3º **Formato combinado**. Una transferencia de datos siempre acaba con una condición de Stop generada por el maestro. Sin embargo, si un maestro todavía desea comunicarse con el bus puede generar repetidamente condiciones de Start y direccionar a otro esclavo sin generar primero la condición de Stop (figura 21-11). Durante un cambio de dirección dentro de una transferencia, la condición de Start y la dirección del esclavo se repiten, pero con el bit R/W invertido.

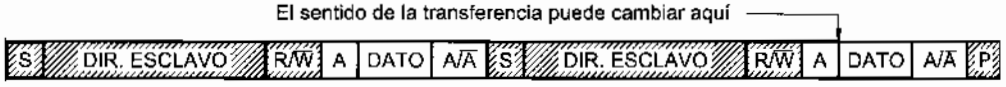


Figura 21-11 Formato combinado

Varias combinaciones de lectura y escritura son posibles dentro de una misma transferencia de datos.

21.8 TEMPORIZACIÓN

Los tipos de transferencia de datos en el bus se clasifican:

- *Standard Mode*. Modo estándar, aproximadamente a 100 kbits por segundo.

- *Fast Mode*. Modo rápido, aproximadamente a 400 kb/s.
- *High-Speed Mode*. Modo alta velocidad, más de 3,4 Mb/s.

El modo estándar es el más común y sus tiempos requeridos vienen reflejados en la figura 21-12. Los valores mínimos que pueden tener estos tiempos son:

- $t_{HIGH} > 4$ µs. Duración del semiperiodo alto del reloj SCL.
- $t_{LOW} > 4{,}7$ µs. Duración del semiperiodo bajo del reloj SCL.
- $t_{HD;STA} > 4$ µs. En condición de *Start*, tiempo que tiene que transcurrir entre el flanco de bajada de la línea SDA y el flanco de bajada de la línea SCL.
- $t_{SU;STO} > 4{,}7$ µs. En la condición de *Stop*, tiempo entre el flanco de subida de la línea SCL y el flanco de subida de la línea SDA.
- $t_{HD;DAT} > 5$µs. Tiempo de mantenimiento del dato. Tiempo entre el flanco de bajada del reloj SCL y el cambio del dato en la línea SDA.
- $t_{SU;DAT} > 250$ ns. Tiempo de puesta del dato. Tiempo entre el cambio de datos en la línea SDA y el próximo flanco de subida del reloj SCL. Se suele despreciar.
- $t_{BUF} > 4{,}7$ µs. Tiempo en que el bus debe estar libre antes de comenzar una nueva transmisión.

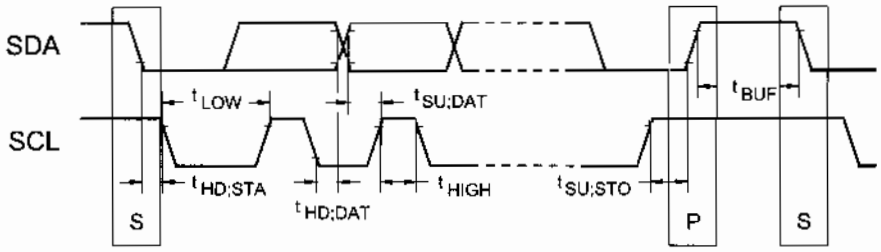


Figura 21-12 Definición de los tiempos para el bus I2C

21.9 CONEXIÓN DE BUS I2C A UN PIC16F84

La figura 21-13 describe un ejemplo de conexión de dispositivos conectables a bus I2C y un PIC16F84A configurado como maestro que utiliza las líneas RA3 (SCL) y RA4 (SDA) como líneas del bus I2C. Los esclavos periféricos se conectan al bus a través de sus líneas SCL y SDA.

Para que funcione correctamente el sistema, el programa del microcontrolador debe permitir la comunicación mediante el protocolo para bus I2C recogido en las subrutinas de una librería, como la explicada a continuación.

21.10 LIBRERÍA DE SUBRUTINAS PARA BUS I2C

Como resumen de todo el protocolo que rige el bus I2C a continuación se expone la librería BUS_I2C.INC, con subrutinas sencillas para su control y suficientemente documentadas. El hardware aplicable debe tener la estructura de la figura 21-13. Las subrutinas principales son:

- "I2C_EnviaStart". Envía una condición de Start o inicio.
- "I2C_EnviaStop". Envía un condición de Stop o parada.
- "I2C_EnviaByte". El microcontrolador maestro transmite un byte por el bus I2C que se escribe en el esclavo. El byte a transmitir debe estar cargado previamente en el registro de trabajo W.
- "I2C_LeeByte". El microcontrolador lee un byte del esclavo conectado al bus I2C. El dato recibido se envía a la subrutina superior a través del registro W.

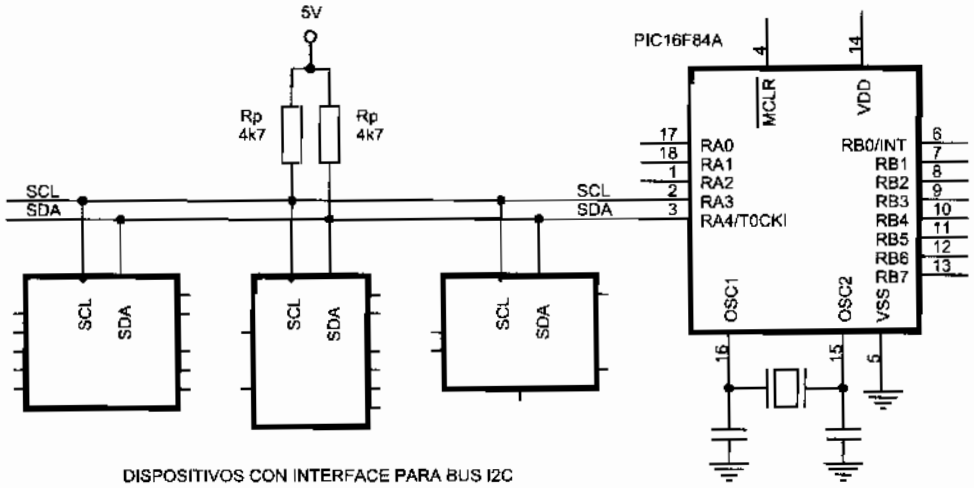


Figura 21-13 El PIC16F84A como maestro de un bus I2C

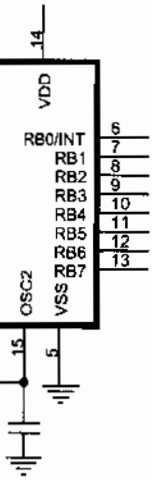
```
;****************************** Librería "BUS_I2C.INC" ************************************
;
; Estas subrutinas permiten realizar las tareas básicas de control del bus serie I2C,
; por parte de un solo microcontrolador maestro.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************
;
        CBLOCK
        I2C_ContadorBits            ; Cuenta los bits a transmitir o a recibir.
        I2C_Dato                    ; Dato a transmitir o recibido.
        I2C_Flags                   ; Guarda la información del estado del bus I2C.
        ENDC

#DEFINE  I2C_UltimoByteLeer  I2C_Flags,0
;   - (I2C_UltimoByteLeer)=0, NO es el último byte a leer por el maestro.
```

2C

uación se expone
suficientemente
igura 21-13. Las

byte por el bus
e estar cargado

conectado al bus
el registro W.



C

****

****

bus I2C.


```
;  - (I2C_UltimoByteLeer)=1, SÍ es el último byte a leer por el maestro.

; La definición de las líneas SCL y SDA del bus I2C se puede cambiar según las
; necesidades del hardware.

#DEFINE SCL     PORTA,3                 ; Línea SCL del bus I2C.
#DEFINE SDA     PORTA,4                 ; Línea SDA del bus I2C.
;
; Subrutina "SDA_Bajo" -----------------------------------------------------
;
SDA_Bajo
        bsf     STATUS,RP0              ; Configura la línea SDA como salida.
        bcf     SDA
        bcf     STATUS,RP0
        bcf     SDA                     ; SDA en bajo.
        return
;
; Subrutina "SDA_AltaImpedancia" -------------------------------------------
;
SDA_AltaImpedancia
        bsf     STATUS,RP0              ; Configura la línea SDA entrada.
        bsf     SDA                     ; Lo pone en alta impedancia y, gracias a la
        bcf     STATUS,RP0              ; Rp de esta línea, se mantiene a nivel alto.
        return
;
; Subrutina "SCL_Bajo" -----------------------------------------------------
;
SCL_Bajo
        bsf     STATUS,RP0
        bcf     SCL                     ; Configura la línea SCL como salida.
        bcf     STATUS,RP0
        bcf     SCL                     ; La línea de reloj SCL en bajo.
        return
;
; Subrutina "SCL_AltaImpedancia" -------------------------------------------
;
SCL_AltaImpedancia
        bsf     STATUS,RP0              ; Configura la línea SCL entrada.
        bsf     SCL                     ; Lo pone en alta impedancia y, gracias a la Rp
        bcf     STATUS,RP0              ; de esta línea, se mantiene a nivel alto.
SCL_EsperaNivelAlto
        btfss   SCL                     ; Si algún esclavo mantiene esta línea en bajo
        goto    SCL_EsperaNivelAlto     ; hay que esperar.
        return
;
; Subrutina "I2C_EnviaStart" -----------------------------------------------
;
; Esta subrutina envía una condición de Start o inicio.
;
I2C_EnviaStart
        call    SDA_AltaImpedancia      ; Línea SDA en alto.
        call    SCL_AltaImpedancia      ; Línea SCL en alto.
        call    Retardo_4micros         ; Tiempo tBUF del protocolo.
        call    SDA_Bajo                ; Flanco de bajada de SDA mientras SCL está alto.
```

```
        call    Retardo_4micros         ; Tiempo tHD;STA del protocolo.
        call    SCL_Bajo                ; Flanco de bajada del reloj SCL.
        call    Retardo_4micros
        return
;
; Subrutina "I2C_EnviaStop" ------------------------------------------------
;
; Esta subrutina envía un condición de Stop o parada.
;
I2C_EnviaStop
        call    SDA_Bajo
        call    SCL_AltaImpedancia      ; Flanco de subida de SCL.
        call    Retardo_4micros         ; Tiempo tSU;STO del protocolo.
        call    SDA_AltaImpedancia      ; Flanco de subida de SDA.
        call    Retardo_4micros         ; Tiempo tBUF del protocolo.
        return
;
; Subrutina "I2C_EnviaByte" ------------------------------------------------
;
; El microcontrolador maestro transmite un byte por el bus I2C, comenzando por el bit
; MSB. El byte a transmitir debe estar cargado previamente en el registro de trabajo W.
; De la subrutina ejecutada anteriormente I2C_EnviaStart o esta misma I2C_EnviaByte,
; la línea SCL se debe encontrar a nivel bajo al menos durante 5 µs.
;
I2C_EnviaByte
        movwf   I2C_Dato                ; Almacena el byte a transmitir.
        movlw   0x08                    ; A transmitir 8 bits.
        movwf   I2C_ContadorBits
I2C_EnviaBit
        rlf     I2C_Dato,F              ; Chequea el bit, llevándolo previamente al Carry.
        btfsc   STATUS,C
        goto    I2C_EnviaUno
I2C_EnviaCero
        call    SDA_Bajo                ; Si es "0" envía un nivel bajo.
        goto    I2C_FlancoSCL
I2C_EnviaUno
        call    SDA_AltaImpedancia      ; Si es "1" lo activará a alto.
I2C_FlancoSCL
        call    SCL_AltaImpedancia      ; Flanco de subida del SCL.
        call    Retardo_4micros         ; Tiempo tHIGH del protocolo.
        call    SCL_Bajo                ; Termina el semiperiodo positivo del reloj.
        call    Retardo_4micros         ; Tiempo tHD;DAT del protocolo.
        decfsz  I2C_ContadorBits,F      ; Lazo para los ocho bits.
        goto    I2C_EnviaBit
;
        call    SDA_AltaImpedancia      ; Libera la línea de datos.
        call    SCL_AltaImpedancia      ; Pulso en alto de reloj para que el esclavo
        call    Retardo_4micros         ; pueda enviar el bit ACK.
        call    SCL_Bajo
        call    Retardo_4micros
        return
;
; Subrutina "I2C_LeeByte" ------------------------------------------------
;
```

```
; El microcontrolador maestro lee un byte desde el esclavo conectado al bus I2C. El dato
; recibido se carga en el registro I2C_Dato y lo envía a la subrutina superior a través
; del registro W. Se empieza a leer por el bit de mayor peso MSB.
; De alguna de las subrutinas ejecutadas anteriormente I2C_EnviaStart, I2C_EnviaByte
; o esta misma I2C_LeeByte, la línea SCL lleva en bajo al menos 5 µs.

I2C_LeeByte
        movlw   0x08                    ; A recibir 8 bits.
        movwf   I2C_ContadorBits
        call    SDA_AltaImpedancia      ; Deja libre la línea de datos.
I2C_LeeBit
        call    SCL_AltaImpedancia      ; Flanco de subida del reloj.
        bcf     STATUS,C                ; En principio supone que es "0".
        btfsc   SDA                     ; Lee el bit
        bsf     STATUS,C                ; Si es "1" carga 1 en el Carry.
        rlf     I2C_Dato,F              ; Lo introduce en el registro.
        call    SCL_Bajo                ; Termina el semiperíodo positivo del reloj.
        call    Retardo_4micros         ; Tiempo tHD;DAT del protocolo.
        decfsz  I2C_ContadorBits,F      ; Lazo para los 8 bits.
        goto    I2C_LeeBit
;
; Chequea si este es el último byte a leer para enviar o no el bit de reconocimiento
; ACK en consecuencia.
;
        btfss   I2C_UltimoByteLeer      ; Si es el último, no debe enviar
                                        ; el bit de reconocimiento ACK.
        call    SDA_Bajo                ; Envía el bit de reconocimiento ACK
                                        ; porque todavía no es el último byte a leer.
        call    SCL_AltaImpedancia      ; Pulso en alto del SCL para transmitir el
        call    Retardo_4micros         ; bit ACK de reconocimiento. Este es tHIGH.
        call    SCL_Bajo                ; Pulso de bajada del SCL.
        call    Retardo_4micros
        movf    I2C_Dato,W              ; El resultado se manda en el registro de
        return                          ; de trabajo W.
```

21.11 DISPOSITIVOS I2C

Se fabrican multitud de dispositivos que pueden conectarse a un bus I2C. Entre ellos destacan:

- 24LC256, memoria EEPROM serie de 32 kbytes.
- DS1624, termómetro digital.
- DS1307, reloj y calendario de tiempo real.
- SAA1064, driver de display del tipo LED de 4 dígitos.
- PCF8574, interface entre un puerto de 8 líneas y el bus I2C.
- PCF8591, conversor ADC de cuatro canales de 8 bits más 1 canal DAC.
- PCF8576, driver para display LCD.
- LM76, termómetro digital y termostato.

En los próximos capítulos se estudiarán con detenimiento algunos de ellos.

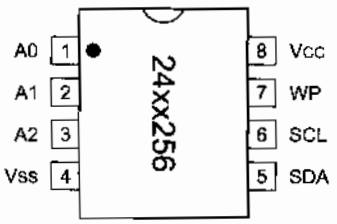
CAPÍTULO 22

24LC256, MEMORIA EEPROM EN BUS I2C

En algunos proyectos es necesario almacenar gran cantidad de datos en memoria EEPROM, sin embargo, la disponible por los microcontroladores es limitada. Las memorias EEPROM serie permiten solucionar este problema con gran sencillez de hardware ya que en un solo chip de 8 pines pueden almacenar gran cantidad de información.

22.1 MEMORIA EEPROM SERIE 24LC256

La memoria 24LC256 es una popular EEPROM serie que permite almacenar hasta 32 kbytes. Este capítulo se va a desarrollar en torno a este chip en particular, pero todo lo aquí expuesto es fácilmente aplicables a otros modelos de memorias EEPROM serie. Las principales características de la memoria 24LC256 son:



V_{CC}	Fuente de alimentación.
Vss	Masa.
SDA	Línea de datos de bus I2C.
SCL	Línea de reloj del bus I2C.
A2, A1 y A0	Líneas de dirección.
WP	Protección contra escritura.

Figura 22-1 Patillaje de la memoria serie 24LC256

- Es una memoria EEPROM serie con interface I2C fabricada por *Microchip*, (www.microchip.com) en un encapsulado de 8 pines mostrado en la figura 22-1.
- Tiene una capacidad de 256 kbits o 32 kbytes, es decir, está estructurada en 32 k posiciones de memoria con una longitud de 8 bits cada una.

- Los 32 kbytes están organizados en 128 bloques de 256 bytes cada uno (figura 22-2).
- Es una memoria serie con interfaz I2C. Los datos se escriben y leen en serie a través de los pines SCL y SDA.
- Se puede alimentar con un voltaje de entre 2,5 a 5,5 V, siendo su valor típico 5V.
- Su consumo es muy reducido: 3 mA en proceso de escritura, 400 µA en lectura y 100 nA en *standby* o modo de bajo consumo.
- El fabricante garantiza un millón de operaciones de borrado y escritura.
- La retención de datos está garantizada durante 200 años.
- Las líneas de dirección A2, A1 y A0 permiten conectar varias memorias en el mismo circuito, variando la dirección de cada una de ellas.
- Tiene un sistema de protección contra escrituras accidentales mediante el pin WP *(Write Protection)*:
  - Si WP se conecta a masa el funcionamiento del chip es normal.
  - Si WP se conecta a V_{CC} no es posible la escritura de la memoria.

22.2 PAGINACIÓN DE LA MEMORIA 24LC256

La memoria está constituida por palabras de 8 bits (1 byte). El número total de bits es de 32k x 8 bits = 256 kbits. De ahí el "256" de la designación "24LC256".

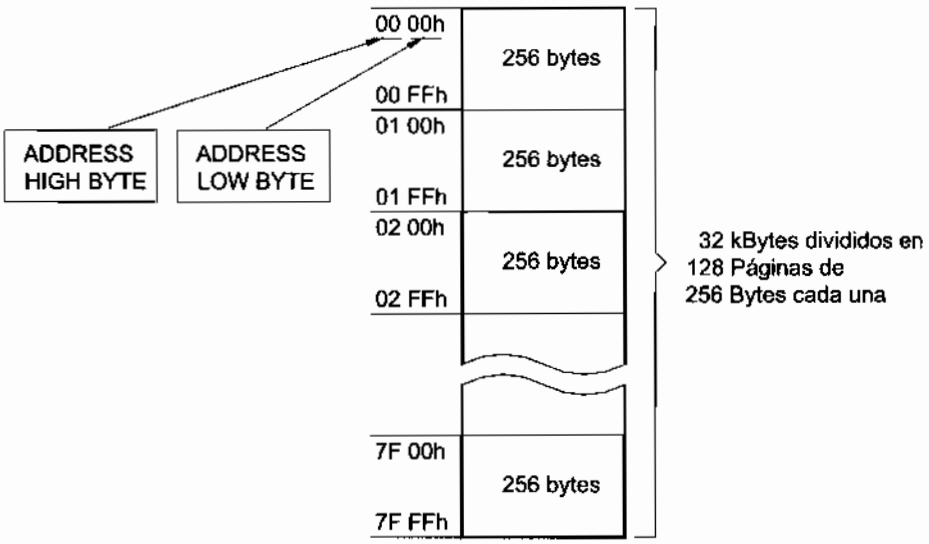


Figura 22-2 Paginación del contenido de la memoria EEPROM 24LC256

Las 32 k de posiciones de memoria están divididas en 128 bloques denominados **páginas** de 256 posiciones cada una, tal como ilustra la figura 22-2. Cada posición de memoria está identificada por dos bytes de dirección *(Address Byte)*:

- El *Address High Byte* que identifica el número de página.
- El *Address Low Byte* que identifica la posición de esa palabra dentro de la página.

Así por ejemplo, la palabra identificada por la posición b'00000010 11101100' (02ECh) se localiza en la página 02h *(Address High Byte)*, posición ECh *(Address Low Byte)* dentro de dicha página.

22.3 DIRECCIONAMIENTO COMO ESCLAVO

El direccionamiento de esta memoria se rige por el byte de control que debe enviarle el microcontrolador maestro, después de la condición Start, descrito en la figura 22-3. Esta dirección consta de una parte fija y otra programable. La parte programable la define el conexionado de los pines A0, A1 y A2. Consta de:

- Después del bit de Start, el byte de control comienza por los bits "1010".
- A continuación viene la parte programable que son los bits A2, A1 y A0 definidos por el conexionado de los pines del mismo nombre.
- Finalmente el bit R/W, para indicar si la memoria es escrita o leída:
  - Si R/W=0, significa que el microcontrolador maestro escribirá en la memoria 24LC256.
  - Si R/W=1, significa que el maestro leerá un dato de la memoria 24LC256.

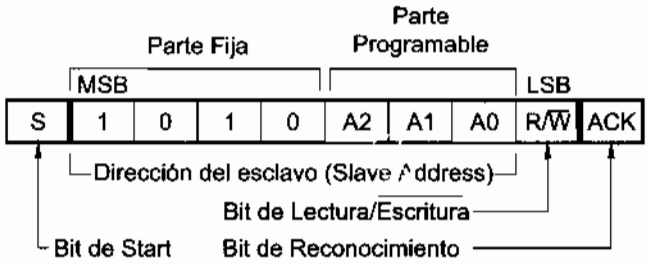


Figura 22-3 Dirección de la memoria 24LC256 como esclavo en un bus I2C

Así por ejemplo, si A2, A1 y A0 se conectan a masa, la dirección es b'10100001' en lectura y b'10100000' en escritura. Esta programación mediante los tres hilos de direccionamiento hardware (A0, A1 y A2) permite conectar hasta ocho memorias.

22.4 CONEXIÓN DE UNA 24LC256 A UN PIC16F84

La figura 22-4 ilustra un ejemplo de conexión de una memoria 24LC256 a un microcontrolador PIC16F84A. Se aprecia como el bus I2C lo conforman las conexiones de los pines SCL y SDA de la memoria a líneas RA3 y RA4 del microcontrolador.

Como A2, A1 y A0 se conectan a masa, la dirección para la memoria es b'10100001' en lectura y b'10100000' en escritura.

El pin Wp *(Write Protection)* se conecta a masa para poder realizar la operación de escritura. Si se conectase a V_{CC} se evitaría la sobreescritura accidental de la memoria.

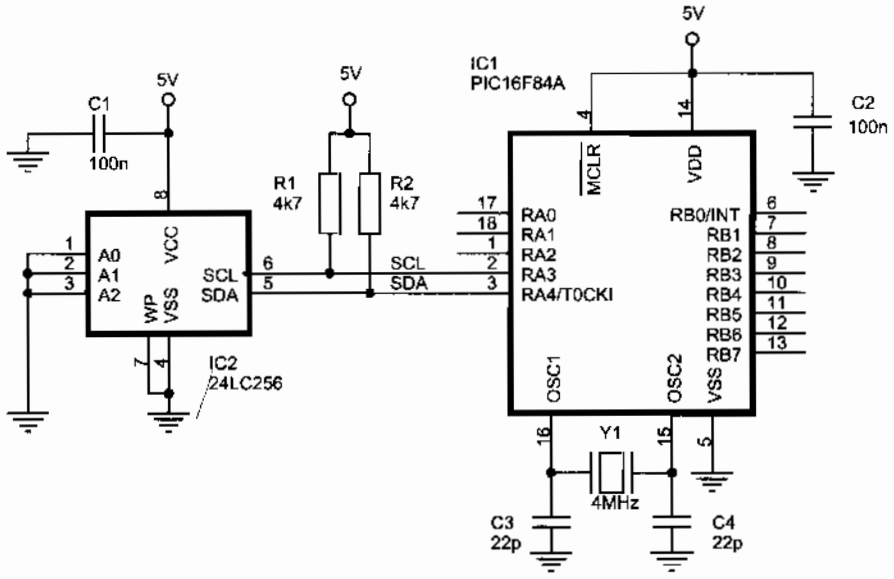


Figura 22-4 Conexión de una memoria EEPROM serie 24LC256 a un PIC16F84A

22.5 ESCRITURA EN LA MEMORIA 24LC256

La escritura de una memoria 24LC256 por parte del PIC16F84 sigue el procedimiento de transferencia de datos del maestro al esclavo de un bus I2C, descrito en el tema anterior e ilustrado en la figura 22-5. El protocolo de escritura comprende los siguientes pasos:

- Primero el microcontrolador maestro envía la condición de Start.
- Luego envía el byte de control en modo escritura según se ha explicado antes.
- A continuación el maestro envía el número de la página donde se va a escribir, *Address High Byte* (figura 22-2).
- Después el maestro envía el número de posición dentro de la página seleccionada anteriormente, *Address Low Byte* (figura 22-2).
- Después se transmiten los datos a escribir. La dirección de la posición de memoria a escribir se incrementa automáticamente.
- Por último el maestro envía la condición de Stop.

La memoria tarda un tiempo máximo de 5 ms en escribir el byte en su interior, por tanto el software debe permitir este tiempo entre la escritura de cada byte.

El número máximo de bytes que se pueden escribir cada vez es de 64. Si se desea escribir más de 64 bytes hay que repetir el procedimiento descrito.

Para que pueda realizarse la operación de escritura, el pin WP *(Write Protection)* no debe estar conectado a V_{CC}.

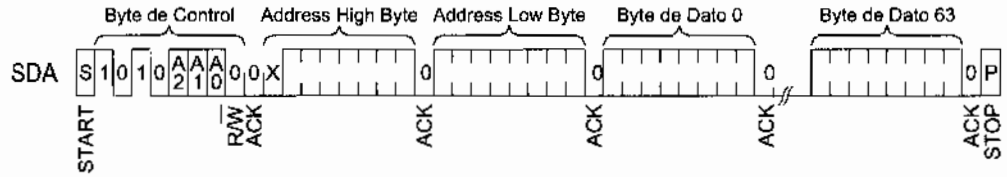


Figura 22-5 Protocolo de escritura en la memoria EEPROM serie 24LC256

22.6 LECTURA DE LA MEMORIA 24LC256

La lectura de los datos de la 24LC256 por parte del microcontrolador sigue el protocolo descrito en la figura 22-6 que, en principio, no fija la dirección de la primera posición a leer, que será la siguiente a la última operación realizada. Por ello, si este dato se desconoce primero habrá que realizar una operación de escritura para conocer exactamente su valor. El protocolo de lectura comprende los siguientes pasos:

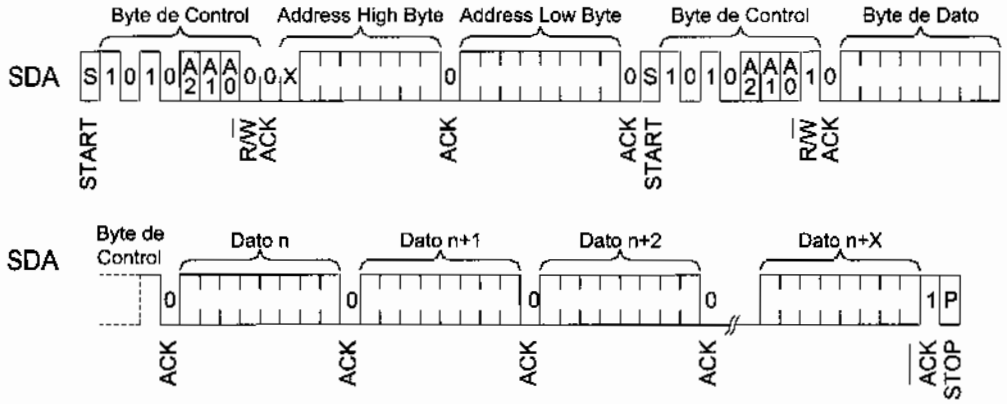


Figura 22-6 Protocolo de lectura de la memoria EEPROM serie 24LC256

- Primero el microcontrolador maestro realiza un envío de dirección como si fuera a escribir (tal como se ha explicado en la sección anterior) con el objetivo de indicar la dirección a partir de la cual se va a proceder a la lectura.
- Luego el maestro vuelve a enviar la condición de Start.
- A continuación envía el byte de control en modo lectura.

- Después el maestro lee el contenido de la memoria. La dirección de la posición a leer se incrementa automáticamente.
- Por último el maestro envía la condición de Stop.

22.7 LIBRERÍA DE SUBRUTINAS

El protocolo de escritura y lectura en la memoria 24LC256 se concreta en las siguientes subrutinas de control descritas en la librería M24LC256.INC:

- "M24LC256_InicializaEscritura". Prepara la memoria para iniciar su escritura a partir de una posición de memoria determinada.
- "M24LC256_InicializaLectura". Prepara la memoria para iniciar su lectura a partir de una posición de memoria determinada.
- "M24LC256_Mensaje_a_LCD". Lee el mensaje grabado en la memoria y lo visualiza por la pantalla del visualizador LCD.

```
;****************************** Librería "M24LC256.INC" ************************************
;
; Estas subrutinas permiten realizar las tareas de manejo de la memoria EEPROM serie
; 24LC256 que transmite y recibe la información vía serie a través de un bus I2C.
;
; Subrutina "M24LC256_InicializaEscritura" ----------------------------------------
;
; Prepara la memoria para iniciar su escritura a partir de la posición de memoria fijada
; por los registros:
; - (M24LC256_AddressHigh), indica el número del bloque o página de memoria a escribir.
; - (M24LC256_AddressLow), indica posición a escribir dentro del bloque.

        CBLOCK
        M24LC256_AddressHigh            ; Guarda el valor de la dirección de memoria a
        M24LC256_AddressLow             ; escribir o leer.
        M24LC256_Dato
        ENDC
;
M24LC256_DireccionEscritura  EQU   b'10100000'; Dirección de la memoria 24LC256 para
M24LC256_DireccionLectura    EQU   b'10100001'; escritura y lectura respectivamente.

M24LC256_InicializaEscritura
        call    I2C_EnviaStart          ; Envía condición de Start.
        movlw   M24LC256_DireccionEscritura; Envía dirección de escritura del
        call    I2C_EnviaByte           ; esclavo.
        movf    M24LC256_AddressHigh,W  ; A partir de la dirección apuntada por los
        call    I2C_EnviaByte           ; registros M24LC256_AddressHigh y
        movf    M24LC256_AddressLow,W   ; M24LC256_AddressLow.
        call    I2C_EnviaByte
        return

; Subrutina "M24LC256_InicializaLectura" ----------------------------------------
;
; Prepara la memoria para iniciar su lectura a partir de la posición de memoria fijada
```



```
; por los registros:
; - (M24LC256_AddressH
; - (M24LC256_AddressL

M24LC256_InicializaLect
        bcf     I2C_
        call    I2C_
        movlw   M24L
        call    I2C_
        movf    M24L
        call    I2C_
        movf    M24L
        call    I2C_
        call    I2C_
;
        call    I2C_
        movlw   M24L
        call    I2C_
        return

; Subrutina "M24LC256_M
;
; Lee el mensaje grabado e
; En el registro de trabajo W
; posición se va a leer. La l
; si (W)=2Fh lee el mensaj
; que es la posición 2F00h
;
        CBLOCK
        M24LC256_Val
        ENDC

M24LC256_Mensaje_a_L
        movwf   M24L
        clrf    M24L
        call    M24L
M24LC256_LeeOtroByte
        call    I2C_L
        movwf   M24L
        movf    M24L
        btfsc   STAT
        goto    M24L
        movf    M24L
        call    LCD_
        incf    M24L
        goto    M24L
M24LC256_FinMensaje
;       call    M24L
;       return

; Subrutina "M24LC256_Fi
;
; Activa el bit I2C_UltimoB
; impedancia la línea SDA y
```

```
; por los registros:
; - (M24LC256_AddressHigh), indica el número del bloque o página de memoria a leer.
; - (M24LC256_AddressLow), indica posición a escribir dentro del bloque.

M24LC256_InicializaLectura
        bcf     I2C_UltimoByteLeer          ; Todavía no ha comenzado a leer ningún dato.
        call    I2C_EnviaStart              ; Envía condición de Start.
        movlw   M24LC256_DireccionEscritura; Envía dirección de escritura del
        call    I2C_EnviaByte               ; esclavo.
        movf    M24LC256_AddressHigh,W      ; A partir de la dirección apuntada por los
        call    I2C_EnviaByte               ; registros M24LC256_AddressHigh y
        movf    M24LC256_AddressLow,W       ; M24LC256_AddressLow.
        call    I2C_EnviaByte
        call    I2C_EnviaStop
;
        call    I2C_EnviaStart              ; Envía condición de Start.
        movlw   M24LC256_DireccionLectura   ; Indica a la memoria 24LC256 que va a
        call    I2C_EnviaByte               ; proceder a la lectura.
        return

; Subrutina "M24LC256_Mensaje_a_LCD" ----------------------------------------------
;
; Lee el mensaje grabado en la memoria 24LC256 y lo visualiza en el módulo LCD.
; En el registro de trabajo W se introduce la página de la memoria a partir de cuya primera
; posición se va a leer. La lectura termina cuando encuentre el código 0x00. Así por ejemplo,
; si (W)=2Fh lee el mensaje que comienza en la posición 0 de la página 2Fh de la memoria,
; que es la posición 2F00h absoluta.
;
        CBLOCK
        M24LC256_ValorCaracter              ; Valor ASCII del carácter leído.
        ENDC

M24LC256_Mensaje_a_LCD
        movwf   M24LC256_AddressHigh        ; Apunta al inicio de la página correspondiente.
        clrf    M24LC256_AddressLow
        call    M24LC256_InicializaLectura
M24LC256_LeeOtroByte
        call    I2C_LeeByte                 ; Lee la memoria 24LC256.
        movwf   M24LC256_ValorCaracter      ; Guarda el valor de carácter.
        movf    M24LC256_ValorCaracter,F    ; Lo único que hace es posicionar flag Z. En caso
        btfsc   STATUS,Z                    ; que sea "0x00", que es código indicador final
        goto    M24LC256_FinMensaje         ; del mensaje, sale de la subrutina.
        movf    M24LC256_ValorCaracter,W    ; Recupera el valor leído.
        call    LCD_Caracter                ; Lo visualiza en la pantalla del LCD.
        incf    M24LC256_AddressLow,F       ; Apunta a la siguiente posición.
        goto    M24LC256_LeeOtroByte
M24LC256_FinMensaje
;       call    M24LC_256_FinalizaLectura
;       return

; Subrutina "M24LC256_FinalizaLectura" --------------------------------------------
;
; Activa el bit I2C_UltimoByteLeer para que la subrutina I2C_LeeByte ponga en alta
; impedancia la línea SDA y pueda ejecutarse posteriormente la condición de Start o Stop
```

```
; que fija el protocolo del bus I2C.

M24LC256_FinalizaLectura
        bsf     I2C_UltimoByteLeer      ; Con estas dos instrucciones se pone en
        call    I2C_LeeByte             ; alta impedancia la línea SDA. No importa el
        call    I2C_EnviaStop           ; resultado de la lectura realizada.
        return
```

22.8 EJEMPLO TÍPICO DE APLICACIÓN

El siguiente programa es un ejemplo de aplicación en el manejo de la memoria EEPROM serie 24LC256, para el circuito de la figura 22-7, donde se utiliza el procedimiento típico de escritura y de lectura.

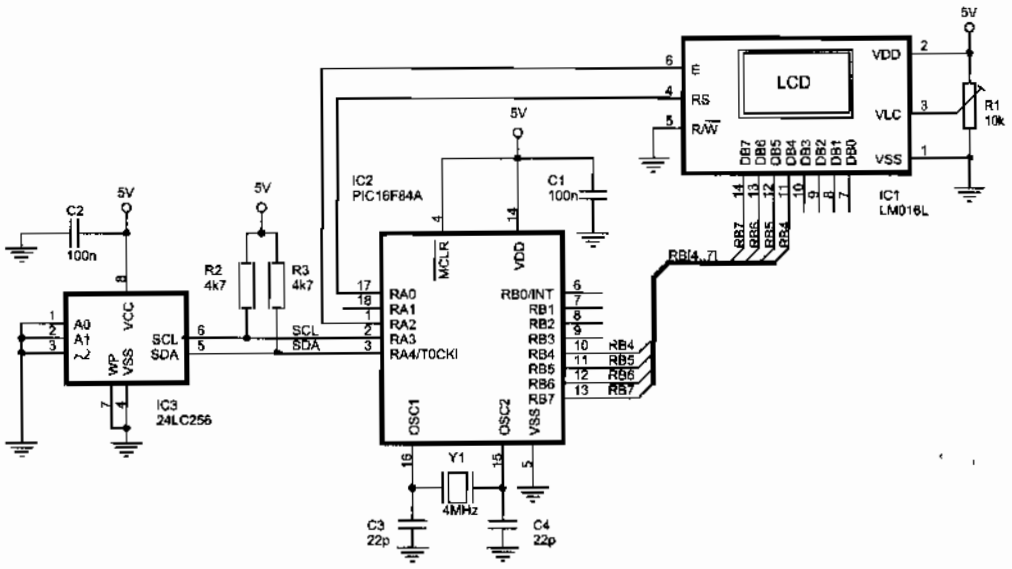
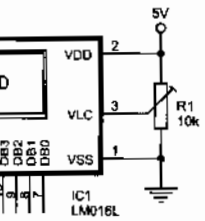


Figura 22-7 Circuito para el programa I2C_EEPROM_01.asm

```
;************************************ I2C_EEPROM_01.asm ********************************
;
; Programa para manejar la escritura y lectura en la memoria EEPROM serie 24LC256.
; Tiene dos partes:
; 1ª      Escribe un mensaje grabado en el programa del PIC16F84A a partir de la posición
;         3B00h dentro de la 24LC256.
; 2ª      Lee el mensaje grabado en la memoria 24LC256 anteriormente y lo visualiza en la
;         pantalla del módulo LCD.
;
; El mensaje tendrá menos de 16 caracteres, que es la máxima longitud de la pantalla.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
```

ne en
importa el

nejo de la memoria
onde se utiliza el



1.asm

****

ición

en la

****


```
        LIST    P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC

Pagina  EQU     0x3B                    ; Escribe y lee en esta página, por ejemplo.

; ZONA DE CÓDIGOS ********************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
Principal
        movlw   Pagina                  ; Escribe a partir de la dirección 0 de esta
        call    M24LC256_EscribeMensaje ; página de la memoria.
        movlw   Pagina                  ; Lee a partir de la dirección 0 de esta página
        call    M24LC256_Mensaje_a_LCD  ; de la memoria.
        sleep                           ; Pasa a reposo.

; Subrutina "M24LC256_EscribeMensaje" ----------------------------------------------
;
; Escribe la memoria M24LC256 con el mensaje grabado al final de este programa a partir
; de la posición 0 de la página de la memoria 24LC256, señalada por el contenido del
; registro de trabajo W.
; El tamaño de memoria que se puede grabar por este procedimiento es de 64 bytes como máximo.

        CBLOCK
        ValorCaracter                   ; Valor ASCII del carácter a escribir.
        ENDC

M24LC256_EscribeMensaje
        movwf   M24LC256_AddressHigh    ; El registro W apunta a la página donde va a
        clrf    M24LC256_AddressLow     ; grabar el mensaje a partir de la dirección 0.
        call    M24LC256_InicializaEscritura
M24LC256_EscribeOtroByte
        movf    M24LC256_AddressLow,W
        call    Mensaje                 ; Obtiene el código ASCII del carácter.
        movwf   ValorCaracter           ; Guarda el valor de carácter que ha leído del
        call    I2C_EnviaByte           ; mensaje y lo escribe en la 24LC256.
        call    Retardo_5ms             ; Tiempo de escritura entre byte y byte.
        movf    ValorCaracter,F         ; Lo único que hace es posicionar flag Z. En caso
        btfsc   STATUS,Z                ; de que sea "0x00", que es código indicador final
        goto    FinEscribeMensaje       ; del mensaje sale de la subrutina.
        incf    M24LC256_AddressLow,F
        goto    M24LC256_EscribeOtroByte
FinEscribeMensaje
        call    I2C_EnviaStop           ; Termina la escritura.
        call    Retardo_5ms
        return

Mensaje
        addwf   PCL,F
        DT " Estudia D.P.E.",0x0
```

```
INCLUDE <BUS_I2C.INC>          ; Subrutinas de control del bus I2C.
INCLUDE <M24LC256.INC>         ; Subrutinas de control de la memoria 24LC256.
INCLUDE <RETARDOS.INC>
INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
END
```

22.9 GRABACIÓN DE DATOS MEDIANTE EL IC-PROG

En el programa anterior se explica como grabar datos en la memoria. Sin embargo, puede resultar más rápido grabarlo por el mismo procedimiento utilizado para programar el microcontrolador, usando el grabador TE20-SE y el software IC-Prog.

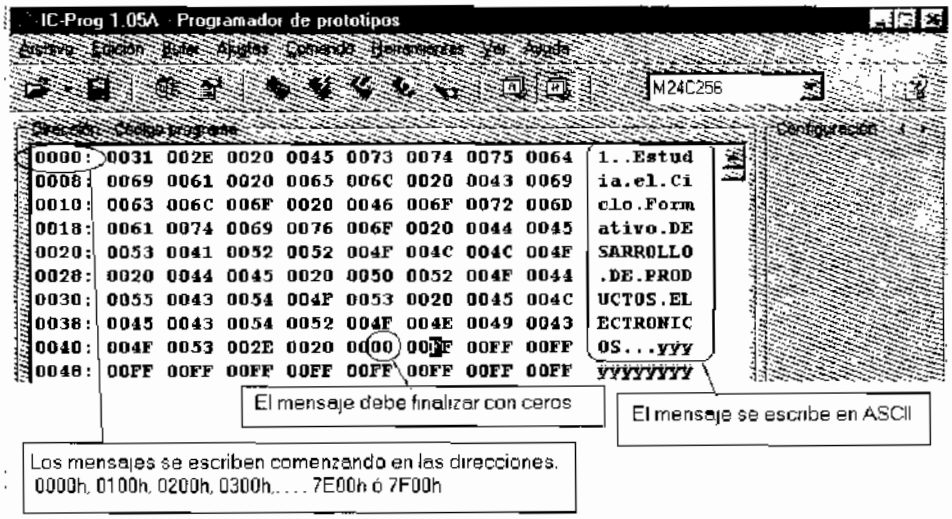


Figura 22-8 Grabación de mensajes en la 24LC256 mediante el IC-Prog

La figura 22-8 describe el procedimiento para grabar mensajes al comienzo de cada uno de los bloques de la memoria con el software IC-Prog. A destacar que:

- Previamente se ha tenido que elegir el dispositivo adecuado mediante su selección en el menú *Ajustes > Dispositivo > I2C EEPROM > M24C256.*
- Cada uno de los mensajes comienza al inicio cada página de memoria. Es decir, cada mensaje debe comenzar a partir de las direcciones 0000h, 0100h, 0200h, 0300h, ... 7E00h y 7F00h.
- Es más cómodo grabar los mensajes en la zona ASCII de la pantalla de edición.
- Cada uno de los mensajes tiene que acabar con el código 00h. Este código es más cómodo grabarlo en la zona hexadecimal de la pantalla de edición.

Los datos a grabar pueden ser guardados en un fichero mediante la selección del menú *Archivo > Guarda como..* siguiendo el procedimiento típico de Windows.

a 24LC256.

C-PROG

oria. Sin embargo,
lo para programar



nbe en ASCII

IC-Prog

al comienzo de
ar que:

do mediante su
24C256.
emoria. Es decir,
, 0100h, 0200h,

lla de edición.
te código es más
.

la selección del
ndows.

22.10 VISUALIZACIÓN DE MENSAJES LARGOS

Para poder visualizar mensajes largos desplazándose por la pantalla hay que cambiar la subrutina M24LC256_Mensaje_a_LCD de la librería M24LC256.INC, por esta otra que se explica a continuación y cuyo funcionamiento coincide con una subrutina similar analizada en el capítulo 13 para la visualización de mensajes en el LCD.

```
; Subrutina "M24LC256_Mensaje_a_LCD" ----------------------------------------------
;
; Lee un mensaje grabado en la memoria 24LC256 y lo visualiza por el módulo LCD. En caso de
; que sea más largo que la longitud de la pantalla se desplaza hacia la izquierda con sensación
; de movimiento. En el registro de trabajo W se introduce la página de la memoria a partir
; de cuya primera posición va a leer. La visualización termina cuando encuentre el código
; 0x00. Así por ejemplo si (W)= 2Fh lee el mensaje que comienza en la posición 0 de la
; página 2Fh de la memoria, que es la posición 2F00h absoluta.
;
        CBLOCK
        M24LC256_ValorCaracter          ; Valor ASCII del carácter leído.
        M24LC256_CursorPosicion
        ENDC

M24LC256_Mensaje_a_LCD
        bcf     I2C_UltimoByteLeer
        movwf   M24LC256_AddressHigh    ; Apunta al inicio de la página correspondiente.
        clrf    M24LC256_AddressLow
        call    M24LC256_InicializaLectura
M24LC256_PrimeraPosicion
        clrf    M24LC256_CursorPosicion ; El cursor en la posición 0 de la línea.
        call    LCD_Borra               ; Se sitúa en la primera posición de la línea 1 y
M24LC256_VisualizaCaracter              ; borra la pantalla.
        movlw   LCD_CaracteresPorLinea  ; ¿Ha llegado a final de línea?
        subwf   M24LC256_CursorPosicion,W
        btfss   STATUS,C
        goto    M24LC256_NoEsFinalLinea
M24LC256_EsFinalLinea
        call    Retardo_200ms           ; Lo mantiene visualizado durante este tiempo.
        call    Retardo_200ms
        call    M24LC256_FinalizaLectura
        incf    M24LC256_AddressLow,F
        call    M24LC256_InicializaLectura
        goto    M24LC256_PrimeraPosicion
M24LC256_NoEsFinalLinea
        call    I2C_LeeByte             ; Obtiene el ASCII del carácter apuntado.
        movwf   M24LC256_ValorCaracter  ; Guarda el valor de carácter.
        movf    M24LC256_ValorCaracter,F ; Lo único que hace es posicionar flag Z. En caso
        btfsc   STATUS,Z                ; que sea "0x00", que es código indicador final
        goto    M24LC256_FinMensaje     ; de mensaje, sale fuera.
M24LC256_NoUltimoCaracter
        call    LCD_Caracter            ; Visualiza el carácter ASCII leído.
        incf    M24LC256_CursorPosicion,F ; Contabiliza el incremento de posición del
                                        ; cursor en la pantalla.
        goto    M24LC256_VisualizaCaracter ; Vuelve a visualizar el siguiente carácter
M24LC256_FinMensaje                     ; de la línea.
```

```
        call    M24LC256_FinalizaLectura
        return
```

Un ejemplo de aplicación para la subrutina anterior se detalla en el siguiente ejemplo de sorprendente sencillez para la función realizada.

```
;************************************ I2C_EEPROM_02.asm ********************************
;
; Lee un mensaje almacenado en la memoria 24LC256 y lo visualiza por la pantalla del módulo
; LCD desplazándose hacia la izquierda.
; El mensaje tiene que haber sido grabado previamente mediante el IC-Prog o un software similar.
; También se puede grabar mediante el procedimiento explicado en el programa I2C_EEPROM_01.asm.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC

Pagina  EQU     0x00

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
Principal
        movlw   Pagina                  ; Lee a partir de la dirección 0 de esta página
        call    M24LC256_Mensaje_a_LCD  ; de la memoria.
        call    Retardo_1s
        goto    Principal

        INCLUDE <BUS_I2C.INC>           ; Subrutinas de control del bus I2C.
        INCLUDE <M24LC256.INC>          ; Subrutinas de control de la memoria 24LC256.
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        END
```

22.11 CONTROL DE MUCHOS MENSAJES

Con un solo microcontrolador PIC16F84 el número de mensajes que se pueden almacenar es limitado. Una memoria EEPROM serie permite trabajar con gran una cantidad de mensajes, así la 24LC256 permite almacenar hasta 32 k de caracteres, ¡32.768 caracteres!

El siguiente programa ejemplo explica como trabajar hasta con 128 mensajes de 256 caracteres cada uno. Para ello, todos los mensajes tienen que haber sido grabados

previamente en la memoria, bien con el IC-Prog o por el procedimiento explicado en el programa I2C_EEPROM_01.asm. En este ejemplo es necesario que cada uno de los mensajes haya sido grabado al inicio de cada bloque de memoria, tal como detalla la figura 22-8. Destaca la aparente sencillez de programación que permite variar fácilmente el programa en función de las necesidades del proyecto.

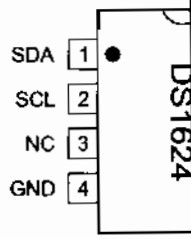
```
;************************************ I2C_EEPROM_03.asm ********************************
;
; Lee los mensajes grabados en las 10 primeras páginas de la memoria 28LC256 y los visualiza
; en la pantalla del módulo LCD.
;
; Los mensajes han tenido que ser previamente grabados en la memoria 24LC256 con algún
; sotfware específico como el IC-Prog, o mediante el procedimiento explicado en el programa
; I2C_EEPROM_01.asm, de la siguiente forma:
; - El mensaje 0, a partir de la dirección 0000h.
; - El mensaje 1, a partir de la dirección 0100h.
; - El mensaje 2, a partir de la dirección 0200h.
;                    ... ...
;          (y asi sucesivamente hasta un máximo de..)
;
; - El mensaje 127, a partir de la dirección 7F00h.
;
; La longitud de cada mensaje está limitada por la extensión de los 128 bytes que ocupa
; una página de la memoria 24LC256. Cada mensaje debe terminar con el código 0x00.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

          __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
          LIST      P=16F84A
          INCLUDE <P16F84A.INC>

          CBLOCK0x0C
          Apuntador                       ; Apunta al número de página donde se almacenan
          ENDC                            ; cada uno de los mensajes en la 24LC256.

UltimoMensaje     EQU     .10             ; Señala el número del último mensaje.

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

          ORG     0
Inicio
          call    LCD_Inicializa
          clrf    Apuntador               ; Inicializa el contador
Principal
          movf    Apuntador,W             ; Apunta al inicio de cada mensaje ya que esta
          call    M24LC256_Mensaje_a_LCD  ; subrutina lo carga en (M24LC256_AddressHigh).
          call    Retardo_2s              ; Visualiza el mensaje durante este tiempo.
          incf    Apuntador,F             ; Apunta al siguiente mensaje.
          movf    Apuntador,W             ; Comprueba si ha llegado al último mensaje.
          sublw   UltimoMensaje           ; (W)=UltimoMensaje-(Apuntador)
          btfss   STATUS,C                ; ¿C=1?, ¿(W) positivo?
          clrf    Apuntador               ; Ha resultado UltimoMensaje<(Apuntador).
          goto    Principal
```

```
INCLUDE <BUS_I2C.INC>          ; Subrutinas de control del bus I2C.
INCLUDE <M24LC256.INC>         ; Subrutinas de control de la memoria 24LC256.
INCLUDE <RETARDOS.INC>
INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
END
```

Una necesida
continuación se expl
En el capítulo 28 se e

23.1 EL SEN

El DS1624 e
temperatura leída e
principales son:



Figu

- Fabricado p
  ocho pines c
- Es un dispos
  serie a través
- No requiere
- La temperatu

© RA-MA

24LC256.

Carlos

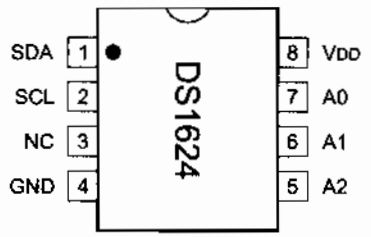
CAPÍTULO 23

DS1624, TERMÓMETRO EN BUS I2C

Una necesidad típica de muchos proyectos es la medida de temperatura. A continuación se explica un procedimiento para realizarla con un simple chip de 8 pines. En el capítulo 28 se explicará otro dispositivo con la misma función.

23.1 EL SENSOR DE TEMPERATURA DS1624

El DS1624 es un sensor de temperatura que transmite el valor digital de la temperatura leída en el lugar donde se encuentre el dispositivo. Sus características principales son:



V_{DD}	Fuente de alimentación
GND	Masa
SDA	Línea de datos de bus I2C
SCL	Línea de reloj del bus I2C
A2, A1 y A0	Líneas de dirección

Figura 23-1 Patillaje del sensor de temperatura DS1624

- Fabricado por *Dallas Semiconductors* (www.dalsemi.com) en encapsulado de ocho pines como se muestra en la figura 23-1.
- Es un dispositivo conectable a bus I2C, es decir, los datos se escriben y leen en serie a través de los pines SCL y SDA.
- No requiere de componentes externos para realizar la medida de la temperatura.
- La temperatura es leída como un valor digital de 2 bytes que incluye el signo.

- El rango de temperatura que puede medir varía desde -55ºC hasta +125ºC con variaciones de 0,0625 ºC.
- Realiza la conversión de temperatura en un tiempo máximo de un segundo.
- Posee 256 bytes de memoria EEPROM para almacenar datos.
- Se puede alimentar con un voltaje de entre 2,7 a 5,5 V, siendo su valor típico 5V.
- Las entradas de dirección A2, A1 y A0 permiten conectar varios DS1624 en el mismo circuito, variando la dirección de cada uno de ellos.

23.2 DIRECCIONAMIENTO COMO ESCLAVO

Como cualquier dispositivo compatible con bus I2C, el DS1624 se activa cuando recibe la dirección válida indicada en la figura 23-2. Esta dirección consta de una parte fija y otra programable. La parte programable la define el conexionado de los pines A2, A1 y A0.

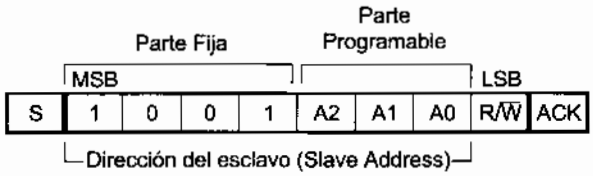


Figura 23-2 Dirección del DS1624 como esclavo en un bus I2C

Así por ejemplo, si A2, A1 y A0 se conectan a masa, la dirección es b'10010001' en lectura y b'10010000' en escritura. Esta programación mediante tres hilos de direccionamiento hardware permite conectar hasta ocho sensores de temperatura DS1624.

23.3 LECTURA DE LA TEMPERATURA

El DS1624 realiza la lectura de la temperatura mediante dos bytes en complemento a 2. Este dato es transmitido por el bus I2C, siendo primero el bit MSB en formato descrito en el ejemplo de la figura 23-3.

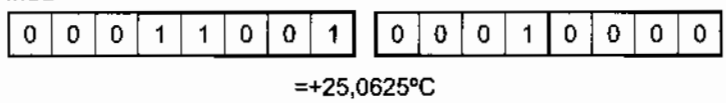


Figura 23-3 Formato de lectura de la temperatura

La tabla 23-1 muestra algunos ejemplos que relacionan la temperatura y el contenido de estos dos registros. Se deduce que:

- La temperatura viene expresada en grados centígrados con cuatro decimales.
- Se almacena en 2 bytes donde el byte superior es la parte entera y el inferior la parte decimal.
- La temperatura está expresada en complemento a 2, por tanto, el bit más alto del byte de los enteros indica el signo, siendo igual a "0" para temperaturas positivas e igual a "1" para temperaturas negativas.
- Los cuatro bits más bajos del byte de la parte decimal están siempre a cero.
- La parte decimal se obtiene sumando el valor posicional de los 4 bits más alto que son: 0,5 ºC, 0,25 ºC, 0,125 ºC y 0,0625 ºC, tal como se calcula en los ejemplos de la tabla 23-1.

TEMPERATURA	CÓDIGO DS1624	
	(Parte Entera)	(Parte Decimal)
+125.0000 ºC	01111101	00000000
+ 55.0000 ºC	00110111	00000000
+ 25.5000 ºC	00011001	10000000
+ 25.0625 ºC	00011001	00010000
+ 25.0000 ºC	00011001	00000000
+ 0.9375 ºC	00000000	11110000
+ 0.7500 ºC	00000000	11000000
+ 0.6250 ºC	00000000	10100000
+ 0.5625 ºC	00000000	10010000
+ 0.5000 ºC	00000000	10000000
+ 0.2500 ºC	00000000	01000000
+ 0.1250 ºC	00000000	00100000
+ 0.0625 ºC	00000000	00010000
+ 0.0000 ºC	00000000	00000000
- 0.5000 ºC	11111111	10000000
- 25.0000 ºC	11100110	00000000
- 25.0625 ºC	11100110	11110000
- 55.0000 ºC	11001001	00000000

Tabla 23-1 Ejemplo de lectura de temperaturas en el DS1624

EJEMPLO 1: Un DS1624 proporciona el siguiente valor en sus dos bytes: b'00010110 10110000', ¿cuál es el valor de la temperatura medida?

Solución: Hay que diferenciar los dos bytes:

- Byte de parte entera: b'00010110' =

  = 128 x 0 + 64 x 0 + 32 x 0 + 16 x 1 + 8 x 0 + 4 x 1 + 2 x 1 + 1 x 0 =
  + 22 ºC

- Byte de la parte decimal:
  b'10110000' = 0,5 x 1 + 0,25 x 0 + 0,125 x 1 + 0,0625 x 1 = 0,6875 ºC.

Así pues, la temperatura medida será: +22,6875 ºC

EJEMPLO 2: Una vez medida la temperatura el DS1624 proporciona en siguiente valor en sus dos bytes: b'11110110 10010000'. ¿Cuál es el valor de la temperatura?

Solución: Como el bit más alto es "1" significa que la temperatura es negativa. Para obtener el valor absoluto hay que negar aritméticamente el dato:

Negando 11110110 10010000 resulta 00001001 01110000. Por tanto:

- Byte de parte entera: b'00001001' =

  = 128 x 0 + 64 x 0 + 32 x 0 + 16 x 0 + 8 x 1 + 4 x 0 + 2 x 0 + 1 x 1 =
  + 9 ºC
- Byte de la parte decimal:
  b'01110000' = 0,5 x 0 + 0,25 x 1 + 0,125 x 1 + 0,0625 x 1 = 0,4375 ºC

Así pues, la temperatura medida será: - 9,4375 ºC

23.4 REGISTRO DE CONTROL

El DS1624 posee el denominado **registro de control** cuyo contenido determina el modo de trabajo del DS1624 en función de cómo se fijen los bits de la figura 23-4.

DONE	1	0	0	1	0	1	1SHOT

Figura 23-4 Registro de control

- Bit *DONE*. Es el bit de conversión:
  - Si DONE=0, la medida de temperatura todavía está en proceso.
  - Si DONE=1, la conversión ha finalizado
- Bit *1SHOT*. Es el bit que determina el modo de conversión:
  - Si 1SHOT=0, el DS1624 realiza constantemente la conversión de temperatura.
  - Si 1SHOT=1, sólo se realiza una conversión desde que se recibe el comando de comienzo de conversión *Start Convert*.

Este registro está implementado en EEPROM, por tanto, la escritura del mismo requiere de unos 10 ms para que se considere completada.

23.5 COMANDOS

Los bytes de datos y control son leídos y escritos en el DS1624 siguiendo el protocolo del bus I2C, según el formato descrito en la figura 23-5. En la escritura, después de enviar el byte de dirección, el microcontrolador maestro debe enviar al DS1624 alguno de los bytes de "comando" indicados en la tabla 23-2.

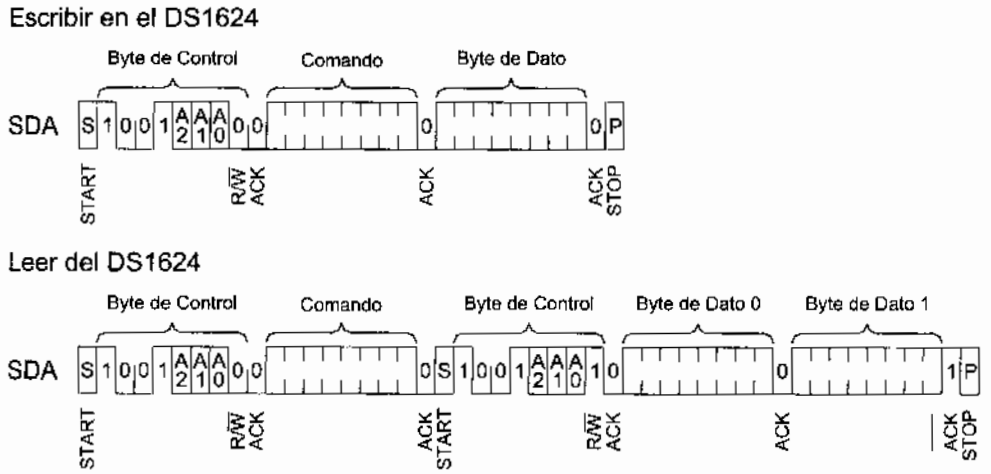


Figura 23-5 Protocolo de comunicación del DS1624 mediante bus I2C

INSTRUCCIÓN	DESCRIPCIÓN	COMANDO
Read Temperature	Lee el valor de temperatura realizado en la última conversión.	0AAh
Start Convert T	Inicia la conversión de temperatura.	0EEh
Stop Convert T	Detiene la conversión de temperatura.	22h
Access Memory	Lee o escribe en los 256 bytes de memoria interna EEPROM	17h
Access Config	Lee o escribe la palabra de configuración en el registro de control. En escritura, la palabra de control escrita es la siguiente al byte de comando.	0ACh

Tabla 23-2 Comandos del DS1624

Se distinguen dos casos para realizar la lectura de la temperatura:

- En el modo de conversión **continuo**, la conversión comienza a ejecutarse desde que se envía el comando *Start Convert T*. Las conversiones se realizan una detrás de otra y pueden ser leídas en cualquier momento. Para finalizar hay que enviar el comando *Stop Convert T*.
- En el modo de conversión **One-Shot**, se debe enviar un comando *Start Convert T* cada vez que se desee realizar la lectura de la temperatura. Cuando acaba la conversión el DS1624 pasa a modo de bajo consumo.

Una vez iniciada la conversión de temperatura mediante el comando *Start Convert T*, el microcontrolador maestro debe leer el bit DONE del registro de control para conocer si ha terminado la conversión y proceder a la lectura del DS1624. Esto no es necesario si la lectura se realiza en un tiempo mayor de un segundo después de iniciada la conversión.

23.6 LIBRERÍA DE SUBRUTINAS

El control del sensor de temperatura DS1624 puede concretarse en las subrutinas incluidas en la librería DS1624.INC:

- "DS1624_Inicializa". Configura el DS1624 para que trabaje en modo *One-Shot*.
- "DS1624_IniciaConversion" Inicializa el DS1624 para que comience la conversión de temperatura.
- "DS1624_LeeTemperatura". Proporciona tres datos:
  - Valor absoluto de la temperatura en el registro DS1624_Temperatura.
  - Parte decimal de la temperatura en el registro DS1624_Decimal.
  - Signo de la temperatura leída en el registro DS1624_Signo.

```
;************************** Librería "DS1624.INC" ************************************
;
; Estas subrutinas permiten realizar las tareas de manejo del sensor de temperatura
; DS1624. Este sensor transmite la información vía serie a través de un bus I2C.
;
; ZONA DE DATOS *********************************************************************

        CBLOCK
        DS1624_Temperatura                  ; Parte entera de la temperatura medida.
        DS1624_Decimal                      ; Parte decimal de la temperatura medida.
        DS1624_Signo                        ; Signo de la temperatura medida.
        ENDC

DS1624_DireccionEscritura   EQU   b'10010000'
DS1624_DireccionLectura     EQU   b'10010001'

Comando_ReadTemperature     EQU   0AAh      ; Comandos del DS1624.
Comando_StartConvert_T      EQU   0EEh
Comando_AccessConfig        EQU   0ACh
```

```
; Subrutina "DS1624_RedondeaDecimal" ----------------------------------------
;
; Esta subrutina redondea el valor del contenido del registro de trabajo W al valor más cercano
; con un decimal indicado en una tabla.
;
DS1624_RedondeoDecimal
        addwf   PCL,F
        retlw   d'0'    ; (DS1624_Decimal)=b'0000'. Mide 0,0000ºC. Redondeado a 0,0ºC.
        retlw   d'1'    ; (DS1624_Decimal)=b'0001'. Mide 0,0625ºC. Redondeado a 0,1ºC.
        retlw   d'1'    ; (DS1624_Decimal)=b'0010'. Mide 0,1250ºC. Redondeado a 0,1ºC.
        retlw   d'2'    ; (DS1624_Decimal)=b'0011'. Mide 0,1875ºC. Redondeado a 0,2ºC.
        retlw   d'3'    ; (DS1624_Decimal)=b'0100'. Mide 0,2500ºC. Redondeado a 0,3ºC.
        retlw   d'3'    ; (DS1624_Decimal)=b'0101'. Mide 0,3125ºC. Redondeado a 0,3ºC.
        retlw   d'4'    ; (DS1624_Decimal)=b'0110'. Mide 0,3750ºC. Redondeado a 0,4ºC.
        retlw   d'4'    ; (DS1624_Decimal)=b'0111'. Mide 0,4375ºC. Redondeado a 0,4ºC.
        retlw   d'5'    ; (DS1624_Decimal)=b'1000'. Mide 0,5000ºC. Redondeado a 0,5ºC.
        retlw   d'6'    ; (DS1624_Decimal)=b'1001'. Mide 0,5625ºC. Redondeado a 0,6ºC.
        retlw   d'6'    ; (DS1624_Decimal)=b'1010'. Mide 0,6250ºC. Redondeado a 0,6ºC.
        retlw   d'7'    ; (DS1624_Decimal)=b'1011'. Mide 0,6875ºC. Redondeado a 0,7ºC.
        retlw   d'8'    ; (DS1624_Decimal)=b'1100'. Mide 0,7500ºC. Redondeado a 0,8ºC.
        retlw   d'8'    ; (DS1624_Decimal)=b'1101'. Mide 0,8125ºC. Redondeado a 0,8ºC.
        retlw   d'9'    ; (DS1624_Decimal)=b'1110'. Mide 0,8750ºC. Redondeado a 0,9ºC.
        retlw   d'9'    ; (DS1624_Decimal)=b'1111'. Mide 0,9375ºC. Redondeado a 0,9ºC.
DS1624_FinTablaRedondeo

        IF (DS1624_FinTablaRedondeo > 0xFF)
                ERROR   "¡CUIDADO!: La tabla ha superado el tamaño de la página de los"
                MESSG   "primeros 256 bytes de memoria ROM. NO funcionará correctamente."
        ENDIF

; Subrutina "DS1624_Inicializa" ---------------------------------------------
;
; Configura el DS1624 para que trabaje en modo One-Shot.

DS1624_Inicializa
        movlw   DS1624_DireccionEscritura   ; Apunta al dispositivo.
        call    I2C_EnviaByte
        movlw   Comando_AccessConfig        ; Comando indicando que el próximo byte es la
        call    I2C_EnviaByte               ; palabra de control.
        movlw   b'01001011'                 ; Carga la palabra de control para modo One-Shot.
        call    I2C_EnviaByte
        call    I2C_EnviaStop
;       call    DS1624_IniciaConversion     ; Inicia la conversión de temperatura.
;       return

; Subrutina "DS1624_IniciaConversion" ---------------------------------------
;
; Inicializa el DS1624 para que comience la conversión de temperatura.
;
DS1624_IniciaConversion
        call    I2C_EnviaStart              ; Configura el DS1624.
        movlw   DS1624_DireccionEscritura   ; Apunta al dispositivo.
        call    I2C_EnviaByte
        movlw   Comando_StartConvert_T      ; Comando que ordena el comienzo de la conversión
```

```
        call    I2C_EnviaByte           ; de la temperatura.
        call    I2C_EnviaStop
        return

; Subrutina "DS1624_LeeTemperatura" ----------------------------------------
;
; El DS1624 lee la temperatura en un formato ejemplificado como sigue:
;
; +125.0000 ºC    01111101 00000000
; + 25.0625 ºC    00011001 00010000
; +  0.5000 ºC    00000000 10000000
; +  0.0000 ºC    00000000 00000000
; -  0.5000 ºC    11111111 10000000
; - 25.0625 ºC    11100110 11110000
; - 55.0000 ºC    11001001 00000000
;
; Se observa que:
;  -    El formato es de dos bytes. El primer byte es la parte entera y el segundo la
;       parte decimal.
;  -    Las temperaturas vienen dadas en complemento a 2.
;  -    Las temperaturas positivas comienzan con el bit MSB a cero: b'0xxxxxxx xxxxxxxx'.
;  -    Las temperaturas negativas comienzan con el bit MSB a uno:  b'1xxxxxxx xxxxxxxx'.
;
; Esta subrutina lee la temperatura, proporcionando tres datos:
; Salida:  - En (DS1624_Temperatura) la parte entera del valor de la temperatura medida.
;          - En (DS1624_Decimal) la parte decimal del valor de la temperatura.
;          - En (DS1624_Signo)=b'11111111' si la temperatura es negativa y
;            (DS1624_Signo)=b'00000000' si es positiva.
;
DS1624_LeeTemperatura
        bcf     I2C_UltimoByteLeer
        call    I2C_EnviaStart
        movlw   DS1624_DireccionEscritura   ; Apunta al dispositivo.
        call    I2C_EnviaByte
        movlw   Comando_ReadTemperature     ; Comando de lectura de la temperatura.
        call    I2C_EnviaByte
        call    I2C_EnviaStart              ; Comienza a leer.
        movlw   DS1624_DireccionLectura     ; Apunta al dispositivo.
        call    I2C_EnviaByte
        call    I2C_LeeByte                 ; Lee el primer byte
        movwf   DS1624_Temperatura          ; y lo guarda.
        bsf     I2C_UltimoByteLeer          ; El próximo es el último byte a leer.
        call    I2C_LeeByte                 ; Lee el segundo byte
        movwf   DS1624_Decimal              ; y lo guarda.
        call    I2C_EnviaStop
;
; Ahora deduce si la temperatura es positiva o negativa y halla su valor absoluto.
;
        clrf    DS1624_Signo                ; Supone que la temperatura es positiva.
        btfss   DS1624_Temperatura,7        ; Si el bit MSB es "1", la temperatura es negativa.
        goto    DS1624_FinLeeTemperatura    ; La temperatura es positiva y salta.
DS1624_TemperaturaNegativa
        comf    DS1624_Signo,F              ; Indica que la temperatura es negativa.
        comf    DS1624_Decimal,F            ; Para hallar el valor absoluto de la
```



```
        comf    DS
        movlw   .1
        addwf   DS
        btfsc   ST
        incf    DS
DS1624_FinLeeTemper
        swapf   DS
        andlw   b'0
        call    DS
        movwf   DS
        movf    DS
        return
```

23.7 TERMÓ

Una aplicació
un termómetro digit
detalla a continuació

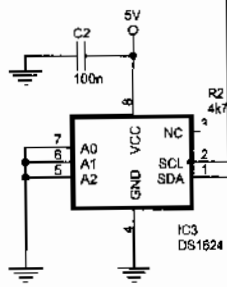


Figura 23-6

```
;*****************
;
; Programa de control pa
;
; ZONA DE DATOS ***
        __CONFIG
        LIST    P=
        INCLUDE <P
```

```
        comf    DS1624_Temperatura,F    ; temperatura invierte los dos registros y le
        movlw   .1                      ; suma una unidad.
        addwf   DS1624_Decimal,F
        btfsc   STATUS,C                ; Si hay acarreo tiene que llevarlo al byte superior.
        incf    DS1624_Temperatura,F    ; Le suma 1.
DS1624_FinLeeTemperatura
        swapf   DS1624_Decimal,W        ; Para las temperaturas es suficiente trabajar
        andlw   b'00001111'             ; con un solo digito decimal, por lo que
        call    DS1624_RedondeoDecimal  ; primero se queda con los 4 bits menos
        movwf   DS1624_Decimal          ; significativo y pasa a redondear su valor.
        movf    DS1624_Temperatura,W    ; En (W) la parte entera del valor absoluto de la
        return                          ; temperatura.
```

23.7 TERMÓMETRO DIGITAL

Una aplicación de todo lo explicado hasta ahora, es la realización del proyecto de un termómetro digital como el representado en la figura 23-6. Su programa de control se detalla a continuación.

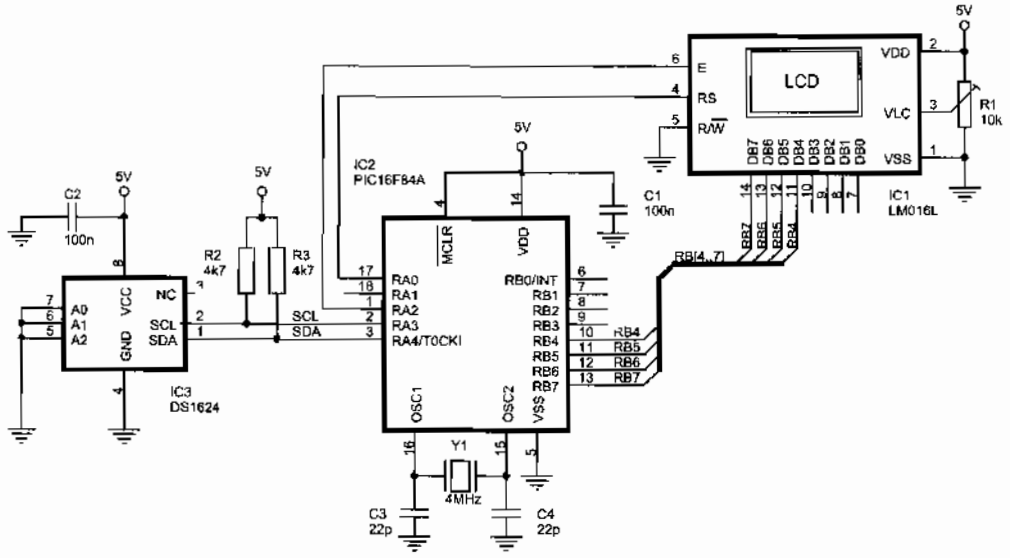


Figura 23-6 Conexión de un DS1624 a un PIC16F84A. Termómetro digital

```
;******************************** I2C_Termometro_01.asm ********************************
;
; Programa de control para un termómetro digital con el sensor de temperatura DS1624.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>
```

```
        CBLOCK  0x0C
        Registro50ms                    ; Guarda los incrementos cada 50 ms.
        ENDC

TMR0_Carga50ms  EQU     -d'195'         ; Para conseguir interrupción cada 50 ms.
Carga2s         EQU     d'40'           ; Leerá cada 2s = 40 x 50ms = 2000ms.

; ZONA DE CÓDIGOS ********************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    ServicioInterrupcion

Mensajes
        addwf   PCL,F
MensajePublicitario
        DT "IES. ISAAC PERAL", 0x00
MensajeTemperatura
        DT "Temperatura: ", 0x00
MensajeGradoCentigrado
        DT "ºC  ", 0x00                 ; En la pantalla: "ºC  "

Inicio  call    DS1624_Inicializa       ; Configura el DS1624 e inicia la conversión.
        call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0
        movlw   b'00000111'             ; Preescaler de 256 para el TMR0.
        movwf   OPTION_REG
        bcf     STATUS,RP0
        movlw   MensajePublicitario     ; Visualiza un mensaje publicitario en la primera
        call    LCD_Mensaje             ; línea del LCD.
        movlw   TMR0_Carga50ms          ; Carga el TMR0 en complemento a 2.
        movwf   TMR0
        movlw   Carga2s                 ; Y el registro cuyo decremento consigue los 2 s.
        movwf   Registro50ms
        movlw   b'10101000'             ; Activa interrupción del TMR0 (T0IE), por cambio en
        movwf   INTCON                  ; las líneas del Puerto B (RBIE) y la general (GIE).
Principal
        goto    Principal

; Subrutina "ServicioInterrupcion" ----------------------------------------------
;
; Detecta qué ha producido la interrupción y ejecuta la subrutina de atención correspondiente.

ServicioInterrupcion
        btfsc   INTCON,T0IF
        call    Termometro
        bcf     INTCON,T0IF
        retfie

; Subrutina "Termometro" --------------------------------------------------------
;
; Esta subrutina lee y visualiza el termómetro cada 2 segundos aproximadamente.
```



```
; Se ejecuta debido
; Para conseguir un
; 50 ms (40x50ms =
;
Termometro
        movlw
        movwf
        decfsz
        goto
        movlw
        movwf
        call
        call
        call
Fin_Termometro
        return

; Subrutina "Visuali
;
; Visualiza la tempe
;
; Entradas:   - (DS
;             - (DS
;             - (DS

VisualizaTermomet
        movlw
        call
        btfss
        goto
TemperaturaNegati
        movlw
        call
TemperaturaPositiv
        movf
        call
        call
        movlw
        call
        movf
        call
        movlw
        call
        return

        INCLUD
        INCLUD
        INCLUD
        INCLUD
        INCLUD
        INCLUD
        END
```

```
; Se ejecuta debido a la petición de interrupción del Timer 0, cada 50 ms.
; Para conseguir una temporización de 2 s habrá que repetir 40 veces el lazo de
; 50 ms (40x50ms = 2000ms = 2s).
;
Termometro
        movlw   TMR0_Carga50ms
        movwf   TMR0                    ; Recarga el TMR0.
        decfsz  Registro50ms,F          ; Decrementa el contador.
        goto    Fin_Termometro          ; No han pasado 2 segundos y por tanto sale.
        movlw   Carga2s                 ; Repone el contador nuevamente.
        movwf   Registro50ms
        call    DS1624_LecTemperatura   ; Lee la temperatura.
        call    DS1624_IniciaConversion ; Comienza conversión para la siguiente lectura.
        call    VisualizaTermometro
Fin_Termometro
        return

; Subrutina "VisualizaTermometro" ------------------------------------------------------
;
; Visualiza la temperatura en la segunda línea de la pantalla LCD.
;
; Entradas:   - (DS1624_Temperatura), temperatura medida en valor absoluto.
;             - (DS1624_Decimal), parte decimal de la temperatura medida.
;             - (DS1624_Signo), indica signo de la temperatura.

VisualizaTermometro
        movlw   .5                      ; Se coloca para centrar visualización en la
        call    LCD_PosicionLinea2      ; segunda línea.
        btfss   DS1624_Signo,7          ; ¿Temperatura negativa?.
        goto    TemperaturaPositiva     ; No, la temperatura es positiva.
TemperaturaNegativa:
        movlw   '-'                     ; Visualiza el signo "-" de temperatura negativa.
        call    LCD_Caracter
TemperaturaPositiva
        movf    DS1624_Temperatura,W    ; Visualiza el valor absoluto de la temperatura,
        call    BIN_a_BCD               ; pasándola previamente a BCD.
        call    LCD_Byte                ; Visualiza apagando el cero no significativo.
        movlw   '.'                     ; Visualiza el punto decimal.
        call    LCD_Caracter
        movf    DS1624_Decimal,W        ; Visualiza la parte decimal.
        call    LCD_Nibble
        movlw   MensajeGradoCentigrado  ; En pantalla aparece "ºC".
        call    LCD_Mensaje
        return

        INCLUDE <BUS_I2C.INC>
        INCLUDE <DS1624.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        END
```

Formín

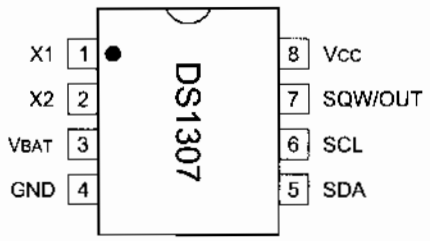
CAPÍTULO 24

DS1307, RELOJ-CALENDARIO EN BUS I2C

En muchos proyectos es necesario trabajar en tiempo real, por lo que en este capítulo se explicará una forma muy sencilla de hacerlo.

24.1 EL RELOJ-CALENDARIO DS1307

El DS1307 es un reloj en tiempo real RTC *(Real Time Clock)* con líneas de conexión a un bus I2C. Este circuito integrado es un poderoso reloj y calendario de tiempo real, que cumple perfectamente con muchas de las necesidades normales en la adquisición y registro del tiempo. Sus características más destacadas son:



V_{CC}	Fuente de alimentación.
GND	Masa.
SDA	Línea de datos de bus I2C.
SCL	Línea de reloj del bus I2C.
X1, X2	Cristal de cuarzo de 32768 Hz.
SQW/OUT	Señal cuadrada.
V_{BAT}	Batería de respaldo.

Figura 24-1 Patillaje del reloj-calendario DS1307

- Fabricado por *Dallas Semiconductors* (www.dalsemi.com), en encapsulado de 8 pines (figura 24-1)
- El DS1307 es un reloj y calendario de tiempo real que cuenta los segundos, los minutos, las horas, los días de la semana (lunes, martes, etc.), los días del mes, los meses y los años, válido hasta el año 2100.

- Almacena los datos en formato BCD para que se pueda trabajar directamente con ellos.
- Tiene 56 bytes de RAM no volátil para almacenamiento de datos.
- En su pin SQW/OUT proporciona una onda cuadrada programable.
- Tiene una circuitería interna de "respaldo" para alimentación en caso de fallo de la alimentación principal, por tanto, es capaz de mantener el tiempo y la fecha actualizados aún cuando el sistema esté apagado.
- Se puede alimentar entre 4,5 a 5,5 V, siendo su valor típico 5V.
- Posee un bajo consumo, menos a 500 nA en el modo de respaldo.
- Utiliza un cristal de cuarzo propio de 32.768 Hz para lograr tiempos exactos y no depender del microcontrolador.
- El último día del mes es automáticamente ajustado a 28, 29, 30 ó 31 días según corresponda, tiene en cuenta los años bisiestos.
- Puede trabajar en formato europeo de 24 horas o el americano de 12 con indicador de AM/PM.
- Se activa cuando recibe la dirección válida indicada en la figura 24-2.

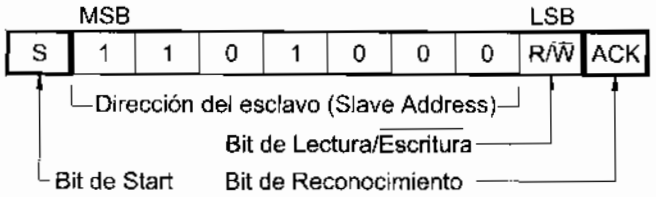


Figura 24-2 Dirección del DS1307 como esclavo en bus I2C

24.2 CONEXIÓN DE UN DS1307 A UN PIC16F84

La figura 24-3 ilustra un posible esquema de conexión con un microcontrolador PIC16F84A. Los pines SDA y SDL del DS1307 se conectan a dos líneas del puerto A del microcontrolador conformando el bus I2C. Las resistencias de Pull-Up tienen el valor característico de 4k7.

El DS1307 tiene su propio cristal de cuarzo de 32.768 Hz para lograr tiempos exactos y no depender del microcontrolador. Un condensador ajustable opcional se puede poner en paralelo con el cristal para ajustar el tiempo a valores exactos. Para este ajuste será necesaria la medida con osciloscopio de la señal cuadrada del pin SQW/OUT del DS1307. En la mayoría de las aplicaciones, la precisión del DS1307 y del cristal son suficientes y este condensador no es necesario.

Si falla la alimentación principal, el DS1307 pasa a alimentarse de la batería de respaldo BT1, manteniendo la información del tiempo y la fecha mientras la alimentación principal se mantenga apagada. Si esta batería no se utiliza, los datos de calendario del

DS1307 no se actualizarán en caso de fallo de la alimentación. El valor de esta batería debe estar comprendido entre los 2 y 3,5 V. Puede usarse cualquier tipo de pila, aunque el fabricante recomienda una batería de litio de al menos 48 mAh que garantiza una conservación de la información en el DS1307 para más de 10 años.

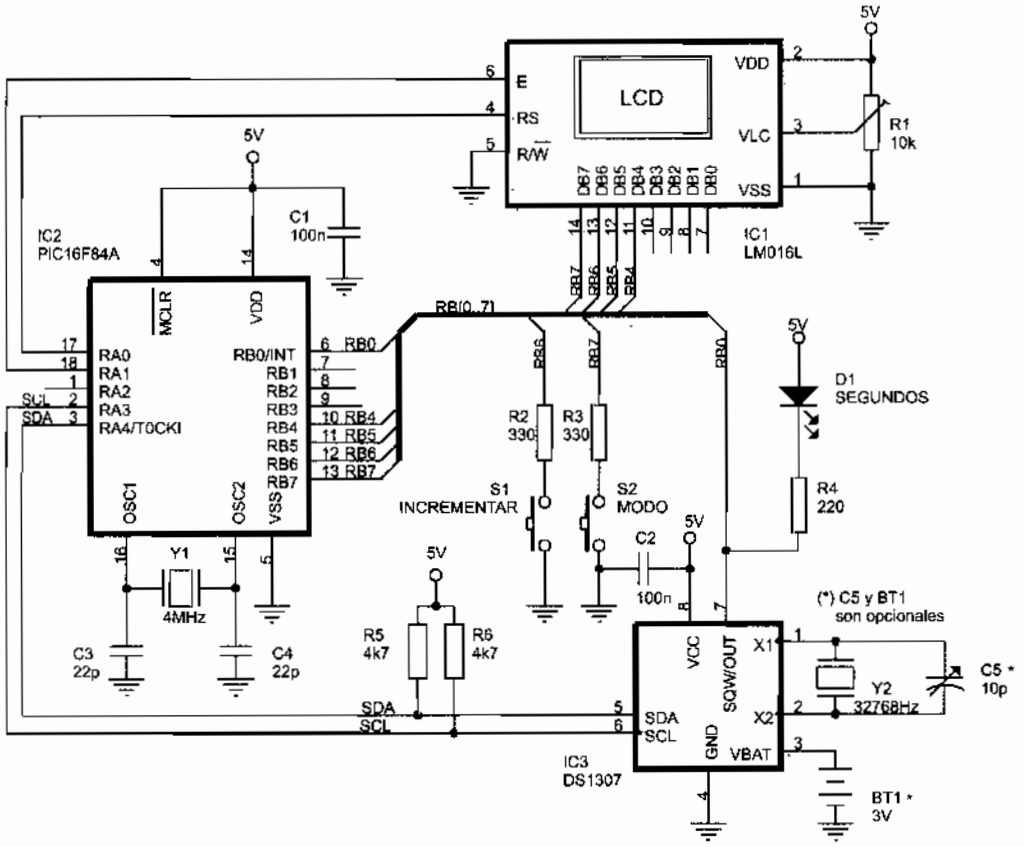


Figura 24-3 Conexión de un DS1307 a un PIC16F8A

La salida de onda cuadrada del DS1307 (SQW/OUT) se conecta a la línea de interrupción RB0/INT del microcontrolador. El programa de control del PIC1684A debe configurar esta señal cuadrada con una frecuencia de 1 Hz para que el microcontrolador sea interrumpido una vez por segundo. La salida de esta línea es en drenador abierto siendo necesaria una resistencia de Pull-Up para su correcto funcionamiento. El diodo LED D1 parpadeará al ritmo de los segundos.

La puesta en hora de este reloj digital se realiza mediante los pulsadores "MODO" e "INCREMENTAR" que se conectan a pines 7 y 6 del Puerto B. Su funcionamiento se basa en interrupción por cambio en la línea del Puerto B. En serie con estos pulsadores

deben conexionarse unas resistencias con la finalidad de que no cortocircuiten las líneas RB6 y RB7 cuando se envía datos al módulo LCD y a la vez se active estos pulsadores.

24.3 REGISTROS DEL DS1307

La figura 24-4 muestra el mapa de direcciones de la memoria RAM del DS1307. Los registros del calendario se localizan en las direcciones 00h hasta la 07h. Desde la 08h hasta la 3Fh hay 56 posiciones de memoria RAM que pueden ser utilizadas para almacenar datos.

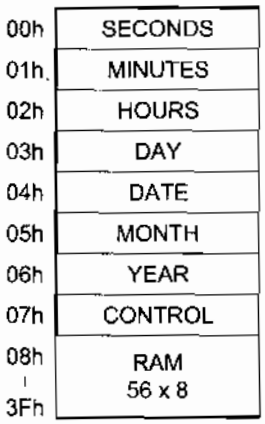


Figura 24-4 Mapa de memoria del DS1307

El valor del tiempo y calendario se obtiene mediante la lectura de los registros apropiados. La figura 24-5 muestra los registros del reloj y calendario en detalle, a destacar:

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
00h	CH	10 SECONDS			SECONDS				00-59
01h	X	10 MINUTES			MINUTES				00-59
02h	X	12/24	10 HR A/P	10 HR	HOURS				01-12 / 00-23
03h	X	X	X	X	X	DAY			1-7
04h	X	X	10 DATE		DATE				01-28/29 / 01-30 / 01-31
05h	X	X	X	10 MONTH	MONTH				01-12
06h	10 YEAR				YEAR				00-99
07h	OUT	X	X	SQWE	X	X	RS1	RS0	

Figura 24-5 Registros del DS1307

- El formato de todos los datos está en BCD.
- El bit 7 del registro 00h es el bit de puesta en marcha *Clock Halt* (CH):
  - Si CH=0, pone en marcha el reloj.
  - Si CH=1, impide el funcionamiento del reloj, el cual permanecerá parado.
- El formato de las horas puede seguir el modelo americano o el europeo controlado por el bit 6 del registro 02h (Bit 12/24).
  - Si (Bit 12/24) = 0, elige el modo europeo de 24 horas (0..23 h).
  - Si (Bit 12/24) = 1, elige el modo americano de 12 horas (1..12h).
- En el modo americano de 12 horas, el bit 5 (A/P) del registro 02h es el bit que determina si la hora es AM (bit A/P = 0) o PM (bit A/P = 1).
- En el modo europeo de 24 horas, el bit 5 es el de mayor peso de las decenas de hora.
- El contenido del registro 07h controla la señal cuadrada del pin SQW/OUT tal como se explica a continuación.

24.4 REGISTRO DE CONTROL

El registro de control del DS1307 está en la posición 07h y se utiliza para el gobierno de la onda cuadrada que se obtiene en el pin SQW/OUT. El significado de sus bits es:

- Bits 0 y 1, **RS** *(Rate Select)*. Estos bits fijan la frecuencia de la onda cuadrada cuando está habilitada según la tabla 24-1.

RS1	RS0	FRECUENCIA
0	0	1 Hz
0	1	4.096 Hz
1	0	8.192 Hz
1	1	32.768 Hz

Tabla 24-1 Frecuencia de la onda cuadrada por la patilla SQW/OUT

- Bit 4, **SQWE** *(Square Wave Enable)*. Habilita la onda cuadrada de salida:
  - Si SQWE = 0, en el pin SQW/OUT no hay una onda cuadrada.
  - Si SQWE = 1, en el pin SQW/OUT hay una onda cuadrada.
- Bit 7, **OUT** *(Output Control)*. Indica el nivel lógico de la salida SQW/OUT cuando está deshabilitada la onda cuadrada (es decir si SQWE = 0):
  - Si OUT = 0, el pin SQW/OUT está a "0".
  - Si OUT = 1, el pin SQW/OUT está a "1".

Así, por ejemplo, para generar una onda cuadrada de 1 Hz por el pin SQWE, la palabra de control sería b'00010000' (SQWE = 1, RS1 = RS0 = 0).

24.5 ESCRITURA EN EL DS1307

La transferencia de datos desde el microcontrolador al DS1307 sigue el procedimiento de escritura del maestro al esclavo de un bus I2C ya conocido y esquematizado en la figura 24-6. La transferencia de datos se efectúa en el siguiente orden:

- Primero el microcontrolador maestro envía la condición de Start.
- Luego envía la dirección del DS1307 *(Slave Address)* en modo escritura que es la b'11010000' o D0h.
- A continuación el maestro envía un puntero con la primera dirección del registro a escribir *(Word Address)*.
- Después se transmiten los datos a escribir. La dirección del registro a escribir se incrementa automáticamente.
- Cuando termina de escribir el microcontrolador maestro envía la condición de Stop.

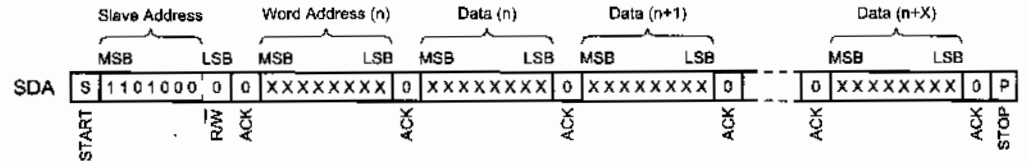


Figura 24-6 Protocolo de escritura del maestro sobre el DS1307

24.6 LECTURA DEL DS1307

La lectura de los datos del DS1307 por parte del microcontrolador sigue el procedimiento de lectura del esclavo por parte del maestro ya conocido y esquematizado en la figura 24-7. La transferencia de datos se efectúa en el siguiente orden:

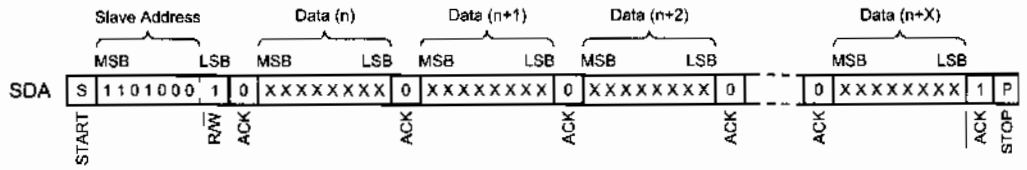


Figura 24-7 Protocolo de lectura del DS1307 por parte del maestro

- Primero el microcontrolador maestro envía la condición de Start.
- Luego envía la dirección del DS1307 *(Slave Address)* en modo lectura que es la b'11010001' o D1h.

- Después el maestro lee los datos de los registros. La dirección del registro a leer se incrementa automáticamente.
- Por último el microcontrolador maestro envía la condición de Stop.

El primer registro leído será el señalado en la última operación anterior realizada. Si este dato se desconoce, primero habrá que realizar una operación de escritura para conocer exactamente el valor de este puntero, de forma similar como se explicó para el termómetro DS1624.

24.7 LIBRERÍA DE SUBRUTINAS

El protocolo de escritura y lectura en el DS1307 se concreta en las siguientes subrutinas de control descritas en la librería DS1307.INC:

- "DS1307_Inicializa". Configura la señal cuadrada que genera el DS1307 en su pin SQW/OUT a 1 Hz.
- "DS1307_Lee". Lee las variables de tiempo del DS1307 y las guarda en los registros de tiempo correspondientes (Anho, Mes, Dia, etc.).
- "DS1307_Escribe". Carga los datos de los registros de tiempo (Anho, Mes, etc), dentro del DS1307.
- "DS1307_CargaInicial". Realiza una carga inicial en los registros internos del reloj-calendario DS1307 a fecha: Lunes, 1 de Enero de 2004 a las 0:00:00.

```
;********************************** Librería DS1307.INC ************************************
;
; Estas subrutinas permiten realizar las tareas de manejo del reloj-calendario DS1307.
; Este dispositivo transmite la información vía serie a través de un bus I2C.
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************************

        CBLOCK
        Anho                        ; Guarda el año.
        Mes                         ; Guarda el mes.
        Dia                         ; Guarda el día.
        DiaSemana                   ; Guarda el día de la semana: lunes, etc.
        Hora                        ; Guarda las horas.
        Minuto                      ; Guarda los minutos.
        Segundo                     ; Guarda los segundos.
        ENDC

DS1307_DireccionEscritura   EQU     0xD0    ; Dirección del DS1307.
DS1307_DireccionLectura     EQU     0xD1

; Subrutina "DS1307_Inicializa" ----------------------------------------------------
;
; Configura la señal cuadrada que genera el DS1307 en su pin SQW/OUT a 1 Hz.

DS1307_Inicializa
```

```
        call    I2C_EnviaStart          ; Envía condición de Start.
        movlw   DS1307_DireccionEscritura ; Indica al DS1307 que el byte a escribir,
        call    I2C_EnviaByte           ; está en la posición 07h, que corresponde
        movlw   0x07                    ; al control de la señal cuadrada.
        call    I2C_EnviaByte
        movlw   b'00010000'             ; Escribe en el registro de control para
        call    I2C_EnviaByte           ; configurar onda cuadrada del DS1307 a 1 Hz.
        call    I2C_EnviaStop           ; Termina de enviar datos.
        return

; Subrutina "DS1307_Lee" ----------------------------------------------------------
;
; Se leen las variables de tiempo del DS1307 y se guardan en los registros correspondientes.
;
DS1307_Lee
        bcf     I2C_UltimoByteLeer
        call    I2C_EnviaStart          ; Envía condición de Start.
        movlw   DS1307_DireccionEscritura ; Indica al DS1307 que el primer byte
        call    I2C_EnviaByte           ; a leer está en la posición 00H, que corresponde
        movlw   0x00                    ; a los segundos.
        call    I2C_EnviaByte
        call    I2C_EnviaStop           ; Envía condición de Stop.
                                        ; Ahora va a leer el DS1307.
        call    I2C_EnviaStart          ; Envía condición de Start.
        movlw   DS1307_DireccionLectura
        call    I2C_EnviaByte
        call    I2C_LeeByte             ; Lee los segundos.
        movwf   Segundo                 ; Lo carga en el registro correspondiente.
        call    I2C_LeeByte             ; Lee el resto de los registros utilizando
        movwf   Minuto                  ; el mismo procedimiento.
        call    I2C_LeeByte
        movwf   Hora
        call    I2C_LeeByte
        movwf   DiaSemana
        call    I2C_LeeByte
        movwf   Dia
        call    I2C_LeeByte
        movwf   Mes
        bsf     I2C_UltimoByteLeer      ; Para terminar.
        call    I2C_LeeByte
        movwf   Anho
        call    I2C_EnviaStop           ; Acaba de leer.
        return

; Subrutina "DS1307_CargaInicial" -------------------------------------------------
;
; Realiza una carga inicial en los registros internos del reloj-calendario DS1307 a fecha
; Lunes, 1 de Enero de 2004 a las 0:00:00.
;
DS1307_CargaInicial
        movlw   .1                      ; Inicializa todos los datos del reloj: año, mes,
        movwf   Dia                     ; día, día de la semana, hora, minuto y segundo.
        movwf   Mes
```



```
        movwf   Di
        movlw   .4
        movwf   An
        clrf    Ho
        clrf    Mi
        clrf    Seg
;       call    DS
;       return
;
; Subrutina "DS1307_E
;
; Carga los datos de los

DS1307_Escribe
        call    I2C
        movlw   DS
        call    I2C
        movlw   0x0
        call    I2C
        movf    Seg
        call    I2C
        movf    Min
        call    I2C
        movf    Hor
        call    I2C
        movf    Dia
        call    I2C
        movf    Dia
        call    I2C
        movf    Mes
        call    I2C
        movf    Anh
        call    I2C
        call    I2C
        return
```

24.8 PROGR

La figura 24-
DS1307 y controlad
en los comentarios
en los diagramas des

A partir de e
en reloj-calendario
programadores de ti
programable fácilme

```
        movwf   DiaSemana
        movlw   .4
        movwf   Anho                    ; Inicializa en el año 2004.
        clrf    Hora
        clrf    Minuto
        clrf    Segundo                 ; Después lo graba en el DS1307 para
;       call    DS1307_Escribe          ; ponerlo en marcha.
;       return
;
; Subrutina "DS1307_Escribe" ----------------------------------------------------
;
; Carga los datos de los registros Anho, Mes, etc., dentro del DS1307.

DS1307_Escribe
        call    I2C_EnviaStart          ; Envía condición de Start.
        movlw   DS1307_DireccionEscritura ; Indica al DS1307 que el primer byte a escribir
        call    I2C_EnviaByte           ; está en la posición 00h que corresponde
        movlw   0x00                    ; a los segundos.
        call    I2C_EnviaByte
        movf    Segundo,W               ; Pasa los segundos de la memoria del PIC16F84A al
        call    I2C_EnviaByte           ; DS1307.
        movf    Minuto,W        ; Y se repite el proceso para el resto.
        call    I2C_EnviaByte
        movf    Hora,W
        call    I2C_EnviaByte
        movf    DiaSemana,W
        call    I2C_EnviaByte
        movf    Dia,W
        call    I2C_EnviaByte
        movf    Mes,W
        call    I2C_EnviaByte
        movf    Anho,W
        call    I2C_EnviaByte
        call    I2C_EnviaStop           ; Termina de enviar datos.
        return
```

24.8 PROGRAMA DEL RELOJ CALENDARIO DIGITAL

La figura 24-3 muestra el esquema de un reloj digital y calendario basado en el DS1307 y controlado por un microcontrolador PIC16F84A. Su funcionamiento se detalla en los comentarios del documentado programa de control que se expone a continuación y en los diagramas descriptivos que se intercalan.

A partir de este esquema y este programa es fácil implementar proyectos basados en reloj-calendario de tiempo real tales como temporizadores programables, cronómetros, programadores de tiempo, etc. Por ejemplo en el capítulo 18 se explica un temporizador programable fácilmente adaptable a este dispositivo.

```
;********************************** I2C_Reloj_01.asm ************************************
;
; Programa para un reloj digital en tiempo real con puesta en hora. Visualiza los datos del
; reloj en formato:   "Día  Mes  Año" (Primera línea)
;                     "Día_de_la_Semana  Horas:Minutos:Segundos", (Segunda línea)
; (por ejemplo        " 7 Diciemb. 2004" (Primera línea).
;                     "Martes  8:47:39" (Segunda línea).
;
; La actualización del reloj se consigue leyendo el chip DS1307, que es un reloj y
; calendario en tiempo real compatible con bus I2C.
;
; El DS1307 se configura para que genere una señal cuadrada de un 1 Hz por su pin SQW/OUT.
; Esta señal se aplica al pin de interrupción INT del PIC16F84A de manera que genera una
; interrupción cada segundo, que es cuando realiza la lectura del DS1307 y la visualiza.
;
; La "PuestaEnHora" se logra mediante dos pulsadores: "MODO" e "INCREMENTAR".
; Su modo de operación es:
;  1°     Pulsa MODO, los "Años" se ponen intermitente y se ajustan mediante el
;         pulsador INCREMENTAR.
;  2°     Pulsa MODO y pasa a ajustar los "Meses" de forma similar.
;  3°     Se va pulsando MODO secuencialmente para ajustar del modo anteriormente
;         explicado los días del mes, los días de la semana, las horas y los minutos.
;  4°     Pulsa MODO y se acabó la "PuestaEnHora", pasando a visualización normal.
;
; Cuando se ajusta una variable de tiempo, ésta debe aparecer en intermitencia.
;
; Los pulsadores MODO e INCREMENTAR se conectan a líneas del Puerto B y su
; funcionamiento se basa en interrupción por cambio en la línea del Puerto B:
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        Auxiliar                        ; Registro auxiliar.
        Intermitencia                   ; Para lograr la intermitencia.
                                        ; Si es 0 apaga en intermitencia.
        FlagsAjuste                     ; Guarda los flags para establecer los
        ENDC                            ; ajustes de día, mes, año, hora, etc.

#DEFINE  ModoPulsador           PORTB,7     ; Los pulsadores se conectan a estos
#DEFINE  IncrementarPulsador    PORTB,6     ; pines del Puerto B.
#DEFINE  OndaCuadrada_DS1307    PORTB,0     ; La onda cuadrada al pin RB0/INT.
#DEFINE  F_AjusteAnho           FlagsAjuste,5   ; Flags para los diferentes modos de
#DEFINE  F_AjusteMes            FlagsAjuste,4   ; ajustes.
#DEFINE  F_AjusteDia            FlagsAjuste,3
#DEFINE  F_AjusteDiaSemana      FlagsAjuste,2
#DEFINE  F_AjusteHora           FlagsAjuste,1
#DEFINE  F_AjusteMinuto         FlagsAjuste,0
```

```
;ZONA DE CÓDIGOS **********************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    ServicioInterrupcion
```

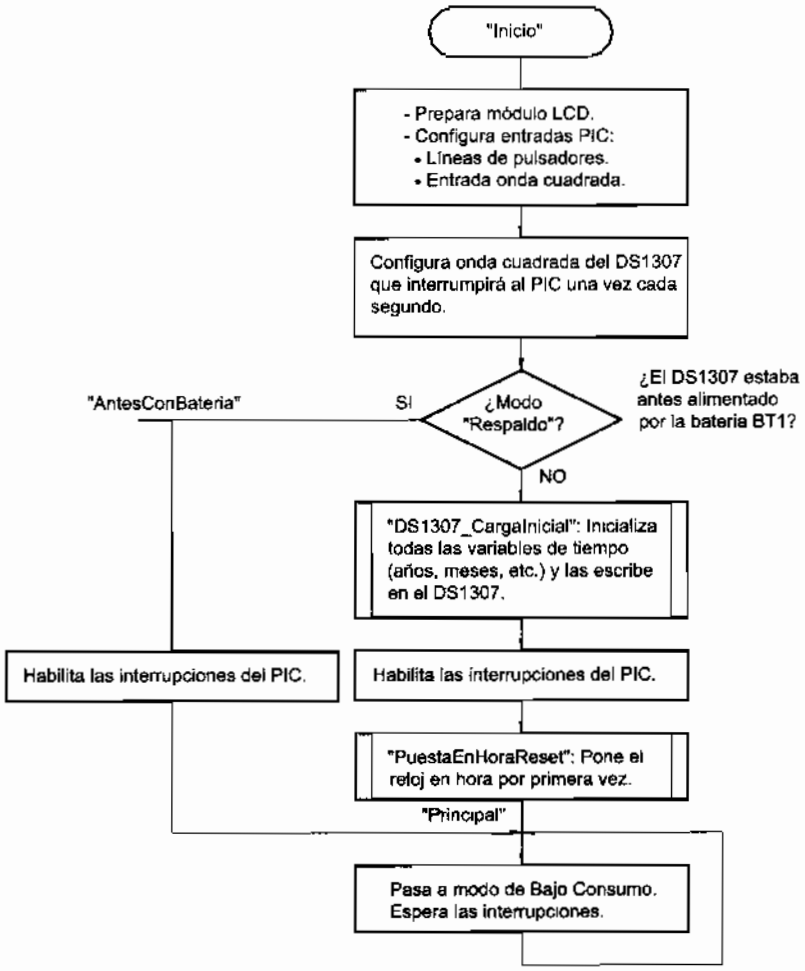


Figura 24-8 Diagrama de flujo principal del reloj digital

```
Mensajes
        addwf   PCL,F
MensajeLunes
        DT "Lunes  ", 0x00
MensajeMartes
        DT "Martes ", 0x00
MensajeMiercoles
        DT "Mierc. ", 0x00
```

```
MensajeJueves
        DT "Jueves  ", 0x00
MensajeViernes
        DT "Viernes ", 0x00
MensajeSabado
        DT "Sabado  ", 0x00
MensajeDomingo
        DT "Domingo ", 0x00
;
MensajeEnero
        DT "  Enero ", 0x00
MensajeFebrero
        DT " Febrero", 0x00
MensajeMarzo
        DT "  Marzo ", 0x00
MensajeAbril
        DT "  Abril ", 0x00
MensajeMayo
        DT "  Mayo  ", 0x00
MensajeJunio
        DT "  Junio ", 0x00
MensajeJulio
        DT "  Julio ", 0x00
MensajeAgosto
        DT " Agosto ", 0x00
MensajeSeptiembre
        DT "Septiem.", 0x00
MensajeOctubre
        DT "Octubre ", 0x00
MensajeNoviembre
        DT "Noviemb.", 0x00
MensajeDiciembre
        DT "Diciemb.", 0x00
MensajeBlanco
        DT "        ", 0x00                 ; Ocho espacios en blanco.
;
DiasSemana
        addwf   PCL,F
        nop                                 ; No hay día 0 de la semana. Empiezan en
        retlw   MensajeLunes                ; el día 1 de la semana (Lunes).
        retlw   MensajeMartes               ; Día 2 de la semana.
        retlw   MensajeMiercoles            ; Día 3 de la semana.
        retlw   MensajeJueves               ; Día 4 de la semana.
        retlw   MensajeViernes              ; Día 5 de la semana.
        retlw   MensajeSabado               ; Día 6 de la semana.
        retlw   MensajeDomingo              ; Día 7 de la semana.
Meses
        addwf   PCL,F
        nop                                 ; No hay mes 0x00.
        retlw   MensajeEnero                ; Empiezan en el mes 1 (Enero).
        retlw   MensajeFebrero              ; Mes 0x02
        retlw   MensajeMarzo                ; Mes 0x03
        retlw   MensajeAbril                ; Mes 0x04
        retlw   MensajeMayo                 ; Mes 0x05
```



```
        retlw
        retlw
        retlw
        retlw
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        nop
        retlw
        retlw
        retlw
FinTablas

; Estas tablas y mens
; supere la posición 0
; así fuera, se visualiz
;
        IF (FinTab

        ENDIF

; Instrucciones de ini
;
Inicio  call
        bsf
        bcf
        bsf
        bsf
        bsf
        bcf
        bcf
        clrf
        call

;
; Ahora lee el bit 7 de
; reset. Este bit es el
; reloj (CH=1). Tras l
;   -   Si CH está
;       vez y está
;       alimentand
;       la pantalla.
;       DS1307 qu
;   -   Si CH está
;
        call
        btfss
        goto

        call
```

© RA-MA


```
        retlw   MensajeJunio            ; Mes 0x06
        retlw   MensajeJulio            ; Mes 0x07
        retlw   MensajeAgosto           ; Mes 0x08
        retlw   MensajeSeptiembre       ; Mes 0x09
        nop                             ; Mes 0x0A      (Como el DS1307 trabaja en BCD,
        nop                             ; Mes 0x0B      estos meses se rellenan con
        nop                             ; Mes 0x0C      "nop").
        nop                             ; Mes 0x0D
        nop                             ; Mes 0x0E
        nop                             ; Mes 0x0F
        retlw   MensajeOctubre          ; Mes 0x10
        retlw   MensajeNoviembre        ; Mes 0x11
        retlw   MensajeDiciembre        ; Mes 0x12
FinTablas

; Estas tablas y mensajes se sitúan al principio del programa con el propósito que no
; supere la posición 0FFh de memoria ROM de programa. De todas formas, en caso de que
; así fuera, se visualizaría el siguiente mensaje de error en el proceso de ensamblado:
;
        IF (FinTablas > 0xFF)
                ERROR   "Atención: La tabla ha superado el tamaño de la página de los"
                MESSG   "primeros 256 bytes de memoria ROM. NO funcionará correctamente."
        ENDIF

; Instrucciones de inicialización. ----------------------------------------------
;
Inicio  call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso banco 1.
        bcf     OPTION_REG,NOT_RBPU     ; Se activan las resistencias de Pull-Up del Puerto B.
        bsf     ModoPulsador            ; Los pulsadores se configuran como entrada.
        bsf     IncrementarPulsador
        bsf     OndaCuadrada_DS1307
        bcf     OPTION_REG,INTEDG       ; Interrupción INT activa por flanco de bajada.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso banco 0.
        clrf    FlagsAjuste             ; Inicializa todos los flags de la puesta en hora.
        call    DS1307_Inicializa       ; Configura la señal cuadrada que genera el
                                        ; DS1307 en su pin SQW/OUT a 1 Hz.
;
; Ahora lee el bit 7 de los segundos para saber el estado anterior del reloj antes del
; reset. Este bit es el CH (Control Halt) y permite poner en marcha (CH=0) o parar el
; reloj (CH=1). Tras la lectura pueden ocurrir dos casos:
;   -   Si CH está a "0" quiere decir que anteriormente el reloj ya se ha puesto en hora alguna
;       vez y está en modo "respaldo". Es decir, ha fallado la alimentación y el DS1307 se está
;       alimentando por la batería conectada al pin "VBAT", aunque el reloj no se visualice en
;       la pantalla. Por tanto, no debe inicializarse porque se corrompería el contenido del
;       DS1307 que ya está en marcha.
;   -   Si CH está a "1" quiere decir que estaba parado y es la primera vez que se pone en hora.
;
        call    DS1307_Lee              ; Lee los segundos en el DS1307 y comprueba el
        btfss   Segundo,7               ; valor del bit CH. Si es "1" salta toda la
        goto    AntesConBateria         ; inicialización de los registros y la puesta
                                        ; en hora inicial.
        call    DS1307_CargaInicial     ; Realiza la carga inicial a 1 Enero de 2004.
```

```
        movlw   b'10011000'             ; Las interrupciones se deben habilitar después
        movwf   INTCON                  ; de la carga inicial del DS1307.
        call    PuestaEnHoraReset       ; Puesta en hora por primera vez.
        goto    Principal

AntesConBateria
        movlw   b'10011000'             ; Habilita las interrupciones INT, RBI y la
        movwf   INTCON                  ; general GIE.

; La sección "Principal" es de mantenimiento. Pasa al modo reposo y sólo espera las interrupciones
; procedentes de la línea "SQW/OUT" del DS1307 que se producen cada segundo en funcionamiento
; normal y cada 500 ms cuando esté en la "PuestaEnHora".

Principal
        sleep
        goto    Principal
```

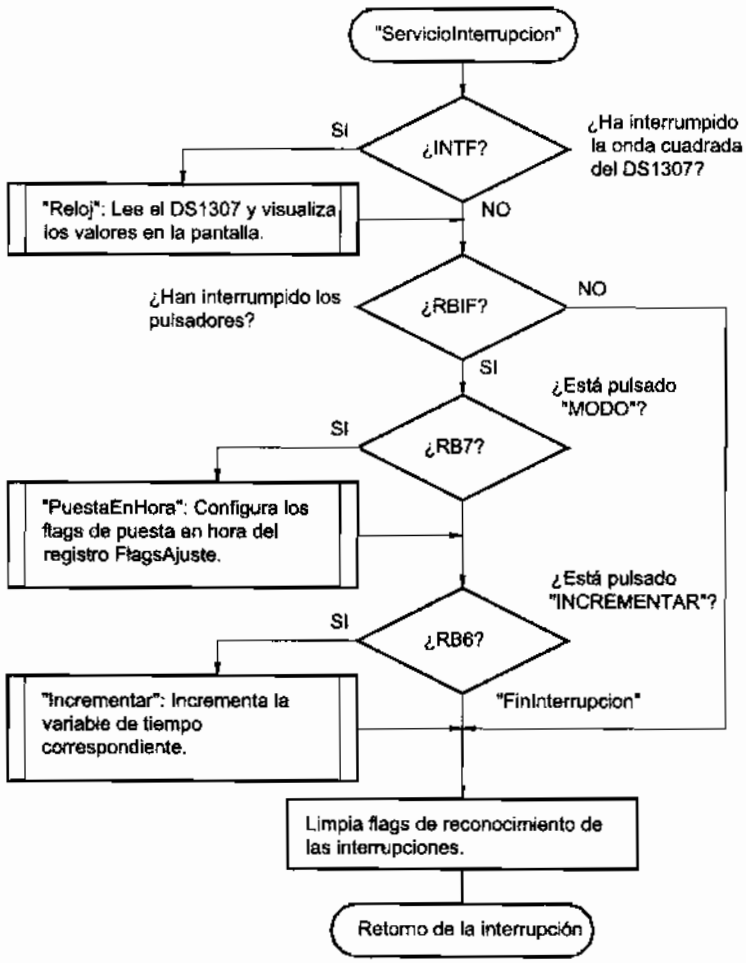


Figura 24-9 Diagrama de flujo de la subrutina de servicio a las interrupciones

© RA-MA


```
; Subrutina "ServicioInterrupcion" ----------------------------------------------
;
; Detecta qué ha producido la interrupción y ejecuta la subrutina de atención correspondiente.

ServicioInterrupcion
        btfsc   INTCON,INTF             ; Si es una interrupción procedente de la onda
        call    Reloj                   ; cuadrada del DS1307, actualiza la visualización.
        btfss   INTCON,RBIF             ; Si es una interrupción RBI, lee los pulsadores.
        goto    FinInterrupcion
        btfss   ModoPulsador            ; ¿Está presionado el pulsador de "MODO"?
        call    PuestaEnHora            ; Sí, pasa a poner en hora.
        btfss   IncrementarPulsador; ¿Pulsado "INCREMENTAR"?
        call    Incrementar             ; Sí, pasa a incrementar el registro de tiempo
FinInterrupcion                         ; correspondiente.
        bcf     INTCON,RBIF             ; Limpia los flags de reconocimiento de la
        bcf     INTCON,INTF             ; interrupción.
        retfie
```

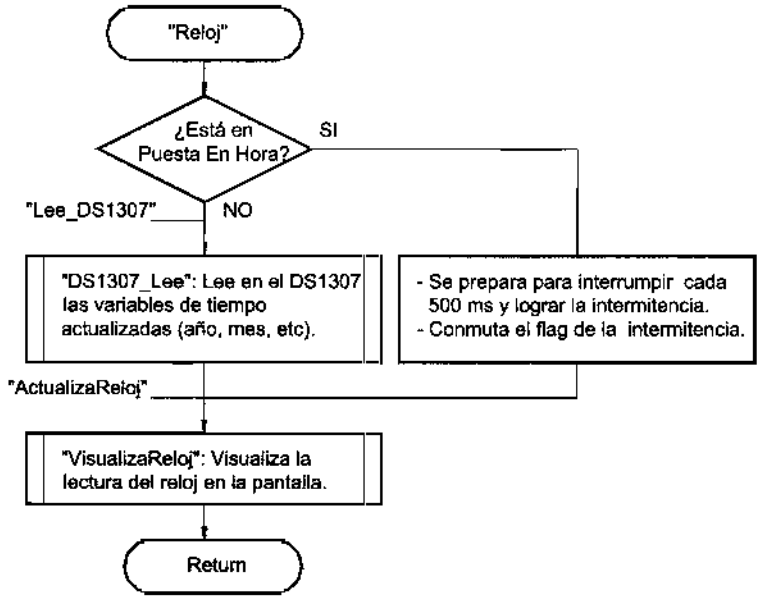


Figura 24-10 Diagrama de flujo de la subrutina Reloj

```
; Subrutina "Reloj" -------------------------------------------------------------
;
; Esta subrutina actualiza los registros Anho, Mes, Dia, DiaSemana, Hora, Minuto y Segundo
; leyendo el DS1307 a través del bus I2C. Se ejecuta debido a la petición de interrupción de
; la señal cuadrada de 1 Hz, que procede del pin "SQW/OUT" del DS1307 y se ha conectado al pin
; RB0/INT del PIC16F84A.
;
; Esta interrupción ocurre cada segundo si está en visualización normal y cada 500 ms si está
; en puesta en hora con el objetivo de conseguir la intermitencia.
;
```

```
; Si no está en puesta en hora está en funcionamiento normal, por tanto, se limita a leer
; el DS1307 y a visualizar la hora.
;
Reloj   movf    FlagsAjuste,F       ; Si no está en puesta en hora se limita a
        btfsc   STATUS,Z            ; leer el DS1307.
        goto    Leer_DS1307

; Si está en algún modo de ajuste debe interrumpir cada 500 ms para lograr la intermitencia
; alternando la interrupción por flanco de subida o de bajada. Esto lo consigue mediante la
; operación XOR del flag INTEDG con un "1", lo cual invierte este bit cada vez que ejecuta la
; instrucción y por tanto conmuta entre flanco ascendente y descendente.

        bsf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 1.
        movlw   b'01000000'         ; El bit INTEDG está en el lugar 6 del registro.
        xorwf   OPTION_REG,F
        bcf     STATUS,RP0          ; Acceso al Banco 0.

; Además complementa el registro Intermitencia para que se produzca la intermitencia
; cada 500 milisegundos cuando está en la puesta en hora.

        comf    Intermitencia,F
        goto    ActualizaReloj      ; Visualiza el reloj y sale.

Leer_DS1307

; No está en ningún modo de ajuste, sino en funcionamiento normal de reloj y pasa a leer los
; registros del reloj-calendario DS1307 a través del bus I2C. Los registros del DS1307 ya
; trabajan en formato BCD, por tanto, no hay que hacer ningún tipo de conversión al leerlos.

        call    DS1307_Lee
ActualizaReloj                      ; Estas dos instrucciones se pueden
;       call    VisualizaReloj      ; obviar, ya que a continuación efectivamente
;       return                      ; ejecuta la subrutina VisualizaReloj y
                                    ; retorna.
;
; Subrutina "VisualizaReloj" ----------------------------------------------------
;
; Visualiza el reloj en formato  "Dia  Mes  Año" (Primera Línea)
;                                "Día_de_la_Semana Horas:Minutos:Segundos", (Segunda Línea).
; Por ejemplo                    " 7 Diciemb. 2004" (Primera Línea).
;                                "Martes  8:47:39" (Segunda Línea).

; La variable ajustada debe aparecer en intermitencia. Esto se logra con ayuda de cualquier
; bit del registro Intermitencia que conmuta cada 500 ms en la subrutina Reloj.
;
VisualizaReloj
        call    LCD_Linea1          ; Se sitúa en la primera línea.
        btfss   F_AjusteDia         ; ¿Está en la puesta en hora?
        goto    EnciendeDia         ; No. Pasa a visualización normal.
        btfss   Intermitencia,0     ; Sí. Pasa a intermitencia si procede.
        goto    ApagaDia            ; Apaga en la intermitencia.
EnciendeDia
        movf    Dia,W               ; Lo visualiza. El DS1307 ya lo da en BCD.
```

```
        call    LCD_Byte                ; Visualiza rechazando cero de las decenas.
        goto    VisualizaMes
ApagaDia
        call    LCD_DosEspaciosBlancos  ; Visualiza dos espacios en blanco.
```

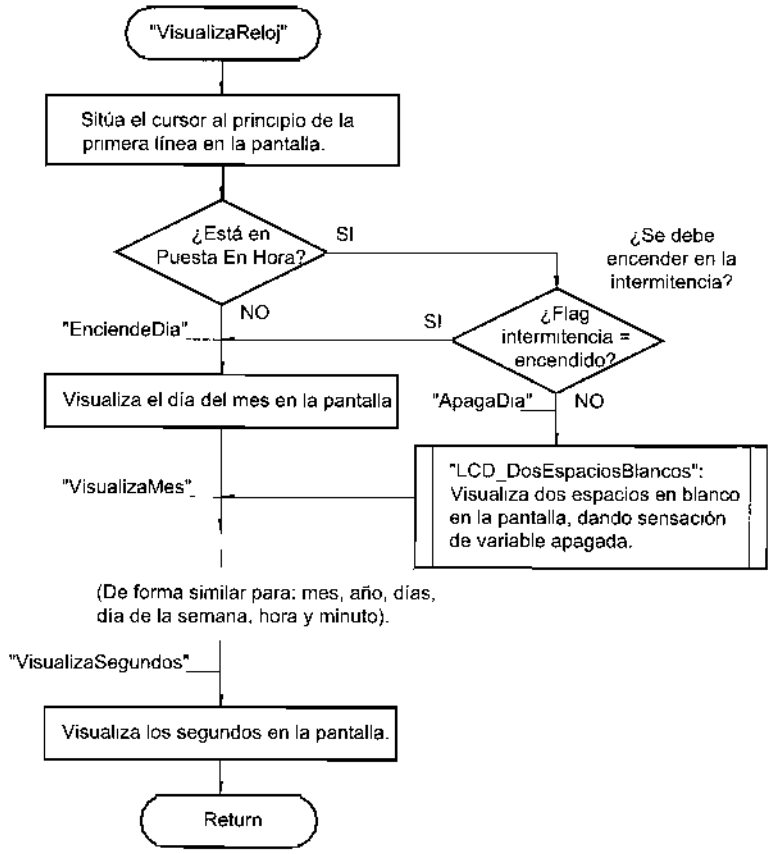


Figura 24-11 Diagrama de flujo de la subrutina VisualizaReloj

```
VisualizaMes
        call    LCD_UnEspacioBlanco     ; Visualiza un espacio en blanco.
        btfss   F_AjusteMes             ; ¿Está en la puesta en hora?
        goto    EnciendeMes             ; No. Visualización normal.
        btfss   Intermitencia,0         ; Sí. Intermitencia si procede.
        goto    ApagaMes                ; Apaga en la intermitencia.
EnciendeMes
        movf    Mes,W                   ; Lo visualiza.
        call    EscribeMes
        goto    VisualizaAnho
ApagaMes
        movlw   MensajeBlanco
        call    LCD_Mensaje             ; Visualiza varios espacios en blanco.
;
```

```
VisualizaAnho
        btfss   F_AjusteAnho            ; ¿Está en la puesta en hora?
        goto    EnciendeAnho            ; No. Visualización normal.
        btfss   Intermitencia,0         ; Sí. Intermitencia si procede.
        goto    ApagaAnho               ; Apaga en la intermitencia.
EnciendeAnho
        call    LCD_UnEspacioBlanco     ; Visualiza un espacio en blanco.
        movlw   0x20                    ; Visualiza el "20xx", del año "dos mil ...".
        call    LCD_Byte
        movf    Anho,W
        call    LCD_ByteCompleto
        goto    VisualizaDiaSemana
ApagaAnho
        movlw   MensajeBlanco
        call    LCD_Mensaje             ; Visualiza varios espacios en blanco.
;
VisualizaDiaSemana
        call    LCD_Linea2              ; Se sitúa en la segunda línea.
        btfss   F_AjusteDiaSemana       ; ¿Está en la puesta en hora?
        goto    EnciendeDiaSemana       ; No. Visualización normal.
        btfss   Intermitencia,0         ; Sí. Intermitencia si procede.
        goto    ApagaDiaSemana          ; Apaga en la intermitencia.
EnciendeDiaSemana
        movf    DiaSemana,W             ; Lo visualiza.
        call    EscribeDiaSemana
        goto    VisualizaHoras
ApagaDiaSemana
        movlw   MensajeBlanco
        call    LCD_Mensaje             ; Visualiza varios espacios en blanco.
;
VisualizaHoras
        btfss   F_AjusteHora            ; ¿Está en la puesta en hora?
        goto    EnciendeHoras           ; No. Visualización normal.
        btfss   Intermitencia,0         ; Sí. Intermitencia si procede.
        goto    ApagaHoras              ; Apaga las horas en la intermitencia.
EnciendeHoras
        movf    Hora,W                  ; Va a visualizar las horas.
        call    LCD_Byte                ; Visualiza rechazando cero de las decenas.
        goto    VisualizaMinutos
ApagaHoras
        call    LCD_DosEspaciosBlancos  ; Visualiza dos espacios en blanco.
;
VisualizaMinutos
        movlw   ':'                     ; Envía ":" para separar datos.
        call    LCD_Caracter
        btfss   F_AjusteMinuto          ; ¿Está en la puesta en hora?
        goto    EnciendeMinutos
        btfss   Intermitencia,0
        goto    ApagaMinutos
EnciendeMinutos
        movf    Minuto,W        ; Visualiza minutos.
        call    LCD_ByteCompleto
        goto    VisualizaSegundos
```



```
ApagaMinutos
        call    LCD
;
VisualizaSegundos
        movlw   ':'
        call    LCD
        movf    Segu
        call    LCD
        return
;
; Subrutina "EscribeDiaS
;
; Escribe el día de la sema
; "DiaSemana". Supone q
; En el registro W se le in
; día de la semana en letra
;
; Primero comprueba que
; erráticos con la llamada
; dato por parte del DS13
;
EscribeDiaSemana
        sublw   0x07
        btfsc   STA
        goto    Llam
        movlw   0x01
        movwf   DiaS
Llamada_a_DiasSemana
        movf    DiaS
        call    Dias
        call    LCD
        return

; Subrutina "EscribeMes"
;
; Escribe el mes del año en
;
; Primero comprueba que
; erráticos con la llamada
; por parte del DS1307.
;
; El DS1307 trabaja en BC
; soluciona con una correc
;
EscribeMes
        sublw   0x12
        btfsc   STA
        goto    Llam
        movlw   0x01
        movwf   Mes
Llamada_a_Meses
        movf    Mes,
        call    Mese
```

```
ApagaMinutos
        call    LCD_DosEspaciosBlancos    ; Visualiza dos espacios en blanco.
;
VisualizaSegundos
        movlw   ':'                       ; Envía ":" para separar datos.
        call    LCD_Caracter
        movf    Segundo,W                 ; Visualiza segundos.
        call    LCD_ByteCompleto
        return
;
; Subrutina "EscribeDiaSemana" ---------------------------------------------
;
; Escribe el día de la semana en la posición actual de la pantalla, utilizando la tabla
; "DiaSemana". Supone que el Lunes es el día 1 y el Domingo el 7.
; En el registro W se le introduce el día de la semana numérico y en la pantalla aparece el
; día de la semana en letras. Así por ejemplo si (W)=0x02 en la pantalla aparecerá "Martes".
;
; Primero comprueba que no ha superado el valor máximo para evitar problemas de saltos
; erráticos con la llamada "call DiasSemana", en caso de una lectura defectuosa de este
; dato por parte del DS1307.
;
EscribeDiaSemana
        sublw   0x07                      ; ¿Ha superado su valor máximo?
        btfsc   STATUS,C
        goto    Llamada_a_DiasSemana
        movlw   0x01                      ; Lo inicializa si ha superado su valor máximo.
        movwf   DiaSemana
Llamada_a_DiasSemana
        movf    DiaSemana,W
        call    DiasSemana
        call    LCD_Mensaje
        return

; Subrutina "EscribeMes" ---------------------------------------------------
;
; Escribe el mes del año en la posición actual de la pantalla, utilizando la tabla "Meses".
;
; Primero comprueba que no ha superado el valor máximo para evitar problemas de saltos
; erráticos con la llamada "call Meses", en caso de una lectura defectuosa de este dato
; por parte del DS1307.
;
; El DS1307 trabaja en BCD y la tabla en binario natural. Esto es un problema que se
; soluciona con una correcta distribución de la tabla "Meses".
;
EscribeMes
        sublw   0x12                      ; ¿Ha superado su valor máximo? (Observad que
        btfsc   STATUS,C                  ; trabaja en BCD)
        goto    Llamada_a_Meses
        movlw   0x01                      ; Lo inicializa si ha superado su valor máximo.
        movwf   Mes
Llamada_a_Meses
        movf    Mes,W                     ; Retorna el resultado en el registro W.
        call    Meses
```

```
        call    LCD_Mensaje
        return
```

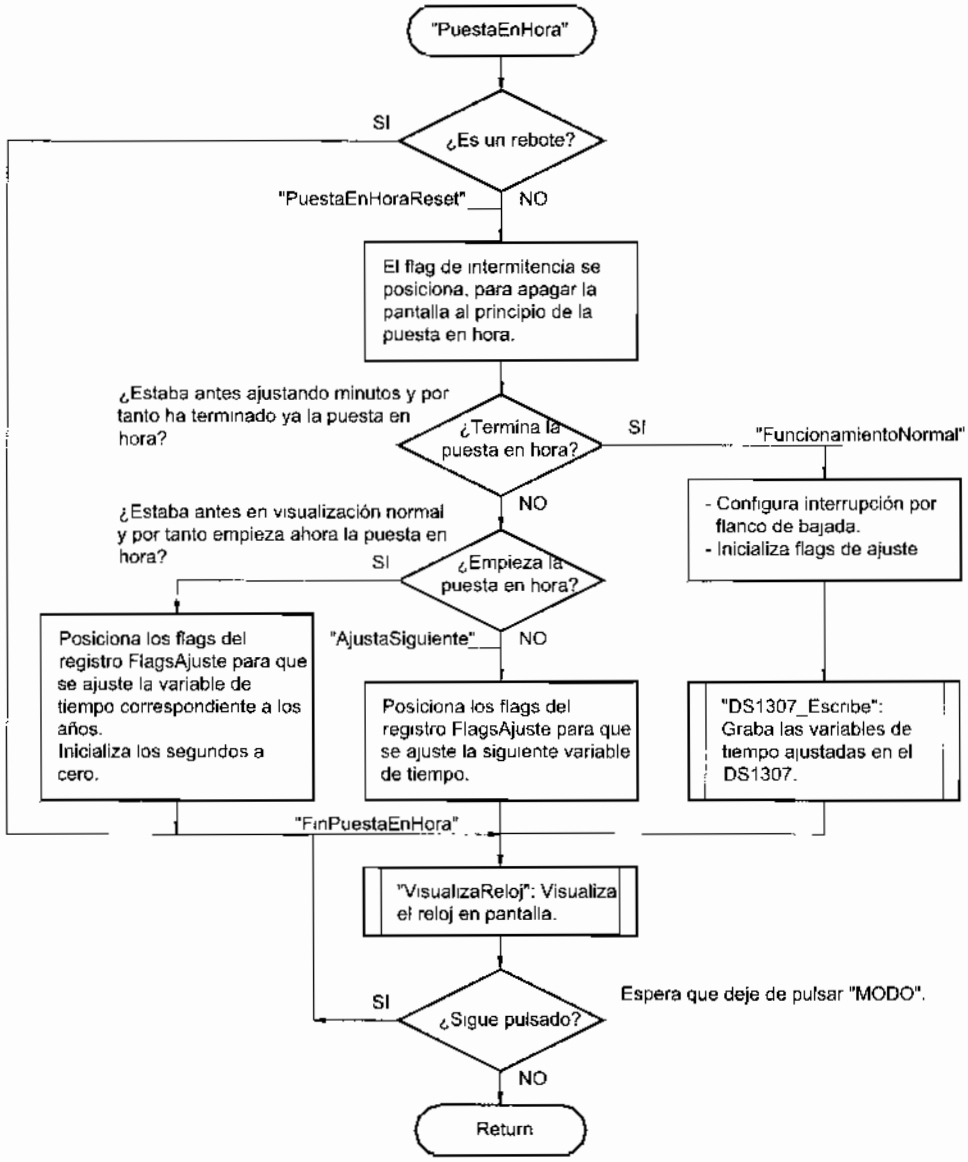


Figura 24-12 Diagrama de flujo de la subrutina PuestaEnHora

```
; Subrutina "PuestaEnHora" ----------------------------------------------------
;
; Subrutina de atención a la interrupción producida por el pulsador MODO que pone en hora el
; reloj. Cada vez que pulsa se desplaza el "1" a través del registro FlagsAjuste, pasando a
; ajustar secuencialmente: años, meses, días, días de la semana, horas y minutos.
```



```
;
; Para comprender el funci
; contiene 5 flags que perm
; - "F_AjusteAnho":
; - "F_AjusteMes":
; - "F_AjusteDia":
; - "F_AjusteDiaSemana":
; - "F_AjusteHora":
; - "F_AjusteMinuto":
;
; Así pues el contenido del
; - (FlagsAjuste)=b'001000
; - (FlagsAjuste)=b'000100
; - (FlagsAjuste)=b'000010
; - (FlagsAjuste)=b'000001
; - (FlagsAjuste)=b'000000
; - (FlagsAjuste)=b'000000
; - (FlagsAjuste)=b'000000
;
; Pueden ocurrir tres casos:
;   -   Que pulse "MOD
;       (FlagsAjuste)=b'
;       carga (FlagsAjus
;       FlagsAjuste.
;   -   Que pulse "MOD
;       ajuste del siguien
;       a derechas. Así p
;       (FlagsAjuste)=b'
;       como ajuste de lo
;   -   Que pulse "MOD
;       (FlagsAjuste)=b'
;       puesta en hora ha
;
PuestaEnHora
        call    Retard
        btfsc   ModoF
        goto    FinPue
PuestaEnHoraReset
        clrf    Interm
        btfsc   F_Ajus
        goto    Funcio
        movf    FlagsA
        btfss   STATU
        goto    Ajusta
        bsf     F_Ajus
        clrf    Segund
        goto    FinPue
AjustaSiguiente
        bcf     STATU
        rrf     FlagsA
        goto    FinPue
;
; Lo siguiente se ejecuta si y
```

© RA-MA


```
;
; Para comprender el funcionamiento de esta subrutina hay que saber que el registro FlagsModos
; contiene 5 flags que permite diferenciar cada uno de los ajustes de registros de tiempo:
; - "F_AjusteAnho":          bit 5 de FlagsAjuste, para ajustar los años.
; - "F_AjusteMes":           bit 4 de FlagsAjuste, para ajustar los meses.
; - "F_AjusteDia":           bit 3 de FlagsAjuste, para ajustar los días del mes.
; - "F_AjusteDiaSemana":     bit 2 de FlagsAjuste, para ajustar los días de la semana.
; - "F_AjusteHora":          bit 1 de FlagsAjuste, para ajustar las horas.
; - "F_AjusteMinuto":        bit 0 de FlagsAjuste, para ajustar los minutos.
;
; Así pues el contenido del registro FlagAjuste identifica los siguientes ajustes:
; - (FlagsAjuste)=b'00100000'. Está ajustando el registro Anho (Años).
; - (FlagsAjuste)=b'00010000'. Está ajustando el registro Mes.
; - (FlagsAjuste)=b'00001000'. Está ajustando el registro Dia.
; - (FlagsAjuste)=b'00000100'. Está ajustando el registro DiaSemana (Lunes, Martes, etc).
; - (FlagsAjuste)=b'00000010'. Está ajustando el registro Hora.
; - (FlagsAjuste)=b'00000001'. Está ajustando el registro Minuto.
; - (FlagsAjuste)=b'00000000'. Está en visualización normal del reloj en tiempo real.
;
; Pueden ocurrir tres casos:
;   -   Que pulse "MODO" estando en modo de visualización normal identificado porque
;       (FlagsAjuste)=b'0000000'. En este caso debe activar el flag F_AjusteAnho, es decir,
;       carga (FlagsAjuste)=b'00100000', ya que el flag F_AjusteAnho es el bit 5 del registro
;       FlagsAjuste.
;   -   Que pulse "MODO" estando ya en la puesta en hora, en cuyo caso debe pasar al
;       ajuste del siguiente registro de tiempo. Ésto lo hace mediante un desplazamiento
;       a derechas. Así por ejemplo, si antes estaba ajustando los meses, es decir:
;       (FlagsAjuste)=b'00010000', pasará a (FlagsAjuste)=b'00001000' que se identifica
;       como ajuste de los días del mes.
;   -   Que pulse "MODO" estando en el último ajuste correspondiente a los minutos,
;       (FlagsAjuste)=b'00000001', pasará a (FlagsAjuste)=b'00000000', indicando que la
;       puesta en hora ha terminado y pasa a visualización normal del reloj en tiempo real.
;
PuestaEnHora
        call    Retardo_20ms            ; Espera a que se estabilice el  nivel de tensión.
        btfsc   ModoPulsador            ; Si es un rebote sale fuera.
        goto    FinPuestaEnHora
PuestaEnHoraReset                       ; Al pulsar "MODO" se apaga la variable de
        clrf    Intermitencia           ; tiempo que se va a ajustar.
        btfsc   F_AjusteMinuto          ; Si antes estaba en ajuste de minutos es que
        goto    FuncionamientoNormal    ; ha terminado. Graba datos en el DS1307 y sale.
        movf    FlagsAjuste,F           ; Si antes estaba en funcionamiento normal ahora
        btfss   STATUS,Z                ; pasa a ajustar el año.
        goto    AjustaSiguiente         ; Sino pasa a ajustar la variable de tiempo siguiente.
        bsf     F_AjusteAnho            ; Pasa a ajustar el año.
        clrf    Segundo                 ; Inicializa contador de segundos.
        goto    FinPuestaEnHora
AjustaSiguiente                         ; Desplaza un uno a la derecha del registro
        bcf     STATUS,C                ; FlagsAjuste para ajustar secuencialmente cada
        rrf     FlagsAjuste,F           ; uno de los registros de tiempo: año, mes, día,
        goto    FinPuestaEnHora         ; día de la semana, hora y minuto.
;
; Lo siguiente se ejecuta si ya ha acabado el ajuste de la hora, es decir, pasa a
```

```
; funcionamiento normal. En este caso hay que realizar tres operaciones:
;   -   Fijar la interrupción INT solo por flanco de bajada.
;   -   Inicializar a cero todos los flags de ajuste contenidos en (FlagsAjuste).
;   -   Escribir el DS1307 con los datos de las variables de tiempo contenidas en la
;       memoria RAM del microcontrolador.
;
FuncionamientoNormal
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        bcf     OPTION_REG,INTEDG       ; Interrupción INT activa por flanco de bajada.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
        clrf    FlagsAjuste             ; Inicializa los flags de ajuste.
        call    DS1307_Escribe          ; Graba los datos en el DS1307.
FinPuestaEnHora
        call    VisualizaReloj          ; Visualiza los datos del reloj digital.
        btfss   ModoPulsador            ; Ahora espera deje de pulsar.
        goto    FinPuestaEnHora
        return

; Subrutina "Incrementar" ----------------------------------------------------------
;
; Subrutina de atención a la interrupción por cambio de la línea RB6 al cual se ha
; conectado el pulsador "INCREMENTAR".
;
; Incrementa según corresponda una sola de las siguientes variables: (Anho), (Mes),
; (Dia), (DiaSemana), (Hora) o (Minuto).

Incrementar
        call    Retardo_20ms            ; Espera a que se estabilice el nivel de tensión.
        btfsc   IncrementarPulsador; Si es un rebote sale fuera.
        goto    FinIncrementar
        btfsc   F_AjusteAnho
        call    IncrementaAnhos
        btfsc   F_AjusteMes
        call    IncrementaMeses
        btfsc   F_AjusteDia
        call    IncrementaDias
        btfsc   F_AjusteDiaSemana
        call    IncrementaDiasSemana
        btfsc   F_AjusteHora
        call    IncrementaHoras
        btfsc   F_AjusteMinuto
        call    IncrementaMinutos
        movlw   b'11111111'
        movwf   Intermitencia           ; Visualiza siempre mientras incrementa.
        call    VisualizaReloj          ; Visualiza mientras espera que deje
        call    Retardo_200ms           ; de pulsar.
        btfss   IncrementarPulsador; Mientras permanezca pulsado
        goto    Incrementar             ; incrementará el dígito.
FinIncrementar
        return
```

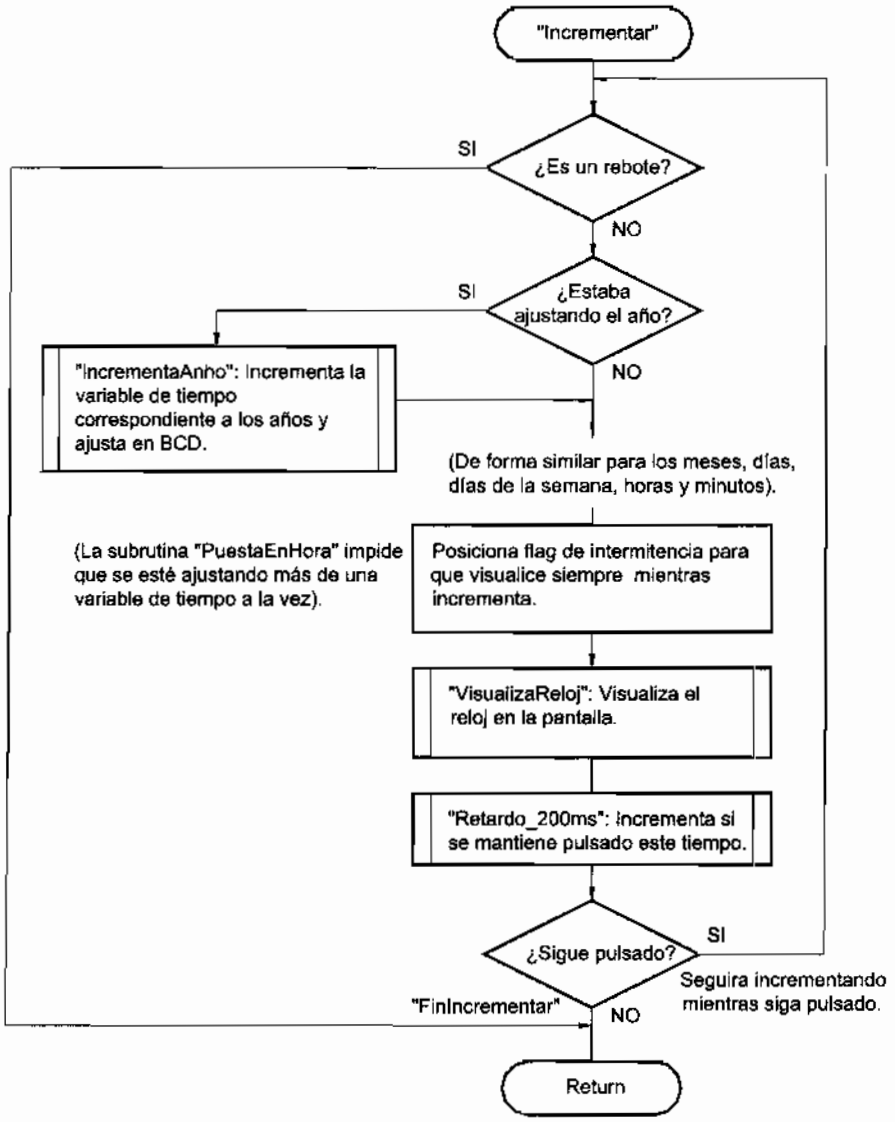


Figura 24-13 Diagrama de flujo de la subrutina Incrementar

```
; Subrutina "IncrementaMinutos" ----------------------------------------------
;
; Incrementa el valor de la variable Minutos. Si supera los 0x59, lo resetea.
; Este incremento se debe realizar en BCD para ello utiliza la subrutina AjusteBCD.

IncrementaMinutos
        incf    Minuto,F                ; Incrementa los minutos.
        movf    Minuto,W        ; Lo pasa a BCD.
        call    AjusteBCD
```

```
        movwf   Minuto                  ; Lo guarda.
        sublw   0x59                    ; ¿Ha superado su valor máximo?
        btfss   STATUS,C
        clrf    Minuto                  ; Lo inicializa si ha superado su valor máximo.
        return

; Subrutina "IncrementaHoras" ----------
;
IncrementaHoras
        incf    Hora,F                  ; Incrementa las Horas.
        movf    Hora,W                  ; Ahora hace el ajuste BCD.
        call    AjusteBCD
        movwf   Hora                    ; Lo guarda.
        sublw   0x23                    ; ¿Ha superado su valor máximo?
        btfss   STATUS,C
        clrf    Hora                    ; Lo inicializa si ha superado su valor máximo.
        return

; Subrutina "IncrementaDiasSemana" ----------
;
IncrementaDiasSemana
        incf    DiaSemana,F
        movf    DiaSemana,W
        sublw   .7                      ; ¿Ha superado su valor máximo?
        btfsc   STATUS,C
        goto    FinIncrementaDiasSemana
        movlw   .1                      ; Lo inicializa si ha superado su valor máximo.
        movwf   DiaSemana
FinIncrementaDiasSemana
        return

; Subrutina "IncrementaDias" ----------
;
IncrementaDias
        incf    Dia,F                   ; Incrementa.
        movf    Dia,W                   ; Ahora hace el ajuste BCD.
        call    AjusteBCD
        movwf   Dia                     ; Lo guarda.
        sublw   0x31                    ; ¿Ha superado su valor máximo?
        btfsc   STATUS,C
        goto    FinIncrementaDias
        movlw   .1                      ; Lo inicializa si ha superado su valor máximo.
        movwf   Dia
FinIncrementaDias
        return

; Subrutina "IncrementaMeses" ----------
;
IncrementaMeses
        incf    Mes,F                   ; Incrementa.
        movf    Mes,W
        call    AjusteBCD               ; Ajusta a BCD.
        movwf   Mes                     ; Lo guarda.
```



```
        sublw   0x1
        btfsc   STA
        goto    Finl
        movlw   .1
        movwf   Mes
FinIncrementaMeses
        return

; Subrutina "IncrementaA
;
; Incrementa el valor de l
; Es decir, llega hasta el a
; Este incremento se debe
;
IncrementaAnhos
        incf    Anh
        movf    Anh
        call    Ajus
        movwf   Anh
        sublw   0x30
        btfss   STA
        clrf    Anh
        return

; Subrutina "AjusteBCD"
;
; Esta subrutina pasa a BC
; el valor "9", en cuyo cas
; (Minuto)=0x19, al incren
; le suma 6 resulta (Minut
;
; Entrada: En (W) el códig
; Salida:  En (W) el códig
;
AjusteBCD
        movwf   Auxil
        andlw   b'000
        sublw   .9
        btfsc   STAT
        goto    NoSu
        movlw   .6
        addwf   Auxil
NoSuperaNueve
        movf    Auxil
        return

        INCLUDE <BU
        INCLUDE <DS
        INCLUDE <RE
        INCLUDE <LC
        INCLUDE <LC
        END
```

```
        sublw   0x12                    ; ¿Ha superado su valor máximo?.
        btfsc   STATUS,C
        goto    FinIncrementaMeses
        movlw   .1                      ; Lo inicializa si ha superado su valor máximo.
        movwf   Mes
FinIncrementaMeses
        return

; Subrutina "IncrementaAnhos" ----------------------------------------------------
;
; Incrementa el valor de la variable (Anhos). Cuando llega a 0x30 (BCD), lo resetea.
; Es decir, llega hasta el año 2030, que se ha considerado suficientemente alto.
; Este incremento se debe realizar en BCD para ello utiliza la subrutina AjusteBCD.
;
IncrementaAnhos
        incf    Anho,F                  ; Incrementa.
        movf    Anho,W                  ; Ahora hace el ajuste BCD.
        call    AjusteBCD
        movwf   Anho                    ; Lo guarda.
        sublw   0x30                    ; ¿Ha superado su valor máximo?
        btfss   STATUS,C                ; Si no llega a su máximo sale.
        clrf    Anho                    ; Lo inicializa si ha superado su valor máximo.
        return

; Subrutina "AjusteBCD" ----------------------------------------------------------
;
; Esta subrutina pasa a BCD el dato de entrada. Para ello detecta si las unidades superan
; el valor "9", en cuyo caso le suman 6 para pasarlo a BCD. Por ejemplo, si previamente
; (Minuto)=0x19, al incrementarle resulta (Minuto)=0x1A que no es un código válido BCD, si se
; le suma 6 resulta (Minuto)=0x1A+0x06=0x20 que es un código válido BCD.
;
; Entrada: En (W) el código a convertir
; Salida:  En (W) el código convertido en BCD.
;
AjusteBCD
        movwf   Auxiliar                ; Guarda el valor del número a convertir.
        andlw   b'00001111'             ; Se queda con su parte baja.
        sublw   .9                      ; Comprueba si pasa de nueve.
        btfsc   STATUS,C
        goto    NoSuperaNueve
        movlw   .6                      ; Sí, lo ha superado, por lo tanto le suma 6.
        addwf   Auxiliar,F
NoSuperaNueve
        movf    Auxiliar,W              ; Retorna el resultado en el registro W.
        return

        INCLUDE <BUS_I2C.INC>           ; Subrutinas de control del bus I2C.
        INCLUDE <DS1307.INC>            ; Subrutinas de control del DS1307.
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        END
```

CAPÍTULO 25

SAA1064, CONTROLADOR DE DISPLAY

En muchos proyectos es necesario representar la información en displays de siete segmentos cuya conexión directa a un microcontrolador requiere de gran cantidad de líneas. También hay otros dispositivos que permiten conectarlos a un bus I2C con una utilización mínima de líneas como el que se estudiará en este capítulo.

25.1 SAA1064, CONTROLADOR DE DISPLAY

El SAA1064 en un controlador para cuatro displays de 7 segmentos a diodos LED compatible con bus I2C. Sus características más sobresalientes son:

- Es fabricado con el patillaje que se muestra en la figura 25-1 por *Philips Semiconductors*, (www.semiconductors.philips.com).
- Está especialmente diseñado para gobernar cuatro displays de 7 segmentos de ánodo común tipo LED.
- La corriente por los segmentos puede ser controlada por software desde 0 mA (apagado) hasta 21 mA (máxima luminosidad).
- La alimentación puede variar entre 4,5 a 15 V, siendo 5 V su valor típico.
- Permite la multiplexación de dos pares de dígitos.

25.2 CIRCUITO TÍPICO PARA MODO ESTÁTICO

El SAA1064 puede trabajar en un modo denominado **estático** alimentando a dos displays cuyo circuito típico se muestra en la figura 25-2.

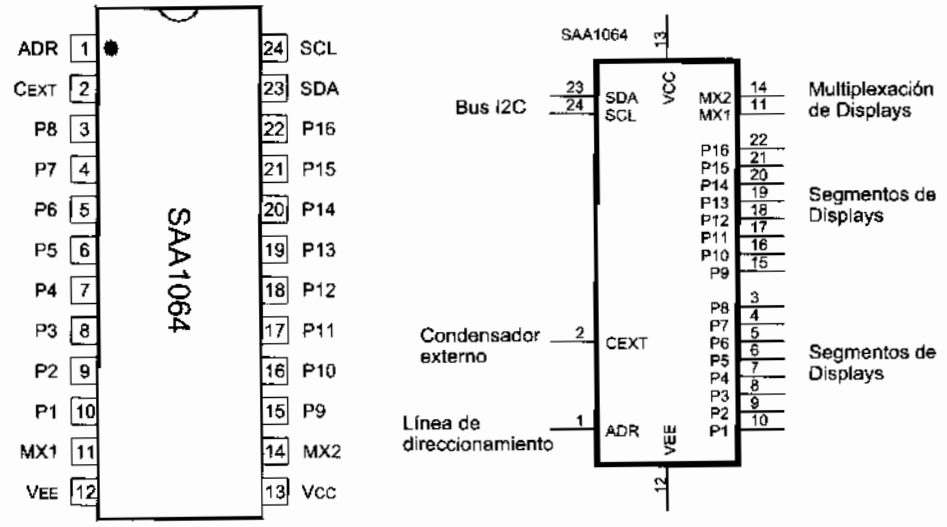


Figura 25-1 Patillaje del controlador de display SAA1064

El bus I2C se logra mediante las conexiones de los pines SCL y SDA del SAA1064 a las líneas RA3 y RA4 del microcontrolador. Las resistencias de Pull-Up tienen el valor característico de 4k7.

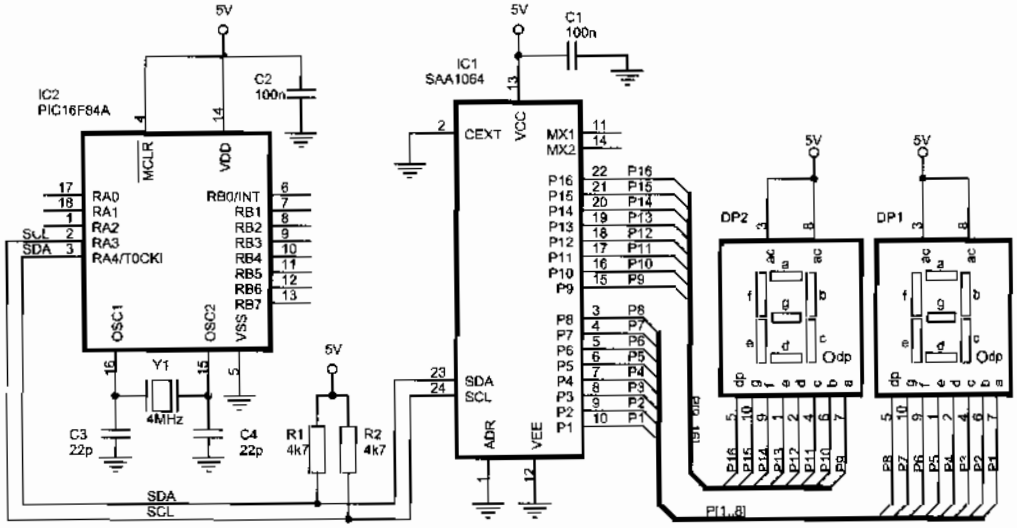


Figura 25-2 Circuito típico para el SAA1064 en modo de funcionamiento estático

Los displays tienen que ser de ánodo común, que se alimentan a V_{CC}. Los segmentos del display DP1 se conectan a las líneas P1 a P8 y los del display DP2 se

conectan a las líneas
"1" y no necesita
corriente.

Este circuito n
encienden al mismo t

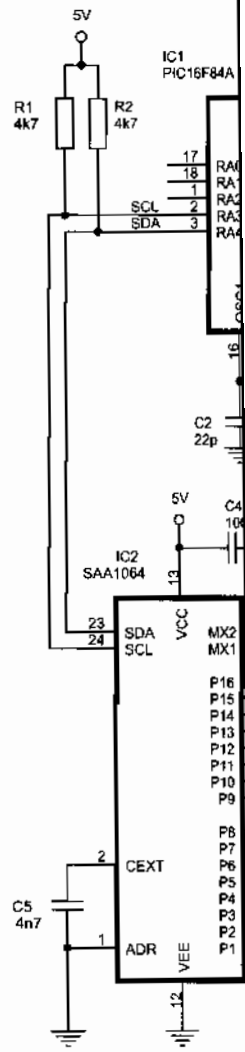


Figura 25-3 Circu

conectan a las líneas P9 a P16. Un segmento se enciende si su correspondiente bit está a "1" y no necesita resistencia limitadora ya que el SAA1064 limita internamente la corriente.

Este circuito no es muy utilizado porque sólo permite gobernar dos displays que se encienden al mismo tiempo.

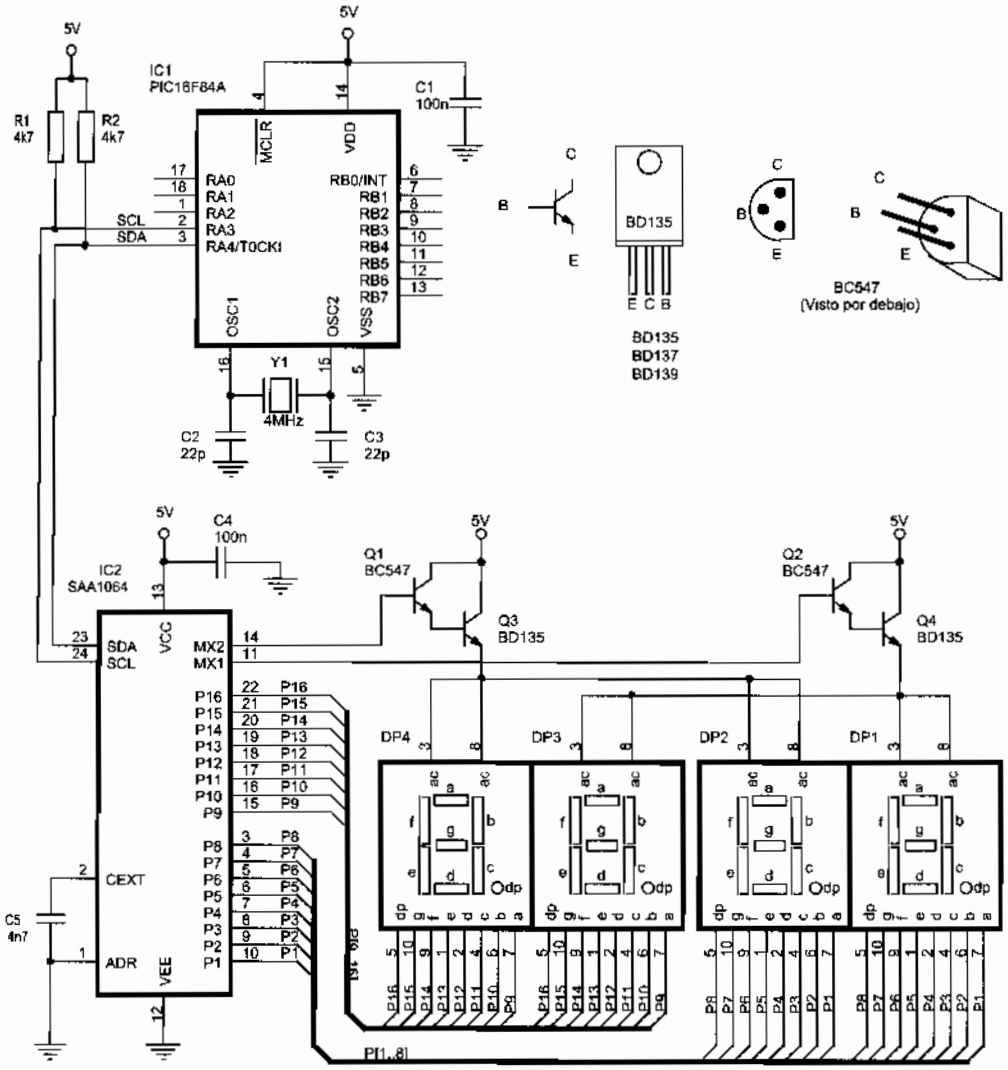


Figura 25-3 Circuito típico para el SAA1064 en modo de funcionamiento dinámico

25.3 CIRCUITO TÍPICO PARA MODO DINÁMICO

Para gobernar cuatro displays se utiliza el circuito típico de la figura 25-3. Se observa que el ánodo común de cada display se alimenta a V_{CC} a través de un par de transistores Darlington. Los segmentos de los displays 1 y 2 se conectan de la línea P1 a la P8 y los de los displays 3 y 4 se conectan de la línea P9 a la P16 del SAA1064. Un segmento se enciende si su correspondiente bit está a "1" y, además, los transistores conectados al terminal de ánodo común de los displays correspondientes están saturados.

Una pantalla con varios displays presenta el problema de su alto consumo, que puede ser excesivo si todos los segmentos de todos los displays están encendidos a la vez. Para solucionar esto se aplica el concepto de **visualización dinámica**, también conocido como **multiplexación de displays**.

La multiplexación de display consiste en activar sólo parte de los displays que conforman el conjunto de la pantalla, cambiando el encendido de unos a otros displays de forma secuencial de manera que no estén encendidos todos simultáneamente. Esto debe hacerse a velocidad tal que el ojo humano no sea capaz de detectarlo, aparentando así que todos los visualizadores están encendidos a la vez.

Este modo de funcionamiento del SAA1064 se llama **dinámico**, donde la multiplexación se consigue mediante los pines MX1 y MX2 con ayuda de dos pares de transistores Darlington, de los cuales sólo conduce un par a la vez, tal como se aclara en la tabla 25-1.

MX1	MX2	Q1 y Q3	Q2 y Q4	DP1 y DP3	DP2 y DP4	LÍNEAS P1 A P8	LÍNEAS P9 A P16
1	0	OFF	ON	Encendidos	Apagados	Datos para DP1	Datos para DP3
0	1	ON	OFF	Apagados	Encendidos	Datos para DP2	Datos para DP4
0	0	OFF	OFF	Apagados	Apagados	---	---

Tabla 25-1 Funcionamiento del modo dinámico o multiplexado

La conmutación de los pines MX1 y MX2 se gobierna mediante un oscilador interno y el condensador conectado a la patilla CEXT de un valor típico de 4,7 nF, que logra una frecuencia de multiplexación suficientemente elevada para evitar el parpadeo.

25.4 DIRECCIONAMIENTO COMO ESCLAVO

La figura 25-4 describe la dirección de esclavo para escritura del SAA1064, siendo A1 y A0 dos bits cuyo valor depende de la tensión aplicada al pin ADR según la tabla 25-2.

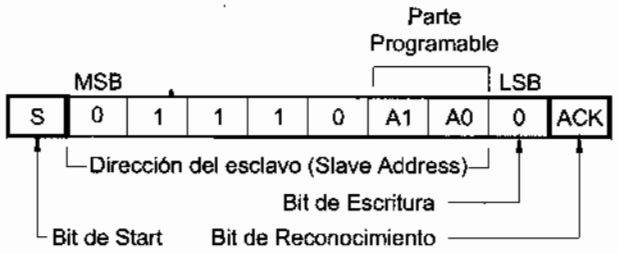


Figura 25-4 Dirección del SAA1064 como esclavo en un bus I2C

Tensión pin ADR	A1	A0	Dirección como esclavo para escritura b'0 1 1 1 0 (A1) (A0) 0'
0 V (masa).	0	0	b'01110000'
3/8 V_{CC}.	0	1	b'01110010'
5/8 V_{CC}.	1	0	b'01110100'
V_{CC}	1	1	b'01110110'

Tabla 25-2 Direccionamiento del SAA1064 en función de la tensión en el pin ADR

En las figura 25-2 y 25-3 el pin ADR es llevado a masa, en consecuencia la dirección del SAA1064 será b'01110000' ó 70h.

Se pueden direccionar hasta cuatro diferentes SAA1064 mediante la conexión del pin ADR, lo que supone un total de 16 displays de 7 segmentos como máximo.

25.5 REGISTROS INTERNOS

El SAA1064 posee 5 registros internos con el direccionamiento indicado en la tabla 25-3. A partir de la dirección 05 se localizan registros de funciones reservadas no utilizados.

REGISTRO	DIRECCIÓN	SC	SB	SA
Registro de Control	00	0	0	0
Digito 1	01	0	0	1
Digito 2	02	0	1	0
Digito 3	03	0	1	1
Digito 4	04	1	0	0

Tabla 25-3 Registros internos del SAA1064 y su direccionamiento

Los registros "Digito x" contienen la información visualizada en los displays correspondientes.

El registro de control contiene 7 bits (b'x C6 C5 C4 C3 C2 C1 C0') cuyo significado es el siguiente: (El bit de mayor peso no se utiliza).

- C0=0. El SAA1064 trabaja en modo estático o continuo, sólo puede controlar dos displays, como se muestra en la figura 25-2.
- C0=1. El SAA1064 trabaja en modo dinámico controlando 4 displays multiplexando dos pares, como se muestra en la figura 25-3. Es el modo usual de funcionamiento.
- C1=0. Los dígitos 1 y 3 están apagados.
- C1=1. Los dígitos 1 y 3 no están apagados.
- C2=0. Los dígitos 2 y 4 están apagados.
- C2=1. Los dígitos 2 y 4 no están apagados.
- C3=1. Todos los segmentos se encienden para testear su correcto funcionamiento.
- C3=0. Funcionamiento normal.
- C4=1. Añade 3 mA de corriente a cada segmento.
- C5=1. Añade 6 mA de corriente a cada segmento.
- C6=1. Añade 12 mA de corriente a cada segmento.

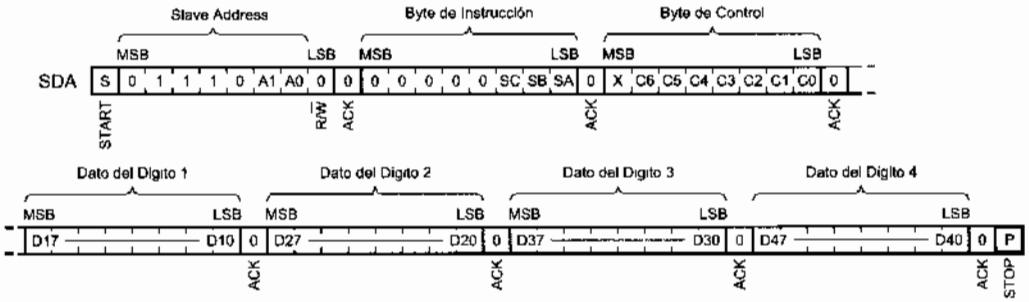
Para configurar el modo de funcionamiento dinámico el contenido del registro de control debe ser igual a b'x C6 C5 C4 C3 C2 C1 C0' = b'0 C6 C5 C4 0 1 1 1'. La corriente que circula por cada segmento viene determinado por los bits de control C6, C5 y C4 según la tabla 25-4.

C6 (Añade 12 mA)	**C5 (Añade 6 mA)**	**C4 (Añade 3 mA)**	**Corriente por segmento**	**Registro de Control: b'0 C6 C5 C4 0 0 1 1 1'**
0	0	0	0 mA	b'00000111'
0	0	1	3 mA	b'00010111'
0	1	0	6 mA	b'00100111'
0	1	1	9 mA	b'00110111'
1	0	0	12 mA	b'01000111'
1	0	1	15 mA	b'01010111'
1	1	0	18 mA	b'01100111'
1	1	1	21 mA	b'01110111'

Tabla 25-4 Control de la corriente por segmento

25.6 ESCRITURA EN EL SAA1064

La transferencia de datos desde el microcontrolador al SAA1064 sigue el procedimiento de escritura del maestro al esclavo de un bus I2C ya conocido y descrito en la figura 25-5.



S = Condición de Start.
P = Condición de Stop.
A = Acuse de recepción.
X = Indiferente.

A1, A0 = Bits de dirección programable.
SC, SB, SA = Bits de dirección de los registros internos.
C6 a C0 = Bits de control
D10 a D47 = Información para los displays.

Figura 25-5 Protocolo del proceso de escritura en el SAA1064

- Primero el microcontrolador maestro envía la condición de Start.
- Después el byte de direccionamiento descrito en la sección anterior b'01110(A1)(A0)0'.
- A continuación el byte de instrucción donde los bits SC, SB y SA apuntan a uno de los ocho registros internos en el cual se escribirá el byte de datos que le sigue inmediatamente detrás, según la tabla 25-3.
- Si el registro direccionado es el de control a continuación debe enviarse la palabra de control. Después se transmite la información que aparecerá en cada uno de los displays.
- Por último, el maestro envía la condición de Stop.

En caso de enviar más de tres bytes los siguientes se escribirán en registros con direcciones consecutivas. Este hecho se denomina autoincremento de la subdirección y permite al microcontrolador maestro modificar rápidamente un contenido específico de este esclavo cambiando únicamente lo que desea cambiar.

25.7 PROGRAMA EJEMPLO

Como conclusión de lo explicado, el siguiente programa es un ejemplo del manejo del SAA1064 para el circuito de la figura 25-3 y de inmediata aplicación en múltiples proyectos.

```
;************************************ I2C_Display_01.asm ********************************
;
; Visualiza la palabra "HOLA" en los displays de 7 segmentos conectados al SAA1064.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        ENDC

SAA1064_Direccion  EQU   b'01110000'        ; SAA1064 como esclavo en bus I2C

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    I2C_EnviaStart              ; Envía condición de Start.
        movlw   SAA1064_Direccion           ; Apunta al SAA1064.
        call    I2C_EnviaByte
        clrw                                ; El registro de control está en la posición 0,
        call    I2C_EnviaByte
        movlw   b'01000111'                 ; Palabra de control para luminosidad media
        call    I2C_EnviaByte               ; (12 mA) y visualización dinámica multiplexada.
        movlw   'A'                         ; Escribe la palabra "HOLA" empezando por la
        call    ASCII_a_7Segmentos          ; última letra debido a la disposición de los
        call    I2C_EnviaByte               ; displays.
        movlw   'L'
        call    ASCII_a_7Segmentos
        call    I2C_EnviaByte
        movlw   'O'
        call    ASCII_a_7Segmentos
        call    I2C_EnviaByte
        movlw   'H'
        call    ASCII_a_7Segmentos
        call    I2C_EnviaByte
        call    I2C_EnviaStop               ; Termina de enviar datos.
Principal
        sleep                               ; Pasa a reposo.
        goto    Principal

        INCLUDE <DISPLAY_7S.INC>
        INCLUDE <BUS_I2C.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

25.8 TERMÓMETRO DE VISUALIZACIÓN EN DISPLAYS

Un proyecto clásico consiste en la visualización de la temperatura en cuatro displays de siete segmentos. La figura 25-6 muestra la forma de resolverlo mediante

dispositivos comp
temperatura y un
segmentos.

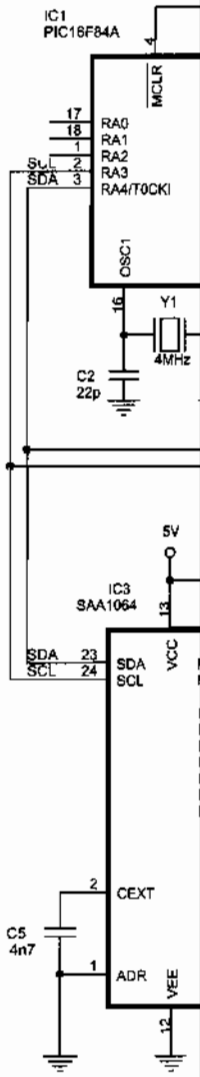


Figura 25-

En el progr
capítulo del DS16
utilización de los f

dispositivos compatibles con bus I2C, en este caso un sensor DS1624 para medir la temperatura y un SAA1064 para controlar la visualización sobre displays de siete segmentos.

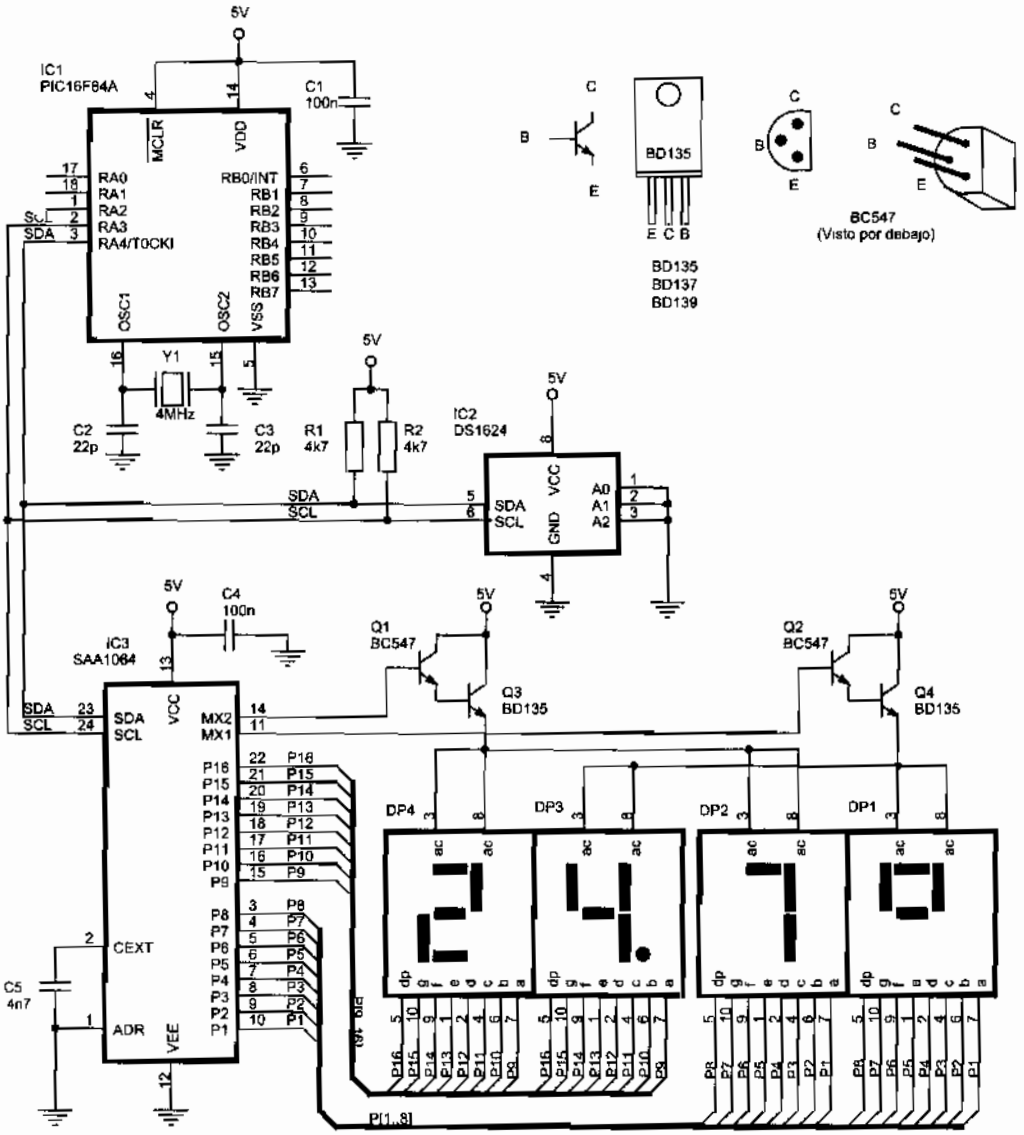


Figura 25-6 Termómetro con visualización en displays de siete segmentos

En el programa de control se aplican también los procedimientos explicados en el capítulo del DS1624. Sorprende la aparente sencillez del programa, lograda gracias a la utilización de los ficheros *Include*.

```
;********************************* I2C_Display_Termometro_01.asm ***************************
;
; Programa de control para un termómetro digital con el sensor de temperatura DS1624,
; y visualización en cuatro displays.
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        Registro50ms                    ; Guarda los incrementos cada 50 ms.
        ENDC

TMR0_Carga50ms  EQU     -d'195'         ; Para conseguir interrupción cada 50 ms.
Carga2s         EQU     d'40'           ; Leerá cada 2s = 40 x 50ms = 2000ms.

; ZONA DE CÓDIGOS ******************************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    Termometro
Inicio
        call    DS1624_Inicializa       ; Configura el DS1624 e inicia la conversión.
        bsf     STATUS,RP0
        movlw   b'00000111'             ; Preescaler de 256 para el TMR0.
        movwf   OPTION_REG
        bcf     STATUS,RP0
        movlw   TMR0_Carga50ms          ; Carga el TMR0 en complemento a 2.
        movwf   TMR0
        movlw   Carga2s                 ; Y el registro cuyo decremento contará los 2 s.
        movwf   Registro50ms
        movlw   b'10100000'             ; Activa interrupción del TMR0 (T0IE),
        movwf   INTCON                  ; y la general (GIE).
Principal
        goto    Principal

; Subrutina "Termometro" -----------------------------------------------------------
;
; Esta subrutina lee y visualiza el termómetro cada 2 segundos aproximadamente. Se ejecuta
; debido a la petición de interrupción del Timer 0, cada 50 ms. Para conseguir una
; temporización de 2 s habrá que repetir 40 veces el lazo de 50 ms (40x50ms=2000ms=2s).
;
Termometro
        movlw   TMR0_Carga50ms
        movwf   TMR0                    ; Recarga el TMR0.
        decfsz  Registro50ms,F          ; Decrementa el contador.
        goto    Fin_Termometro          ; No han pasado 2 segundos y por lo tanto sale.
        movlw   Carga2s                 ; Repone el contador nuevamente.
        movwf   Registro50ms
        call    DS1624_LeeTemperatura   ; Lee la temperatura.
```



```
        call    DS
        call    Vis
Fin_Termometro
        bcf     INT
        retfie

; Subrutina "VisualizaTe
;
; Visualiza la temperatur
; Se escribe comenzando
;
; Entradas:       - (D
;                 - (D
;                 - (D

SAA1064_Direccion EQ

VisualizaTermometro
        movf    DS1
        call    BIN
        movwf   DS1
        call    I2C_
        movlw   SAA
        call    I2C_
        clrw
        call    I2C_
        movlw   b'01(
        call    I2C_
        movlw   "
        call    ASC
        call    I2C_
        btfss   DS16
        goto    Temp
TemperaturaNegativa:
        movf    DS16
        call    Num
        call    I2C_
        swapf   DS16
        call    Num
        call    I2C_
        movlw   '-'
        call    ASCI
        call    I2C_
        goto    Fin_V
TemperaturaPositiva
        movf    DS16
        call    Num
        call    I2C_
        movf    DS16
        call    Num
        iorlw   b'100
        call    I2C_
        swapf   DS16
```

```
        call    DS1624_IniciaConversion ; Comienza conversión para la siguiente lectura.
        call    VisualizaTermometro     ; Visualiza el resultado de la lectura.
Fin_Termometro
        bcf     INTCON,T0IF
        retfie

; Subrutina "VisualizaTermometro" ------------------------------------------------------
;
; Visualiza la temperatura en los cuatro displays de siete segmentos controlados por el SAA1064.
; Se escribe comenzando por el final, por el display de la derecha.
;
; Entradas:     - (DS1624_Temperatura), temperatura medida en valor absoluto.
;               - (DS1624_Decimal), parte decimal de la temperatura medida.
;               - (DS1624_Signo), indica signo de la temperatura.

SAA1064_Direccion EQU   b'01110000'     ; SAA1064 como esclavo en bus I2C.

VisualizaTermometro
        movf    DS1624_Temperatura,W    ; Hay que visualizar el valor absoluto de la
        call    BIN_a_BCD               ; temperatura en BCD.
        movwf   DS1624_Temperatura      ; Guarda el valor de la temperatura en BCD.
        call    I2C_EnviaStart          ; Envía condición de Start.
        movlw   SAA1064_Direccion       ; Apunta al SAA1064.
        call    I2C_EnviaByte
        clrw                            ; El registro de control está en la posición 0.
        call    I2C_EnviaByte
        movlw   b'01000111'             ; Palabra de control para luminosidad media
        call    I2C_EnviaByte           ; (12 mA) y visualización dinámica multiplexada.
        movlw   '°'                     ; Escribe el símbolo de grados.
        call    ASCII_a_7Segmentos      ; Último carácter debido a la disposición de los
        call    I2C_EnviaByte           ; displays.
        btfss   DS1624_Signo,7          ; ¿Temperatura negativa?
        goto    TemperaturaPositiva     ; No, la temperatura es positiva.
TemperaturaNegativa:
        movf    DS1624_Temperatura,W    ; Recupera el valor de la temperatura en BCD.
        call    Numero_a_7Segmentos     ; Las unidades se pasan a código siete segmentos.
        call    I2C_EnviaByte           ; Lo envía al display.
        swapf   DS1624_Temperatura,W    ; Las decenas se pasan a código de siete
        call    Numero_a_7Segmentos     ; segmentos.
        call    I2C_EnviaByte           ; Lo envía al display.
        movlw   '-'                     ; Visualiza el signo "-" de temperatura negativa.
        call    ASCII_a_7Segmentos      ; Lo pasa a siete segmentos.
        call    I2C_EnviaByte           ; Lo envía al display.
        goto    Fin_VisualizaTemperatura
TemperaturaPositiva
        movf    DS1624_Decimal,W        ; Visualiza la parte decimal.
        call    Numero_a_7Segmentos
        call    I2C_EnviaByte           ; Lo envía al display.
        movf    DS1624_Temperatura,W    ; Recupera el valor de la temperatura en BCD.
        call    Numero_a_7Segmentos     ; Las unidades se pasan a código siete segmentos.
        iorlw   b'10000000'             ; Le añade el punto decimal.
        call    I2C_EnviaByte           ; Lo envía al display.
        swapf   DS1624_Temperatura,W    ; Las decenas se pasan a código de siete
```

```
        call    Numero_a_7Segmentos     ; segmentos.
        call    I2C_EnviaByte           ; Lo envía al display.
Fin_VisualizaTemperatura
        return

        INCLUDE <DISPLAY_7S.INC>
        INCLUDE <BUS_I2C.INC>
        INCLUDE <DS1624.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

En algunos proy
varias líneas a un bus s
líneas. Se hace necesari
paralelo y el bus serie I2
el PCF8574.

26.1 EL EXPAN

El chip PCF85
interconexión entre un b

- Convertir datos
- Convertir los da

Las características

- Es fabricado por
  el encapsulado q
- En las líneas P0
  pueden configur
- Las tres líneas d
  mismo circuito,
- La salida está la
  información hast
- Salida de alta c
  una corriente má

© RA-MA

CAPÍTULO 26

PCF8574, EXPANSOR DE BUS I2C

En algunos proyectos interesa conectar dispositivos que utilizan bus paralelo de varias líneas a un bus serie I2C para comunicarlos con otros utilizando únicamente dos líneas. Se hace necesario un interface que permita hacer la interconexión entre un bus paralelo y el bus serie I2C. A este dispositivo se le denomina **expansor** de bus I2C, como el PCF8574.

26.1 EL EXPANSOR DE BUS I2C PCF8574

El chip PCF8574 dispone de un puerto de entrada/salida y permite una interconexión entre un bus paralelo de ocho bits y un bus serie I2C, es decir, puede:

- Convertir datos paralelos de 8 bits a datos serie conectables a un bus I2C
- Convertir los datos serie de un bus I2C a datos paralelos de 8 bits.

Las características más sobresalientes del PCF8574 son:

- Es fabricado por *Philips Semiconductors,* (www.semiconductors.philips.com) con el encapsulado que se muestra en la figura 26-1.
- En las líneas P0 a P7 se dispone de un puerto de 8 líneas de entrada/salida, que se pueden configurar todas como salidas o todas como entradas.
- Las tres líneas de dirección A0, A1 y A2 permiten conectar varios PCF8574 en el mismo circuito, variando la dirección de cada uno de ellos.
- La salida está latcheada, cuando el puerto se configura como salida mantiene la información hasta una nueva escritura.
- Salida de alta corriente a nivel bajo, que le permite gobernar diodos LEDs con una corriente máxima de 25 mA.

- Con la salida en alto la corriente tiene un valor máximo de 300 µA, incapaz de pilotar un diodo LED.
- La alimentación puede variar entre 2,5 y 6 V, siendo 5 V su valor típico.
- Consumo de corriente muy bajo. En modo bajo consumo, 10 µA máximo.
- Al aplicarle alimentación un dispositivo de puesta a cero coloca al puerto de salida en estado alto.
- El pin INT es una salida en drenador abierto para interrupciones. Cuando cambia una línea en el puerto configurado como entrada, se activa el pin INT permitiendo solicitar una interrupción al microcontrolador.

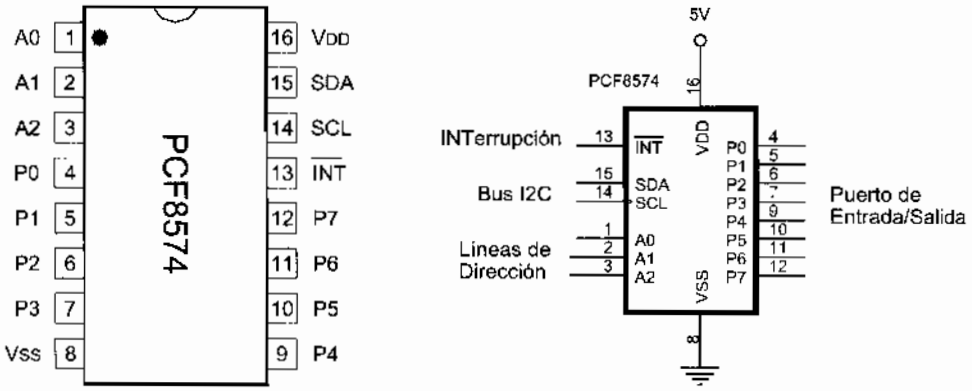


Figura 26-1 Patillaje del expansor de bus I2C PCF8574

26.2 DIRECCIONAMIENTO COMO ESCLAVO

Como otros dispositivos compatibles con bus I2C, el PCF8574 se activa cuando recibe la dirección válida ilustrada en la figura 26-2, para las dos versiones disponibles. Esta dirección consta de una parte fija y otra programable. La parte programable la define el conexionado de los pines A0, A1 y A2.

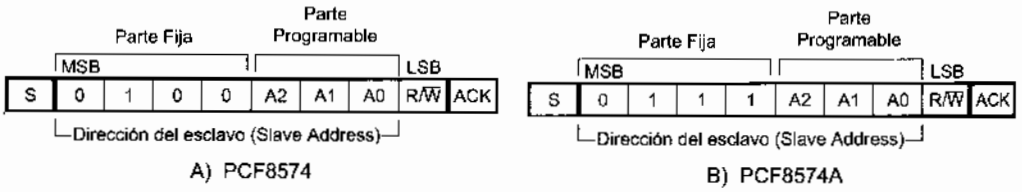


Figura 26-2 El PCF8574 y el PCF8574A se diferencian en su dirección de esclavo

Los tres hilos de direccionamiento hardware (A0, A1 y A2) del PCF8574 permiten conectar hasta ocho dispositivos (64 líneas de entrada/salida). Si se añaden otros ocho PCF8574A hacen un total posible de 128 líneas de entrada/salida.

26.3 ESCRITURA EN EL PCF8574

La transferencia de datos desde el microcontrolador al PCF8574 sigue el procedimiento de escritura del maestro al esclavo de un bus I2C ya conocido y esquematizado en la figura 26-3

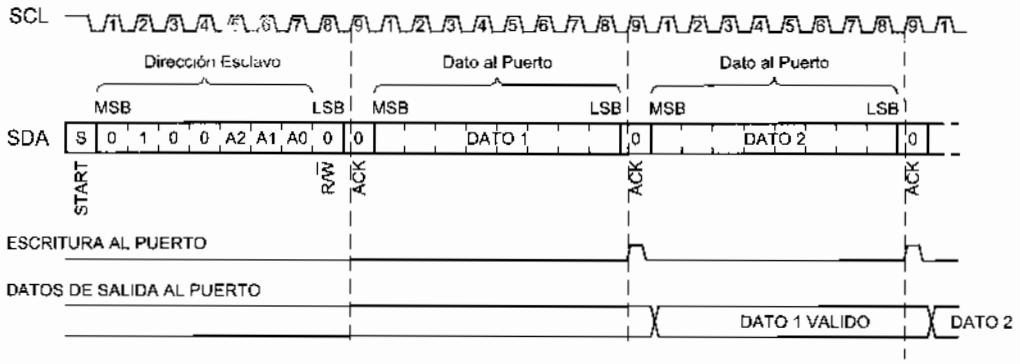


Figura 26-3 El maestro escribe datos en el PCF8574

La transferencia de datos se efectúa en el siguiente orden:

- Primero el microcontrolador maestro envía la condición de Start.
- Luego envía la dirección del PCF8574 *(Slave Address)* en modo escritura que en binario es: 0100(A2)(A1)(A0)0, siendo (A2), (A1) y (A0) el estado lógico de las líneas de direccionamiento del PCF8574.
- Después se transmiten los datos a escribir hacia el puerto del PCF8574 que actúa como salida.
- Por último el microcontrolador maestro envía la condición de Stop.

26.4 LECTURA DEL PCF8574

La lectura de los datos del PCF8574 por parte del microcontrolador sigue el procedimiento de lectura del esclavo por parte del maestro ya conocido y esquematizado en la figura 26-4.

La transferencia de datos se efectúa en el siguiente orden:

- Primero el microcontrolador maestro envía la condición de Start.
- Luego envía la dirección del PCF8574 *(Slave Address)* en modo lectura que en binario es: 0100(A2)(A1)(A0)1, siendo (A2), (A1) y (A0) el estado lógico de las líneas de direccionamiento del PCF8574.
- Después el maestro lee los datos del puerto del PCF8574 que actúa como entrada.
- Por último el microcontrolador maestro envía la condición de Stop.

Los datos del puerto de entrada no pueden variar más rápidamente que la velocidad de lectura del bus porque en ese caso la lectura quedaría corrompida. Se considera que los datos presentados al puerto de entrada no deben variar por encima de un ritmo aproximado de la décima parte de la señal SCL del bus.

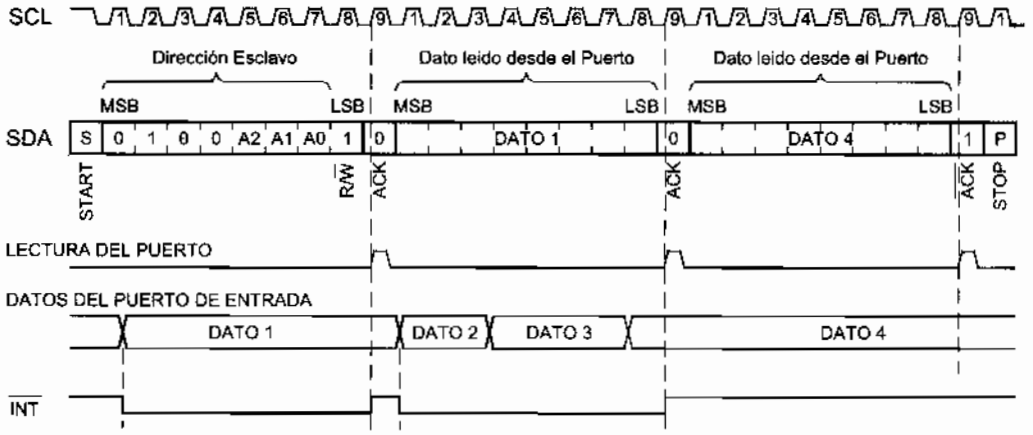


Figura 26-4 El maestro lee datos del PCF8574

26.5 LIBRERÍA DE SUBRUTINAS

El protocolo de escritura y lectura en el expansor PCF8574 se concreta en las siguientes subrutinas de control descritas en la librería PCF8574.INC:

- "PCF8574_Escribe". El dato que le llega por el registro de trabajo W es enviado al puerto paralelo del expansor PCF8574 que actúa como salida.
- "PCF8574_Lee". Lee el periférico conectado al puerto paralelo del PCF8574 que actúa como entrada.

```
;********************************* Librería "PCF8574.INC" ***********************************
;
; Estas subrutinas permiten realizar las tareas de manejo del expansor de bus I2C PCF8574
; que convierte un bus de 8 líneas paralelo a bus serie I2C y viceversa.
;
; Como es posible que haya más de un expansor en el mismo circuito, se deja a la subrutina
; de llamada a éstas que determine las direcciones de escritura y lectura mediante las
; etiquetas "PCF8574_DireccionLectura" y "PCF8574_DireccionEscritura", atendiendo a las
; características del hardware utilizado.
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************************

        CBLOCK
        PCF8574_Dato                ; Aquí guarda el resultado del dato leído o que
        ENDC                        ; se va a escribir.
```

```
; Subrutina "PCF8574_Lee" ---------------------------------------------------
;
; Lee el periférico conectado al bus paralelo de 8 líneas del PCF8574 que actúa como
; entrada y el resultado lo proporciona en el registro de trabajo W.

PCF8574_Lee
        call    I2C_EnviaStart              ; Envía la condición de Start.
        movlw   PCF8574_DireccionLectura    ; Apunta al expansor de lectura.
        call    I2C_EnviaByte
        bsf     I2C_UltimoByteLeer
        call    I2C_LeeByte                 ; Lee el puerto.
        movwf   PCF8574_Dato                ; Lo guarda en el registro correspondiente.
        call    I2C_EnviaStop               ; Acaba de leer.
        movf    PCF8574_Dato,W              ; Recupera el valor del dato leído.
        return

; Subrutina "PCF8574_Escribe" ------------------------------------------------
;
; Escribe en el periférico conectado al bus paralelo de 8 líneas del expansor PCF8574 que
; actúa como salida, el dato que le llega por el registro de trabajo W. El dato escrito
; es recuperado finalmente en el registro W.
;
PCF8574_Escribe
        movwf   PCF8574_Dato                ; Guarda el dato a escribir.
        call    I2C_EnviaStart              ; Envía condición de Start.
        movlw   PCF8574_DireccionEscritura  ; Apunta al expansor que actúa como salida.
        call    I2C_EnviaByte
        movf    PCF8574_Dato,W              ; Recupera el valor del dato a enviar.
        call    I2C_EnviaByte               ; Envía el dato.
        call    I2C_EnviaStop               ; Termina.
        movf    PCF8574_Dato,W              ; Recupera el valor del dato escrito.
        return
```

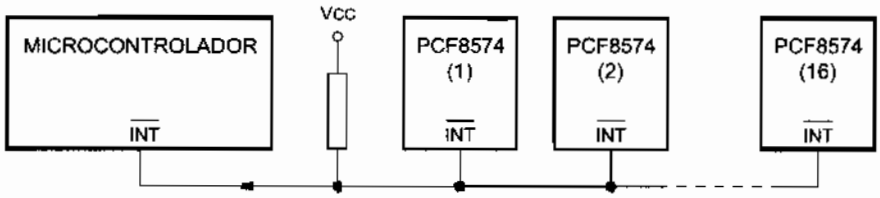


Figura 26-5 Conexión de la señal de interrupción de varios PCF8574

26.6 INTERRUPCIÓN

El PCF8574 proporciona una salida de interrupción (línea INT) en drenador abierto que puede conectarse a una entrada externa de interrupción del microcontrolador. Cuando el PCF8574 detecta un cambio en cualquiera de las líneas de entrada del puerto, se genera un pulso bajo como señal de interrupción por la línea INT para que el microcontrolador pueda leer el nuevo dato por el bus I2C. Esta señal solamente puede ser generada cuando

el puerto está configurado en modo entrada. Las señales INT de varios PCF8574 se conectan formando una And cableada, tal como indica la figura 26-5.

26.7 CONEXIÓN ENTRE PCF8574 Y PIC16F84

La figura 26-6 muestra un ejemplo de conexión entre un microcontrolador PIC16F84A y dos PCF8574, cuyos pines SDA y SDL se conectan a dos líneas del puerto A del microcontrolador conformando el bus I2C. Las resistencias de Pull-Up del bus I2C tienen un valor característico de 4k7.

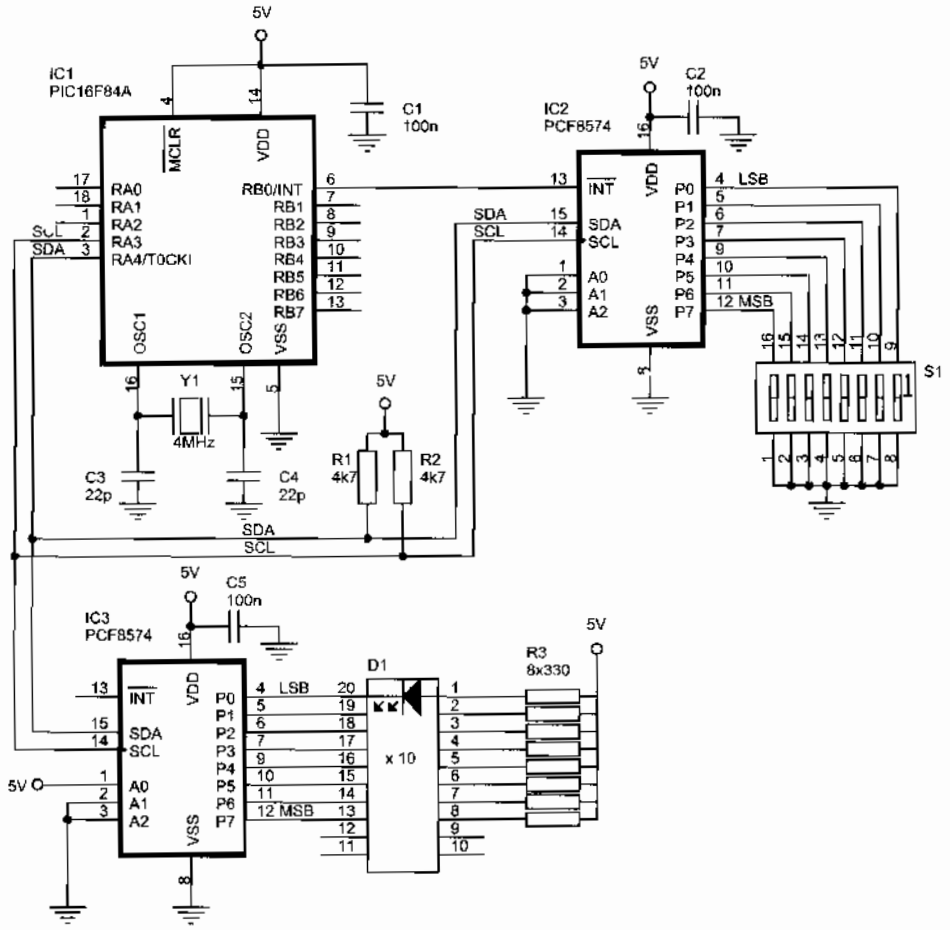


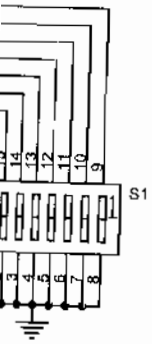
Figura 26-6 Conexión de dos PCF8574, uno como entrada y otro como salida de datos

El circuito integrado IC2 trabaja como entrada leyendo un array de interruptores y transmitiendo la información al PIC16F84A vía serie a través del bus I2C. Las líneas A2, A1 y A0 se conectan a masa por lo que su dirección de lectura es b'01000001'.

varios PCF8574 se

4

microcontrolador
os líneas del puerto
ull-Up del bus I2C



salida de datos

e interruptores y
. Las líneas A2,
001'.

IC3 trabaja en modo salida controlando la visualización de un array de LEDs. La información le llega procedente del PIC16F84 vía serie a través del bus I2C y la convierte a paralelo hacia los LEDs. Las líneas A2 y A1 se conectan a masa y A0 a V_{CC}, por tanto, su dirección de escritura es b'010000010'.

La línea de interrupción del PCF8574 que actúa como entrada (IC2) se conecta a la línea RB0/INT del PIC16F84A produciendo una interrupción cada vez que se actúa sobre algún interruptor de entrada. La necesaria resistencia de Pull-Up se obtiene internamente del Puerto B mediante la adecuada programación.

26.8 EJEMPLO DE PROGRAMA

Como ejemplo de aplicación en el manejo del PCF8574 se expone un programa para el circuito de la figura 26-6, que es fácilmente adaptable a múltiples proyectos.

```
;********************************** I2C_Expansor_01.asm ****************************
;
; Programa para comprobar el funcionamiento del PCF8574 que es un expansor de bus I2C.
; Utiliza dos circuitos integrados tal como se indica en el esquema correspondiente:
; - Uno como entrada, leyendo un array de 8 interruptores. Su pin A0 se conecta a masa.
; - Otro como salida, visualizando los datos en un array de diodos LEDs. Su pin A0 se
;   conecta a Vcc.
;
; Este programa lee los switches conectados al PCF8574 que actúa como entrada y su valor se
; visualiza en los LEDs conectados al PCF8574 de salida.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE   <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        Dato
        ENDC

PCF8574_DireccionLectura   EQU    b'01000001'
PCF8574_DireccionEscritura EQU    b'01000010'

#DEFINE PCB8574_INT    PORTB,0          ; Línea donde se conecta la línea de
                                        ; interrupción del expansor de bus I2C.
; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    ServicioInterrupcion
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        bsf     PCB8574_INT             ; La línea RB0/INT se configura como entrada.
```

```
        bcf     OPTION_REG,NOT_RBPU  ; Habilita las resistencia de Pull-Up del Puerto B.
        bcf     OPTION_REG,INTEDG    ; Interrupción INT activa por flanco de bajada.
        bcf     STATUS,RP0           ; Acceso al Banco 0.
        call    ServicioInterrupcion ; Para que lea y escriba por primera vez.
        movlw   b'10010000'          ; Habilita la interrupción INT y la general.
        movwf   INTCON
Principal
        sleep                        ; Pasa a modo de reposo.
        goto    Principal

; Subrutina "ServicioInterrupcion" ------------------------------------------
;
; Lee los interruptores conectados al PCF8574 que actúa como entrada y el resultado lo visualiza
; en los diodos LEDs conectados al PCF8574 configurado como salida.

ServicioInterrupcion
        call    Retardo_20ms         ; Espera unos instantes  a que se estabilicen los
        call    PCF8574_Lee          ; niveles de tensión y lee la entrada.
        movwf   Dato                 ; Complementa el dato leído porque los diodos
        comf    Dato,W               ; se activan con nivel bajo, (ver esquema).
        call    PCF8574_Escribe      ; Lo visualiza en los diodos LEDs.
        bcf     INTCON,INTF
        retfie

        INCLUDE <BUS_I2C.INC>
        INCLUDE <PCF8574.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

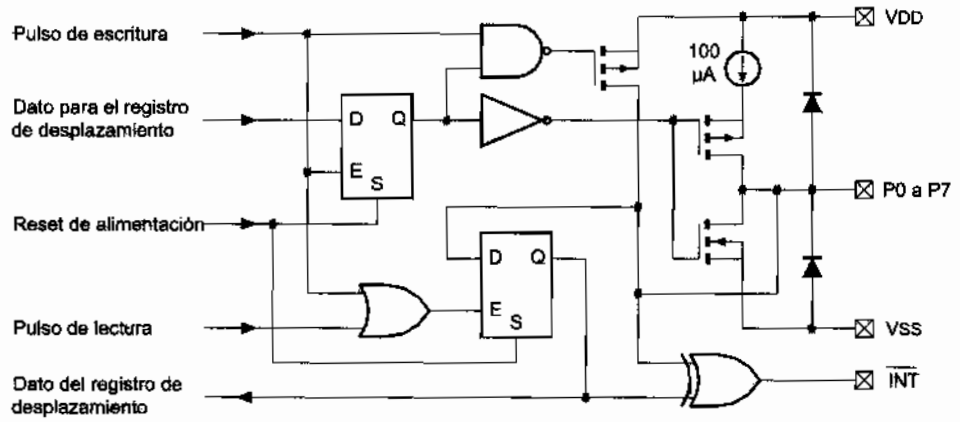


Figura 26-7 Constitución interna de las líneas del puerto del PCF8574

26.9 CONSTITUCIÓN INTERNA DEL PUERTO

La figura 26-7 muestra la constitución interna de cada una de las líneas del puerto del PCF8574. En la salida se observa una fuente de corriente de 100 µA que hace

innecesaria la conexión de resistencias de Pull-Up cuando estas líneas actúan como entrada.

Al conectar la alimentación, las líneas del puerto quedan configuradas como salida a nivel alto.

26.10 TECLADO HEXADECIMAL EN BUS I2C

Un teclado hexadecimal ocupa ocho líneas, en algunos proyectos el microcontrolador no siempre dispone de suficientes pines libres para esta conexión. Una forma de resolver este problema es la conexión del teclado hexadecimal al microcontrolador mediante un bus I2C, utilizando para ello un expansor PCF8574 como interface que adapte las ocho líneas del teclado hexadecimal al bus serie.

Un ejemplo de esta disposición se muestra en la figura 26-8. Se observa que el montaje es bastante parecido al de la conexión de un teclado matricial a un microcontrolador PIC16F84A, explicado en el capítulo 19. En este caso:

- Las filas del teclado se conectan al la parte baja del puerto PCF8574, líneas P0 a P3 configuradas como salida.
- Las columnas del teclado se conectan al la parte alta del puerto PCF8574, líneas P4 a P7, que actúan como entrada.

La técnica de exploración del teclado es muy similar a la explicada en el capítulo dedicado al teclado matricial, por lo que se remite a ese tema para su análisis y se concluye con la librería PCF8574_TECLADO.INC que se expone a continuación.

```
;********************************* Librería "PCF8574_Teclado.INC" ******************************
;
; Librería de subrutinas para la gestión de un teclado organizado en una matriz de 4 x 4 y
; conectado a un bus I2C a través de un PCF8574 tal como se muestra en el esquema.
; El teclado está conectado al puerto del expansor PCF8574, siendo su disposición:
;
;                 P4  P5  P6  P7
;                 ^   ^   ^   ^
;                 |   |   |   |
;                 |---|---|---|
;          P0 --> | 0 | 1 | 2 | 3 |
;                 |---|---|---|
;          P1 --> | 4 | 5 | 6 | 7 |
;                 |---|---|---|
;          P2 --> | 8 | 9 |10 |11 |
;                 |---|---|---|
;          P3 --> |12 |13 |14 |15 |
;                 |---|---|---|
;
; El número que se indica dentro de cada cuadrado es el número de orden de la tecla que no
; tiene por qué coincidir con lo serigrafiado sobre ella. El número de orden de la tecla
```

```
; se convierte al valor serigrafiado mediante una tabla de conversión.
;
; ZONA DE DATOS *****************************************************************************
;
        CBLOCK
        Tecl_TeclaOrden                 ; Orden de la tecla a chequear.
        ENDC

PCF8574_DireccionLectura  EQU   b'01000001'
PCF8574_DireccionEscritura EQU  b'01000000'

Tecl_NumeroTeclas EQU   d'16'           ; Número de pulsadores del teclado.

#DEFINE  PCF8574_INT    PORTB,0         ; Línea donde se conecta la línea de
                                        ; interrupción del expansor de bus I2C.
; Subrutina "Teclado_LeeHex" ----------------------------------------------------
;
; A cada tecla se le asigna un número de orden que se va contabilizando en la variable
; Tecl_TeclaOrden. Para convertir a su valor cada tipo de teclado se utiliza una tabla de
; conversión.
;
; A continuación se expone la relación entre el número de orden de la tecla y los valores
; correspondientes para el teclado hexadecimal más utilizado.
;
;           ORDEN DE TECLA:          TECLADO HEX. UTILIZADO:
;              0  1  2  3                1  2  3  F
;              4  5  6  7                4  5  6  E
;              8  9 10 11                7  8  9  D
;             12 13 14 15                A  0  B  C
;
; En este ejemplo, la tecla "7" ocupa el orden 8, la tecla "F" ocupa el orden 3 y la tecla
; "9" el orden 10.

; En teclados con otra serigrafía basta con cambiar de tabla de conversión.
;
; Entrada: En (W) el orden de la tecla pulsada.
; Salida:  En (W) el valor hexadecimal para este teclado concreto.
;
Teclado_LeeHex
        call    Teclado_LeeOrdenTecla   ; Lee el Orden de la tecla pulsada
        btfss   STATUS,C                ; ¿Pulsa alguna tecla?, ¿C=1?
        goto    Tecl_FinLeeHex          ; No, por tanto sale.
        call    Tecl_ConvierteOrdenEnHex ; Lo convierte en su valor real mediante tabla.
        bsf     STATUS,C                ; Vuelve a posicionar el Carry porque la
Tecl_FinLeeHex                          ; instrucción "addwf PCL,F" lo pone a "0".
        return
;
Tecl_ConvierteOrdenEnHex:               ; Según el teclado utilizado resulta:
        addwf   PCL,F
        DT      1h,2h,3h,0Fh            ; Primera fila del teclado.
        DT      4h,5h,6h,0Eh            ; Segunda fila del teclado
        DT      7h,8h,9h,0Dh            ; Tercera fila del teclado.
        DT      0Ah,0h,0Bh,0Ch          ; Cuarta fila del teclado.
```



```
Teclado_FinTablaHex
;
; Esta tabla se sitúa al p
; posición 0FF de memo
; visualizaría el siguient
;
        IF (Teclado_
                ER
                MI
        ENDIF

; Subrutina "Teclado_In
;
Teclado_Inicializa
        bsf     ST
        bsf     PC
        bcf     OE
        bcf     OE
        bcf     ST
;       call    Te
;       return

; Subrutina "Teclado_E
;
; Permanece en esta sub
; combinación que perm
;
Teclado_Comprobacio

Teclado_EsperaDejePu
        movlw   Te
        call    PC
Teclado_SigueEsperan
        call    Re
        call    PC
        sublw   Te
        btfss   ST
        goto    Te
        return
;
; Subrutina "Teclado_
;
; Lee el teclado, obten
;
; Salida:  En (W) el n
;          Además el
;          - Si se pulse
;          - Si no se p

        CBLOCK
        Tecl_I2C_
        Tecl_I2C_
        ENDC
```

```
Teclado_FinTablaHex
;
; Esta tabla se sitúa al principio de la librería con el propósito de que no supere la
; posición 0FF de memoria ROM de programa. De todas formas, en caso de que así fuera se
; visualizaría el siguiente mensaje de error en el proceso de ensamblado:
;
        IF (Teclado_FinTablaHex-1 > 0xFF)
                ERROR   "¡Cuidado!. La tabla ha superado el tamaño de la página de los"
                MESSG   "primeros 256 bytes de memoria ROM. NO funcionará correctamente."
        ENDIF

; Subrutina "Teclado_Inicializa" ----------------------------------------------------
;
Teclado_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        bsf     PCF8574_INT             ; La línea RB0/INT se configura como entrada.
        bcf     OPTION_REG,NOT_RBPU     ; Habilita las resistencias de Pull-Up del Puerto B.
        bcf     OPTION_REG,INTEDG       ; Interrupción INT activa por flanco de bajada.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
;       call    Teclado_EsperaDejePulsar
;       return

; Subrutina "Teclado_EsperaDejePulsar" ----------------------------------------------
;
; Permanece en esta subrutina mientras siga pulsada la tecla y deja en el puerto una
; combinación que permite la interrupción de la próxima pulsación.
;
Teclado_Comprobacion    EQU     b'11110000'

Teclado_EsperaDejePulsar:
        movlw   Teclado_Comprobacion    ; Pone a cero las cuatro líneas de salida del puerto
        call    PCF8574_Escribe         ; para que se produzca una interrupción cuando se
Teclado_SigueEsperando                  ; presione alguna tecla.
        call    Retardo_20ms
        call    PCF8574_Lee             ; Lee el puerto.
        sublw   Teclado_Comprobacion    ; Si es lo mismo que lanzó es que ya no pulsa
        btfss   STATUS,Z                ; tecla alguna.
        goto    Teclado_SigueEsperando
        return
;
; Subrutina "Teclado_LeeOrdenTecla" -------------------------------------------------
;
; Lee el teclado, obteniendo el orden de la tecla pulsada.
;
; Salida:  En (W) el número de orden de la tecla pulsada.
;          Además el flag Carry indica si se ha pulsado o no una tecla:
;          - Si se pulsa una tecla, (Carry)=1.
;          - Si no se pulsa tecla alguna, (Carry)=0.

        CBLOCK
        Tecl_I2C_DatoLeido              ; Guarda el dato leído.
        Tecl_I2C_FilaChequear           ; Fila que va a ser chequeada.
        ENDC
```

```
Teclado_LeeOrdenTecla:
        clrf    Tecl_TeclaOrden         ; Todavía no ha empezado a chequear el teclado.
        movlw   b'11111110'             ; Va a chequear primera fila.
        movwf   Tecl_I2C_FilaChequear
Tecl_ChequeaFila                        ; (Ver esquema de conexión).
        call    PCF8574_Escribe         ; Activa la fila correspondiente.
        call    PCF8574_Lee             ; Lee el puerto.
        movwf   Tecl_I2C_DatoLeido      ; Guarda la lectura efectuada.
Tecl_Columna1
        btfss   Tecl_I2C_DatoLeido,4    ; Chequea 1ª columna buscando un cero.
        goto    Tecl_GuardaValor        ; Si, es cero. Salta a guardar su valor y sale.
        incf    Tecl_TeclaOrden,F       ; No es cero. Va a chequear la siguiente tecla.
Tecl_Columna2                           ; Repite proceso para las siguientes
        btfss   Tecl_I2C_DatoLeido,5    ; columnas.
        goto    Tecl_GuardaValor
        incf    Tecl_TeclaOrden,F
Tecl_Columna3
        btfss   Tecl_I2C_DatoLeido,6
        goto    Tecl_GuardaValor
        incf    Tecl_TeclaOrden,F
Tecl_Columna4
        btfss   Tecl_I2C_DatoLeido,7
        goto    Tecl_GuardaValor
        incf    Tecl_TeclaOrden,F
;
; Comprueba si ha chequeado la última tecla en cuyo caso sale. Para ello comprueba si
; el contenido del registro Tecl_TeclaOrden es igual al número de teclas del teclado.
;
Tecl_TerminaColumnas
        movlw   Tecl_NumeroTeclas
        subwf   Tecl_TeclaOrden,W
        btfsc   STATUS,Z
        goto    Tecl_NoPulsada          ; Sí, se ha llegado al final del chequeo.
        bsf     STATUS,C                ; No. Va a chequear la siguiente fila.
        rlf     Tecl_I2C_FilaChequear,F ; Apunta a la siguiente fila.
        movf    Tecl_I2C_FilaChequear,W
        goto    Tecl_ChequeaFila
Tecl_NoPulsada
        bcf     STATUS,C                ; Posiciona C=0, indicando que no ha pulsado
        goto    Tecl_FinTecladoLee      ; tecla alguna y sale.
Tecl_GuardaValor
        movf    Tecl_TeclaOrden,W       ; El orden de la tecla pulsada en (W).
        bsf     STATUS,C                ; Como hay tecla pulsada pone C=1.
Tecl_FinTecladoLee
        return
```

Un ejemplo de aplicación puede ser el siguiente programa, de sorprendente sencillez.

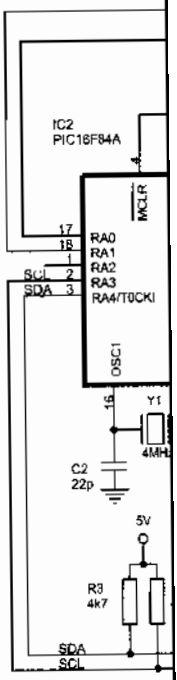


Figura 2

```
;*****************
;
; Programa para c
; bus I2C a través
; El módulo LCD
;
; ZONA DE DAT
        __CON
        LIST
        INCLU

        CBLO
        ENDC

#DEFINE Zumb

; ZONA DE CÓ
```

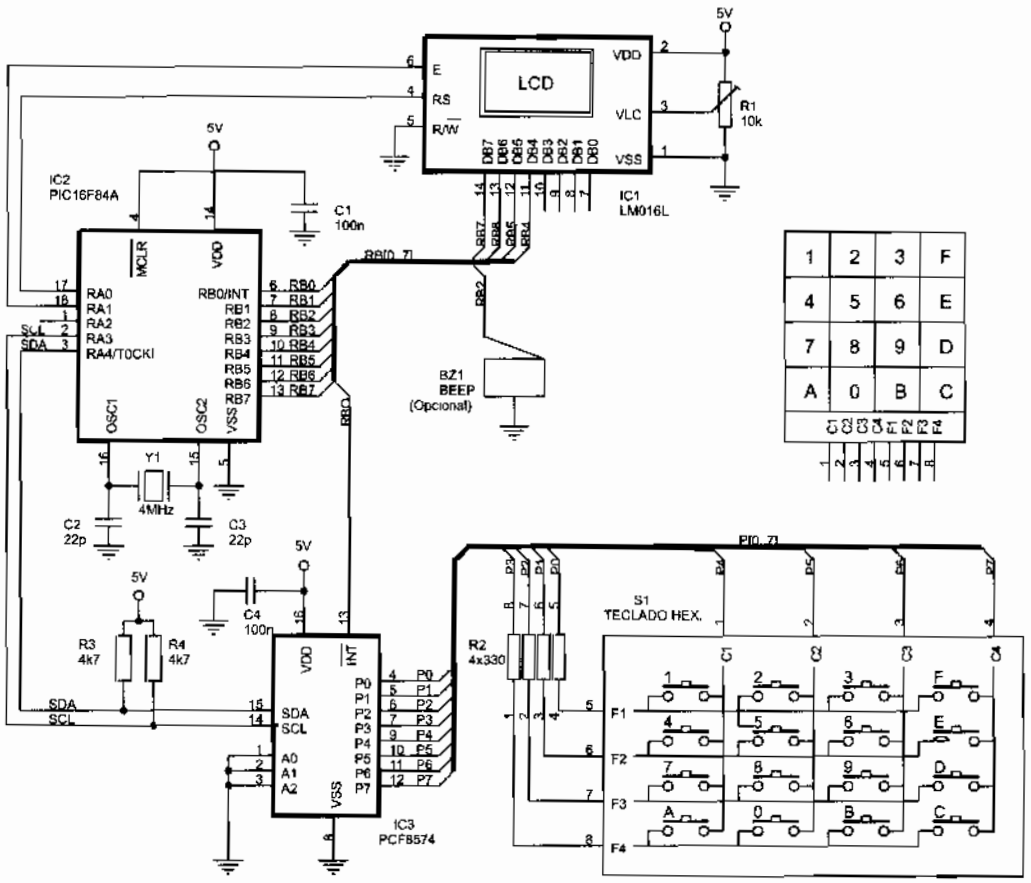


Figura 26-8 Conexión de teclado hexadecimal a bus I2C mediante PCF8574

```
;********************************** I2C_Teclado_01.asm ************************************
;
; Programa para comprobar el funcionamiento y control de un teclado hexadecimal conectado a un
; bus I2C a través de un expansor PCF8574 tal como se indica en el esquema correspondiente.
; El módulo LCD visualiza el valor hexadecimal de la tecla pulsada.
;
; ZONA DE DATOS ******************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC

#DEFINE Zumbador        PORTB,2         ; Aquí se conecta el zumbador.

; ZONA DE CÓDIGOS ****************************************************************************
```

```
        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    ServicioInterrupcion
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        bcf     Zumbador                ; La línea del zumbador se define como salida.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
        call    PitidoCorto             ; Pitido al conectarlo.
        call    Teclado_Inicializa      ; Prepara al PCF8574 para interrumpir.
        movlw   b'10010000'             ; Habilita la interrupción INT y la general.
        movwf   INTCON
Principal
        sleep                           ; Pasa a modo de bajo consumo.
        goto    Principal

; Subrutina "ServicioInterrupcion" ----------------------------------------------
;
; Lee el teclado conectado al PCF8574 y el resultado se visualiza en la pantalla.

ServicioInterrupcion
        call    Teclado_LeeHex          ; Obtiene el valor hex. de la tecla pulsada.
        call    LCD_Nibble              ; Sí, ha pulsado. Visualiza el valor en la
        call    PitidoCorto             ; pantalla y suena un pitido en el zumbador.
        call    Teclado_EsperaDejePulsar ; Para que no se repita el mismo carácter.
        bcf     INTCON,INTF
        retfie

; Subrutina "PitidoCorto" -------------------------------------------------------
;
PitidoCorto
        bsf     Zumbador
        call    Retardo_20ms
        bcf     Zumbador
        return

        INCLUDE <PCF8574_Teclado.INC>
        INCLUDE <BUS_I2C.INC>
        INCLUDE <PCF8574.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        END
```

La com
de proyectos c
integrado que
analógico.

27.1 PCI

El PCF

- Un co
- Un co
  con cu

AIN0
AIN1
AIN2
AIN3
A0
A1
A2
Vss

© RA-MA

CAPÍTULO 27

PCF8591, ADC Y DAC EN BUS I2C

La comunicación con el mundo analógico es uno de los temas que todo diseñador de proyectos con microcontroladores debe conocer. En este capítulo se explica un circuito integrado que mediante sólo dos líneas comunica al microcontrolador con el mundo analógico.

27.1 PCF8591

El PCF8591 es un dispositivo conectable a bus I2C que incluye:

- Un convertidor Digital-Analógico DAC *(Digital to Analog Converter)* de 8 bits.
- Un convertidor Analógico-Digital ADC *(Analog to Digital Converter)* de 8 bits, con cuatro entradas analógicas.

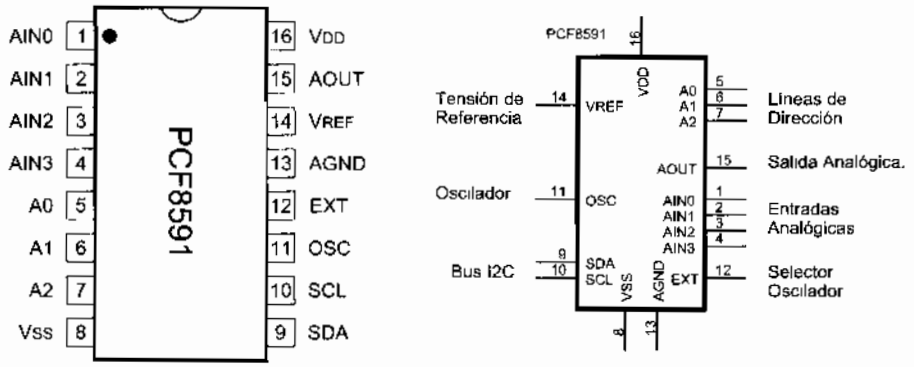


Figura 27-1 Patillaje del PCF8591

Este dispositivo es fabricado por *Philips Semiconductors* (www.semiconductors.philips.com) en encapsulado de 16 pines con las funciones representadas en la figura 27-1.

- AIN0 ... AIN3. Entradas analógicas.
- SCL. Línea de reloj del bus I2C.
- SDA. Línea de datos del bus I2C.
- A0, A1 y A2. Entradas de dirección. Permite conectar varios PCF8591 en el mismo circuito variando la dirección de cada uno de ellos, tal como se explicará más adelante.
- V_{DD} y V_{SS}. Alimentación. Entre 2,5 a 6 V, siendo 5 V su valor típico.
- OSC. Entrada o salida del oscilador.
- EXT. Selector de oscilador externo o interno.
- AGND. Masa analógica.
- V_{REF}. Entrada de tensión de referencia.
- AOUT: Salida analógica, proporciona una corriente máxima de 20 mA.

Su diagrama interno se representa en la figura 27-2.

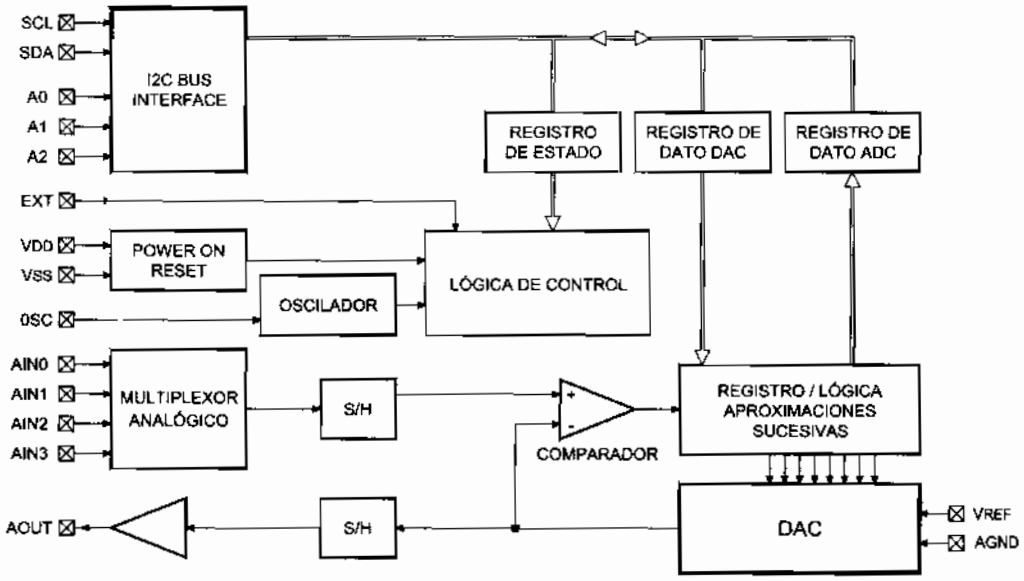


Figura 27-2 Diagrama interno del PCF8591

27.2 DIRECCIONAMIENTO COMO ESCLAVO

Como otros dispositivos compatibles con bus I2C, el PCF8591 se activa cuando recibe la dirección válida que se ilustra la figura 27-3. Esta dirección consta de una parte

fija y otra programable. La parte programable la define el conexionado de los pines A0, A1 y A2.

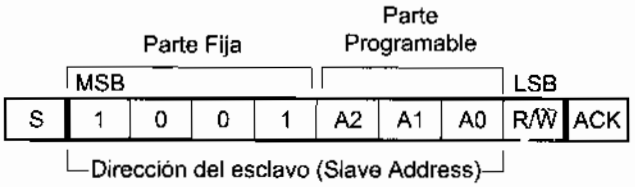


Figura 27-3 Dirección del PCF8591 como esclavo en un bus I2C

Así por ejemplo, si A2, A1 y A0 se conectan a la alimentación, la dirección será b'10011111' en lectura y b'10011110' en escritura. Esta programación mediante los tres hilos de direccionamiento hardware (A0, A1 y A2) permite conectar hasta ocho dispositivos, es decir, hasta 32 líneas de entradas analógicas de ADC y 8 líneas de salida analógicas de DAC.

Se hace la observación de que la parte fija de la dirección '1001' coincide con la asignada al termómetro DS1624. Por ello hay que tener precaución en la conexión de las líneas A0, A1 y A2 para que no coincida la dirección de ambos dispositivos en caso de utilizarlos conjuntamente

27.3 REGISTRO DE CONTROL

El PCF8591 dispone del llamado **registro de control** encargado de configurar el funcionamiento del dispositivo. La palabra de control tiene la estructura descrita en la figura 27-4.

- Los bits 0 y 1 seleccionan una de las cuatro entradas analógicas para el ADC.
- El bit 2 es de autoincremento. Si está activado, el número de canal se incrementa automáticamente después de cada conversión del ADC.
- El bit 3 se pone a 0.
- Los bits 4 y 5 programan las entradas analógicas como simples o diferenciales, como muestra la figura.
- El bit 6 se emplea para habilitar la salida analógica cuando trabaja como DAC.
- El bit 7 no tiene utilidad alguna.

Esta palabra de control debe ser enviada por el microcontrolador maestro en modo escritura siguiendo la secuencia que ilustra la figura 27-5.

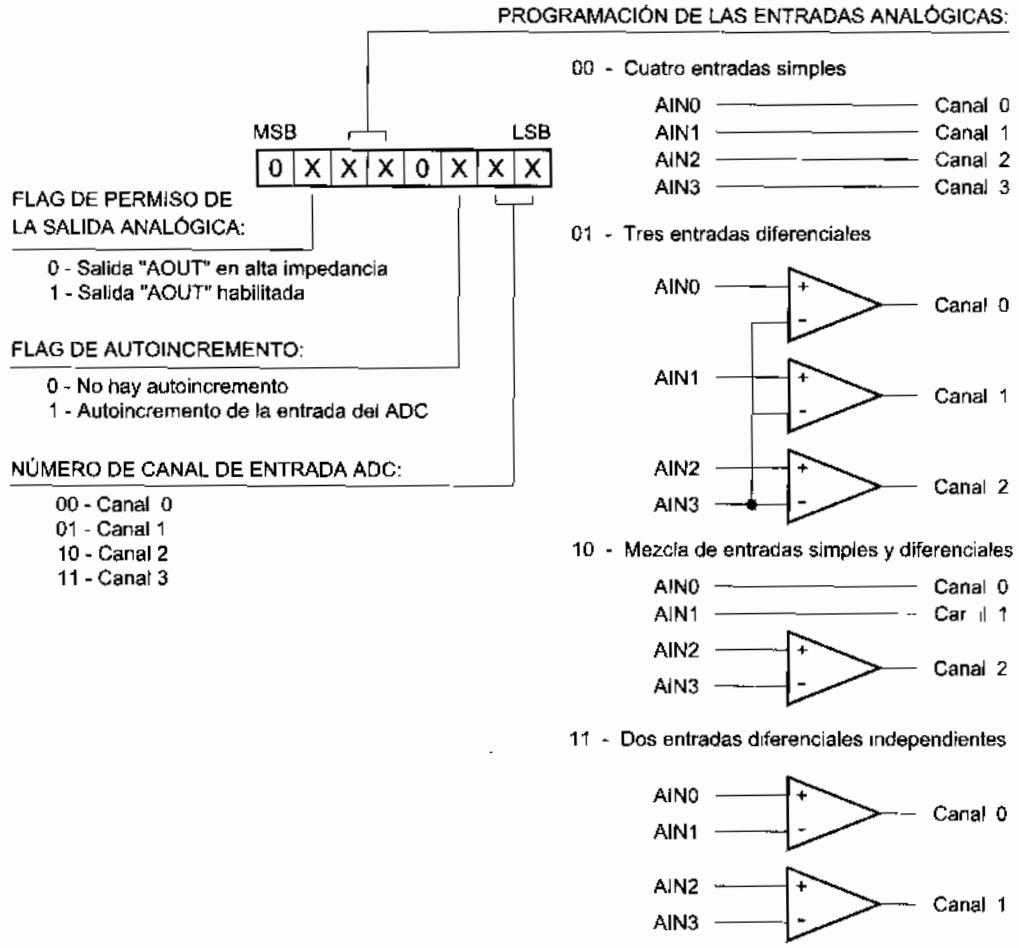


Figura 27-4 Byte de control

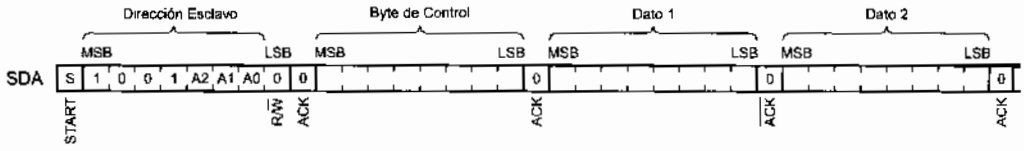
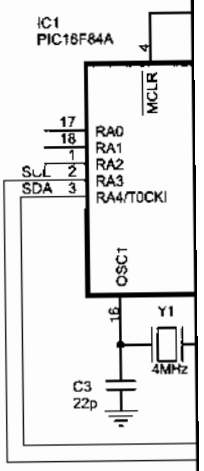


Figura 27-5 Envío del byte de control

27.4 EL PCF8591 COMO DAC

La figura 27-6 ilustra un ejemplo del PCF8591 trabajando como convertidor Digital - Analógico DAC *(Digital to Analog Converter)*.



Figura

A destacar:

- La salida a
  corriente m
  través del b
- El bus I2C
  PCF8591 a
  tienen el va
- La salida
  registro de
- El valor de
- Tras un res
  - El cor
  - El DA
  - La sal
- La tensión
  la siguiente
- Los pines
  DAC.
- Selecciona
- Al configu
  escribir en
  salida AOU
  escritura de
- Al estar co
  dispositivo

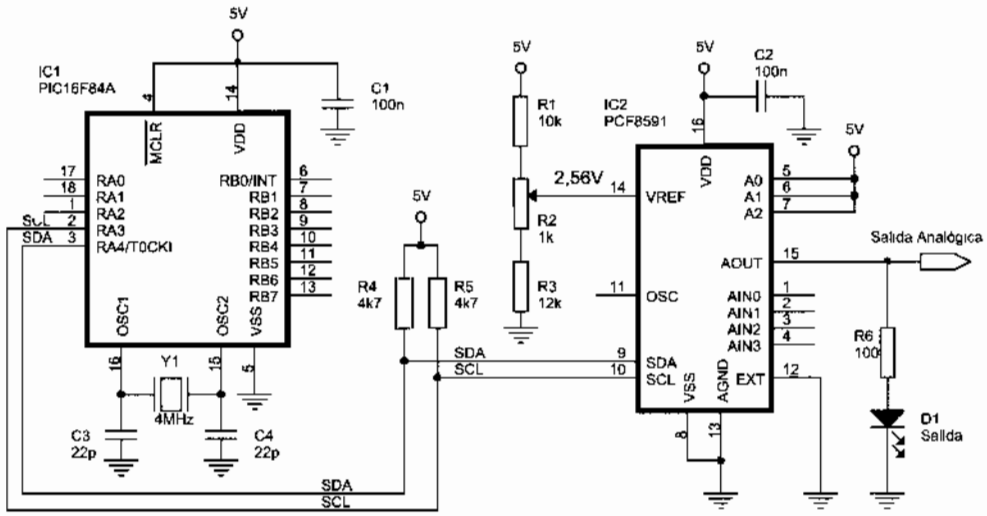


Figura 27-6 Ejemplo de configuración del PCF8591 como DAC

A destacar:

- La salida analógica se obtiene de la patilla AOUT, que puede proporcionar una corriente máxima de 20 mA. El valor digital de entrada a convertir se envía a través del bus I2C.
- El bus I2C se logra mediante las conexiones de los pines SCL y SDA del PCF8591 a líneas RA3 y RA4 del microcontrolador. Las resistencias de Pull-Up tienen el valor característico de 4k7.
- La salida analógica puede ser bloqueada mediante el bit de habilitación del registro de control (figura 27-4)
- El valor de la salida analógica se mantiene hasta que llega el dato siguiente.
- Tras un reset:
  - El contenido del registro de control es 00h, el DAC.
  - El DAC y el oscilador quedan inhabilitados para ahorrar energía.
  - La salida analógica queda en alta impedancia.
- La tensión aplicada al pin VREF es de 2,56 V, por el motivo que se explicará en la siguiente sección.
- Los pines AINx y OSC no se utilizan cuando el PCF8591 se configura como DAC.
- Selecciona el oscilador interno llevando el pin EXT a masa.
- Al configurarse el PCF8591 como DAC el microcontrolador maestro debe escribir en el dispositivo esclavo el dato digital a convertir, obteniéndose en su salida AOUT la tensión analógica. Por tanto, sólo es necesaria la dirección de escritura del PCF8591.
- Al estar conectados A0, A1 y A2 a V_{CC} la dirección de esclavo en escritura del dispositivo es la b'1001(A2)(A1)(A0)0' = b'10011110'.

El valor digital de entrada a convertir se envia a través del bus I2C siguiendo el formato descrito en la figura 27-7.

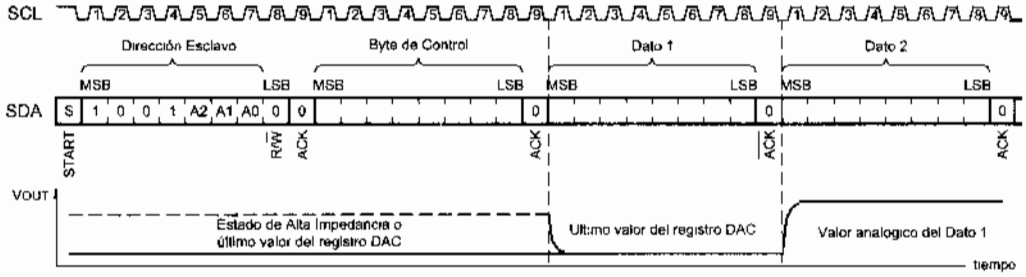


Figura 27-7 Secuencia de conversión cuando el PCF8591 actúa como DAC

- Primero el microcontrolador maestro envía la condición de Start.
- Luego envía la dirección del PCF8591 *(Slave Address)* en modo escritura que en binario es: 1001(A2)(A1)(A0)0, siendo (A2), (A1) y (A0) el estado lógico de las líneas de direcionamiento del PCF8591.
- A continuación se envía la palabra de control.
- Después se transmiten los datos digitales para convertir a valor analógico.
- El proceso termina cuando el microcontrolador maestro envía la condición de Stop.

27.5 RESOLUCIÓN DEL DAC

El PCF8591 convierte el dato digital de entrada al DAC a su correspondiente tensión analógica de salida según la siguiente ecuación:

$$V_{AOUT} = LSB \cdot \sum_{i=0}^{7} Di \cdot 2^i$$

Siendo:

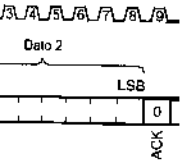
- **LSB**, la denominada **resolución** del DAC cuyo valor es controlado por la tensión en el pin V_{REF} del PCF8591, según la siguiente ecuación, suponiendo que la masa analógica (pin AGND) está conectada a masa:

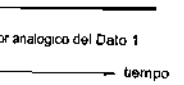
$$LSB = \frac{V_{REF}}{256}$$

- La expresión $\sum_{i=0}^{7} Di \cdot 2^i$ es el valor del dato digital de entrada que se desea convertir en analógico.

EJEMPLO: Deducir la tensión en la salida analógica AOUT del PCF8591 configurado como DAC del esquema de la figura 27-6, donde la tensión aplicada al pin

I2C siguiendo el





omo DAC

escritura que en
do lógico de las

alógico.
la condición de

correspondiente

trolado por la
n, suponiendo

a que se desea

del PCF8591
aplicada al pin

VREF es de 2,56 voltios, el pin AGND está conectado a masa y el dato de entrada es b'01001011'.

Solución: La resolución LSB del circuitos es:

$$LSB = \frac{V_{REF}}{256} = \frac{2,56}{256} = 0,01V = 10mV$$

El dato de entrada es: $\sum_{i=0}^{7} Di \cdot 2^i$ = b'01001011' = 75 expresado en decimal.

Por tanto el valor de la tensión de salida por el pin AOUT del PCF8591 es igual a:

$$V_{AOUT} = LSB \cdot \sum_{i=0}^{7} Di \cdot 2^i = 10 \cdot 75 = 750mV = 0,75V$$

La resolución LSB es el parámetro más importante de un DAC (y también de un ADC) ya que relaciona los valores analógicos y los digitales según la ecuación anterior.

La resolución de un convertidor DAC se define también como la menor variación que puede experimentar la salida analógica como resultado de un cambio en la entrada digital. Es el valor de la salida para un valor digital igual a b'00000001', por lo que se le llama "LSB" *(Least Significant Bit)* que es el valor de ponderación del bit de menor peso.

En un DAC es importante identificar el ***Full Scale (FS),*** definido en la mayoría de los casos como el máximo valor que puede alcanzar la señal analógica. Así, el circuito del ejemplo anterior tiene un FS igual a:

$$FS = LSB \cdot 11111111_2 = 10 \cdot 255_{10} = 2550mV = 2,55V$$

Cuando la tensión en el pin VREF es de 2,56 V se consigue una resolución de 10 mV que es un valor muy cómodo con el que trabajar. La impedancia vista desde el pin VREF es de unos 100 k, por tanto para conseguir los 2,56 V en esta patilla se puede utilizar el divisor de tensión descrito en la figura 27-6, donde las resistencias fijas de 10 y 12 k apenas cargan al dispositivo, con la resistencia variable de 1 k es muy fácil ajustar la tensión de referencia a 2,56 V.

La exactitud en el proceso de conversión es determinada por el valor de la resolución del circuito. Por esto es muy importante que esta tensión de referencia de 2,56 V se mantenga muy estable. La figura 27-8 muestra otra forma de conseguir la tensión de referencia necesaria mediante el dispositivo LM336-2.5 V de Nacional Semiconductor (www.national.com), que proporciona una tensión de 2,5 V muy estable.

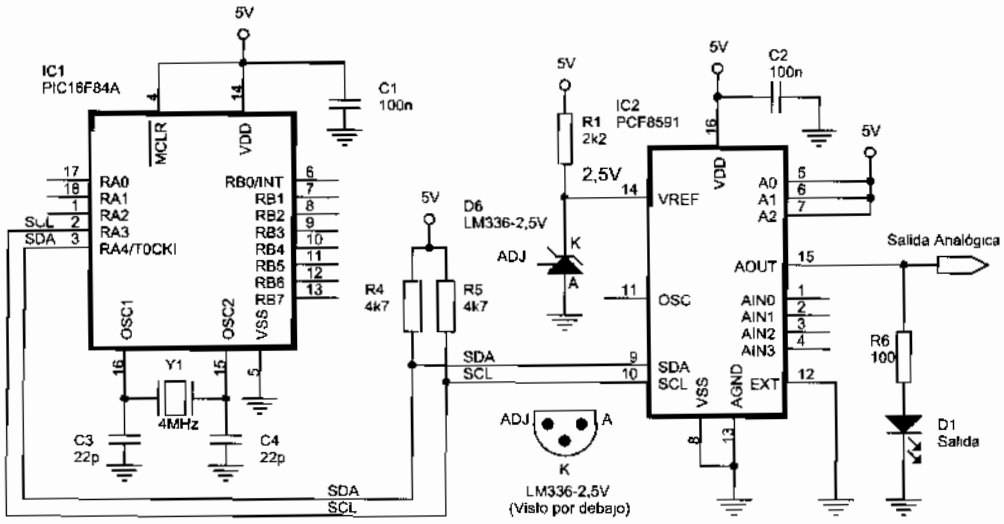
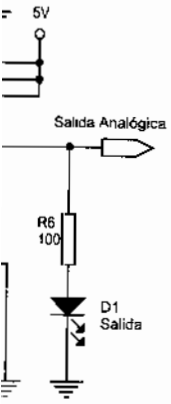


Figura 27-8 Tensión de referencia de 2,5 V mediante LM336-2.5V

27.6 EJEMPLOS DEL PCF8591 COMO DAC

Como aplicación de lo explicado vemos el siguiente programa que es un ejemplo del manejo del PCF8591 como DAC para el circuito de la figura 27-6 ó 27-8 aplicable a muchos proyectos.

```
;****************************************** I2C_DAC_01.asm ********************************
;
; En la salida analógica del PCF8591 está conectado un diodo LED en serie con una resistencia
; de unos 100 ohmios. Desde la posición de apagado, el LED comienza a encenderse
; paulatinamente hasta llegar a su luminosidad máxima, alcanzada la cual volverá a apagarse
; repitiendo el ciclo.
;
; Para ello, la tensión en la salida comienza en 1500 mV (1,5 V), que es el nivel de umbral de
; luminosidad del LED, asciende en pasos de 10 mV hasta alcanzar 2500 mV (2,5 V) para volver
; a caer a 1,5 V y repetir el ciclo.
;
; En cada paso estará unos 50 ms. El total de cada ciclo durará pues unos 5 segundos ya que
; de 1500 a 2500 hay 100 pasos de 10 mV, multiplicado por los 50 ms que dura cada paso
; resulta 5000 ms en total.
;
; El DAC va a utilizar un contador auxiliar que contiene el valor digital a convertir. Se
; incrementa cada vez que ejecuta la subrutina principal, desde 150 hasta 250 y repite el ciclo.
;
; Como el PCF8591 del esquema trabaja con una resolución de LSB=10mV, el valor del contador
; será 10 veces menor que la tensión analógica deseada a la salida expresada en milivoltios.
; Así por ejemplo, si (Contador)=147 el valor de la tensión de salida será igual a:
; VOUT = LSB x Digital = 10 x 147 = 1470 mV = 1,47 V.
;
```



2.5V

e es un ejemplo
27-8 aplicable a

****

ncia

e

le
olver

o.

ntador


```
; Por tanto, como (Contador) varía de 150 a 250 en pasos de 1, la tensión analógica de salida
; varía desde 1500 mV (1,50 V) hasta 2500 mV (2,50 V) en pasos de 10 mV (0,01 V), produciendo
; un aumento paulatino de la tensión en la salida analógica y de la luminosidad del LED.
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        ENDC

PCF8591_DireccionEscritura  EQU     b'10011110'

; ZONA DE CÓDIGOS ******************************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    CargaInicialContador
        call    I2C_EnviaStart              ; Envia condición de Start.
        movlw   PCF8591_DireccionEscritura  ; Apunta al dispositivo.
        call    I2C_EnviaByte
        movlw   b'01000000'                 ; Carga la palabra de control activando la
        call    I2C_EnviaByte               ; salida analógica.
Principal
        call    IncrementaContador
        call    I2C_EnviaByte               ; Convierte el dato dígital de entrada a tensión
        call    Retardo_50ms                ; analógica presente en el pin AOUT.
        goto    Principal

; Subrutina "IncrementaContador" ---------------------------------------------------------

        CBLOCK
        Contador
        ENDC

ValorMinimo     EQU     .150
ValorMaximo     EQU     .250
SaltoIncremento EQU     .1

IncrementaContador
        movlw   SaltoIncremento             ; Incrementa el valor deseado.
        addwf   Contador,F
        btfsc   STATUS,C                    ; Si se desborda realiza la carga inicial.
        goto    CargaInicialContador
        movf    Contador,W                  ; ¿Ha llegado a su valor máximo?
        sublw   ValorMaximo                 ; (W) = ValorMaximo - (Contador)
        btfsc   STATUS,C                    ; ¿C=0?, ¿(W) negativo?, ¿ValorMaximo<(Contador)?
        goto    FinIncrementar              ; No, resulta ValorMaximo>=(Contador) y sale.
CargaInicialContador
        movlw   ValorMinimo                 ; Sí, entonces inicializa el registro.
        movwf   Contador
```

```
FinIncrementar
        movf    Contador,W                  ; El resultado en (W).
        return

        INCLUDE  <BUS_I2C.INC>
        INCLUDE  <RETARDOS.INC>
        END
```

El circuito de la figura 27-9 es otro ejemplo de aplicación. Se trata de un generador de tensión de referencia ajustable mediante pulsador. Su programa de control se detalla a continuación.

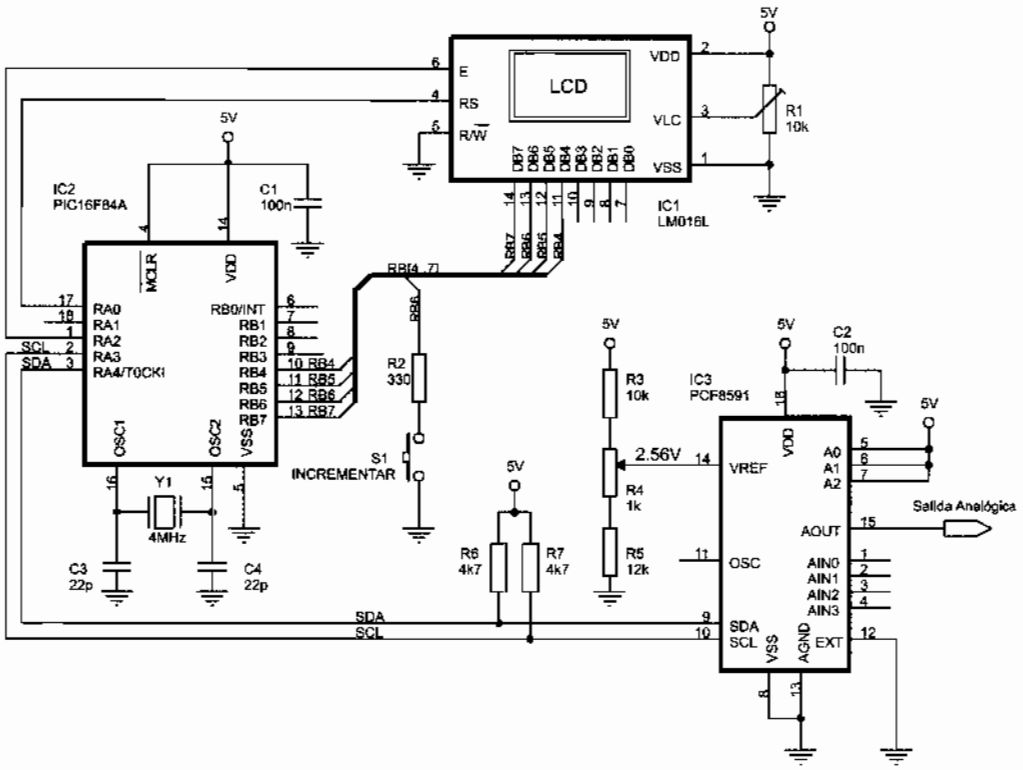


Figura 27-9 Otro ejemplo de configuración del PCF8591como DAC

```
;************************************** I2C_DAC_02.asm ******************************
;
; En la salida analógica del PCF8591 que trabaja como DAC se obtiene una tensión seleccionada
; por un pulsador conectado a la línea RB6 del PIC. La tensión varía entre 0,50 y 2,50 V en
; saltos de 0,25 V y se visualiza en el módulo LCD.
;
; ZONA DE DATOS ***********************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
```

```
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        ENDC

PCF8591_DireccionEscritura  EQU     b'10011110'

#DEFINE  IncrementarPulsador        PORTB,6
;
; ZONA DE CÓDIGOS ********************************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    ServicioInterrupcion

Mensajes
        addwf   PCL,F
MensajeTension
        DT "Tension: ", 0x00
MensajeVoltios
        DT " V.  ", 0x00
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0
        bsf     IncrementarPulsador; Se configura como entrada.
        bcf     STATUS,RP0
        call    CargaInicialContador        ; Realiza la carga inicial del contador.
        call    PCF8591_DAC                 ; Lo envía al DAC para su conversión.
        call    Visualiza                   ; Y lo visualiza en la pantalla.
        movlw   b'10001000'                 ; Activa interrupción por cambio en las
        movwf   INTCON                      ; líneas del Puerto B (RBIE) y la general (GIE).
Principal
        sleep                               ; Pasa a modo de reposo.
        goto    Principal

; Subrutina "ServicioInterrupcion" ----------------------------------------
;
; Incrementa el registro Contador cada vez que se presiona el pulsador "INCREMENTAR".
;
; Como el PCF8591 del esquema trabaja con una resolución de LSB=10mV el valor del (Contador)
; será 10 veces menor que la tensión analógica deseada a la salida expresada en milivoltios.
; Así por ejemplo, si (Contador)=147 el valor de la tensión de salida será igual a:
; VOUT = LSB x Digital = 10 x 147 = 1470 mV = 1,47 V.
;
ServicioInterrupcion
        call    Retardo_20ms                ; Espera a que se estabilicen los niveles de tensión.
        btfsc   IncrementarPulsador; Si es un rebote sale fuera.
        goto    FinInterrupcion
IncrementarTensionDeseada
        call    IncrementaContador          ; Aumenta el valor del contador.
        call    PCF8591_DAC                 ; Lo envía al DAC para su conversión.
        call    Visualiza                   ; Visualiza mientras espera que deje
```

```
        call    Retardo_100ms           ; de pulsar durante este tiempo.
        btfss   IncrementarPulsador; Mientras permanezca pulsado
        goto    IncrementarTensionDeseada ; incrementará el dígito.
FinInterrupcion
        bcf     INTCON,RBIF
        retfie

; Subrutina "PCF8591_DAC" ----------------------------------------------------
;
; Escribe en el PCF8591 con el dato del registro W para su conversión a tensión analógica.

        CBLOCK
        PCF8591_Dato                    ; Guarda el dato que tiene que enviar.
        ENDC

PCF8591_DAC
        movwf   PCF8591_Dato            ; Guarda el dato a enviar.
        call    I2C_EnviaStart          ; Envía condición de Start.
        movlw   PCF8591_DireccionEscritura ; Apunta al dispositivo.
        call    I2C_EnviaByte
        movlw   b'01000000'             ; Carga la palabra de control activando la
        call    I2C_EnviaByte           ; salida analógica.
        movf    PCF8591_Dato,W          ; Escribe el dato dos veces para que la
        call    I2C_EnviaByte           ; conversión sea correcta tal como se indica en
        movf    PCF8591_Dato,W          ; los cronogramas del fabricante.
        call    I2C_EnviaByte
        call    I2C_EnviaStop           ; Termina.
        movf    PCF8591_Dato,W          ; En (W) se recupera de nuevo el dato de entrada.
        return

; Subrutinas "IncrementaContador" y "CargaInicialContador" -------------------
;
        CBLOCK
        Contador
        ENDC

ValorMinimo     EQU     d'50'           ; El valor mínimo de tensión será 0,5 V.
ValorMaximo     EQU     d'250'          ; El valor máximo de tensión será 2,5 V.
SaltoIncremento EQU     d'25'           ; El incremento se producirá en saltos de 0,25 V.

IncrementaContador
        movlw   SaltoIncremento         ; Incrementa el valor deseado.
        addwf   Contador,F
        btfsc   STATUS,C                ; Si se desborda realiza la carga inicial.
        goto    CargaInicialContador
        movf    Contador,W              ; ¿Ha llegado a su valor máximo?
        sublw   ValorMaximo             ; (W) = ValorMaximo - (Contador).
        btfsc   STATUS,C                ; ¿C=0?, ¿(W) negativo?, ¿ValorMaximo<(Contador)?
        goto    FinIncrementar          ; No, resulta ValorMaximo>=(Contador) y sale.
CargaInicialContador
        movlw   ValorMinimo             ; Sí, entonces inicializa el registro.
        movwf   Contador
FinIncrementar
```



```
        movf    C
        return

; Subrutinas "Visualiz
;
; Visualiza el valor qu
; Hay que tener en cue
; el valor de entrada se
; Así por ejemplo, si (
; = 10 x 147 = 1470 m
;
; En conclusión:
; - Las centenas del va
; - Las decenas del va
; - Las unidades del v

        CBLOCK
        Auxiliar
        ENDC

Visualiza
        movwf
        call
        movlw
        call
        movf
        call
        movf
        call
        movlw
        call
        movf
        call
        movf
        call
        movlw
        call
        return
;
        INCLUD
        INCLUD
        INCLUD
        INCLUD
        INCLUD
        END
```

Este circu
escalas habría q
lector a desarrol

```
        movf    Contador,W              ; En (W) el resultado.
        return

; Subrutinas "Visualiza" ----------------------------------------------------
;
; Visualiza el valor que se le introduce por el registro de trabajo W en formato de tensión.
; Hay que tener en cuenta que el PCF8591 del esquema trabaja con una resolución de LSB=10mV,
; el valor de entrada será 10 veces menor que la tensión real expresada en milivoltios.
; Así por ejemplo, si (W)=147 el valor de la tensión será igual a: VOUT = LSB x Digital =
; = 10 x 147 = 1470 mV = 1,47 V, que es lo que se debe visualizar en la pantalla.
;
; En conclusión:
; - Las centenas del valor de entrada corresponden a las unidades de voltio.
; - Las decenas del valor de entrada corresponden a las décimas de voltio.
; - Las unidades del valor de entrada corresponden a las centésimas de voltios.

        CBLOCK
        Auxiliar
        ENDC

Visualiza
        movwf   Auxiliar                ; Lo guarda.
        call    LCD_Linea1              ; Se sitúa al principio de la primera línea.
        movlw   MensajeTension          ; Visualiza la tensión deseada.
        call    LCD_Mensaje
        movf    Auxiliar,W              ; Recupera el dato a visualizar y lo
        call    BIN_a_BCD               ; pasa a BCD.
        movf    BCD_Centenas,W          ; Visualiza las centenas que corresponden a las
        call    LCD_Nibble              ; unidades de voltios.
        movlw   '.'                     ; Visualiza el punto decimal.
        call    LCD_Caracter
        movf    BCD_Decenas,W           ; Visualiza las decenas que corresponden a las
        call    LCD_Nibble              ; décimas de voltios.
        movf    BCD_Unidades,W          ; Visualiza las unidades que corresponden a las
        call    LCD_Nibble              ; centésimas de voltios.
        movlw   MensajeVoltios
        call    LCD_Mensaje
        return
;
        INCLUDE <BUS_I2C.INC>
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        END
```

Este circuito proporciona tensiones entre 0 y 2,5 V. Para conseguir otros valores de escalas habría que añadirle a la salida circuitos atenuadores y amplificadores. Se anima al lector a desarrollarlo como proyecto.

27.7 EL PCF8591 COMO ADC

En la figura 27-10 se muestra un PCF8591 en configuración típica trabajando como convertidor Analógico - Digital ADC *(Analog to Digital Converter)*. A destacar:

- La entrada analógica se aplica al pin AIN0. El resto de las entradas analógicas no se utiliza. La salida digital convertida se lee a través del bus I2C.
- La tensión aplicada al pin VREF es de 2,56 V para conseguir una resolución de 10 mV. También se podría haber utilizado un LM336-2.5V.
- Un generador interno proporciona la señal de reloj necesaria para el ciclo de conversión ADC, siempre que el pin EXT esté conectado a masa. En la patilla OSC se dispone de la frecuencia de oscilación.
- El divisor de tensión R7/R8 permite obtener una tensión variable para probar el circuito.

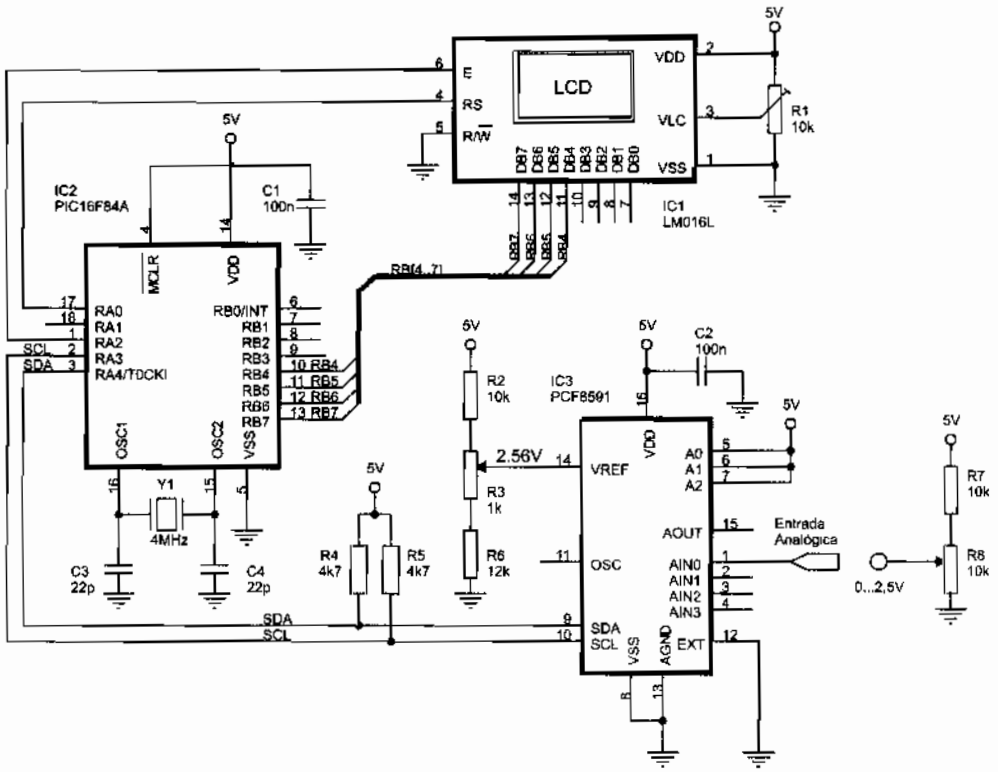


Figura 27-10 Ejemplo de configuración del PCF8591 como ADC

Antes de leer el ADC es necesario configurarlo enviando la palabra de control tal como se ha explicado anteriormente.

Cuando trabaja como ADC, el ciclo de conversión se inicia siempre tras el envío de una dirección de lectura válida y se inicia con el flanco descendente del pulso de

reconocimiento y, finalmente, se ejecuta mientras se transmite el resultado de la conversión anterior tal como se muestra en la figura 27-11.

Una vez iniciado el ciclo de conversión una muestra de la tensión de entrada del canal seleccionado se convierte al correspondiente código binario de 8 bits. La conversión resultante se guarda en el registro de datos del ADC en espera de ser transmitida. Si está activado el flag de autoincremento será seleccionado el siguiente canal.

El primer byte transmitido en un ciclo de lectura contiene el código resultante del anterior ciclo de conversión. Después de un reset, el primer byte leído será el 80h y normalmente será desechado.

La máxima velocidad de conversión del ADC viene dada por la velocidad de trabajo del bus I2C.

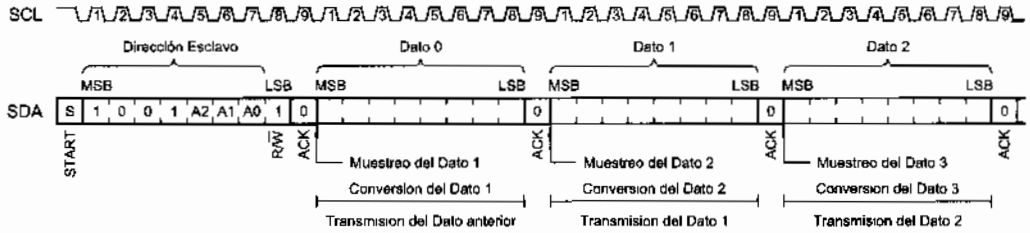


Figura 27-11 Secuencia de conversión cuando el PCF8591 actúa como ADC

Para el caso de entradas simples el valor digital de la salida vendrá dado por la ecuación:

$$Digital = \frac{V_{AIN}}{LSB}$$

Siendo:

- V_{AIN}, el valor de la tensión analógica aplicada a una de las entradas AIN que se quiere convertir.
- **LSB**, la resolución del DAC cuyo valor viene dado por la tensión en el pin VREF del PCF8591 según la siguiente ecuación, suponiendo que el pin AGND está conectado a masa:

$$LSB = \frac{V_{REF}}{256}$$

EJEMPLO: Deducir el valor digital de salida del PCF8591 configurado como ADC de la figura 27-10, donde la tensión aplicada al pin VREF es de 2,56 V, el pin AGND está conectado a masa y la tensión de entrada aplicada al pin AIN0 es de 2,17 V.

Solución: La resolución LSB del circuito es:

$$LSB = \frac{V_{REF}}{256} = \frac{2{,}56}{256} = 0{,}01V = 10mV$$

El dato de entrada es: $V_{AIN} = 2{,}17\ V = 2170\ mV$.

Por tanto el valor del dato digital de salida ofrecido por el PCF8591 al microcontrolador será:

$$Digital = \frac{V_{AIN}}{LSB} = \frac{2170}{10} = 217_{10} = 11011001_2$$

La exactitud en el proceso de conversión está determinada por el valor de la resolución del circuito (LSB), por lo que es muy importante que esta tensión de referencia se mantenga muy estable.

27.8 EJEMPLO DEL PCF8591 COMO ADC

Una de las aplicaciones más interesantes en proyectos con ADC es la realización de un voltímetro. El siguiente programa es un ejemplo para el circuito de la figura 27-10.

```
;****************************************** I2C_ADC_01.asm ******************************
;
; El microcontrolador lee constantemente la entrada analógica AN0 del PCF8591 y
; visualiza la tensión en la pantalla del módulo LCD.
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        ENDC

PCF8591_DireccionEscritura  EQU     b'10011110'
PCF8591_DireccionLectura    EQU     b'10011111'
;
; ZONA DE CÓDIGOS ******************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        call    I2C_EnviaStart              ; Va a configurar el PCF8591.
        movlw   PCF8591_DireccionEscritura  ; Apunta al dispositivo.
        call    I2C_EnviaByte
        movlw   b'00000000'                 ; Carga la palabra de control utilizando la
        call    I2C_EnviaByte               ; entrada AIN0 en modo simple.
        call    I2C_EnviaStop               ; Termina la configuración
;
        call    I2C_EnviaStart              ; Comienza a leer.
```



```
        movlw
        call
        call
Principal
        call
        call
        goto

; Subrutinas "Visuali
;
; Visualiza el valor q
; Hay que tener en cu
; LSB=10mV, el valo
; milivoltios. Así por
; VAIN = LSB x Dig
; en la pantalla.
;
; En conclusión:
; - Las centenas del v
; - Las decenas del va
; - Las unidades del v

        CBLOCK
        Auxiliar
        ENDC

Visualiza
        movwf
        call
        movlw
        call
        movf
        call
        movf
        call
        movlw
        call
        movf
        call
        movf
        call
        movlw
        call
        return

Mensajes
        addwf
MensajeTension
        DT "Tens
MensajeVoltios
        DT " V.

        INCLUDE
```

```
        movlw   PCF8591_DireccionLectura  ; Apunta al dispositivo.
        call    I2C_EnviaByte
        call    I2C_LeeByte               ; La primera lectura es incorrecta y por lo tanto
Principal                                 ; la desecha.
        call    I2C_LeeByte               ; Lee la entrada analógica.
        call    Visualiza                 ; La visualiza.
        goto    Principal

;Subrutinas "Visualiza" ----------------------------------------------------
;
;Visualiza el valor que se le introduce por el registro de trabajo W en formato de tensión.
;Hay que tener en cuenta que el PCF8591 del esquema trabaja con una resolución de
;LSB=10mV, el valor de entrada será 10 veces menor que la tensión real expresada en
;milivoltios. Así por ejemplo, si (W)=147 el valor de la tensión será igual a:
;VAIN = LSB x Digital = 10 x 147 = 1470 mV = 1,47 V, que es lo que se debe visualizar
;en la pantalla.
;
;En conclusión:
;- Las centenas del valor de entrada corresponden a las unidades de voltio.
;- Las decenas del valor de entrada corresponden a las décimas de voltio.
;- Las unidades del valor de entrada corresponden a las centésimas de voltios.

        CBLOCK
        Auxiliar
        ENDC

Visualiza
        movwf   Auxiliar                  ; Lo guarda.
        call    LCD_Linea1                ; Se sitúa al principio de la primera línea.
        movlw   MensajeTension            ; Visualiza la tensión deseada.
        call    LCD_Mensaje
        movf    Auxiliar,W                ; Recupera el dato a visualizar y lo
        call    BIN_a_BCD                 ; pasa a BCD.
        movf    BCD_Centenas,W            ; Visualiza las centenas que corresponden a las
        call    LCD_Nibble                ; unidades de voltios.
        movlw   '.'                       ; Visualiza el punto decimal.
        call    LCD_Caracter
        movf    BCD_Decenas,W             ; Visualiza las decenas que corresponden a las
        call    LCD_Nibble                ; décimas de voltios.
        movf    BCD_Unidades,W            ; Visualiza las unidades que corresponden a las
        call    LCD_Nibble                ; centésimas de voltios.
        movlw   MensajeVoltios
        call    LCD_Mensaje
        return

Mensajes
        addwf   PCL,F
MensajeTension
        DT "Tension: ", 0x00
MensajeVoltios
        DT " V.  ", 0x00

        INCLUDE <BUS_I2C.INC>
```

```
INCLUDE <RETARDOS.INC>
INCLUDE <BIN_BCD.INC>
INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
INCLUDE <LCD_MENS.INC>
END
```

Para probar este circuito se puede utilizar la tensión variable que se obtiene del divisor de tensión formado por R7 y R8.

Este voltímetro puede medir una tensión entre 0 y 2,5 V. Para conseguir otros valores de escalas habría que añadirle a la entrada circuitos atenuadores y amplificadores. Sr anima al lector a desarrollarlo como proyecto.

© RA-MA

e obtiene del

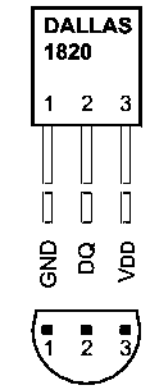
nseguir otros
mplificadores.

Camilo Gorzón

CAPÍTULO 28

BUS DE UNA LÍNEA

El fabricante americano *Dallas Semiconductors* (www.dalsemi.com) ha diseñado una familia de periféricos muy atractiva para su uso con microcontroladores porque sólo utiliza una línea para transferir datos denominada *1-Wire Bus* o **bus de una línea**. Hay una gran variedad de dispositivos compatibles con este protocolo, uno de más populares es el termómetro digital DS1820 (figura 18-1).



Cápsula TO-92
(Visto por debajo)

GND	*Ground:* Patilla de masa.
DQ	*Data In/Out.* Línea serie donde se leen o escriben datos.
V_{DD}	*Optional* V_{DD}. Pin para aplicar opcionalmente el positivo de la alimentación.

Figura 28-1 Patillaje del DS1820 para cápsula TO-92

28.1 SENSOR DE TEMPERATURA DS1820

El DS1820 es un sensor de temperatura que transmite el valor digital de la temperatura leída en el lugar donde se encuentre el dispositivo. Utiliza una única línea

serie que se comunica con otros dispositivos mediante el protocolo para bus de una línea diseñado por *Dallas Semiconductors*. Sus principales características son:

- El patillaje para cápsula TO-92 que se representa en la figura 28-1.
- La temperatura es leída como un valor digital de 2 bytes que incluye el signo.
- Medida de temperatura desde –55 ºC hasta +125 ºC.
- Requiere una única línea para la comunicación mediante el *1-Wire Bus*.
- Apenas requiere componentes externos.

Dispone de dos modelos que sólo se diferencian por el tiempo de conversión de la temperatura: 200 ms para el DS1820 y 750 ms para el DS18S20.

28.2 DIAGRAMA EN BLOQUES DEL DS1820

La figura 28-2 muestra el diagrama en bloque del DS1820 en el que se distinguen los siguientes componentes:

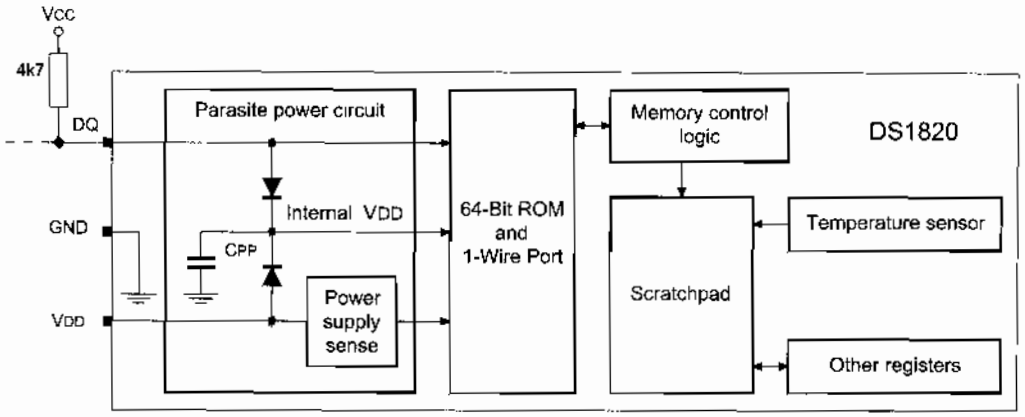


Figura 28-2 Diagrama de bloques del DS1820

- *64-Bit ROM*. Zona de memoria ROM donde se graba un código identificativo de 64 bits y que es único para cada chip. Cada dispositivo tiene un código asociado grabado en ROM que sirve para identificarlo en el caso de que varios de ellos se encuentren conectados a la misma línea de datos. Esta especial característica hace que no sea necesario conectar dispositivos adicionales ni aumentar el cableado para la selección de uno de estos dispositivos entre varios.
- *Parasite Power Circuit*. Una característica importante de estos dispositivos es la posibilidad que tienen de alimentarse sin necesidad de una fuente de alimentación externa. Para ello, aprovecha la potencia procedente de la línea DQ cuando se encuentra a nivel alto. Esta energía es almacenada en el

condensador Cpp, que actúa como alimentación del chip cuando la línea DQ se encuentra a nivel bajo. Cuando el DS1820 utiliza el modo de alimentación parásito el pin 3 (V_{DD}) debe conectarse a masa.

- *1-Wire Port (DQ).* El DS1820 utiliza para comunicarse el bus de 1 línea patentado por *Dallas Semiconductors*, que permite la comunicación entre diferentes dispositivos utilizando una única línea. Esta línea necesita para su correcto funcionamiento una resistencia de Pull-Up de unos 4k7 como se aprecia en la figura 28-2.
- *Scratchpad Memory.* Esta memoria auxiliar contiene principalmente los dos bytes con la temperatura medida *(Temperature Sensor)* que se describen a continuación.

28.3 LECTURA DE LA TEMPERATURA

El DS1820 proporciona la lectura de temperatura según el formato mostrado en los ejemplos de la tabla 28-1.

TEMPERATURA	CÓDIGO DE SALIDA PARA EL DS1820
+ 125,0 ºC	00000000 11111010
+ 25,5 ºC	00000000 00110011
+ 25,0 ºC	00000000 00110010
+ 0,5 ºC	00000000 00000001
+ 0,0 ºC	00000000 00000000
- 0,5 ºC	11111111 11111111
- 25,0 ºC	11111111 11001110
- 55.0 ºC	11111111 10010010

Tabla 28-1 Relación entre la temperatura y el contenido de los registros para el DS1820

Se observa que:

- El formato es de dos bytes.
- El primer byte es de signo:
  - Las temperaturas positivas comienzan con el byte alto todo a ceros: "00000000 xxxxxxxx".
  - Las temperaturas negativas comienzan con el byte alto todo a unos: "11111111 xxxxxxxx".
- El bit de menor peso determina el decimal de la temperatura leída:
  - Para temperaturas "xx.0 ºC", termina en cero: "xxxxxxx0".

- Para temperaturas "xx.5 °C", termina en uno: "xxxxxxx1".

- El valor de la temperatura está especificado en los 7 bits de mayor peso del byte bajo. Por ejemplo: +25°C = xxxxxxxx 0011001x = 25 en decimal. Por tanto, para obtener el valor de la temperatura habrá que desplazar un lugar hacia la derecha los bits del byte bajo.
- Las temperaturas vienen dadas en complemento a 2. Hay que negar las temperaturas negativas para obtener su valor absoluto.

28.4 BUS DE UNA LÍNEA

El bus de 1 línea *(1-Wire Bus System)* es un bus ideado por *Dallas Semiconductors* para transmitir información a través de una sola línea. Se basa en la And cableada. Normalmente se conecta:

- Un maestro que suele ser un microcontrolador que lleva el control del sistema.
- Uno o más esclavos que proporcionan información y son gobernados por el maestro. El DS1820 siempre es un esclavo.

El bus de una línea tiene, por definición, una simple línea de datos representada en la figura 28-3. Cada dispositivo maestro o esclavo se conecta al bus a través de una línea en drenador abierto. Esto permite a cada dispositivo conectado "ceder" el bus cuando no está transmitiendo datos y posibilita que el bus sea usado por otros dispositivos.

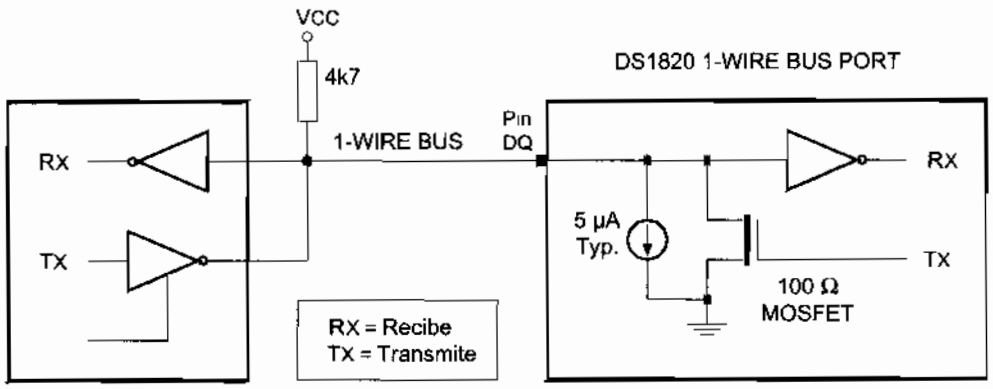


Figura 28-3 Configuración hardware del 1-Wire Bus

El bus de una línea requiere de una resistencia externa de Pull-Up de unos 4k7, de esta forma el estado de reposo del bus será el nivel alto.

Si el bus se mantiene a nivel bajo durante más de 480 µs, se produce un resct de todos los dispositivos esclavos conectados a él.

28.5 SEÑALES DEL BUS DE UNA LÍNEA

Los dispositivos compatibles con *1-Wire Bus* utilizan un estricto protocolo de comunicación con el fin de asegurar la integridad de los datos. El protocolo ideado por *Dallas Semiconductors* define varias señales tipos:

- Pulso de *Reset*.
- Pulso de *Presence*.
- Escritura de nivel lógico "0".
- Escritura de nivel lógico "1".
- Lectura de nivel lógico "0".
- Lectura de nivel lógico "1".

Todas estas señales, con excepción del *Presence*, son inicializadas por el microcontrolador maestro mediante un flanco de bajada y un nivel bajo de al menos 1 µs.

Entre cada señal diferente debe transcurrir un tiempo mínimo de 1 µs durante el cual el bus debe mantenerse en alta impedancia, lo que supone un nivel alto debido a la resistencia de Pull-Up.

Todos los datos y comandos son transmitidos con el bit de menor peso LSB *(Least Significant Bit)* en primer lugar.

28.6 INICIALIZACIÓN: PULSOS RESET Y PRESENCE

En el bus de 1 línea toda comunicación comienza con una secuencia de iniciación que consiste en un pulso de *Reset* ejecutado por el microcontrolador, seguido por un pulso de *Presence* ejecutado por el dispositivo esclavo DS1820 (figura 28-4).

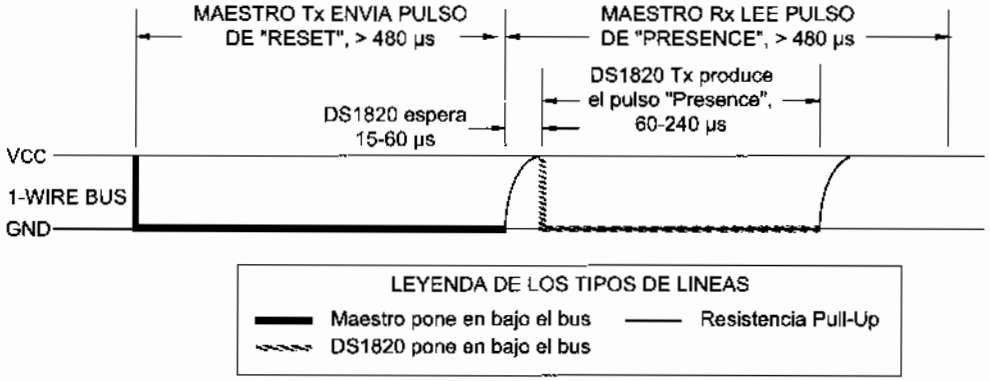


Figura 28-4 Pulsos de Reset y Presence

Cuando el DS1820 envía el pulso de *Presence* en respuesta al de *Reset* le indica al microcontrolador que está preparado para trabajar.

Durante la secuencia de iniciación, se produce el siguiente protocolo:

1º El microcontrolador maestro transmite un pulso de *Reset* que mantiene en bajo la línea durante al menos 480 µs.
2º A continuación el maestro pasa a modo entrada y, por tanto, pone el bus a nivel alto gracias a la resistencia de Pull-Up.
3º Cuando el DS1820 detecta esto, espera de 15 a 60 µs y entonces transmite el pulso *Presence*, que consiste en poner la línea a nivel bajo durante un tiempo de entre 60 a 240 µs.
4º A continuación, el DS1820 deja el bus en alta impedancia y espera comandos u órdenes del microcontrolador.

28.7 ESCRITURA DE UN BIT SOBRE EL DS1820

Para escribir un bit sobre el DS1820, el microcontrolador maestro debe seguir el protocolo explicado en la figura 28-5, que consta de los siguientes pasos:

1º El maestro manda un pulso en bajo durante un mínimo de 1 µs
2º El maestro manda un "0" o un "1", según corresponda, durante un tiempo de entre 15 y 60 µs.

Del análisis de la figura, caben destacar los siguientes puntos:

- La escritura de "0" ó "1" viene precedida siempre de un flanco de bajada y de un nivel bajo, entre 1 y 15 µs, ejecutado por el microcontrolador maestro.
- El bit realmente se graba en el DS1820, pasados 15 µs desde el flanco de bajada.
- El máximo tiempo que puede durar la escritura de un bit es de 60 µs.

Entre cada escritura de bit debe transcurrir un tiempo mínimo de 1 µs en el que el bus se debe mantener en alta impedancia, lo cual supone un nivel alto debido a la resistencia de Pull-Up.

28.8 LECTURA DE UN BIT PROCEDENTE DEL DS1820

Para leer un bit procedente del DS1820 el microcontrolador maestro debe seguir el protocolo de la figura 28-5, que consta de los siguientes pasos:

1º El maestro manda un pulso en bajo durante un mínimo de 1 µs.
2º El maestro lee el bit procedente del DS1820 pasados 15 µs desde el flanco de bajada.

- "Bus1Linea_Reset". Envía un impulso de *Reset* al dispositivo conectado en el bus de 1 línea y después espera recibir un impulso de *Presence*.
- "Bus1Linea_EscribeByte". El microcontrolador maestro escribe un byte al esclavo conectado al bus de 1 línea, comenzando por el bit LSB.
- "Bus1Linea_LeeByte". El microcontrolador maestro lee un byte del esclavo conectado al bus de 1 línea.

```
;****************************** Librería "BUS_1LIN.INC" *********************************
;
; Estas subrutinas permiten realizar las tareas básicas de control del bus de una sola línea
; según el protocolo del fabricante de semiconductores Dallas Semiconductors.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        CBLOCK
        Bus1Linea_Dato                  ; Guarda dato a transmitir o recibir por el bus.
        Bus1Linea_ContadorBits          ; Cuenta los bits a transmitir o a recibir.
        ENDC

#DEFINE  Bus1Linea      PORTB,3         ; Línea donde se conecta el DS1820.

; Subrutina "Bus1Linea_AltaImpedancia" ----------------------------------------
;
; Configura la línea única de 1-Wire Bus como entrada. Lo pone en alta impedancia.

Bus1Linea_AltaImpedancia
        bsf     STATUS,RP0
        bsf     Bus1Linea               ; La línea como entrada, por tanto, en alta
        bcf     STATUS,RP0              ; impedancia.
        return

; Subrutina "Bus1Linea_Bajo" --------------------------------------------------
;
; Mantiene el pin de datos del Bus de 1 línea en bajo.

Bus1Linea_Bajo
        bsf     STATUS,RP0
        bcf     Bus1Linea               ; La línea como salida.
        bcf     STATUS,RP0
        bcf     Bus1Linea               ; Pasa a bajo.
        return

; Subrutina "Bus1Linea_Reset" -------------------------------------------------
;
; Envía un impulso de Reset al dispositivo conectado en el bus de 1 línea y después
; espera recibir un impulso de Presence". Esto consiste en:
; 1º.   El PIC manda un impulso en bajo durante unos 500 µs. (El protocolo permite entre 480
;       y 960 µs).
; 2º.   El PIC pasa a modo entrada, espera 20 µs. (El protocolo fija entre 15 y 60 µs).
; 3º.   El PIC lee la línea de entrada y si es bajo está correcto (pulso de "Presence").
;       Se interpreta como que el procedimiento está correctamente inicializado.
```

```
Bus1Linea_Reset
        call    Bus1Linea_AltaImpedancia    ; Empieza en alto para conseguir el flanco de
                                            ; bajada con la siguiente instrucción.
        call    Bus1Linea_Bajo              ; El bus de 1 línea en bajo durante 500 µs.
        call    Retardo_500micros
        call    Bus1Linea_AltaImpedancia    ; Permanece en alta impedancia (nivel alto por
        call    Retardo_20micros            ; las resistencias de Pull-Up) durante unos µs.
Bus1Linea_EsperaLeerBajo
        btfsc   Bus1Linea                   ; Espera a que el dispositivo le envíe el pulso
        goto    Bus1Linea_EsperaLeerBajo    ; en bajo de "Presence".
Bus1Linea_EsperaLeerAlto
        btfss   Bus1Linea                   ; Y ahora el dispositivo lo debe poner en alto.
        goto    Bus1Linea_EsperaLeerAlto
        return

; Subrutina "Bus1Linea_EscribeByte" ----------------------------------------------
;
; El maestro escribe un byte al esclavo conectado al bus de 1 línea comenzando por el bit LSB.
; Consiste en enviar 8 bits, repitiendo 8 veces la siguiente secuencia:
; 1º    El PIC manda un impulso en bajo durante unos microsegundos. (El protocolo fija un
;       mínimo de 1 µs y sin exceder con lo que viene a continuación de 60 µs) A continuación:
;       - Si va a enviar un "0" permanece en bajo durante 50 µs.
;       - Si va a escribir un "1" se pone en alta impedancia durante 50 µs. (El protocolo
;         permite unos valores entre 15 y 60 µs para ambos casos).
; 2º    Para escribir otro bit se pone en alta impedancia durante unos µs. (El protocolo
;       establece un mínimo de 1 µs).
;
; Entrada: En (W) el dato a enviar.

Bus1Linea_EscribeByte
        movwf   Bus1Linea_Dato              ; Guarda el byte a transmitir.
        movlw   0x08                        ; 8 bits a transmitir.
        movwf   Bus1Linea_ContadorBits
        call    Bus1Linea_AltaImpedancia    ; Empieza en alta impedancia.
Bus1Linea_EnviaBit
        call    Bus1Linea_Bajo              ; Flanco de bajada.
;
; Pregunta por el valor del bit a transmitir.
;
        rrf     Bus1Linea_Dato,F            ; Lleva el bit de menor peso LSB al Carry.
        btfss   STATUS,C                    ; ¿Es un "1" el bit a transmitir?.
        goto    Bus1Linea_EnviaCero         ; No, pues envía un "0".
Bus1Linea_EnviaUno
        call    Bus1Linea_AltaImpedancia    ; Transmite un "1".
        goto    Bus1Linea_Espera50us
Bus1Linea_EnviaCero
        call    Bus1Linea_Bajo              ; Transmite un "0".
Bus1Linea_Espera50us
        call    Retardo_50micros
        call    Bus1Linea_AltaImpedancia    ; Flanco de subida.
        decfsz  Bus1Linea_ContadorBits,1    ; Comprueba que es el último bit.
        goto    Bus1Linea_EnviaBit          ; Como no es el último bit repite la operación.
        return
```

```
;
; Subrutina "Bus1Linea_LeeByte" ----------------------------------------------
;
; El microcontrolador maestro lee un byte del dispositivo esclavo conectado al bus de
; 1 línea. Consiste en leer 8 bits, repitiendo 8 veces la siguiente secuencia:
; 1º      El PIC manda un pulso en bajo durante unos µs. (El protocolo fija un mínimo de 1 µs).
; 2º      El PIC se pone en entrada (alta impedancia) durante otros 10 µs (con un total de 15 µs
;         desde el flanco de bajada) para proceder a la lectura de la línea.
; 3º      El PIC espera 50 µs para realizar la siguiente lectura (total unos 65 µs desde el
;         flanco de bajada). El protocolo fija que las lecturas se harán cada 60 µs ó más.
;
; Salida: En (W) el dato leído.

Bus1Linea_LeeByte
        movlw   0x08                    ; 8 bits a recibir.
        movwf   Bus1Linea_ContadorBits
        call    Bus1Linea_AltaImpedancia ; Empieza en alta impedancia.
Bus1Linea_LeeBit
        call    Bus1Linea_Bajo          ; Flanco de bajada.
        call    Bus1Linea_AltaImpedancia
        call    Retardo_10micros        ; Añadiendo las instrucciones anteriores, supone
                                        ; un total de 15 µs desde el flanco de bajada.
        bcf     STATUS,C                ; Ahora lee el pin. En principio supone que es 0.
        btfsc   Bus1Linea               ; ¿Realmente es cero?.
        bsf     STATUS,C                ; No, pues cambia a uno.
        rrf     Bus1Linea_Dato,1        ; Introduce el bit en el registro.
        call    Retardo_50micros        ; Espera.
        call    Bus1Linea_AltaImpedancia ; Flanco de subida del pulso positivo.
        decfsz  Bus1Linea_ContadorBits,1 ; Comprueba que es el último bit.
        goto    Bus1Linea_LeeBit        ; Si no es el último bit pasa a leer el siguiente.
        movf    Bus1Linea_Dato,W        ; El resultado en el registro W.
        return
```

28.10 ÚNICO DS1820 CONECTADO AL BUS DE 1 LÍNEA

Cuando hay un único DS1820 esclavo conectado a un bus de 1 línea de *Dallas Semiconductors*, como en el termómetro digital ilustrado en la figura 28-6, el fabricante simplifica el control software de éste mediante el envío de los comandos especificados en el diagrama de flujos de la figura 28-7.

Este control se puede concretar en las siguientes subrutinas descritas en la librería DS1820.INC:

- "DS1820_Inicializa". Inicializa el DS1820 para que comience la conversión de temperatura.
- "DS1820_LeeTemperatura". Proporciona el valor de la temperatura en tres registros:
  - (DS1820_Temperatura), valor absoluto de la temperatura.
  - (DS1820_TemperaturaDecimal), parte decimal.
  - (DS1820_TemperaturaSigno), informa si la temperatura es negativa.

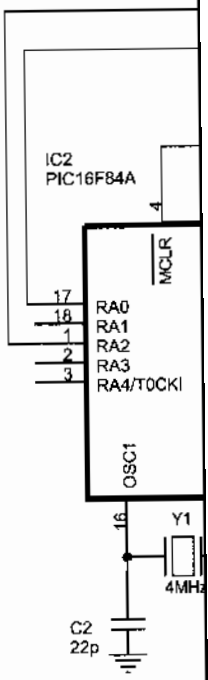


Figura 28-6 Ejem

```
;**********
;
; Estas subrutinas permite
; Este sensor transmite la
;
; ZONA DE DATOS ***
        CBLOCK
        DS1820_Temp
        DS1820_Temp
        DS1820_Temp
        ENDC

DS1820_Skip_ROM_Co
DS1820_Read_Scratchp
DS1820_Convert_T_Co
;
; Subrutina "DS1820_Ini
;
; Inicializa el DS1820 pa
;
DS1820_Inicializa
        call    Bus
```

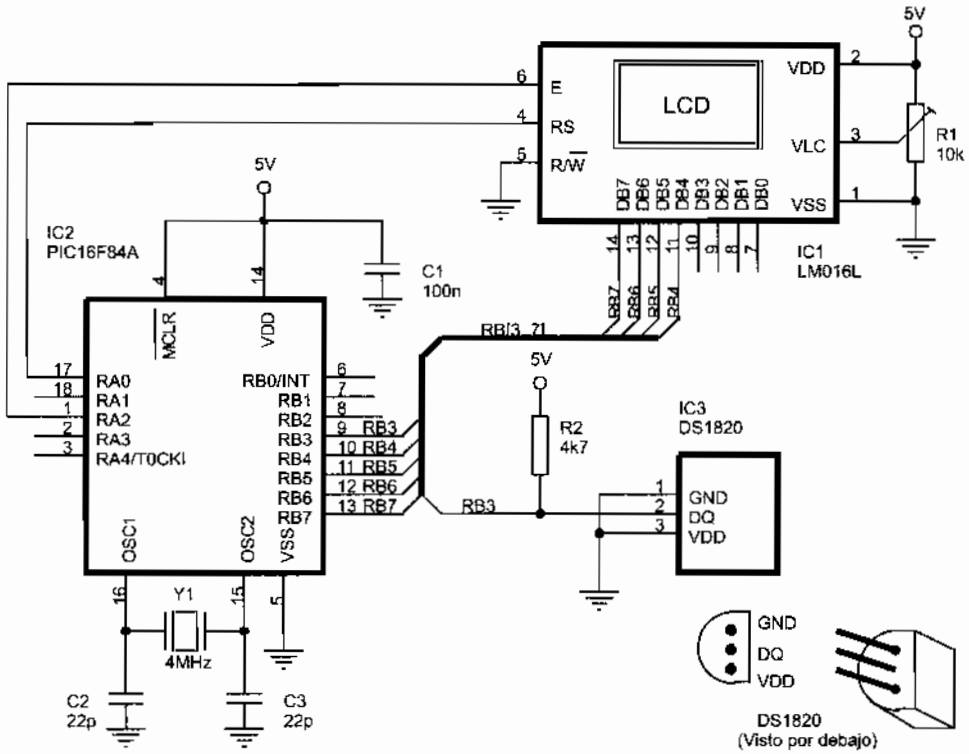


Figura 28-6 Ejemplo de conexión de un DS1820 a un PIC16F84A. Termómetro digital

```
;****************************** Librería "DS1820.INC" ************************************
;
; Estas subrutinas permiten realizar las tareas de manejo del sensor de temperatura DS1820.
; Este sensor transmite la información vía serie a través de un 1-Wire Bus.
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************************

        CBLOCK
        DS1820_Temperatura                  ; Primer byte leído del termómetro DS1820.
        DS1820_TemperaturaSigno             ; Segundo byte leído del termómetro DS1820.
        DS1820_TemperaturaDecimal           ; Parte decimal de la temperatura medida.
        ENDC

DS1820_Skip_ROM_Command         EQU     0xCC    ; Comandos del DS1820.
DS1820_Read_Scratchpad_Command  EQU     0xBE
DS1820_Convert_T_Command        EQU     0x44
;
; Subrutina "DS1820_Inicializa" ----------------------------------------------------------
;
; Inicializa el DS1820 para que comience la conversión de temperatura.
;
DS1820_Inicializa
        call    Bus1Linea_Reset             ; Primero los pulsos de Reset y Presence.
```

```
        movlw   DS1820_Skip_ROM_Command ; Salta los comandos de ROM ya que hay
        call    Bus1Linea_EscribeByte   ; conectado un único dispositivo al bus.
        movlw   DS1820_Convert_T_Command ; Para que comience la conversión de temperatura.
        call    Bus1Linea_EscribeByte
        return

; Subrutina "DS1820_LeeTemperatura" ----------------------------------------------------
;
; El DS1820 lee la temperatura en un formato ejemplarizado como sigue:
;
; +125,0 ºC         00000000 11111010
; + 25,5 ºC         00000000 00110011
; + 25,0 ºC         00000000 00110010
; +  0,5 ºC00000000 00000001
; +  0,0 ºC00000000 00000000
; -  0,5 ºC 11111111 11111111
; - 25,0 ºC11111111 11001110
; - 55,0 ºC11111111 10010010
;
; Se observa que:
;   -   El formato es de dos bytes. El primer byte es el de signo.
;   -   Las temperaturas positivas comienzan con 1 byte todo a cero: "00000000 xxxxxxxx".
;   -   Las temperaturas negativas comienzan con 1 byte todo a uno : "11111111 xxxxxxxx".
;   -   Las temperaturas "xx.0 ºC" terminan en cero: "xxxxxxx0".
;   -   Las temperaturas "xx.5 ºC" terminan en uno : "xxxxxxx1".
;   -   El valor de la temperatura está contenido en los 7 bits de mayor peso del byte bajo.
;       Por ejemplo: +25ºC = xxxxxxxx 0011001x = 25 en decimal. Por tanto, para obtener el
;       valor de la temperatura habrá que desplazar un lugar hacia la derecha los bits del
;       byte bajo.
;   -   Las temperaturas negativas vienen dadas en complemento a 2. Por tanto para obtener
;       su valor absoluto habrá que negarlas.
;
; Esta subrutina lee la temperatura proporcionando tres datos:
;
; Salida:   - En el registro DS1820_Temperatura, el valor de la temperatura en valor absoluto.
;           - En el registro DS1820_TemperaturaDecimal, la parte decimal del valor de la temperatura.
;           - En (DS1820_TemperaturaSigno)=b'11111111' si la temperatura es negativa y
;             (DS1820_TemperaturaSigno)=b'00000000' si es positiva.
;
DS1820_LeeTemperatura
        call    Bus1Linea_Reset             ; Primero los pulsos de "Reset" y "Presence".
        movlw   DS1820_Skip_ROM_Command ; Salta los comandos de ROM ya que hay
        call    Bus1Linea_EscribeByte       ; conectado un único dispositivo al bus.
        movlw   DS1820_Read_Scratchpad_Command ; Va a leer la primera posición de memoria,
        call    Bus1Linea_EscribeByte       ; donde se localiza el valor de la temperatura.
        call    Bus1Linea_LeeByte           ; Lee la temperatura en
        movwf   DS1820_Temperatura          ; complemento a 2.
        call    Bus1Linea_LeeByte           ; Ahora lee el segundo byte que indica el signo
        movwf   DS1820_TemperaturaSigno     ; de la temperatura.
        call    Bus1Linea_Reset             ; Y para terminar, resetea el dispositivo.
;
; Ahora deduce si la temperatura es positiva o negativa y halla su valor absoluto.
;
```



```
        btfss
        goto
DS1820_Temperatu
        movf
        sublw
        movwf
DS1820_FinLeeTe
        bcf
        rrf
        movlw
        btfss
        clrw
        movwf
        movf
        return
```

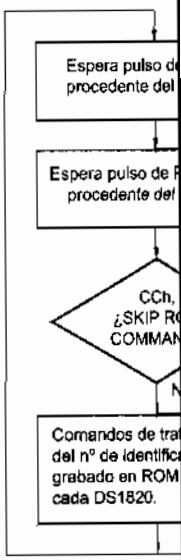


Figura 28-7 Ta

28.11 TERI

Un proye
del DS1820 se v
hay conectado u
eléctrica analiza

El funcio
programa de co
figuras 28-9 a 28

```
        btfss   DS1820_TemperaturaSigno,7 ; Si cualquier bit es "1": temperatura negativa.
        goto    DS1820_FinLeeTemperatura  ; La temperatura es positiva y salta.
DS1820_TemperaturaNegativa
        movf    DS1820_Temperatura,W      ; La niega para convertirla a su valor
        sublw   0x00                      ; absoluto. Para ello, simplemente le resta de
        movwf   DS1820_Temperatura        ; cero.
DS1820_FinLeeTemperatura
        bcf     STATUS,C                  ; Para no corromper luego el MSB.
        rrf     DS1820_Temperatura,F      ; Obtiene el valor absoluto de la temperatura.
        movlw   .5
        btfss   STATUS,C                  ; Si el bit LSB es "1", la temperatura
        clrw                              ; medida es "xx.5ºC" sino "xx.0ºC".
        movwf   DS1820_TemperaturaDecimal
        movf    DS1820_Temperatura,W      ; En (W) la parte entera del valor absoluto de la
        return                            ; temperatura.
```

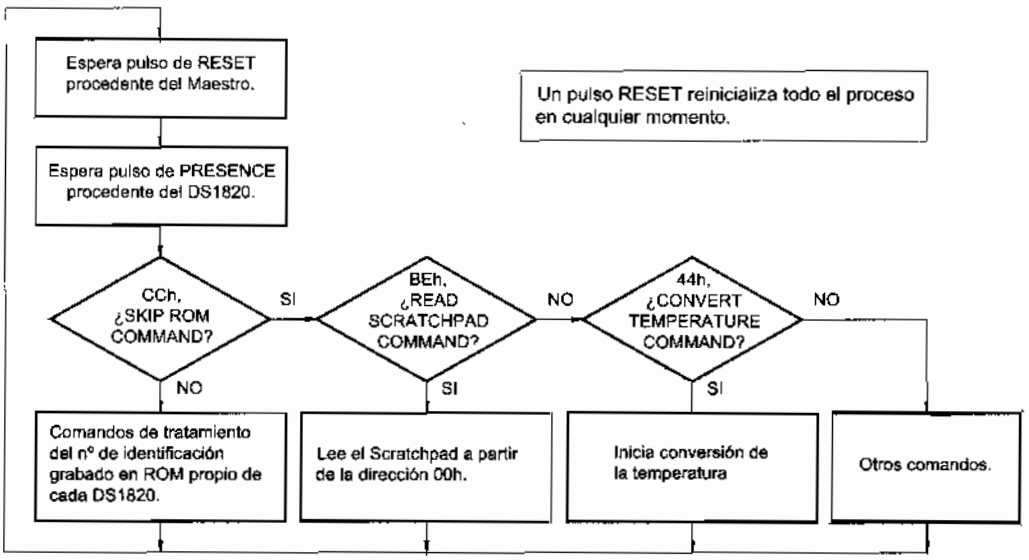


Figura 28-7 Tabla resumida del procedimiento de los comandos de control del DS1820

28.11 TERMOSTATO DIGITAL

Un proyecto clásico es el diseño de un termostato digital. Como aplicación práctica del DS1820 se va a proceder a ello según el esquema de la figura 28-8, donde a su salida hay conectado un módulo de potencia para alimentar una carga con los 230 V de la red eléctrica analizado en el capítulo 2.

El funcionamiento de este termostato digital se detalla en los comentarios del programa de control expuesto a continuación y en los diagramas descriptivos insertados, figuras 28-9 a 28-13.

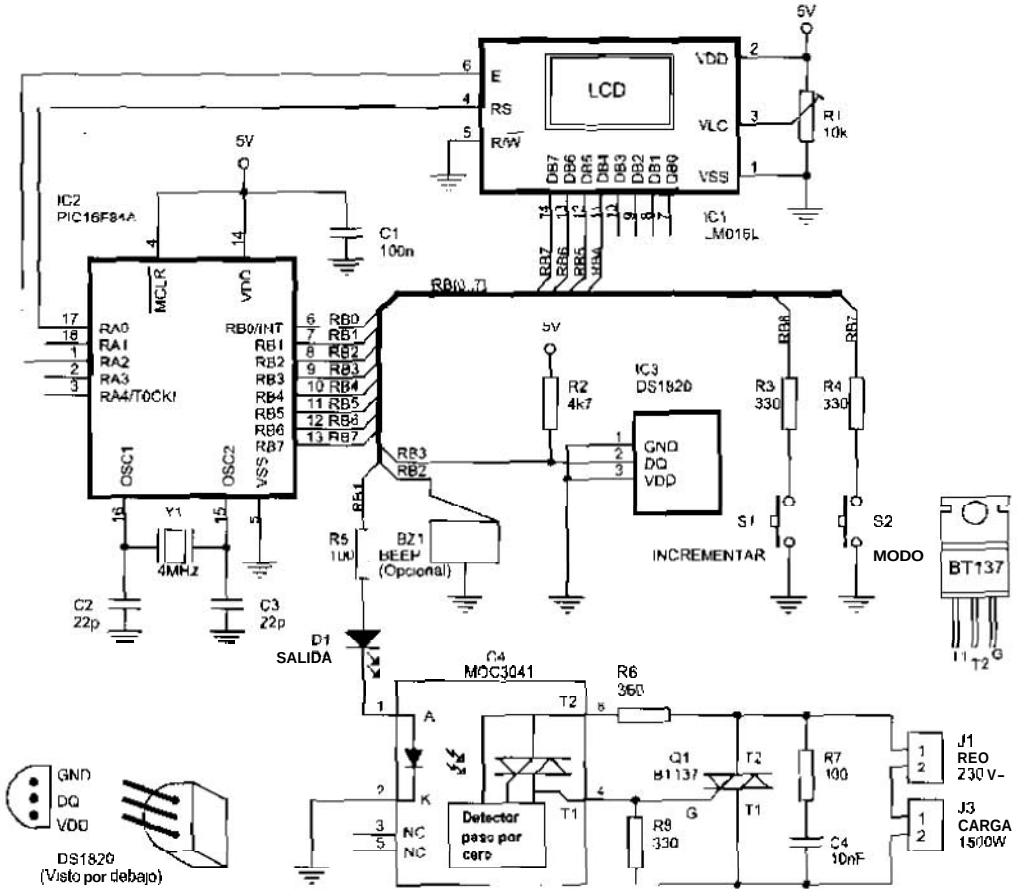


Figura 28-8 Esquema de un termostato digital de precisión

```
;********************************** DS1820 Termostato.asm **********************************

; Programa de control para un termómetro y termostato digital. Utiliza el sensor de temperatura
; DS1820 que transmite la información via serie a través de un bus de una sola línea según un
; protocolo del fabricante de semiconductores Dallas Semiconductors.

; El ajuste de la temperatura a la que conmuta el termostato se logra mediante dos pulsadores:
; "MODO" e "INCREMENTAR", que se conectan a pines del Puerto B y cuyo funcionamiento se basa en
; interrupción por cambio en la línea del Puerto B.

; Se maneja de la siguiente forma:
;  -  En estado de reposo funciona sólo como termómetro. Aparece la temperatura en pantalla
;     del módulo LCD. La salida del termostato está apagada
;  -  Pulsa "MODO" y se ajusta la temperatura deseada mediante el pulsador "INCREMENTAR"
;  -  Vuelve a pulsar "MODO". se activa el termostato. Si la temperatura medida es menor que
;     la deseada enciende la carga, que puede ser un calefactor. Si la temperatura medida es
;     mayor que la deseada, apaga la carga.
;  -  Si se vuelve a pulsar "MODO", apaga la carga y pesa a funcionar sólo como termómetro.
```

```
; Así pues, en el circuito se distinguen tres modos de funcionamiento que se identifican
; mediante tres flags:
; A)    Modo "Termostato_OFF", donde funciona como termómetro normal sin termostato. Se
;       reconoce por el flag F_Termostato_OFF.
; B)    Modo "Termostato_Ajuste", donde se ajusta la temperatura deseada cuando funcione
;       como termostato. Se reconoce por el flag F_Termostato_Ajuste.
; C)    Modo "Termostato_ON", donde funciona como termómetro normal con termostato. Se
;       reconoce por el flag F_Termostato_ON.

; El programa consigue que esté activado uno solo de los flags anteriores.

; Al apagar el sistema debe conservar el valor de la temperatura deseada en el termostato
; para la próxima vez que se encienda.

; ZONA DE DATOS *****************************************************************

        CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST    P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        TemperaturaDeseada
        Registro50ms                    ; Guarda los incrementos cada 50 ms.
        FlagsModos                      ; Guarda los flags para establecer los
        ENDC                            ; modos de trabaja

        ORG     0x2100                  ; Corresponde a la dirección 0 da la zona
                                        ; EEPROM de datos. Aquí se va a guardar el
        DE      .24                     ; la temperatura deseada. En principio 24 "C.

#DEFINE SalidaTermostato        PORTB,1 ; Carga controlada por el termostato.
#DEFINE Zumbador                PORTB,2 ; Aquí se conecta el zumbador.
#DEFINE ModoPulsador            PORTB,7 ; Los pulsadores se conectan a estos
#DEFINE IncrementarPulsador     PORTB,6 ; pines del puerto B.
#DEFINE F_Termostato_ON         FlagsModos,2 ; Flags utilizados en el ajuste de la
#DEFINE F_Termostato_Ajuste     FlagsModos,1 ; temperatura del termostato.
#DEFINE F_Termostato_OFF        FlagsModos,0

TMR0_Carga50ms  EQU     -d'195'         ; Para conseguir interrupción cada 50 ms.
Carga2s         EQU     d'40'           ; Leerá cada 2s = 40 x 50ms = 2000ms.

; ZONA DE CÓDIGOS ***************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    ServicioInterrupcion

Mensajes
        addwf   PCL,F
MensajePublicitario
        DT "IES. ISAAC PERAL", 0x00
```

```
MensajeTermostato_ON
        DT "Termostato: ", 0x00
MensajeTermostato_Ajuste
        DT "Temper. deseada", 0x00
MensajeGradoCentigrado
        DT "ºC  ", 0x00                 ; En pantalla LCD: "ºC "
```

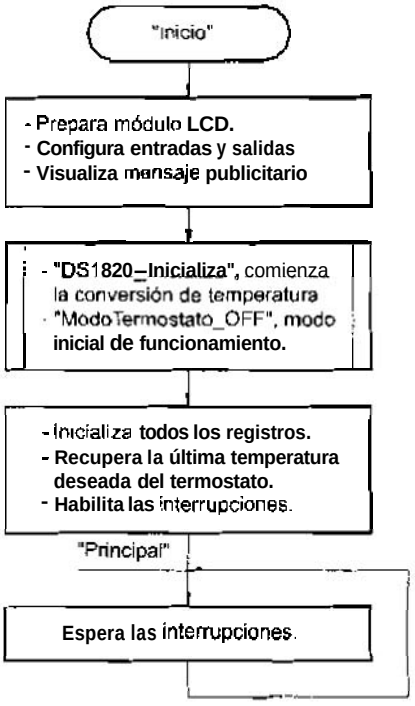


Figura 28-9 Diagrama de flujo principal del termostato digital

```
Inicio  call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0
        movlw   b'00000111'         ; Prescaler de 256 para el TMR0 y habilita
        movwf   OPTION_REG          ; resistencias de Pull-Up del Puerto B.
        bsf     ModoPulsador        ; Se configuran como entrada.
        bsf     IncrementarPulsador
        bcf     SalidaTermostato    ; Se configuran como salida.
        bcf     Zumbador
        bcf     STATUS,RP0
        call    LCD_Linea1          ; Se sitúa al principio de la primera línea.
        movlw   MensajePublicitario
        call    LCD_Mensaje
        call    DS1820_Inicializa   ; Comienza la conversión del termómetro y pone
        call    ModoTermostato_OFF  ; este modo de funcionamiento.
        movlw   TMR0_Carga50ms      ; Carga el TMR0 en complemento a 2.
        movwf   TMR0
        movlw   Carga2s             ; Y el registro cuyo decremento contará los 2 s.
        movwf   Registro50ms
```

```
        clrw                            , Lee la posición 0x00 de memoria EEPROM de datos
        call    EEPROM_LeeDato          ; donde se guarda la temperatura deseada de la última
        movwf   TemperaturaDeseada              ; vez que se ajustó.
        movlw   b'10101000'             ; Activa interrupción del TMR0 (T0IE), por cambio de
        movwf   INTCON                  ; líneas del Puerto B (RBIE) y la general (GIE)

; La sección "Principal" es mantenimiento. Sólo espera las interrupciones.
; No se puede poner en modo de bajo consumo porque la instrucción "sleep" detiene el Timer 0.

Principal
        goto    Principal
```

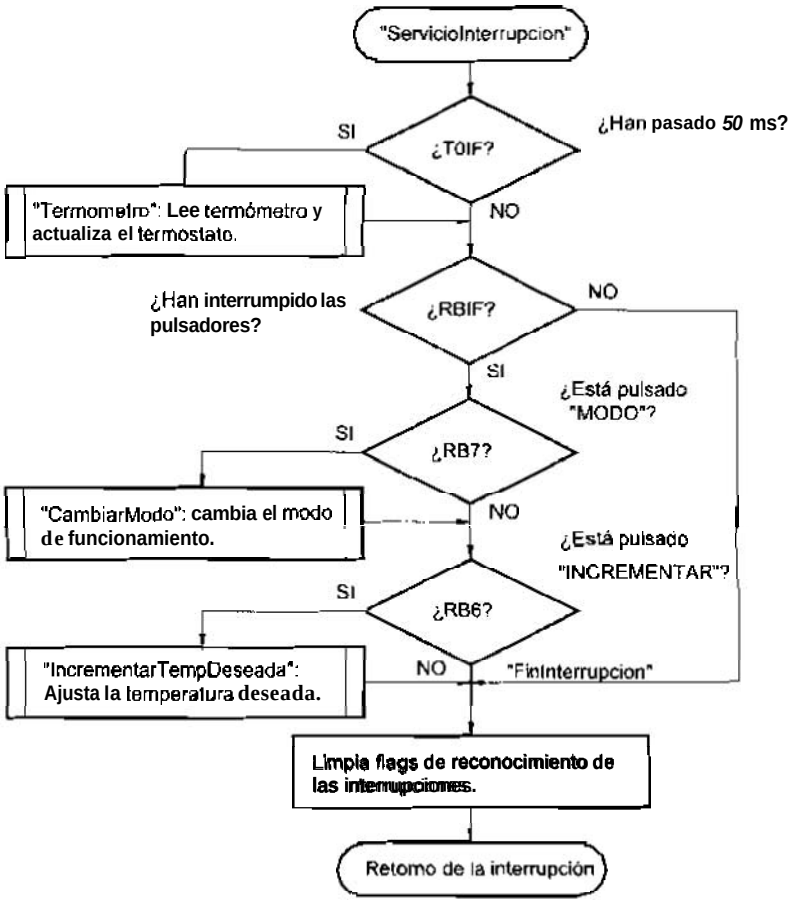


Figura 28-10 Diagrama de flujo de la subrutina de atención a las interrupciones

```
; Subrutina "ServicioInterrupcion" ----------------------------------------
;
; Detecta qué ha producido la interrupción y ejecuta la subrutina de atención correspondiente.

ServicioInterrupcion
```

```
        btfsc   INTCON,T0IF             ; Si es una interrupción producida por el Timer 0
        call    Termometro              ; lee el termómetro y actualiza termostato.
        btfss   INTCON,RBIF             ; Si es una interrupción RB1 lee los pulsadores.
        goto    FinInterrupcion
        btfss   ModoPulsador            ; ¿Está presionado el pulsador de "AJUSTE"?
        call    CambiarModo             ; Sí. Ajusta la temperatura deseada en el termostato.
        btfss   IncrementarPulsador; ¿Pulsado "INCREMENTAR"?
        call    IncrementarTempDeseada  ; Si, pasa a incrementar la temperatura deseada.
FinInterrupcion
        bcf     INTCON,RBIF             ; Limpia los flngs de reconocimiento.
        bcf     INTCON,T0IF
        retfie
```

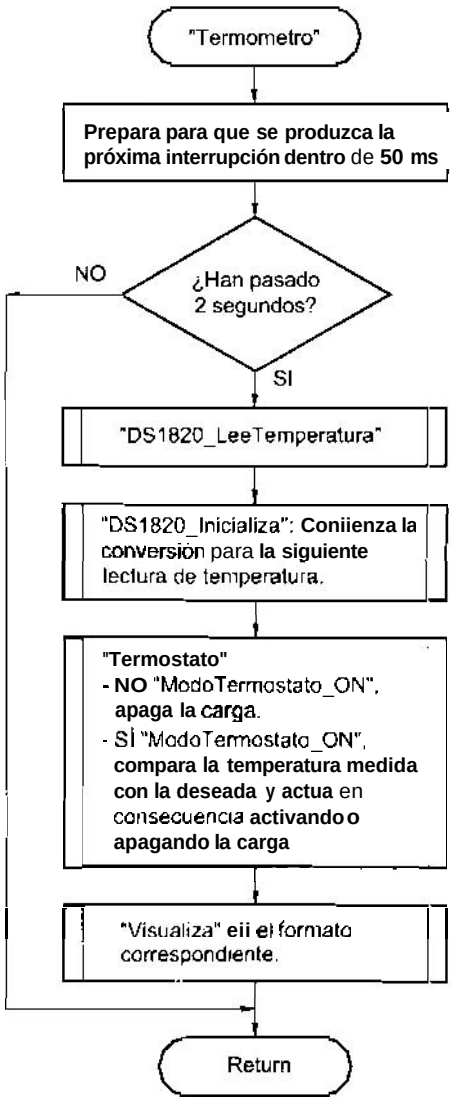


Figura 28-11 ***Diagrama de flujo de*** *la subrutina Termometro*

```
· Subrutina "Termometro" ----------------------------------------------------
;
; Esta subrutina lee y visualiza el termómetro cada 2 segundos aproximadamente. Se ejecuta
; debido a la petición de interrupción del Timer 0, cada 50 ms. Para conseguir una
; temporización de 2 s, habrá que repetir 40 veces el lazo de 50 ms (40x50ms=2000ms=2s).

; También actúa sobre la salida del termostato posicionándola adecuadamente.

Termometro
        movlw   TMR0_Carga50ms
        movwf   TMR0                    ; Recarga el TMRO.
        decfsz  Registro50ms,F          ; Decrementa el contador.
        goto    FinInterrupcion         ; No han pasado 2 segundos, por tanto sale
        movlw   Carga2s                 ; Repone este contador nuevamente.
        movwf   Registro50ms
        call    DS1820_LeeTemperatura   ; Lee la temperatura.
        call    DS1820_Inicializa       ; Comienza conversión para la siguiente lectura.
        call    Termostato              ; Actúa sobre el termostato.
        call    Visualiza               ; Como esta subrutina se escribe a continuación
        return                          ; se ahorra estas dos instrucciones y ahorra
                                        ; también espacio en la pila.
```

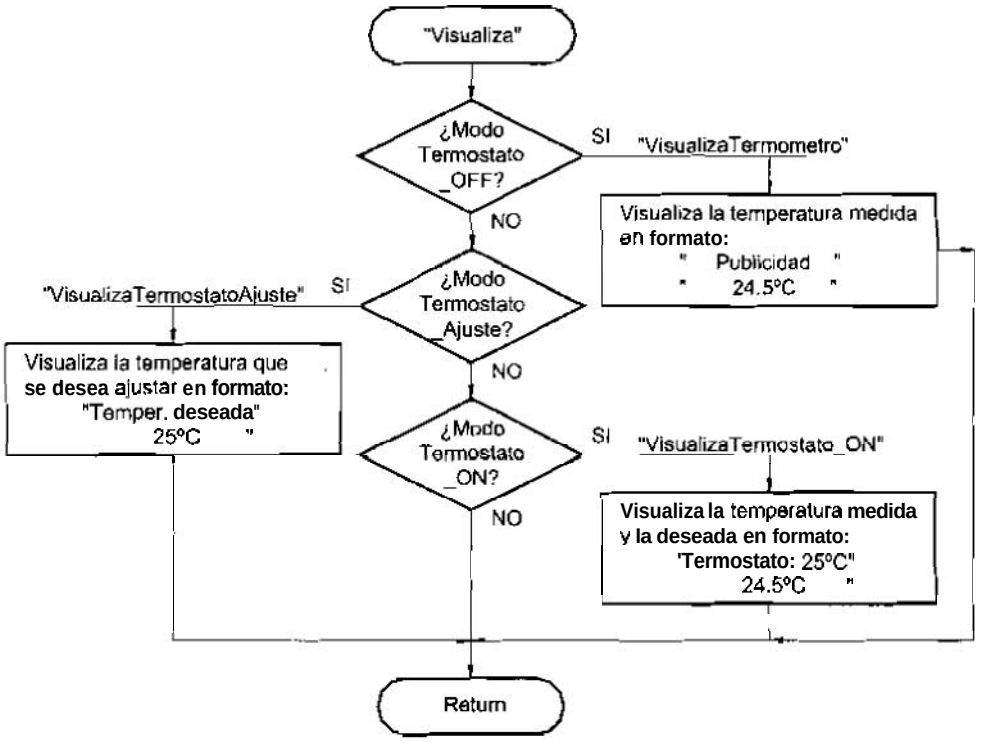


Figura 28-12 Diagrama de flujo de la subrutina Visualiza

```
; Subrutina "Visualiza" ----------------------------------------------------

; Visualiza el termómetro en tres formatos posibles:
; A)    Con el termostato desactivado, modo "Termostato_OFF". Por ejemplo:
                                    "IES. Isaac Peral" (Primera línea)
                                    "     24.5ºC   " (Segunda línea).
            Donde en la primera línea se visualiza un mensaje publicitario y en la
;           segunda línea la temperatura medida actual.
; B)    Ajuste del termostato, modo "Termostato_Ajuste". Por ejemplo:
;                                   "Temper. deseada" (Primera línea)
                                    "      25ºC    " (Segunda línea).
            Donde en la segunda línea visualiza la temperatura que se desea ajustar.
; C)    Con el termostato activado, modo "Termostato_ON". Por ejemplo:
                                    "Termostato: 25ºC" (Primera línea)
                                    "     23.5ºC   " (Segunda línea).
            Donde en la primera línea se visualiza la temperatura que se desea
;           ajustar y en la segunda línea la temperatura medida actual.
Visualiza
        btfsc   F_Termostato_OFF
        goto    VisualizaTermometro
        btfsc   F_Termostato_Ajuste
        goto    VisualizaTermostato_Ajuste
        btfsc   F_Termostato_ON
        goto    VisualizaTermostato_ON
        return

; "VisualizaTermostato_ON" -------------------------------------------------
;
; Visualiza el valor de la temperatura deseada en la primera línea y el valor de la
; temperatura medida en la segunda línea.
;
VisualizaTermostato_ON
        call    LCD_Linea1
        movlw   MensajeTermostato_ON
        call    LCD_Mensaje
        call    VisualizaTemperaturaDeseada
        call    VisualizaTemperaturaMedida
        return

; "VisualizaTermostatoAjuste" y "VisualizaTemperaturaDeseada" --------------
;
; Visualiza en la pantalla el formato propio de este modo.
;
; Entradas:     (TemperaturaDeseada) temperatura ajustada en la subrutina Incrementar.

VisualizaTermostato_Ajuste
        call    LCD_Linea1              ; Se sitúa al principio de la primera línea.
        movlw   MensajeTermostato_Ajuste ; Visualiza mensaje en la primera línea.
        call    LCD_Mensaje
        movlw   .6                      ; Se coloca para centrar visualización en la
        call    LCD_PosicionLinea2      ; segunda línea.
VisualizaTemperaturaDeseada
        movf    TemperaturaDeseada,W
```



```
        call
        call
        movlw
        call
        return

; "VisualizaTermom
;
; En la primera línea
; temperatura medid
;
; Entradas: -
;
;
;
;
VisualizaTermometr
        call
        movlw
        call
VisualizaTemperatur
        movlw
        call
        btfss
        goto
TemperaturaNegativa
        movlw
        call
TemperaturaPositiva
        movf
        call
        call
        movlw
        call
        movf
        call
        movlw
        call
        return

; Subrutina "Termosta
;
; Controla una carga
; deseada. Para evitar
; Así por ejemplo, si
; temperatura baje o s
; Si la temperatura ma
; anterior, tanto si est
;
; Para temperaturas ne
;
; Entradas: -
```

```
        call    BIN_a_BCD               ; La pasa a BCD.
        call    LCD_Byte                ; Visualiza, apagando los ceros no significativos.
        movlw   MensajeGradoCentigrado  ; En pantalla aparece "ºC ".
        call    LCD_Mensaje
        return

; "VisualizaTermometro" y ""VisualizaTemperaturaMedida" ----------
;
; En la primera línea se visualiza un mensaje publicitario y en la segunda línea la
; temperatura medida
;
; Entradas: -       (DS1820_Temperatura), temperatura medida en valor absoluto.
;           -       (DS1820_TemperaturaDecimal), parte decimal de la temperatura medida.
;           -       (DS1820_Signo), registro con el signo de la temperatura. Si es igual a
;                   b'00000000' la temperatura es positiva. Si es b'11111111' resulta que
;                   la temperatura es negativa.
;
VisualizaTermometro
        call    LCD_Linea1              ; Se sitúa al principio de la primera línea.
        movlw   MensajePublicitario
        call    LCD_Mensaje
VisualizaTemperaturaMedida
        movlw   .5                      ; Se coloca para centrar visualización en la
        call    LCD_PosicionLinea2      ; segunda línea.
        btfss   DS1820_TemperaturaSigno,7 ; ¿Temperatura negativa?
        goto    TemperaturaPositiva     ; No, es positiva.
TemperaturaNegativa:
        movlw   '-'                     ; Visualiza el signo "-" de temperatura negativa.
        call    LCD_Caracter
TemperaturaPositiva
        movf    DS1820_Temperatura,W
        call    BIN_a_BCD               ; La pasa a BCD.
        call    LCD_Byte                ; Visualiza apagando los ceros no significativos.
        movlw   '.'                     ; Visualiza el punto decimal.
        call    LCD_Caracter
        movf    DS1820_TemperaturaDecimal,W ; Visualiza la parte decimal.
        call    LCD_Nibble
        movlw   MensajeGradoCentigrado  ; En pantalla LCD aparece "ºC ".
        call    LCD_Mensaje
        return

; Subrutina "Termostato" ----------
;
; Controla una carga en función del valor de la temperatura medida respecto de la temperatura
; deseada. Para evitar inestabilidad en la salida, tendrá un pequeño ciclo de histéresis.
; Así por ejemplo, si la temperatura deseada es 24 ºC, la carga se activará cuando la
; temperatura baje o sea igual a 23,5 ºC y se apagará cuando la supere o sea igual a 25ºC.
; Si la temperatura medida está entre esos márgenes (23,5 y 25ºC), se queda en el estado
; anterior, tanto si está encendida como apagada.
;
; Para temperaturas negativas la salida se debe activar siempre.
;
; Entradas: -       (DS1820_Temperatura), temperatura medida en valor absoluto.
```

```
;           -   (TemperaturaDeseada), temperatura a partir de la cual se tomarán
;               decisiones sobre la salida.
;           -   (DS1820_Signo), registro con el signo de la temperatura medida. Si es cero
;               la temperatura es positiva y todos sus bits son "1", es negativa

;Salida     -   Su funcionamiento:
;                   -   Estando apagada, si la temperatura medida desciende por debajo de la
;                       temperatura deseada la salida se activará.
;                   -   Estando encendida, si la temperatura medida supera la deseada la
;                       salida se apagará.
;                   -   Si las temperaturas medidas y deseada son iguales se queda en estado
;                       anterior, tanto si está encendida w m o si está apagada.
;                   -   Para temperaturas negativas la salida se debe activar siempre.
Termostato
        btfss   F_Termostato_ON         ; Si el termostato no está activado salta a
        goto    ApagaCarga              ; apagar la carga.
        btfsc   DS1820_TemperaturaSigno,7 ; Con temperaturas negativas pasa a activar
        goto    EnciendeCarga           ; la carga.
        btfss   SalidaTermostato        ; Comprueba el estado actual de la salida para
        goto    SalidaEstabaApagada     ; actuar en consecuencia.
SalidaEstabaActivada                    ; Pava a comprobar si tiene que apagar la carga.
        movf    DS1820_Temperatura,W
        subwf   TemperaturaDeseada,W    ; (W)=(TemperaturaDeseada)-(DS1820_Temperatura).
        btfsc   STATUS,C                ; ¿(TemperaturaDeseada)<(DS1820_Temperatura)?
        goto    FinTermostato           ; Si, por tanto, lo deja encendido y sale.
        call    Pitido                  ; Pitido cada vez que conmuta la carga.
ApagaCarga
        bcf     SalidaTermostato        ; Apaga la salida y sale.
        goto    FinTermostato
SalidaEstabaApagada                     ; Pasa a comprobar si tiene que encender la carga
        movf    TemperaturaDeseada,W
        subwf   DS1820_Temperatura,W    ; (W)=(DS1820_Temperatura)-(TemperaturaDeseada).
        btfsc   STATUS,C                ; ¿(DS1820_Temperatura)<(TemperaturaDeseada)?
        gota    FinTermostato           ; Si, la deja apagada y sale.
EnciendeCarga
        call    Pitido                  ; Pitido cada vez que activa la carga.
        bsf     SalidaTermostato
FinTermostato
        Return
 Subrutinas "CambiarModo" y "ModoTermostato_OFF" ----------

; Subrutina dc atención a la interrupción producida por el pulsador "MODO" que cambia el modo
; de funcionamiento. Cada vez que pulsa pasa por los modos "Termostato_Ajuste", "Termostato_ON",
; "Termostato_OFF" y vuelta repetir.

; El ajuste de la temperatura deseada en el termostato se logra mediante dos pulsadores: "MODO"
; e "INCREMENTAR" conectados a pines del Puerto B.

; Al principio aparecerá sólo el termómetro y el termostato estará desactivado: modo
; "Termostato_OFF"

; Para comprender el funcionamiento de esta subrutina, hay que saber que el registro FlagsModos
; contiene 3 flags que permiten diferenciar cada uno de los modos de funcionamiento:
```

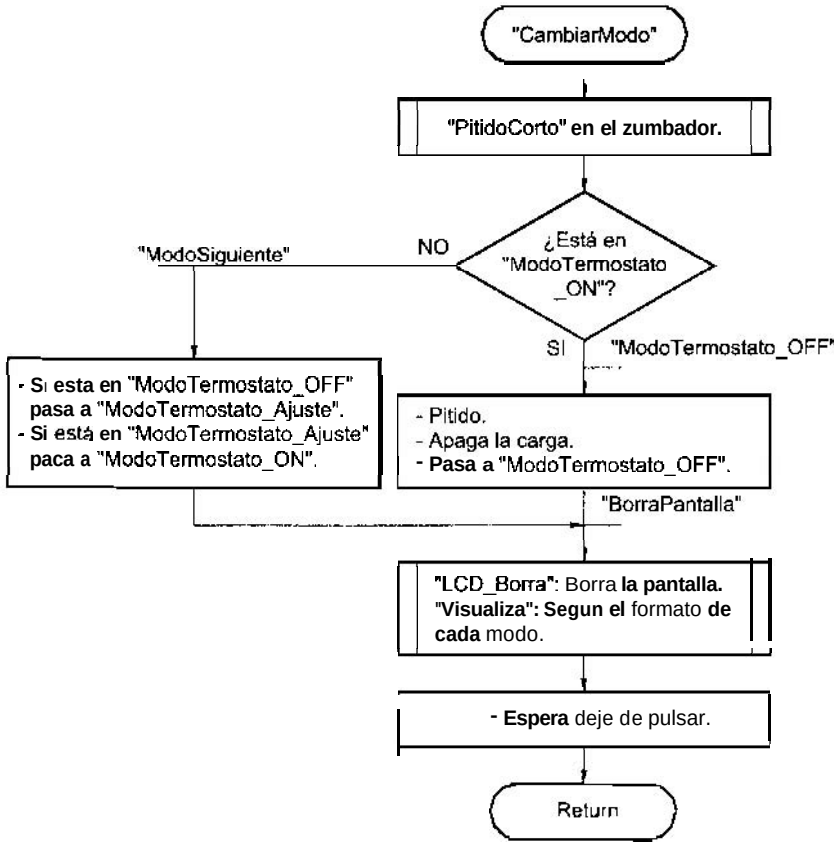


Figura 28-13 Diagrama de flujo de la subrutina CambiarModo

```
; A)    Modo "Termostato_OFF", donde funciona como termómetro normal sin termostato. Se
       reconoce por el flag F_Termostato_OFF, que es el bit 0 del registro FlagsModos.
; B)    Modo "Termostato_Ajuste", donde se ajusta la temperatura descada cuando funcione
       como termostato. Se reconoce por el flag F_Termostato_Ajuste, que es el bit 1 del
       registro FlagsModos.
; C)    Modo "Termostato_ON", donde funciona como termómetro normal y, además, como termostato.
       Se reconoce por el flag F_Termostato_ON, que es el bit 2 del registro FlagsModos.

; Así pues, el contenido del registro (FlagsModos) identifica los siguientes modos de
; funcionamiento:
; - (FlagsModos)=b'00000001'. Está en el modo "Termostato_OFF".
; - (FlagsModos)=b'00000010'. Está en el modo "Termostato_Ajuste".
; - (FlagsModos)=b'00000100'. Está en el modo "Termostato_ON".

; Pueden darse dos casos:
;  -    Que pulse "AJUSTE" estando en el modo más alto, "Termostato–ON",
       (FlagsModos)=b'00000100'. En este caso debe pasar al modo inicial
       "Termostato_OFF" poniendo (FlagsModos)=b'00000001'.
;  -    Que pulse "AJUSTE" estado ya en cualquiera de los otros dos modos, en cuyo caso &be
;       pasar al siguiente modo. Esto lo hace mediante un desplazamiento a izquierdas. Así, por
```

```
;       ejemplo, si antes estaba en modo "Termostato_OFF", (FlagsModos)=b'00000001', pasará a
;       (FlagsModos)=b'00000010' que identifica al modo "Termostato_Ajuste".
;
CambiarModo
        call    Retardo_20ms            ; Espera a que se estabilicen niveles de tensión.
        btfsc   ModoPulsador            ; Si es un rebote, sale fuera.
        goto    FinCambiarModo
        call    PitidoCorto             ; Cada vez que pulsa se oye un pitido.
        btfss   F_Termostato_ON         ; Detecta si está en el último modo.
        goto    ModoSiguiente           ; Si no, pasa al modo siguiente.
ModoTermostato_OFF
        call    Pitido                  ; Pitido cada vez que conmuta la carga.
        bcf     SalidaTermostato        ; Apaga la carga.
        movlw   b'00000001'             ; Actualiza el registro FlagsModos pasando al
        movwf   FlagsModos              ; modo inicial "Termostato_OFF".
        goto    BorraPantalla
ModoSiguiente                           ; Desplaza un "1" a la izquierda del registro
        bcf     STATUS,C                ; FlagsModos para ajustar secuencialmente
        rlf     FlagsModos,F            ; cada uno de los modos de funcionamiento.
BorraPantalla
        call    LCD_Borra               ; Borra la pantalla anterior.
FinCambiarModo
        call    Visualiza
        btfss   ModoPulsador            ; Ahora espera a que deje de pulsar.
        goto    FinCambiarModo
        return

; Subrutina "IncrementarTempDeseada" ----------------------------------------
;
; Subrutina de atención a la interrupción por cambio de la línea RB6 a la cual se ha conectado
; el pulsador "INCREMENTAR". Estando en el modo "Termostato_Ajustar" incrementa el valor de
; la temperatura deseada entre unos valores máximo y mínimo.
;
; Al final debe guardar el valor de la temperatura deseada en memoria EEPROM de datos para
; preservar su valor en caso que desaparezca la alimentación.
;
TemperaturaMinima  EQU  .20
TemperaturaMaxima  EQU  .36

IncrementarTempDeseada
        call    Retardo_20ms            ; Espera a que se estabilicen niveles de tensión.
        btfsc   IncrementarPulsador; Si es un rebote sale fuera.
        goto    FinIncrementar
        btfss   F_Termostato_Ajuste     : Si no está en modo "Termostato_Ajuste" sale
        goto    FinIncrementar          ; fuera.
        call    PitidoCorto             ; Pitido cada vez que pulsa.
        incf    TemperaturaDeseada,F    ; Incrementa el valor de la temperatura deseada.
        movlw   TemperaturaMaxima       ; ¿Ha llegado a la temperatura máxima de ajuste?.
        subwf   TemperaturaDeseada,W    ; (W) = (TemperaturaDeseada) - TemperaturaMaxima.
        btfss   STATUS,C                ; ¿(TemperaturaDeseada)>=TemperaturaMaxima?
        goto    VisualizaIncremento; No, pasa a visualizarlo.
        movlw   TemperaturaMinima       ; Sí, entonces inicializa el registro.
        movwf   TemperaturaDeseada
```



```
VisualizaIncre
        call
        call
        btfs
        goto
        clrw
        mov
        mov
        call
FinIncrementar
        retur

; Subrutina de
;
PitidoLargo
        bsf
        call
Pitido  bsf
        call
PitidoCorto
        bsf
        call
        bcf
        retur
;
        INCL
        INCL
        INCL
        INCL
        INCL
        INCL
        INCL
        END
```

Este
28-6, que res
pulsadores,
estará trabaj
necesidad de

```
VisualizaIncremento
        call    Visualiza               ; Visualiza mientras espera a que deje
        call    Retardo_200ms           ; de pulsar.
        btfss   IncrementarPulsador; Mientras permanezca pulsado,
        goto    IncrementarTempDeseada  ; incrementa el dígito.
        clrw                            ; Salva el valor de la temperatura deseada en la
        movwf   EEADR                   ; posición 00h de la EEPROM de datos. Se conserva
        movf    TemperaturaDeseada,W    ; aunque se apague la alimentación.
        call    EEPROM_EscribeDato
FinIncrementar
        return

; Subrutina de pitidos ----------

PitidoLargo
        bsf     Zumbador
        call    Retardo_500ms
Pitido  bsf     Zumbador
        call    Retardo_200ms
PitidoCorto
        bsf     Zumbador
        call    Retardo_20ms
        bcf     Zumbador
        return

        INCLUDE <BUS_1LIN.INC>          ; Subrutinas de control del bus de 1 línea.
        INCLUDE <DS1820.INC>            ; Subrutinas de control del termómetro digital.
        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        INCLUDE <EEPROM.INC>
        END
```

Este mismo programa puede servir para un termómetro digital como el de la figura 28-6, que resulta ser el mismo esquema del termostato, del cual se han eliminado todos los pulsadores, zumbador e interface con la carga de 230 V. En consecuencia, el programa estará trabajando siempre en el modo "Termostato_OFF" como simple termómetro, sin necesidad de alterar nada del programa del termostato.

Carlos Gonzalo

CAPÍTULO 29

MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

El conocimiento dc los sistemas control de motores dc corriente continua **c.c.** (o **DC**) de pequeña potencin ***es*** fundamental para cualquier aficionado yue quiera realizar proyectos con microcontroladores, **por** lo que le dedicamos **este** capítulo.

El primer problema a considerar es la forma de alimentar el motor. ya que la corriente máxima que puede **proporcionar** cualquier línea de salida **de un** PIC16F84A está **limitada a** 25 mA como máximo. Esta corriente es demasiado pobre para alimentar un motor DC directamente. Por ello, se hace necesario la utilización de transistores que pueden ir configurados en diferentes disposiciones, siendo la más **utilizada** el Puente en H (figura **29-1**).

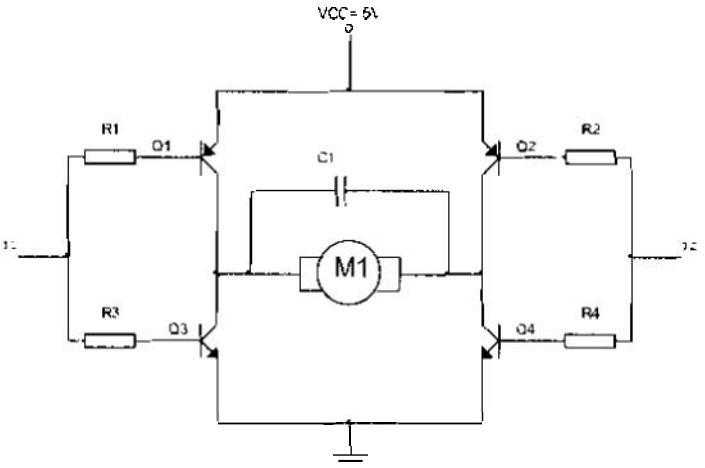


Figura 29-1 Puente ***en H con*** *transistores*

29.1 PUENTE EN H

Es conocido que el sentido de giro de un motor de corriente continua depende de la polaridad que se aplica a sus terminales, en consecuencia para cambiar el giro es necesario intercambiar los terminales del motor o bien cambiar la polaridad de la alimentación.

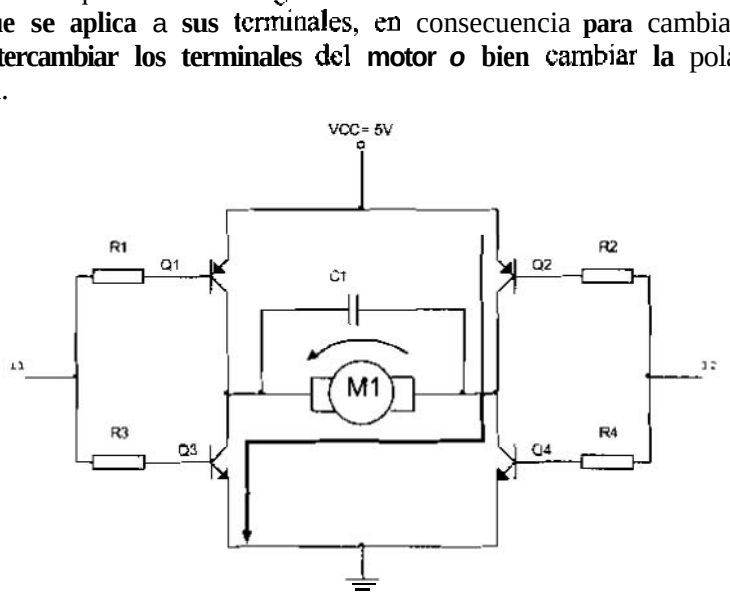


Figura 29-2 Funcionamiento con I1 a nivel alto e I2 a nivel bajo

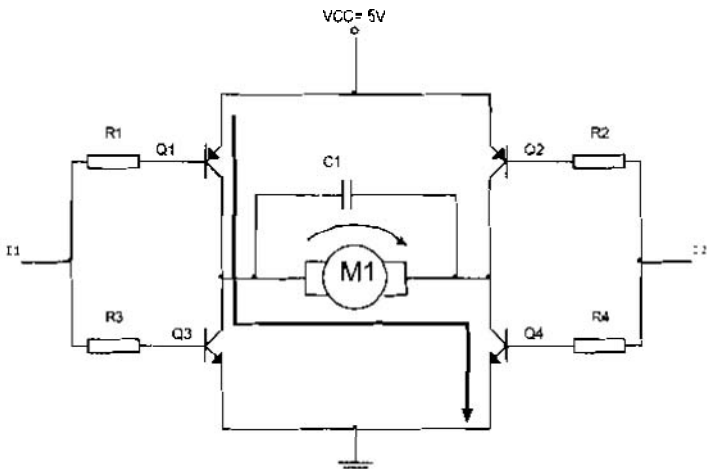


Figura 29-3 Funcionamiento con I1 a nivel alto e I2 a nivel bajo

La forma más sencilla de controlar un motor de corriente continua de baja potencia, en velocidad y sentido de giro, es mediante la conmutación electrónica de unos circuitos realizados básicamente con transistores que reciben el nombre de Puente en H, como se describe en la figura 29-1.

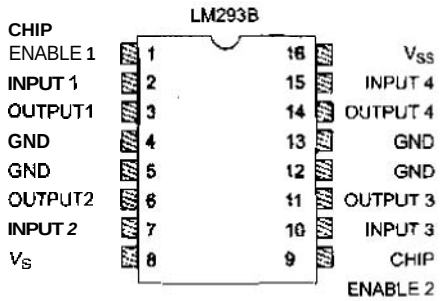
Este circuito está formado por cuatro transistores que trabajan en conmutación y se comportan como interruptores controlados por la señal que les llega a las entradas I1 e I2. Su funcionamiento es el siguiente:

- Cuando se activa la entrada I1 a nivel alto y la entrada I2 a nivel bajo los transistores Q3 y Q2 (NPN y PNP) entran en saturación simultáneamente, mientras que Q1 y Q4 están en corte por ser de signo contrario (PNP y NPN respectivamente). En estas condiciones el motor gira en un sentido, por ejemplo en el contrario a las agujas del reloj (figura 29-2).
- Cuando *se* invierten las señales de entrada, *es* decir I1 a nivel bajo e I2 a nivel alto, los transistores que se saturan son Q1 y Q4, mientras que los que entran en estado de corte son Q2 y Q3. Esto hace que el motor gire en sentido contrario (figura 29-3).

El problema de este tipo de circuitos es la caída de tensión real que hay en los transistores y que habrá que compensarla *con* la tensión de alimentación. Para evitar estos problemas se puede utilizar circuito integrado como el LM293B.

29.2 DRIVER L293B

El L293B es un driver de 4 canales capaz de proporcionar una corriente de salida de hasta 1 A por canal. Cada canal es controlado por señales de entrada compatibles TTL y cada pareja *de* canales dispone de una señal de habilitación que desconecta las salidas de los mismos. La figura 29-4 describe cada una de las patillas de las que dispone el L293B y el encapsulado de 16 pines.



Pin	Nombre	Descripción
1	Chip Enable 1	Habilitación de los canales 1 y 2
2	Input 1	Entrada del canal 1
3	Output 1	Salida del canal 1
4,5	GND	Masa alimentación
6	Output 2	Salida del canal 2
7	Input 2	Entrada del Canal 2
8	V_S	Alimentación de las cargas
9	Chip Enable 2	Habilitación de los canales 3 y 4
10	Input 3	Entrada del canal 3
11	Output 3	Salida del canal 3
12,13	GND	Masa alimentación
14	Output 4	Salida del Canal 4
15	Input 4	Entrada del canal 4
16	V_{SS}	Alimentación del chip

Figura 29-4 Patillaje del Driver L293B

Dispone de **una patilla** para la alimentación **de las cargas** que se están controlando (V_S) **de** manera que dicha **alimentación** es independiente dc la lógica de control.

La figura **29-5** representa **el** diagrama de bloques del L293B. La señal de control **EN1** activa o **desactiva** la pareja ***de*** canales formada **por** los drivers 1 **y** 2. La señal EN2 controla la pareja dc drivers 3 y 4. Las salidas OUTn se asocian con **las** correspondientes INn. La tabla de dicha figura detalla el funcionamiento para cada uno de los drivers.

V_{ENn}	V_{INn}	V_{OUTn}
H	H	H
H	L	L
L	H	Z
L	L	Z

Donde:

H = Nivel alto "1"
L = Nivel bajo " 0
Z = **Alta impedancia**

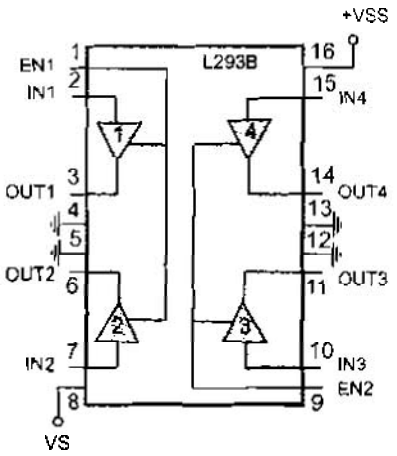


*Figura 29-5 Diagrama **de** bloques del L293B y tabla **de** funcionamiento*

La tabla **29-1** informa sobre los máximos valores admisibles.

Símbolo	Parámetro	Valor
V_S	Tensión de alimentación para las cargas	36 V
V_{SS}	Tensión dc alimentación de la lógica	36 V
V_i	Tensión **de** entrada	7 V
V_{inh}	Tensión de habilitación	7 V
I_{out}	Intensidad de pico dc salida	2 A
P_{tot}	Potencia total de disipación	5 W

Tabla 29-1 Rangos absolutos del driver L293B

También se fabrica el modelo L293D, cuya principal diferencia respecto del L293B **es** que **proporciona** una corriente máxima de **600** mA.

Veamos seguidamente algunas **formas** de conectar los motores de corriente continua a este driver.

29.3 GIRO EN UN ÚNICO SENTIDO

La figura 29-6 muestra el modo de funcionamiento de dos motores de corriente continua que giran en un único sentido, suponiendo que la Vinh = **5** V:

- El motor M1 se pone en marcha al **poner** a nivel bajo la entrada de control **A** y se **detiene** con un nivel alto de entrada.
- El motor M2 **se pone** en marcha al poner a nivel alto la entrada de control **B** y se detiene con un nivel bajo de entrada.

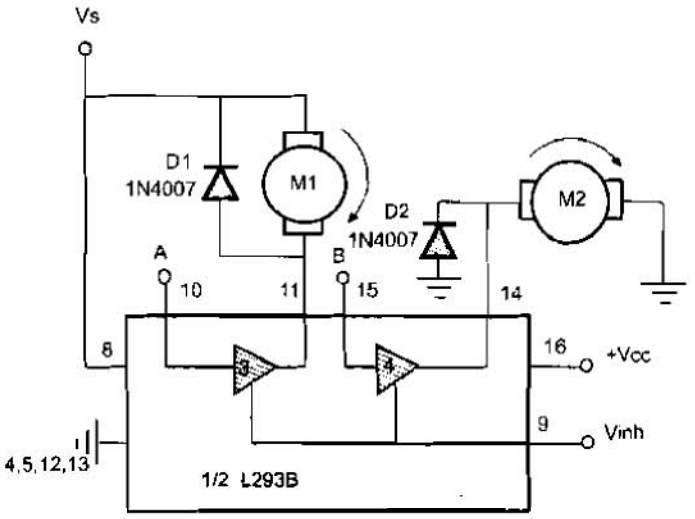


Figura 29-6 *Conexion de dos motores* ***DC. MI*** *activo* ***por "0"*** y *M2 por "1"*

La Tabla 29-2 muestra el modo de funcionamiento del circuito.

V_{inh}	A	Motor M1
H	H	Parada rápida del motor
H	L	Giro
L	X	Motor desconectado, giro libre

V_{inh}	B	Motor M2
H	H	Giro
H	L	Parada Rápida del motor
L	X	Motor desconectado, giro libre

Tabla 29-2 Modo de funcionamiento del circuito de la figura 29-6

Es indispensable conectar los diodos D1 y D2 en **paralelo** con los **devanados** de **los** motores tal como muestra la figura, como protección frente a los picos de fuerza contraelectromotriz **producidos por** la carga inductiva de la **bobina en el** momento **dc** la conmutación.

29.4 GIRO EN LOS DOS SENTIDOS

El circuito de la figura 29-7 permite controlar el doble sentido de giro del motor:

- Cuando la entrada C está a nivel bajo y la D a nivel alto, el motor gira en un sentido.
- Cambiando la entrada C a nivel atto y la D a nivel bajo se cambia el sentido de giro del motor al contrario.

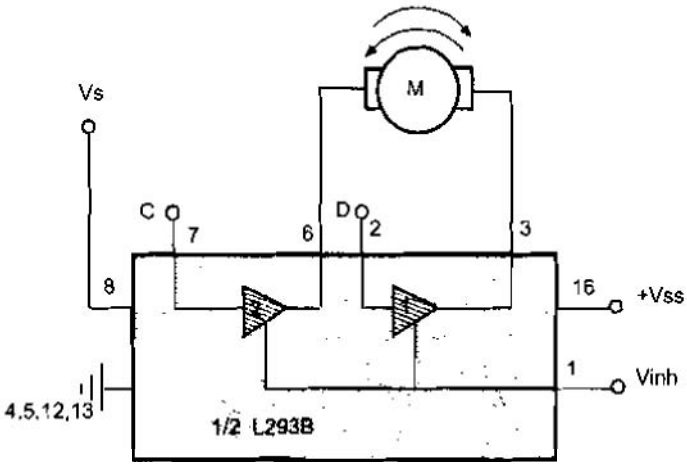


Figura 29-7 Circuito de control para el doble giro de un motor de c.c.

Los diodos de protección se pueden conectar segun se muestra en la figura 29-8.

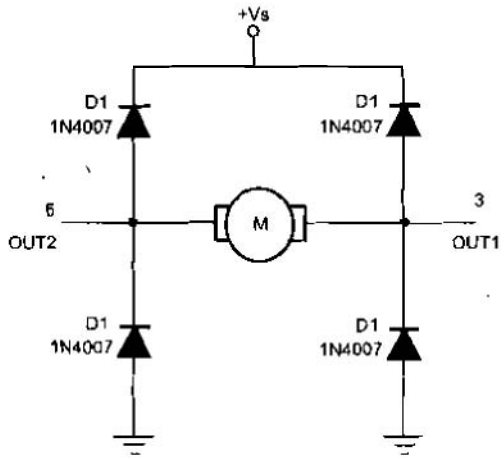


Figura 29-8 Conexión de diodos de protección al circuito de la figura 29-7

La Tabla 29-3 muestra el modo de funcionamiento del circuito.

V_{inh}	C	D	Motor
H	L	L	Parada rápida del motor
H	H	H	Parada rápida del motor
H	L	H	Giro a la izquierda
H	H	L	Giro a la derecha
L	X	X	Motor desconectado, giro libre

Tabla 29-3 Modo de funcionamiento del circuito de la figura 29-7

29.5 CONEXIÓN DE MOTOR C.C. Y PIC16F84

La figura 29-9 muestra una conexión típica de un motor de corriente continua a un microcontrolador PIC16F84A a través de un driver L293 B. La tensión aplicada al pin V_S es la de alimentación del motor, en este ejemplo se utiliza un motor de 12 V.

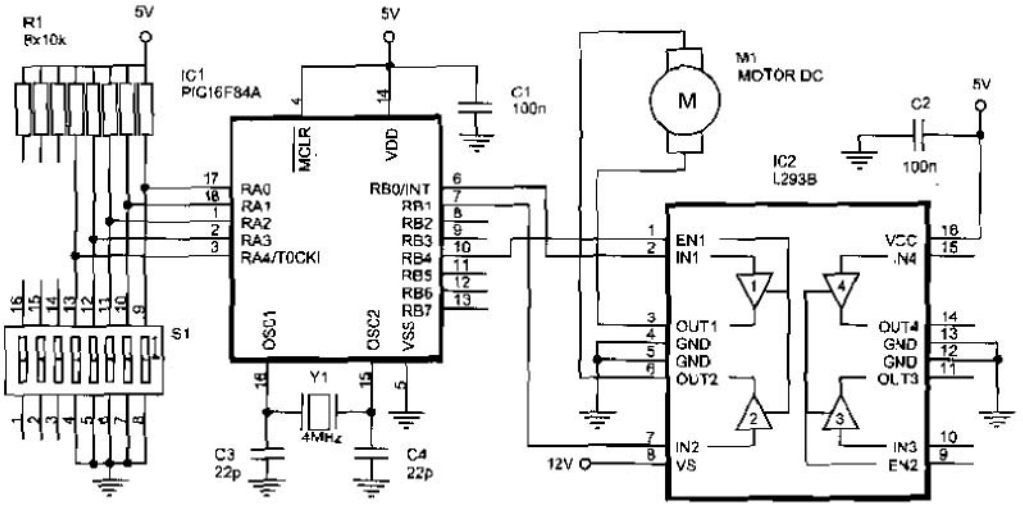


Figura 29-9 Control de motores c.c con el driver L293B y el PIC16F84A

Para comprobar su funcionamiento se puede cargar el programa MotorDC_01.asm, que controla el driver del motor. La línea RA0 controla la puesta en marcha del motor, si RA0 es "0" el motor se pone en marcha y si RA0 es "1" se detiene, La posición del interruptor conectado a RA4 controla el sentido de giro que por supuesto depende de la polaridad de conexión del motor. si se intercambian los terminales del motor los giros serán en sentido contrario. El organigrama de este programa se muestra en la figura 29-10.

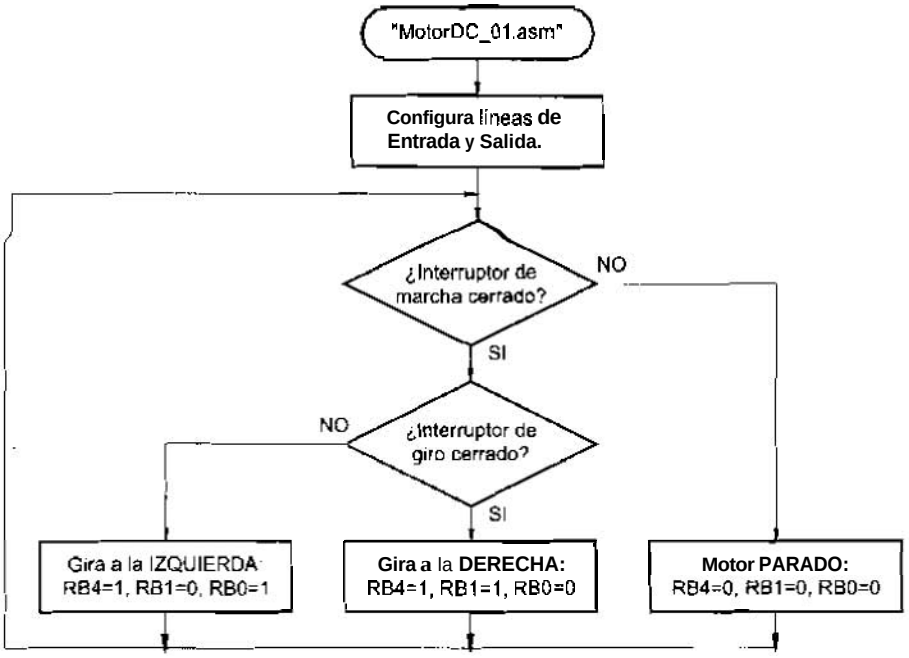


Figura 29-10 Organigrama del programa MotorDC_01.asm

```
;************************************ MotorDC_01.asm ********************************
;
; Programa de control para un motor de corriente continua en funcionamiento y sentido de
; giro. Con RA0=0, el motor se pone en marcha y su sentido de giro dependerá del valor
; que tenga RA4.
;
; ZONA DE DATOS ********************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

#DEFINE EntradaMarcha    PORTA,0        ; Interruptor de puesta en marcha.
#DEFINE EntradaSentido   PORTA,4        ; Interruptor de sentido de giro.

; ZONA DE CÓDIGOS ******************************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0
        bsf     EntradaMarcha           ; Configura las líneas de entrada.
        bsf     EntradaSentido
        clrf    PORTB                   : Las líneas del Puerto B configuradas como salida.
        bcf     STATUS,RP0
Principal
        clrw                            ; Con esta combinación se detiene el motor.
        btfsc   EntradaMarcha           ; Comprueba el estado del interruptor de funcionamiento.
```

```
        goto    ActivaSalida
        movlw   b'00010010'         ; Gira en un sentido.
        btfsc   EntradaSentido      ; Comprueba el sentido de giro deseado.
        movlw   b'00010001'         ; Gira en el otro sentido.
ActivaSalida
        movwf   PORTB
        goto    Principal

        END
```

29.6 CONTROL DE VELOCIDAD

La velocidad de un motor de corriente continua depende del valor medio de la tensión aplicada en sus extremos.

El sistema más utilizado para controlar la velocidad de un motor DC de pequeña potencia es mediante la modulacion por ancho de pulso PWM ***(Pulse Width Modulation)*** de una señal cuadrada TTL, como muestra la figura 29-11. Bajo el control PWM. el motor gira a una velocidad determinada por la media del nivel de la señal cuadrada.

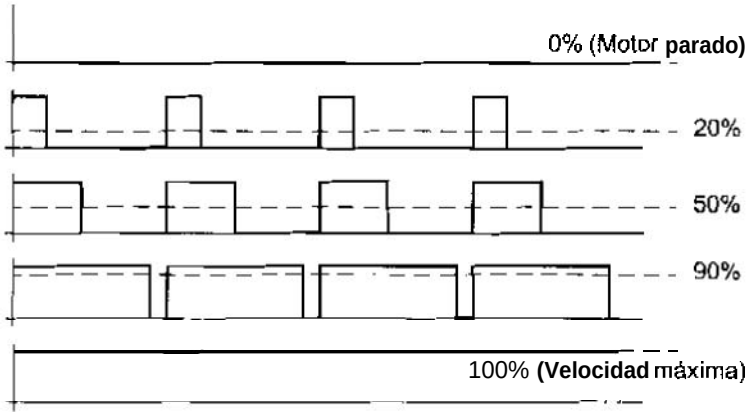


Figura 29-11 Control velocidad de un motor c.c. mediante PWM

La tensión continua media presentada al motor se controla manteniendo la frecuencia constante, y variando el tiempo que la señal permanece en alto, *es* decir. variando el ciclo de trabajo *(duty cycle).* Así, si el ciclo de trabajo es del 50% se suministra al motor una tensión media del 50%, con un ciclo de trabajo del 20% sólo una quinta parte de la tensión máxima es suministrada a la carga. Cambiar de un ciclo de trabajo del 50% a otro del 20% conllevará una disminución de la velocidad del motor.

La regulación PWM proporciona un eficaz método mediante la utilización de una simple señal digital de control. Si se utiliza una señal de estas características para atacar la entrada EN1 del montaje de la figura 29-9 se consigue que el valor medio de la señal de alimentación del motor varíe, de tal manera que cuanto más tiempo esté la línea RB4 a

nivel alto más deprisa girará el motor. Lógicamente **si la duración** del impulso a **nivel bajo es** muy grande **el motor** *se* parará.

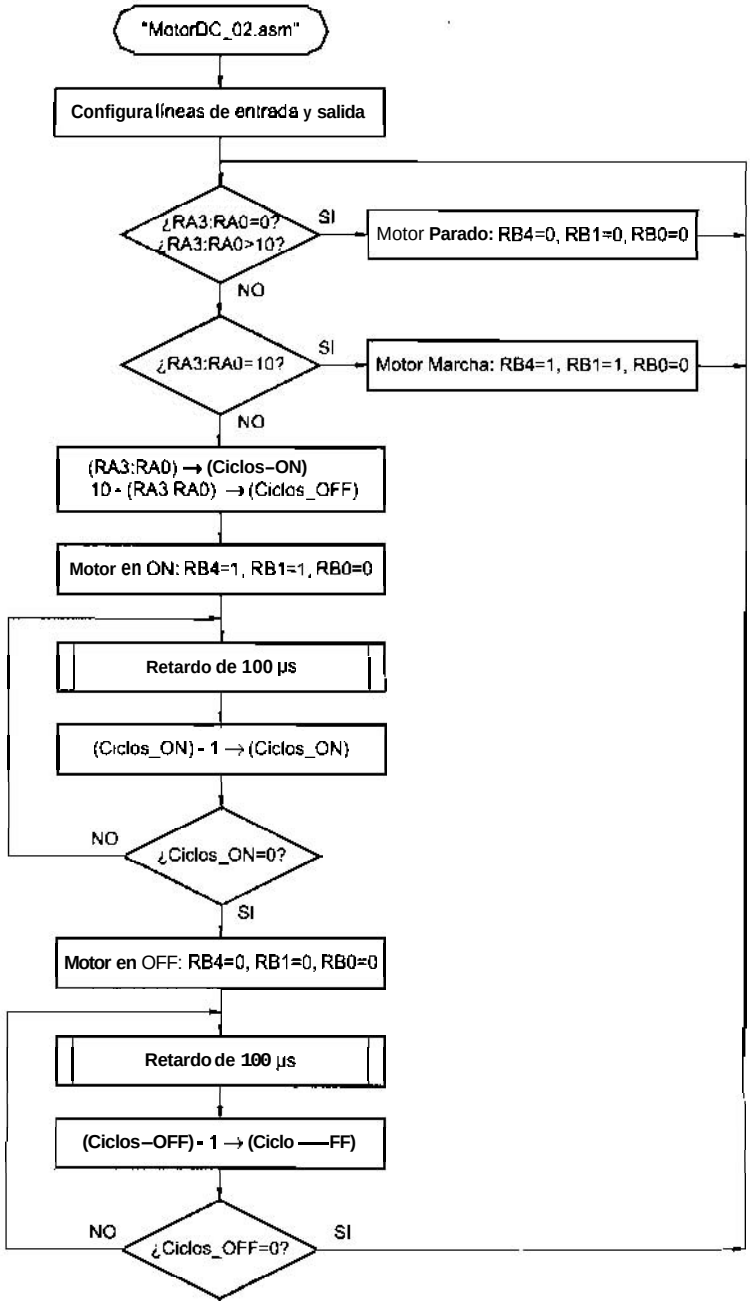


Figura 29-12 ***Organigrama del*** *programa MotorDC_02.asm*

El programa MotorDC_02.asm es un ejemplo de gobierno de la velocidad de un motor de c.c. mediante control PWM. Su funcionamiento se explica en los comentarios y en su diagrama de flujo de la figura 29-12.

```
;************************************ MotorDC 02.asm ************************************
;
; Programa de regulación de velocidad de un motor de corriente continua mediante la modulación
; de anchura de pulso (PWM). Por la línea de salida se genera una onda cuadrada de frecuencia
; constante a 100 Hz (periodo de 10 ms) y ciclo de trabajo variable desde 0% a 100%, dependiendo
; del valor de la entrada del Puerto A. Es decir, el tiempo en alto varia entre 0 ms (0%) y 10
; ms (100%) de acuerdo con la siguiente tabla:
                                        (Ciclos_ON)          (Ciclos_OFF)
        Entrada        DC (%)           SEMIPERIODO ALTO     SEMIPERIODO BAJO
;       --------       ------           ----------------------  ----------------------
;        0              0 %             0 ms = 0 x 1 ms        10 ms = 10 x 1 ms
;        1             10 %             1 ms = 1 x 1 ms         9 ms = 9 x 1 ms
;        2             20 %             2 ms = 2 x 1 ms         8 ms = 8 x 1 ms
;        ...            ....                ...                    ...

;        9             90 %             9 ms = 9 x 1 ms         1 ms = 1 x 1 ms
;       10            100 %            10 ms = 10 x 1 ms        0 ms = 0 x 1 ms
;       >10             0 %
;
; ZONA DE DATOS ***********************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE  <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        Ciclos_ON
        Ciclos_OFF
        GuardaEntrada
        ENDC

MaximaEntrada    EQU    .10

; ZONA DE CÓDIGOS *********************************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0
        movlw   b'00001111'          ; RA3:RA0 como entradas.
        movwf   TRISA
        clrf    TRISB                ; Las líneas del Puerto B se configuran como salidas.
        bcf     STATUS,RP0
Principal
        movf    PORTA,W              ; Lee el puerto de entrada.
        andlw   b'00001111'
        movwf   GuardaEntrada        ; Guarda el valor.
        btfsc   STATUS,Z             ; Si RA3:RA0=0 el motor se detiene.
        goto    DC_CeroPorCiento
        sublw   MaximaEntrada        ; (W)=10-(PORTA)
```

```
        btfsc   STATUS,Z
        goto    DC_100PorCiento
        btfss   STATUS,C                ; ¿C=1?, ¿(W) positivo?, ¿(PORTA)<=10?
        goto    DC_CeroPorCiento        ; Ha resultado (PORTA>10)
        movwf   Ciclos-OFF              ; 10-(PORTA)-->(Ciclos_OFF).
        movf    GuardaEntrada,W
        movwf   Ciclos-ON               ; Carga RA3:RA0 en (Ciclos_ON).
Motor_ON
        movlw   b'00010010'             ; Habilita los drivers y un sentido de giro.
        movwf   PORTB
        call    Retardo_1ms
        decfsz  Ciclos_ON,F             ; Si (Ciclos_ON)=0 salta a Motor-OFF.
        goto    Motor_ON+2
Motor_OFF
        clrf    PORTB                   ; Inhabilita los drivers. Motor parado.
        call    Retardo_1ms
        decfsz  Ciclos_OFF,F            ; Si (Ciclos_OFF)=0 salta a Principal.
        goto    Motor_OFF+1
        goto    Fin
DC_CeroPorCiento
        clrf    PORTB                   ; Inhabilita los drivers. Motor parado.
        goto    Fin
DC_100PorCiento
        movlw   b'00010010'             ; Habilita los drivers y un sentido de giro.
        movwf   PORTB
Fin     goto    Principal

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

La generación de la onda cuadrada **PWM** también *se* puede **realizar mediante interrupciones por desbordamiento del** Timer 0, **tal como se** explicó **cn un ejercicio** del **capitulo** 18. **El** siguiente **programa es un ejetnplo de ello.**

```
;********************************** MotorDC_03.asm **********************************

; Programa de control de velocidad de un motor de corriente continua mediante la modulación
; de anchura de pulso (PWM) similar al MotorDC_02.asm donde el control de tiempos se realiza
; mediante interrupciones por desbordamiento del Timer 0.

; El sentido de giro del motor se decide en función del valor de la linea RA4.

; El control de las líneas de salida se realizará mediante direccionamiento por bit con
; las instrucciones "bsf" y "bcf".

; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        CicloTrabajo                    ; Ciclo de trabajo deseado.
```



```
        GuardaEn
        Timer0_C
        ENDC

TMR0_Carga

MaximaEntrada

#DEFINE SalidaSe
#DEFINE SalidaSe
#DEFINE SalidaM
#DEFINE EntradaS

; ZONA DE CÓDIC

        ORG
        goto
        ORG
        goto

Inicio
        bsf
        bcf
        bcf
        bcf
        movlw
        movwf
        movlw
        movwf
        bcf
        bcf
Principal
        btfsc
        goto
        bsf
        bcf
        goto
OtroSentido
        bcf
        bsf
TesteaVelocidad
        movf
        andlw
        movwf
        btfsc
        goto
        sublw
        btfsc
        goto
        btfss
        goto
        movf
        movwf
        movlw
```

```
        GuardaEntrada
        Timer0_ContadorA                ; Contador auxiliar.
        ENDC

TMR0_Carga      EQU     -d'245'         ; Valor obtenido experimentalmente con la ventana
                                        ; Stopwatch para un tiempo de 1 ms.
MaximaEntrada   EQU     .10

#DEFINE SalidaSentido0  PORTB,0         ; Salidas que determinan el sentido de giro.
#DEFINE SalidaSentido1  PORTB,1
#DEFINE SalidaMarcha    PORTB,4         ; Salida de puesta en marcha o paro del motor.
#DEFINE EntradaSentido  PORTA,4         ; Interruptor de sentido de giro.

; ZONA DE CÓDIGOS ***********************************************************************

        ORG     0
        goto    inicio
        ORG     .4
        goto    Timer0_Interrupcion

Inicio
        bsf     STATUS,RP0
        bcf     SalidaMarcha            ; Estas líneas se configuran como salida.
        bcf     SalidaSentido0
        bcf     SalidaSentido1
        movlw   b'00011111'             ; Puerto A configurado como entrada.
        movwf   PORTA
        movlw   b'00000001'             , TMR0 con prescaler de 4.
        movwf   OPTION_REG
        bcf     STATUS,RP0
        bcf     SalidaMarcha            ; Al principio el motor parado.
Principal
        btfsc   EntradaSentido          ; Comprueba el sentido de giro deseado.
        goto    OtroSentido
        bsf     SalidaSentido0          ; Gira en un sentido.
        bcf     SalidaSentido1
        goto    TesteaVelocidad
OtroSentido
        bcf     SalidaSentido0          ; Gira en el sentido opuesto.
        bsf     SalidaSentido1
TesteaVelocidad
        movf    PORTA,W                 ; Lee el puerto de entrada
        andlw   b'00001111'
        movwf   GuardaEntrada           ; Guarda el valor.
        btfsc   STATUS,Z
        goto    DC_CeroPorCiento
        sublw   MaximaEntrada           ; (W)=10-(PORTA)
        btfsc   STATUS,Z
        goto    DC_100PorCiento
        btfss   STATUS,C                ; ¿C=1?, ¿(W) positivo?, ¿(PORTA)<=10?
        goto    DC_CeroPorCiento        ; Ha resultado PORTA>10.
        movf    GuardaEntrada,W
        movwf   CicloTrabajo
        movlw   b'10100000'
```

```
        movwf   INTCON                  ; Autoriza interrupción T0I y la general (GIE).
        goto    Fin
DC_CeroPorCiento
        bcf     SalidaMarcha            : Pone la salida siempre en bajo.
        goto    InhabilitaInterrupcion
DC_100PorCiento
        bsf     SalidaMarcha            ; Pone la salida siempre en alto.
InhabilitaInterrupcion
        clrf    INTCON                  ; Inhabilita interrupciones.
Fin     goto    Principal

Subrutina "Timer0-Interrupcion" ----------

; Mantiene la salida en alto un tiempo igual a 1 ms x (CicloTrabajo)
; y en bajo un tiempo igual a 1 ms x (10-CicloTrabajo).

        CBLOCK
        Guarda_W
        Guarda_STATUS
        ENDC

Timer0_Interrupcion
        movwf   Guarda_W                ; Guarda los valores de tenian W y STATUS en el
        swapf   STATUS,W                ; programa principal.
        movwf   Guarda-STATUS
        bcf     STATUS,RP0              ; Garantiza que trabaja en el Banco 0.
        movlw   TMR0_Carga
        movwf   TMR0
        decfsz  Timer0_ContadorA,F      ; Decrementa el contador.
        goto    Fin_Timer0_Interrupcion
        btfsc   SalidaMarcha            ; Testea el anterior estado de la salida.
        goto    EstabaAlto
EstabaBajo
        bsf     SalidaMarcha            : Estaba bajo y lo pasa a alto.
        movf    CicloTrabajo,W          ; Repone el contador nuevamente con el tiempo en
        movwf   Timer0_ContadorA        ; alto.
        goto    Fin_Timer0_Interrupcion
EstabaAlto
        bcf     SalidaMarcha            ; Estaba alto y lo pasa a bajo.
        movf    CicloTrabajo,W          ; Repone el contador nuevamente con el tiempo
        sublw   .10                     ; en bajo.
        movwf   Timer0_ContadorA
Fin_Timer0_Interrupcion
        swapf   Guarda_STATUS,W         ; Restaura registros W y STATUS.
        movwf   STATUS
        swapf   Guarda_W,F
        swapf   Guarda_W,W
        bcf     INTCON,RBIF
        bcf     INTCON,T0IF
        retfie

        END
```

No es ra
conseguir un m
de un proyecto.

30.1 MOT

Los mot
dispositivos con
papel de una ir
disqueteras de
observa que en
por el eje del m

Los mot
comente contin
hacerlo continu
microcontrolado
dentro de una
control de pos
revoluciones po
y carga mecáni
por métodos ser

Un moto
devanados. El
Cada pulso pro

© RA-MA

CAPÍTULO 30

MOTORES PASO A PASO

No es raro qiie un aficionado a la electrónica desguace una vieja impresora para conseguir un motor paso a paso y poder realizar alguna tarea de posicionamiento dentro de un proyecto. En este capitulo se explica cómo trabajar con estos utiles motores.

30.1 MOTORES PASO A PASO (PAP)

Los **motores paso a paso o** PAP *(Stepper Motor)* son muy utilizados en los dispositivos controlados por sistemas digitales. Por ejemplo los mecanismos que arrastran papel de una impresora, los que mueven el brazo de un robot o los que hacen girar las disqueteras de un ordenador dependen de motores PAP para su funcionamiento. Se observa que en estas situaciones se requiere un control preciso de la trayectoria a seguir por el eje del motor

Los motores PAP proporcionan una considerable ventaja sobre los motores de corriente continua o DC. El eje de un motor PAP gira a intervalos regulares en lugar de hacerlo continuamente, como ocurre con los motores de continua. Bajo el control de un microcontrolador, los motores PAP pueden ser usados para posicionamientos precisos dentro de una amplia gama de aplicaciones, incluyendo robótica, automatización y control de posicionamiento. La velocidad de un motor de DC viene expresada en revoluciones por minuto (rpm) y es función de la tensión aplicada, corriente por el motor y carga mecánica del mismo. Un posicionamiento preciso de un motor DC no es posible por mhodos sencillos.

Un motor PAP gira en función de una secuencia de pulsos aplicados a sus devanados. El eje del motor gira un determinado ángulo por cada impulso de entrada. Cada pulso provoca la rotación del rotor del motor en un incremento de ángulo preciso,

denominado **paso, de** ahi **el nombre** de motor "paso a paso". El resultado de este movimiento, fijo y repetible, es un **posicionamiento** preciso y fiable. Los **incrementos** de pasos de la rotación del rotor se traducen en **un** alto grado de control de posicionamiento.

Los incrementos de rotación o pasos se miden **en** grados y es el parámetro fundamental de **un motor** PAP. También **se** puede expresar en números **de pasos** por revolucion de 360 grados. Un motor paso a paso puede girar **un** número exacto de grados en ambos sentidos.

Los motores PAP se comercializan dentro dc una gran variedad dc grados de rotación por paso, desde 0,72° a 22.5". correspondientes **a** 500 y **16 pasos por revolución,** respectivamente (efectivamente, 360°/0,72° = 500 **y** 360°/22,5° = 16). El **motor PAP** más comercializado *es* **el de** 7,5° **por** paso o **48 pasos por** revolución.

El **principal** problema que presentan los motores PAP es su limitada potencia. **Sin** embargo, este **problema** está **siendo** resuelto por los **iiuevos** diseños, con los que se **ha** logrado potencias superiores a 1 CV.

En este capitulo se va a explicar **como** realizar el control de motores PAP mediante un microcontrolador PIC16F84, pero antes hay **que** examinar sus principios de **funcionamiento.**

30.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Aún basados en el mismo fenómeno que el principio dc funcionamiento de los **motores** de corriente continua, los motores paso a paso son **mis** sencillos, si cabe, que cualquier otro tipo dc motor eléctrico.

La figura **30-1 ilustra el** modo dc funcionamiento de un motor PAP. Suponemos que las bobinas L1 como L2 poseen un núcleo de hierro dulce capaz de imantarse cuando dichas bobinas scan recorridas por una corriente eléctrica, esto es **el** denominado **estator**. Por otra parte, el imán M puede girar libremente sobre el eje dc sujeción central, este es cl **rotor.**

Inicialmente, sin aplicar ninguna corriente a las bobinas (que también reciben el nombre de fases) y **con** el imán **M cn** una posición cualquiera, el imán permanecerá en reposo si no se somete a una fuerza externa.

Si se hace circular corriente por ambas **fases,** como **se** muestra en la figura 30-1(a), se crearán dos **polos** magnéticos NORTE **en la parte interna,** bajo **cuya** influencia el imán M se desplazará hasta **la** posiciún indicada en dicha figura.

Si invertimos la polaridad de la corriente que circula por la bobina L1 se obtendrá la situación magnética indicada **en la** figura 30-1(b) y **el** imán **M** se **vera desplazado** hasta

la nueva posición de equilibrio. Es decir, ha girado 90 grados en sentido contrario a las agujas del reloj.

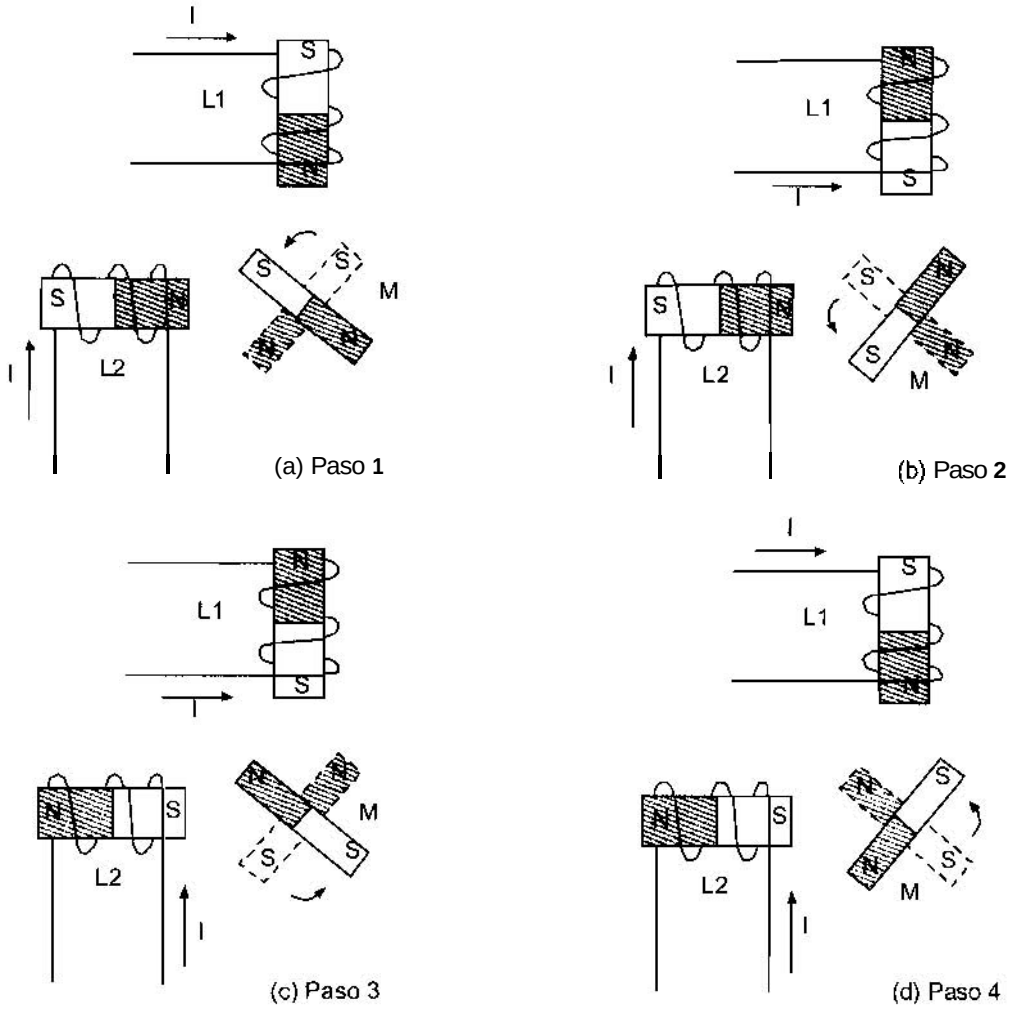


Figura 30-1 Principio de funcionamiento de un motor paso a paso

Invirtiendo ahora la polaridad de la corriente que atraviesa la bobina L2, se llega a la situación de la figura 30-1 (c) habiendo girado el imán M otros 90 grados. Si invertimos de nuevo el sentido de la corriente en la bobina L1 el imán M girara otros 90 grados y se habrá obtenido una revolución completa de dicho imán en cuatro pasos de 90 grados.

Si se mantiene la secuencia de excitación expuesta para L1 y L2 y dichas corrientes son aplicadas en forma de pulsos, el rotor avanzará pasos de 90 grados por cada pulso aplicado.

Analizando lo expuesto podemos decir que un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte impulsos eléctricos en un movimiento rotacional constante y finito dependiendo de las características propias del motor.

El modelo de motor paso a paso que hemos analizado recibe el nombre de bipolar ya que para obtener la secuencia completa, se requiere disponer de corrientes de dos polaridades, presentando tal circunstancia un inconveniente importante a la hora de diseñar el circuito que controle el motor.

30.3 MOTORES PAP BIPOLARES

En este tipo de motores las bobinas del estator se conectan formando dos grupos, tal y como se muestra en la figura 30-2.

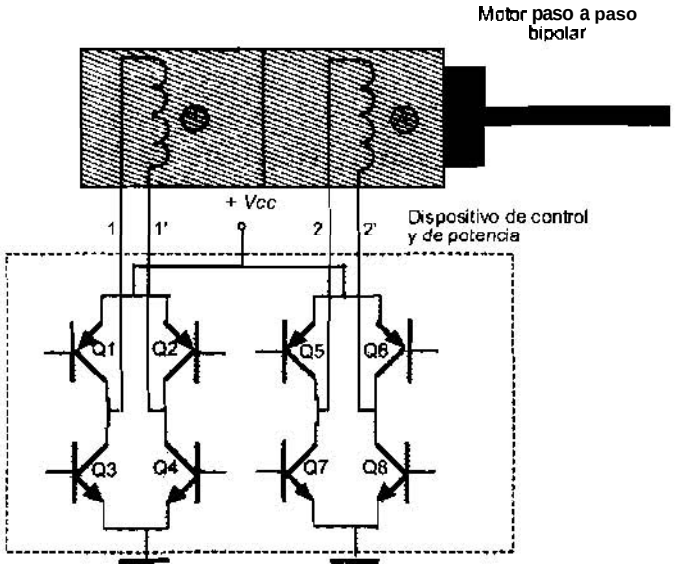


Figura 30-2 Circuito de Control de un motor bipolar

De este motor salen cuatro hilos conectados al circuito de control, que realiza la función de cuatro interruptores electrónicos dobles que permiten variar la polaridad de la alimentación de las bobinas. Con la activacion y desactivación adecuada de dichos interruptores dobles, se puede obtener las secuencias correctas para que el motor gire en un sentido o en otro. Estos transistores configurados como puente en H pueden ser sustituidos par el driver L293B tal como se estudió en el capitulo anterior, la conexión de un motor PAP bipolar y el driver L293B se muestra en la figura 30-13. En la figura 30-3, puede analizarse como debe ser la secuencia de excitación para que el motor gire en un sentido.

Tiene dos modos de funcionamiento: *Full Step* y *Half Step*.

30.3.1 Motor PAP bipolar en modo Full Step

En *el* modo ***Full Step*** **el** rotor **del motor** PAP **avanza un paso par cada** pulso **de excitación.**

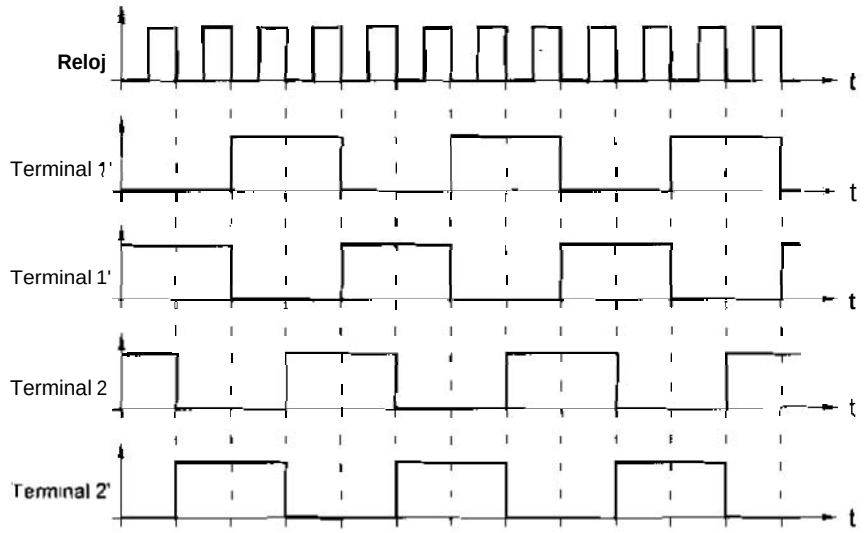


Figura 30-3 Secuencia de la **señal de** *excitación* ***del*** *motor PAP bipolar*

La tabla 30-1 **muestra las** secuencia para generar los movimientos en **sentido** horario CW *(Clockwise)* y antihorasio CCW *(Counterclockwise)* **de un motor bipolar. Los** términos "horario" **y** "antihorario" **se** deben relativizar **ya que** dependen **del punto de** mira del observador y de la posición del motor, por tanto, solo **se** deben **tomar como** una **forma** de indicar **que gira en un** sentido *o* **en el** contrario.

Paso	Q2Q3	Q1Q4	Q6Q7	Q5Q8		L1	L1'	L2	L2'
1	ON	OFF	OFF	ON	FULL STEP ↓ CW ↑ CCW	-	+	+	-
2	ON	OFF	ON	OFF		-	+	-	+
3	OFF	ON	ON	OFF		+	-	-	+
4	OFF	ON	OFF	ON		+	-	+	-

Tabla **30-1** *Secuencia de control* **de** *un* ***motor PAP bipolar para modo Full*** **Step**

30.3.2 Motor PAP bipolar en modo Half Step

En el **modo** de **medio paso** ***(Half Step)*** el rotor avanza medio paso **por cada pulso** de excitación. Presenta como principal ventaja una mayor resolución de paso, ya que

disminuye el avance angular (la mitad que en el modo de paso completo). Para conseguir tal cometido, el modo de excitación consiste en hacerlo alternativamente sobre dos bobinas y sobre una sola de ellas, según se muestra en la tabla 30-2 para ambos sentidos de giro.

Según la figura 30-1 al excitar dos bobina consecutivas del estator simultáneamente, el rotor se alinea con la bisectriz de ambos campos magnéticos. Cuando desaparece la excitación de una de ellas, extinguiéndose el campo magnético inducido por dicha bobina, el rotor queda bajo la acción del único Campo existente, dando lugar a un desplazamiento mitad.

Paso	Q1Q3	Q1Q4	Q6Q7	Q5Q8	
1	ON	OFF	OFF	ON	
2	ON	OFF	OFF	OFF	
3	ON	OFF	ON	OFF	HALF STEP
4	OFF	OFF	ON	OFF	↓ ↑
5	OFF	ON	ON	OFF	CW CCW
6	OFF	ON	OFF	OFF	
7	OFF	ON	OFF	ON	
8	OFF	OFF	OFF	ON	

Tabla 30-2 Secuencia de control de un motor PAP bipolar para modo Half Step

30.4 MOTORES PAP UNIPOLARES

Una forma de paliar el inconveniente que supone la necesidad de dos polaridades de la corriente para generar la secuencia del motor, si este dispone de una toma media entre las bobinas, es realizar el montaje que se representa en la figura 30-4. Se obtiene un motor PAP unipolar de cuatro fases (o bobinas), donde la corriente circula por las bobinas en un único sentido.

En los motores PAP unipolares, todas las bobinas del estator están conectadas formando cuatro grupos. Estos, a su vez, se conectan dos a dos y se montan sobre dos estatores diferentes, tal como se aprecia en la figura 30-4. Del motor paso a paso salen dos grupos de tres cables, uno de los cuales es común a dos bobinados. Los seis terminales que parten del motor se conectan al circuito de control, el cual, se comporia corno cuatro conmutadores electrónicos que al ser activados o desactivados producen la alimentación de los cuatro grupos de bobinas. Generando una secuencia adecuada de funcionamiento de los transistores que trabajan como interruptores, se pueden producir saltos de un paso en el número y sentido deseado.

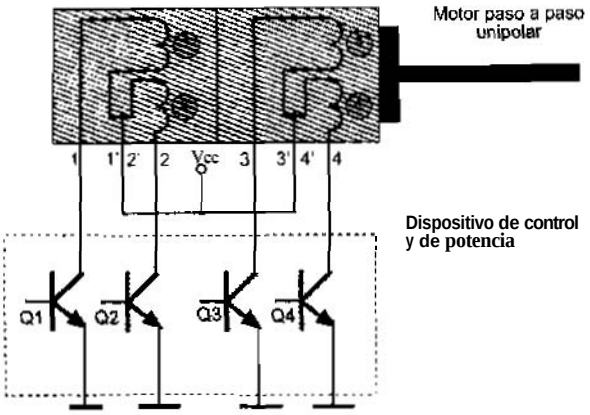


Figura 30-4 Control de motor PAP unipolar

En este caso la tabla de la secuencia que debe introducirse en las bobinas para el control del sentido de giro es la mostrada en la tabla 30-3 para modo *Full Step* y en la tabla 3-4 para modo *Half Step*.

Paso	Q1	Q2	Q3	Q4	
1	ON	OFF	OFF	ON	FULL STEP
2	ON	OFF	ON	OFF	↓ ↑
3	OFF	ON	ON	OFF	CW CCW
4	OFF	ON	OFF	ON	

Tabla 30-3 Secuencia de control de un motor PAP Unipolar para modo Full Step

Paso	Q1	Q2	Q3	Q4	
1	ON	OFF	OFF	ON	HALF STEP
2	ON	OFF	OFF	OFF	↓ ↑
3	ON	OFF	ON	OFF	CW CCW
4	OFF	OFF	ON	OFF	
5	OFF	ON	ON	OFF	
6	OFF	ON	OFF	OFF	
7	OFF	ON	OFF	ON	
8	OFF	OFF	OFF	ON	

Tabla 30-4 Secuencia de control de un motor PAP Unipolar para modo Half Step

Su principio de funcionamiento se representa gráficamente en la figura 30-5. Si inicialmente se aplica la corriente a las bobinas L1 y L3 cerrando los interruptores S1 y

S3, se generarán dos polos NORTE que atraerán al polo SUR del imán M hasta encontrar la posición de equilibrio entre ambos como puede verse en la figura 30-5(a). Si se abre posteriormente el interruptor S1 y se cierra S2, por la nueva distribución de polos magnéticos, M evoluciona hasta la situación representada en la figura 30-5(b)

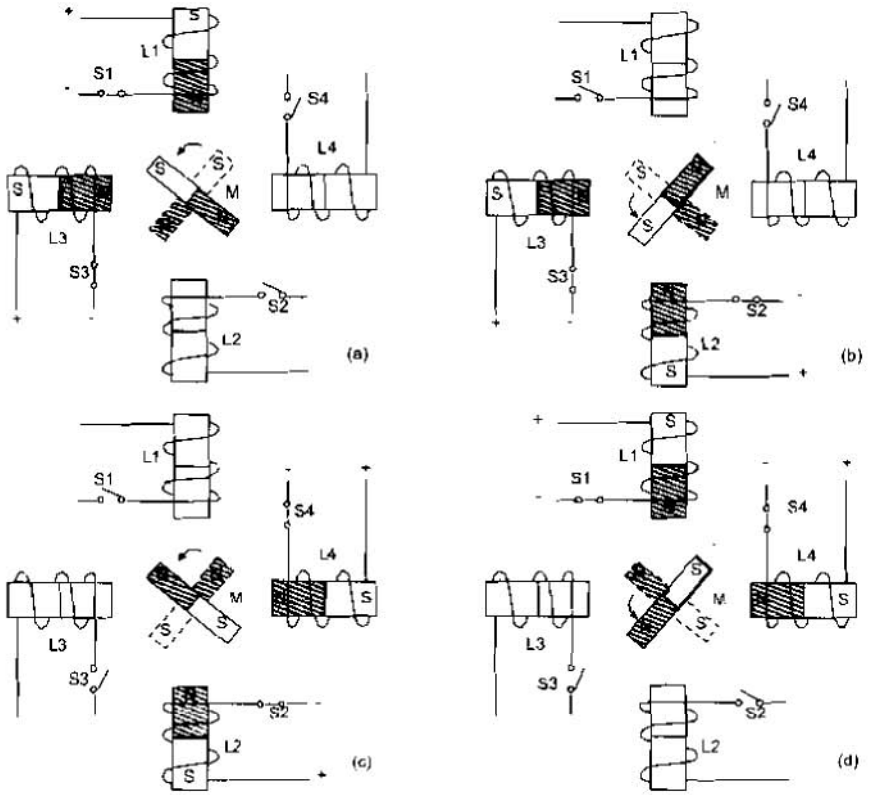


Figura 30-5 Principio básico de un motor unipolar de cuatro fases

Siguiendo la secuencia representada en la figuras 30-5(c) y 30-5(d) de la misma forma se obtienen avances del rotor de 90 grados habiendo conseguido, como en el motor bipolar de dos fases, hacer que el rotor avance pasos de *90* grados por la acción de los impulsos eléctricos de excitación de cada una de las bobinas. El movimiento obtenido ha sido en sentido contrario al de las agujas del reloj. Ahora bien, si las secuencias de excitación se generan en orden inverso, el rotor girará en sentido contrario. Podemos deducir que el sentido de giro en los motores paso a paso es reversible en función de la secuencia de excitación y, por tanto, se puede hacer avanzar o retroceder al motor un número determinado de pasos según las necesidades.

La función de los interruptores será ejecutada por los transistores NPN de la figura 304 que se incluyen dentro del driver L293B estudiado en el capitulo anterior, la conexión de un motor PAP unipolar y el driver L293B se muestra en la figura 30-14.

30.5 CONSTITUCIÓN INTERNA DE UN MOTOR PAP

El modelo de motor paso a paso estudiado, salvo por su valor didáctico, no ofrece mayor atractivo desde el punto de vista práctico debido a la amplitud da sus avances angulares.

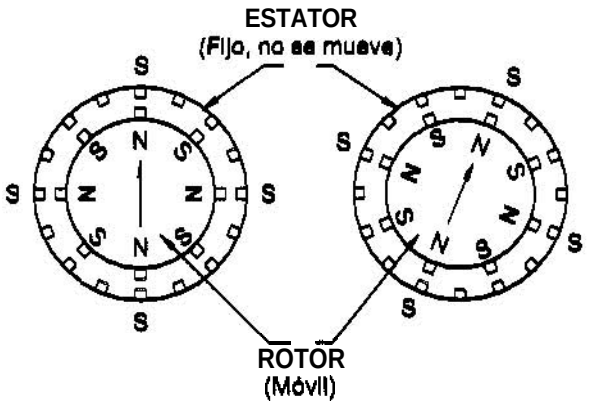


Figura 30-6 Aumento de resolución en un motor PAP

Una forma de conseguir motores PAP de paso más reducido consiste en aumentar el número de bobinas del estator, pero ello llevaría a un aumento del coste y del volumen y a pérdidas muy considerables en el rendimiento del motor, por lo que no es viable. Hasta ahora para conseguir la solución más idónea se recurre a la mecanización de los núcleos de las bobinas y el rotor en forma de hendiduras o dientes, creándose así micropolos magnéticos, tantos como dientes y estableciendo las situaciones de equilibrio magnéticos con avances angulares mucho menores. Be esta forma es posible conseguir motores de hasta de 500 pasos e incluso más. En la figura 30-6 se muestra de forma resumida esta disposición para un motor PAP do 22,5º.

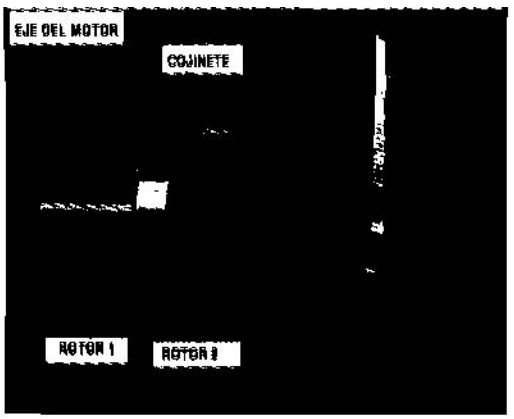


Figura 30-7 Rotor de un motor paso a paso

En las fotografías de las figuras 30-7 y 30-8 pueden apreciarse un estator y un rotor de un motor bipolar de 48 pasos desguazado.

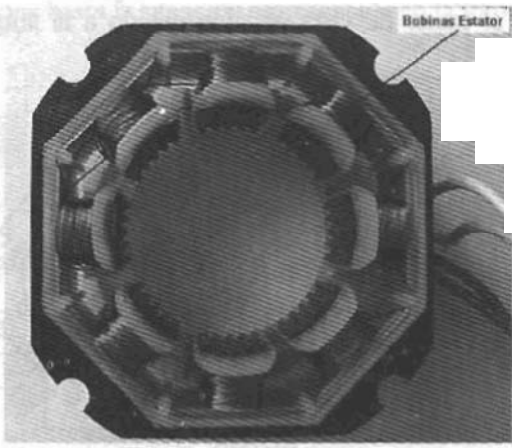


Figura 30-8 Estator del motor paso a paso

30.6 DISPOSICIÓN DE LAS BOBINAS

La existencia de varios bobinados en el estator de los motores paso a paso da lugar a varias formas de agrupar dichos bobinados para que sean alimentados adecuadamente. (figura 30-9)

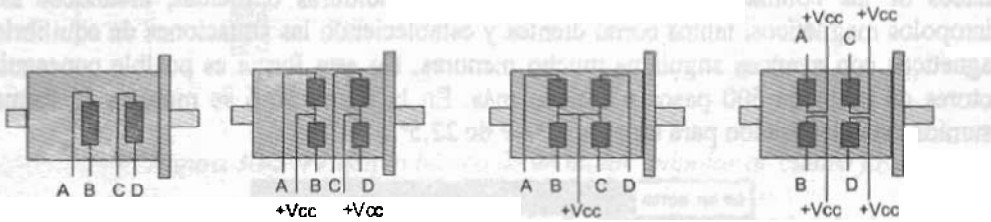


Figura 30-9 Disposición de las bobinas de motores paso a paso

En el caso de los motores paso a paso unipolares se pueden encontrar con cinco, seis u ocho terminales ya que además de los bobinados hay otros terminales que corresponden con las tomas intermedias de las bobinas, los cuales se conectan directamente a positivo de la fuente dc alimentación para su correcto funcionamiento. Las figuras 30-9(b), 30-9(c) y 30-9(d) describen como están conectados internamente los terminales de estos tipos de motores.

Hay que tener en cuenta que los motores PAP unipolares de seis u ocho hilos, pueden hacerse funcionar como motores paso a paso bipolares si no se utilizan las tomas

centrales, mientras que las de cinco hilas no podrán usarse jamás como bipolares porque en el interior están conectados los dos cables centrales.

30.7 PARÁMETRO DE LOS MOTORES PAP

Desde el punto de vista mecánico y eléctrico es conveniente conocer el significado de algunas de las principales características y parámetros que definen un motor PAP:

- **Par dinámico de trabajo** *(Working Torque)*. Depende de sus características dinámicas y es el momento máximo que el motor es capaz de desarrollar sin perder paso, es decir, sin dejar de responder a algún impulso de excitación del estator y dependiendo de la carga. Hay que tener en cuenta que cuando la velocidad de giro del motor aumenta, se produce un aumento de la f.c.e.m. en él generada y, por tanto, una disminucion de la corriente absorbida por los bobinados del estator. Como consecuencia de todo ello, disminuye el par motor.
- **Ángulo de paso** *(Step Angle)*. Se define como el avance angular producido en el motor por cada impulso de excitación. Se mide en grados, siendo el número de pasos estándar más empleados los mostrados en la tabla 30-5.

Grados por impulso de excitación	N° de pasos por vuelta
0,72°	500
1,80°	200
3,75°	96
7,50°	48
15,00°	24

Tabla 30-5 Angulos de paso mas comunes en los motores PAP

- **Par de mantenimiento** ***(Holding*** *Torque)*. Es el par requerido para desviar, en régimen de excitación, un paso el rotor cuando la posición anterior es estable. Es mayor que el par dinámico y actúa como freno para mantener el rotor en una posición estable dada.
- **Número de pasos por vuelta.** Es la cantidad de pasos que ha de efectuar el rotor para realizar una revolución completa. Evidentemente su ecuación es:

$$NP = \frac{360}{\alpha}$$

donde NP es el número de pasos y α el ángulo de paso.

- **Frecuencia de paso máximo** *(Maximum pull-in/out)*. Se define como el máximo número de pasos por segundo que puede ejecutar el motor funcionando adecuadamente.

30.8 CONTROL DE LOS MOTORES PASO A PASO

Para realizar el control de los motores paso a paso es necesario, como hemos visto, generar una secuencia determinada de impulsos. Además, estos impulsos deben ser capaces de entregar la corriente necesaria para que las bobinas del motor se exciten. La figura 30-10 muestra el diagrama de bloques general de un sistema de control para un motor PAP.

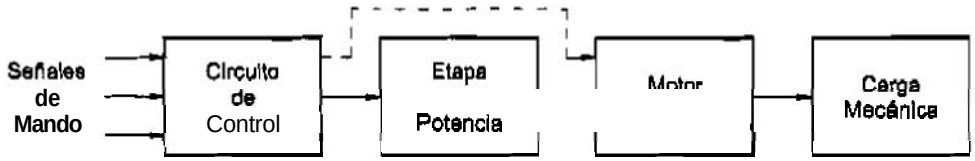


Figura 30-10 **Diagrama de bloques de un sistema de control para motor paso a paso**

Vamos a centrarnos en el control de los motores paso a paso utilizando el microcontrolador PIC16F84A. Como el microcontrolador no es capaz de generar la corriente suficiente para excitar las bobinas del motor PAP utilizaremos los drivers contenidos en el integrado L293B (figuras 30-13 y 30-14)

EJEMPLO: El circuito de control que gobierna un motor PAP de 7,5° por paso, produce el avance de 11 pasos del motor a una frecuencia de 200 Hz, ¿cuántos grados gira? si se desprecia la inercia y los rozamientos mecánicos, ¿cuánto tiempo tarda en realizar dicho movimiento?.

Solución: Como el motor gira 7,5° por pulso, al terminar de aplicar los 11 pulsos, el eje del motor habrá girado: 7,5 x 11 = 82,5°. El periodo de la señal es de 5 ms, por tanto, el motor tardará 55 ms en realizar este movimiento.

30.9 IDENTIFICACIÓN DE UN MOTOR PAP

Para la realización de los ejercicios que vamos a plantear, se van a utilizar dos motores paso a paso, uno bipolar y otro unipolar, recuperados de máquinas de desguace, como discos duros, impresoras o similar.

La primera dificultad es la identificación de las bobinas internas con los terminales del motor. Es conveniente tener en cuenta el número de hilos que dispone el motor PAP, para intentar identificar su estructura interna con alguno de las modelos descritos en la figura 30-9.

Generalmente se deduce por el color de los cables pero, en caso de duda, es conveniente medir le resistencia de la bobina con un ohmetro. Así, por ejemplo, para un motor bipolar que tiene cuatro hilos debe utilizarse un polímetro en posición de medida

de resistencias para detectar las dos bobi independientes. Para ello, hay que buscar dos hilos que midan iin valor cualquiera que no sea infinito, generalmente unas pocas decenas de ohmios. Estos dos hilos pertenecen a los terminales de una de las bobinas y los otras dos a la pareja opuesta.

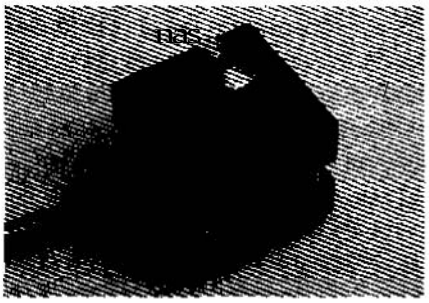


Figura 30-11 Motor puso a paso de 4 hilos

En este caso no es importante conocer el devanado que corresponde con la bobina A-B (1-1') o a la C-D (2-2'), ni identificar sus terminales, porque una vez conectados los cables al circuito de control si el motor gira en sentido horario y queremos que gire en sentido antihorario, sólo tendremos que cambiar las conexiones de la bobina A-B por los de la bobina **C-D.**

Para los motores de 6 hilos si queremos identificarlos con los del motor dc la figura 30-4, procederemos de la siguiente manera:



Figura 30-12 Fofo de un motor paso a paso de 6 hilos

Se mide con el ohmetro para buscar los tres hilos que entre si midan un valor cualquiera distinto de infinito. Estos tres hilos pertenecerán a uno de los juegos de bobinas y los otros tres pertenecerán al otro juego de bobinas. Para averiguar el terminal central se mide la resistencia entre dos cables, obteniendo para nuestro caso concreto la medida de 150 Ω, midiendo los otros dos resulta *300* Ω, por lo tanto, el que tiene el valor mitad corresponde con la toma central de la bobina, numerados en la figura 304 con 1'-2' y 3'-4'.

de resistencias para detectar las dos bobinas independientes. Para ello, hay que buscar **dos hilos que midan un valor** cualquiera que no sea infinito, generalmente unas pocas decenas de ohmios. Estos dos hitos pertenecen a **los terminales de una de las** bobinas **y los otros dos a la** pareja **opuesta.**

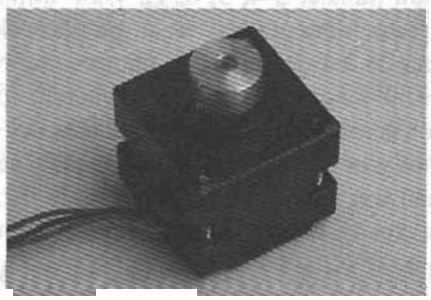


Figura 30-11 Motor paso a paso de 4 hilos

En este caso no es importante conocer el devanado que corresponde con la bobina A-B **(1-1') o a la C-D** (2-2'), ni identificar sus terminales, **porque una vez conectados los cables al** circuito de control si el motor gira ***en* sentida horario *y* queremos** que gire ***en* sentido antihorario, sólo tendremos que cambiar las conexiones de la bobina A-B por los** de **la bobina C-D.**

Para los motores de 6 **hilos** si **queremos** identificarlos con **los del motor de la** figura 30-4, **procederemos** de **la** siguiente manera:

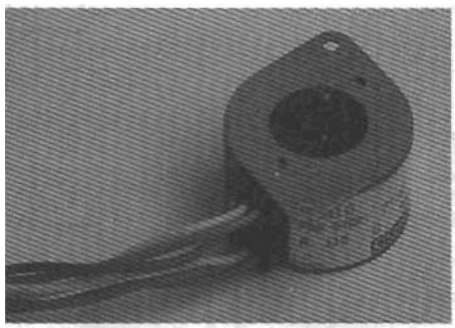


Figura 30-12 Foto de un motor paso a paso de 6 hilos

Se mide con el ohmetro **para** buscar los tres hilos que entre si **midan un valor** cualquiera distinto **de infinita. Estos tres hilos** pertenecerán **a** uno de los **juegos** de bobinas y los otros tres pertenecerán al otro juego **de** bobinas. Para **averiguar el terminal central *se*** mide **la resistencia entre dos cables, obteniendo** para nuestro caso **concreto la medida de 150 Ω**, midiendo los otros dos resulta 300 **Ω,** por lo **tanto, el que tiene el** valor **mitad corresponde** con la toma central de la bobina, **numerados en la figura 30-4** con **1'-2' y 3'-4'.**

Para identificar cual de los hilos corresponde a las bobinas 1, 2, 3 ó 4, procedemos de la siguiente forma, tendremos que alimentar el motor, el valor de la tensión de alimentación normalmente suele ir indicado por una etiqueta o serigrafiado en la carcasa. En caso contrario, deberemos de tener cn cuenta que la mayoría de los motores paso a paso están construidos para trabajar a 4, 5, 6, 12 y 24 voltios. Probamos con 5 V, por precaución, conectando esta alimentación a la patilla central de las dos bobinas. Seguidamente se toma uno de los dos hilos, se numera con el número 1 y se conecta a masa y el otro hilo del mismo juego de bobinas se numerará con el número 2 y se deja sin conectar. A continuación tomamos uno de las terminales del otro juego de bobinas y se conecta a masa, si el motor gira un paso en sentido horario se numera el terminal con el número 3 y el otro terminal con el 4. Si por el contrario lo hace en sentido contrario a las agujas del reloj se numera con 4 y el último termina con el número 3.

Una vez identificados los terminales del motor bipolar y del unipolar, cn los siguientes epígrafes veremos los circuitos que vamos a montar para cada uno de ellos.

30.10 CONEXIÓN MOTOR PAP BIPOLAR Y PIC16F84

El montaje que vamos a realizar para el motor bipolar se muestra cn la figura 30-13, en el que se ha realizado la conexión del motor PAP a través de los drivers del L293B.

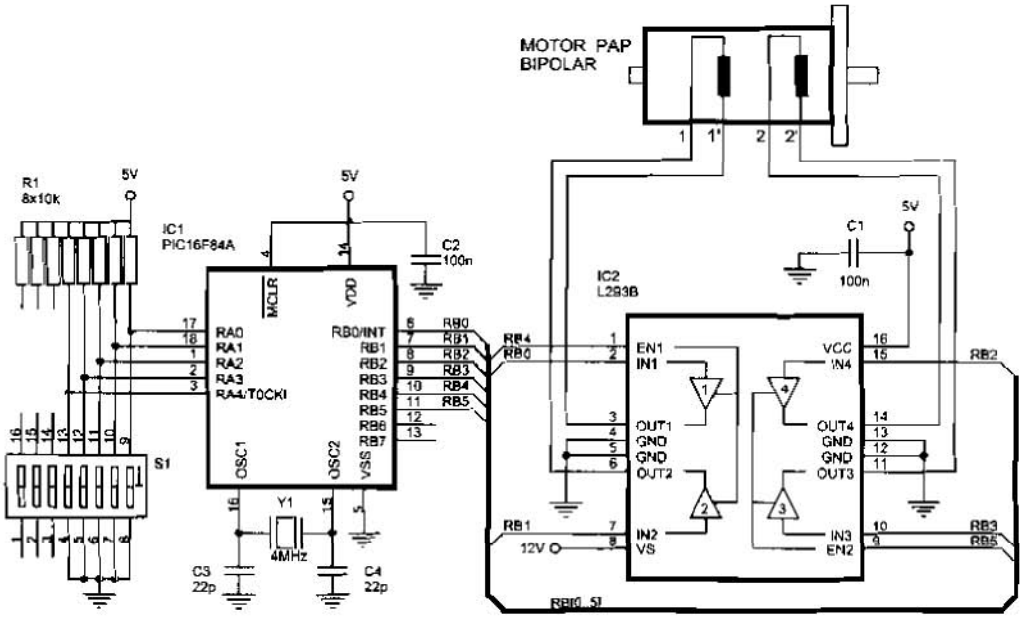


Figura 30-13 Conexión del motor PAP bipolar u PIC16F84A y driver L293B

Las lineas RB0, RB1, RB2 y RB3 serán **las encargadas** de generar la secuencia de activación del motor paso a paso, mientras que RB4 y RB5 se **ponen siempre** a "1" para activar las entradas de habilitación de los drivers. Las salidas de los drivers se conectan a las bobinas del motor para conseguir la corriente suficiente que permita su funcionamiento. La tensión aplicada al pin V_S es la de alimentación del motor, **eii** este **ejemplo** se utiliza un motor de 12 V.

Las lineas RA5:RA0 se han conectado a unos interruptores **que** pueden entregar **a** dichos pines un nivel alto "1" o un nivel bajo "0", dependiendo de que **estén** abiertos o cerrados, **respectivamente.** Esto permitirá controlar las condiciones de funcionamiento del motor según el estado dc estos intcrruptorcs.

30.11 CONEXIÓN MOTOR PAP UNIPOLAR Y PIC16F84

El montaje se muestra en la figura 30-14 y **es muy** similar **al del** motor **paco a** paso bipolar. En **este** caso **se ha** conectado la toma intermedia de los bobinados a la tension de alimentación, el terminal 1 y 2 a las salidas de un par de drivers del L293B y los terminales *3* y 4 a las salidas del otro par de drivers. La tension aplicada a la tomas centrales **de** los devanados del motor **debe** ser igual a su tensión nominal dc alimentación. en este ejemplo se utiliza un motor de 12 V.

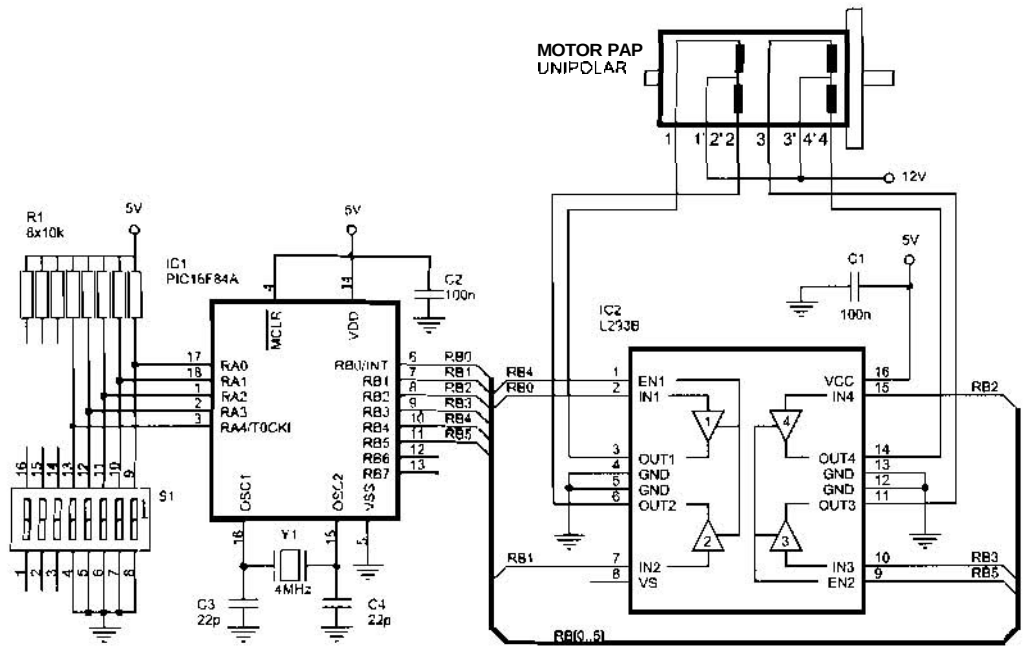


Figura 30-14 *Conexión del motor PAP unipolar a PIC16F84A y* ***driver*** *L293B*

30.72 CONTROL DE MOTOR PAP EN MODO FULL STEP

Utilizando cualquiera de los montajes de las figuras 30-13 *6* 30-14, vamos a analizar el programa MotorPAP_01.asm, que es un programa que hace girar el motor siempre que esté cerrado el interruptor conectado a la linea RA0 y dependiendo del estado de la línea RA4 girará en un sentido o en el contrario. El programa para los dos tipos de motores es el mismo y su organigrama es el que se muestra en la figura *30-15*.

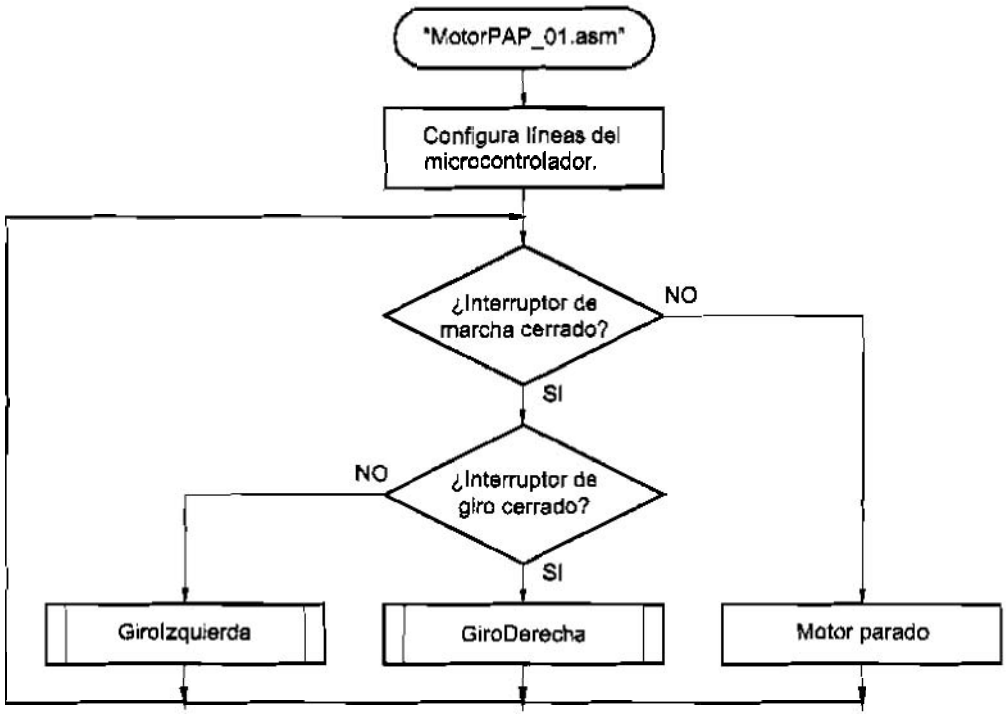


Figura ***30-15*** ***Organigrama*** *del* ***programa*** *MotorPAP_01.asm*

```
;********************************** MotorPAP_01.asm ***********************************
;
; Programa de control para un motor paso a paso (PAP) en funcionamiento y sentido de
; giro. Con RA0 a "0" el motor se pone en marcha y su sentido de giro dependerá del valor
; que tenga RA4.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST     P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC
```

```
#DEFINE EntradaMarcha    PORTA,0        ; Interruptor de puesta en marcha.
#DEFINE EntradaSentido   PORTA,4        ; Interruptor de sentido de giro.

; ZONA DE CÓDIGOS ***********************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0
        bsf     EntradaMarcha           ; Estas líneas se configuran como entrada.
        bsf     EntradaSentido
        clrf    PORTB                   ; Las líneas del Puerto B configuradas como salidas.
        bcf     STATUS,RP0
Principal
        btfss                           ; ¿Puesta en marcha?
                                        ; Sí.
        clrf    PORTB                   ; No, para el motor, poniendo a cero la línea
        goto    Fin          ido        ; de habilitación.
Gira    btfsc   EntradaSe               ; Comprueba el sentido de giro deseado.
        goto    A_Izquierda
        call    GiroDerecha             ; Gira en un sentido.
        goto    Fin
A_Izquierda
        call    GiroIzquierda           ; Gira en sentido contrario.
Fin     goto    Principal

; Subrutina "GiroIzquierda" ------------------------------------------------

GiroIzquierda
        movlw   b'00110101'             ; Primer paso.
        call    ActivaSalida            ; Lo envía a la salida donde está conectado el motor PAP.
        movlw   b'00110110'             ; Segundo paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00111010'             ; Tercer paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00111001'             ; Cuarto y último paso
        call    ActivaSalida
        return

; Subrutina "GiroDerecha" --------------------------------------------------

GiroDerecha
        movlw   b'00111001'             ; Primer paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00111010'             ; Segundo paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110110'             ; Tercer paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110101'             ; Último paso.
        call    ActivaSalida
        return

; Subrutina "ActivaSalida" -------------------------------------------------

ActivaSalida
```

```
        movwf   PORTB
        call    Retardo_10ms            ; Temporización antes del siguiente paso.
        return

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

Este control también se podía haber realizado mediante tablas de datos, de forma similar a los juegos de luces planteados y resueltos en el capitulo 12. Se anima al lector a modificar éste y los próximos ejercicios resolviéndolos mediante el procedimiento descrito en el ejercicio Retardo–08.asm.

30.13 REALIZACIÓN DE SECUENCIAS DE MOVIMIENTOS

En muchos proyectos es necesario realizar una secuencia de movimientos con los motores PAP. A continuación se muestra un ejemplo que también nos puede servir para comprobar correcto funcionamiento.

Si no se conoce el nutnero de pasos que tiene nuestro motor ahora puede ser un buen momento para saberlo. Así, si se hace la temporización mayor llamando por ejemplo a la subrutina Retardo_50ms en lugar de Retardo_10ms, dentro de la subrutina "ActivaSalida", podemos contar fácilmente cuántos pasos necesita para dar una vuelta completa. El motor unipolar que hemos utilizado nosotros necesita 48, por lo que cada impulso de excitación recorre 7,5°, que corresponde *a* uno de los valores comerciales recogidos en la Tabla 30-5.

El programa MotorPAP_02.asm hace que el motor ejecute una vuelta completa en sentido horario y dos en sentido contrario a las agujas del reloj. Para ello, tiene en cuenta el ángulo de paso del motor o, lo que es igual, el número de pasos a recorrer para que el eje del motor ejecute una vuelta completa.

```
;********************************** MotorPAP_02.asm ********************************
;
; El motor PAP realiza una vuelta en sentido y dos en sentido contrario utilizando el modo Full Step.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        Ciclos                          ; Se decrementará cada ciclo de 4 pasos.
        VueltasHorario
        VueltasAntihorario
        ENDC

NumeroCiclos    EQU     .12             ; Un ciclo de 4 pasos son 30 grados para un PAP
```

```
                                        ; de 7,5º en modo Half-Step. Por tanto para
                                        ; completar una vuelta de 3W. se requieren 12
                                        ; ciclos de 4 paso, cada uno.
; ZONA DE CÓDIGOS ***********************************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0
        clrf    WRTB                    ; Las líneas del Puerto B configuradas como salidas.
        bcf     STATUS,RP0
Principal
        movlw   0x02                    ; Dos vueltas en sentido horario.
        movwf   VueltasHorario
OtraVueltaDerecha
        movlw   NumeroCiclos
        movwf   Ciclos
OtroCicloDerecha
        call    GiroDerecha
        decfsz  Ciclos,F
        goto    OtroCicloDerecha
        decfsz  VueltasHorario,F
        goto    OtraVueltaDerecha

        movlw   0x01
        movwf   VueltasAntihorario      ; Una vuelta en sentido antihorario.
OtraVueltaIzquierda                     ; Al ser una sola vuelta no haria falta el contador.
        movlw   NumeroCiclos            ; Pero se deja para que el lector pueda hacer las
        movwf   Ciclos                  ; pruebas que crea oportunas cambiando la carga
OtroCicloIzquierda                      ; (VueltaAntihorario).
        call    GiroIzquierda
        decfsz  Ciclos,F
        goto    OtroCicloIzquierda
        decfsz  VueltasAntihorario,F
        goto    OtraVueltaIzquierda
        goto    Principal

; Subrutina "GiroIzquierda" ----------------------------------------------------

GiroIzquierda
        movlw   b'00110101'             ; Primer paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110110'             ; Segundo paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00111010'             ; Tercer paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00111001'             ; Cuarto y último paso
        call    ActivaSalida
        return

; Subrutina "GiroDerecha" ------------------------------------------------------

GiroDerecha
        movlw   b'00111001'             ; Primer paso para el giro hacia la derecha.
        call    ActivaSalida
```

```
        movlw   b'00111010'             ; Segundo paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110110'             ; Tercer paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110101'             ; Cuarto y último paso.
        call    ActivaSalida
        return

; Subrutina "ActivaSalida" ----------------------------------------------

ActivaSalida
        movwf   PORTB
        call    Retardo_50ms            ; Temporización antes del siguiente paso.
        return

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

30.14 CONTROL DE MOTOR PAP EN MODO HALF STEP

Una de las posibilidades que tienen los **motores** paso **a paso es** la **de utilizarlos** en el modo **medio paso u** *Half Step*. En este caso hay **que** utilizar una secuencia de **8 estados,** como **la que se** muestra **en** las Tablas **30-2 y 30-4,** corno **puede** comprobarse ***en*** el programa MotorPAP_03.asm, **el proceso de programación *es* el** mismo. **Como ejemplo de** aplicación **se va a** repetir **el** programa de **la** sección **anterior pero** en modo *Half Step*.

```
;************************************ MotorPAP_03.asm ********************************
;
; El motor PAP realiza una vuelta en sentido y dos en sentido contrario utilizando medios
; pasos (modo Half Step) para obtener mas precisión.

; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST    P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        Ciclos                          ; Se decrementará cada ciclo de 8 pasos.
        VueltasHorario
        VueltasAntihorario
        ENDC

NumeroCiclos    EQU     .12             ; Un ciclo de 8 pasos son 30 grados para un PAP
                                        ; de 7,5° en modo Half-Step. Par tanto para
                                        ; completar una vuelta de 360º, se requieren 12
                                        ; ciclos de 8 pasos cada uno.
; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0
```

```
        clrf    PORTB                   ; Las líneas del Puerto B configuradas como salidas.
        bcf     STATUS,RP0
Principal
        movlw   0x02                    ; Dos vueltas en sentido horario.
        movwf   VueltasHorario
OtraVueltaDerecha
        movlw   NumeroCiclos
        movwf   Ciclos
OtroCicloDerecha
        call    GiroDerecha
        decfsz  Ciclos,F
        goto    OtroCicloDerecha
        decfsz  VueltasHorario,F
        goto    OtraVueltaDerecha
;
        movlw   0x01
        movwf   VueltasAntihorario  ; Una vuelta en sentido antihorario.
OtraVueltaIzquierda                 ; Al ser una sola vuelta no haría falta el contador.
        movlw   NumeroCiclos        ; Pero se deja para que el lector pueda hacer las
        movwf   Ciclos              ; pruebas que crea oportunas cambiando la carga
OtroCicloIzquierda                  ; (VueltaAntihorario).
        call    GiroIzquierda
        decfsz  Ciclos,F
        goto    OtroCicloIzquierda
        decfsz  VueltasAntihorario,F
        goto    OtraVueltaIzquierda
        goto    Principal

; Subrutina "GiroIzquierda" ----------

GiroIzquierda
        movlw   b'00110001'         ; Primer paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110101'         ; Segundo paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110100'         ; Tercer paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110110'         ; Cuarto paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110010'         ; Quinto paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00111010'         ; Sexto paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00111000'         ; Séptimo paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00111001'         ; Octavo y último paso.
        call    ActivaSalida
        return

; Subrutina "GiroDerecha" ----------

GiroDerecha
        movlw   b'00111001'         ; Primer paso para el giro hacia la derecha.
        call    ActivaSalida
```

```
        movlw   b'00111000'             ; Segundo paso.
        cal     ActivaSalida
        movlw   b'00111010'             ; Tercer paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110010'             ; Cuarto paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110110'             ; Quinto paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110100'             ; Sexto paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110101'             ; Séptimo paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110001'             ; Octavo y ultimo paso.
        call    ActivaSalida
        return

; Subrutina "ActivaSalida" ----------------------------------------------------

ActivaSalida
        movwf   PORTB
        call    Retardo_50ms            ; Temporización antes del siguiente paso.
        return

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

30.15 CONTROL DE VELOCIDAD

La velocidad del motor queda determinada por la frecuencia a la que se ejecutan los pasos de la secuencia y la dirección de giro depende del sentido en que se aplique dicha secuencia. Esto proporciona un excelente control de velocidad y posición sin realimentación.

El programa MotorPAP_04.asm describe un procedimiento para controlar la velocidad. El hardware utilizado será el de las figuras 30-13 6 30-14. La lectura de las cuatro lineas bajas del Puerto A determina el tiempo de retardo que hay entre la aplicacion de una nueva combinacion a los devanados del motor. Cuanto mayor sea este retardo más despacio girara el motor.

```
;********************************** MotorPAP_04.asm ***********************************
;
; Programa de control de velocidadde un motor PAP. La velocidad del motor estará gobernada
; por el valor de las cuatro líneas bajas del Puerto A. El sentido de giro de motor se decide
; en función del valor de la línea RA4.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        _CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST     P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>
```



```
        CBLO
        Velocid
        ENDC

#DEFINE Entrad

; ZONA DE CÓD

        ORG
Inicio
        bsf
        movlw
        movwf
        clrf
        bcf
Principal
        movf
        andlw
        btfsc
        goto
        call
        movwf
        btfsc
        goto
        call
        goto
A_Izquierda
        call
        goto
ParaMotor
        clrf
Fin     goto

; Subrutina "Selecc

; Alterando los valo

SeleccionaVelocida
        addwf
        DT
        DT

; Subrutina "GiroIz

GiroIzquierda
        movlw
        call
        movlw
        call
        movlw
        call
        movlw
        call
        return
```

```
        CBLOCK 0x0C
        Velocidad
        ENDC

#DEFINE EntradaSentido    PORTA,4          ; Interruptor de sentido de giro.

; ZONA DE CÓDIGOS ***********************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0
        movlw   b'00011111'              ; El Puerto A se configura como entrada.
        movwf   PORTA
        clrf    PORTB                    ; Las líneas del Puerto B configuradas como salidas.
        bcf     STATUS,RP0
Principal
        movf    PORTA,W                  ; Lee el puerto de entrada
        andlw   b'00001111'              ; Se queda con los cuatro bits bajos.
        btfsc   STATUS,Z
                ParaMotor                ; Si es cero se mantiene parado.
        call    SeleccionaVelocidad      ; Pasa a seleccionar el factor por el que se va
        movwf   Velocidad                ; a multiplicar el retardo patrón.
        btfsc   EntradaSentido           ; Comprueba el sentido de giro deseado.
        goto    A_Izquierda
        clrf    GiroDerecha
        goto    Fin
A_Izquierda
        call    GiroIzquierda
        goto    Fin
ParaMotor
        clrf    PORTB                    ; Para el motor, poniendo a cero la linea de
Fin     goto    Principal                ; habilitación.

; Subrutina "SeleccionaVelocidad" ---------------------------------------------

; Alterando los valores de esta tabla se pueden conseguir diferentes retardos.

SeleccionaVelocidad
        addwf   PCL,F
        DT      0, d'75', d'70', d'65', d'60', d'55', d'50', d'45', d'40'
        DT      d'35', d'30', d'25', d'20', d'15', d'10', d'5'

; Subrutina "GiroIzquierda" ---------------------------------------------------

GiroIzquierda
        movlw   b'00110101'              ; Primer paso.
        call    ActivaSalida             ; Lo envía a la salida donde está conectado el motor PAP.
        movlw   b'00110110'              ; Segundo paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00111010'              ; Tercer paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00111001'              ; Cuarto y último paso
        call    ActivaSalida
        return
```

```
; Subrutina "GiroDerecha" ---------------------------------------

GiroDerecha
        movlw   b'00111001'             ; Primer paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00111010'             ; Segundo paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110110'             ; Tercer paso.
        call    ActivaSalida
        movlw   b'00110101'             ; Último paso.
        call    ActivaSalida
        return

; Subrutina "ActivaSalida" --------------------------------------

        CBLOCK
        Contador
        ENDC

ActivaSalida
        movwf   PORTB
        movf    Velocidad,W             ; Y ahora el retardo en función del valor de
        movwf   Contador                ; de la variable Velocidad.
Retardo
        call    Retardo_1ms
        decfsz  Contador,F
        goto    Retardo
        return

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

SE

Para la
servomotores, q
(figura 31-1). **Po**

de modelismo a
timón de un barc
tamaño, bajo co
ideales para la co

31.1 SERV

Un servomo
ruedas dentadas qu
una *pequeña* tarjet
figura 31-2 muestra

© RA-MA

CAPÍTULO 31

SERVOMOTORES DE RADIOCONTROL

Para la realización de microrobots experimentales es frecuente utilizar servomotores, que son pequeños dispositivos utilizados tradicionalmente en radiocontrol (figura 31-1). Popularmente reciben el nombre de "servos" y suelen usarse para el control de modelismo a distancia, actuando sobre el acelerador de un motor de combustión, en el timón de un barco o de un avión, en el control de dirección de un coche, etc. Su pequeño tamaño, bajo consumo, además de una buena robustez y notable precisión, los hacen ideales para la construcción de los microrobots.



Figura 31-1 Servomotor de radiocontrol

31.1 SERVOMOTORES PARA MICROROBÓTICA

Un servomotor está constituido por un pequeño motor de corriente continua, unas ruedas dentadas que trabajan como reductoras, lo que le da una potencia considerable, y una pequeña tarjeta de circuito impreso con la electrónica necesaria para su control. La figura 31-2 muestra el despiece de un *sewo*

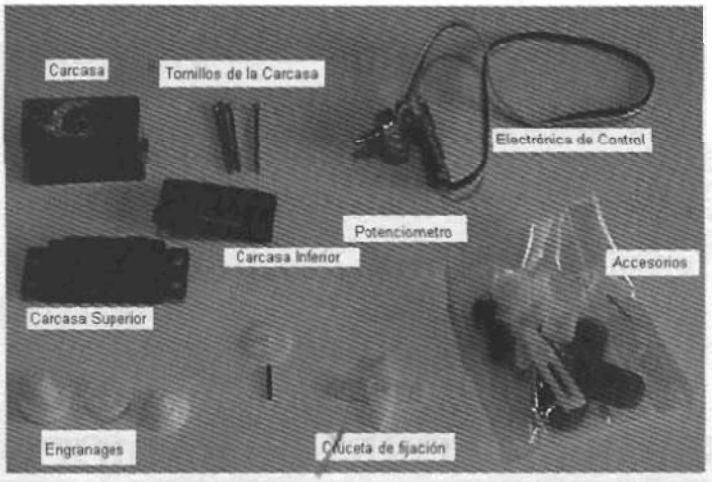


Figura 31-2 Despiece de un servomotor de radiocontrol

La figura 31-3 explica como están ensambladas estas piezas dentro del servomotor

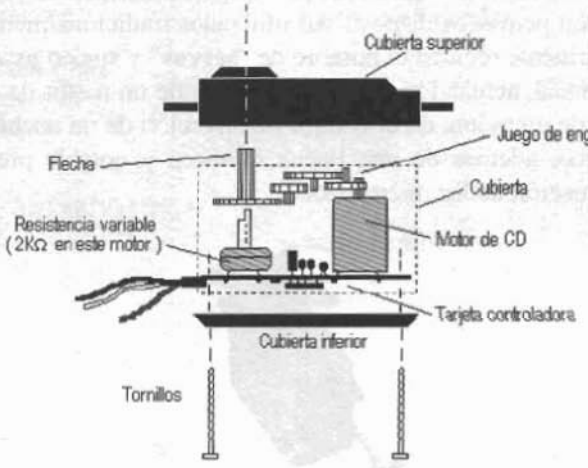


Figura 31-3 Ensamblaje de un servomotor

Debido a la reductora mecánica formada por las ruedas dentadas, un servo estándar como el Hitec HS-300 tiene un torque de 3Kg por cm y una velocidad constante y proporcional a la carga. Otro servo compatible wn el anterior y muy utilizado es el Futaba S3003, www.futaba-rc.com.

Si el lector tiene dificultades para comprar estos servos en su proveedor habitual de componentes electrónicos puede adquirirlos en tiendas de modelismo donde vendan material para radiocontrol de aviones, coches, barcos, etc. También puede entrar en ww.itl.rnodejimport.com, que es la página Web de Model Import S.A, empresa con sede

en Torrejón de Ardoz (Madrid), distribuidora oficial para España de los servos Futaba, donde expone una completa relación de tiendas ordenadas por comunidades. Y, por supuesto, también puede adquirirlos en alguna de las múltiples tiendas que hay en Internet, siempre comprobando que trabaja con las necesarias garantías.

31.2 FUNCIONAMIENTO DEL SERVOMOTOR

La tensión de alimentación de los servos suele estar comprendida entre los 4 y 8 voltios. El control de un servo se limita a indicar en qué posición se debe situar, mediante una señal cuadrada TTL modulada en anchura de impulsos PWM *(Pulse Width Modulation)*. La duracion del nivel alto dc la señal indica la posición donde queremos poner el eje del motor. El potenciómetro que el servomotor tiene unido solidariamente al eje del motor (ver figura 31-3) indica al circuito electrónico de control interno mediante una retroalimentación,si éste ha llegado a la posicion deseada.

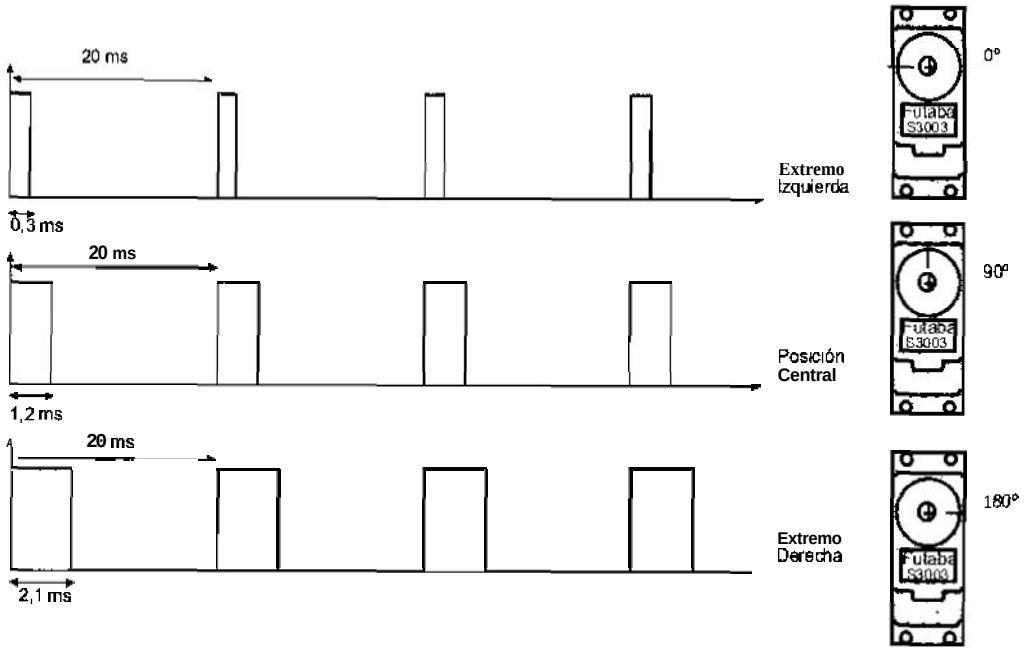


Figura 31-4 Tren de impulsos pava control de un servo de radiocontrol Futaba S3003

La duración de los impulsos indica el ángulo de giro del motor, como muestra la figura 31-4. Cada servomotor tiene sus márgenes de operación, que se corresponden con el ancho del pulso máximo y mínimo quc el servo cntiendc y que, en principio, mecánicamente no puede sobrepasar. Estos valores varían dependiendo del modelo de servomotor utilizado. Para el servomotor Futaba S3003 los valores de la señal a nivel alto están entre 0,3 y 2,1 ms, que dejarían al motor en ambos extremos de giro. El valor 1,2 ms indicaría la posición central, mientras que otros valores de anchura del pulso lo dejan

en posiciones intermedias que son proporcionales a la anchura de los impulsos. Si se sobrepasan tos limites de movimiento del servo, éste comenzará vibrar o a emitir un zumbido, denunciando un cambio en la anchura del pulso.

El periodo entre pulso y pulso no es critico. Sc suelen emplear valores entre 10 ms y *30* ms, aunque lo habitual es utilizar 20 ms, que implica una frecuencia de *50* Hz. Si el intervalo entre pulso y pulso es inferior al mínimo puede interferir con la temporización interna del servo causando un zumbido y la vibración del brazo de salida. Si es mayor que el máximo, entonces el servo pasará al estado dormido entre pulsos provocando que se mueva a pequeños intervalos.

Es importante destacar qiie para que un servo se mantenga en la misma posición, es necesario enviarle continuamente un pulso de una anchura constante. De este modo si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición intentará resistirse. Si se deja de enviar pulsos, o el intervalo entre pulsos es mayor del máximo permitido, entonces *el* servomotor perderá fuerza y dejará de intentar mantener su posiciiin, de triodo que cualquier fuerza externa podría desplazarlo.

31.3 TERMINALES

Un servomotor es básicamente un motor eléctrico que sólo se puede mover en un ángulo de aproximadamente 180 grados (no dan vueltas complet como los motores de comente continua). Los servomotores disponen de tres terminales:

- Positivo de alimentación unido al cable de color rojo.
- Masa o negativo, que casi siempre es un cable de color negro.
- Señal por donde se aplica la entrada de impulsos y cuyo cable suele ser de color blanco, amarillo o naranja.

La Tabla 31-1 muestra una relación de fabricantes de servomotores, con la descripción de cada uno de los terminales destacándose en negrilla los fabricantes Futaba y Hitec que son los más importantes.

Marca Servomotor de R/C	Positivo	Señal	Negativo
Futaba	**Rojo**	**Blanco**	**Negro**
JR	Rojo	Naranja	Marrón
Hitec	**Rojo**	**Amarillo**	**Negro**
Airtronics	Rojo	Naranja	Negro
Fleet	Rojo	Blanco	Negro
Kraft	Rojo	Naranja	Negro

Tabla 31-1 Identificación de los terminales de los servos, según diversos fabricantes

En la figura 31-5 pueden identificarse los conectores de algunos de estos fabricantes.

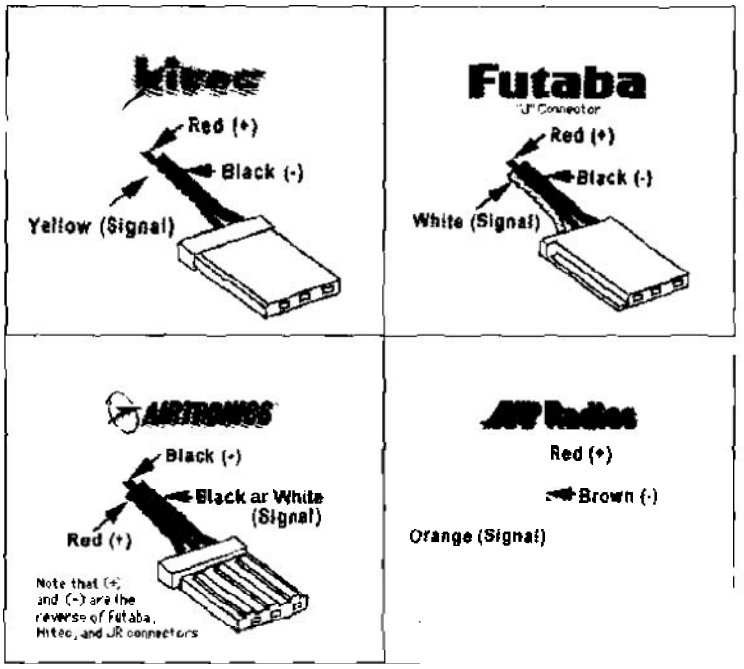


Figura 31-5 Conectores y cables usados por algunos fabricantes de servomotores

31.4 CONEXIÓN DE UN SERVOMOTOR A UN PIC16F84

En la figura 31-6 se muestra un ejemplo de conexión de un servomotor Futaba S3003 a un microcontrolador PIC16F84A.

Los terminales de alimentación del servomotor se conectan a una fuente de alimentación a 5V que puede ser la misma que se utilice para alimentar al microcontrolador. En caso de utilizar dos fuentes distintas debemos conectar las masas de las dos fuentes de alimentación, para que tengan la misma tensión de referencia. Cuando se construye un mecanismo o un microrobot con servomotores, es siempre recomendable utilizar dos fuentes de energía distintas, una para la "electrónica" y la otra para dar energía a los servomotores, pero desgraciadamente no siempre hay espacio ni presupuesto para ello.

El siguiente programa ayudará a comprender la técnica de programación. En este ejemplo, el eje del servomotor girará de 0 a 180° y de 180 a 0° indefinidamente.

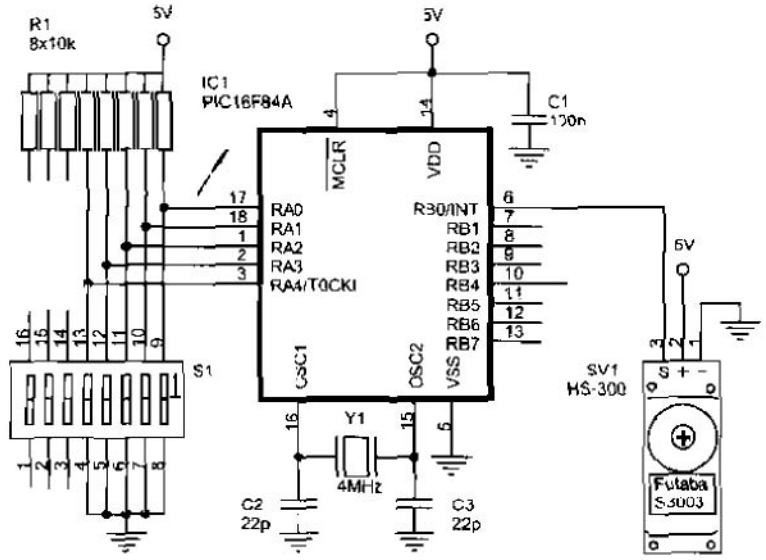


Figura 31-6 Conexión del PIC16F84A para control del servomotor

```
;************************************* Servos_01.asm ***************************************

; Programa de control riel posicionamiento de un servomotor Futaba S3003. Controla el ángulo
; mediante una señal cuadrada PWM de 20 ms de periodo que se aplica a su línea de control.
; El ángulo es gobernado por el tiempo en alto de la señal cuadrada desde 0° (para 0,3 ms
; de tiempo en alto). hasta 180" (para un tiempo en alto de 2,1 ms).

; En este programa el servomotor se posiciona en 0°, 90°, 180°, vuelve a 90° y repite el ciclo.
; Permanece en cada posición durante 1 s. El funcionamiento se explica en la siguiente tabla,
; donde se ha tomado como tiempo patrón 100 µs (0,1 ms) conseguidos mediante interrupciones
; por desbordamiento del Timer0.
```

FactorAlto	Tiempo Alto 0,1·FactorAlto	Tiempo Bajo 0,1·(200-FactorAlto)	Angulo (Grados)
3	0,! ms	19.7 ms	0"
12	1,2 ms	18,8 ms	90°
21	2,1 ms	17,9 ms	180"
12	1,2 ms	18,8 ms	90°

```
; ZONA DE DATOS ***************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE  <P16F84A.INC>

        CBLOCK  0x0C
        Contador
        FactorAlto                  ; Factor por el que se va a multiplicar el tiempo
        ENDC                        ; patrón de 100 µs para obtener el tiempo en atto.
```

```
TMR0_Carga      EQU     -d'90'          ; Valor obtenido experimentalmente con la ventana
                                        ; Stopwatch para un tiempo de 100 µs.
#DEFINE Salida  PORTB,0                 ; Línea del Puerto B donde se conecta el servomotor.

; ZONA DE CÓDIGOS ***************************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    Timer0_Interrupcion
Inicio
        bsf     STATUS,RP0
        bcf     Salida                  ; Esta línea se configura como salida.
        movlw   b'00001000'             ; TMR0 sin prescaler.
        movwf   OPTION_REG
        bcf     STATUS,RP0
        movlw   b'10100000'
        movwf   INTCON                  ; Autoriza interrupción T0I y la general (GIE).
        clrf    Contador
Principal
        movf    Contador,W
        andlw   b'00000011'
        call    SeleccionaFactorAlto
        movwf   FactorAlto
        call    Retardo_1s
        incf    Contador,F
        goto    Principal

SeleccionaFactorAlto
        addwf   PCL,F
        DT      d'3', d'12', d'21', d'12'   ; Tabla para el servo Futaba S3003

; Subrutina "Timer0_Interrupcion" ----------------------------------------
;
; Mantiene la salida en alto un tiempo igual a 100µs x (FactorAlto) y en bajo un tiempo igual
; a 100µs x (200-FactorAlto). El periodo de la señal cuadrada lo mantiene en 20 ms.

        CBLOCK
        Guarda_W
        Guarda_STATUS
        Timer0_ContadorA                ; Contador auxiliar.
        ENDC

Timer0_Interrupcion
        movwf   Guarda_W                ; Guarda los valores de tenían W y STATUS en el
        swapf   STATUS,W                ; programa principal.
        movwf   Guarda_STATUS
        bcf     STATUS,RP0              ; Garantiza que trabaja en el Banco 0.
        movlw   TMR0_Carga
        movwf   TMR0
        decfsz  Timer0_ContadorA,F      ; Decrementa el contador.
        goto    Fin_Timer0_Interrupcion
        btfsc   Salida                  ; Testea el anterior estado de la salida
```

```
        goto    EstabaAlto
EstabaBajo
        bsf     Salida                  ; Estaba bajo y lo pasa a alto
        movf    FactorAlto,W            ; Repone el contador nuevamente con el tiempo en
        movwf   Timer0_ContadorA        ; alto.
        goto    Fin_Timer0_Interrupcion
EstabaAlto
        bcf     Salida                  ; Estaba alto y lo pasa a bajo.
        movf    FactorAlto,W            ; Repone el contador nuevamente con el tiempo
        sublw   .200                    ; en bajo.
        movwf   Timer0_ContadorA        ; El periodo será de 100µs·200=20000µs=20ms.
Fin_Timer0_Interrupcion
                Guarda_STATUS,W         ; Restaura registros W y STATUS.
        movwf   STATUS
        swapf   Guarda_W,F
        swapf   Guarda_W,W
        bcf     INTCON,RBIF
        bcf     INTCON,T0IF
        retfie

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

A la hora de elaborar el programa de control, hay que tener en cuenta que las especificaciones de estos servomotores de pequeño coste no suelen ser muy estrictas. De hecho si cambia un servo por otro de la misma marca y modelo no es raro que tenga que reajustar el centrado e incluso los recorridos. Luego no debe extrañarse si necesitara reajustar ligeramente las constantes de estos programas, para su caso particular.

En el siguiente programa ejemplo el ángulo del servomotor es controlado por el valor de entrada fijado por los interruptores conectados al Puerto A con una resolución de 10°. Así si la entrada vale 0 se posiciona en 0°, si vale 1 en 10°; si vale 2 en 20°; ..., y si vale 18 en 180°.

```
;********************************** Servos_02.asm ************************************
;
; Programa de control del posicionamiento de un servomotor Futaba S3003. Controla el ángulo
; mediante una señal cuadrada PWM de 20 ms de periodo que se aplica a su línea de control.
; El ángulo es gobernado por el tiempo en alto de la señal cuadrada desde 0° (para 0,3 ms
; de tiempo en alto) hasta 180° (para un tiempo en alto de 2,1 ms)

; En este programa la líneas del Puerto A controlan el ángulo de posicionamiento con una
; resolución de 10° según los valores que se indican en la siguiente tabla, tomando como
; tiempo patrón 100 µs (0,1 ms) conseguidos mediante interrupciones por desbordamiento del
; Timer 0.

; Entrada      FactorAlto     Tiempo Alto     Tiempo Bajo          Angulo
; RA4:RA0      (3+Entrada)    0,1xFactorAlto  0,1x(200-FactorAlto)  (Grados)
; ---------    -----------    --------------  ---------------------  ---------
; 0            3              0,3 ms          19.7 ms                0°
; 1            4              0,4ms           19,6 ms                10°
; 2            5              0,5 ms          19.5 ms                20°
```

```
;  3          6          0,6 ms      19,4 ms      30°
;  ...        ....       ...         ...          ...
;
;  17         20         2,0 ms      18,0 ms      170°
;  18         21         2,1 ms      17,9 ms      180°
;
; A partir de una entrada superior a 18 el servo vibrará.

; ZONA DE DATOS *****************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>


        CBLOCK  0x0C
        FactorAlto                      ; Factor por el que se va a multiplicar el tiempo
        ENDC                            ; patrón de 100 µs para obtener el tiempo en alto.

TMR0_Carga      EQU     -d'90'          ; Valor obtenido experimentalmente con la ventana
                                        ; Stopwatch para un tiempo de 100 µs.

; La próxima constante hay que variarla según el tipo de Servomotor utilizado.

AltoCeroGrados  EQU     d'300'          ; Tiempo en alto para 0°. Para el Futaba S3003.300 µs.
TiempoPatron    EQU     d'100'          ; 100 µs conseguido mediante interrupciones.

FactorMinimo    EQU     AltoCeroGrados/TiempoPatron

#DEFINE Salida          PORTB,0         ; Línea del Puerto B donde se conecta el servomotor.

; ZONA DE CÓDIGOS ***************************************************************

        ORG     0
        goto    inicio
        ORG     4
        goto    Timer0_Interrupcion
Inicio
        bsf     STATUS,RP0
        bcf     Salida                  ; Esta línea se configura como salida.
        movlw   b'00011111'             ; Puerto A configurado como entrada.
        movwf   PORTA
        movlw   b'00001000'             ; TMR0 sin prescaler.
        movwf   OPTION_REG
        bcf     STATUS,RP0
        movlw   TMR0_Carga
        movwf   TMR0                    ; Carga el Timer 0.
        movlw   b'10100000'
        movwf   INTCON                  ; Autoriza interrupción T0I y la general (GIE).
Principal
        movf    PORTA,W                 ; Lee el puerto de entrada
        andlw   b'00011111'             ; Se queda con los bits válidos.
        addlw   FactorMinimo            ; Para conseguir el tiempo mínimo correspondiente a 0°.
        movwf   FactorAlto              ; Valor entregado a la subrutina de
```

```
        goto    Principal                   ; atención a la interrupción.

; Subrutina "Timer0_Interrupcion" ----------------------------------------

; Mantiene la salida en alto un tiempo igual a 100µs x (FactorAlto) y en bajo un tiempo igual
; a 100µs x (200-FactorAlto). El periodo de la señal cuadrada lo mantiene en 20 ms.

        CBLOCK
        Guarda_W
        Guarda_STATUS
        Timer0_ContadorA            : Contador auxiliar.
        ENDC

Timer0_Interrupcion
        movwf   Guarda_W            ; Guarda los valores de tenían W y STATUS en el
        swapf   STATUS,W            ; programa principal.
        movwf   Guarda_STATUS
        bcf     STATUS,RP0          ; Garantiza que trabaja en el Banco 0.
        movlw   TMR0_Carga
        movwf   TMR0
        decfsz  Timer0_ContadorA,F  ; Decrementa el contador.
        goto    Fin_Timer0_Interrupcion
        btfsc   Salida              ; Testea el anterior estado de la salida.
        goto    EstabaAlto
EstabaBajo
        bsf     Salida              ; Estaba bajo y lo pasa a alto.
        movf    FactorAlto,W        ; Repone el contador nuevamente con el tiempo en
        movwf   Timer0_ContadorA    ; alto.
        goto    Fin_Timer0_Interrupcion
EstabaAlto
        bcf     Salida              ; Estaba alto y lo pasa a bajo.
        movf    FactorAlto,W        ; Repone el contador nuevamente con el tiempo
        sublw   .200                ; en bajo.
        movwf   Timer0_ContadorA    ; El periodo será de 100µs·200=20000µs=20ms.
Fin_Timer0_Interrupcion
        swapf   Guarda_STATUS,W     ; Restaura registros W y STATUS.
        movwf   STATUS
        swapf   Guarda_W,F
        swapf   Guarda_W,W
        bcf     INTCON,RBIF
        bcf     INTCON,T0IF
        retfie

        END
```

32.1 SE

El pres
sensores y
especialmente
Los sensores

- LDR,
- CNY
  colore
- OPB7
- H21A
- GP2D
- IS471
- Bump
- SRF0

Pero ar
mediante inve

32.2 INV

Alguno
dicha señal ar
la figura 32-1.

CAPÍTULO 32

SENSORES PARA MICROROBÓTICA

32.1 SENSORES PARA MICROROBÓTICA

El presente capitulo es una basc de datos o guía de referencia sobre algunos sensores y de cómo conectarlos al microcontrolador para realizar aplicaciones especialmente dirigidas a los microrobots yero adaptable a muchos proyectos industriales. Los sensores que se van a estudiar son:

- **LDR,** detector pasivo de luz. Se utiliza para detectar ausencia o presencia de luz.
- CNY70, sensor óptico reflexivo por infrarrojo con salida a transistor. Diferencia colores blanco y negro.
- OPB703/4/5, sensor óptico reflexivo por infrarrojo.
- H21A1, sensor óptico de barrera. Indicado para medir velocidad de motores.
- GP2Dxx, sensores infrarrojos para medición de distancia.
- lS471F, censor detector de proximidad de obstáculos por infrarrojos.
- Bumper, final de carrera mecánico para detección de obstáculos
- SRF04, sensor de obstáculos y medidor de distancias por ultrasonido.

Pero antes es necesario conocer una forma de acondicionar señales no digitales mediante inversores Trigger Schmitt.

32.2 INVERSOR TRIGGER SCHMITT 40106

Algunos sensores no proporcionan señales digitales puras y es necesario conformar dicha señal antes de aplicarla al microcontrolador,como en cl ejemplo que se muestra en la figura *32-1*.

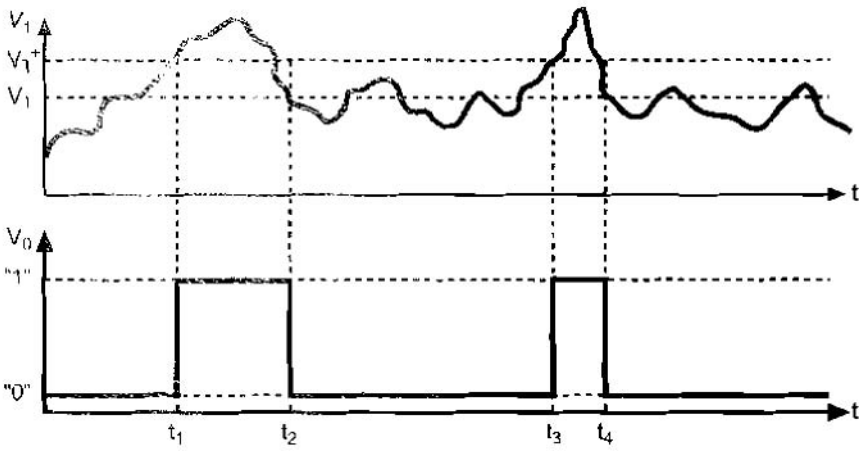


Figura 32-1 Señales de entrada y salida de un circuito Trigger Schmitt

Una forma sencilla de conformar una señal digital es mediante puertas **Trigger Schmitt,** como las que tiene el circuito integrado 40106. Este dispositivo contiene 6 inversores Trigger Schmitt encapsulados según se indica en la figura 32-2.

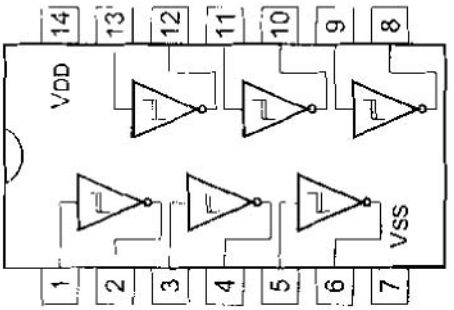


Figura 32-2 40106. Seis inversores Trigger Schmitt

Estos dispositivos tienen una característica de transferencia como la que se muestra en la figura 32-3. En esta curva se aprecia que si la tensión de entrada aumenta desde 0 V hasta un nivel alto la transición se produce siguiendo la curva A y conmuta para el valor V_T^+, denominado **umbral superior.** Por el contrario, si la entrada está a un nivel alto y disminuye hasta 0V, la transición se produce siguiendo la curva B cuando se alcanza el denominado **umbral inferior** V_T^-. Los valores de V_T^+ y de V_T^- para el caso del 40106 dependen de la tensión de alimentación y pueden tomar los valores de la tabla 32-1,

En la curva de transferencia del inversor Schmitt es importante observar que la transición de salida de Alto → Bajo es distinta que la de Bajo → Alto. A este fenómeno se le conoce como **Histéresis.**

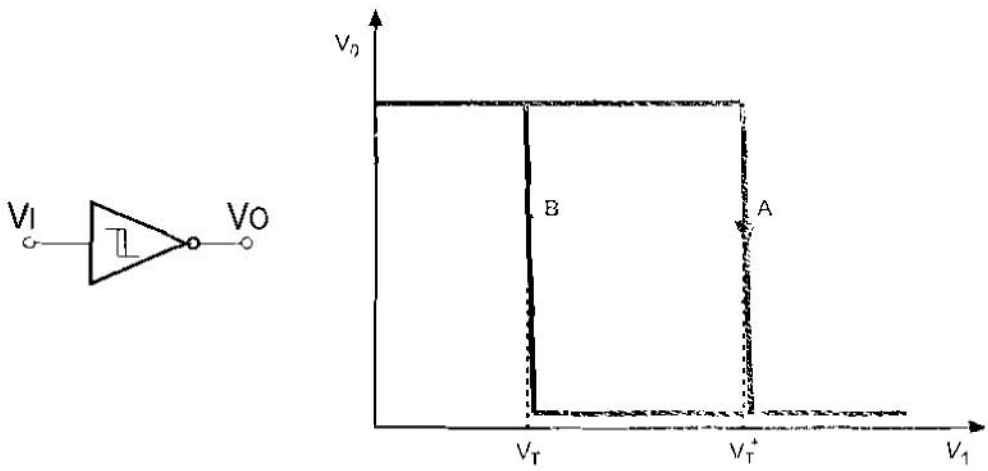


Figura 32-3 *Curva de transferencia de un inversor. Trigger Schmitt*

El inversor Trigger Schmitt, y todos los dispositivos con este tipo de funcionamiento, utiliza el símbolo de la figura 32-3 para indicar que pueden responder de una manera fiable ante señales que cambian con lentitud. Esta simbología se basa en añadir el dibujo de la gráfica de histéresis en la entrada correspondiente.

PARÁMETRO	V_{DD}	MÍNIMO	TÍPICO	MÁXIMO
V_T^+	5,0	2,2	2,9	3,6
	10	4,6	5,9	7,1
	15	6,8	8,8	10,8
V_T^-	5,0	0,9	1,9	2,8
	10	2,5	3,9	5,2
	15	4,0	5,8	7,4

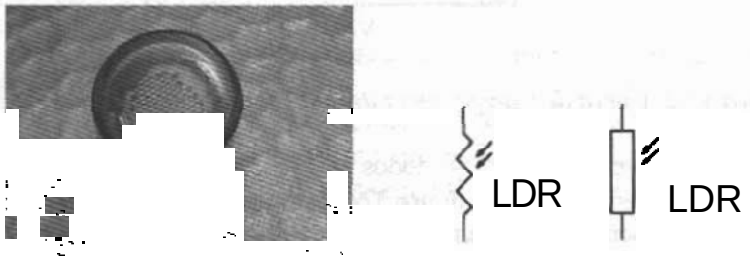
Tabla 32-1 Valores de VT' y VT para el 40106 (todos los valores en voltios)

Estos circuitos son de gran utilidad cuando se desea controlar un circuito digital con señales que no lo son o señales digitales con una señal de ruido sumada. En la figura 32-1 *se* muestra como actúa un circuito no inversor frente a una señal que no es puramente digital. Cuando la señal V_I alcanza el valor V_T' la salida V_O basculá a un nivel alto y no vuelve a tomar un nivel bajo hasta que la entrada no llegue a V_T. En la figura 32-1 se ha considerado un no inversor para una más fácil explicación. Para un inversor como el 40106, la señal de salida hubiera estado invertida respecto de la figura

En conclusión, un dispositivo Trigger Schmitt produce transiciones de salida limpias y rápidas, aunque la entrada no lo sea. El microcontrolador PIC16F84A posee la línea RA4 con entrada Trigger Scmitt (figura 5-7) que se puede utilizar para este fin sin necesidad de intercalar un 40106.

32.3 LDR

Las resistencias dependientes de la luz, LDR *(Light Dependent Resistor)* o fotorresistencias, son dispositivos que varían su resistencia en función de la luz que incide sobre su superficie. Cuanto mayor sea la intensidad luminosa que incide sobre ella menor será la resistencia entre extremos de la misma. Para su fabricación se utilizan materiales fotosensibles. Su aspecto físico y simbología más común se muestra en la figura 32-4.



Forma física Símbolo eléctrico más común de la LDR

Figura 32-4 LDR

Su valor nominal se especifica sin *que* incida la luz externa. Así, por ejemplo, una LDR de valor nominal 50 kΩ, como la de la figura, tendrá dicho valor si *se* tapa de manera que no incida la luz sobre su superficie, si se la acerca a una bombilla de 60 W puede bajar hasta unos *30* Ω.

Las principales aplicaciones de estos componentes son controles de iluminación, control de circuitos con relés, *en* alarmas, etc.

La forma más sencilla de conectar estos sensores de luz a un microcontrolador es realizando un divisor de tensión con la LDR y un potenciómetro, que permite ajustar el nivel *de* luz a detectar, A la salida del divisor de tensión se le coloca una puerta Trigger Schmitt para conformar la señal, también puede hacerse en una entrada de este tipo como la RA4 del PIC16F84A tal muestra la figura 32-5.

El programa Sensor_LDR_01.asm cuenta el número de veces que es cortado un haz *de* luz que incide sobre la LDR.

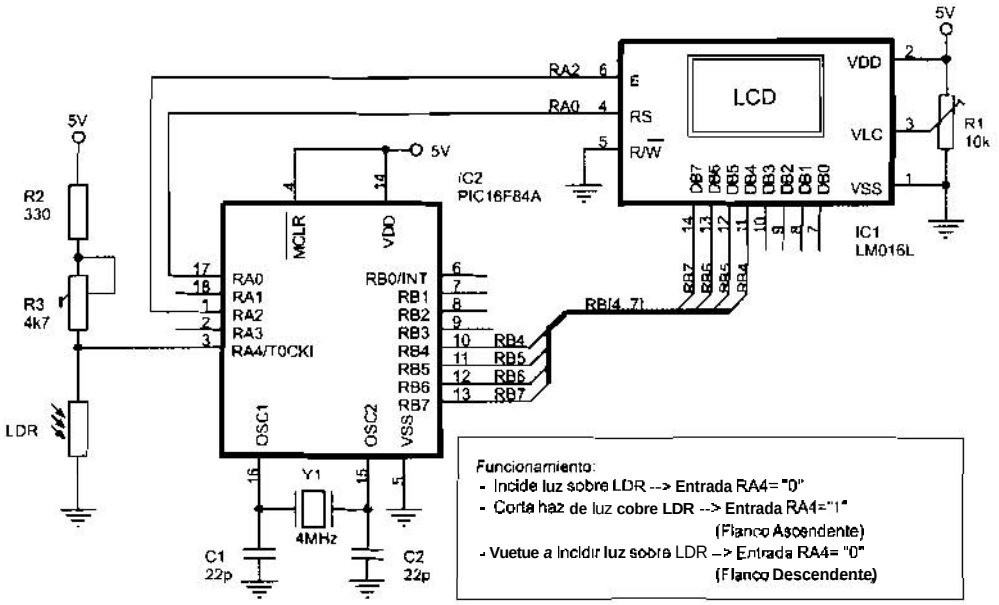


*Figura 32-5 Conexión de una **LDR** a la entrada Trigger Schmitt RA4 de un PIC16F84A*

```
;********************************** Sensor_LDR_01.asm ************************************
;
; Una LDR se conecta a la entrada Trigger Schmitt RA4/T0CKI aplicando impulsos al Timer 0 cada
; vez que se oscurece al interponerse un objeto entre la fuente de luz y la LDR. En la pantalla
; del módulo LCD se visualiza el número de veces que se interrumpe el haz de luz en dos dígitos
; (hasta 99 máximo).
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK0x0C
        ENDC

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        movlw   b'00101000'             ; TMR0 como contador por flanco ascendente de
        movwf   OPTION_REG              ; RA4/T0CKI. Prescaler asignado al Watchdog.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
        clrf    TMR0                    ; Inicializa contador.

; La sección "Principal" es de mantenimiento. Sólo se dedica a visualizar el Timer 0, cuya
```

```
; cuenta se incrementa con los flancos ascendente procedente de la entrada Trigger Schmitt
; RA4/T0CKI donde se ha conectado la LDR.

Principal.
        call    LCD_Linea1          ; Se pone al principio de la línea 1.
        movf    TMR0,W              ; Lee el Timer 0.
        call    BIN_a_BCD           ; Se debe visualizar en BCD.
        call    LCD_Byte            ; Visualiza, apagando las decenas en caso de que sean 0.
        goto    Principal

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        END
```

Este programa solo permite contar de forma correcta hasta 99. Se deja al lector su mejora para poder aumentar la cuenta y utilizarlo, por ejemplo, en la computación de los objetos que están en una cinta transportadora, personas que pasan por una puerta, etc. Este mismo programa se puede utilizar para otros censores que se describen mas adelante, por ejemplo para contar el número de objetos que pasan por delante de un sensor de iiltrasonidos.

El circuito de la figura 32-6 junto con el programa Sensor_LDR_02.asm constituye otra aplicación típica. Se trata de un interruptor crepuscular, que es un circuito para encender una lámpara cuando llega la noche y apagarla con los primeros rayos del sol.

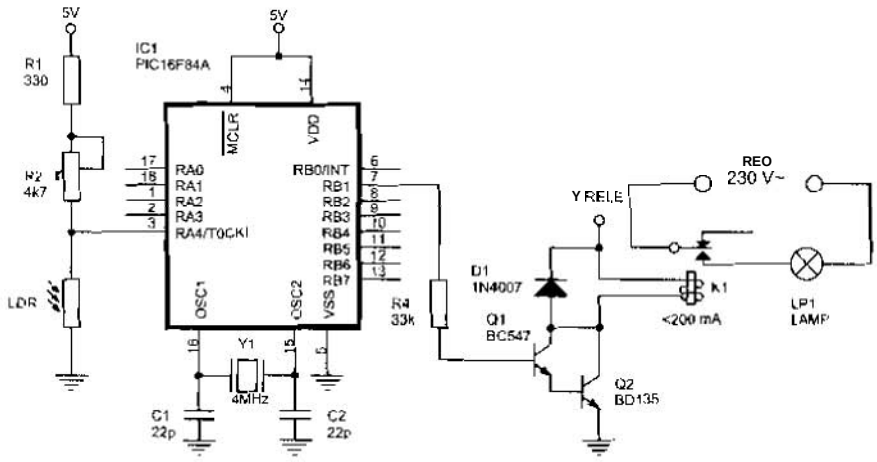


Figura 32-6 Interruptor crepuscular

```
;********************************** Sensor_LDR_02.asm **************************************

; Programa de un interruptor crepuscular: una lámpara se mantendrá encendida mientras sea
; de noche. Una LDR detectará la luz ambiente (sin que le llegue la luz de la lámpara que
; pretende controlar) y estará conectada a la entrada Trigger Schmitt RA4.
```

```
; Cuando la LDR detecte oscuridad el sistema activará una lámpara:
; - LDR iluminada -> Entrada PIC = "0" -> Lámpara apagada.
; - LDR en oscuridad -> Entrada PIC = "1" -> Lámpara encendida.
;
; ZONA DE DATOS *****************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC


#DEFINE Lampara PORTB,1                 ; Línea donde se conecta la salida.
#DEFINE LDR     PORTA,4                 ; Entrada Trigger Schmitt del PIC donde se conecta
                                        ; la LDR.
; ZONA DE CÓDIGOS ***************************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 1.
        bsf     LDR                     ; Configurada como entrada.
        bcf     Lampara                 ; Configurada como salida.
        bcf     STATUS,RP0              ; Acceso al Banco 0.
        bcf     Lampara                 ; En principio lámpara apagada.
Principal
        btfss   LDR                     ; ¿Entrada=1?, ¿LDR en oscuridad?
        goto    ApagaLampara            ; No, LDR iluminada por el sol. Apaga la lámpara.
EnciendeLampara
        call    Retad-20s               ; Espera este tiempo para confirmar la oscuridad.
        btfss   W R                     ; ¿Entrada=1?, ¿LDR sigue en oscuridad?
                Fin                     ; No, sale fuera.
        bsf     Lampara                 ; SI, enciende la lámpara.
        goto    Fin
ApagaLampara
        call    Retado-20s              ; Espera este tiempo para confirmar la luz del sol.
        btfsc   LDR                     ; ¿Entrada=0?, ¿LDR sigue iluminada por luz del sol?
                Fm                      ; No. sale fuera.
        bcf     Lampara                 ; Sí, apaga lámpara.
Fin     call    Retardo_20s             ; Permanece en el estado anterior al menos este tiempo.
        goto    Principal

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        END
```

32.4 FOTOSENSORES ACTIVOS

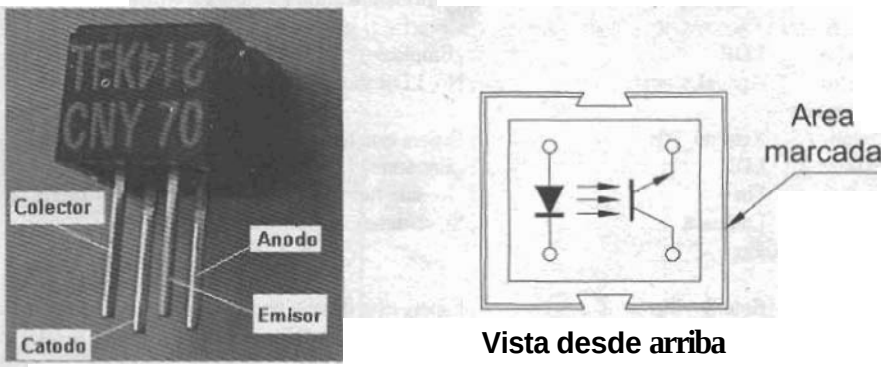
Este tipo de sensores consta de un emisor de luz, que normalmente es un diodo LED, y un receptor. que suele ser un fotodiodo o un fototransistor, la situación de ambos define el tipo ya sea reflexión o por barrera como se estudiará a continuación.

Su aplicación, entre otras, suele ser la detección de la presencia de objetos, medida de distancias muy cortas, lectura de códigos de barras, etc. En microrobótica suele utilizarse para detectar una marca o seguir una línea (normalmente negra sobre fondo blanco).

Los problemas más comunes que suelen darse con este tipo de sensores son que la reflexión depende las características del material y del color; en principio los colores mis claros reflejan el haz de luz infrarroja mis que los oscuros. La luz ambiente es una importante fuente de mido a tener en cuenta.

32.4.1 Sensor óptico CNY70

El CNY7(es un sensor óptico reflexivo con salida a transistor (figura 32-7) fabricado por *Vishay Telefunken Semiconductors* (www.vishay.com). Tiene una construcción compacta donde el emisor de luz y el receptor se colocan en la misma dirección para detectar la presencia de un objeto por medio del empleo de la reflexión del haz de luz infrarroja IR *(Infrared)* sobre el objeto. La longitud de onda de trabajo es *950* nm. El emisor es un diodo LED infrarrojo y el detector consiste en un fototransistor. La distancia del objeto reflectante debe estar entre los 5 y 10 mm de distancia. La corriente directa del diodo $I_F = 50$ mA y la intensidad del colector es de $I_C = 50$ mA.



Aspecto y patillaje — Vista desde arriba — Diagrama interno

Figura 32-7 Sensor óptico reflexivo con salida a transistor CNY70

Para conectar estos dispositivos hay que polarizarlos, ésa es la función de las resistencias del circuito de la figura 32-8, donde se muestran las dos posibles formas de conexión. según se quiera la salida alto para color blanca o negra.

El inversor Trigger Schmitt 40106 se intercala para conformar las tensiones a valores lógicos. Hay que tener en cuenta que los valores de transición de la puerta son $V_T^+ = 2.9$ V y $V_T^- = 1{,}9$ V para una tensión de alimentación de 5V y no podemos variarlos.

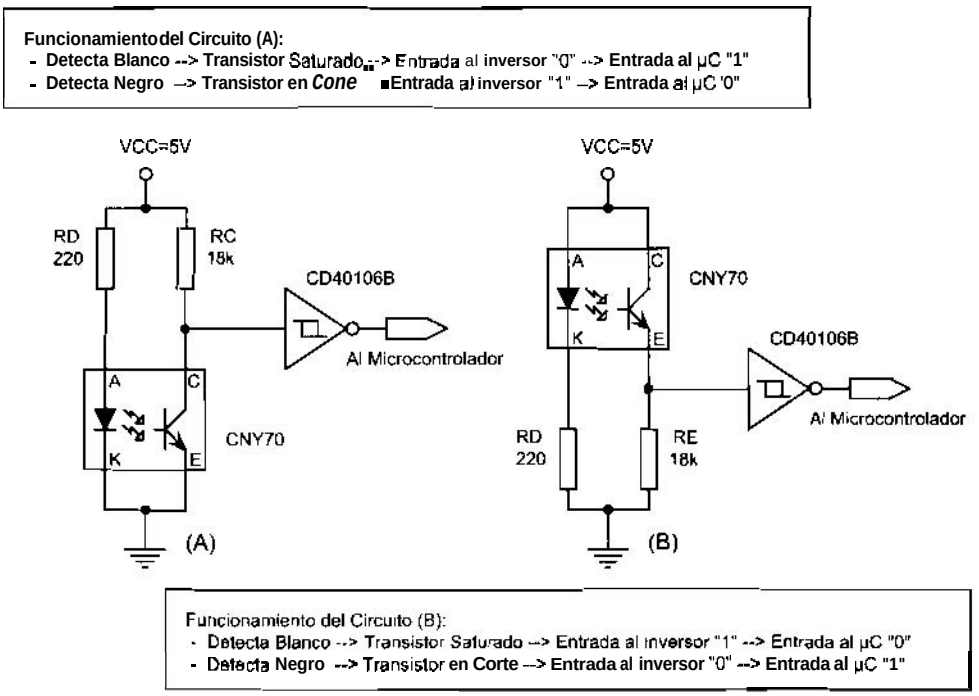


Figura 32-8 Circuito típicos de conexión del CNY70

El circuito de la figura *32-9* **permite ajustar la tensión** de **disparo del** CNY70. **Utiliza** un amplificador operacional, **que trabaja** como **comparador de** tensión, al **que** se **le ha** conectado en **la** entrada **no inversora** el sensor y **a** la **entrada** inversora un potenciómetro que traja como **un divisor de** tensión.

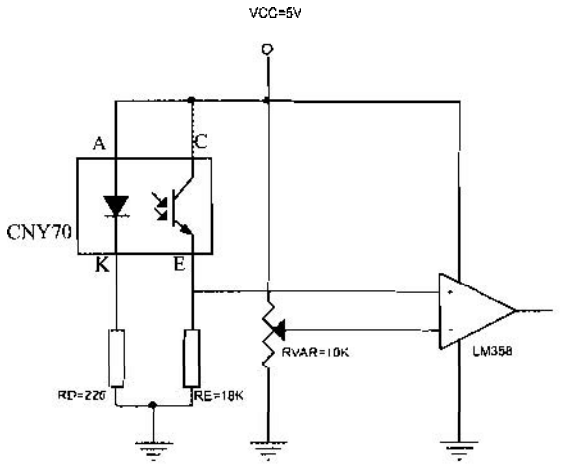


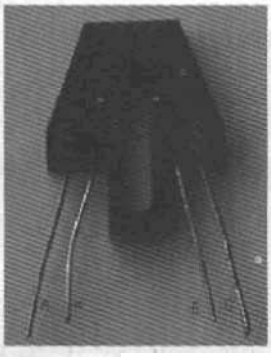
Figura 32-9 Conexión del CNY70 u través de un comparador

Su funcionamiento es el siguiente: si la tensión en la entrada no inversora es mayor que la tensión presente en la entrada inversom, la salida del amplicador operacional toma el valor "1" y si, por el contrario, la tensión en la no inversora es menor que la existente en la entrada inversora, la salida toma un nivel "O'. Es recomendable que la resistencia variable del circuito sea un potenciómetro multivuelta, ya que de esta forma es más sencillo el ajuste.

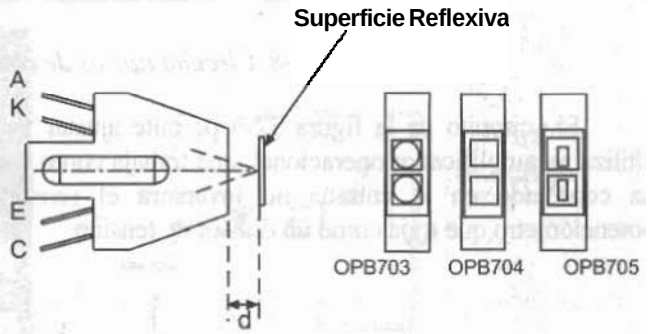
32.4.2 Sensores ópticos OPB703/4/5

Los sensores OPB703, OPB704 y OPB705 de la empresa *Optek Technology* (www.optekinc.com) son también del tipo reflexivo y utilizan como emisor un diodo LED emisor de infrarrojos y como receptor un fototransistor (figura 32-10). En este caso están montados sobre unas lentes convergentes alojadas en la carcasa negra y la forma del sensor permite que el haz refleje en una superficie más *concreta* que el CNY70.

De los tres modelos aquí tratados, el OPB703 no dispone de lente?el OPB704 tiene una lente azul de polisulfuro y el OPB705 permite un desplazamiento de la lente para corregir el *offset*. En estos dispositivos la lente de polisulfuro elimina gran parte de las interferencias producidas por la luz ambiente.



Aspecto y patillaje



Patillas y cabezal

Figura 32-10 Sensores ópticos reflexivos OP703/4/5

La distancia del objeto reflectante debe estar entre los 4 mm y 10 mm de distancia, La corriente directa máxima del diodo $I_F = 40$ mA y la intensidad del colector máxima es de $I_C = 30$ mA.

Los circuitos de aplicación serán los que se han mostrado en las figuras 32-8 y 32-9 pero habrá que modificar las resistencias de polarización teniendo en cuenta la corriente máxima que soportan estos dispositivos.

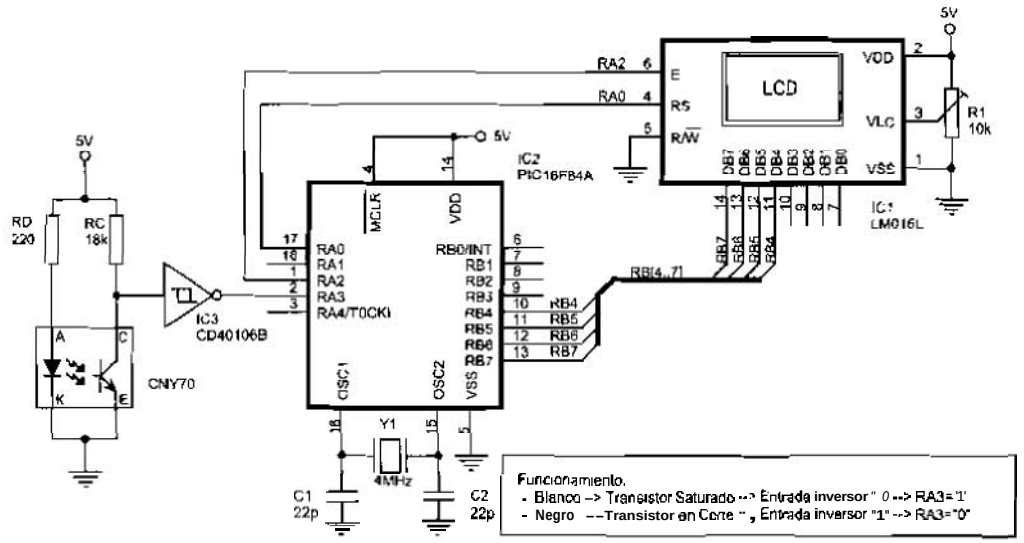


Figura 32-11 Detector de Blanco/Negro

32.4.3 Ejemplo de aplicación

Para comprobar el funcionamiento de los dispositivos que tiemos analizado CNY70 y los OP703/04/05 se puede cargar el programa Sensor_CNY70_01.asm y montar el circuito con el sensor de la figura 32-11. Cuando el sensor se encuentra frente a una superficie blanca el haz infrarrojo refleja y en la entrada RA3 aparece un nivel alto que hará que en el LCD visualice el mensaje "Color BLANCO". Si el haz infrarrojo se enfrenta a una superficie de color negro o no encuentra superficie, el haz no refleja y en el LCD aparece el mensaje "Color NEGRO".

```
;************************************ Sensor_CNY70_01.asm ****************************
;
; En pantalla LCD se visualiza el color "Blanco" o "Negro" que está detectando el sensor CNY70,
; según la configuración del esquema correspondiente. Si:
; - Color Blanco --> transistor saturado --> entrada al inversor "0" --> RA3 = "1".
; - Color Negro --> transistor en corte --> entrada al inversor "1" --> RA3 = "0".
;
; ZONA DE DATOS *********************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        ENDC

#DEFINE Sensor PORTA,3                  ; Líneas donde se conecta el sensor.
```

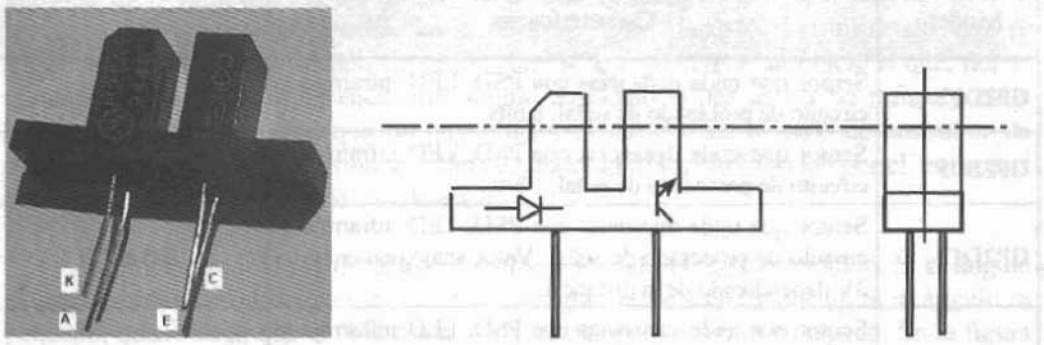
```
; ZONA DE CÓDIGOS ***************************************************************************

        ORG     0
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        movlw   MensajeColor
        call    LCD_Mensaje
        bsf     STATUS,RP0
        bsf     Sensor                  ; Linea del sensor se configura como entrada.
        bcf     STATUS.RP0
Principal
        call    LCD_Linea2
        movlw   MensajeNegro            ; En principio considera que es negro.
        btfsc   Sensor                  ; Lee el sensor.
        movlw   MensajeBlanco           ; No, es blanco.
        call    LCD_Mensaje             ; Visualiza el resultado.
        goto    Principal

; "Mensajes" ---------------------------------------------------------------
;
Mensajes
        addwf   PCL,F
MensajeColor
        DT "  Color ", 0x00
MensajeBlanco
        DT " BLANCO", 0x00
MensajeNegro
        DT " Negro  ", 0x00

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        END
```

32.4.4 Sensor óptico de barrera H21A1

El representante más popular de este tipo de sensores es el H21A1 (figura 32-12) fabricado entre otros por *Isocom Components* (www.isocom.com) y *Fairchild Semiconductors* (www.fairchildsemi.com).

Estos sensores también tienen como emisor un diodo de infrarrojos y Como receptor un fototransistor. En este caso el etnisor y el receptor están enfrentados a una distancia de 3 mm y entre ellos existe un espacio para que un objeto pueda introducirse y romper la barrera infrarroja.

El circiiito de aplicación para este tipo dispositivos es similar al de la figura 32-8. Los valores de las resistencias de polarización deben limitar la corriente por el diodo emisor I_F a 60 mA y por el colector del transistor a una comente I_C no superior a 20 mA. El fabricante facilita los valores de prueba indicados eri la tabla 32-2.



Aspecto y patillaje Posición del emisor y del receptor en el dispositivo

Figura 31-12 Sensor óptico de barrera H21A1

	Condiciones de test	Símbolo	Valor Mínimo
Corriente de colector Transistor saturado	I_F = 5mA, V_{CE} = 5V	$I_{C(ON)}$	0,15 mA
	I_F = 20mA, V_{CE} = 5V	$I_{C(ON)}$	1,0 mA
	I_F = 30mA, V_{CE} = 5V	$I_{C(ON)}$	1,9 mA
Tensión de saturación	I_F = 30 mA, I_C = 1,8 mA	$V_{CE(SAT)}$	0,40V

Tabla 32-2 Valores de test para distintos valores de I_F

Para comprobar el funcionamiento de estos sensores se pueden utilizar muchos de los programas propuestos en temas anteriores sustituyendo pulsadores por el circuito con el sensor óptico. Por ejemplo las programas Int_int_01.asm, Int_int_02.asm o Sensor_LDR_01.asm, que presentarán en un LCD el número de veces que se interrumpe el haz infrarrojo del sensor.

Una aplicación típica de estos censores es medir la velocidad de un motor. Para ello se acopla al eje del motor un encoder, que es una lámina circular con una serie de ranuras que pasan por el centro del sensor y cortan el haz de luz, el número de cortes del haz de luz en la unidad de tiempo será proporcionara la velocidad del motor.

32.5 SENSORES INFRARROJOS GP2DXX

Los IR Sharp GP2DXX son una familia de sensores de infrarrojos compactos de alta sensibilidad para la detección y medida de distancia. En la página Web de *Sharp Corporation* (http://sharp-world.com) encontramos algunos de los modelos que se muestran en la tabla 32-3.

Modelo	Características	Rango de distancia de medida en mm
GP2D02	Sensor que mide distancias con PSD, LED infrarrojo y circuito de procesado de señal, 8 bits.	100 a 800
GP2D05	Sensor que mide distancias con PSD, LED infrarrojo y circuito de procesado de señal, 1 bits.	100 a 800
GP2D12	Sensor que mide distancias con PSD, LED infrarrojo y circuito de procesado de señal. Valor analógico entre 0-3V dependiendo de la distancia.	100 a 800
GP2D120	Sensor que mide distancias con PSD, LED infrarrojo y circuito de procesado de señal Valor analógico entre 0-3V dependiendo de la distancia.	40 a 300
GP2D15	Sensor que mide distancias con PSD (Detector Sensible a la Posición), LED infrarrojo y circuito de procesado de señal, valor digital (0 o 1) ajustado de fabrica a 24 cm.	100 a 800
GP2D150A	Sensor que mide distancias con PSD, LED infrarrojo y circuito de procesado de señal. Valor digital (0 ó 1).	30 a 300 (Detección distancia típica 15 cm)

Tabla 32-3 Sensores de la serie GP2Dxx

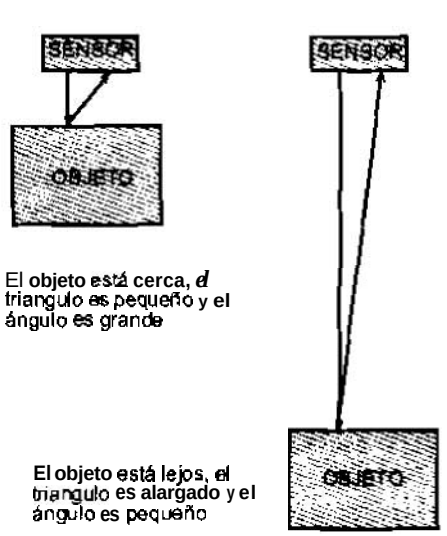


Figura 32-13 Concepto de medida por triangulación

32.5.1 Principio de funcionamiento

Estos dispositivos emplean el método de triangulación, utilizando un pequeño Sensor Detector de Posición **lineal** *(PSD, Position Sensitive Detector)* para determina la

distancia o la presencia de los objetos dentro de su campo de visión. Básicamente su modo de funcionamiento consiste en la emisión de un pulso de luz infrarroja, que se transmite a través de su campo de visión, que se refleja contra un objeto o que, por el contrario, no lo hace. Si no encuentra ningún obstáculo el haz de luz no refleja y en la lectura que se hace indica que no hay ningún obstáculo. En el caso de encontrar un obstáculo el haz de luz infrarroja se refleja creando un triángulo formado por el emisor, el punto de reflexión (obstáculo) y el detector.

La información de la distancia se extrae midiendo el ángulo recibido. Si el ángulo es grande, entonces el objeto está cerca, el triángulo es pequeño y ancho. Si el ángulo es pequeño, quiere decir que el objeto está lejos, el triángulo es largo y delgado. En la figura 32-13 podemos ver una representación de estos conceptos.

Seguidamente describiremos el modo de manejo de algunos de estos dispositivos.

32.5.2 GP2D05

El Sharp GP2D05 es un sensor capaz de medir distancias por infrarrojos e indica mediante una salida lógica (0 ó 1) si hay algún objeto dentro de un alcance preestablecido (figura 32-14). El rango se ajusta entre 10 y 80 cm con la ayuda de una resistencia variable que incluye el propio dispositivo, que es fácil de regular.

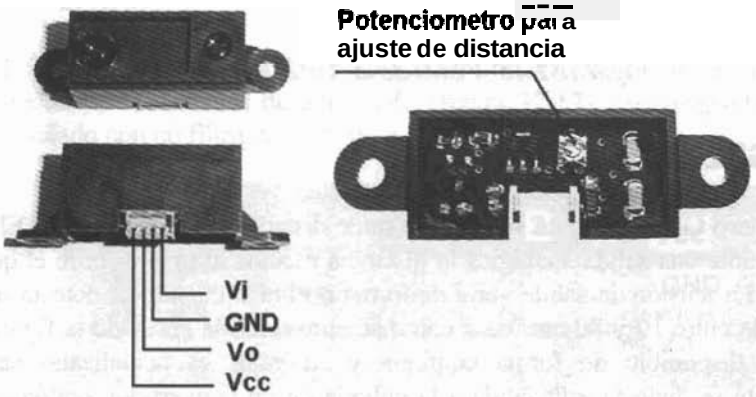


Figura 32-14 Vista de un GP2D05, (cortesía de www.superrobotica.com)

El sensor utiliza sólo una línea de entrada y otra de salida para comunicarse con el microcontrolador. Su utilización es tan sencilla como mandar un impulso a nivel bajo en la entrada de control (V_i), esperar entre 28 y 56 ms y leer el estado de V_o, si esta a nivel alto no ha detectado obstáculo, si está a nivel bajo ha detectado un obstáculo dentro del alcance al que se ha ajustado.

32.5.3 GP2D15

El Sharp GP2D15 es un sensor medidor de distancias por infrarrojos que indica mediante una salida digital si hay un objeto a menos de 24±3 cm (figura 32-15). La detección se hace de forma continua, esto significa que no es necesario ningún *tipo* de circuito de control ni temporización externo. Basta con aplicar tensión para que la medida esté disponible cada 50 ms. El sensor utiliza una única línea de salida para comunicarse con el microcontrolador.

De características similares a este dispositivo, Sharp ha sacado recientemente al mercado el GP2Y0D21YK.

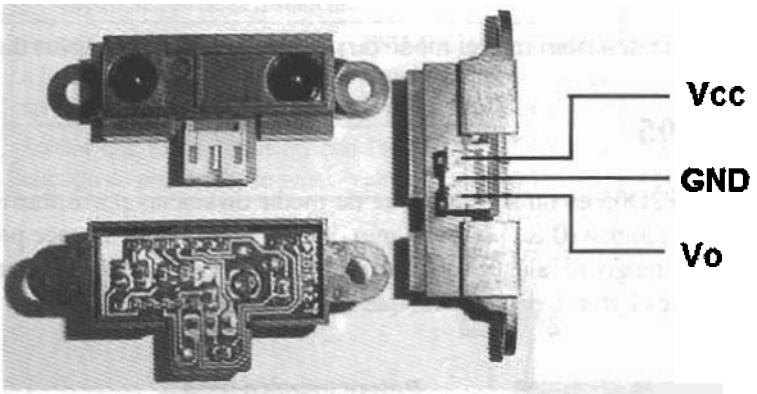


Figura 32-15 Vistas de un GP2D15 o GP2D12

32.5.4 GP2D12

El Sharp GP2D12 es un sensor que mide distancias por infrarrojos. El dispositivo indica mediante una salida analógica la distancia medida al objeto sobre el que refleja el haz de luz. La tensión de salida varía de forma no lineal cuando se detecta un objeto en una distancia entre 10 y 80 cm, tal y como se aprecia en la *curva* de la figura 32-16. La salida está disponible de forma continua y su valor es actualizado cada *32* ms. Normalmente se conecta esta salida a la entrada de un convertidor analógico digital, el cual convierte la distancia en un número binario que es utilizado por el microcontrolador. La salida también puede ser usada directamente en un circuito analógico. El sensor utiliza sólo una línea dc salida para comunicarse con el microcontrolador. Su margen de medida es de 10 a 80 cm.

De características similares a este dispositivo, Sharp ha sacado recientemente al mercado el GP2Y0A21YK.

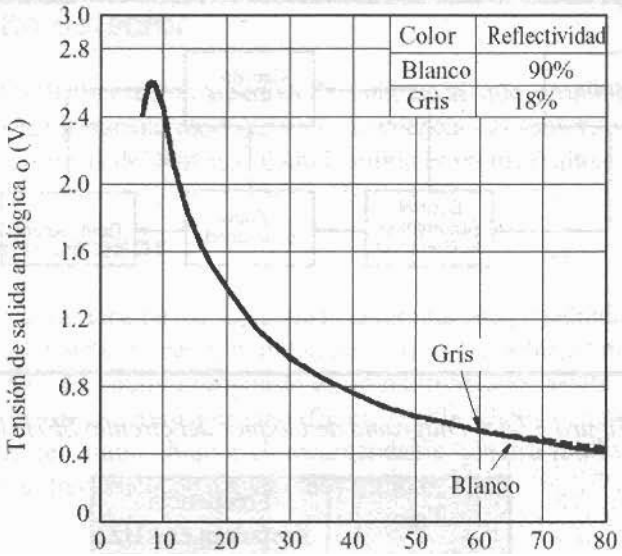


Figura 32-16 Función de transferencia del GP2D12

32.6 RECEPTOR PARA CONTROL REMOTO SFH5110

32.6.1 Descripción

El SFH5110 es un receptor de IR *(Infrared)* utilizado para detectar un haz de luz infrarroja modulada en sistemas de telemando (figura 32-17). Su encapsulado en color negro está diseñado con un filtro de corte para la luz del día.

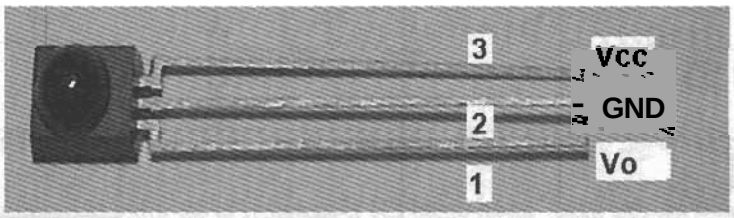


Figura 32-17 Vista y patillaje del SFH5110

Este circuito integrado incluye un fotodiodo sensible al haz infrarrojo de 940 nm, un preamplificador, un control de ganancia automático, un demodulador y varios filtros paso banda, como puede apreciarse en el diagrama de bloques de la figura 32-18.

Se comercializan distintos modelos de este sensor dependiendo de la frecuencia de la portadora a utilizar, como puede comprobarse en la tabla 32-4.

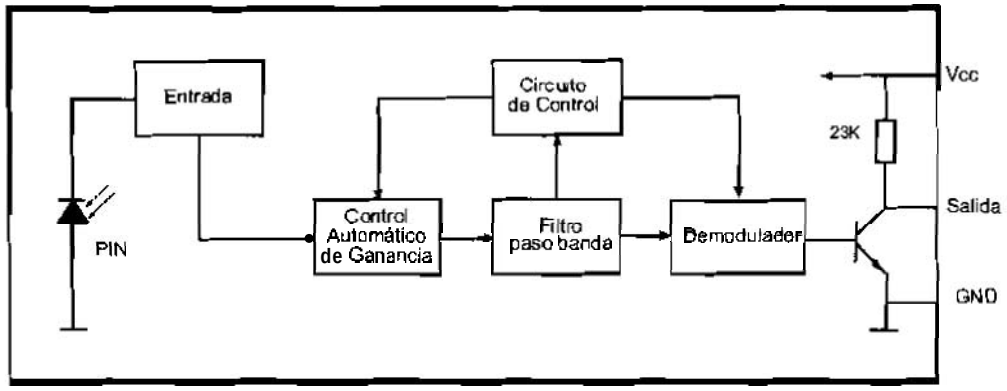
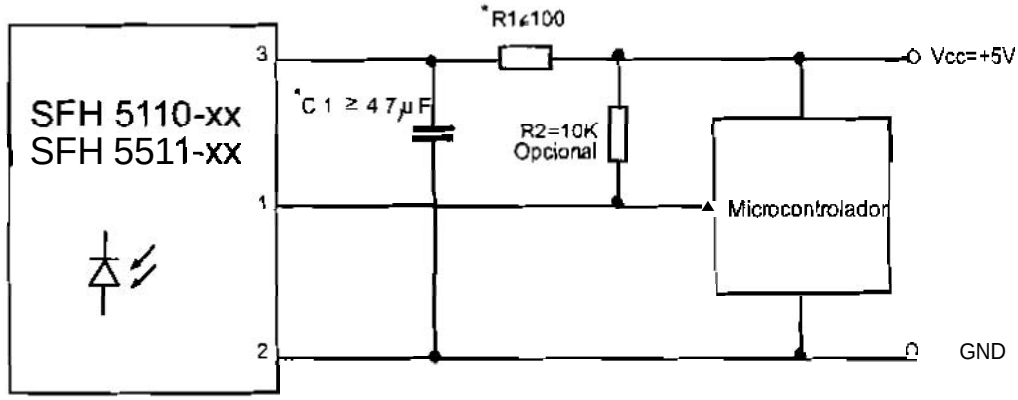


Figura 32-18 Diagrama de bloques del circuito SFH5110

Tipo	Frecuencia Portadora en kHz
SFH 5110-30	30
SFH 5110-33	33
SFH 5110-36	36
SFH 5110-38	38
SFH 5110-40	40

Tabla 32-4 Frecuencia de portadora de los distintos modelos de sensores



(*) R1 y C I sólo son necesarias para eliminar las pertubaciones de la fuente de alimentación

Figura 32-19 Circuito receptor de haz infrarrojo modulado

32.6.2 Circuito detector

La figura 32-19 muestra el circuito de aplicación que proponemos. Cuando se detecta una haz de luz infrarroja modulada a la frecuencia del sensor, pone un nivel bajo en la patilla V_o, en ausencia del haz modulado la salida es un nivel alto.

32.6.3 Circuito emisor

El circuito emisor debe de ser capaz de generar una onda cuadrada a ser posible con un ciclo de trabajo del 50%, es decir, la mitad del periodo la señal estará a nivel bajo y la otra mitad a nivel alto. El circuito propuesto es un multivibrador astable realizado con un circuito integrado 555 de uso muy corriente (figura 32-20). El potenciómetro con el que se ajusta la frecuencia del multivibrador es recomendable qiie sea multivuelta, para poder realizar el ajuste de La frecuencia de manera más cómoda.

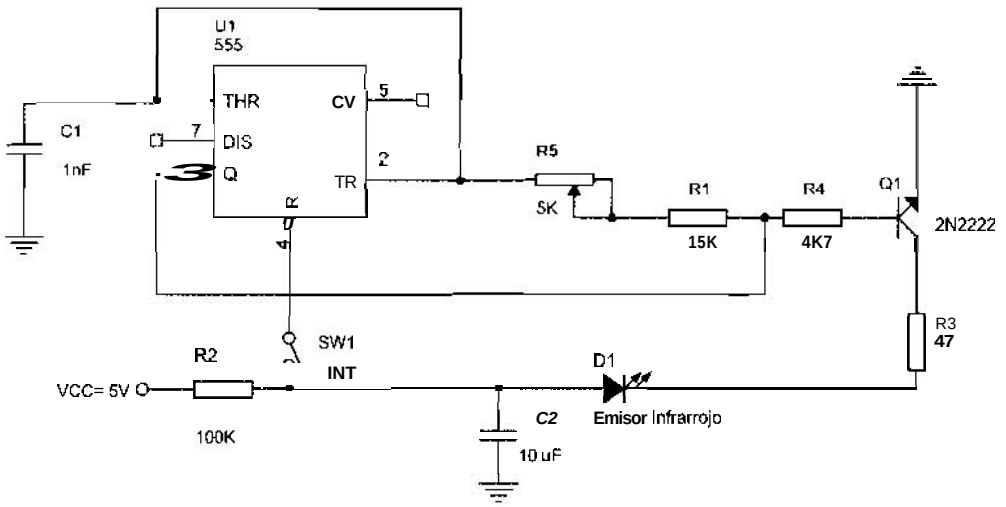


Figura 32-20 Circuito emisor de haz infrarrojo modulado 36-40 kHz

Si se disminuye el valor de la resistencia R3 hasta hacer pasar por un diodo emisor de infrarrojos SFH 4510/SFH 4515 una corriente de 500 mA, se puede llegar a recibir la señal a una distancia de 30 m. El transistor 2N2222 se puede sustituir por un par Darlington BD135 y BC547 utilizado en otros esquemas (por ejemplo en el 32-6).

32.7 SENSOR DE PROXIMIDAD IS471F

El IS471F fabricado por *Sharp Corporation* es un detector de obstáculos infrarrojo que es capaz de detectar cuando se refleja sobre uii objeto el haz que emite un fotodiodo

emisor dc infrarrojos que se le conecta tal y como *se* **muestra** en el circuito de **la** figura 32-23.

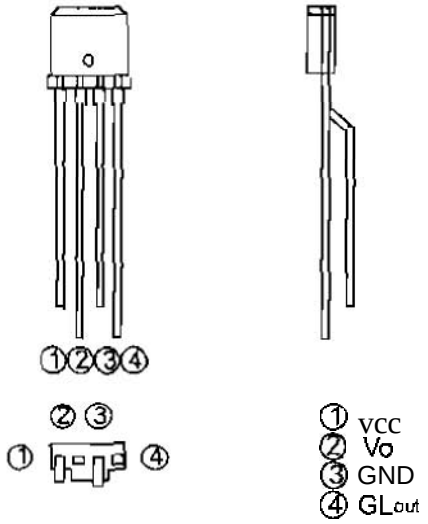


Figura 32-21 Patillaje del IS471F

Estos dispositivos son inmunes a las perturbaciones de luces externas debido al sistema de modulación **de** luz que llevan incorporado. El propio circuito incluye el driver de pulsos y sincronismo, como puede **verse** en el diagrama **de** bloques de la figura 32-22. El circuito detector y emisur tiene un amplio margen dc tensión **de alimentación que** va **desde 4,5a** 16V.

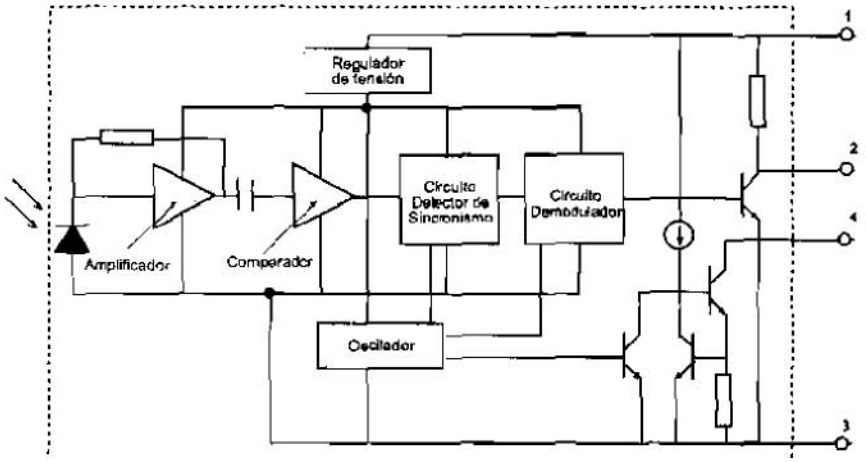


Figura 32-22 Diagrama de bloques del IS471F

El circuito práctico de aplicación que proponemos es el **de la figura 32-23,** con el que se pueden delectar objetos **situados** a una distancia máxima **de** 70 mm sin que **haya** contacto físico **con** los mismos, la distancia puede disminuir dependiendo **del** color del objeto sobre **el** que reflecta **el** haz infrarrojo. Cuando se alimenta el circuito a 5V, en la patilla de salida (V,) aparece un nivel alto con una tensión de 5V **si** no hay ningún objeto próximo. Si se coloca **un** objeto en **el** radio **de** acción del dispositivo, en la patilla de salida se obtienen 0 V y por lo tanto un nivel bajo.

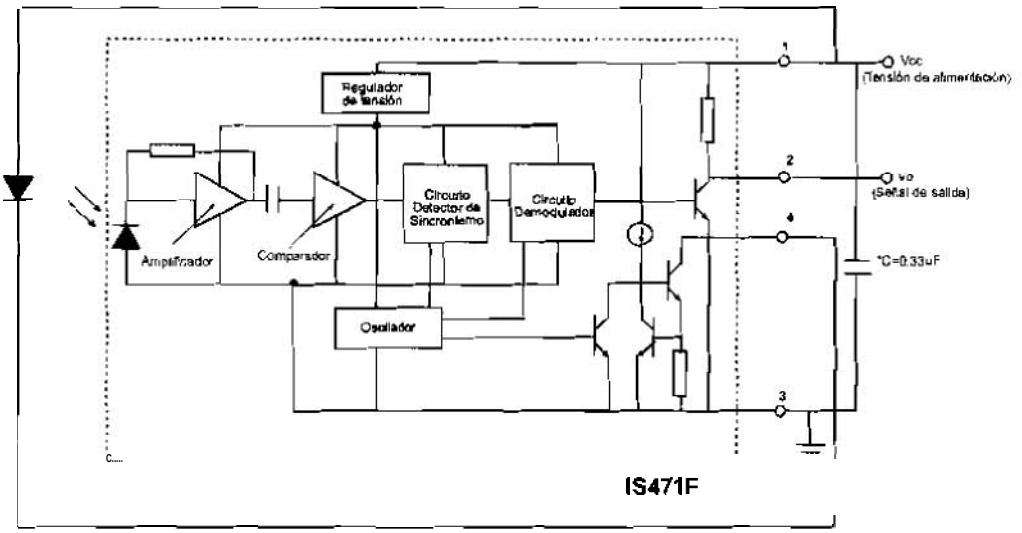


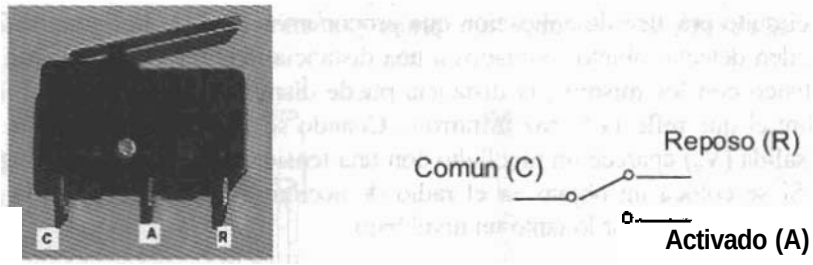
Figura 32-23 Circuito básico de aplicación del IS471F

En este circuito para estabilizar la tensión de alimentación es recomendable conectar un condensador de filtro ≥0.33µF, entre V_{CC} y GND cerca del **dispositivo.**

32.8 BUMPERS

Los detectores de obstáculos mecánicos son unos dispositivos que abren o cierran uno o **varios** circuitos eléctricos. En **el** mercado **existen** innumerables detectores mecáriicos como pueden ser pulsadores, interruptores: sensores dc presión, boyas para control **de** nivel **de** agua, **etc.** Nosotros trataremos de los finales de **carrera** que en la robótica convencional y microrobótica reciben **el** nombre **de *bumpers* (figura *3-23).***

Los bumpers **como puede** verse **en** el diagrama de su representación eléctrica. es un conmutador que cambia de posición al realizar la presión necesaria sobre la lámina de metal que hace **de brazo de** una palanca de primer orden **que** a **su vez** activa un pulsador **que** dispone de un muelle de recuperación. Se comercializan bumpers con diferentes longitudes de lámina según la aplicación a utilizar



Final de carrera **Representación de un final de** carrera

Figura 32-24 Final de carrera de tipo Bumper

Al activar el brazo **de la palanca, el terminal común C realiza un contacto eléctrico con el terminal activado A.** Cuando **no se** activa **la palanca el terminal C** está en **contacto con el** terminal **dc** reposo R.

En temas anteriores se ha **utilizado siempre sistemas antirrebote** software **para** los **pulsadores. Un sistema** antirrebote hardware **se muestra en la figura 32-25, se trata de** un **flip flop** RS **que** presenta **en las salida** Q1 **y** Q2 **unas señales complementarias.** En **el** estado **de reposo** la **salida Q1** tiene **un nivel alto y** la **salida** Q2 **un nivel bajo y al activar el** final *de* **carrera la** salida **Q1 pasará a** tener **un nivel bajo** mientras **que la** salida Q2 **pasará a nivel alto.**

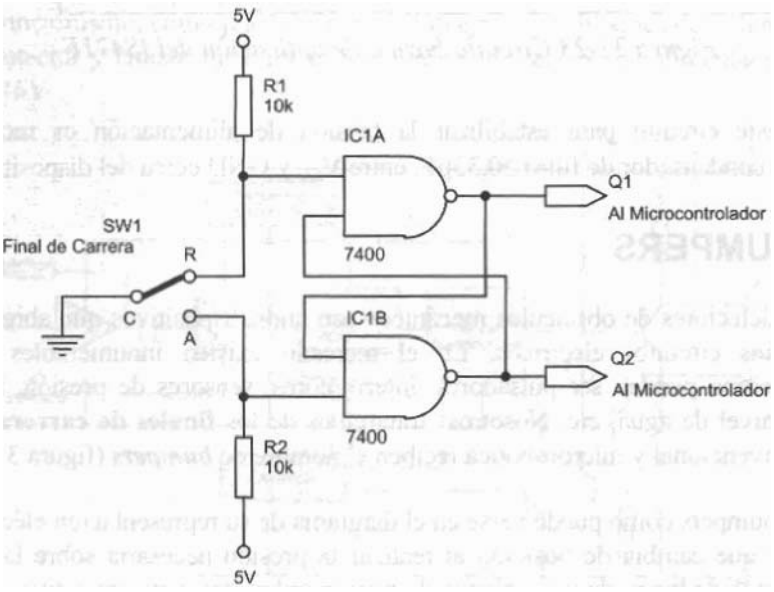


Figura 32-25 Conexión del final de carrera a través de un circuito antirrebote

32.9 DETECTOR POR ULTRASONIDO SRF04

Los ultrasonidos son vibraciones del aire de la misma naturaleza que el sonido, pero de frecuencia superior a los 20 kHz por lo que no son audibles por los seres humanos. Los detectores de obstáculos por ultrasonidos emiten pulsos de ultrasonido mediante un dispositivo transmisor, cuando las ondas ultrasónicas se reflejara sobre algún objeto, a tmvés de una cápsula sensible se captan los pulsos reflejados. El tiempo que tardan en volver los pulsos reflejados es proporcional a la distancia del objeto sobre el que *se* reflejan.

EL SRF04 es un módulo *de* sensores por ultrasonidos, desarrollado por *Devantech Ltd* (www.robot-electronics.co.uk) y comercializado en España por Intplus S.L (www.superrobotica.com), que es capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 3 a 300 cm. De muy pequeño tamaño, el SRF04 destaca por su bajo consumo y gran precisión. Su aspecto físico y conexiones se muestran en la figura 32-26.

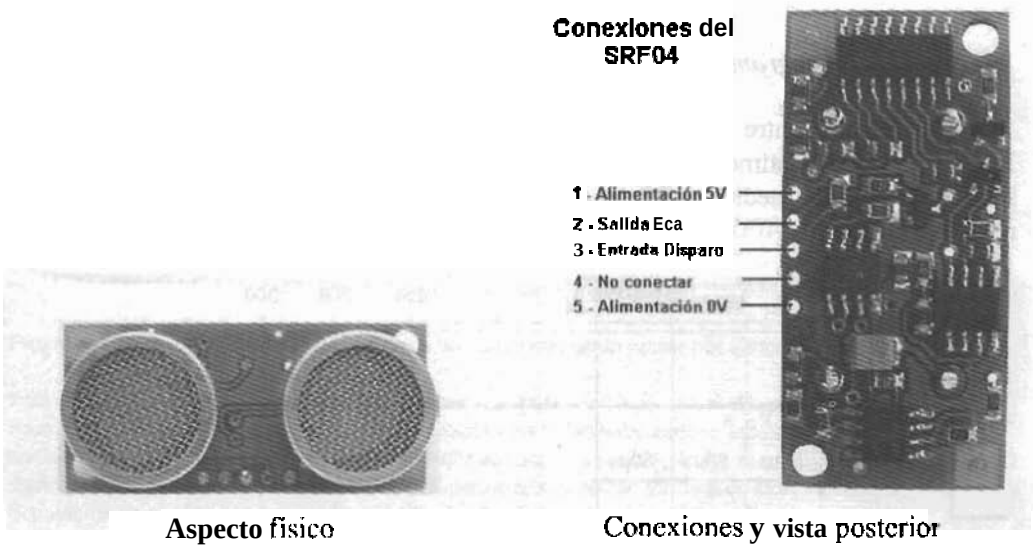


Figura 32-26 Módulo de ultrasonidos SRF04, (cortesía de www.superrobotica.com)

Este sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso dc arranque y medir la anchura del pulso de retorno tal como se muestra en la figura 32-27.

El sensor SRF04 funciona emitiendo impulsos de ultrasonidos. Los impulsos emitidos viajan a la velocidad del sonido hasta alcanzar un objeto, entonces el sonido es reflejado y captado de nuevo por el receptor de ultrasonidos. Lo que hace el controlador incorporado es emitir una ráfaga de impulsos, a continuación empieza a contar el tiempo

que tarda en llegar el *eco*. Este tiempo se traduce en un pulso de eco de anchura proporcional a la distancia a la que se encuentra el objeto.

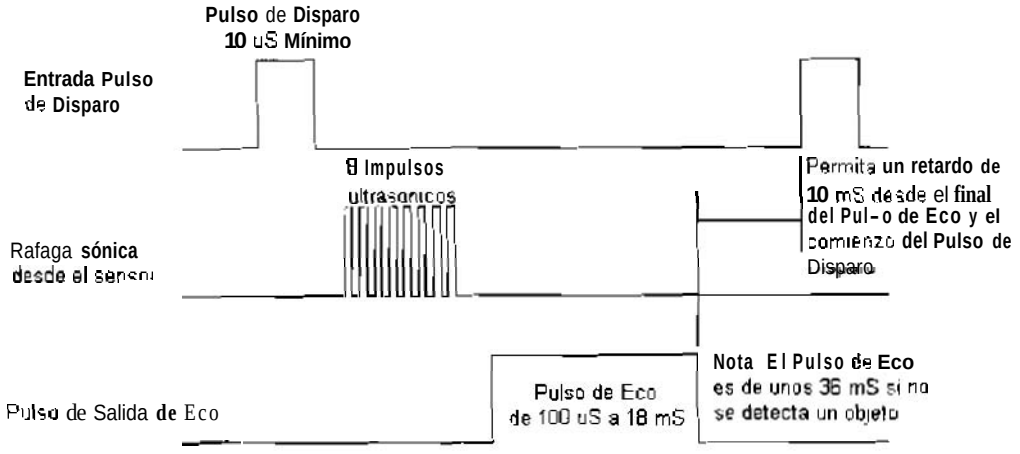


Figura 32-27 Diagramas de tiempos del SRF04, (cortesía de www.superrobotica.com)

La relación entre la distancia medida y el ancho del pulso se muestra en la figura 32-28. Por cada centímetro de distancia la anchura del pulso se incrementa en 60 µs, siendo el rango de medida válido entre 180 µs y 18 ms, correspondientes a 3 y 300 cm respectivamente.

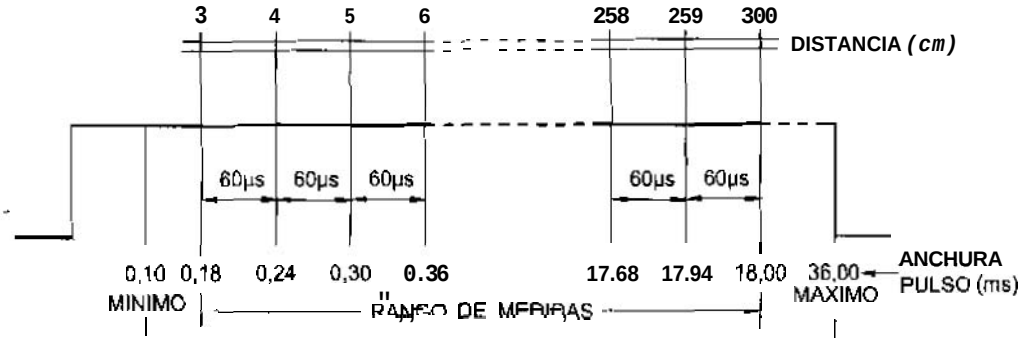


Figura 32-28 Relación entre la distancia medida y la anchura de pulso

Una aplicación típica puede ser un medidor de distancias, como el de la figura 32-29, donde en el display se visualiza la distancia desde el sensor a un objeto.

El programa Sensor_Ultrasonido_01.asm, puede utilizarse para comprobar el funcionamiento del sensor. La técnica de programación consiste en mandar un impulso a nivel alto de disparo con una duración mínima de 10 µs al pin 3 del SRF04 (entrada

disparo). **Después** *se* **lee** el pulso **que** sale por **la patilla de** ECO pin 2 **y se mide su** longitud. que es proporcional al eco recibido.

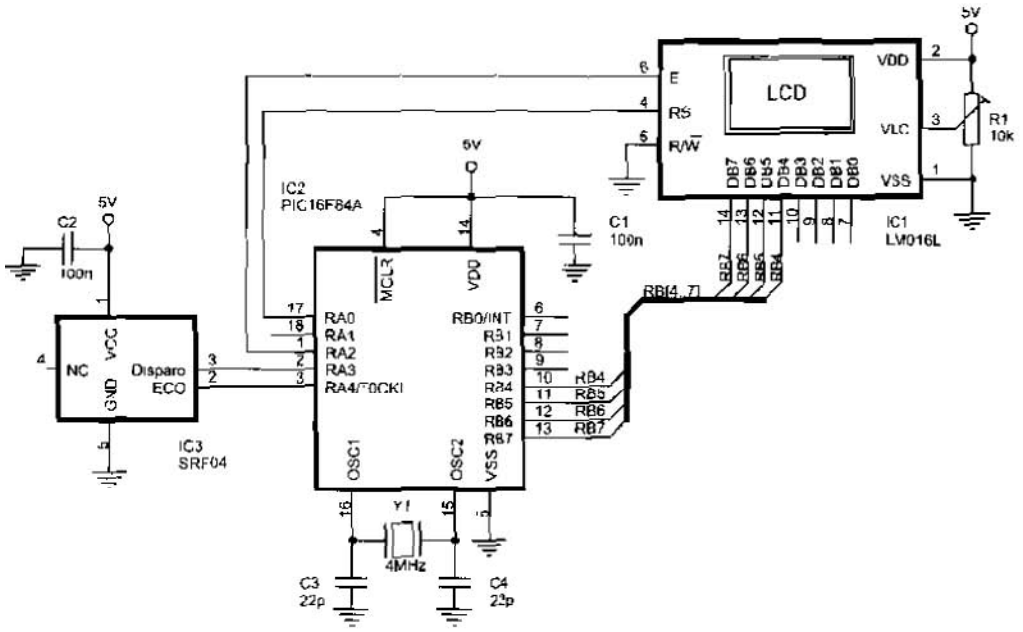


Figura 32-29 Medidor de distancias con SRF04

```
;********************************** Sensor_Ultrasonido_01.asm ***************************

; Programa para un medidor de distancias hasta un objeto utilizando sensor por ultrasonido SRF04.

; Para el control del sensor en primer lugar se genera un pulso de 10 µs a nivel alto por la
; línea RA3 que se conecta a la entrada de disparo del sensor. Seguidamente se espera a que en el
; sensor se ponga un nivel alto en la salida ECO que se conecta a la línea RA4 y se utilizan las
; interrupciones por desbordamiento del Timer 0 para medir el tiempo que está en alto el pulso.
; Seguidamente se visualiza en el módulo LCD el valor de la distancia hasta al objeto expresada en
; centímetros.

; Por cada centímetro de distancia al objeto el SRF04 aumenta 60 µs la anchura del pulso.
; En este programa la distancia mínima es 3 ctn y la máxima 250 cm.

; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

        CBLOCK 0x0C
        Distancia                       ; Se expresará en centímetros.
        ENDC
```

```
#DEFINE Disparo  PORTA,3                ; Disparo para iniciar la medida.
#DEFINE Eco      PORTA,4                ; Pulso cuya anchura hay que medir.

MinimaDistancia   EQU   .3
MaximaDistancia   EQU   .250
TMR0_Carga60micros      EQU   -d'27'    ; Valor obtenido experimentalmente con la
                                        ; ventana Stopwatch para una interrupción del
; Timer 0 cada 60 µs. Si no mide correctamente por las tolerancias de los componentes habrá
; que hacer un ajuste fino de este valor, comprobándolo sobre las condiciones reales.
;
; ZONA DE CÓDIGOS ***************************************************************

        ORG     0
        goto    Inicio
        ORG     4
        goto    ServicioInterrupcion

Mensajes
        addwf   PCL,F
MensajeDistancia
        DT "  Distancia: ", 0x00
MensajeCentimetro
        DT " cm", 0x00
MensajeDistanciaMenor
        DT "Dist. MENOR de:", 0x00
MensajeDistanciaMayor
        DT "Dist. MAYOR de:", 0x00
Inicio
        call    LCD_Inicializa
        bsf     STATUS,RP0
        bcf     Disparo
        bsf     Eco
        movlw   b'00000000'             ; Prescaler de 2 para el TMR0.
        movwf   OPTION_REG
        bcf     STATUS,RP0
        bcf     Disparo                 ; Inicializa línea de disparo en bajo.
Principal
        clrf    Distancia               ; Inicializa el registro.
        bsf     Disparo                 ; Comienza el pulso de disparo.
        call    Retardo_20micros        ; Duración del pulso.
        bcf     Disparo                 ; Final del pulso de disparo.
Espera_Eco_1
        btfss   Eco                     ; Si ECO=0, espera el flanco de subida de la señal
        goto    Espera_Eco_1            ; de salida del censor.
        movlw   TMR0_Carga60micros      ; Ya se ha producido el flanco de subida
        movwf   TMR0                    ; Carga el Timer 0.
        movlw   b'10100000'             ; Autoriza interrupción del TMR0 (T0IE).
        movwf   INTCON
Espera_Eco_0
        btfsc   Eco                     ; Espera flanco de bajada de la señal de la salida
        goto    Espera–Eco–O            ; del SRF04.
        clrf    INTCON                  ; Se ha producido el flanco de bajada. Prohíbe interrup.
        call    Visualiza               ; Visualiza la distancia.
```

```
        call    Retardo_2s              ; Espera un tiempo hasta la próxima medida.
Fin     goto    Principal

; Subrutina "ServicioInterrupcion" ------------------------------------------

; Se ejecuta debido a la petición de interrupción del Timer 0 cada 60 µs que es el incremento
; de la anchura de pulso por centímetro de distancia medido. La variable "Distancia" contiene el
; valor de la distancia expresada en centímetros.

ServicioInterrupcion
        movlw   TMR0_Carga60micros      ; Carga el Timer 0.
        movwf   TMR0
        movlw   .1                      ; Se utiliza instrucción "addwf", en lugar de "incf"
        addwf   Distancia,F             ; para posicionar flag de Carry.
        movlw   MaximaDistancia         ; En caso de desbordamiento carga su máximo valor.
        btfsc   STATUS,C
        movwf   Distancia
        bcf     INTCON,T0IF
        retfie

; Subrutina "Visualiza" -----------------------------------------------------

; Visualiza la distancia expresada en centímetros. Se hace de manera que cuando haya que
; visualizar un número mayor de 99 las decenas siempre se visualicen aunque sean cero.
; Y cuando sea menor de 99 las decenas no se visualicen si es cero.

; Si la distancia es menor de 3 cm o mayor de 250 cm aparece un mensaje de error.

Visualiza
        call    LCD_Borra               ; Borra la pantalla anterior.
        movlw   MinimaDistancia         ; Va a comprobar si es menor del mínimo admisible.
        subwf   Distancia,W             ; (W)=(Distancia)-MinimaDistancia
        btfss   STATUS,C                ; ¿C=1?, ¿(W) positivo?, ¿(Distancia)>=MinimaDistancia?
        goto    DistanciaMenor          ; No ha resultado menor, y salta al mensaje de error.
        movf    Distancia,W             ; Va a comprobar si es mayor del máximo admisible.
        sublw   MaximaDistancia         ; (W)=MaximaDistancia-(Distancia)
        btfsc   STATUS,C                ; ¿C=0?, ¿(W) negativo?, ¿MaximaDistancia<(Distancia)?
        goto    DistanciaFiable         ; No, la medida de la distancia entra dentro del rango.

DistanciaMayor
        movlw   MaximaDistancia         ; La distancia es mayor que el máximo
        movwf   Distancia
        movlw   MensajeDistanciaMayor
        goto    VisualizaDistancia

DistanciaMenor
        movlw   MinimaDistancia         ; La distancia es menor del mínimo fiable.
        movwf   Distancia
        movlw   MensajeDistanciaMenor
        goto    VisualizaDistancia
DistanciaFiable
        movlw   MensajeDistancia
VisualizaDistancia
```

```
        call    LCD_Mensaje
        movlw   .5                      ; Centra la metida de la distancia en la segunda línea
        call    LCD_PosicionLinea2      ; de la pantalla.
        movf    Distancia,W
        call    BIN_a_BCD               ; Lo pasa a BCD.
        movf    BCD_Centenas,W          ; Primero las centenas.
        btfss   STATUS,Z                ; Si son cero no visualiza las centenas.
        goto    VisualizaCentenas
        movf    Distancia,W             ; Vuelve a recuperar este valor.
        call    BIN_a_BCD               ; Lo pasa a BCD.
        call    LCD_Byte                ; Visualiza las decenas y unidades.
        goto    Visualiza_cm
VisualizaCentenas
        call    LCD_Nibble              ; Visualiza las centenas.
        movf    Distancia,W             ; Vuelve a recuperar este valor.
        call    BIN_a_BCD               ; Lo pasa a BCD.
        call    LCD_ByteCompleto        ; Visualiza las decenas (aunque sea cero) y
Visualiza_cm                            ; unidades.
        movlw   MensajeCentimetro
        call    LCD_Mensaje
        return

        INCLUDE <RETARDOS.INC>
        INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
        INCLUDE <LCD_MENS.INC>
        INCLUDE <BIN_BCD.INC>
        END
```

Un sensor con mejor resolución es el SRF08. Se trata de un medidor de distancias por ultrasonidos para robots con conexión I2C. Tiene un alcance de 6 m y un consumo de 35 mA activo y de sólo 3mA en reposo. Gracias a su bus I2C se pueden conectar hasta 16 unidades con sólo dos líneas de entrada y salida, permitiendo montar un completo sonar perimetral en cualquier robot únicamente con dos pines libres, Como valor añadido, incorpora un sensor fotoeléctrico que indica el nivel de iluminación a través también del bus I2C. Su precio es aproximadamente el doble que el del SRF04.

© RA-MA

segunda línea

CAPÍTULO 33

CONSTRUCCIÓN DE UN MICROROBOT

La robótica es una de las aplicaciones más apasionantes de la electranica. Hasta hace poco tiempo había que ser todo un experto para poder adentrarse en esa rama de la electrónica. Hoy en día, gracias al imparable avance de la microelectrónica, no es dificil construir un microrobot, denominado también microbot, qiie es un pequeño robot de investigación que normalmente se controla con un microcontrolador y que está diseñado para realizar tareas concretas.

Para un solido aprendizaje, sc van a desarrollar las explicaciones de este capitulo sobre una aplicación real. Vamos a detallar la construcción de un microrobot experimental, a partir del cual, el lector pueda desarrollar toda sus habilidades manuales y conocimientos de mecánica y electrónica. A este microrobot experimental le llamaremos "Trasto", el lector puede introducir todas las mejoras que sea capaz de idear, poniendo como único límite su imaginación (y presupuesto).

33.1 INTRODUCCIÓN A LA MICROBÓTICA

Al plantear la construcción de un microbot es interesante conocer la clasificación que hace la empresa Microbótica, una de las pioneras en este campo en España. Esta clasificación esta basada en la Torre de Bot o TorreBot (figura 33-11, que tiene seis niveles, cada uno de los cuales diferencia un paso en el diseño y construcción del microrobot. Estos niveles son:

- Nivel físico. Comprende la estructura física, las unidades motoras, y las etapas de potencia. Es posible encontrar desde sistemas sumamente sencillos basados en un único motor hasta estructuras sumamente complejas que buscan emular las capacidades mecánicas de algunos insectos.

- **Nivel de reacción**. Está formado por el conjunto de sensores y los sistemas básicos para su manejo. Estos sensores cubren un amplio margen de posibilidades, así podemos encontrar desde simples bumpers (finales de carrera), hasta microcámaras digitales con sistemas de reconocimiento. Un microbot que haya superado en cuanto a su construcción tanto el **nivel** físico como **el** de reacción, se denomina **microbot reactivo.** Estas unidades trabajan cumpliendo la premisa, "acción-reacción". En este caso los sensores son los propios controladores de las unidades motoras, sin ningún tipo de control intermedio.

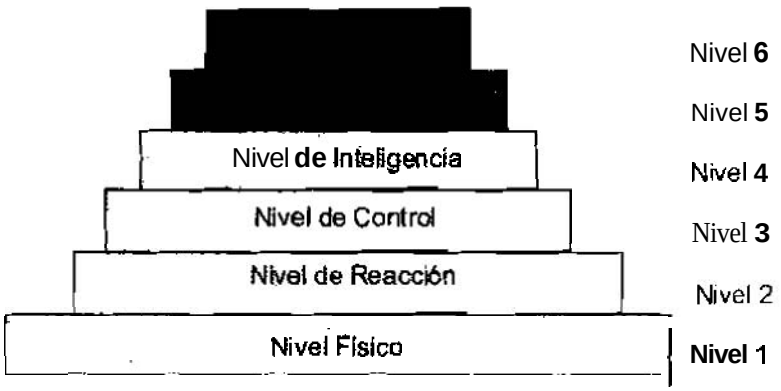


Figura 33-1 Representación de la Torrebot

- **Nivel de control.** Incluye los circuitos más básicos que relacionan las salidas de los sensores con las restantes unidades. Partiendo de una simple lógica digital y llegando hasta potentes microcontroladores buscan dotar al rnicrobot de la capacidad para procesar la información obtenida por los sensores asi como actuar de una manera controlada sobre las unidades motoras.

- **Nivel** de **inteligencia.** Abarca la planificación a largo plazo. En este nivel se introducen los objetivos del microbot que tienen relativa independencia de los sensores. Este es el nivel **más** alto dc inteligencia que puede alcanzar un inicrobot como una utiidad individual.

- **Nivel de comunidad.** Se trata de la puesta en funcionamiento de más de un microbot dentro de un tnismo entorno de forma simultánea y sin que ninguno dc ellos tenga conocimientos explícitos dc la existencia de otros en su mismo entorno. **A** estos recintos se los denomina granjas. Los centros de investigación utilizan las granjas como entornos de observación de los microbot. Dichos establecimientos pueden contar con **sistemas** sofisticados que permitan a un operario monitorizar el comportamiento dc la comunidad asi como alterar las condiciones externas del sistema (agregar obstáculos, cambiar la temperatura, etc.)

- **Nivel de cooperación.** Comprende los sistemas donde **a** partir dc un nivel de comunidad se planifican o programan los microbot para que tengan conocimiento de la existencia de otros, dc manera que posean la capacidad de cooperar para el buen desarrollo de uria tarea. Dentro de este grupo estarian los populares equipo:, de fútbol constituidos por microrobots.

En este capítulo vamos a construir un robot que llegará hasta el nivel dc control.

33.2 NIVEL FÍSICO. MOTORES

Dentro del nivel físico comenzaremos **a** hablar de los motores. A la hora dc elegir un motor para aplicaciones dc microbótica, debemos tener en cuenta que existen varios factores como son la velocidad, el par, el frenado. la inercia y el modo de control. Si lo **que queremos** es utilizar un motor de corriente continua existen **varias** posibilidades en el mercado.

33.2.1 Motores de corriente continua de pequeña potencia

Dentro de la gran variedad de tipos existentes en el mercado los más económicos son los que sc utilizan en algunos juguetes. Tienen el inconveniente dc que su número de revoluciones por minuto es muy elevado y su par es pequeño, lo que no los hace muy apropiados para la construcción de un microbot si no se utilizan reductoras adicionales o un sistema dc regulación electrónico.

33.2.2 Motores de corriente continua con reductoras

En los juguetes como *Mecano* y *Lego* podemos encontrar motores con reductoras o la posibilidad de construirlos. También podemos encontrar en el mercado motores con reductores, que además de disminuir la velocidad le dan **más** par, lo que permite mover el microbot con su estructura y batería que proporcionalmente pesa mucho. Las fotografías dc algunos dc estos motores se muestran en las figuras de la tabla 33-1.

33.2.3 Servomotores

En microbótica se suelen utilizar los mismos servomotores que en modelismo y radiocontrol. Sc trata de unos motores con un circuito electronico. como los que sc han estudiado en el capitulo 31.

Estos servomotores cumplen las características que los hacen idóneos para la construcción dc nuestro microbot, como un buen par de salida, **potencia** suficiente para trasladar objetos o uno batería, baja inercia, capacidad de niovcr 3,5 Kg x cm, incluyen multitud de accesorios para poder fijar las ruedas del microbot y son fäciles de fijar a una

estructura plana al ir dentro de una carcasa de plástico rectangular con soportes para fijar los tornillos. De hecho la opción que hemos elegido para la construcción de nuestro microbot "Trasto" ha sido utilizar estos servomotores como elementos motrices.

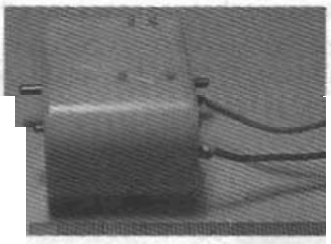
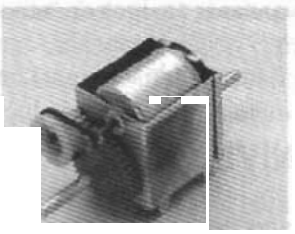
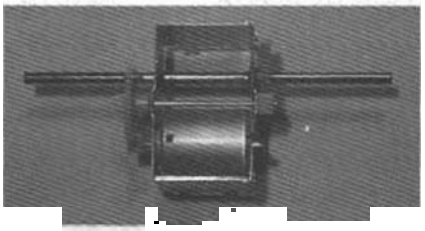
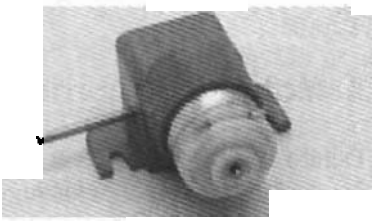
 *Motor* reductor dc relación 194:1 con doble eje ϕ 2,4x6 mm, tensión de trabajo 1,5V–12V	 Motor con reductor dc relación 17:1 con doble eje de ϕ 4x20 mm, tensión de trabajo 1,5-12 V
 Motor reductor de relación 23:1 con doble eje ϕ 4x40 mm, tensión de trabajo 1,5 V a 12 V	 Motor reductor de relación 10:1 con doble eje de ϕ 2x20 mm, tensión de trabajo 1,5V-4,s V

Tabla 33-1 Tipos de motores de c.c. comerciales con reductoras

Pata poder utilizarlo en nuestra aplicación, un servomotor debe ser "trucado" para que el eje del motor pueda girar los 360 ° ya que normalmente giran entre hasta 180" ó 270°, dependiendo de los fabricantes.

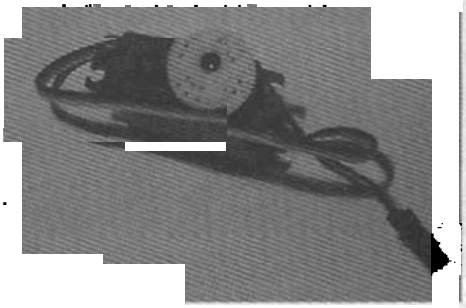
33.2.4 Modificación de un servomotor

El "trucar" los servomotores los hará inservibles para su use en las aplicaciones típicas *dc* radiocontrol, ya que se convertirá en un motor de corriente continua con una caja reductora, pero desde luego para nuestro fin no tiene ningún problema.

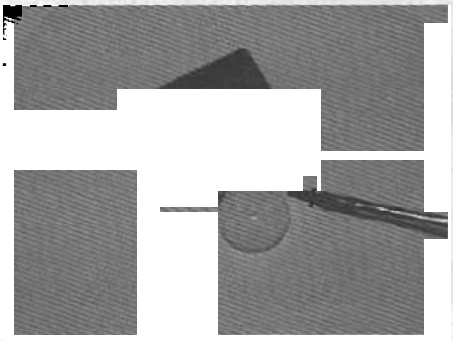
Seguidamente se muestran los pasos a seguir para convertir los servomotores en motores de corriente continua con una caja reductora. La mayor parte de los servomotores son similares, nosotros vamos a modificar el modelo HS-300B de la marca Hitec que es muy similar al Futaba S3003.

©RA-MA

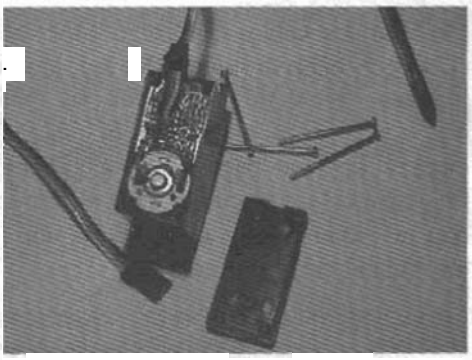
Los servomotores de origen son capaces de girar como mucho entre 180º y 270º, como es requerido en las aplicaciones para las que están pensados inicialmente. Esta restricción viene impuesta por unos topes mecánicos que limitan el giro a 180º y un circuito electrónico. Si eliminamos las dos cosas podemos conseguir el giro de 360º y, por lo tanto, que se comporte como un motor de DC con caja reductora



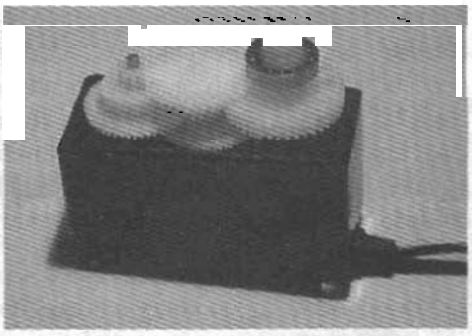
Quitar el tornillo que sujeta el soporte de la rueda tractora unida solidariamente al eje, que es estriado, por lo que habrá que sacarla después a presión.



Sacar los cuatro tomillos de la tapa posterior. Al levantarla, se puede ver un circuito electrónico que en nuestro caso está metido a presión, para poder quitarlo hay que extraer el tornillo que sujeta el eje del potenciómetro por la parte de los engranajes que están en la cara opuesta a la que hemos abierto.



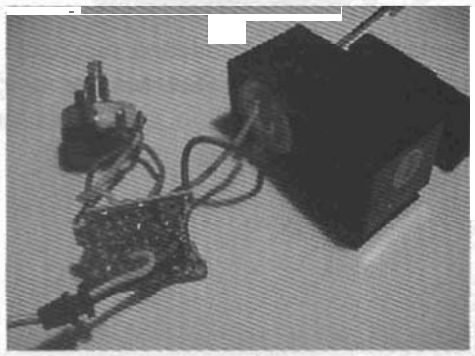
En esta figura se aprecian los engranajes de la etapa reductora cuya misión es reducir la velocidad del motor y dar mayor potencia y par de arranque al sistema



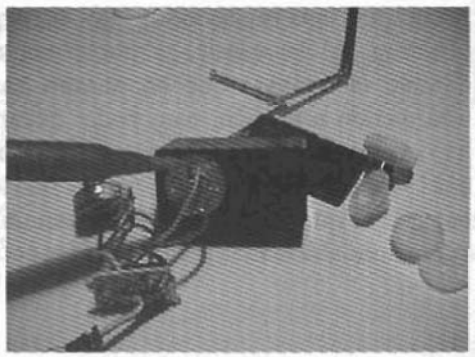
Desmontar las ruedan dentadas, teniendo mucho cuidado de no perder ninguna de ellas, prestar atención al pequeño eje que hay entre las ruedas intermedias, en algunos modelos de servomotores es móvil, en nuestro caso está fijado a la carcasa. Con ayuda de unos alicates de punta plana quitar ahora la tuerca que sujeta el potenciómetro.



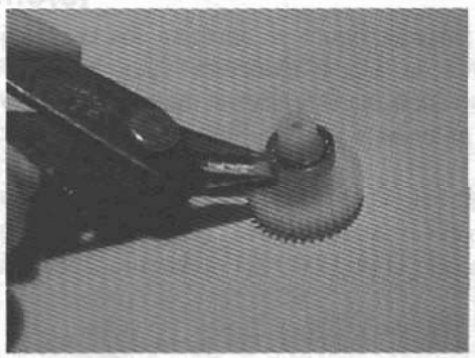
Proceder a desmontar la placa del circuito impreso y el potenciómetro ayudándose con un destornillador para hacer un poco de palanca.



Desoldar los cables que están conectados al motor para desprenderlo del circuito impreso. Hacer lo mismo con los cables que conectan el exterior a la placa del circuito impreso para poder reutilizarlos. Seguidamente conectar el rojo al terminal con el punto rojo y el negro al otro, el tercer cable no se utiliza.



Ahora eliminar el limitador mecánico, que consiste en una pestaña de la rueda dentada. para ello utilizar unos alicates de corte tal y como se muestra en la figura. Usar una lima pequeña si hay que eliminar algunos restos de la pestaña. Tener mucho cuidado para no romper la rueda porque el servomotro se volvería inservible.



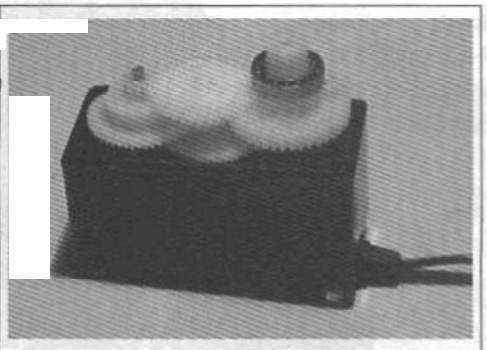
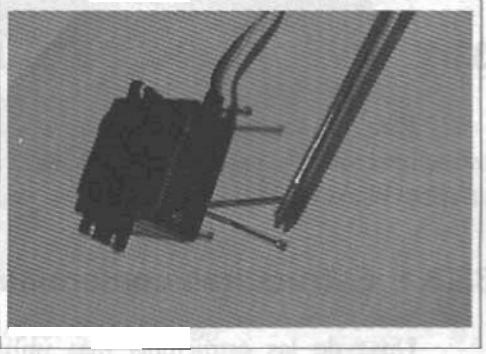
Volver a montar las ruedas dentadas de la caja reductora, fijándose en la figura para no confundirse, y tener mucho cuidado de no forzar ninguno de los engranajes, de manera que no puedan deteriorarse. La tapa superior deberá entrar sin forzarla. en nuestro caso hay que tener cuidado con el eje de las ruedas superior e inferior que está en la propia carcasa.	
Atornillar nuevamenre la tapa inferior, es aconsejable hacer antes un nudo en los cables del motor y dejar el nudo en el interior para que proteja las soldaduras en el caso de tirar del cable.	

Tabla 33-2 Secuencia paro transformar un servomotor en motor DC con caja reductora

En todo este procesa, el momento más delicado es la eliminación de la pestaña de la rueda dentada ya que si no se hace con sumo ciiidado la rueda se ptiede partir, caso que ocurre muy frecuentemente. Si aún con todos los avisos que se le estamos dando. rompe la rueda, se puede intentar pegar con un pegamento de contacto. En cstc punto. es conveniente informar de que estas ruedas dentadas también se pueden comprar por separado en tiendas de modelismo y radiocontrol.

Pues bien, ya tenemos uno de los motores preparados para nuestro microbot, deberemos hacer lo mismo con el otro para tener la pareja necesaria.

33.2.5 Fijación del motor a la estructura

Para fijar el motor a la estructura de nuestro microbot, que describiremos en el próximo apartado, tan sólo tendremos que conseguir unas escuadras con unos taladros, o hacerlas nosotros mismos con un trozo de aluminio y la ayuda de un tornillo de banco.

Si se utiliza cualquiera de los otros tipos de motores de corriente continua que se han mostrado la fijación al chasis puede ser más o menos compleja. Si el motor tiene una carcasa redonda, que es lo normal. se puede utilizar una grapa de las utilizadas para fijar el tubo de las instalaciones eléctricas de superficie, tal como se muestra en la figura 33-2.



Figura 33-2 Fijación de un motor a una estructura plana

33.3 NIVEL FÍSICO. ESTRUCTURA

Para la construcción de nuestro microbot podemos utilizar muchos tipos de estructuras, que dependerán de la función que queramos realizar, no es lo mismo diseñar un robot bípedo que un rastreador a un hexápodo.

33.3.1 Estructuras comerciales

Unas de las estructuras más utilizadas es la de los juegos educacionales de construcción tipo *Lego, Mecano o Eitech,* interesantes por su flexibilidad. Para un diseño un poco más profesional se pueden utilizar las estructura de los *Fischer Technik* que fueron diseñadas originariamente para aplicaciones técnicas tanto estáticas como de estructuras mecánicas con movimiento (figura 33-3).

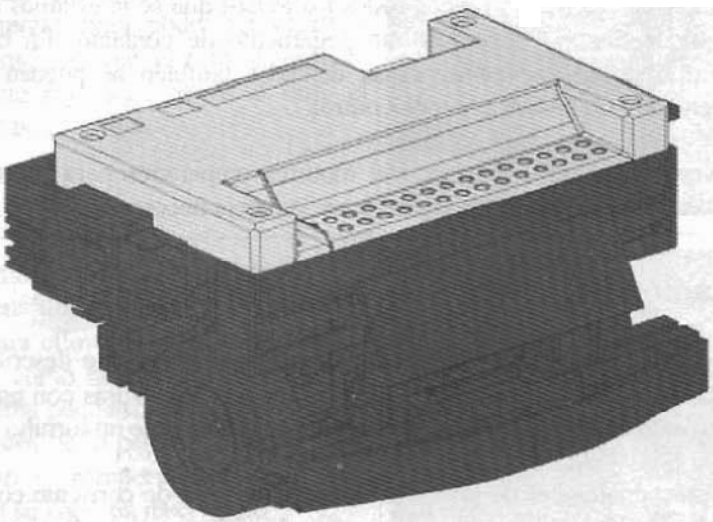


Figura 33-3 Estructura Fischer Technik, (cortesía de Métodos y Sistemas S.L.)

Un ejemplo de estructura realizada con un *Mecano* es el caso del microrobot Pivot-1 de la empresa *Microsystems Engineering*. En la foto que se muestra en la Figura 334, donde podemos ver cómo sus diseñadores han integrado hábilmente la placa de circuito impreso de control en la estructura mecánica y justamente debajo de él se encuentra alojada una batería de plomo de 12V y 0,8 mA/h.

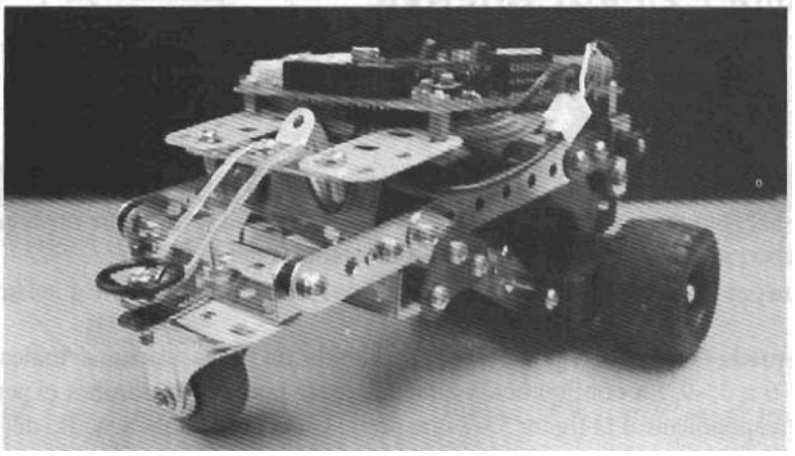


Figura 33-4 Microbot Pivot-1 modificado

33.3.2 Estructura del microrobot experimental "Trasto"

Para el caso de nuestro microbot, que no debe salvar obstáculos y que sed un microbot experimental de bajo coste, podemos utilizar una estructura más sencilla, como por ejemplo un trozo de metacrilato, poliestireno, PVC, placa de circuito impreso o incluso puede servirnos la caja de plástico de un *Compact Discs*.

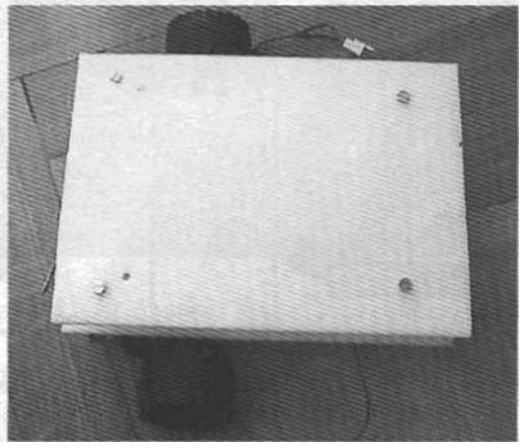


Figura 33-5 Estructura del microbot "Trasto"

En nuestro caso vamos a **utilizar** dos placas de poliestireno blanco dc 180 x 13,5 mm, pero pueden utilizarse otras medidas. Se utilizan dos placas para poder poner las baterías en el piso inferior y el circuito de control de los motores y sensores en el **superior** (figura 33-5).

33.4 NIVEL FÍSICO. RUEDAS

33.4.1 Estructuras segun la colocación de las ruedas

Los microbots utilizan dos tipos de ruedas:

- Ruedas motrices o de tracción, que están conectadas al motor mediante un eje y deben ser Capaces de adaptarse a los obstáculos del terreno.
- Ruedas "locas". que deben ser capaces de rodar y pivotar sobre si mismas.

La ruedas se pueden colocar según alguna de las estructuras indicadas en las figuras 33-6 a 33-9. La configuración adoptada para nuestro microrobot experimental ha sido la correspondiente a la figura *33-7* que permite un control más sencillo del sistema.

ESTRUCTURADE COCHE
Tracción y dirección **en das** ruedas

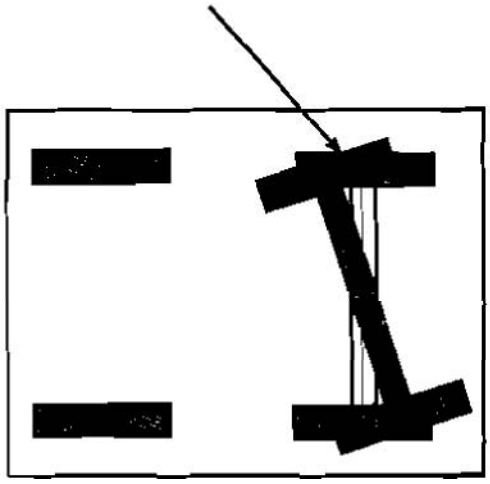


Figura 33-6 Estructura tipo coche

ESTRUCTURA DE NUESTRO MICROBOT

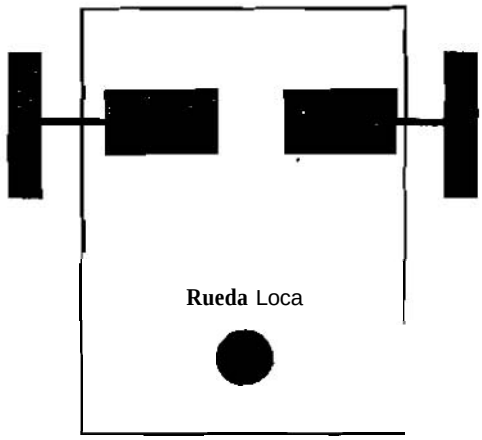


Figura 33-7 Para microbot Trasto

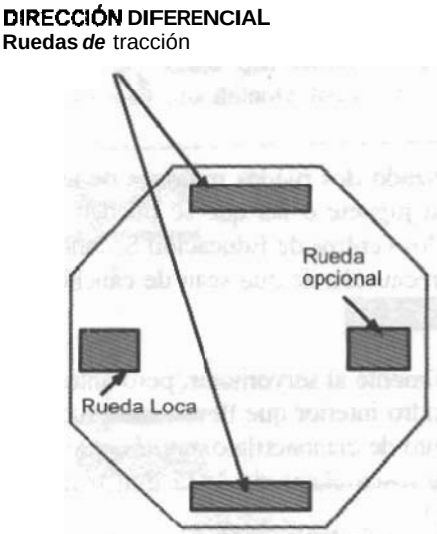


Figura 33-8 Con *dirección diferencial*

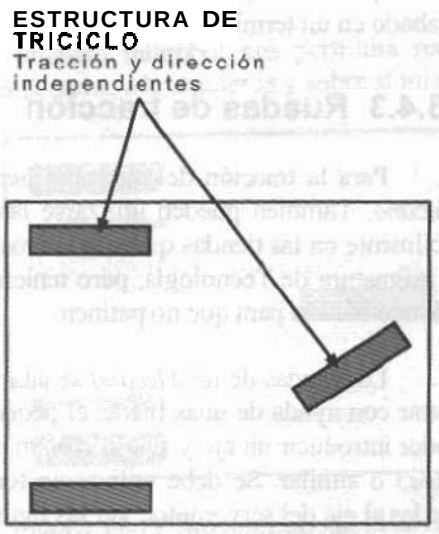


Figura 33-9 Estructura de triciclo

33.4.2 Ruedas "locas"

Las ruedas "locas" deben ser capaces de d a r y pivotar sobre si mismas con un movimiento lo más suave posible para no dificultar la rotación del microbot, de lo contrario es posible que se bloquee y patine.

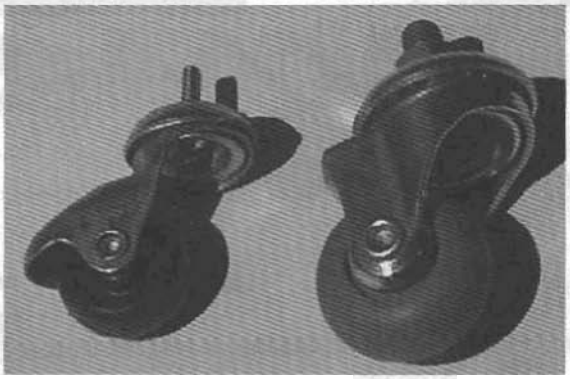


Figura 33-10 Ruedas "locas" con rodamientos

Las soluciones para este tipo de d a s pueden ser muchas. Nosotros hemos optada por las de la figura 33-10. que son ruedas que giran libremente sobre su eje gracias a una pequeña plataforma con rodamientos, las podemos encontrar fácilmente en cualquier ferretería, además hay un gran surtido de ellas en lo referente a tamaños. Otra

opción podría ser utilizar la bola de un *roll-on* de desodorante, a la que se le adapta un eje acabado en un terminal para fijarla a la estructura.

33.4.3 Ruedas de tracción

Para la tracción del microbot hemos utilizado dos ruedas motrices de un juguete *Mecano*. También pueden utilizarse las de otro juguete o las que se pueden encontrar fácilmente en las tiendas que venden material a los centros de Educación Secundaria para la asignatura de Tecnología, pero teniendo la precaución de que sean de caucho o de un plástico blando para que no patinen.

Las ruedas de un *Mecano* se adaptan fácilmente al servomotor, pero antes hay que cortar con ayuda de unas tijeras el pequeño cilindro interior que llevan estas ruedas, para poder introducir un eje y fijarlo con un pegamento de cianoacrilato, tipo *Loctite* de *Super Glue3* o similar. Se debe utilizar un tornillo de rosca chapa de 3x25 mm para fijar las ruedas al eje del servomotor, ver las figuras 33-11.

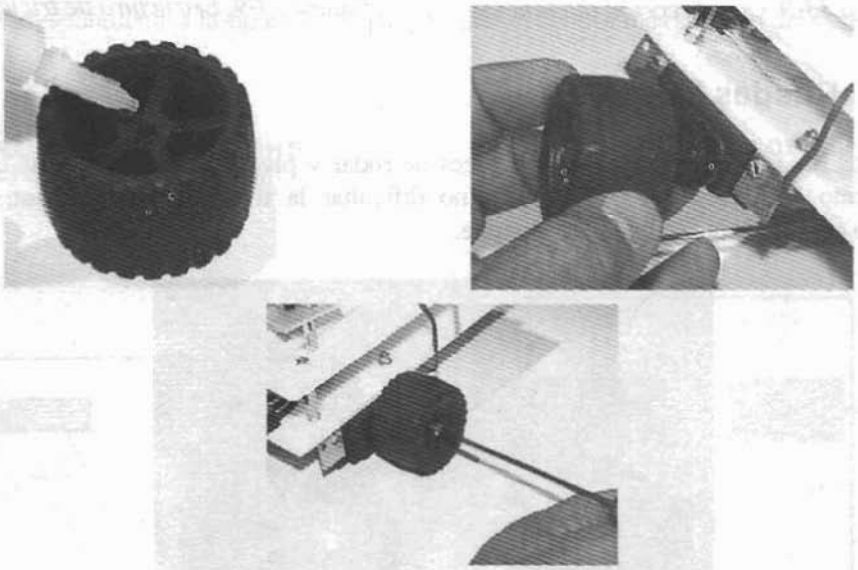


Figura 33-11 Secuencia de fijación de una rueda al servomotor

Las mejores ruedas pueden comprarse en tiendas de modelismo, que son ruedas de aire y neopreno, ideales para esta aplicación, pero suelen ser bastante más caras.

33.5 NIVEL FÍSICO. MOVILIDAD

La estructura que hemos elegido para nuestro microbot nos permitirá realizar tnovimientos hacia delante, hacia atrás, giro a la derecha, a la izquierda y sobre si mismo.

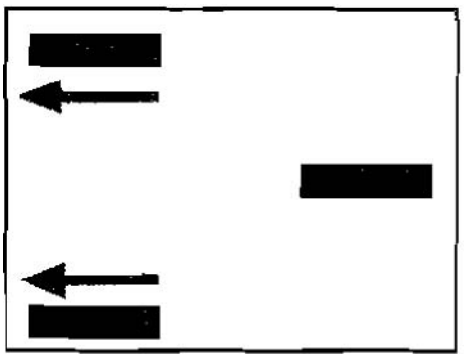


Figura 33-12 Movimiento hacia delante

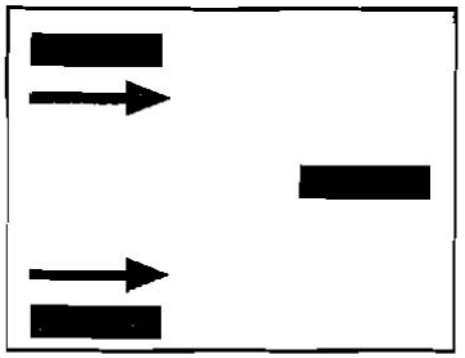


Figura 33-13 Movimiento hacia atrás

En la figura 33-12 se muestra como se realiza un movimiento hacia delante. Se hacen girar los dos motores en la misma dirección hacia delante, esto provoca un movimiento rectilíneo, suponiendo que los dos motores sean exactamente iguales.

La figura 33-13 representa la forma de realizar el movimiento hacia atrás. Se hacen girar los dos motores en la misma dirección hacia atrás, esto provoca un movimiento rectilíneo, suponiendo que los dos motores sean exactamente iguales.

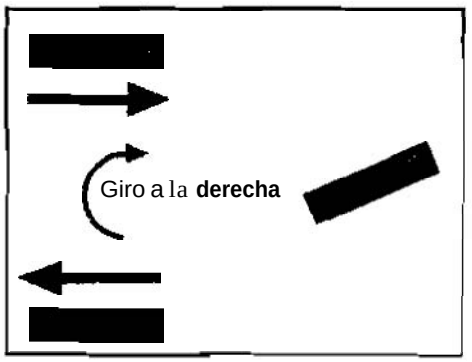


Figura 33-14 Giro en sentido horario

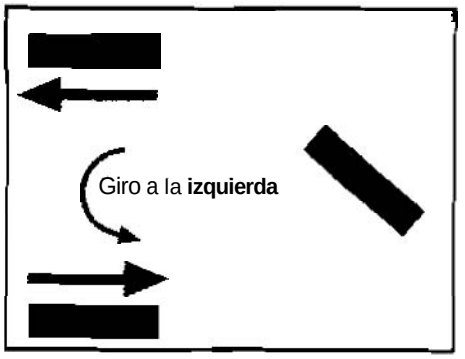


Figura 33-15 Giro a la izquierda

Por su parte la figura 33-14 muestra la forma de realizar un movimiento de giro a la derecha. Se hace girar el motor izquierdo hacia adelante y el motor de la derecha hacia atrás. Esto provoca un movimiento de giro a la derecha de la estructura.

La figura 33-15 indica cómo realizar un movimiento de giro hacia la izquierda. Se hace girar el motor izquierda hacia atrás y el motor de la derecha hacia delante, esto provoca un movimiento de giro a la izquierda de la estructura.

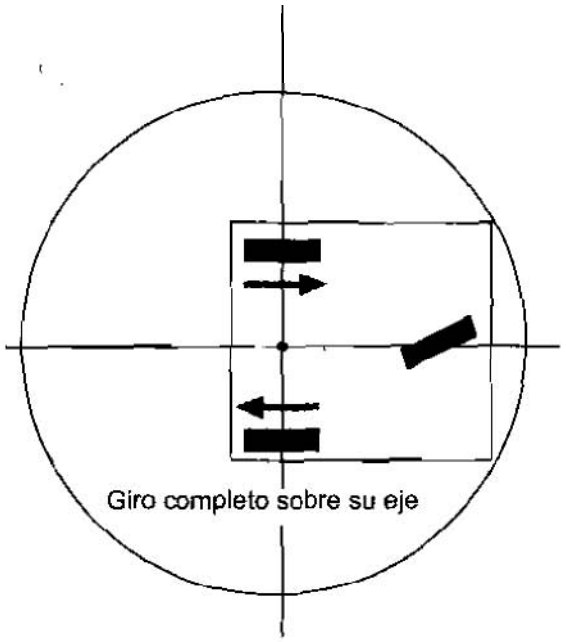


Figura 33-16 Movimiento de giro sobre su propio eje

El movimiento de giro completo sobre su propio eje abarca una superficie muy grande que no hace la estructura muy adecuada para moverse en recintos muy pequeños (figura 33-16) como podría ser el caso de movimientos en pruebas de laberintos.

33.6 NIVEL DE REACCIÓN

Como decíamos al principio de este capítulo, este nivel esta formado por los sistemas electrónicos y sensoriales básicos para su control. Vamos a realizar seguidamente un sistema de control para construir un microbot reactivo, gobernado por el microcontrolador PIC16F84A, que sea capaz de seguir una línea negra sobre un fondo blanco. A este tipo de microbots se los denomina rastreadores y probablemente son los más sencillos para introducirse en el mundo de la microrobótica.

La figura 33-17 muestra el circuito eléctrico donde se aprecia que los sensores utilizados son infrarrojos reflexivos del tipo CNY70, descritos en el capítulo anterior. Para controlar los motores utilizamos el driver L293B explicado en el capítulo 29.

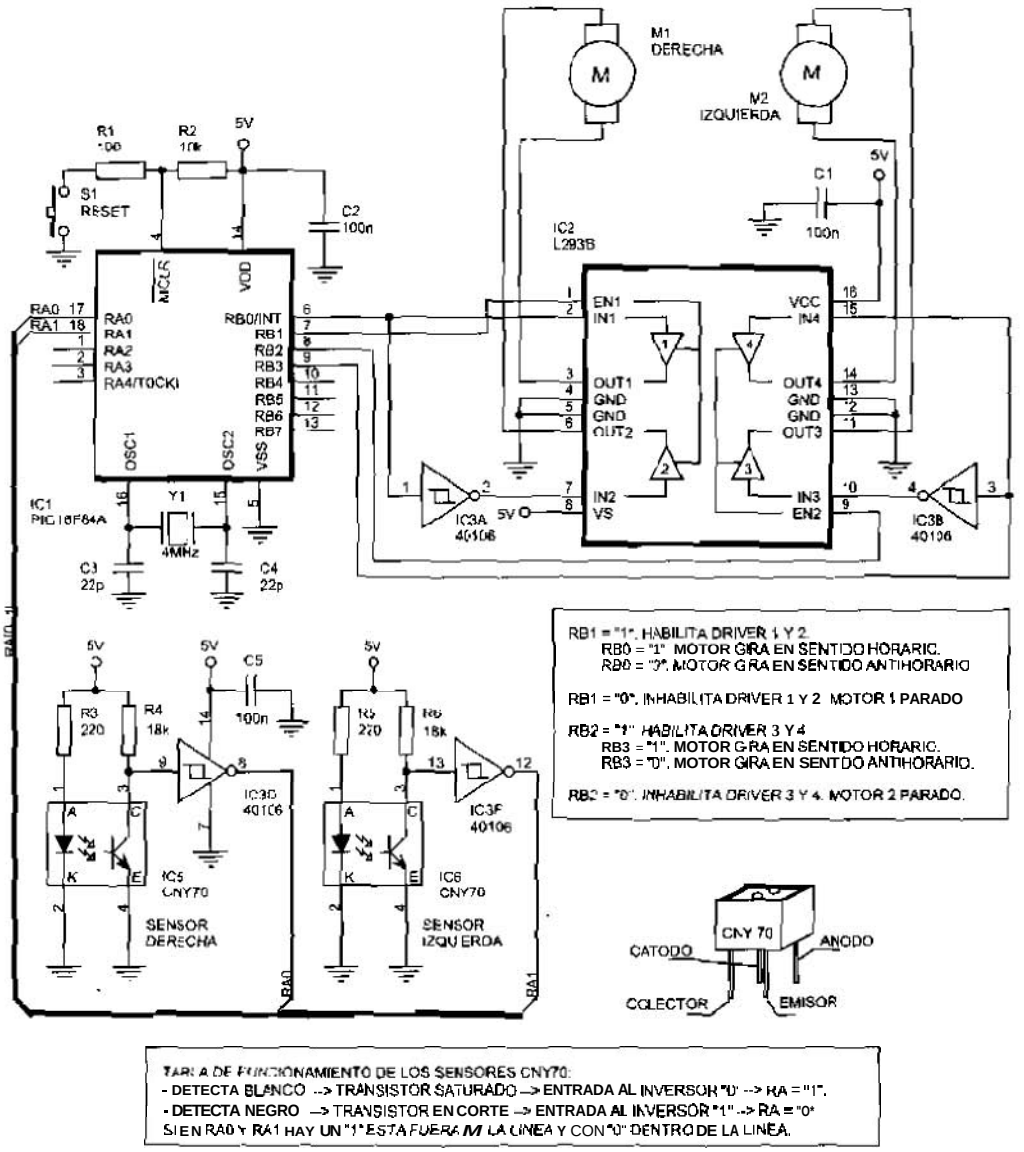


Figura 33-17 Circuito eléctrico del Microbot "TRASTO"

Para fijar los sensores hemos utilizado una cinta adhesiva por las dos caras, de fácil adquisición en una ferretería. En la Figura 33-18 se aprecia la forma de fijarlos.

Para poder conformar las señales de los sensores CNY70 a la entrada del microcontrolador hemos utilizado puertas inversoras Trigger Schmitt, que además, tienen la ventaja de que en el mismo chip 40106 nos encontramos con seis inversores. El

funcionamiento y la descripción de estos dispositivos se explicaron en el capítulo anterior. Como puede apreciarse en el circuito de la figura 33-17:

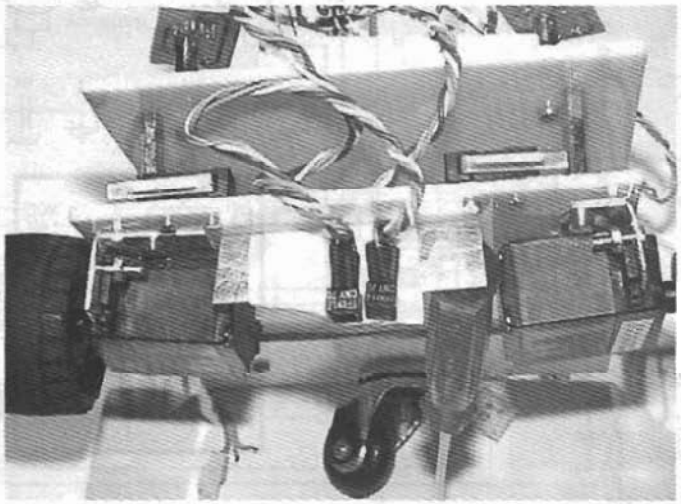


Figura 33-18 Fijación de los sensores CNY70 a la estructura del microbot Trasto

- Cuando un sensor detecta el fondo blanco, a la entrada de la línea del PORTA al que está conectado le llega un "1".
- Cuando un sensor está sobre la línea negra, a la entrada de la línea del PORTA al que está conectado le llega un "0".

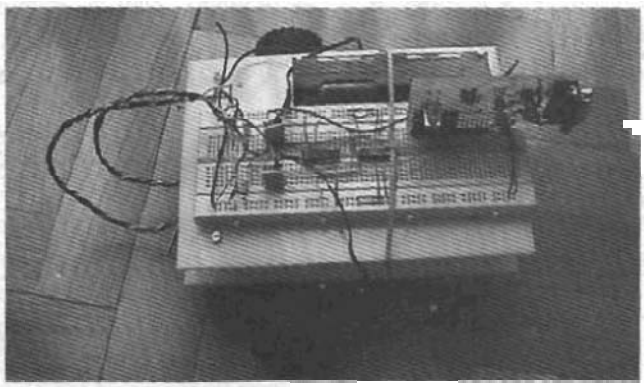


Figura 33-19 Vista lateral del microbot Trasto

Al L293B le hemos conectado los dos motores que necesita el microbot:

- El motor derecho se encuentra conectado a los drivers 1 y 2 que están controlados por las líneas RB0 y RB1 del microcontrolador.

- El motor izquierdo se encuentra conectado a los drivers 3 y 4, que a su vez están controlados por las líneas KB2 y RB3 del microcontrolador.

El modo de funcionamiento de los motores se muestra en las tablas 33-3 y 33-4.

Salidas PIC16F84A		Entradas Driver			Salidas Driver		Motor Derecho
RB1	RB0	EN1	IN1	IN2	OUT1	OUT2	
0	0	0	0	1	0	0	No gira
1	1	1	1	0	1	0	Gira en sentido avance
1	0	1	0	1	0	1	Gira en sentido retroceso

Tabla 33-3 Control del motor derecho

Salidas PIC16F84A		Entradas Driver			Salidas Driver		Motor Izquierdo
RB2	RB3	EN2	IN4	IN3	OUT4	OUT3	
0	0	0	0	1	0	0	No gira
1	1	1	1	0	1	0	Gira en sentido avance
1	0	1	0	1	0	1	Gira en sentido retroceso

Tabla 33-4 Control del motor izquierdo

En caso que al montarlo el motor le gire en sentido contrario, lo único que tiene que hacer es invertir sus conexiones. La fotografía de la figura 33-19 muestra el aspecto que presenta el microbot "Trasto" con el circuito implementado.

33.7 NIVEL DE CONTROL

33.7.1 Estrategia a seguir para un microbot rastreador

Antes de realizar el programa debemos fijar la estrategia que debe seguir el microbot, ya sea para que se comporte como un robot rastreador o para cualquier otra función. De esta manera podremos fijar el algoritmo de control.

En principio parece razonable pensar en cualquiera de las siguientes estrategias a la hora de diseñar el algoritmo de funcionamiento:

- **Primer Algoritmo**. Dependiendo de la posición de los sensores podemos hacer que el microbot tome las decisiones mostradas en la figura 33-20. En este dibujo los cuadrados de la derecha e Izquierda indican lectura del sensor correspondiente: si es blanco indica que detecta fondo blanco y si es negro que encuentra encima de la línea negra.

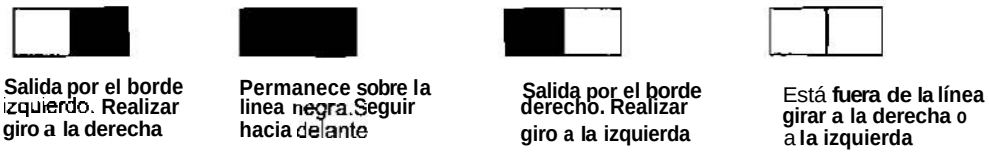


Figura 33-20 Decisiones a tomar según el primer algoritmo

Analizando este algoritmo **detenidamente** se **puede** comprobar **que** no **es** lo **suficientemente** bueno, **puesto que** el seguimiento **de** la **linea** depende **de** la imprecisión del **camino** seguido **por** el microbot, **es decir, depende** de la anchura **de la pista.** Esto **puede** ocasionar **retrasos en el recorrido,** cabeceos **no** deseados o incluso **que** llegue a **perderse.**

- **Segundo Algoritmo. En este** caso, **dependiendo** de la posición donde **se** encuentra **el** microbot sobre la línea, **decidimos** seguir uno de los **bordes,** en **nuestro caso el borde** derecho, **es** decir, **la detección de** negro-blanco **respectivamente por los** sensores **colocados** a la derecha y a la **izquierda tal** y **como** se **muestra en** la **figura 33-21.**



***Figura** 33-21 Decisiones a tomar según el segundo algoritmo*

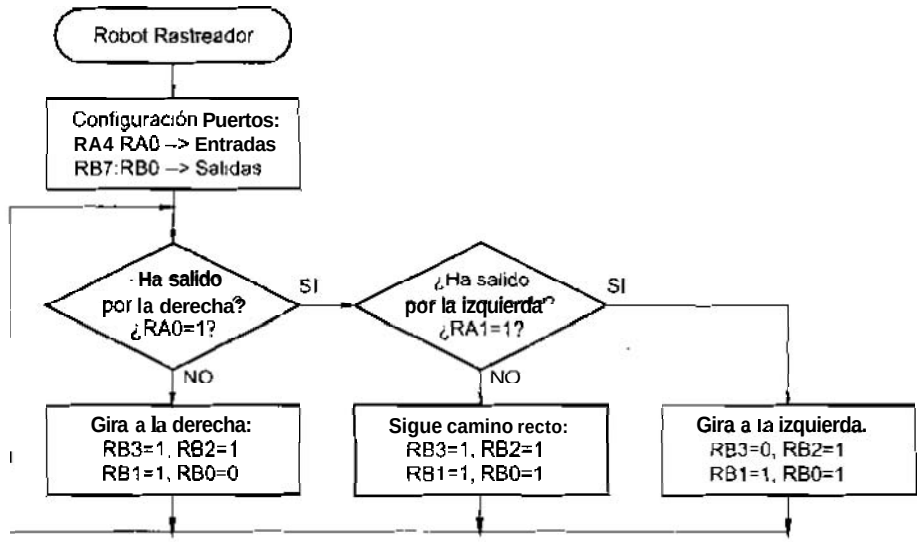


***Figura** 33-22 Diagrama de flujo del programa del microrobot rastreador*

33.7.2 Programa del rastreador

El programa que realiza el segundo algoritmo del rastreador se muestra a continuación, es fácil deducir su funcionamiento si hemos seguido los razonamientos y se entiende el organigrama de la figura 33-22.

```
;********************************** Robot_Rastreador_01.asm ******************************
;
; Programa de control para el microbot TRASTO, el cual se desplaza siguiendo una línea negra
; marcada sobre fondo blanco a modo de pista.
; Los sensores ópticos de reflexión CNY70 están situados en la parte delantera inferior del
; microbot: El sensor de la derecha está conectado a RA0 y el sensor de la izquierda a RA1.
;
; El programa adopta la estrategia de seguir la línea por el borde derecho:
;  - Si detecta que está en el borde derecho: sensor izquierdo sobre negro y derecho sobre
;    blanco sigue en hacia delante.
;  - Si el sensor de la derecha detecta línea negra gira hacia la derecha buscando el borde,
;    independientementede como esté el sensor de la izquierda.
;  - Si el microbot tiene los dos sensores fuera de la línea, se le hace girar a la izquierda
;    hasta que vuelva a encontrarla.
;
; La señal de los sensores CNY70 se aplican a las entradas del microcontrolador a través de un
; inversor 40106 de manera tal, que para color:
;  - Color Blanco --> transistor saturado --> entrada al inversor "0" --> RAx = "1"
;    (No está encima de la línea negra, se ha salido de la pista)
;  - Calor Negro  --> transistor en corte --> entrada al inversor "1" --> RAx = "0".
;    (Está encima de la línea negra. está dentro de la pista)
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

#DEFINE SensorDerecha    PORTA,0        ; Sensor optico Derecho.
#DEFINE SensorIzquierda  PORTA,1        ; Sensor óptico Izquierdo.

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0              ; Selecciona Banco 1 de registros.
        bsf     SensorDerecha           ; Estas líneas se configuran como entrada.
        bsf     SensorIzquierda
        clrf    PORTB                   , Las líneas del Puerto B se configuran como salidas.
        bcf     STATUS,RP0              ; Selecciona Banco 0 de registros.
Principal
        movlw   b'00001110'             ; Para girar a la derecha.
        btfss   SensorDerecha           ; ¿Ha salido por la derecha?, ¿detecta blanco?
        goto    ActivaSalida            ; NO, el detector derecho está encima de la línea
                                        ; negra, gira a la derecha.
        movlw   b'00000111'             ; Para girar a la izquierda.
        btfss   SensorIzquierda         ; ¿Ha salido también por la izquierda?
```

```
        movlw   b'00001111'             ; No, está en el borde derecho. Sigue recto.
ActivaSalida
        movwf   PORTB
        goto    Principal

        END
```

33.7.3 Estrategia a seguir para un robot detector de baliza

Nuestro microbot **"Trasto"** en este caso debed detectar una señal infrarroja modulada a 38 kHz que emite un circuito como **el** de la figura **32-20** (capitulo 32) y dirigirse hacia ella.

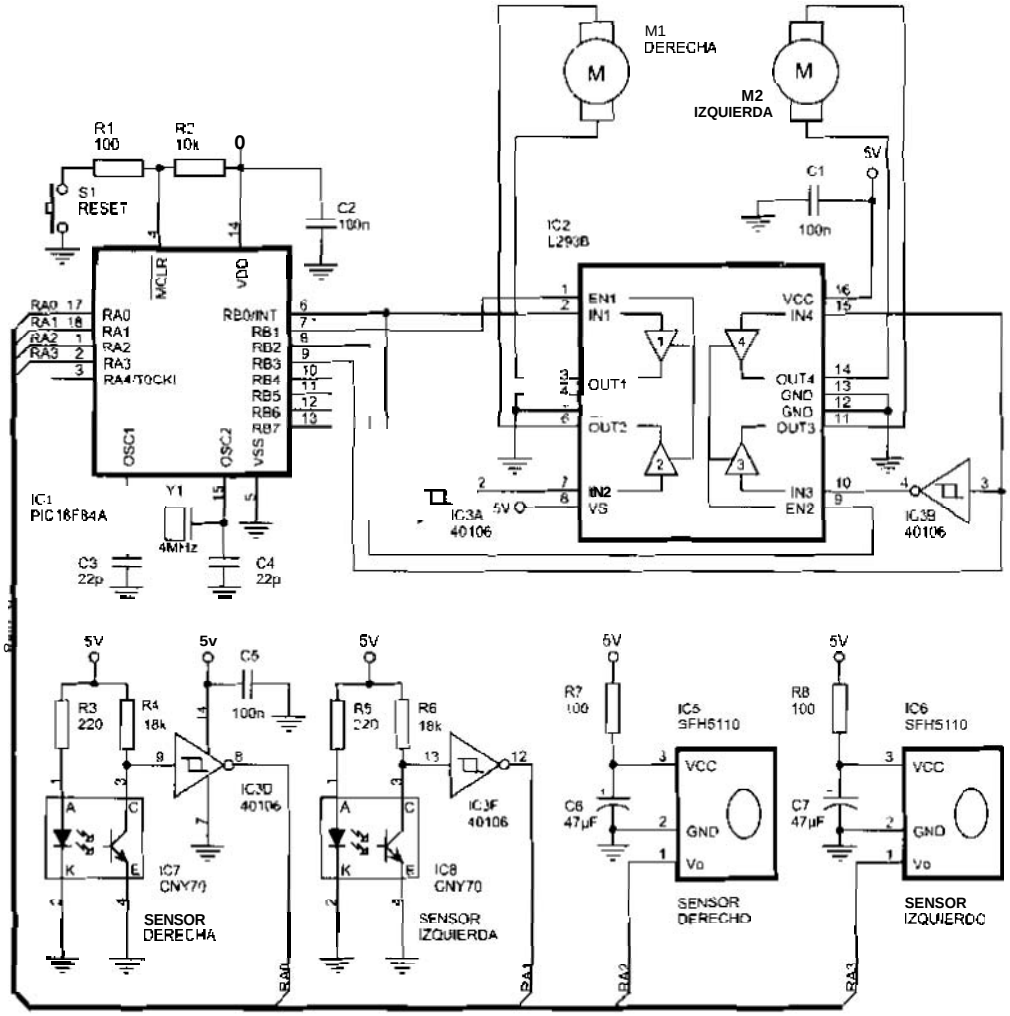


Figura 33-73 Esquema del microbot Trasto **con** *los sensores de infrarrojos*

Para conseguirlo añadiremos en el frontal de nuestro microbut dos **sensores** del tipo SFH5110-38 montados como detector de señal infrarroja, según se indicaba **en la** figura 32-19, y que denominaremos SensorDerecho y SensorIzquierdo, rcspcctivamcntc. El **esquema** completo **es** el que **se** muestra en la figura 33-23.

La estrategia que vamos a seguir es la siguiente. Si los **dos** sensores **detectan** la señal de la baliza el rnicrobot deberá desplazarse cn línea recta **y por lo tanto,** las dos ruedas deberán **de** girar en sentido de avance. En caso contrario se comprueba **si sólo el** SensorIzquierdo detecta la señal infrarroja, en caso afirmativo el microbot deberá girar a **la izquierda** hasta que el SensorDerecha detecte la señal, por lo que la rueda derecha girará en sentido dc avance y la izquierda en sentido de retroceso. Por el contrario, si SensorIzquierdo no detecta el haz infrarrojo modulado se comprueba si lo hacc el SensorDerecho, en caso afirmativo el robot gira a la derecha. haciendo girar la rueda izquierda en sentido **de** avance y la derecha en sentido de retroceso, **hasta** que SensorIzquierda detecte la señal infrarroja. Se repite el ciclo de forma continua. La figura 33-24 **aclara** los movimientos que seguid cl microbot.

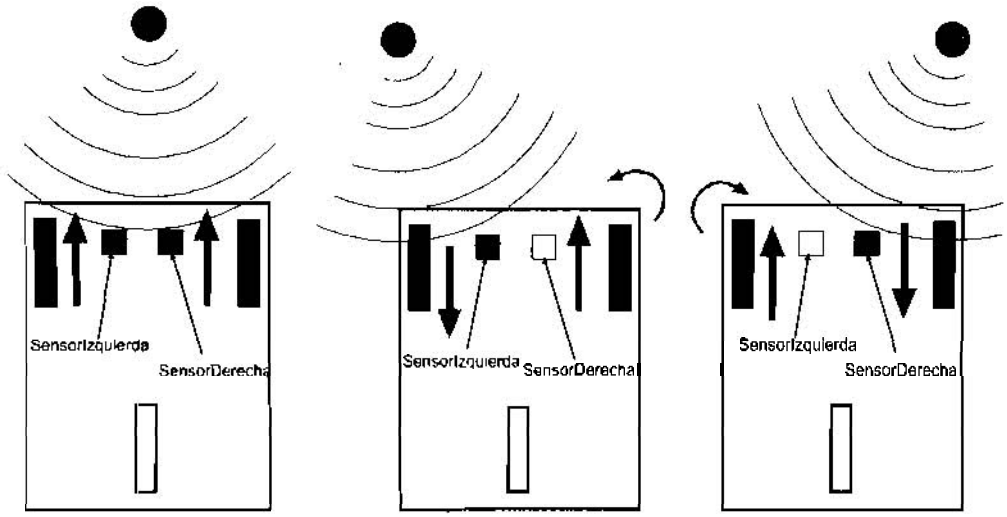


Figura 22-24 Estrategia u seguir para llegar a la baliza

33.7.4 Programa de robot detector de baliza

Si se han seguido los razonamientos del apartado anterior se comprenderá fácilmente **el** programa Robot–Baliza_01.asm.

```
;********************************** Robot_Baliza_01.asm ********************************
;
; Programa de control para Microbot TRASTO el cual detecta una baliza que genera
; una señal infrarroja modulada a 38 kHz.
```

```
; Los sensores ópticos SFH5110 están situados en la parte frontal del microbot:
; El sensor de la derecha está conectado a RA2 y el sensor de la izquierda a RA3.

; Cuando el sensor SFH5110 detecta luz infrarroja modulada, proporciona un nivel bajo en su
; línea de salida.

; El programa adopta la estrategia siguiente:
;   - Si no se detecta la baliza por ningún sensor el microbot gira siempre a la derecha.
;   - Si los dos sensores detectan portadora el microbot avanza hacia adelante.
;   - Si se detecta portadora en el sensor de la izquierda y no en el de la derecha el
;     microbot gira a la izquierda hasta que los dos sensores detecten la baliza.
;   - S: se detecta portadora en el sensor de la derecha y no en el de la izquierda el
;     microbot gira a la derecha hasta que los dos sensores detecten la baliza.
;
; ZONA DE DATOS ***************************************************************

        __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
        LIST      P=16F84A
        INCLUDE <P16F84A.INC>

#DEFINE SensorDerecha     PORTA,2        ; Sensor Derecho.
#DEFINE SensorIzquierda   PORTA,3        ; Sensor Izquierdo.

; ZONA DE CÓDIGOS *************************************************************

        ORG     0
Inicio
        bsf     STATUS,RP0               ; Selecciona Banco 1 de registros.
        bsf     SensorDerecha            ; Estas líneas se configuran como entrada.
        bsf     SensorIzquierda
        clrf    PORTB                    ; Las líneas del Puerto B se configuran como salidas.
        bcf     STATUS,RP0               ; Selecciona Banco 0 de registros.
Principal
        btfsc   SensorDerecha            ; ¿Ha detectado señal por la derecha?
        goto    Ver_Izquierda            ; No recibe por la derecha.
        btfsc   SensorIzquierda          ; Sí, ¿también señal por la izquierda?
        goto    GiroDerecha              ; No, solo señal por la derecha, gira a derecha.
        movlw   b'00001111'              ; Sí, recibe por los dos sensores. Sigue recto.
        goto    ActivaSalida
Ver_Izquierda
        btfsc   SensorIzquierda          ; Por la derecha no recibe. ¿Y por la izquierda?
        goto    GiroDerecha              ; Tampoco, ni por la derecha ni por la izquierda.
GiroIzquierda
        movlw   b'00000111'              ; Gira a la izquierda.
        goto    ActivaSalida
GiroDerecha
        movlw   b'00001110'              ; Gira a la derecha.
ActivaSalida
        movwf   PORTB
        goto    Principal

        END
```

APÉNDICE A

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PIC16F84A

CARACTERÍSTICAS DE LA CPU RISC

- La arquitectura **de** la CPU **es** del tipo Harvard.
- **El** set de instrucciones tiene 35 instrucciones de una sola palabra.
- Todas las instrucciones duran un ciclo máquina, **excepto** las de salto **que** duran dos.
- Velocidad de operación:
  - DC 20 MHz, para **la** frecuencia del reloj de entrada.
  - **DC** – 200 ns, para la duración del ciclo máquina.
- Frecuencia máxima de funcionamiento de 4 MHz (PIC16F84A-04) **6** 20 MHz (PIC16F84A-20).
- Memoria de programa tipo Flash de 1024 posiciones.
- Memoria RAM de datos de 68 bytes.
- Memoria EEPROM **de datos** de 64 bytes.
- Instrucciones con **una** longitud de 14 bits.
- Los datos tienen una longitud de 1 byte **(8** bits)
- Dispone de 15 **registros de funciones especiales.**
- **La** pila **tiene 8** niveles **de** profundidad.
- Dispone de cuatro fuentes de interrupción, las cuales pueden **ser** habilitadas o deshabilitadas independientemente por software:
  - Externa **por el** pin RB0/INT.
  - Por desbordamiento del Timer 0.
  - Por cambio en las líneas PORTB <7:4>
  - Por finalización de escritura de la memoria EEPROM de datos.

ENCAPSULADO DIL-18

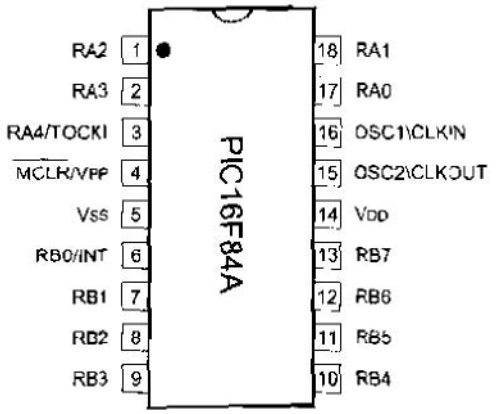


***Figura** A-1 Microcontrolador PIC16F84A*

CARACTERÍSTICAS DE LOS PERIFÉRICOS

- Dispone de 13 líneas de entrada/ salida con control individual de dirección.
- Alta capacidad dc corriente por terminal. Proporciona suficiente corriente para gobernar un LED:
  - Consume 25 mA por pin cuando está a nivel bajo.
  - Proporciona 20 mA por pin cuando está a nivel alto.
- Dispone de un Temporizador/Contador de S bits (TMRO) con división de frecuencia programable.

CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DEL MICROCONTROLADOR

- La memoria Flash de programas admite hasta 1.000 ciclos de borrado y escritura.
- La memoria EEPROM de datos admite hasta 1.000.000 de ciclos dc borrado y escritura.
- Garantiza una retención de datos para la memoria EEPROM de datos superior a los 40 años.
- Se puede programar en el circuito vía sene mediante dos pines, ICSP *(In Circuit Serial Programming)*
- *Power-On Reset* (POR), *Power-Up Timer* (PWRT), *Oscillator Start-Up Timer* (OST)
- Dispone de un temporizador Watchdog (WDT) con su propio oscilador RC para un funcionamiento fiable.
- Protección de código de programa mediante la activación de un bit de protección.
- Modo de bajo consumo *SLEEP*.
- Tipo de oscilador seleccionable.

ARQUITECTURA INTERNA

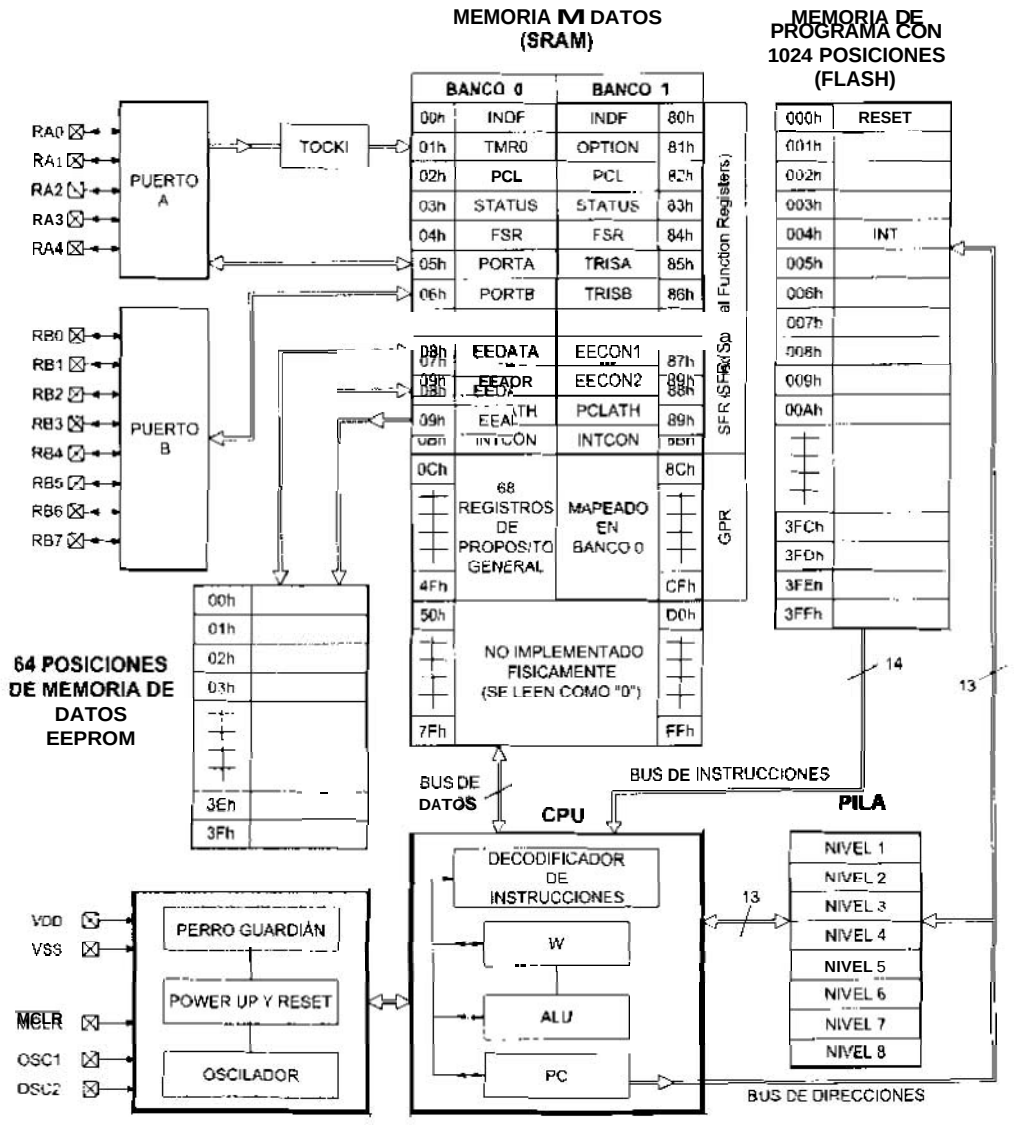


Figura A-2 Arquitectura interna del PIC16F844

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS MÁXIMAS ADMISIBLES

- Tensión de cualquier pin respecto **de** V_{SS} **(excepto** V_{DD}, MCLR y RA4) .....-0.3 **V** a (V_D,+0. 3V)
- Tensión en V_{DD} rcspccto de V_{SS} .....-0,3 a +7,5V
- Tensión en MCLR respecto de V_{SS} ..... -0,3 a +14V

- Tensión **en RA4 rcspectn** de V_{SS} ..... -0,3 a +8,5V
- **Potencia** de disipación total ..... 800 mW
- Máxima corriente por el pin V_{SS} ..... 150 mA
- Máxima corriente por el pin V_{DD} ..... 100 mA
- Máxima **corriente** de salida en bajo por cualquier pin I/O ..... *25* mA
- Máxima corriente de salida en alto por cualquier pin I/O ..... 20 mA
- Máxima corriente de salida eti bajo por el conjunto del Puerto **A** ..... 80 mA
- Máxima corriente **de** sal ida **en** alto por el conjunto del Puerto **A** ..... 50 mA
- Maxima corriente dc salida en bajo por el conjunto del Puerto B ..... *150* mA
- Máxima corriente dc salida en **alto** por el conjunto del **Puerto** A ..... 100 mA

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS PIC16F84A

Símbolo	Característica	Min	Típ	Max	Unid	Condiciones
V_{DD}	Tensión de alimentación	4,0	---	5,5	V	Configuraciones XT,RC y LP.
I_{DD}	Corriente de alimentación		1,8 3	4,5 10	mA mA	Configuración RC y XT: FOSC=4MHz, VDD=5,5V FOSC=4MHz, VDD=5,5V (Durante programación de la Flash)
I_{PD}	Consumo en standby	---	1,0	14	µA	Watchdog inhabilitado.
V_{IL}	Tensión de entrada en bajo Puertos I/O: - con buffer TTL - con buffer Trigger Schmitt MCLR, RA4/T0CKI	 V_{SS} V_{SS} V_{SS}	 -- -- --	 0,8 0,2 V_{DD} 0,2 V_{DD}	 V V V	4,5V ≤ V_{DD} ≤ 5,5V
V_{IH}	Tensión de entrada en alto Puertos I/O: - con buffer TTL - con buffer Trigger Schmitt MCLR, RA4/T0CKI	 2,0 0,8 V_{DD} 0,8 V_{DD}	 -- -- --	 0,8 V_{DD} 0,8 V_{DD} 0,8 V_{DD}	 V V V	4,5V ≤ V_{DD} ≤ 5,5V
I_{IL}	Corriente de entrada en bajo Puertos I/O MCLR, RA4/T0CKI	 -- --	 -- --	 +1 ±5	 µA µA	V_{DD} ≤ V_{PIN} ≤ V_{DD}
V_{OL}	Tensión de salida en bajo Puertos I/O	 --	 --	 0,6	 V	I_{OL} = 8,5 mA, V_{DD} = 4,5 V
V_{OH}	Tensión de salida en alto Puertos I/O	 V_{DD}-0,7	 --	 --	 V	I_{OH} = - 3 mA, V_{DD} = 4,5 V
V_{OD}	Tensión drenador abierto alto Pin RA4	 --	 --	 8,5	 V	
E_D T_{DEW}	Memoria EEPROM de datos: Duración Tiempo de ciclo escritura	 1M --	 10M 4	 -- 8	 E/W ms	25ºC a 5 V
E_P T_{PEW}	Memoria Flash de programa Duración Tiempo de ciclo escritura	 100 --	 1000 4	 -- 8	 E/W ms	

-0,3 a +8,5V
.....800 mW
.....150 mA
.....100 mA
.....25 mA
.....20 mA
.....80 mA
.....50 mA
.....150 mA
.....100 mA

iones
T,RC y LP.
y XT: D=5,5V D–5,5V ción de la Flash)
ado.
5V
o
= 4,5 V
- 4,5 V

APÉNDICE B

REPERTORIO DE INSTRUCCIONES

El PIC16F84 está compuesto por una CPU de tipo RISC con un juego de 35 instrucciones. En los 14 bits que forman las instrucciones máquina del PIC se incluyen el código de operación propiamente dicho y los operandos, en caso de que haya. Las 35 instrucciones de que consta este microcontrolador son las que se muestran clasificadas en la Tabla B-t.

La nomenclatura que utilizan estas instrucciones es la siguiente:

- En las instrucciones la letra f representa un registro y d representa el destino:
  - Si d es "0" el resultado de la operación se sitúa en el registro de trabajo W.
  - Si d es "1" el resultado se sitia en el mismo registro f.
- En las instrucciones que manejan bits, b representa en binario la posición (0-7) del bit deseado dentro del byte, f representa el byte o registro. El bit 0 es sietripre el bit de tnenor peso.
- En las instrucciones con literales y de control k representa una constante o literal que según los casos puede ser de 8 u 11 bits.

Las 35 instrucciones del PIC16F84 cumplen las caracteristicas de un procesador RISC, que no sólo supone tener un juego de instrucciones reducido sino que, además, sus instrucciones cumplen las siguientes caracteristicas:

- **Las instrucciones son simples** y **rápidas.** Todas las instnicciones tienen un tiempo de ejecución de un ciclo máquina (4 ciclos de reloj) a excepción de las dc salto, que tienen un tiempo de ejecución de 2 ciclos máquina.
- **Las instrucciones son ortogonales.** Casi todas las instrucciones pueden utilizar cualquier operando.

- **La longitud de las instrucciones y los datos es constante.** Todas las instrucciones **tienen** una longitud dc 14 **bits** y **los datos** una **longitud de** 1 **byte.**

DESCRIPCIÓN DE LOS CODIGOS UTILIZADOS

f	Dirección **del** registro (de 0x00 hasta 0x7F)
W	Registro de trabajo.
b	Posición de un bit dentro de un registro de Y bits
k	Literal, dato constante o etiqueta
x	Valor indeterminado que puede **ser "0"** o "**1**"
d	Destino seleccionado: si **d** = *0*, **el resultado** se **guarda** en **W, si d** = **1**, el resultado de la operación **se** guarda **en** el registro f. El valor por defecto es
TOS	Parte superior de la pila o *Stack*
PC	Contador de programa *(Program Counter)*
$\overline{TO}$	Bit de *Timer Out*
$\overline{PD}$	**Bit de** *Power Down*
[ ]	**Opcional**
( )	**Contenido**
→	Sentido de la transferencia
	Campo del bit de un registro

SET DE INTRUCCIONES DEL PIC16F84

NEMÓNICO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO DE OPERACIÓN	FLAGS AFECTADOS
Instrucciones de CARGA			
clrf f	00 → (f)	00 0001 1fff ffff	Z
clrw	00 → (W)	00 0001 0xxx xxxx	Z
movf f,d	(f) → (destino)	**00 1000** dfff ffff	Z
movlw k	**k → (W)**	11 00xx **kkkk kkkk**	**Ninguno**
movwf f	(W) → (f)	00 0000 1fff ffff	Ninguno
Instrucciones de BIT			
bcf f,b	Pone a 0 el bit 'b' del reg. 'f.	01 00bb bfff ffff	
bsf f,b	Pone a 1 **el** bit 'b' **del** reg. 'f.	**01 0 1bb** bfff ffff	Ninguno

©RA-MA

addlw	k
addwf	f,d
decf	f,d
incf	f,d
sublw	k
subwf	f,d
andlw	k
andwf	f,d
comf	f,d
iorlw	k
iorwf	f,d
rlf	f,d
rrf	f,d
swapf	f,d
xorlw	k
xorwf	f,d
btfsc	f,b
btfss	f,b
decfsz	f,d
incfsz	f,d
goto	k
call	k
retfie	
retlw	k
return	
clrwdt	
nop	
sleep	

Instrucciones ARITMÉTICAS				
addlw	k	(W) + k → (W)	11 111x kkkk kkkk	C, DC, Z
addwf	f,d	(W) + (f) → (destino)	00 0111 dfff ffff	C, DC, Z
decf	f,d	(f) - 1 → (destino)	00 0011 dfff ffff	Z
incf	f,d	(f) + 1 → (destino)	00 1010 dfff ffff	Z
sublw	k	k – (W) → W	11 110x kkkk kkkk	C, DC, Z
subwf	f,d	(f) – (W) → (destino)	00 0010 dfff ffff	C, DC, Z
Instrucciones LÓGICAS				
andlw	k	(W) AND k → (W)	11 1001 kkkk kkkk	Z
andwf	f,d	(W) AND (f) → (destino)	00 0101 dfff ffff	Z
comf	f,d	(/f) → (destino)	00 1001 dfff ffff	Z
iorlw	k	(W) OR k → (W)	11 1000 kkkk kkkk	Z
iorwf	f,d	(W) OR (f) → (destino)	00 0100 dfff ffff	Z
rlf	f,d	Rota (f) a izquierda a través del Carry → (destino)	00 1101 dfff ffff	C
rrf	f,d	Rota (f) a derecha a través del Carry → (destino)	00 1100 dfff ffff	C
swapf	f,d	Intercambia los nibbles de f → (destino)	00 1110 dfff ffff	Ninguno
xorlw	k	(W) XOR k → (W)	11 1010 kkkk kkkk	Z
xorwf	f,d	(W) XOR (f) → (destino)	00 0110 dfff ffff	Z
Instrucciones de SALTO				
btfsc	f,b	Salta si el bit 'b' del 'f' es 0	01 10bb bfff ffff	Ninguno
btfss	f,b	Salta si el bit 'b' del 'f' es 1	01 11bb bfff ffff	Ninguno
decfsz	f,d	(f)-1 → destino y salta si es 0	00 1011 dfff ffff	Ninguno
incfsz	f,d	(f)+1 → destino y salta si es 0	00 1111 dfff ffff	Ninguno
goto	k	Salta a la dirección 'k'	10 1kkk kkkk kkkk	Ninguno
Instrucciones de manejo de SUBRUTINAS				
call	k	Llamada a subrutina	10 0kkk kkkk kkkk	Ninguno
retfie		Retorno de una interrupción	00 0000 0000 1001	Ninguno
retlw	k	Retorno con un literal en W	11 01xx kkkk kkkk	Ninguno
return		Retorno de una subrutina	00 0000 0000 1000	Ninguno
Instrucciones ESPECIALES				
clrwdt		Borra Timer del Watchdog	00 0000 0110 0100	/TO, /PD
nop		No operación	00 0000 0xx0 0000	Ninguno
sleep		Entra en modo bajo consumo	00 0000 0110 0011	/TO, /PD

Tabla B-1 Repertorio de instrucciones del PIC16F84

addlw — Suma el literal k con W

Sintaxis: addlw k
Operandos: $0 \le k \le 255$
Operación: (W) + k → (W) *(Add Literal to W)*
Flags afectados: C, DC, Z
Código de OP :

11	111x	kkkk	kkkk

Descripción: **Suma** el contenido del registro W al **literal** 'k' **y** almaccna **el** resultado **en** W. **Si se** produce acarreo **el** flag C **se** pone a "1".

Ejemplo 1: **addlw** 0x15 ; (W) + 0x15 → (W)
Antes instrucción: (W) = 0x10, **y** C = ¿?
Después instrucción: (W) = 0x10 + 0x15 = *0x25* **y** C = 0.
(W) = b'0001 0000' + b'0001 0101' = b'0010 **0101'**

addwf — Suma W con el registro f

Sintaxis: addwf f,d
Operandos: $0 \le k \le 127$
$d \in [0,1]$
Operación: (W) + (f) → (destino) ***(Add** W and f)*
Flags afectados: C, DC, Z
Código de OP :

00	0111	dfff	ffff

Descripción: Suma el contenido del **registro W** al contenido **del** registro 'f' y **almaccna** el **resultado en W** si d = 0, **y en el** registro f **si** d = 1. Si **se produce acarreo el flag** C **se** pone **a** "1".

Ejemplo: *addwf Registro,0* ; (Registro) + (W) → (W)
Antes instrucción: (W) = 0x17, **(Registro)** = 0xC2, **y** C = ¿?
Después instrucción: (W) = 0xD9, **(Registro)** = 0xC2, **y** C = 0.

andlw — W AND Literal k

Sintaxis: andlw k
Operandos: $0 \le k \le 255$
Operación: (W) AND (k) → (W) *(AND **Literal** with W)*
Flags afectados: Z
Código de OP :

11	1001	kkkk	kkkk

Descripción: Efectúa la **operación *AND*** lógica entre **el** contenido del registro W y **el literal** 'k', el **resultado** se almaccna **en W.**

Ejemplo: andlw b'01011111' ; (W) AND b'01011111' → (W).
Antes instrucción: (W) = b'10100011' y Z = ¿?
Después instrucción: (W) = b'00000011' y Z = 0.

andwf — W AND f

Sintaxis: andwf f,d
Operandos: 0 ≤ f ≤ 127
d ∈ [0,1]
Operación: (W) AND (f) → (destino) *(AND W with f)*
Flags afectados: Z
Código de OP : | 00 | 0101 | dfff | ffff |
Descripción: Efectúa la operación **AND** lógica entre el contenido del registro W y el contenido del registro 'f' y almacena el resultado en W si d = 0, y en 'f' si d = 1.

Ejemplo: andwf Registro,1 ; (W) AND (Registro) → (Registro)
Antes instrucción: (W) = b'0010111', (Registro) = b'11000010' y Z = ¿?
Después instrucción: (W) = b'0010111', (Registro) = b'00000010' y Z = 0.

bcf — Borra un bit de f

Sintaxis: bcf f,b
Operandos: 0 ≤ f ≤ 127
0 ≤ b ≤ 7
Operación: 0 → (f <b>) *(Bit Clear f)*
Flags afectados: Ninguno
Código de OP : | 01 | 00bb | bfff | ffff |
Descripciori: Pone a cero el bit número 'b' del registro 'f.

Ejemplo: bcf FlagReg,7 ; 0 → (FlagReg,7)
Antes instrucción: (FlagReg) = b'11000111'.
Después instrucción: (FlagReg) = b'01000111'.

bsf — Activa un bit de f

Sintaxis: bsf f,b
Operandos: 0 ≤ f ≤ 127
0 ≤ b ≤ 7
Operación: 1 → (f<b>) *(Bit Set f)*

Flags afectados: Ninguno
Código de OP: | 01 | 01bb | bfff | ffff |
Descripción: Pone a uno el bit número 'b' del registro 'f'.

Ejemplo: bsf FlagReg,7 ; 1 → (FlagReg,7)
Antes Instrucción: (FlagReg) = b'01000111'.
Después Instrucción: (FlagReg) = b'11000111'.

btfsc — Test de bit de f y salta si es cero

Sintaxis: btfsc f,b
Operandos: $0 \leq f \leq 127$
$0 \leq b \leq 7$
Operación: **Salta** si (f<b>) = 0 *(Bit Test f, Skip if Clear)*
Flags afectados: Ninguno
Código de OP: | 01 | 10bb | bfff | ffff |
Descripción: Si el bit número b del registro f es cero la instrucción que sigue a ésta se ignora y se trata como un *"nop"*. En este caso, y sólo en este caso, la instrucción *btfsc* precisa dos ciclos para ejecutarse.

Ejemplo:

```
Aqui    btfsc   Flag,1      ; Si el bit 1 del registro Flag es cero salta.
Falso   goto    ProcesoX    ; Ha sido uno.
Verdad          ...         ; Ha sido cero.
                            ...
```

Antes instrucción: (PC) = Dirección de "Aquí".
Después instrucción: Si el bit Flag <1> = 0 (PC) = Dirección de "Verdad".
Si el bit Flag <1> = 1 (PC) = Dirección de "Falso".

btfss — Test de bit de f y salta si es uno

Sintaxis: btfss f,b
Operandos: $0 \leq f \leq 127$
$0 \leq b \leq 7$
Operación: **Salta** si (f<b>) = 1 *(Bit Test f, Skip if Set)*
Flags afectados: Ninguno
Código de OP: | 01 | 11bb | bfff | ffff |
Descripción: Si el bit número b del registro f es uno la instrucción que sigue a esta se ignora y se trata como un *"nop"*. En este caso, y sólo en este caso, la instrucción *btfss* precisa dos ciclos para ejecutarse.

Ejemplo:

```
Aqui    btfss   Flag,1      ; Si el bit 1 del registro "Flag" es uno salta.
Falso   goto    ProcesoX    ; Ha sido cero.
Verdad          ...         ; Ha sido uno.
```

Antes instrucción: (PC) = Dirección de "Aquí".
Después instrucción: Si el bit Flag<1> = 0, (PC) = Dirección de "Falso".
Si el bit Flag<1> = 1, (PC) = Dirección de "Verdad".

call — Llamada a Subrutina

Sintaxis: call k
Operandos: $0 \leq k \leq 2047$
Operación: (PC)+1 → TOS *(Call Subroutine)*
k → (PC<10:0>),
(PCLATH<4:3>) → (PC<12:11>)
Flags afectados: Ninguno
Código de OP : | 10 | 0kkk | kkkk | kkkk |
Descripción: Salvaguarda la dirección de vuelta en la Pila y después llama a la subrutina situada en la dirección cargada en el PC. Tarda dos ciclos máquina en ejecutarse.

Ejemplo:

```
Aqui    call    Alli
```

Antes instrucción: (PC) = Dirección de "Aqui".
Después instrucción: (PC) = Dirección de "Alli".
(TOS) = Dirección de "Aqui" + 1.

clrf — Borra *f*

Sintaxis: clrf f
Operandos: $0 \leq f \leq 137$
Operación: 00h → (f) *(Clear f)*
1 → Z
Flags afectados: Z
Código de OP : | 00 | 0001 | lfff | ffff |
Descripción: Se borra el contenido del registro 'f' y el flag Z se activa poniéndose a "1".

Ejemplo: clrf FlagReg ; 0 → (FlagReg).
Antes instrucción: (FlagReg) = ¿? y Z = ¿?
Después instrucción: (FlagReg) = 0x00 y Z = 1.

clrw — Borra el registró W

Sintaxis: clrw
Operandos: Ninguno
Operación: 00h → (W) *(Clear W)*
1 → Z
Flags afectados: Z
Código de OP : | 00 | 0001 | 0xxx | xxxx |
Descripción: El registro de trabajo W se carga con 00h. El flag Z se pone a "1".

Ejemplo: clrw ; 0 → (W)
Antes instrucción: (W) = ¿? y Z = ¿?
Después instrucción: (W) = 0x00 y Z = 1.

clrwdt — Borra el Timer del Watchdog

Sintaxis: clrwdt
Operandos: Ninguno
Operación: 00h → WDT *(Clear Watchdog Timer)*
0 → WDT prescaler
1 → $\overline{TO}$
1 → $\overline{PD}$
Flags afectados: TO , $\overline{PD}$
Código de OP : | 00 | 0000 | 0110 | 0100 |
Descripción: Se borra el Tirner del Watchdog (WDT). Los bits $\overline{TO}$ y $\overline{PD}$ del registro de estado se ponen a "1".

Ejemplo: clrwdt
Antes instrucción: (Timer WDT) = ¿?
Después instrucción: (Timer WDT) = 0x00
bit de estado $\overline{TO}$ = 1
bit de estado $\overline{PD}$ = 1

comf — Complementa f

Sintaxis: comf f
Operandos: 0 ≤ f ≤ 127
d ∈ [0,1]
Operación: ($\overline{f}$) → (destino) *(Complement f)*

Flags **afectados:** Z
Código de OP : | 00 | 1001 | dfff | ffff |
Descripción: Hace el complemento del contenido del registro 'f' bit a bit. El resultado se almacena en el registro 'f' si d=1 y en el registro **W** si d=0, **en este** caso 'f' no **varía.**

Ejemplo: comf Reg1,0 ; (/Reg1) → (W)
Antes instrucción: (Regl) = b'00010011', **(W)** = ¿? y Z = ¿?
Después instrucción: (Reg1) = b'00010011', (W) = b'11101100' (invertido **unos y** ceros!) y Z = 0.

decf — Decrementa f

Sintaxis: **decf** f
Operandos: $0 \leq f \leq 127$
$d \in [0,1]$
Operación: (f-1) → (destino) *(Decrement f)*
Flags afectados: Z
Código de OP : | 00 | 0011 | dfff | ffff |
Descripción: Se decrementa el contenido del registro 'f' en una unidad. El resultado se almacena en f si **d=1** y en **W si** d=0, en **este** caso 'f' no **varía.**

Ejemplo: decf Contador,1 ; **(Contador) – 1 → (Contador).**
Antes instrucción: (Contador) = 0x01 y Z = ¿?
Después instrucción: (Contador) = **0x00** y Z = 1.

decfsz — Decrementa f y salta si el resultado es 0

Sintaxis: decfsz f,d
Operandos: $0 \leq f \leq 127$
$d \in [0,1]$
Operación: (f) - 1 → (destino); salta si **el** resultado es "0". *(Decrement f, Skip if 0)*
Flags afectados: Ninguno
Código de OP : | 00 | 1011 | dfff | ffff |
Descripción: Decrementa el contenido del registro 'f' en una unidad, el resultado se **almacena** en 'f' si d=1 y en W si d=0, **en** este caso, 'f' no varia. **Si** el resultado del **decremento es** cero **se** ignora la siguiente instrucción y en **ese caso** la instrucción tiene una duración de dos ciclos.

Ejemplo:

```
Aqui    decfsz  Contador,1
        goto    NoEsCero
EsCero          ....
```

Antes instrucción: (PC) = Dirección de "Aqui".
Después instrucción: (Contador) = (Contador) – 1 y además:
- Si (Contador) = 0, (PC) = Dirección de "EsCero".
- Si (Contador) ≠ 0, (PC) = Dirección de "Aqui" + 1.

goto — Salto incondicional

Sintaxis: goto k
Operandos: 0 ≤ k ≤ 2047
Operación: k → (PC<10:0> *(Unconditional Branch)*
(PCLATH<4:3>) → (PC<12:11>)
Flags afectados: Ninguno
Código de OP: | 10 | 1kkk | kkkk | kkkk |
Descripción: Salto incondicional. Carga bits 0 al 10 de la constante 'k' en el (PC) y los bits 3 y 4 del registro PCLATH en los 11 y 12 del PC. Esta instrucción se ejecuta en dos ciclos máquina.

Ejemplo: goto Principal ; Principal → (PC)
Antes instrucción: (PC) = ¿?
Después instrucción: (PC) = Dirección apuntada por la etiqueta "Principal".

incf — Incrementa f

Sintaxis: incf f
Operandos: 0 ≤ f ≤ 127
d ∈ [0,1]
Operación: (f) + 1 → (destino) *(Increment f)*
Flags afectados: Z
Código de OP: | 00 | 1010 | dfff | Ffff |
Descripción: El contenido del registro 'f' se incrementa en una unidad, si d=1 el resultado se almacena en 'f', si d=0 el resultado se almacena en W, en este caso el resultado de 'f' no vana.

Ejemplo1: incf Contador,1 ; (Contador) + 1 → (Contador}.
Antes instrucción: (Contador) = 0xFF y Z = ¿?
Despds instrucción: (Contador) = 0x00 y Z = 1.

incfsz

Sintaxis:
Operandos:
Operación:
Flags afectado
Código de OP
Descripción:

Ejemplo:

Antes instrucc
Después instru

iorlw

Sintaxis:
Opcrandos:
Operación:
Flags afectado
Código de OP
Descripción:

Ejemplo:
Antes instrucci
Después instru

incfsz — Incrementa f y salta si el resultado es 0

Sintaxis: incfsz f,d
Operandos: $0 \leq f \leq 127$
$d \in [0,1]$
Operación: (f) + 1 → (destino); salta si el resultado es 0. *(Increment f, Skip if 0)*
Flags afectados: Ninguno
Código de OP : | 00 | 1111 | dfff | ffff |
Descripción: Incrementa el contenido del registro 'f' en una unidad. El resultado se almacena en 'f' si d=1 y en **W** si d=0, en este caso 'f' no varía. Si el resultado del incremento es cero se ignora la siguiente instrucción y, en ese caso, la instrucción tiene una duración de dos ciclos máquina.

Ejemplo:

```
            Aqui    incfsz  Contador,1
                    goto    Bucle
Continua            ....
                    ....
```

Antes instrucción: **(PC)** = Dirección de "Aquí".
Después instrucción: (Contador) = (Contador) + 1 y además:
- Si Contador = 0 (256), **(PC)** = Dirección de "Continua".
- Si Contador ≠ 0, **(PC)** = Dirección de "Aquí"+1.

iorlw — OR entre W y el literal k

Sintaxis: iorlw k
Operandos: $0 \leq f \leq 255$
Operación: (W) OR (k) → (W) *(Inclusive OR Literal with W)*
Flags afectados: Z
Código de OP : | 11 | 1000 | kkkk | kkkk |
Descripción: Efectúa la operación lógica OR entre el contenido del registro W y el literal 'k'. El resultado se almacena en el registro **W**.

Ejemplo: iorlw b'00110101'. ; (W) OR b'00110101' → (W)
Antes instrucción: (W) = b'10011010' y Z = ¿?
Después instrucción: (W) = b'10111111' y Z = 0.

iorwf — OR entre W y f

Sintaxis: iorwf f,d
Operandos: $0 \leq f \leq 127$
$d \in [0,1]$
Operación: (W) OR (f) → (destino) *(Inclusive OR W with f)*
Flags afectados: Z
Código de OP : | 00 | 0100 | dfff | ffff |
Descripción: Efectúa la operación lógica OR entre el contenido del registro W y el contenido del registro 'f. Almacena el resultado en 'f' si d=1 y en W si d=0.

Ejemplo: iorwf Resultado,0 ; (W) OR (Resultado) → (W)
Antes instrucción: (Resultado) = b'00010011', (W) = b'10010001' y Z = ¿?
Después instrucción: (Resultado) = b'00010011', (W) = b'10010011' y Z = 0.

movlw — Mover literal a W

Sintaxis: movlw k
Operandos: $0 \leq f \leq 255$
Operación: k → (W) *(Move Literal to W)*
Flags afectados: Ninguno
Código de OP : | 11 | 00xx | kkkk | kkkk |
Descripción: El registro W se carga con el valor de 8 bits del literal 'k'.

Ejemplo: *movlw 0x5A* ; 5Ah → (W)
Antes instrucción: (W) = ¿?
Después instrucción: (W) = 0x5A

movf — Mover f

Sintaxis: movf f,d
Operandos: $0 \leq f \leq 127$
$d \in [0,1]$
Operación: (f) → (destino) *(Move f)*
Flags afectados: Z
Codigo de OP : | 00 | 1000 | dfff | ffff |
Descripción: El contenido del registro 'f' se carga en el registro destino dependiendo del valor de 'd'. Si d=U el destino es el registro W, si d=1 el destino es el propio registro 'f'. Esta instrucción permite verificar dicho registro, ya que el flag Z queda afectado.

©RA-MA

Ejemplo: movf PORTA, 0 ; (PORTA) → (W)
Antes instrucción: (PORTA) = 0x1A, (W) = ¿? y Z = ¿?
Después instrucción: (PORTA) = 0x1A, (W) = 0x1A y Z = 0

movwf — Mover W a f

Síntaxis: movwf f
Operandos: 0 ≤ f ≤ 127
Operación: (W) → (f) *(Move W to f)*
Flags **afectados:** Ninguno
Código de OP : | 00 | 0000 | 1fff | ffff |
Descripción: **Mueve el** contenido **del registro** W al registro 'f.

Ejemplo: movwf PORTB ; (W) → (PORTB)
Antes instrucción: (PORTB) = ¿? y (W) = 0x4F.
Después instrucción: (PORTB) = 0x4F y (W) = 0x4F.

nop — No Operación

Sintaxis: nop
Operandos: Ninguno
Operación: **No** operar *(No Operation)*
Flags afectados: Ninguno
Código de OP : | 00 | 0000 | 0xx0 | 0000 |
Descripción: **No realiza** operación **alguna.** Consume **un ciclo de** instrucción **sin hacer nada.**

Ejemplo: nop

retfie — Retorno de Interrupción

Sintaxis: retfie
Operandos: **Ninguno**
Operación: ***TOS*** → (PC) *(Return from Interrupt)*
1 → GIE
Flags **afectados:** Ninguno
Código de OP : | 00 | 0000 | 0000 | 1001 |
Descripcion: Carga **el** PC **con el valor que se** encuentra en la **parte** alta **de** la **pila. asegurando** así **la** vuelta **de la interrupción.** Pone **a 1 el** bit **GIE con el** fin **de autorizar de** nuevo **que se** tengan **en** cuenta las interrupciones. **Tarda dos** ciclos **máquina.**

Ejemplo: retfie ; Retorna **de** la interrupción.
Antes instrucción: (PC) = ¿? y GIE = 0
Después instrucción: (PC) = (TOS) y GIE = 1

retlw — Retorno con un literal en W

Sintaxis: retlw
Operandos: $0 \leq k \leq 255$
Operación: k → (W) *(Return with Literal in W)*
TOS → (PC)
Flags afectados: Ninguno
Código de OP : | 11 | 01xx | kkkk | kkkk |
Descripción: Carga el registro W con **el literal** 'k' y después carga **el** PC con el valor **que** se encuentra en la parte superior de la pila, efectuando así un retorno **de** subrutina. Tarda dos ciclos máquina.

```
Ejemplo:        call    Tabla       ; W contiene el valor de offset de tabla
                ....    ....
Tabla                               ; Comienza la tabla
                addwf   PCL,1       ; (PC) = (PC) + (W)
                retlw   k0
                retlw   k1
                retlw   k2

                retlw   kn          ; Fin de tabla
```

Antes instrucción: (W) = **0x02**
Después instrucción: (W) = Toma **el valor de** k2.

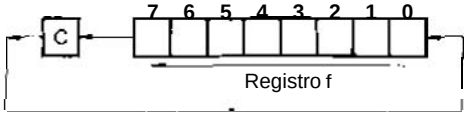
return — Retorno de subrutina

Sintaxis: return
Operandos: Ninguno
Operación: TOS → (PC) *(Return from Subroutine)*
Flags afectados: Ninguno
Código de OP : | 00 | 0000 | 0000 | 1000 |
Descripción: Carga **el PC** con **el** valor que se encuentra en la parte superior **de** la pila. efectuando así un retorno de **subrutina.** Tarda dos ciclos máquina.

Ejemplo: return ; Retorna **de** la subrutina.
Antes instrucción: (PC) = ¿?
Después instrucción: (PC) = (TOS)

rlf — Rota a la izquierda con el Carry

Sintaxis: rlf f,d
Operandos: $0 \le f \le 127$
$d \in [0,1]$
Operación:



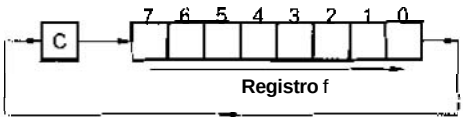
(Rotate Left f through Carry)

Flags afectados: C
Código de OP : | 00 | 1101 | dfff | ffff |
Descripción: Rotación de un bit a la **izquierda** del contenido **del** registro 'f' pasando por **el** bit **de** acarreo C. **Si** d=**1** el **resultado** sc almacena en 'f', si d=0 el resultado se almacena **en W.**

Ejemplo: rlf **Reg1,0**
Antes instrucción: (Reg1) = b'1110 0110', W = ¿? y C = 0.
Después instrucción: (Reg1) = b'1110 0110', (W) = b'**1100 1100**' y C = 1.

rrf — Rota a la derecha con el Carry

Sintaxis: rrf f,d
Operandos: **0** ≤ f ≤ 127
$d \in [0,1]$
Operación:



(Rotate Right f through Carry)

Flags afectarlos: C
Código de OP : | 00 | 1100 | dfff | ffff |
Descripción: Rotación dc **un** bit a **la** derecha del contenido **del** registro 'f' **pasando** por **el** bit de **acarreo** C. **Si d=1** el resultado **se** almacena en 'f', **si** d=0 el resultado **se** almacena en **W.**

Ejemplo: rrf Reg1,0
Antes instrucción: (Reg1) = b'1110 0110', (W) = ¿? y C = 0.
Después instrucción: (Reg1) = b'1110 0110', (W) = b'0111 0011' y C = 0.

sleep — Pasa a Standby o modo de bajo consumo

Sintaxis: sleep
Operandos: Ninguno
Operación: 00h → WDT
0 → WDT prescaler
1 → $\overline{TO}$
0 → $\overline{PB}$
Flags afcctados: TO , $\overline{PD}$
Código de OP : | 00 | 0000 | 0110 | 0011 |
Descripción: Pone cl circuito en modo *Sleep* (bajo consumo) con parada del oscilador y Timer 0. (Ver capítulo 16 para inás detalles). Se puede salir de este estado por:

- Activación del pin /MCLR para provocar un **reset**
- Desbordamiento del Watchdog si quedó operativo en el modo reposo.
- Generación de una interrupción que no sea TMRO, ya que Csta se desactiva con la instrucción *sleep*.

Ejemplo: sleep ; **Pasa a** "standby" ***o*** **modo de** bajo consumo.

sublw — Resta el literal k a W

Sintaxis: sublw k
Operandos: 0 ≤ k ≤ 255
Operación: k - (W) → **(W)** *(Subtract W from Literal)*
Flags afectados: C, DC, Z
Código de OP : | 11 | 110x | kkkk | kkkk |
Descripción: Resta por el método de complemento a 2 al literal 'k' el contenido del registro W. Almacena el resultado en W.

Ejemplo 1: *sublw* ***0x03*** ; **03h –** (W) → (W)
Antes **instrucción**: (W) = 0x01, C = ¿? y Z = ¿?
Después instrucción: (W) = 0x02, C = 1 (el resultado es positivo) y Z = 0.

Ejemplo 2: *sublw* **0x02** ; 02h – (W) → (W)
Antes **instrucción**: (W) = 0x02, C = ¿? **y** Z = ¿?
Después instrucción: **(W) = 0x00,** C = 1 **y** Z = 1 (el **resultado es** cero).

Ejemplo 3: ***sublw*** *0x02* ; 02h – (W) → (W)
Antes instrucción: (W) = **0x03,** (+3 **en decimal}, C** = ¿? **y** Z = ¿?
Después instnicción: (W) = 0xFF, (-1 *en* **decimal),** C = 0 (resultado negativo) y Z = 0.

subwf

Sintaxis: su
Operandos: 0 ≤
d e
(f)
: C,
Código de OP : [(
Descripción: Re
me
en

Ejemplo 1:
Antes instrucción:
Después instrucción

Ejemplo **2:**
Antes instrucción:
Después instrucción

Ejemplo **3:**
Antes instrucción:
Después instrucció

swapf

Sintaxis: sw
Operandos: 0 ≤
d ∈
Operación: (f <
(f <
Flags afectados: Nin
Código de OP : [0
Descripción: Lo
de
W,

Ejemplo1:
Antes instrucción:
Después instrucción

subwf — Resta el registro f a W

Sintaxis: subwf f,d
Operandos: $0 \leq f \leq 127$
$d \in [0,1]$
Operación: (f) - (W) → (destino) *(Subtract W from f)*
Flags afectados: C, DC, Z
Código de OP : | 00 | 0010 | dfff | ffff |
Descripción: Resta **por** el método de complemento a *2* **el** conteriido **del registro** 'f' menos **el** contenido **del registro W. Almacena el** resultado **en W si d=0** y **en** 'f si d=1.

Ejemplo 1: *subwf Reg1,1* ; (Reg1) – (W) → (Reg1)
Antes **instrucción:** (Reg1) = 0x03, (W) = 0x02, C = ¿? y Z = ¿?
Después **instrucción:** (Reg1) = **0x01**, (W) = 0x02, C = **1** (positivo) y Z = 0.

Ejemplo 2: ***subwf*** *Reg1,1* ; (Reg1) – (W) → (Reg1)
Antes instrucción: (Reg1) = **0x02**, (W) = **0x02**, C = ¿? y Z = ¿?
Después instrucción: (Reg1) = **0x00**, (W) = **0x02**, C = 1 y Z = 1 **(resultado c m).**

Ejemplo 3: *subwf Reg1,1* ; (Reg1) – (W) → (Reg1)
Antes instrucción: (Reg1) = *0x01*, (+1 decimal), (W) = **0x02**, C = ¿? y Z = ¿?
Después instrucción: (Reg1) = 0xFF, (-1 **decimal**), (W) = **0x022**, C = 0 (neg.) y Z = **0.**

swapf — Intercambia nibbles de f

Sintaxis: **swapf f,d**
Operandos: $0 \leq f \leq 127$
$d \in [0,1]$
Operación: (f <3:0>) → (d <7:4>) *(Swap Nibbles in f)*
(f<7:4>) → **(d** <3:0>)
Flags afectados: Ninguno
Código de OP : | 00 | 1110 | dfff | ffff |
Descripción: **Los cuatro bits** de más **peso del** registra 'f' se intercambian con los **4** bits **de** menos **peso** del **mismo** registro. **Si d=0 el resultado se almacena en W,** si d=1 el resultado se almacena **en** 'f.

Ejemplo1: **swapf Reg1,0**
Antes instrucción: (Reg1) = 0xA5 y (W) = ¿?
Después instrucción: (Reg1) = 0xA5 y (W) = 0x5A.

xorlw — OR-Exclusiva del literal k con W

Sintaxis: xorlw k
Operandos: $0 \leq k \leq 355$
Operación: (W) XOR k → (W) *(Exclusive OR Literal with W)*
Flags afectados: Z
Código de OP.: | 11 | 1010 | kkkk | kkkk |
Descripción: **Realiza** la función **OR-Exclusiva** entre el contenido del registro **W y** la constante 'k' de 8 **bits.** El **resultado** se almacena **en W.**

Ejemplo: xorlw b'10101111' ;(W) XOR b'10101111' → (W)
Antes instrucción: (W) = b'10110101' y Z = ¿?
Después instrucción: (W) = b'00011010' y Z = **0**

xorwf — OR-Exclusiva *de* W con el registro f

Sintaxis: xorwf f,d
Operandos: $0 \leq f \leq 127$
$d \in [0,1]$
Operación: (W) XOR (f) → (destino) *(Exclusive OR W with f)*
Flags afectados: Z
Código de OP : | 11 | 0110 | dfff | ffff |
Descripción: Realiza **la** función OR-Exclusiva **entre el contenido del** registro **W y** el contenido del registro **'f.** Almacena el resultado **en** 'f' **si** d=1 y en W **si** d=0.

Ejemplo: *xorwf Reg,1* ;(W) XOR (Reg) → (Reg)
Antes instrucción: (Reg) = b'10101111', (W) = b'10110101' y Z = ¿?
Después instrucción: **(Reg)** = b'00011010', (W) = b'10110101' y Z = **0.**

CONSTANTES Y OPERADORES

TIPO	SINTAXIS	EJEMPLO
Decimal	D'<cantidad>' d'<cantidad>' .<cantidad>	movlw D'109' movlw d'109' movlw .109
Hexadecimal	H'<cantidad>' h'<cantidad>' 0x<cantidad> <cantidad>H <cantidad>h	movlw H'6D' **movlw** h'6D' movlw 0x6D movlw 6DH movlw 6Dh
Octal	O'<cantidad>' o'<cantidad>'	movlw O'155' movlw o'155'
Binario	B'<cantidad>' b'<cantidad>'	movlw B'01101101' movlw b'01101101'
ASCII	A'<carácter>' a'<carácter>' '<carácter>'	movlw A'M' movlw a'M' movlw 'M'
"*String*" o Cadena de Caracteres.	"<string>"	DT "Estudia DPE"

Tabla C-1 ***Formato de*** *las constantes*

La tabla C-1 representa la forma de especificar el sistcina de numeración o códigos alfanuméricos, para el ensamblador MPASM, con un ejemplo por caso. Hay que tener cn **cuenta:**

- Las constantes hexadeciinalcs que comiencen por una letra (A-F) deben ir precedidas de un cero para que no sean confundidas con una etiqueta. Ejemplo: *movlw 0FAh.*
- Las constantes pueden ser opcionalmente precedidas por un signo "+" (valores **positivos)** o "-" (valores negativos). Si no sc antepone nada se asume que el valor es positivo.
- **Cuando los operandos** son caracteres **ASCI1**, deben estar encerrados entre apóstrofes o comillas simples. Ejemplo: *movlw 'G'.*

Para facilitar la tarea de programación el ensamblador MPASM permite utilizar múltiples **operadores aritméticos** detallados en la ayuda **del** MPLAB y cn la guía *"MPASM. USER'S GUIDE"* **que** sc **puede obtener** gratuitamente en la página Web del fabricante www.microchip.com. En la tabla C-2 se detallan los principales:

OPERADOR		EJEMPLO
$	Retorna el valor del PC	goto $+3
(	Paréntesis izquierdo	1 +(d*4)
)	Paréntesis derecho	(longitud+1) * 256
!	Operador NOT (completo lógico)	If ! (a = – b)
-	Negación (complemento a 2)	-1 * longitud
~	Complemento	flags = ~flags
high	Retorna byte alto	movlw high CTR_Tabla
low	Retorna byte bajo	movlw low CTR_Tabla
*	Multiplica	a = b * c
/	Divide	a= b/c
%	Módulo	entri_len = tot_len % 16
+	Suma	tot_len = entru_len * 8 +1
-	Resta	entry_len = (tot –1)/8
>=	Mayor o igual	If entry_idx >= num_entries
>	Mayor que	If entry_idx > num_entries
<	Menor que	If entry_idx < num_entries
<=	Menor o igual	If entry_idx <= num_entries
= =	Igual a	If entry_idx = num_entries
!=	No igual a	If entry_idx != num_entries
=	Hacer igual a	entry_index = 0

Tabla C-2 Principales operadores aritméticos del ensamblador MPASM

APÉNDICE D

PRINCIPALES DIRECTIVAS DEL ENSAMBLADOR MPASM

Las directivas del ensamblador no son instrucciones del microcontrolador, sino que son unas herramientas del programa ensamblador, que hacen que al programador le resulte más sencilla la programación.

En este apéndice presentamos en la tabla D-1 todas las directivas que tiene el ensamblador MPASM. Todas estas directivas se explican en detalle en el manual *"MPASM. USER'S GUIDE"* que se puede bajar de la web del fabricante www.microchip.com y en la ayuda del MPASM dentro del entorno MPLAB.

DIRECTIVA	DESCRIPCIÓN
_BADRAM	Especifica las posiciones del RAM inválidas
BANKISEL	Genera el código que selecciona el banco de memoria de memoria RAM para direccionamiento indirecto
BANKSEL	Genera el código que selecciona el código de memoria RAM
CBLOCK	Define un bloque de constantes
CODE	Empieza la sección del código ejecutable
__CONFIG	Especifica los bits de configuración
CONSTANT	Declara los símbolos de las constantes
DATA	Crea datos numéricos y de texto
DB	Declara datos de un byte
DE	Define los datos de EEPROM
#DEFINE	Define una etiqueta de sustitución de texto
DT	Define tabla
DW	Declara datos de un word
ELSE	Empieza el bloque alternativo de un IF

END	Fin de bloque de programa
ENDC	Acaba un bloque constante
ENDIF	Fin del bloque de instrucciones condicionales
ENDM	Fin de la definición de una Macro
ENDW	Fin de un bucle de While
EQU	Define una constante para el ensamblador
ERROR	Manda un mensaje de error
ERRORLEVEL	Sitúa el nivel del error
EXITM	Salida de una Macro
EXPAND	Expande una lista de Macro
EXTERN	Declara una etiqueta externa
FILL	Llena la memoria
GLOBAL	Exporta una etiqueta definida
IDATA	Comienza una sección de identificadores (ID)
__IDLOCS	Especifica dónde están colocados los Identificadores (ID)
IF	Empieza un bloque de código condicional
IFDEF	Ejecutar si el símbolo ha sido definido
IFNDEF	Ejecutar si el símbolo no ha sido definido
INCLUDE	Incluye ficheros fuente adicionales
LIST	Opciones listado
LOCAL	Declara una Macro variable como local
MACRO	Declara la definición del Macro
__MAXRAM	Especifica la dirección del RAM máxima
MESSG	Crea mensajes definidos por el usuario
NOEXPAND	Termina la expansión del Macro
NOLIST	Termina el listado
ORG	Pone el origen del programa
PAGE	Inserta el número de página del listado
PAGESEL	Genera el código de selección de la página de ROM
PROCESSOR	El tipo del procesador utilizado
RADIX	Especifica sistema de numeración predefinido
RES	Reserva memoria
SET	Define variable de ensamblador
SPACE	Inserta líneas en blanco
SUBTITLE	Especifica el subtítulo del programa
TITLE	Especifica el título del programa
UDATA	Empieza la sección de datos no inicializados
UDATA_OVR	Empieza la sección de datos no inicializados superpuestos
UDATA_SHR	Empieza la sección de datos no inicializados compartidos
#UNDEFINE	Anula una etiqueta de sustitución
VARIABLE	Declara un símbolo como variable
WHILE	Realiza el bucle mientras la condición es verdadera

Tabla U-1 Directivas del ensamblador MPASM

A continuación se expone un resumen de las principales.

CBLOCK

Define un bloque de constantes

Sintaxis: CBLOCK [<expr>]
<label>[:<increment>][,<label>[:<increment>]]
ENDC

Descripción: *(Define a Block of Constants)*

Esta directiva se explica en el capitulo 9. Define una lista de constantes. A cada *<label>* se le asigna un valor inmediatamente superior que a la anterior *<label>*. El propósito de esta directiva es asignar direcciones a muchas etiquetas. La lista de etiquetas finaliza cuando se encuentra la directiva ENDC.

<expr> indica el valor de arranque para el primer nombre del bloque de etiquetas. Si no se asigna en la expresión, la primera variable recibirá un valor superior al de la variable final del CBLOCK anterior. Si el primer CBLOCK en el archivo fuente no tiene ningún *<expr>* los valores asignados empiezan con el cero.

Si *<increment>* se especifica, entonces a la próxima *<label>* se le asigna el valor de *<increment>* superior a la anterior *<label>*.

Pueden darse múltiples nombres en una línea, separada por las comas.

Ejemplo:

```
CBLOCK  0x20          ; A la primera variable se le asigna el valor 20
nombre_1, nombre–2    ; nombre–2, se le asigna el valor 21.
nombre–3, nombre–4    ; nombre–4 se le asigna el valor 23.
ENDC
```

En la mayoría de las aplicaciones el propósito de las directivas CHLOCK y ENDC es asignar direcciones (generalmente de memoria RAM de datos) a muchas etiquetas. La lista queda enmarcada entre las directivas CBLOCK y ENDC. Un ejemplo típico de utilización:

```
CBLOCK  0x0C    ; Las variables se posicionan a partir de esta posición de RAM.
Centenas        , La variable Centenas ocupa la posición 0x0C de RAM.
Decenas         , La variable Decenas ocupa la posición 0x0D de RAM.
Unidades        . La variable Unidades ocupa la posición 0x0E de RAM.
ENDC
```

__CONFIG — Define la palabra de configuración

Sintaxis: __CONFIG <expr>

Descripción: *(Set Processor Configuration Bits)*

Directiva para la definición de los bit de la palabra de configuración del rnicrocontrolador con el valor descrito en *<expr>*.

Ejemplo:

```
__CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC
```

Esta directiva indica la configuración elegida para el proceso de grabación del microcontrolador. En este caso:

- No hay protección de código (_CP_OFF).
- No se habilita el Watchdog (_WDT_OFF).
- Se habilita el reset mediante Powcr-Up Timer (_PWRTE_ON).
- Se utiliza el oscilador por cristal de cuarzo. (_XT_OSC).

Es importante resaltar que "__CONFIG" se inicia con dos subrayados (guiones bajos), no con uno (este error es muy frecuente en los diseñadores noveles).

DE — Define datos en la EEPROM

Sintaxis: [<label>] DE <expr>[,<expr>,...,<expr>]

Descripción: *(Declare EEPROM Data Byte)*

Reserva palabras de memoria de 8 bits cn la memoria EEPROM de datos. Cada expresión reserva un valor de 8 bits. Cada carácter de una expresión se guarda en una posición separada.

Ejemplo:

```
ORG   0x2100                ; Corresponde a la dirección 0 de la zona EEPROM
                            ; de datos.
DE    "Programa EEPROM_04. Versión 2.5. 15-08-2003" ,0x00
```

Como en este caso el origen de la directiva está en la dirección 2100h, que coincide con el inicio de la EEPROM de usuario, se obtiene el resultado que se muestra en la figura D-1, que corresponde con la ventana de la memoria EEPROM de usuario.

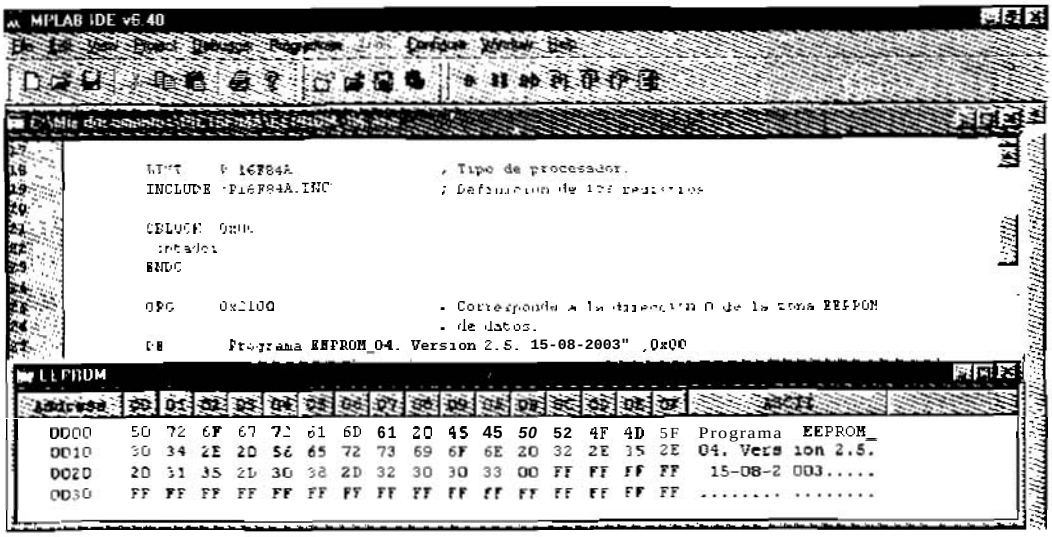


Figura D-1 Memoria EEPROM de usuario después de la directiva DE

#DEFINE — Define una etiqueta de sustitución de texto

Sintaxis: #DEFINE <name> [<string>]

Descripción: *(Define a Text Substitution Label)*

Esta directiva define una cadena de substitución de texto. Dondequiera que *<name>* se encuentre en el ensamblador se sustituirá por *<string>*.

Esta directiva emula el ANSI 'C ' estándar como *#define*. Definir símbolos con este método no está disponible para ser usado por el MPLAB.

Ejemplo 1:

```
#DEFINE  LED    PORTB,4          ; El LED se conecta en esta linea.
                 ...
         bsf    LED              ; Enciende el LED.
```

Ejemplo 2:

```
#DEFINE  Banco0  bcf  STATUS,RP0  ; Acceso al Banco 0.
#DEFINE  Banco1  bsf  STATUS,RP0  ; Acceso al Banco 1.
```

```
Inicio
        Banco0
        bcf     LED             ; Configura esta línea como salida
        Banco1
        bsf     LED             ; Enciende el diodo LED
```

DT — Define tabla

Sintaxis: [<label>] DT <expr> [, <expr>, ... <expr>]

Descripción: *(Define Tabla)*

Esta directiva genera durante la fase de ensamblado tantas instrucciones *retlw* como caracteres u octetos la acompañen. Se explica en capítulo 11.

Ejemplo:

```
DT "mensaje", 0x10, .15
```

Esta directiva genera los códigos de operación de las siguientes instrucciones:

```
retlw   0x6D    ; ('m' en ASCII)
retlw   0x65    ; ('e' en ASCII)
retlw   0x6E    ; ('n' en ASCII)
retlw   0x73    ; ('s' en ASCII)
retlw   0x61    ; ('a' en ASCII)
retlw   0x6A    ; ('j' en ASCII)
retlw   0x65    ; ('e' en ASCII)
retlw   0x10
retlw   0x0F    ; (15 en decimal)
```

ELSE — Empieza bloque alternativo de un IF

Sintaxis: ELSE

Descripción: *(Begin Alternative Assembly Block to IF)*

Usada junto con la directiva IF para proporcionar un camino alternativo de ensamblado si al evaluar la condición es falsa. ELSE puede usarse dentro de un bloque de programa o en una macro.

Ejemplo: Ver directiva IF.

END — Fin de bloque de programa

Sintaxis: END

Descripción: *(End Program Block)*

Esta dircctiva indica el final **del** programa y **es obligatoria. Si se** detecta el fin de fichero y no **se** ha encontrado la directiva END sc produce error. Todas las líneas posteriores a la línea en la que se **encuentra esta** directiva **se** ignoran y **no** se **ensamblan.**

Ejemplo:

```
Inicio  bsf     STATUS,RP0      ; Comienza el programa ejecutable
        ... ...
        END                     ; Fin del programa
```

ENDC — Fin de un bloque de constantes

Sintaxis: ENDC

Descripción: *(End Constant Block)*

ENDC **sc** cscribc al final **de** una lista **de constantes** CBLOCK. Debe **escribirse para** indicar **el** fin **de** la lista.

Ejemplo: Mirar la directiva CBLOCK.

ENDIF — Fin *de* un bloque de ensamblado condicional

Sintaxis: ENDIF

Descripción: *(End Condicional Assembly **Block**)*

Esta directiva marca el extremo de un bloque condicional de ensamblado. ENDIF puede usarse dentro **de** un bloque **de** programa o en una macro.

Ejemplo: Mirar la directiva IF.

ENDM — Fin de la definición de una macro

Sintaxis: ENDM

Descripción: *(End a Macro Definition)*

Termina una defiición del macro comenzada con la directiva MACRO. Las macros se explican en el capítulo 16.

Ejemplo: Mirar la directiva MACKO.

EQU — Define una constante para el ensamblador

Sintaxis: <label> EQU <expr>

Descripción: *(Define an Assembler Constant)*

Esta directiva pemiite asignar el valor de *<expr>* a un identificador *<label>*. Su valor puedc ser el resultado de una expresión compuesta por otros identificadores tan compleja como se desee.

Generalmente, el identificador es un nombre que describe el valor de manera más significativa para el programador. Suele utilizarse para definir constantes y direcciones de memoria. Así, es más fácil recordar "ValorCarga" que recordar el valor 147 o, en el caso dc una dirección de memoria, PORTA que `0x05`.

Ejemplo:

```
ValorCarga    EQU    d'147'    ; Asigna el valor numérico de 147 a la etiqueta "ValorCarga".
```

ERROR — Emite un mensaje de error

Sintaxis: ERROR "<text_string>"

Descripción: *(Issue an Error Message)*

Esta directiva genera un mensaje dc error idéntico a cualquier error del ensamblador MPASM. Si el proceso de ensamblado ejecuta esta directiva aparece la clásica pantalla de error. El texto del mensaje debe ir entrecomillado y puedc tener hasta 80 caracteres.

Ejemplo:

```
ChequeoError    MACRO Argumento1
        IF Argumento1 >= 55          ; Si el argumento está fuera de rango
                ERROR "error_checking-01 el argumento está fuera de rango"
        ENDIF
        ENDM
```

Otro ejemplo se describe en la directiva IF.

IF — Comienza un bloque de código condicional

Sintaxis:

```
IF <expr>
... ....
ENDIF
```

Descripción: *(Begin Conditionally Assembled Code Block)*

Comienzo de ejecución de un bloque condicional de ensamblado. Si *<expr>* es verdadera el código inmediato al IF se ensamblara. En caso contrario, las instrucciones siguientes se saltan hasta encontrar una directiva ELSE o una directiva ENDIF.

La evaluación de una expresión que sea cero se considera desde el punto de vista de la lógica falsa. La evaluación de una expresión que resulte cualquier valor distinto de cero se considera como verdadera. La directiva IF opera con el valor lógico de una expresión: una expresión verdadera *(true)* garantiza devolver un valor distinto de cero, y falsa *(false)* el valor cero.

Ejemplo 1:

```
JF      Version == 100          ; Comprueba la versión actual
        movlw   0x0A
        movwf   io_1
ELSE
        rnovlw  0x01
        movwf   io_1
ENDIF
```

Ejemplo 2:

En el siguiente ejemplo si la etiqueta "FinTabla" se localiza en una dirección de memoria de programa mayor de 0xFF el ensamblador emitirá un mensaje de error.

```
.....
FinTabla
IF (FinTabla > 0xFF)
        ERROR   "¡CUIDADO!: La tabla ha superado el tamaño de la página de los"
        MESSG   "primeros 256 bytes de memoria ROM. NO funcionará correctamente."
ENDIF
```

INCLUDE — Incluye ficheros fuentes adicionales

Sintaxis: INCLUDE <<include_file>> *o*
INCLUDE "<include_file>"

Descripción: *(Include Additional Source File)*

El archivo especificado se lee como código fuente. El efecto es igual que si el texto entero del archivo *include* se pusiera en el lugar donde se ha escrito la directiva INCLUDE. Se permiten seis niveles de anidamiento.

El <*include_file*> puede escribirse entre comillas (" ") o entre los símbolos de "mayor que" y "menor que" (< >). Si se especifica totalmente el camino del fichero include solo se buscara en ese camino. Si no se indica camino el orden de la búsqueda *es:* el directorio activo actual, en segundo lugar el directorio del archivo fuente y por último en el directorio ejecutable de MPASM. Se explica en el capítulo 10.

Ejemplo:

```
INCLUDE <P16F84A.INC>          ; Define el archivo donde están definidos todos
                               ; los registros del PIC16F84A.
INCLUDE "P16F84A.INC"          ; También se puede definir de esta forma.
INCLUDE "c:\sys\sysdefs.inc"   ; Define "sysdefs" con su trayectoria.
INCLUDE <regs.h>               ; Define "regs.h" sin trayectoria.
```

LIST — *Opciones de listado*

Sintaxis: LIST [<list_option>, ..., [<list_option>]

Descripción: *(Listing Options)*

La directiva LIST tiene efecto sobre al proceso de ensamblado y sobre el formato del fichero listable de salida según una larga lista de opciones que se detallan en el manual *"MPASM. USER'S GUIDE"* y en la ayuda del MPASM. De todas la más importante es la que indica el procesador utilizado según detalla el siguiente ejemplo.

Ejemplo:

```
LIST P=P16F84A                 ; El PIC16F84A como procesador utilizado.
```

MACRO — Declara la definición de Macro

Sintaxis: <label> MACRO [<arg>, ..., <arg>]

Descripción: *(Declare Macro Definition)*

Una macro define un conjunto de instrucciones a las que se les asigna un nombre. Posteriormente, el programa fuente del usuario puede incluir el nombre de una macro y todas las instrucciones que la componen quedan insertadas en el momento de realizar el ensamblado formando parte del programa. Se explica en detalle en el capitulo 16.

Ejemplo:

Una estructura macro puede ser la siguiente:

```
NombreMacro   MACRO
              Instrucción_1
              Instrucción_2
              ..................
              ..................
              Instrucción_n
              ENDM
```

Donde "NombreMacro" indica el nombre de la macro que posteriormente se empleará en el programa fiientc para incluir todas las instrucciones que estén definidas bajo este nombre. Las directivas MACRO y ENDM forman el cuerpo dentro del cual están incluidas todas las instrucciones deseadas.

Cada vez que se emplea "NombreMacro" en el programa fuente, implica que se inserten todas las instrucciones que conlleve dicho nombre en el programa

MESSG — Crea mensajes definidos por el usuario

Sintaxis: MESSG "<message_text>"

Descripción: *(Create User Defined Message)*

Esta directiva permite crear mensajes definidos por el usuario que aparecen al finalizar el proceso de ensamblado y en el fichero listable *.list. Puede tener hasta 80 caracteres.

Ejemplo:

```
MensajeMacro        MACRO
MESSG "mssg_macro-001 llamada sin el argumento"
ENDM
```

Hay otros **ejemplos descritos en** la **directiva IF**.

ORG — Origen de las instrucciones del programa

Sintaxis: [<label>] ORG <expr>

Descripción: *(Set Program Origin)*

El **origen** del programa **'comienza** la dirección **indicada** en **la** *<expr>* **de** la directiva. Si **se** especifica una *<label>* **se le da el** valor dc **la** *<expr>*. Si no hay ningún ORG especificado **la** generación del código comienza **en la** dirección cero.

Ejemplo *1*:

```
        ORG     0               ; Dirección de comienzo del programa
        goto    Inicio
        ORG     4               ; Vector de interrupción.
        goto    SevicioInterrupcion
```

Ejemplo 2:

```
Int_1   ORG     0x20            ; Vector SO va aquí.
Int_2   ORG     Int_1+0x10      ; Vector 30 va aquí.
```

rograma

am Origin)

expr> de la
o hay ningún

APÉNDICE E

REGISTROS ESPECIALES

	BANCO 0	BANCO 1		
	INDF	INDF	80h	SFR (System)
	TMR0	OPTION	81h	
	PCL	PCL	82h	
	STATUS	STATUS	83h	
04h	FSR	FSR	84h	
	PORTA	TRISA	85h	
06h	PORTB	TRISB	86h	
07h	—	—	87h	
08h	EEDATA	EECON1	88h	
09h	EEADR	EECON2	89h	
0Ah	PCLATH	PCLATH	8Ah	
0Bh	INTCON	INTCON	8Bh	
0Ch	68 REGISTROS DE PROPOSITO GENERAL	MAPEADO EN BANCO 0	8Ch	GPR
4Fh			CFh	
50h	NO IMPLEMENTADO FISICAMENTE. (SE LEEN COMO "0").		D0h	
7Fh			FFh	

Figura E-1 Memoria RAM de datos del PIC16F84

Dirección	Nombre	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
BANCO 0									
00h	INDF	Registro utilizado en el direccionamiento indirecto (no es un registro físico)							
01h	TMR0	Timer / Contador de 8 bit							
02h	PCL	Registro con los 8 bits más bajos del Contador de Programa							
03h	STATUS	IRP	RP1	RP0	/TO	/PD	Z	DC	C
04h	FSR	Registro utilizado como puntero en el direccionamiento indirecto							
05h	PORTA	--	--	--	RA4/T0CKI	RA3	RA2	RA1	RA0
06h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0/INT
07h		Posición no implementada, se lee como 0							
08h	EEDATA	Registro de datos EEPROM							
09h	EEADR	Registro de direcciones EEPROM							
0Ah	PCLATH	--	--	--	Buffer escrito con los 5 bit más altos del PC				
0Bh	INTCON	GIE	EEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF
BANCO 1									
80h	INDF	Registro utilizado en el direccionamiento indirecto (no es un registro físico)							
81h	OPTION	/RBPU	INTEDG	T0SC	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
82h	PCL	Registro con los 8 bit más bajos del Contador de Programa							
83h	STATUS	IRP	RP1	RP0	/TO	/PD	Z	DC	C
84h	FSR	Registro utilizado como puntero en el direccionamiento indirecto							
85h	TRISA	--	--	--	Reg. de configuración de las líneas del Puerto A				
86h	TRISB	Registro de configuración de las líneas del Puerto B							
87h		Posición no implementada, se lee como 0							
88h	EECON1	--	--	--	EEIF	WRERR	WREN	WR	RD
89h	EECON2	Reg. de control para grabar en la EEPROM de datos (no es un registro físico)							
8Ah	PCLATH	--	--	--	Buffer escrito con los 5 bit más altos del PC				
8Bh	INTCON	GIE	EEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF

Tabla E-1 Registros del SFR. (Special Function Registers)

2	bit 1	bit 0
un registro físico)		
a		
	DC	C
directo		
2	RA1	RA0
2	RB1	RB0/INT
s altos del PC		
F	INTF	RBIF
un registro físico)		
2	PS1	PS0
a		
	DC	C
ndirecto		
s líneas del Puerto A		
EN	WR	RD
es un registro físico)		
ás altos del PC		
IF	INTF	RBIF

ters)

INDF — 00h Banco 0, 80h Banco 1

Registro para el direccionamiento indirecto de datos. Éste no es un registro disponible físicamente. Utiliza el contenido del FSR para seleccionar indirectamente la memoria de datos o RAM del usuario; la instrucción determinará lo que se debe hacer con el registro señalado. El direccionamiento indirecto se explica en el capítulo 16.

TMR0 — 01h Banco 0

(Timer 0). Temporizador/contador de 8 bits. Se incrementar con una señal externa aplicada al pin RA4/TOCKI o de acuerdo a una señal interna proveniente del reloj del microcontrolador. *Se* explica ampliamente en capítulos 15 y 18. Al conectar la alimentación su contenido es desconocido, (TMR0) = b'xxxxxxxx'.

PCL — 02h Banco 0, 82h Banco 1

(*Program Counter Low byte*). Byte bajo del contador de programa, figura E-3. El PIC16F84 dispone de un contador de programa de 13 bits. Sus bits de menor peso corresponden a los 8 bits del registro PCL, implementado en la posición de memoria RAM 02h (y duplicado en la posición 82h del Banco1) por lo que pueden ser leídos o escritos directamente. Los cinco bits de mayor peso del PC corresponden con los del registro PCH que no pueden ser leídos ni escritos directamente (figura E-2). Al conectar la alimentación se inicializa a (PCL) = b'00000000' y (PCH) = b'00000'

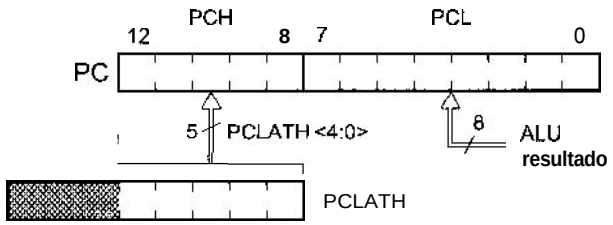


Figura E2 Composición del PC en instrucciones con PCL como destino

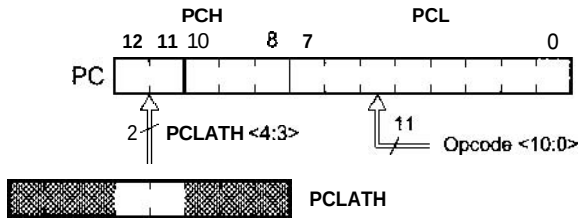


Figura E-3 Composición del PC en instrucciones "call" y "goto"

STATUS 03h Banco 0, 83h Banco 1

El registro de estado o *STATUS* indica el estado de la Última operación aritmética o lógica realizada, la causa de reset y los bits de selección de banco para la memoria de datos. A los bits del registro de estado se les suele denominar flags o bandera. Al conectar la alimentación su contenido es (STATUS) = b'00011xxx'.

IRP	RP1	RP0	/TO	/PD	Z	DC	C
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla E-2 Registro de estado o STATUS

- **C** *(Carry bit).* Flag de acarreo en el octavo bit, En instrucciones de suma aritméticas se activa cuando se presenta acarreo desde el bit más significativo del resultado, lo que indica que el resultado ha desbordado la capacidad del registro sobre el que trabaja, es decir. el resultado de la operación ha superado el valor 11111111_2, (255_{10}), que es el máximo valor que se puede representar con 8 bits. En el capítulo 8 se explica en detalle su funcionamiento:
  - C = 0. En la suma significa que no ha habido acarreo y en la resta que el resultado ha sido negativo.
  - C = 1. En la suma significa que ha habido acarreo y cn la resta que cl resultado ha sido positivo.
- **DC** *(Digit Carry).* **Flag** dc acarreo en el 4º bit de menos peso. En operaciones aritméticas se activa cuando hay un acarreo entre el bit 3 y 4. es decir, cuando hay acarreo entre los nibbles de menor y de mayor peso.
- **Z** *(Zero).* **Flag de cero. Se** activa a "1" cuando el resultado de una operación aritmética o lógica es cero.
  - Z = 0. El resultado de la ultima operación ha sido distinto de cero.
  - Z = 1. El resultado de la última operacion ha sido cero.
- **/PD** *(Power Down).* Flag de bajo consumo. Es un bit de sólo lectura, no puede ser escrito por el usuario. Sirve para detectar el modo de bajo consumo.
  - /PD = 0. Al ejecutar la instrucción *sleep* y entrar en reposo.
  - /PD = 1. Tras conectar la atimentación V_{DD} o al ejecutar *clrwdt.*
- **/TO** *(Timer Out).* Flag indicador de fin temporización del Watchdog. Es un htt de sólo lectura, no puede ser escrito por el usuario. Se activa en "O" cuando el circuito de vigilancia Watclidog finaliza la temporización. Sirve para detectar si una condición de reset fue producida por el *Watchdog Timer.*
  - /TO = 0. Al desbordar el temporizador del Watchdog.
  - /TO = 1. Tras conectar V_{DD} (funcionamiento normal) o al ejecutar las instrucciones *clrwdt* o *sleep.*
- **RP0** *(Register Bank Select bit).* Selección del banco para el direccionamiento directo. Señala el banco de memoria de datos seleccionado.
  - RP0 = 0. Selecciona el Banco 0.
  - RP1 = 1. Selecciona el Banco 1.

- **RP1** *(Register Bank Select bit).* No utilizado en el PIC16F84.
- **IRP1**. No utilizado en el PIC16F84.

FSR 04h Banco 0, 84h Banco 1

Selector de registros para direccionarniento indirecto. En asociación con el registro INDF sc utiliza para seleccionar indirectamente los otros registros disponibles. El direccionamiento indirecto se explica en capitulo 16. Al conectar la **alimentación su** contenido es desconocido, (FSR) = b'xxxxxxxx'.

PORTA 05h Banco 0

Puerto de entrada/salida de 5 bits (pines RA0 a RA4). El puerto **A** puede **leerse** o escribirse como si se tratara de un registro cualquiera. El registro que controla el sentido (entrada o salida) de sus pines se **llama** TRISA y esta localizado en la dirección 85h del Banco 1. Su pin RA4/TOCKI también puede servir dc entrada al Timer 0. Al conectar la alimentación queda configurado como entrada.

PORTB 06h Banco 0

Puerto dc entrada/salida de 8 bits (pines RB0 a RB7). El puerto B puede leerse o escribirse como si se tratara de un registro cualquiera. El registro que controla el sentido (entrada o salida) de sus pines sc llama TRISB y está localizado en **la** dirección 86h **del** Banco 1. Algunos de sus pines tienen funciones alternas en la generación de interrupciones (ver capitulo 17). Al conectar la alimentación queda configurado como entrada.

EEDATA 08h Banco 0

(EEPROM Data Register). Contiene los bytes que se van a escribir o que se han leido de la EEPROM de datos. Al conectar la alimentación su contenido es desconocido, (EEDATA) = b'xxxxxxxx'.

EEADR 09h Banco 0

(EEPROM Address Register). Contiene la dirección de **la** EEPROM de datos a la que acceder para leer o escribir. Al conectar la alimentación su contenido es desconocido, (EEADR) = **b'xxxxxxxx'.**

PCLATH — 0Ah Banco 0

(PC Latch High). **Registro qiie** permite **acceder de** forma indirecta a la parte alta **del** contador **de** programas **en** algunas instrucciones, tal coma **se** describe **en** la figura E-3. **Al** conectar la alimentación se resetea (PCLATH) = b'---00000'.

INTCON — 0Bh Banca 0. 8Bh Banco 1

(Interrupts Control Register). Registro para el control **de** las interrupciones. Es *el* encargado del manejo de **las** interrupciones. Contiene los 8 bits que se muestran **en** *la* **tabla** *E-2.* **de Tos** cuales unos actúan corno flags señaladores **del** estado de la interrupción y otros como bit **de** permiso *o* autorización **p a n que** se pueda producir la interrupción. **Al** conectar **la** alimentación su contenido **es** (INTCON) = b'0000000x'.

GIE	EEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla E-3 Registro de control de las interrupciones INTCON

- **RBIF** *(RB port change Interrupt Flag).* **Flag** de estado **de** la interrupción RBI. Indica que se ha **producido** una interrupción por cambio de **estado de cualquiera** de **las líneas** RR4 a RB7.
  - *o* RBIF= **0. Ninguna de las** entradas RR7 **a** RB4 ha cambiado de estado
  - *o* RBIF **=** *1.* **Cualquiera de las** líneas RB7 a RB4 **del** Puerto B ha cambiado. **(Debe borrarse** por software).
- **INTF** *(External Interrupt Flag bit).* Flag **de estado de** la interrupción externa INT. **Indica** que se ha producido una interrupción **a** través **del** pin RB0/INT.
  - *o* INTF = **0.** No hay interrupción externa por el **piri** RB0/INT.
  - o INTF = 1. Ha **ocurrido** uiia interrupción **externa** por la línea RB0/INT. (Debe borrarse por software).
- **T0IF** *(TMR0 Overflow Interrupt Flag bit).* Flag de estado de la interrupción producida por el **TMRO.** Indica que **se ha** producido una interrupción por desbordamiento del Timer 0, es **decir, que** ha pasado de b'11111111' (FFh) **a** b'00000000' (00h).
  - *o* T0IF = 0. El TMRO no **se ha** desbordado
  - *o* T0IF = 1. El TMRO **se** ha desbordado. (Debe borrarse por software).
- **RBIE** *(RB Port Change Interrupt Enable).* Habilitación de la interrupción RBI. Flag *que* **autoriza** la interrupción **por cambio de estado di:** las líneas RB7:RB4 del Puerto B.
  - o RBIE = 0. Interrupción RBI deshabilitada.
  - *o* RBIE = 1. Interrupción RBI habilitada.

- **INTE** *(External INT Enable bit).* Habilitación de la interrupción externa INT. Flag que autoriza la interrupción externa a través del pin RB0/INT.
  - INTE = 0. Interrupción INT deshabilitada.
  - INTE = 1. Intempcion INT habilitada.
- **T0IE** *(TMRO Interrupt Enable bit).* Habilitación de la interrupción TOI. Flag que autoriza la interrupción por desbordamiento del Timer 0.
  - T0IE = 0. Interrupción TOI deshabilitada.
  - TOIE = 1. Interrupción T0I habilitada.
- **EEIE** *(EEPROM Write Complete Interrupt Enable).* Habilitación de la interrupción EEI. Flag que autoriza la interrupción por escritura completada de un byte en la EEPROM dc datos del PIC (el flag EEIF se encuentra en el registro EECON1).
  - EEIE = 0. Interrupción EEI deshabilitada.
  - **EEIE** = 1. Interrupción EEI habilitada.
- **GIE** *(Global Interrupt Enable).* Flag de habilitacion global del permiso de interrupción. Se borra automáticamente cuando se reconoce una interrupción para evitar que se produzca ninguna otra mientras se está atendiendo a la primera. Al retornar de la interrupción con una instrucción *retfie*, el bit GIE se vuelve a activar poniéndose a "1".
  - GIE = 0. No autoriza interrupción de ningún tipo.
  - GIE = 1. Autoriza cualquier tipo de interrupción. Se pone a "1" automáticamente con la instrucción *retfie*.

OPTION 81h Banco 1

Registro de configuración múltiple, aunque su misión principal es gobernar el comportamiento del TMRO. Algunos microcontroladores PIC tienen una instrucción denominada también *option*, por ello, el fabricante *Microchip* recomienda darle otro nombre a cstc registro. Así en el fichero de definición de etiquetas P16F84A.INC se le nombra como OPTION_REG. Al conectar la alimentación todos sus bits se ponen a "1", (OPTION_REG) = b'11111111'.

/RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla E-3 Registro OPTION_REG

- **PS2:PS0** *(Prescaler Rate Select bits).* Bits para seleccionar los valores del *Prescaler* o rango con el que actúa el divisor de frecuencia, según la tabla E-5.

PS2 PS1 PS0	Divisor del TMR0	Divisor del WDT
0 0 0	1:2	1:1
0 0 1	1:4	1:2
0 1 0	1:8	1:4
0 1 1	1:16	1:8
1 0 0	1:32	1:16
1 0 1	1:64	1:32
1 1 0	1:128	1:64
1 1 1	1:256	1:128

Tabla E-5 Selección del rango del divisor de frecuencia

- **PSA** *(Prescaler Assignment bit).* Asignación **del** divisor **de frecuencia. El Prescaler es compartido** entre **el** TMR0 **y el WDT: su asignación** es **mutuamente excluyente** ya **que solamente** a **uno de ellos se** puede aplicar el **divisor de** frecuencia a la **vez.**
  - **PSA** = 0. **El divisor de** frecuencia **se asigna al** TMRO.
  - **PSA** = 1. **El divisor** de **frecuencia *se* asigna al** Watchdog.
- **TOSE** *(TMR0 Source Edge Select bit).* Selecciona flanco **de la señal** al TMRO.
  - TOSE = 0. **TMRO se incrementa en cada flanco ascendente de la señal aplicada al pin** RA4/T0CKI.
  - **TOSE** = 1. **TMRO se** incrementa en cada flanco **descendente** de la señal **aplicada al** pin RA4/T0CKI.
- **TOCS** *(TMR0 Clock Source Select bit).* Selecciona **la** fuente **de señal** del TMRO.
  - T0CS = 0. **Pulsos** de reloj interno Fosc/4 (TMR0 como temporizador).
  - TOCS = 1. **Pulsos** introducidos **a** traves **del pin RA4/T0CKI (TMR0 como contador).**
- **INTEDG** (*Interrupt Edge Select bit).* **Sclector de** flanco **de la** interrupción INT.
  - **INTEDG** = 0. **Interrupción por** flanco **descendente del pin** RB0/INT.
  - **INTEDG** = 1. **Interrupción por flanco ascendente del pin** RB0/INT.
- **/RBPU,** *(Resistor Port B Pull-Up Enable bit).* **Habilitación de las resistencias de** Pull-Up **del Puerto B.**
  - /RBPU = 0. **Habilita** las **resistencias** de Pull-Up del **Puerto** R.
  - /RBPU = 1. **Deshabilita las resistencias** de Pull-Up **del Puerto B.**

TRISA — 85h Banco 1

Registro de configuración **de las líneas del Puerto A.** Es **el** registro **de control** para **el** Puerto **A.** Un **"0" en el bit correspondiente** al pin **lo configura como salida, mientras que un "1" lo** hace como entrada. **Al igual que** el Puerto **A,** solo dispone **de** 5 **bits. Al** conectar **la alimentación** todos **sus bits** se ponen a **"1", (TRISA)** = b'---11111'.

TRISB 86h Banco 1

Registro de configuración de las líneas del Puerto B. Es el registro de control para el Puerto A. Un "0" en el bit correspondiente al pin lo configura como salida, mientras que un "1" lo hace como entrada. Al conectar la alimentación todos sus bits se ponen a "1", (TRISB) = b'11111111'.

EECONI 88h Banco 1

(EEPROM Control Register 1). Registro para el control de la memoria EEPROM de datos. Al conectar la alimentación su contenido es (EECONI) = b'---0x000'.

			EEIF	WRERR	WREN	WR	RD
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla E-6 Registro de control de la EEPROM de datos INTCON

- **RD** *(Read Control Bit)*. Bit de control de lectura en la EEPROM. Al ponerlo en "1" se inicia la lectura de un byte en la EEPROM de datos. Este bit se limpia (se pone a "0") por hardware automáticamente al finalizar la lectura de la posición EEPROM.
  - **RD** = 0. No inicia la lectura de la EEPROM o la misma ha terminado.
  - RD = 1. Inicia la lectura de la EEPROM. Se borra por hardware.
- **WR** *(Write Control Bid)*. Bit de control de escritura en la EEPROM. Al ponerlo en "1" se inicia una escritura de un byte en la EEPROM de datos. Este bit se limpia (se pone en "0") por hardware automáticamente una vez la escritura de la EEPROM ha terminado.
  - WR = 0. No inicia la escritura de la EEPROM o la misma ha terminado.
  - WR = 1. Inicia la escritura de la EEPROM. Se borra por hardware.
- **WREN** *(EEPROM Write Enable bit)*. Permiso de escritura en la EEPROM.
  - **WREN = 0.** Prohíbe la escritura de la EEPROM
  - WREN = 1. Permite la escritura de la EEPROM.
- **WRERR** *(EEPROM Write Error Flag Bit)*. Flag de error en la escritura. Se posiciona a "1" cuando la operación de escritura termina prematuramente debido a cualquier condición de reset. .
  - WRERR = 0. La operación de escritura se ha completado correctamente.
  - **WRERR** = 1. La operación de escritura ha terminado prematuramente.
- **EEIF** *(EEPROM Write Operation Interrupt Flag Bit)*. Flag de estado de interrupción por finalización de escritura en EEPROM. Señala el final con éxito de la operación de escritura de un byte en la EEPROM.

- o **EEIF** = 0. La **operación de** escritura de la EEPROM no ha terminado **o** no comenzó.
- **o** EEIF = 1. La operación de escritura de la EEPROM ha terminado. Debe borrarse por software.

- **Bits 5, 6 y 7** *(Unimplemented).* No implementados físicamente. Se leen "O".

EECON2 89h Banco 1

(EEPROM Control Register 2). Este registro no está implementado físicamente, **por** lo que es **imposible leerlo (si** se intenta leer, todos sus bits se leen como ceros). Se emplea como dispositivo de seguridad durante el proceso de escritura de la EEPROM, para evitar las interferencias en el largo intervalo de tiempo que precisa su desarrollo.

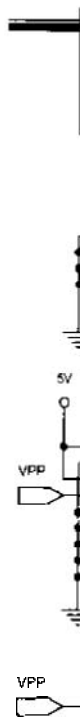
REGISTRO DE CONFIGURACIÓN

El PIC16F84 dispone de una palabra de configuración dc 14 bits que se escribe durante el proceso de grabación del microcontrolador y que no se puede modificar durante la ejecución de un programa. Dichos bits ocupan la posición reservada de memoria **de** programa 2007h.

			CP	PWRTE	WDTE	FOSC1	FOSC0
Bit 13	...	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabla E-7 Registro de configuración (Configuration Word)

- **FOSC<1:0>** *(Flag Oscilator Selection).* Selección del tipo de oscilador:
  - o FOSC = 00. Oscilador de bajo consunio **LP** (32 **kH7** - 200 kHz)
  - o FOSC = 01. Oscilador estándar XT (100 kHz- 4MHz)
  - **o** FOSC = 10. Oscilador de alta velocidad HS (**4** MHz - 20 MHz)
  - **o** **FOSC** = 11. Oscilador de bajo coste RC.
- WDTE *(Watchdog Enable).* Bit de habilitación del *Watchdog.*
  - **u** WDTE = 0. Watchdog deshabilitado.
  - **o** WDTE = 1. Watchdog habilitado.
- **PWRTE** *(Power-up Timer Enable).* Activación del temporizador *Power-Up.*
  - o PWRTE = 9. Temporizador *Power-Up* deshabilitado.
  - **o** PWRTE = 1. Temporizador *Power-Up* habilitado.
- **CP** *(Code Protection bit)* Bit de protección de código.
  - o **CP** = 0. Toda **la** memoria de programa está protegida contra lecturas indeseables.
  - o CP = 1. La memoria de programa se puede leer. No está protegida.



APÉNDICE F

GRABADOR T20-SE

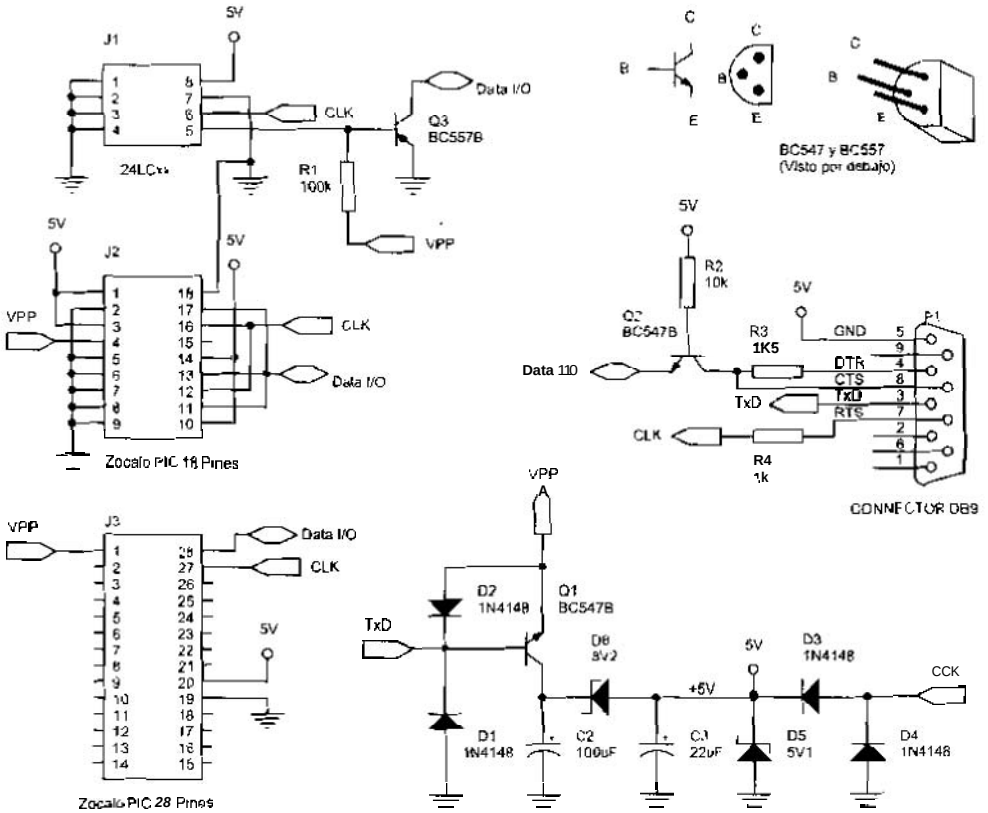
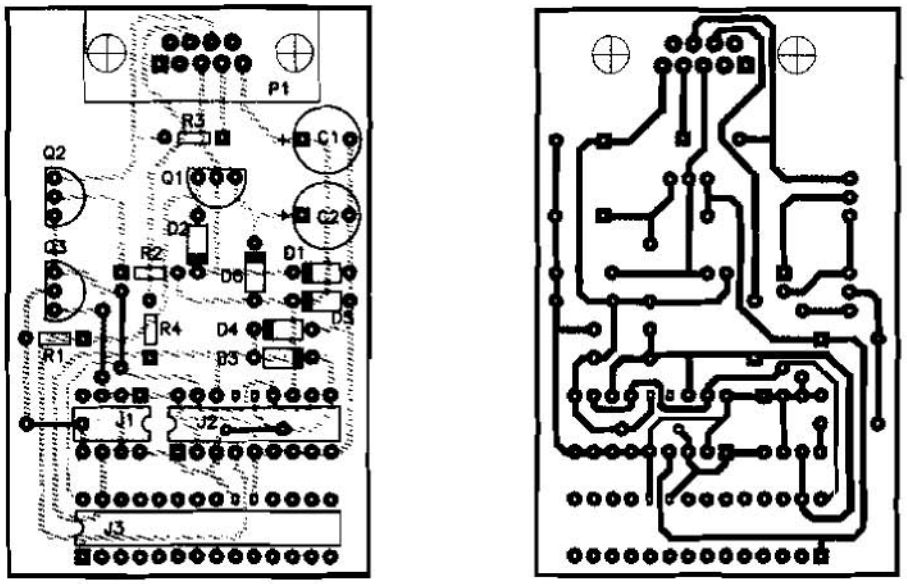


Figura F-1 Esquema eléctrico



Cara de componentes

Cara de pistas

Figura F-2 Placa de Circuito Impreso

LISTADO DE COMPONENTES:

C1	22µF / 16V
C2	100µF / 16V
D1,D2	
D3,D4	1N4148
D5	Zénerde 5V1 ½W
D6	Zéner de 8V2 ½W
J1	Zócalo 8 pines
J2	Zócalo 18 pines
53	Zócalo 28 pines
P1	Conector DB9 hembra
Q1, Q2	BC547
Q3	BC557
R1	100 k
R2	10 k
R3	1k5
R4	1 k

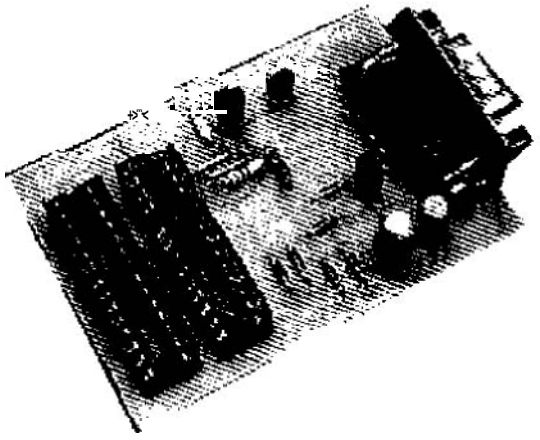


Figura F-3 Grabador TE20-SE

©RA-MA





CÓDIGO ASCII

ASCII es el acrónimo de *American Standard Code for Information Interchange* (Código Normalizado Americano para el Intercambio de Información). El código ASCII es un sistema de representación utilizado en los sistemas digitales (incluido ordenadores) que utiliza un esquema de codificacion que asigna valores numéricos a las letras, números, signos de puntuación y a otros caracteres. Al normalizar los valores utilizados para dichos caracteres se logra que, en sistemas digitales, microcontroladores, ordenadores y programas informáticos intercambien información.

Dado su origen en el sistema binario, el código ASCII está compuesto por *256* valores que estan divididos a la mitad en el conjunto estandarizado y el conjunto extendido de 128 valores cada uno.

- **Código** ASCII **estándar**. El conjunto ASCII básico, o estándar, utiliza 7 bits para cada codigo, lo que da como resultado 128 códigos de caracteres desde **0** hasta 127 (00h hasta 7Fh hexadecimal). Son los mismos en todos los sistemas operativo., y lenguajes de programación. Normalmente estos códigos se representan con 8 bits, poniendo el octavo bit o **MSB** a cero.
- **Código ASCII extwdido.** Son los caracteres del 128 hasta el 255 (80h al FFh hexadecimal) y no hay un acuerdo respecto a ellos. Se asignan a conjuntas de caracteres que varían **según** los fabricantes y programadores de software. Estos códigos no son intercambiables **entre** los diferentes programas y sistemas digitalcs como los caracteres ASCII estándar.

En el conjunto de caracteres ASCII estándar se diferencian dos **grupos:**

- **Códigos de control.** Los primeros 32 valores (del 0 al 31) están asignados a los códigos de control de comunicaciones y de impresora (caracteres no imprimibles,

como retroceso, retorno de carro y tabulación) empleados para controlar la forma en que la información es transferida desde un ordenador a otro o desde un ordenador a una impresora.

- **Códigos alfanuméricos.** Los 96 códigos restantes (del 32 al 127) son caracteres ASCII normales, se asignan a letras mayúsculas y minúsculas del alfabeto latino, a los signos de puntuación corrientes, a los dígitos del 0 al 9 y a otros que se detalla en la tabla G-1.

Códigos de Control				Caracteres Alfanuméricos								
Nombre	Dec	Hex	Car.	Dec	Hex	Car.	Dec	Hex	Car.	Dec	Hex	Car.
Nulo	0	00	NUL	32	20	Espacio	64	40	@	96	60	`
Inicio de cabecera	1	01	SOH	33	21	!	65	41	A	97	61	a
Inicio de texto	2	02	STX	34	22	"	66	42	B	98	62	b
Fin de texto	3	03	ETX	35	23	#	67	43	C	99	63	c
Fin de transmisión	4	04	EOT	36	24	$	68	44	D	100	64	d
Enquiry	5	05	ENQ	37	25	%	69	45	E	101	65	e
Acknowledge	6	06	ACK	38	26	&	70	46	F	102	66	f
Campanilla (beep)	7	07	BEL	39	27	'	71	47	G	103	67	g
Backspace	8	08	BS	40	28	(	72	48	H	104	68	h
Tabulador horizontal	9	09	HT	41	29	)	73	49	I	105	69	i
Salto de linea	10	0A	LF	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
Tabulador vertical	11	0B	VT	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
Salto de pagina	12	0C	FF	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
Retorno de carro	13	0D	CR	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
Shift fuera	14	0E	SO	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
Shift dentro	15	0F	SI	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
Escape línea de datos	16	10	DLE	48	30	0	80	50	P	112	70	p
Control dispositivo 1	17	11	DC1	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
Control dispositivo 2	18	12	DC2	50	32	2	82	52	R	114	72	r
Control dispositivo 3	19	13	DC3	51	33	3	83	53	S	115	73	s
Control dispositivo 4	20	14	DC4	52	34	4	84	54	T	116	74	t
neg acknowledge	21	15	NAK	53	35	5	85	55	U	117	75	u
Sincronismo	22	16	SYN	54	36	6	86	56	V	118	76	v
Fin bloque transmitido	23	17	ETB	55	37	7	87	57	W	119	77	w
Cancelar	24	18	CAN	56	38	8	88	58	X	120	78	x
Fin medio	25	19	EM	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
Sustituto	26	1A	SUB	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
Escape	27	1B	ESC	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
Separador archivos	28	1C	FS	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
Separador grupos	29	1D	GS	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
Separador registros	30	1E	RS	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
Separador unidades	31	1F	US	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	DEL

Tabla G-1 Código ASCII estándar

r la forma
desde un

caracteres
eto latino,
os que se

Car.
a
b
c
d
e
f
g
h
i
j
k
l
m
n
o
p
q
r
s
t
u
v
w
x
y
z

APÉNDICE H

DIRECCIONES DE INTERNET

EDITORIAL Ra-Ma: www.ra-ma.es o www.ra-ma.com

FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES

- www.microchip.com *Microchip Technology Inc*, fabricante de microcontroladores PIC.
- www.dalsemi.com *Dallas Semiconductor-MAXIM*, fabricante de componentes electrónicos utilizados en el libro.
- www.semiconductors.philips.com *Philips Semiconductors*, fabricante de componentes utilizados en el libro.
- www.national.com *National Semiconductor*.
- www.fairchildsemi.com *Fairchild Semiconductor*.
- http://sharp-world.com *Sharp Corporation*.
- www.futaba-rc.com *Futaba*, fabricante servomotores.
- www.vishay.com *Vishay Semiconductors*, fabricante del CNY70 y otros componentes electrónicos.
- www.optekinc.com *Optek Technology*, fabricante de sensores ópticos y otros.
- www.isocom.com *Isocom Components*, fabricante de optoacopladores.
- www.robot-electronicl;.co.uk *Devantech Ltd*, componentes para microrobótica.
- www.htsoft.com *Hi-Tech Software*, propietarios de los derechos sobre el compilador PICC.
- www.ccsinfo.com *CCS Inc*, propietarios del compilador PCW.
- www.melabs.com *MicroEngineering Labs*, propietarios del compilador PICBasic Pro.

- www.sagitron.es Distribuidor de microcontroladorcs PIC. También **vende** todo tipo de componentes electrónicos.
- www.modelimport.com Distribuidor de servomotores para **España.** Ticnc una útil relación de tiendas que venden productos de modelismo.
- www.jdm.homepage.dk/newpic.htm ProgramadoresJDM.
- www.ic-prog.com Software IC-Prog.

PÁGINAS SOBRE MICROCONTROLADORES EN ESPAÑOL

- www.terra.es/personal/fremiro
- www.odisea2010.com
- www.todopic.com.ar
- www.conket.com

FOROS SOBRE MICROCONTROLADORES EN ESPAÑOL

Las paginas Web de la sección anterior también tienen buenos foros sobrc microcontroladores PIC. Otros foros:

- http://ar.groups.yahoo.com/group/PicListLatina
- http://boards1.melodysoft.com/app?ID=creatronica.microcontroladores
- Foros de Google:
  - es.ciencia.electronica
  - es.ciencia.electronica.micros

VENTA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

- www.amjdata.es
- www.farnell.com
- www.superrobotica.com
- www.telkron.es

AUTORES DE ESTE LIBRO

- www.terra.es/personal/fremiro
- www.epalacios.com
- www.ljlopez.com

OTRAS DE ESPECIAL INTERÉS

- www.comunidadelectronicos.com Mucha información útil sobre temas de electrónica.
- http://personal.redestb.es/castillo Más información útil.
- www.piclist.com Con mucha información sobre microcontroladorcs PIC y múltiples enlaces (en inglés).

vende todo

. Tiene una

foros sobre

es

e temas de

lores PIC y

APÉNDICE I

CONTENIDO DEL CD-ROM

El CD-ROM que se incluye **en** la presente publicación contiene todos **los** programas necesarios **para realizar** los **proyectos** desarrollados en ***este*** texto. Hay además otros ficheros de ayuda o complementarios.

Las diversos subdirectonos o ficheros que contiene son:

MPLAB IDE

Contiene el archivo MPLAR v.6.40.EXE **que es** programa de instalación ***de*** MPLAB IDE versión 6.40.0.0 y algunos archivos en formato PDF con información sobre el ensamblador MPASM, MPLAB y **otros.**



Soluciones Programas

Los prógramas resueltos de todos **los ejercicios** y **proyectos.**

IC-Prog

Ficheros para el IC-Prog **que es el software** de grabación de microcontroladores desarrollado por Bonny Gijzen **y** recomendado **en el** libro.

TE20-SE

Ficheros para la realización de la placa de circuito impreso del grabador TE20-SE.

PDF

información técnica sobre los componentes utilizados en el libra.

ÍNDICE ALFABÉTICO

1

1-Wire Bus, 441
24LC256, 345
40106, 515
4N25, 11

A

ACK, 335
Addwf PCL,F, 134, 137, 159
Algoritmo, 127
ALU, 43
AND lógica, 105
Animate, 92
Antirrebote, 182, 536
Arquitectura interna, 37, 47
ASCII, 613

B

Bajo consumo, 108, 237
Banco, 41, 69
Baudio, 307
BCD, 131, 147
Bit ACK, 335
Bits de configuración, 28, 610
Bloquear un circuito, 221
Bonoloto, 251
Breakpoint, 93
BT137-400, 18
Bucles, 125
Bumper, 536
Bus de 1 línea, 441
Bus serie I2C, 331
Buses, 47

C

C, 44, 102, 604
Calendario digital, 371, 379
Características técnicas, 565
Carry, 44, 102, 103, 106, 604
Cerradura electrónica, 299
Ciclo máquina, 50, 169, 171
CISC, 51
CNY70, 522
Código de operación, 59
Código fuente, 59, 99
Código máquina, 57, 70
Comentarios, 59, 61
Compilador, 111
Complementar W, 109
Configurar líneas, 69
Constantes numéricas, 63, 587
Contador de programa, 39, 42, 134, 145, 147, 258, 603
Convertidor Analógico-Digital, 423
Convertidor Digital-Analógico, 423
CP, 46, 610
CPU, 47
Cronómetro MPLAB, 171

D

DC, 44, 102, 604
DDRAM, 189
Decrementar, 104, 121
  un registro, 109
  W, 110
Depurar, 117
Detector de paso por cero, 17
Diagrama de bloques, 37
Diagrama de flujo, 127
Diodo LED, 9

Direccionamiento, 241
Directiva
  CBLOCK, 130, 151, 591
  CONFIG, 73, 237, 592
  DE, 218, 592
  DEFINE, 130, 593
  DT, 159, 594
  ELSE, 594
  END, 71, 149, 151, 595
  ENDC, 130, 595
  ENDIF, 595
  ENDM, 244, 596
  EQU, 72, 596
  ERROR, 161, 596
  IF, 161, 597
  INCLUDE, 73, 149, 152, 598
  LIST, 73, 598
  MACRO, 244, 599
  MESSG, 160, 599
  ORG, 72, 600
Directivas, 71, 589
Disassembly, 88
Display de 7 segmentos, 12, 162, 397
Dividir, 111
Divisor de Frecuencia, 225
Dólar, 68
DS1307, 371
DS1624, 359, 405
DS1820, 441

E

Editar, 116
EEADR, 214, 605
EECON1, 214, 609
EECON2, 214, 610
EEDATA, 214, 217, 605
EEIE, 258, 607
EEIF, 215, 609
EEPROM de datos, 213
EEPROM serie, 344
EIA232 Standard, 305
Emulador, 112
Emulador ICE 2000, 113
Ensamblado, 112
Ensamblar, 85, 116
Estímulos, 95
Etiquetas, 59, 60, 100
Expansor de bus I2C, 409

F

Fairchild Semiconductors, 527
Fibonacci, 140
Fichero
  de errores, 59
  fuente, 58
  hexadecimal, 59, 87, 96
  listable, 59, 98
Formato de las constantes, 63, 587
FOSC, 45, 610
Fototriac, 16
Frecuencímetro digital, 234
FSR, 241, 605
Full Scale (FS), 429
Futaba S3003, 507

G

GIE, 258, 607
GP2Dxx, 527
GPR, 41
Grabación, 25, 96, 117
Grabador, 21

H

H21A1, 526
Halt, 92
Harvard, 49
Herramientas, 111
Hex, 59, 87, 96
Histéresis, 516
Hitec HS-300, 507
HyperTerminal, 314

I

I2C, 332
IC-Prog, 24, 46, 97, 114, 117, 236, 355
  Area de código, 27
  Area de configuración, 27
  Driver NT/2000/XP, 34
ID, 46
Identificadores, 46
Indexado 134,241
Incrementar, 105, 121
  un registro, 109
  W, 110
INDF, 241, 603
Instrucción
  addlw, 102, 573
  addwf, 103, 573
  andlw, 105, 573
  andwf, 105, 574
  bcf, 68, 574
  bsf, 68, 574
  btfsc, 120, 575
  btfss, 120, 575
  call, 142, 143, 145, 147, 256, 576
  clrf, 67, 576
  clrw, 66, 67, 577
  clrwdt, 236, 577
  comf, 106, 577
  decf, 104, 578
  decfsz, 121, 578
  goto, 68, 579
  incf, 105, 579
  incfsz, 121, 580
  iorlw, 105, 580
  iorwf, 106, 580
  movf, 67, 581

© RA-MA
© RA-MA

Instrucción
movlw, 67, 581
movwf, 67, 582
nop, 171, 582
retfie, 258, 260, 582
retlw, 157, 159, 583
return, 142, 143, 146, 147, 583
rlf, 106, 584
rrf, 106, 584
sleep, 108, 238, 584
sublw, 103, 585
subwf, 104, 586
swapf, 107, 586
xorlw, 107, 587
xorwf, 107, 587
Instrucciones
algunas útiles, 109
aritméticas, 64
de bit, 64, 68
de carga, 64, 66
de resta, 103
de salto, 64, 119
de suma, 102
especiales, 64
lógicas, 64, 105
repertorio, 64, 572
set, 64, 572
INTCON, 224, 226, 257, 258, 77, 606
INTE, 259, 607
INTEDG, 260, 608
Interrupción, 255
Averiguar causas, 264
EEI, 257
Fases, 264
INT, 256, 260
RBI, 257, 267
Registros alterados, 262
T0I, 257, 77
Interruptores, 11
INTF, 259, 606
Invertir bits, 110
IRP1, 605

J

JDM, 23, 27, 97, 114
Instrucción

L

L293B, 469
Lazos, 125
Lazos anidados, 174
LCD, 187
LDR, 518
Lenguaje
Alto nivel, 112
Basic, 112
C, 112
ensamblador, 58
máquina, 57
Librería
BIN_BCD.INC, 151
BUS_1LIN.INC, 447
BUS_I2C.INC, 340
DISPLAY_7S.INC, 164
DS1307.INC, 377
DS1624.INC, 364
DS1820.INC, 450
EEPROM.INC, 216
LCD_4BIT.INC, 194, 196
LCD_MENS.INC, 204
M24LC256.INC, 351, 355
MACROS.INC, 246
P16F84A.INC, 73
PCF8574.INC, 412
PCF8574_TECLADO.INC, 417
RETARDOS.INC, 176
RS232.INC, 312
RS232_MEN.INC, 319
TECLADO.INC, 293
Librerías, 149
LIFO, 145
LM016L, 188
LST, 59, 98

M

Macros, 243
Máscara, 110
MAX232, 309
MCLR, 7, 44
Memoria, 1, 37
de programa, 37, 99
EEPROM de datos, 38, 213
Organización, 37
RAM de datos, 38, 41, 242
ROM Flash, 39
Memoria 24LC256, 344
Microbot, 543
Microbótica, 543
Microcontrolador, 1, 47, 48
Microprocesador, 47
Microrobot, 543
MOC3041, 16
Monitorización, 322
Motor
DC, 467
de corriente continua, 467, 545
PAP, 482
PAP Bipolar, 485
PAP Unipolar, 487
Paso a paso, 482
MPASM, 59, 71, 78, 112, 116, 589
MPLAB, 59, 76, 115, 116
MPLAB SIM, 78, 112, 116
Multiplexación de displays, 400
Multiplicar, 111

N

Negar W, 110
Nemónicos, 58
Normas de estilo, 62

O

OPB703/4/5, 524
Operaciones
  aritméticas, 102
  lógicas, 105
Operadores aritméticos, 64, 588
Operandos, 59, 61
OPTION, 226, 259, 607
OPTION_REG, 226
Optoacoplador, 11
OR lógica, 105
OR-Exclusiva, 107
Organización de la memoria, 37
Ortogonal, 52
OSC1/CLKIN, 4
OSC2/CLKOUT, 4, 5
Oscilador, 4, 28, 45, 96, 610

P

P16F84A.INC, 61, 62, 73
PC, 39, 42, 136, 258, 603
PCF8574, 409
PCF8591, 423
PCH, 39, 42, 136, 258, 603
PCL, 39, 42, 136, 258, 603
PCLATH, 137, 606
PCW, 112
PD, 238, 604
PIC, 1
PIC16C84, 41
PICBasic Pro, 112
PICC, 112
PICDEM 4, 114
PICSTART PLUS, 22
Pila, 145
Pin Stimulus, 96
Pipeline, 50
Polling, 253
PORTA, 42, 53, 605
PORTB, 42, 56, 605
Power-On Reset POR, 7
Prescaler, 225, 236
Programa, 1
Programa de control, 21
Programa ensamblador, 58, 112
Programación estructurada, 155
Programador, 21
Protoboard, 8
Proyectos, 115
PS2:PS0, 226, 607
PSA, 227, 608
Puente en H, 468
Puerto serie RS-232, 305
Puertos, 3, 42, 53, 69, 605
Pull-Up, 249, 291, 333, 417, 446
Pulsador, 11, 181
Puntero, 241
Punto de paro, 93
PWM, 475
PWRTE, 45, 610

Q

Quiniela, 211

R

RBIE, 259, 606
RBIF, 56, 259, 606
RBPU, 250, 608
RD, 215, 609
Rebotes, 181
Recursos especiales, 235
Registro
  Configuración, 45, 610
  de estado, 43, 604
  de trabajo W, 43
Registros
  Funciones especiales, 41, 42
  Propósito general, 41
  Tras un reset, 44
Relé, 14
Reloj, 4, 371
Reloj digital, 94, 288, 379
Reset, 7, 44, 93
Reset PWRT, 7
Resolución, 428
Retardo, 172
RISC, 51
Rotación, 106
RP0, 41, 44, 69, 604
RP1, 605
RS-232, 305
Run, 93
Run to Cursor, 94

S

SAA1064, 397
Salto
  Condicional, 119
  Incondicional, 68
  Indexado, 134, 159
Schmitt, 516
SCL, 332
SDA, 332
Segmentado, 50
Sensores, 515
Servomotores, 506, 545
Servos, 506
SFH5110, 532
SFR, 41, 42
Simulación, 92

© RA-MA

Simulador, 112, 116
Simulate Trace, 94
SISC, 51
Sistema de desarrollo, 114
Sleep, 44, 238
SRF04, 538
Stack, 145, 154
Standby, 237
Start, 335
STATUS, 43, 238, 604
Step Into, 92, 154
Step Over, 154
Stop, 335
Stopwatch, 171, 232
Subrutina, 128, 141
  anidada, 143
  de retardo, 172
  interrupción, 255
  simulación, 154

T

T0CKI, 224
T0CS, 224, 227, 608
T0IE, 259, 607
T0IF, 224, 226, 259, 606
T0SE, 224, 227, 608
Tabla de datos, 157
Tabla ROM, 159
Tablas de verdad, 157
TF20-SE, 23, 115, 117, 355
Teclado hexadecimal, 290, 417
Teclado matricial, 290
Temporizaciones
  largas, 81
  exactas, 79
Temporizador, 224
Temporizador digital, 83
Termómetro digital, 367, 404, 450
Termostato digital, 453
Tiempo de retardo, 172
Timer 0, 223
TMR0, 223, 603
TO, 239, 604
Triac, 17, 18
Trigger Schmitt, 516
TRISA, 42, 53, 69, 86, 608
TRISB, 42, 69, 86, 609

U

ULN2003, 15

V

Vector de interrupción, 258
Ventanas, 88
Visualización dinámica, 400
Visualizar mensajes, 204, 207
Von Neumann, 48

W

W, 43
Watchdog, 45, 225, 235, 610
WDT, 45, 225, 235, 610
WDTE, 45, 610
WR, 215, 609
WREN, 215, 609
WRERR, 215, 609

Z

Z, 44, 102, 604
Zumbador piezoeléctrico, 19

CM27/E1/04

Esta edición se terminó de imprimir en agosto de 2004. Publicada por ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V. Apartado Postal 73-267, 03311, México, D.F. La impresión se realizó en TALLERES GRÁFICOS DEL D.F., Puente Moralillo No. 49, Col. Puente Colorado, C.P. 01730, México, D.F.