

ÍNDICE

1.	HISTORIA DE LOS COMPUTADORES	15
1.1.	Introducción	15
1.2.	Orígenes de los computadores	16
1.3.	El transistor	17
1.4.	Los primeros ordenadores	17
1.5.	Los microprocesadores	19
1.6.	Las compañías más importantes	25
1.6.1.	IBM	25
1.6.2.	Hewlett-Packard	25
1.6.3.	NCR	26
1.6.4.	Apple	27
1.6.5.	Intel	27
1.6.6.	Motorola	27
2.	REPRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN	29
2.1.	Concepto de bit	29
2.2.	Representación de los números	30
2.2.1.	Sistemas posicionales. Sistema decimal	30
2.2.2.	Elección del sistema de numeración	33
2.2.3.	Conversión entre distintos sistemas de numeración	34
2.3.	Sistema de numeración binario	43
2.4.	Sistema de numeración octal	45
2.5.	Sistema de numeración hexadecimal	47
3.	ARITMÉTICA Y CODIFICACIÓN	51
3.1.	Aritmética binaria	51
3.1.1.	Suma binaria	51
3.1.2.	Resta binaria	53

3.2.	Formatos de los números y su representación	55
3.2.1.	Representación de números en coma fija sin signo	56
3.2.1.1.	Representación de números naturales en binario puro	57
3.2.2.	Representación de números en coma fija con signo	57
3.2.2.1.	Formato de números binarios en signo-magnitud	58
3.2.3.	Complementos	60
3.2.3.1.	Complemento a la base	61
3.2.3.2.	Complementos a la base menos uno ..	62
3.2.3.3.	Convenio del complemento a dos en números binarios	63
3.2.3.4.	Convenio del complemento a uno en números binarios	66
3.2.3.5.	Comparación entre las representaciones diferentes de números binarios con signo	69
3.2.4.	Representación de los números reales en binario	70
3.2.4.1.	Coma flotante	71
3.3.	Definiciones y codificación de la información	78
3.3.1.	Definiciones de información y código	78
3.3.2.	Propiedades de interés de los códigos	80
3.4.	Códigos binarios	84
3.4.1.	Principales definiciones y propiedades de los códigos binarios	86
3.5.	Tipos	87
3.5.1.	Códigos numéricos	87
3.5.1.1.	Código binario natural	87
3.5.1.2.	Códigos BCD	88
3.5.1.3.	Códigos continuos y cíclicos	95
3.5.1.4.	Código Gray	95
3.5.1.5.	Código Johnson	98
3.5.2.	Códigos alfanuméricos	100
3.5.2.1.	Código ASCII	100
3.5.3.	Códigos detectores de error	102
3.5.3.1.	Códigos de paridad	102
3.5.3.2.	Códigos de peso fijo	104
3.5.4.	Códigos correctores de error	105
4.	ÁLGEBRA BOOLEANA Y PUERTAS LÓGICAS	115
4.1.	Definición de álgebra de Boole	115

4.2.	Teoremas del álgebra de Boole	117
4.3.	Álgebra de Boole bivalente	121
4.3.1.	Variables y funciones lógicas	124
4.3.2.	Representación de las funciones lógicas mediante tablas de verdad	125
4.3.3.	Representación de las funciones lógicas en su forma canónica	126
4.3.4.	Obtención de la función canónica a partir de la tabla de verdad. Teorema de expansión	128
4.3.5.	Conversión entre expresiones canónicas en <i>minterms</i> y <i>maxterms</i>	134
4.3.6.	Conversión de expresiones normalizadas a canónicas	136
4.3.7.	Conjunto de funciones de dos variables	137
4.3.8.	Función incompletamente definida	140
4.4.	Funciones lógicas básicas	141
4.4.1.	Función AND (puerta AND)	143
4.4.2.	Función OR (puerta OR)	147
4.4.3.	Función NOT (puerta lógica inversora)	151
4.4.4.	Función NAND (puerta NAND)	154
4.4.5.	Función NOR (puerta NOR)	157
4.4.6.	Función SEGUIDOR o puerta BUFFER	161
4.4.7.	Función XOR	162
4.5.	Simplificación de funciones lógicas	165
4.5.1.	Método algebraico de simplificación	166
4.5.2.	Método de Karnaugh	169
4.5.3.	Simplificación de funciones incompletas o con indiferencias	179
5.	INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DIGITALES	183
5.1.	Sistemas digitales	183
5.2.	Sistemas combinacionales	187
5.2.1.	Codificadores	191
5.2.2.	Decodificadores	193
5.2.3.	Multiplexores	195
5.2.4.	Demultiplexores	197
5.2.5.	Comparadores	198
5.2.6.	Generadores/detectores de paridad	200
5.2.7.	Circuitos aritméticos	202
5.3.	Sistemas secuenciales	206
5.3.1.	Definición	206
5.3.2.	Sistemas secuenciales asíncronos	207
5.3.3.	Sistemas secuenciales síncronos	214
5.3.3.1.	Bistable JK	215

5.3.3.2.	Biestable T	216
5.3.3.3.	Biestable D	217
5.4.	Registros y contadores	218
5.4.1.	Registros	218
5.4.2.	Registros de desplazamiento	219
5.4.3.	Contadores	220
5.5.	Memorias de semiconductor	224
5.5.1.	ROM	225
5.5.2.	RAM	226
6.	ESTRUCTURA BÁSICA DE UN COMPUTADOR	233
6.1.	Introducción	233
6.2.	Memorias	236
6.3.	Unidad aritmética	240
6.3.1.	Banco de registros	240
6.3.2.	Operador. Tipos de operadores	241
6.3.3.	Operaciones de una unidad aritmética	242
6.3.4.	Biestables de estado aritméticos	244
6.4.	Elementos de interconexión. Buses	245
6.5.	La unidad de control	249
6.6.	Estructura de un computador elemental y señales de control	254
6.7.	Funcionamiento interno de un computador. Cronogramas de instrucciones	259
6.8.	Unidad de entrada/salida	267
6.9.	Modos de transferencia	270
7.	PERIFÉRICOS	279
7.1.	Dispositivos de entrada/salida	279
7.2.	Dispositivos de entrada	281
7.2.1.	El teclado	281
7.2.2.	El ratón	283
7.2.3.	El Joystick o la palanca de control manual	285
7.2.4.	El lápiz óptico	285
7.2.5.	El escáner de imágenes	286
7.2.6.	El detector de caracteres magnéticos	288
7.2.7.	El detector de códigos de barras	288
7.2.8.	Sistemas de reconocimiento de voz	289
7.3.	Dispositivos de salida	290
7.3.1.	El monitor	290
7.3.2.	La impresora	293
7.3.2.1.	Tipos de impresión	293
7.3.2.2.	Mecanismos de impresión	293

7.4.	Dispositivos de almacenamiento	295
7.4.1.	La cinta magnética	295
7.4.2.	El disco magnético	296
7.4.3.	El disco óptico	297
8.	ESTRUCTURA INTERNA DE LOS MICROPROCESADORES DE 8 BITS: MC6802 Y 8051	299
8.1.	El microprocesador de Motorola MC6802	300
8.1.1.	Terminales físicos de conexión	301
8.1.2.	Estructura interna	307
8.2.	El microcontrolador 8051	309
8.2.1.	Función de los terminales físicos de la familia 8051	311
8.2.2.	Procesador monobinario	312
8.2.3.	Organización de la memoria	315
8.2.4.	Oscilador y circuito de reloj	323
8.2.5.	Puertos de entrada/salida	325
8.2.6.	Circuitos para temporización y conteo (timers) .	327
8.2.7.	Interrupciones	330
8.2.8.	Comunicación serie	333
8.2.9.	Arranque y parada del microcontrolador	339
9.	PROGRAMACIÓN DE ORDENADORES	341
9.1.	Conceptos de programa de ordenador y lenguaje de programación	341
9.2.	El código máquina	342
9.3.	El lenguaje ensamblador	343
9.4.	Ventajas e inconvenientes del lenguaje ensamblador frente a los lenguajes de alto nivel	345
9.5.	Lenguajes macroensambladores	346
9.6.	Lenguajes de alto nivel	347
9.7.	Entornos de programación	350
9.8.	Programas traductores	351
9.9.	Programas intérpretes	352
9.10.	Compiladores	352
9.11.	El análisis lexicográfico	353
9.12.	El análisis sintáctico	354
9.13.	El análisis semántico	355
9.14.	Optimización del código	355
9.15.	El montador de enlaces	356
9.16.	Ejemplos de lenguajes de alto nivel	357
9.17.	FORTRAN	357
9.18.	COBOL	358
9.19.	BASIC	359

9.20. PASCAL	359
9.21. Lenguaje C	360
10. MODOS DE DIRECCIONAMIENTO	363
10.1. Justificación de los modos de direccionamiento	363
10.2. Descripción de los modos de direccionamiento	366
10.2.1. Direccionamiento inmediato	367
10.2.2. Direccionamiento directo	369
10.2.2.1. Direccionamiento directo abso- luto	369
10.2.2.2. Direccionamiento directo relativo .	370
10.2.3. Direccionamiento indirecto	374
11. TIPOS DE INSTRUCCIONES	379
11.1. Formatos de instrucciones	379
11.2. Los bits de condición	381
11.2.1. Control del procesador y bits de estatus	383
11.3. Tipos de instrucciones	383
11.3.1. Transferencia de datos	383
11.3.2. Aritméticas	384
11.3.2.1. Algunas instrucciones de un solo operando	385
11.3.3. Lógicas	386
11.3.4. Manejo de bits	387
11.3.5. Desplazamientos y rotaciones	387
11.3.6. Control de flujo	389
11.3.7. Control del procesador y misceláneas	392
12. PROGRAMACIÓN DE LOS MICROPROCESADORES DE 8 BITS: 8051 Y 6802	395
12.1. Programación del microcontrolador 8051	395
12.1.1. Direccionamiento por registro	395
12.1.2. Direccionamiento directo	396
12.1.3. Direccionamiento indirecto por registro	397
12.1.4. Direccionamiento inmediato	397
12.1.5. Conjunto de instrucciones	398
12.1.6. Formato de las instrucciones	410
12.1.7. Ejemplos de programación	414
12.2. Programación del microprocesador 6802	422
12.2.1. Modos de direccionamiento	423
13. ARQUITECTURA Y PROGRAMACIÓN DE UN PROCESA- DOR DE 16 BITS (I): MC68000	431
13.1. Introducción	431
13.2. El MC68000 visto por el programador	433

13.2.1.	Registros internos	434
13.2.2.	El conjunto de instrucciones	436
13.2.2.1.	Instrucciones de transferencia	437
13.2.2.2.	Instrucciones de control	438
13.2.2.3.	Instrucciones de cálculo o transformación de datos	441
13.2.3.	Los modos de direccionamiento	444
13.2.3.1.	Modo de direccionamiento implícito	445
13.2.3.2.	Modo de direccionamiento inmediato	445
13.2.3.3.	Modos de direccionamiento directo	446
13.2.3.4.	Modos de direccionamiento indirectos	447
13.2.3.5.	Modos de direccionamiento relativos al contador de programa, PC	450
13.3.	El programa visto por el procesador MC68000	451
13.3.1.	Formatos de los datos y de las instrucciones. Ubicación en memoria	452
13.3.2.	Los formatos de las instrucciones y los modos de direccionamiento	454
13.3.3.	La ejecución de las instrucciones. El arranque del procesador. Los vectores de excepción/interrupción	459
13.4.	Ejemplos de utilización de instrucciones	460
13.4.1.	Ejemplos de utilización de instrucciones de transferencia	462
13.4.2.	Ejemplos de utilización de instrucciones aritméticas	464
13.4.3.	Ejemplos de utilización de instrucciones lógicas	466
13.5.	La pila del MC68000	469
13.6.	Interrupciones y excepciones	471
14.	ARQUITECTURA Y PROGRAMACIÓN DE UN PROCESADOR DE 16 BITS (II): MC68000	475
14.1.	Introducción	475
14.1.1.	Directivas de ensamblador o pseudoinstrucciones más utilizadas	479
14.1.1.1.	La directiva ORG	479
14.1.1.2.	La directiva END	479
14.1.1.3.	La directiva EQU	480

14.1.1.4.	La directiva DS	480
14.1.1.5.	La directiva DC	480
14.1.1.6.	Ejemplo	481
14.2.	Ejemplos de realización de estructuras de datos	483
14.2.1.	Definición de constantes	484
14.2.2.	Definición de variables	484
14.2.3.	Definición de vectores de datos	485
14.2.4.	Cadena de caracteres	486
14.2.5.	Pilas	489
14.3.	Estructuras de programa	490
14.3.1.	Secuencia de instrucciones	491
14.3.2.	Bifurcaciones	493
14.3.3.	Iteraciones	494
14.3.3.1.	Bucles FOR	495
14.3.3.2.	Bucles WHILE	496
14.3.3.3.	Bucles REPEAT-UNTIL	497
14.3.3.4.	Bucles LOOP	498
14.3.4.	Subrutinas	499
14.4.	Ejemplos de programación	504
14.4.1.	Conversión de un número de código binario natural a BCD	504
14.4.2.	Conversión de un número de código BCD a binario natural	505
14.5.	Conjunto de instrucciones	506
BIBLIOGRAFÍA		513
SOLUCIONES CAPÍTULOS 2, 3, 4 Y 5		515

Capítulo 13

ARQUITECTURA Y PROGRAMACIÓN DE UN PROCESADOR DE 16 BITS (I): MC68000

13.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es el de describir, de forma elemental, la arquitectura del procesador MC68000 de Motorola. También se van a comentar algunas características de otros procesadores o microprocesadores de la serie MC68XXX, pero nos vamos a centrar preferentemente en el procesador MC68000 señalando posteriormente algunas de las diferencias con otros dispositivos de esa serie.

Este procesador va a utilizarse aquí como ejemplo de los procesadores de 16 bits aunque realmente se trata de un procesador de 32 bits que a efectos de comunicación con el exterior se ha recortado a 16 bits. Por ejemplo, el MC68000 sólo dispone de 16 líneas de salida para el bus de datos y de 24 líneas para el bus de direcciones. Internamente este procesador dispone de un banco de 16 registros de 32 bits dividido en dos grupos: ocho registros de datos y ocho registros de direcciones, siendo uno de estos un registro especializado como se verá posteriormente.

Como se ha comentado este procesador dispone de terminales independientes para las líneas del bus de datos (16 líneas al exterior) y para las líneas del bus de direcciones (24 líneas al exterior).

Realmente sólo son accesibles exteriormente las líneas A1, A2,..., A23 ya que la línea A0 se descodifica internamente, como se aprecia en la figura siguiente. El bit A0 puede tomar los valores 0 o 1, activándose en el primer caso la línea UDS/ y en el segundo la línea LSD/. Este esquema permite también el acceso simultáneo a una palabra de 16 bits pero no se va

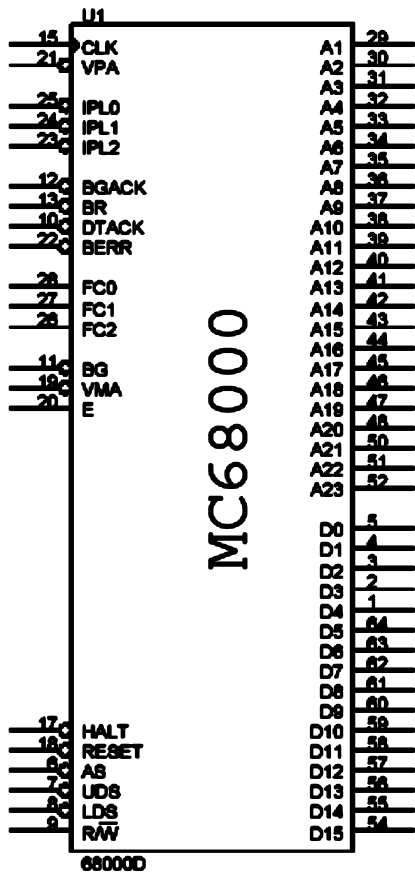


FIGURA 13.1. Terminales o pines del MC68000.

a incidir aquí en mayores detalles de este tipo porque desde el punto de vista de la programación no ofrece mayor interés.

Otra característica de interés aparece cuando se analiza donde residen los operandos de la ALU. Así los procesadores se pueden clasificar en tres grandes grupos: máquinas de **carga-almacenamiento** o de operación **registro-registro**, máquinas de operación **registro-memoria** y máquinas de operación **memoria-memoria**. En el último caso no es necesario transferir los operandos a registros internos de la CPU ya que se puede operar directamente sobre la memoria principal. En el primer caso todos los datos a operar deben estar en registros internos para lo cual se necesita transferirlos previamente a esos registros, operar sobre ellos y, en su caso, volver a transferir el resultado a memoria. Estos procesadores sue-

len contar con una importante cantidad de registros internos, habitualmente 8, 18 o 32. Las máquinas que siguen el esquema de operación registro-memoria ubican un operando en un registro interno y otro en memoria principal. Este esquema fue el primero en utilizarse por su sencillez en máquinas que solo poseían de un único registro interno que almacenaba o acumulaba el resultado de la operación. Por este motivo se les denomina como **máquinas de acumulador**. Como ejemplo de estas últimas se pueden mencionar la familia de microprocesadores de ocho bits de la serie PIC de la empresa Microchip, que solamente opera sobre el acumulador. Próxima a este grupo se encuentra la familia del procesador 8086 de la empresa Intel y que se utilizan en los ordenadores tipo PC, pues poseen solamente de 4 registros internos.

El MC68000 es un procesador híbrido que opera fundamentalmente entre los registros internos y la memoria, pero como cuenta con un banco de 16 registros también permite operar únicamente sobre ellos. También cuenta con una instrucción especial, CPM, que permite operar exclusivamente sobre memoria.

Otra característica importante del MC68000 consiste en la gran ortogonalidad y regularidad de sus instrucciones. Un conjunto de instrucciones es **regular** cuando cada instrucción no presenta casos especiales. Un conjunto de instrucciones es **ortogonal** cuando todas las instrucciones pueden utilizar los mismos modos de direccionamiento. Está claro que estas características son ideales, pero un procesador que las presente en mayor medida que otro permitirá un diseño de compiladores más sencillo. También será más fácil de programar directamente en ensamblador porque al programador le será más sencillo recordar el conjunto de instrucciones y su utilización.

13.2. EL MC68000 VISTO POR EL PROGRAMADOR

Al conjunto de registros accesibles por el programador y a las posibilidades utilizables por él suele denominarse **modelo del programador**. Aunque a éste puede resultarle ventajoso conocer ciertos detalles de la estructura interna de cara a la posibilidad de irregularidades de comportamiento de las instrucciones, habitualmente le es suficiente conocer sólo los recursos a los que puede acceder directamente. Por ejemplo, aunque la memoria caché, de un procesador que disponga de ella, no es accesible por el programador, el conocimiento de sus características puede resultarle de gran utilidad en ciertos casos especiales.

Básicamente, al programador interesan los registros internos, los modos de direccionamiento, los tipos de instrucciones

13.2.1. Registros internos

Como se ha comentado anteriormente el MC68000 dispone de un banco de registros formado por ocho registros de datos y ocho registros de direcciones. Además, dispone de un registro contador de programa, PC, de 32 bits y de un registro de estado de 16 bits.

Los ocho *registros de datos* tienen un tamaño de 32 bits, sin embargo las instrucciones permiten indicar si se va a operar sobre 8, 16 o 32 bits de estos registros. Los registros de datos se designan como D0, D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7.

Los ocho *registros de direcciones* también tienen un tamaño de 32 bits. Estos registros se designan como A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6 y A7. Sin embargo este último registro, A7, no es un registro de uso general, sino que tiene una aplicación especial: es el *puntero de pila de usuario* (USP) y su contenido va a poder ser modificado de forma implícita por ciertas instrucciones especializadas. Existe otro registro A7' denominado (SSP) o registro de *puntero de pila de supervisor* al que se podrá acceder únicamente cuando el procesador se encuentre en estado de supervisor. A diferencia de los registros de datos, sobre los registros de direcciones sólo se permite trabajar sobre 16 o sobre 32 bits.

El *registro contador de programa, PC*, dispone de 32 bits y permitiría direccionar 4 gigabytes de memoria principal, sin embargo, en el MC68000 sólo salen al exterior 24 terminales del bus de direcciones.

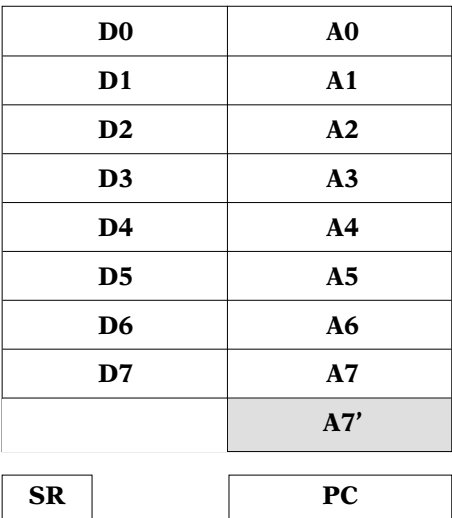


FIGURA 13.2. Registros internos.