

Proyecto de Estructura de Computadores
Sistemas de Entrada/Salida
Curso 2010/2011

Antonio Pérez Ambite
Santiago Rodríguez de la Fuente

Departamento de Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos
Facultad de Informática
Universidad Politécnica de Madrid

Octubre 2010 (v1.1)
Enero 2011 (v1.2)

Índice general

1. Microprocesador MC68000	1
1.1. Modelo de programación	1
1.1.1. Modelo de programación del modo usuario	1
1.1.2. Modelo de programación del modo supervisor	1
1.1.3. Registro de estado	3
1.2. Tipos de operandos y modos de direccionamiento	3
1.3. Organización de datos en registros	5
1.3.1. Registros de datos	5
1.3.2. Registros de direcciones	5
1.4. Mapa de direcciones	5
1.4.1. Organización de datos en memoria	5
1.5. Excepciones e interrupciones	6
1.5.1. Procesamiento de excepciones	7
1.5.2. Tabla de vectores de excepción	7
1.5.3. Procesamiento de interrupciones	7
1.5.4. Excepción de <i>reset</i>	9
1.6. Juego de instrucciones	9
1.6.1. Abreviaturas	9
1.6.2. Transferencia de datos	13
1.6.3. Aritméticas	17
1.6.4. Lógicas	23
1.6.5. Desplazamientos	25
1.6.6. Manejo de bits	31
1.6.7. Control del programa	32
1.6.8. Control del procesador	34
2. Controlador de líneas serie MC68681	35
2.1. Transmisión asíncrona de caracteres por una línea serie	35
2.2. Características de la DUART MC68681	36
2.3. Descripción de los registros	36
2.3.1. Registros de modo 1 (MR1A y MR1B)	38
2.3.2. Registros de modo 2 (MR2A y MR2B)	38
2.3.3. Registros de estado (SRA y SRB)	38
2.3.4. Registros de selección de reloj (CSRA y CSRB)	39
2.3.5. Registros de control (CRA y CRB)	39
2.3.6. Registros del buffer de recepción (RBA y RBB)	40

2.3.7. Registros del buffer de transmisión (TBA y TBB)	40
2.3.8. Registro de control auxiliar (ACR)	40
2.3.9. Registro de estado de interrupción (ISR)	40
2.3.10. Registro de máscara de interrupción (IMR)	41
2.3.11. Registro del vector de interrupción (IVR)	41
3. Programa ensamblador 68kasm	43
3.1. Llamada al programa ensamblador	43
3.2. Formato del código fuente	44
3.2.1. Campo de etiquetas	44
3.2.2. Campo de operación	44
3.2.3. Campo de operandos	44
3.2.4. Campo de comentario	44
3.2.5. Símbolos	45
3.2.6. Expresiones	45
3.2.7. Especificación de los modos de direccionamiento	45
3.3. Instrucciones de bifurcación	45
3.4. Pseudoinstrucciones	46
3.4.1. Set origin ORG	46
3.4.2. Equate EQU	46
3.4.3. Define constant DC	47
3.4.4. Define storage DS	48
3.4.5. Set symbol SET	48
3.4.6. Define register set REG	48
3.4.7. Define constant block DCB	48
3.5. Formato del listado ensamblador	49
3.6. Ejemplos	49
4. Simulador BSVC	51
4.1. Carga de computador virtual	51
4.2. Carga de un programa objeto	53
4.3. Menús de la ventana de manejo del simulador	53
4.4. Botones de la ventana de manejo del simulador	54
4.5. Errores conocidos	54
5. Enunciado del proyecto: E/S mediante interrupciones	55
A. Instalación del entorno de la práctica en un computador con sistema operativo Linux	77
A.1. Instalación en Linux Red Hat	77
A.1.1. Obtención del entorno	77
A.1.2. Instalación del paquete	77
A.2. Instalación genérica en Linux	78
A.2.1. Obtención del entorno	78
A.2.2. Instalación del paquete	78

B. Depuración de fallos que se manifiesten como excepciones en el procesador	
MC68000	81
B.1. Identificación la instrucción que provocó la excepción	82
B.2. Ejemplo	83

Capítulo 1

Microprocesador MC68000

El microprocesador MC68000 fue introducido en 1979 y es el primer microprocesador de la familia M68000 de Motorola. Es un procesador CISC, aunque posee un juego de instrucciones muy ortogonal, tiene un bus de datos de 16 bits y un bus de direcciones de 24 bits.

1.1. Modelo de programación

El MC68000 fue uno de los primeros microprocesadores en introducir un modo de ejecución privilegiado. Así, las instrucciones se ejecutan en uno de los dos modos posibles:

Modo usuario: este modo proporciona el entorno de ejecución para los programas de aplicación.

Modo supervisor: en este modo se proporcionan algunas instrucciones privilegiadas que no están disponibles en el modo usuario. El software de sistema y el sistema operativo ejecuta en este modo privilegiado.

1.1.1. Modelo de programación del modo usuario

El modelo de programación del modo usuario es común para todos los microprocesadores de la familia M68000. Este modelo contiene (ver figura 1.1) 16 registros de 32 bits de propósito general (D0–D7, A0–A7), un contador de programa (PC, Program Counter) de 32 bits y un registro de estado de 8 bits (CCR, Condition Code Register).

Los primeros 8 registros (D0–D7) se usan para almacenar operandos de un octeto (byte = 8 bits), una palabra (word = 16 bits) o de una palabra larga (long-word = 32 bits). El otro grupo de 7 registros (A0–A6) y el puntero de pila de usuario (A7 ó USP, User Stack Pointer) se pueden usar como registros de direcciones o punteros de pila de usuario, en particular el registro A6 se suele utilizar como puntero de marco (FP, Frame Pointer). Estos registros de direcciones sólo se pueden usar para operandos de una palabra o de una palabra larga, pero no de un octeto. Todos estos 16 registros se pueden usar como registros índices en los desplazamientos múltiples.

1.1.2. Modelo de programación del modo supervisor

En el modelo de programación del modo supervisor están disponibles todos los registros del modo usuario y otros adicionales. Los registros adicionales de este modo para el procesador

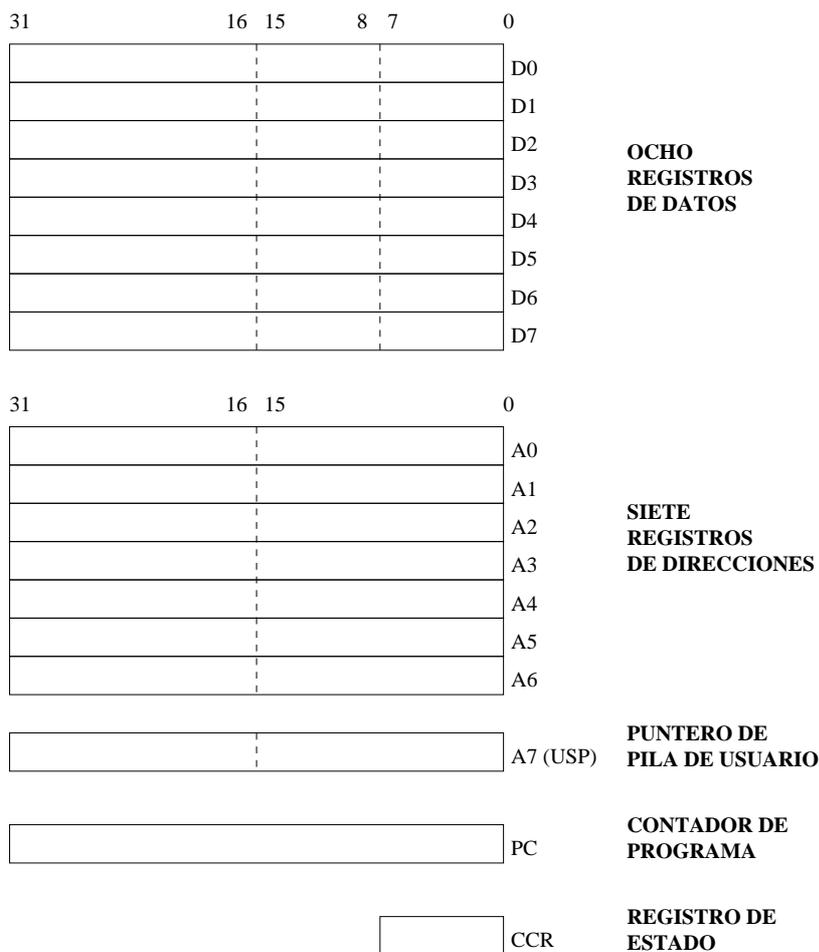


Figura 1.1: Modelo de programación de usuario

MC68000 se muestran en la figura 1.2.

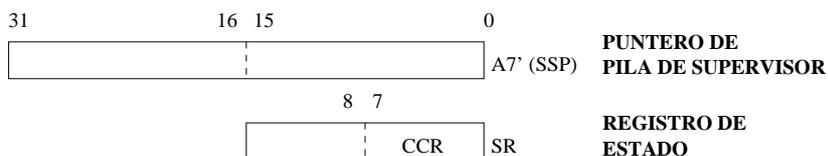


Figura 1.2: Modelo de programación de supervisor

En este modo se tiene acceso al octeto de mayor peso del registro de estado y se dispone de un puntero de pila de supervisor (A7' ó Supervisor Stack Pointer). De este modo, si se referencia el registro A7 se referencia el USP o el SSP dependiendo del modo de ejecución. Como es habitual, desde el modo supervisor se tiene acceso al puntero de pila de usuario, pero no a la inversa.

1.1.3. Registro de estado

El registro de estado (ver figura 1.3) tiene 16 bits, aunque los bits 5, 6, 7, 11, 12 y 14 no se usan en el MC68000 y están reservados para uso futuro. El octeto de menor peso (octeto de usuario) contiene los siguientes biestables de estado: desbordamiento (O, Overflow), cero (Z, Zero), negativo (N, Negative), acarreo (C, Carry) y precisión extendida (X, Extend). El octeto de mayor peso (octeto de sistema) contiene biestables de control de modo para modo traza (T, Trace) y supervisor (S, supervisor), así como la máscara de interrupción (I_2, I_1, I_0).

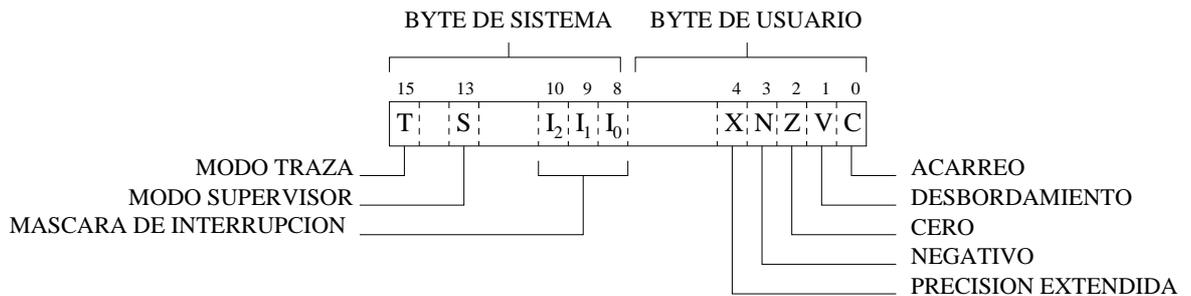


Figura 1.3: Registro de estado

1.2. Tipos de operandos y modos de direccionamiento

El procesador MC68000 soporta los siguientes tipos de operandos:

1. Bits.
2. Decimal Codificado en Binario (BCD) de 4 bits por dígito.
3. Octetos (8 bits)
4. Palabras (16 bits)
5. Palabras largas (32 bits)

Existen nemónicos específicos para operandos de bits y BCD. Sin embargo, para distinguir entre octetos, palabras y palabras largas se añade un sufijo al nemónico en cuestión. De este modo, `MOVE.B` indica operandos de 8 bits (B, Byte), `MOVE.W` operandos de 16 bits (W, Word) y `MOVE.L` operandos de 32 bits (L, Longword).

En cuanto a los modos de direccionamiento, el MC68000 proporciona 14 modos de direccionamiento que se pueden agrupar en los siguientes 7 tipos básicos:

1. Directo a registro
2. Absoluto
3. Indirecto a registro
4. Relativo a contador de programa.

5. Relativo a registro base.
6. Inmediato
7. Implícito

La tabla 1.1 detalla cada uno de los modos de direccionamientos del MC68000.

Modo	Cálculo de la dirección	Sintaxis
Directo a registro de datos de dirección	EA=Registro de dato n EA=Registro de dirección n	Dn An
Absoluto corto largo	EA=Siguiete palabra en CO EA=Siguietes dos palabras en CO	(XXX).W (XXX).L
Indirecto a registro con postincremento con predecremento	EA=An EA=An, An ← An+N An ← An-N, EA=An	(An) (An)+ -(An)
Relativo a PC con desplazamiento múltiple	EA=PC+d ₁₆ EA=PC+Xn+d ₈	(d ₁₆ ,PC) (d ₈ ,PC,Xn)
Relativo a registro base con desplazamiento múltiple	EA=An+d ₁₆ EA=An+Xn+d ₈	(d ₁₆ ,An) (d ₈ ,An,Xn)
Inmediato byte, palabra o palabra larga corto	DATA=Siguietes bytes en CO DATA=3 bits en CO	#< data > #< data >
Implícito a registro	EA=SR,USP,SSP,PC	SR,USP,SSP,PC

Leyenda: EA = Dirección efectiva

Dn = Registro de datos

An = Registro de direcciones

CO = Código de operación

d₈ = Desplazamiento de 8 bits

d₁₆ = Desplazamiento de 16 bits

N = 1 para byte, 2 para palabra y 4 para palabra larga

← = Sustituye

Xn = Registro de datos o direcciones usado como índice en los desplazamientos múltiples

SR = Registro de estado

PC = Registro contador de programa

USP= Registro puntero de pila de usuario

SSP = Registro puntero de pila de supervisor

Tabla 1.1: Modos de direccionamiento

1.3. Organización de datos en registros

Los ocho registros de datos proporcionan soporte para operandos de 1, 8, 16 o 32 bits. Los siete registros de direcciones y el puntero de pila activo proporcionan soporte para direcciones de 32 bits.

1.3.1. Registros de datos

Cada registro de datos contiene 32 bits. Los operandos de octeto ocupan los 8 bits de menor peso, los de palabra los 16 bits de menor peso y los de palabra larga los 32 bits. El bit menos significativo se direcciona como bit 0 y el más significativo como bit 31.

Si alguno de estos registros se usa como fuente o destino de una operación de tamaño inferior a palabra larga, sólo se modifica la parte de menor peso correspondiente y la parte de mayor peso permanece inalterada.

1.3.2. Registros de direcciones

Estos registros de direcciones (junto con el puntero de pila) tienen 32 bits y contiene una dirección completa de 32 bits. Los registros de direcciones no proporcionan soporte para operandos de byte. A diferencia de los registros de datos, si un registro de direcciones se usa como destino, el registro completo se modifica aunque la operación tenga un tamaño de palabra. En este caso, se extiende el signo de los operandos antes de la realización de la operación.

1.4. Mapa de direcciones

Los procesadores de la familia M68000 tienen un único espacio o mapa de direcciones. De este modo, en dicho mapa de direcciones se deben ubicar tanto los dispositivos que configuran la memoria principal como los controladores de periféricos. Por lo tanto, dentro del juego de instrucciones, no existen instrucciones específicas de Entrada/Salida, sino que todas las instrucciones se podrán utilizar para direccionar tanto memoria principal como los controladores de periférico.

Aunque el MC68000 posee registros de direcciones de 32 bits de ancho, solo dispone 24 bits en el bus de direcciones¹. Como posee direccionamiento a nivel de byte, puede direccionar 2^{24} Bytes es decir 16 Megabytes. Lo habitual es reservar las últimas direcciones del mapa para ubicar los controladores de periféricos.

1.4.1. Organización de datos en memoria

El MC68000 proporciona direccionamiento a nivel de byte con una organización *big-endian* como se muestra en la figura 1.4. Como se observa, el byte de mayor peso tiene asignado una dirección menor que la del byte de menor peso.

Las instrucciones y operandos de varios bytes se deben almacenar en direcciones pares. De otro modo, se genera la excepción *Address Error* si se intenta acceder a un operando de más de un byte con una dirección impar. En particular, los operandos de tamaño de palabra

¹En realidad, existen desde el A₁ hasta el A₂₃ para direccionar palabras y dos líneas adicionales UDS y LDS (Upper y Lower Data Strobes) para seleccionar el byte de mayor peso, el de menor peso o ambos de cada palabra.

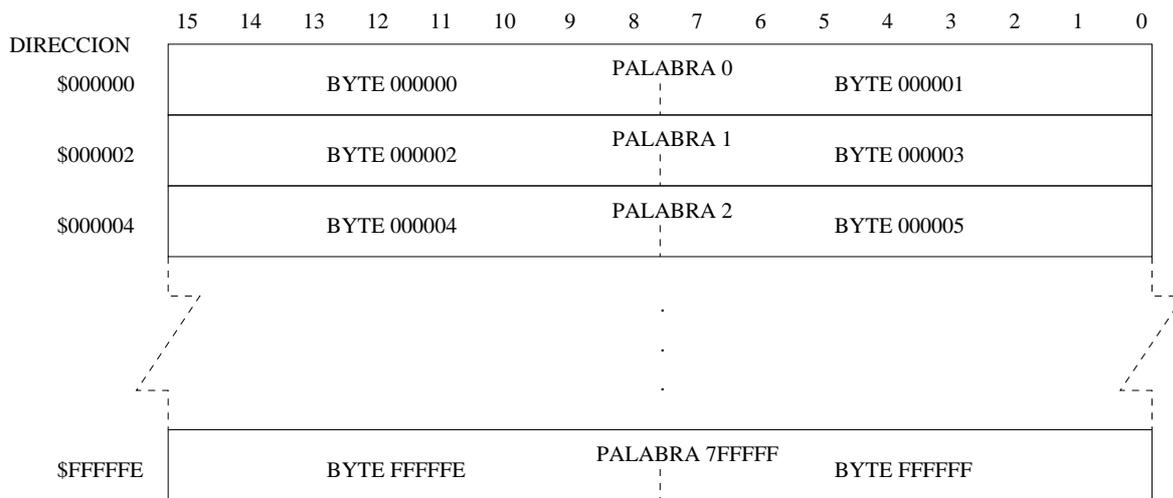


Figura 1.4: Organización de palabras en memoria

larga se almacenan en dos palabras consecutivas. Es decir, si la primera palabra se ubica en la dirección n (n debe ser par), la segunda palabra se ubica en la dirección $n+2$.

1.5. Excepciones e interrupciones

El término excepción denota comportamientos anómalos o no deseados por el programa en ejecución, tal es el caso de los cepos o *traps* y las interrupciones. Cuando se presenta un suceso como una división por cero, un error en el bus, una violación de privilegios o un controlador de periférico solicita una interrupción, se abandona el procesamiento de las instrucciones del programa en ejecución y se ejecuta la secuencia o ciclo de reconocimiento de excepciones.

Por lo tanto, las interrupciones que solicitan los controladores de periférico son un caso particular de las excepciones. Entre las excepciones que trata el MC68000 se encuentran:

Excepción de reset Es la que se procesa al activar \overline{RESET} y \overline{HALT} de forma simultánea y supone una reinicialización del procesador.

Errores de bus y de dirección Un error de bus se produce cuando desde el exterior se activa la señal \overline{BERR} en un ciclo de bus, y un error de dirección, cuando se intenta acceder con dirección impar a palabras o dobles palabras. En ambos casos se suspende el ciclo de memoria y se trata la excepción, en este caso no se puede completar la ejecución de la instrucción.

Traza Se procesa al final de cada instrucción si está activo el bit de traza del registro de estado. Se utiliza para la depuración de programas.

Instrucción ilegal Se procesa cuando se intenta ejecutar un código de instrucción no implementado. Dos casos especiales son los códigos de instrucción destinados a los coprocesadores de coma flotante y memoria página, que tienen vectores específicos. Estos códigos comienzan con las secuencias 1111 y 1010.

Violación de privilegio Se produce cuando se intenta ejecutar en modo usuario instrucciones que sólo se pueden ejecutar en modo supervisor.

TRAP La propia instrucción TRAP procesa una de las 16 excepciones TRAP que expresa un operando inmediato. Se utiliza para solicitar servicios del sistema operativo.

TRAPV Se procesa la excepción si se cumple la condición de overflow al ejecutar una instrucción TRAPV.

CHK Se procesa la excepción si ejecutando la instrucción CHK se detecta un desbordamiento de rango. Se utiliza para dar soporte a los lenguajes de alto nivel² que poseen rangos en tipos enteros, como por ejemplo el índice de un vector.

División por 0 Se provoca la excepción si en una instrucción de división el cociente es 0.

Interrupción Se procesa al final de una instrucción si se solicita una interrupción por las líneas de interrupción $\overline{IPL2}$, $\overline{IPL1}$ e $\overline{IPL0}$, con una prioridad mayor a la codificada en los bits I_2 , I_1 y I_0 del registro de estado.

1.5.1. Procesamiento de excepciones

En procesamiento de cualquier excepción, supone almacenar en la pila el registro de estado y contador de programa³. A continuación, se lleva el contenido de la entrada correspondiente de la tabla de vectores al PC y se procede a ejecutar instrucciones. Por lo tanto, en la entrada correspondiente de la tabla de vectores debe de almacenarse previamente la dirección de la rutina de tratamiento de la excepción. Además, se coloca a 1 el bit S del registro de estado y por lo tanto las rutinas de tratamiento de excepciones se ejecutan en modo privilegiado.

Existe una instrucción específica para retornar de rutina de excepción (RTE). Esta instrucción restaura el contador de programa y el registro de estado que se almacenaron en la pila durante el procesamiento de la excepción. Por lo tanto, al restaurar el registro de estado, restaura el bit S y se restaura el modo de ejecución anterior.

1.5.2. Tabla de vectores de excepción

La entrada de la tabla de vectores cuyo contenido se carga en el PC, viene predeterminada para todas las excepciones excepto para las interrupciones de los periféricos. El MC68000 tiene asignadas entradas distintas para cada tipo de excepción, según se muestra en la figura 1.5.

Cada entrada de esta tabla tiene 4 bytes, ya que almacena una dirección. Por lo tanto ocupa 1 Kbytes. Además y a diferencia de los otros procesadores de la familia M68000, el MC68000 no posee un registro base de la tabla de vectores. Por lo tanto, esta tabla siempre debe estar ubicada a partir de la dirección 000000 y abarca hasta la dirección 0003FF.

1.5.3. Procesamiento de interrupciones

Las interrupciones son un caso particular de excepciones y su procesamiento es ligeramente diferente. Las principales diferencias se refieren a:

²Es decir, todos menos C

³En el procesamiento de las excepciones de dirección y bus, el procesador almacena en pila más información.

Número vector	Dirección		Excepción
	Dec	Hex	
0	0	000	<i>Reset: SSP inicial</i>
-	4	004	<i>Reset: PC inicial</i>
2	8	008	<i>Error de bus</i>
3	12	00C	<i>Error de dirección</i>
4	16	010	<i>Instrucción ilegal</i>
5	20	014	<i>División por 0</i>
6	24	018	<i>Instrucción CHK</i>
7	28	01C	<i>Instrucción TRAPV</i>
8	32	020	<i>Violación de privilegio</i>
9	36	024	<i>Traza</i>
10	40	028	<i>Emulador instrucción 1010</i>
11	44	02C	<i>Emulador instrucción 1111</i>
12-14	48	030	<i>Reservado</i>
15	60	03C	<i>Vector Int. no inicializado</i>
16-23	64	040	<i>Reservado</i>
24	96	060	<i>Interrupción espúrea</i>
25-31	100	064	<i>Autovectores 1-7</i>
32-47	128	080	<i>Instrucciones TRAP 0-15</i>
48-63	192	0C0	<i>Reservado</i>
64-255	256	100	<i>Vectores de interrupción</i>

Figura 1.5: Tabla de vectores de excepción del MC68000

Enmascaramiento selectivo. Solo se procesa la interrupción, al final de la ejecución de la instrucción en curso, si el nivel de la solicitud⁴ es estrictamente superior al nivel almacenado en los bits I_2 , I_1 y I_0 del registro de estado. Además del bit S, también se modifican estos bits almacenando el nivel de la interrupción que se procesa. Así se enmascaran las interrupciones de nivel igual o menor a la que se ha reconocido. La instrucción (RTE) restaura el registro de estado, por lo tanto restaura el nivel de interrupción anterior.

Vectorización. A diferencia de las excepciones propiamente dichas, los controladores de periféricos deben suministrar un vector de interrupción de un byte⁵. Este vector es el número de la entrada de la tabla de vectores donde está almacenada la dirección de su rutina de tratamiento.

Por lo tanto, durante la secuencia de reconocimiento de interrupciones se producen varios ciclos de bus para obtener la dirección de la rutina de tratamiento de la interrupción.

1. El ciclo de bus de reconocimiento de interrupciones cuyo objetivo es leer el vector de interrupción. Este vector debe estar comprendido entre 64 y 255 (ver tabla 1.5).
2. El vector de interrupción leído se multiplica por 4 para obtener la dirección de la entrada correspondiente de la tabla de vectores. Con la dirección obtenida se inicia

⁴Excepto las de nivel 7 que no son enmascarables

⁵También existe la posibilidad de interrupciones autovectorizadas para compatibilidad con periféricos de otras familias distintas a la M68000

un ciclo de bus para leer la dirección de comienzo de la rutina de interrupción. Esta dirección almacenada en la tabla de vectores se lleva al PC y se comienza a ejecutar la rutina de tratamiento.

1.5.4. Excepción de *reset*

Cuando se reinicia el computador, se produce la excepción de *RESET*. Durante el procesamiento de esta excepción no se almacena nada en la pila, ya que se usa para iniciar o reiniciar el procesador.

Los pasos más destacables de esta excepción son:

- Se lee el contenido de los 4 primeros bytes de la memoria y se llevan al SSP (puntero de pila de supervisor).
- Se lee el contenido de los siguientes 4 bytes y se llevan al PC.
- Se colocan a 1 los bits S, I₂, I₁ y I₀ del registro de estado. Por lo tanto, se va a iniciar la ejecución de instrucciones en modo privilegiado y con las interrupciones inhibidas.
- Se realiza el *fetch* de la instrucción apuntada por el PC y se comienza la ejecución de instrucciones.

Por lo tanto, se debe colocar la dirección de inicio del programa en las direcciones 000004 - 000007 y el puntero de pila inicial en las direcciones 000000 - 000003. Además, cuando se esté en condiciones de reconocer interrupciones se debe colocar 000 en los biestables de máscara de interrupción I₂, I₁ y I₀ del registro de estado.

1.6. Juego de instrucciones

Las instrucciones se resumen en el conjunto de tablas ubicadas a partir de la página 13. En ellas se representan el nemónico de las operaciones, los operandos posibles, los bytes que ocupan, el número de ciclos de reloj que consumen, los bits de estado que se modifican y un pequeño resumen de la operación que ejecutan.

Los posibles operandos se representan de forma abreviada. La descripción de estas abreviaturas se encuentra en la sección 1.6.1.

Se incluye una columna que determina el número de ciclos de reloj que emplea cada instrucción. El número de ciclos aparece con el siguiente formato: **t(r/w)**, donde **t** determina el número total de ciclos de reloj que emplea el procesador en ejecutar esa instrucción, incluido el ciclo de *fetch*. **r** determina cuántos ciclos de memoria se realizan en la instrucción, y **w**, cuántos de escritura. En algunos casos aparece un signo +, que indica que hay que sumar ciclos a los que aparecen, y que se emplean para calcular la dirección efectiva según sea ésta. Lo que hay que sumar depende del direccionamiento, y se obtendrá de la tabla 1.6. En ella todas las **w** valen 0.

1.6.1. Abreviaturas

Cuando aparece una X en un bit de estado, quiere decir que la operación modifica el bit de estado: 0 lo pone a 0 y 1 lo pone a 1. U quiere decir que quedará indefinido. Las abreviaturas empleadas son:

Modo de direccionamiento		Pala.,byte	Larga
Dn	Directo a registro datos	0(0/0)	0(0/0)
An	Directo a registro direcciones	0(0/0)	0(0/0)
(An)	Indirecto a registro	4(1/0)	8(2/0)
(An)+	Indirecto a registro con postincremento	4(1/0)	8(2/0)
-(An)	Indirecto a registro con predecremento	6(1/0)	10(2/0)
\$Disp(An)	Relativo a registro base	8(2/0)	12(3/0)
\$Disp(An,I)	Relativo a registro base con desplazamiento múltiple	10(2/0)	14(3/0)
xxx.W	Absoluto corto	8(2/0)	12(3/0)
xxx.L	Absoluto largo	12(3/0)	16(4/0)
\$Disp(PC)	Relativo a PC	8(2/0)	12(3/0)
\$Disp(An,I)	Relativo a PC con desplazamiento múltiple	10(2/0)	14(3/0)
#xxx	Inmediato	4(1/0)	8(2/0)

Figura 1.6: Cálculo de ciclos a partir de direcciones efectivas

addr: Dirección absoluta de 16 o 32 bits.

An: Registro de dirección A0, A1,... A7.

bitb: Número de bit de byte 0..7.

bitl: Número de bit de doble palabra 0..31.

cc: Código de condición:

CC: Carry Clear: \overline{C}

CS: Carry Set: C

EQ: Equal: Z

F: False: 0

GE: Greater Than or Equal:

$$(N \wedge V) \vee (\overline{N} \wedge \overline{V})$$

GT: Greater Than:

$$(N \wedge V \wedge \overline{Z}) \vee (\overline{N} \wedge \overline{V} \wedge \overline{Z})$$

HI: High: $\overline{C} \wedge \overline{Z}$

LS: Low or Same: $C \vee Z$

LE: Less Than or Equal:

$$Z \vee (N \wedge \overline{V}) \vee (\overline{N} \wedge V)$$

LT: Less Than: $(N \wedge \overline{V}) \vee (\overline{N} \wedge V)$

MI: Minus: N

NE: Not Equal: \overline{Z}

PL: Plus: \overline{N}

T: True: 1

VC: Overflow Clear: \overline{V}

VS: Overflow Set: V

CCR: Condition Code Register. Byte de usuario del registro de estado.

count: Contador de desplazamiento 1-8.

count o Dn: Operando que puede ser count o Dn, indistintamente.

dadr: Dirección destino, modos de direccionamiento posibles:

- Indirecto a registro (An).
- Indirecto a registro con postincremento (An)+.

- Indirecto a registro con predecremento $-(An)$.
- Relativo a registro base $d16(An)$.
- Indirecto a registro indexado con desplazamiento $d8(An,i)$.
- **addr** Dirección Absoluta.

dAn: Registro de dirección destino.

dDn: Registro de datos destino.

data3: 3 bits de dato inmediato.

data8: 8 bits de dato inmediato.

data16: 16 bits de dato inmediato.

data32: 32 bits de dato inmediato.

Dn: Registro de datos, $n=0..7$ (tamaños de 8, 16 o 32).

d8: Desplazamiento de 8 bits.

d16: Desplazamiento de 16 bits.

i: Registro índice (An o Dn , en desplazamiento múltiple).

jadr: Dirección de salto. Igual que **sadr**, excluidos $(An)+$ y $-(An)$.

label: Etiqueta o dirección absoluta.

madr: Dirección múltiple. Igual que **dadr**, excluidos $(An)+$ y $-(An)$.

reglist: Lista de registros, incluye varios registros separados por comas o rangos de registros $Rn-Rm$ separados por '/'

rd: Registro destino (dDn o dAn).

rs: Registro fuente (sDn o sAn).

sadr: Dirección fuente, puede ser una de las siguientes:

- Indirecto a registro (An) .
- Indirecto a registro con postincremento $(An)+$.
- Indirecto a registro con predecremento $-(An)$.
- Relativo a registro base $d16(An)$.
- Indirecto a registro indexado con desplazamiento $d8(An,i)$.
- Dirección absoluta **addr**.
- **label** o **addr** empleadas en direccionamiento relativo a PC.
- Direccionamiento relativo a PC indexado **label(i)**.

sAn: Registro de dirección fuente.

sDn: Registro de datos fuente.

SR: Registro de estado.

USP: Puntero de pila de usuario (no es el registro A7).

vector: Dirección del vector de TRAP

[]: Contenido de la posición de memoria cuya dirección está contenida en el registro especificado.

- $Dn \leftarrow [An]$ Indica que se almacena en Dn el contenido de la posición de memoria cuya dirección está cargada en An.
- $Dn \leftarrow An$ Indica que se carga en Dn el contenido de An.

\bar{x} : Complemento del valor de x.

$x < y - z >$: Bits del y al z de x. Por ejemplo, $Dn < 0 - 7 >$ representa los 8 bits bajos de Dn.

+: Suma.

\wedge : AND lógico.

-: Resta.

\vee : OR lógico.

\times : Multiplicar.

\oplus : OR Exclusivo lógico.

\div : Dividir.

$=$: Igual.

\leftarrow : Movimiento de datos en el sentido de la flecha.

\leftrightarrow : Intercambio de datos entre dos posiciones.

En las siguientes instrucciones se comentan las siguientes cuatro notas, señaladas en los casos necesarios mediante una indicación del tipo *comentarioⁱ*, donde i puede ser 1, 2, 3 o 4:

1. Los postincrementos suman 1 y los predecrementos restan 1, salvo que el registro de dirección que aparezca sea el A7, en cuyo caso se trabaja con 2 en vez de 1, para que A7 siempre tenga una dirección par.
2. La dirección efectiva debe ser par.
3. El postincremento o predecremento se hace sumando o restando 2.
4. El postincremento o predecremento se hace sumando o restando 4.

1.6.2. Transferencia de datos

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada	
				X	N	Z	V	C		
MOVE.B	(An),Dn	2	8(2/0)		X	X	0	0	$Dn<0-7>\leftarrow[An]$	
	(An)+,Dn	2	8(2/0)		X	X	0	0	$Dn<0-7>\leftarrow[An]$, $An\leftarrow An+1^1$	
	-(An),Dn	2	10(2/0)		X	X	0	0	$An\leftarrow An-1$, $Dn<0-7>\leftarrow[An]^1$	
	d16(An),Dn	4	12(3/0)		X	X	0	0	$Dn<0-7>\leftarrow[An+d16]$	
	d8(An,i),Dn	4	14(3/0)		X	X	0	0	$Dn<0-7>\leftarrow[An+d8+i]$	
	addr,Dn	4,6	4(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-7>\leftarrow[addr]$	
	label,Dn	4	12(3/0)		X	X	0	0	$Dn<0-7>\leftarrow[PC+d16]$	
	label(i),Dn	4	14(3/0)		X	X	0	0	$Dn<0-7>\leftarrow[PC+d8+i]$	
	MOVE.B	Dn,(An)	2	9(1/1)		X	X	0	0	$[An]\leftarrow Dn<0-7>$
		Dn,(An)+	2	9(1/1)		X	X	0	0	$[An]\leftarrow Dn<0-7>$, $An\leftarrow An+1^1$
Dn,-(An)		2	9(1/1)		X	X	0	0	$An\leftarrow An-1$, $[An]\leftarrow Dn<0-7>^1$	
Dn,d16(An)		4	13(2/1)		X	X	0	0	$[An+d16]\leftarrow Dn<0-7>$	
Dn,d8(An,i)		4	15(2/1)		X	X	0	0	$[An+d8+i]\leftarrow Dn<0-7>$	
Dn,addr		4,6	5(0/1)+		X	X	0	0	$[addr]\leftarrow Dn<0-7>$	
MOVE.B		sadr,dadr	2,4,6,8,10	5(1/1)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow[sadr]^1$
MOVE.W		sadr,Dn	2,4,6	4(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-15>\leftarrow[sadr]^{2,3}$
MOVE.W	sadr,An	2,4,6	4(1/0)+		X	X	0	0	$An<0-15>\leftarrow[sadr]$, $An<16-31>\leftarrow An<15>^{2,3}$	
MOVE.W	rs,dadr	2,4,6	5(0/1)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow rs<0-15>^{2,3}$	
MOVE.W	sadr,dadr	2,4,6,8,10	5(0/1)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow[sadr]^{2,3}$	
MOVE.L	sadr,Dn	2,4,6	4(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-31>\leftarrow[sadr]^{2,4}$	
MOVE.L	sadr,An	2,4,6	8(2/0)+		X	X	0	0	$An<0-31>\leftarrow[sadr]^{2,4}$	
MOVE.L	rs,dadr	2,4,6	10(0/2)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow rs<0-31>^{2,4}$	
MOVE.L	sadr,dadr	2,4,6,8,10	14(1/2)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow[sadr]^{2,4}$	
MOVE.W	data16,An	4	8(2/0)+		X	X	0	0	$An<0-15>\leftarrow data16$, $An<16-31>\leftarrow An<15>$	
MOVE.W	data16,dadr	4,6,8	9(1/1)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow data16$	
MOVE.L	data32,Dn	6	12(3/0)		X	X	0	0	$Dn<0-31>\leftarrow data32$	
MOVE.L	data32,An	6	12(3/0)+		X	X	0	0	$An<0-31>\leftarrow data32$	
MOVE.L	data32,dadr	6,8,10	18(2/2)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow data32$	
MOVE.B	sDn,dDn	2	4(1/0)		X	X	0	0	$dDn<0-7>\leftarrow sDn<0-7>$	
MOVE.W	rs,Dn	2	4(1/0)		X	X	0	0	$Dn<0-15>\leftarrow rs<0-15>$	
MOVE.W	rs,An	2	4(1/0)						$An<0-15>\leftarrow rs<0-15>$, $An<16-31>\leftarrow An<15>$	
MOVE.L	rs,Dn	2	4(1/0)		X	X	0	0	$Dn<0-31>\leftarrow rs<0-31>$	
MOVE.L	rs,An	2	4(1/0)						$An<0-31>\leftarrow rs<0-31>$	
MOVE	An,USP	2	4(1/0)						$USP\leftarrow An$	
MOVE	USP,An	2	4(1/0)						Instrucción ejecutable en supervisor $An\leftarrow USP$ Instrucción ejecutable en supervisor	

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
EXG	rs,rd	2	6(1/0)						$rs \leftarrow rd$
LINK	An,d16	4	18(2/2)						$A7 \leftarrow A7-4,$ $[A7] \leftarrow An$ $An \leftarrow A7,$ $A7 \leftarrow A7+d16$
UNLK	An	2	12(3/0)						$A7 \leftarrow An,$ $An \leftarrow [A7],$ $A7 \leftarrow A7+4$
MOVEM.W	jadr,reglist	4,6,8	$8+4n(1+n/0)+$		X	X	0	0	$reg1<0-15> \leftarrow [jadr],$ $reg1<16-31> \leftarrow reg1<15>$ $reg2<0-15> \leftarrow [jadr+4],$ $reg2<16-31> \leftarrow reg2<15>$: $regn<0-15> \leftarrow [jadr+2n-2],$ $regn<16-31> \leftarrow regn<15>^2$
MOVEM.W	(An)+,reglist	4	$8+4n(2+n/0)+$						Carga palabras almacenadas secuencialmente en memoria en una lista de registros el orden en que se cargan es D0-D7,A0-A7 $reg1<0-15> \leftarrow [An],$ $reg1<16-31> \leftarrow reg1r15>,$ $An \leftarrow [An+2]$ $reg2<0-15> \leftarrow [An],$ $reg2<16-31> \leftarrow reg2<15>,$ $An \leftarrow [An+2]$: $regn<0-15> \leftarrow [An],$ $regn<16-31> \leftarrow regn<15>,$ $An \leftarrow [An+2]^{2,3}$ Igual que la anterior, pero con postincremento
MOVEM.W	reglist,madr	4,6,8	$4+5n(1/n)+$						$[madr] \leftarrow reg1<0-15>$ $[madr+2] \leftarrow reg2<0-15>$ $[madr+4] \leftarrow reg3<0-15>$: : $[madr+2n-2] \leftarrow regn<0-15>^2$ Almacena palabras de lista de registros en espacio secuencial de memoria, orden de almacenamiento D0-D7,A0-A7

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
MOVEM.W	reglist,-(An)	4	$4+5n(1/n)+$						$An \leftarrow [An-2],$ $[An] \leftarrow regn < 0-15 >$: $An \leftarrow [An-2],$ $[An] \leftarrow reg3 < 0-15 >$ $An \leftarrow [An-2],$ $[An] \leftarrow reg2 < 0-15 >$ $An \leftarrow [An-2],$ $[An] \leftarrow reg1 < 0-15 >^{2,3}$ Almacena palabras de lista de registros en espacio secuencial de memoria el orden de almacenamiento A7-A0,D7-D0
MOVEM.L	jadr,reglist (An)+,reglist reglist,madr reglist,-(An)	4,6,8 4 4,6,8 4	$8+8n$ $(2+2n/0)$ $4+10n$ $(1+n)$						Igual que MOVEM.W, excepto que ahora se mueven los 32 bits de registros ^{2,4}
MOVEP.W	d16(An),Dn	4	$16(4/0)$						$Dn < 8-15 > \leftarrow [An+d16],$ $An \leftarrow An+2,$ $Dn < 0-7 > \leftarrow [An+d16]^3$ Carga datos de periféricos de direcciones alternas. La dirección es de byte y lee bytes
MOVEP.W	Dn,d16(An)	4	$18(2/2)$						$[An+d16] \leftarrow Dn < 8-15 > ,$ $An \leftarrow An+2,$ $[An+d16] \leftarrow Dn < 0-7 >^3$ Almacena los bytes de registros en direcciones alternas de periféricos. La dirección es de byte y escribe bytes
MOVEP.L	d16(An),Dn	4	$24(6/0)$						$Dn < 24-31 > \leftarrow [An+d16],$ $An \leftarrow An+2$ $Dn < 16-23 > \leftarrow [An+d16],$ $An \leftarrow An+2$ $Dn < 8-15 > \leftarrow [An+d16],$ $An \leftarrow An+2$ $Dn < 0-7 > \leftarrow [An+d16]^3$ Carga datos de periféricos de direcciones alternas. La dirección es de byte y lee bytes

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
MOVEP.L	Dn,d16(An)	4	28(2/4)						$[An+d16] \leftarrow Dn < 24-31 >$, $An \leftarrow An+2$, $[An+d16] \leftarrow Dn < 16-23 >$, $An \leftarrow An+2$ $[An+d16] \leftarrow Dn < 8-15 >$, $An \leftarrow An+2$ $[An+d16] \leftarrow Dn < 0-7 >$ Almacena los bytes de registros en direcciones alternas de periféricos. La dirección es de byte y escribe bytes
MOVEQ	data8,Dn	2	4(1/0)	X	X	0	0		$Dn < 0-7 > \leftarrow data8$, $Dn < 8-31 > \leftarrow Dn < 7 >$
MOVE.B	data8,Dn	4	8(2/0)	X	X	0	0		$Dn < 0-7 > \leftarrow data8$
MOVE.B	data8,dadr	4,6,8	9(1/1)+	X	X	0	0		$[dadr] \leftarrow data8$
MOVE.W	data16,Dn	4	8(2/0)	X	X	0	0		$Dn < 0-15 > \leftarrow data16$
LEA	jadr,An	2,4,6	2(0/0)+						$An \leftarrow jadr^2$ Carga una dirección efectiva en un registro de dirección
PEA	jadr	2,4,6	10(1/2)+						$A7 \leftarrow A7-4$, $[A7] \leftarrow jadr^4$ Apila dirección efectiva
CLR.B	dadr	2,4,6	9(1/1)+	0	1	0	0		$[dadr] \leftarrow 0^1$
CLR.W	dadr	2,4,6	9(1/1)+	0	1	0	0		$[dadr] \leftarrow 0^{2,3}$
CLR.L	dadr	2,4,6	14(1/2)+	0	1	0	0		$[dadr] \leftarrow 0^{2,4}$
CLR.B	Dn	2	4(1/0)+	0	1	0	0		$Dn < 0-7 > \leftarrow 0^1$
CLR.W	Dn	2	4(1/0)+	0	1	0	0		$Dn < 0-15 > \leftarrow 0^{2,3}$
CLR.L	Dn	2	6(1/0)+	0	1	0	0		$Dn < 0-31 > \leftarrow 0^{2,4}$
SWAP	Dn	2	4(1/0)	X	X	0	0		$Dn < 0-7 > \leftrightarrow Dn < 8-15 >$
Scc	dadr	2,4,6	9(1/1)+						$[dadr] \leftarrow todo1s$ si cc = TRUE $[dadr] \leftarrow todo0s$ si cc = FALSE ¹
Scc	Dn	2	4(1/0)						$Dn < 0-7 > \leftarrow todo1s$ si cc = TRUE $Dn < 0-7 > \leftarrow todo0s$ si cc = FALSE
TAS	dadr	2,4,6	11(1/1)+	X	X	0	0		$[dadr < 7 >] \leftarrow 1^1$ Instrucción para multiprocesador
TAS	Dn	2	4(1/0)	X	X	0	0		$Dn < 7 > \leftarrow 1$

1.6.3. Aritméticas

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
ADD.B	sadr,Dn	2,4,6	4(1/0)+	X	X	X	X	X	$Dn<0-7>\leftarrow$ $Dn<0-7>+[sadr]^1$
ADD.B	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow$ $[dadr]+Dn<0-7>^1$
ADD.W	sadr,Dn	2,4,6	4(1/0)+	X	X	X	X	X	$Dn<0-15>\leftarrow$ $Dn<0-15>+[sadr]^{2,3}$
ADD.W	sadr,An	2,4,6	8(1/0)+						$An<0-31>\leftarrow An<0-31>$ $+ [sadr](\text{expande signo})^{2,3}$
ADD.W	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow$ $[dadr]+Dn<0-15>^{2,3}$
ADD.L	sadr,Dn	2,4,6	6(1/0)+	X	X	X	X	X	$Dn<0-31>\leftarrow$ $Dn<0-31>+[sadr]^{2,4}$
ADD.L	sadr,An	2,4,6	6(1/0)+						$An<0-31>\leftarrow$ $An<0-31>+[sadr]^{2,4}$
ADD.L	Dn,dadr	2,4,6	14(1/2)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow$ $[dadr]+Dn<0-31>^{2,4}$
ADD.B	data8,Dn	4	8(2/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-7>\leftarrow$ $Dn<0-7>+data8$
ADD.B	data8,dadr	4,6,8	13(2/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow [dadr]+data8^1$
ADD.W	data16,Dn	4	8(2/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-15>\leftarrow$ $Dn<0-15>+data16$
ADDA.W	data16,An	4	8(2/0)+						$An<0-31>\leftarrow An<0-31>$ $+ data16(\text{expande signo})$
ADD.W	data16,dadr	4,6,8	13(2/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow [dadr]+data16^{2,3}$
ADD.L	data32,Dn	6	16(3/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-31>\leftarrow$ $Dn<0-31>+data32$
ADDA.L	data32,An	6	16(3/0)						$An<0-31>\leftarrow$ $An<0-31>+data32$
ADD.L	data32,dadr	6,8,10	22(3/2)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow [dadr]+data32^{2,4}$
ADD.B	sDn,dDn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$dDn<0-7>\leftarrow$ $dDn<0-7>+sDn<0-7>$
ADD.W	rs,Dn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-15>\leftarrow$ $[Dn<0-15>+rs<0-15>$
ADD.W	rs,An	2	8(1/0)+						$An<0-31>\leftarrow An<0-31>+$ $rs<0-15>(\text{expande signo})$
ADD.L	rs,Dn	2	8(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-31>\leftarrow$ $Dn<0-31>+rs<0-31>$
ADD.L	rs,An	2	8(1/0)						$An<0-31>\leftarrow$ $An<0-31>+rs<0-31>$
ADDQ.B	data3,Dn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-7>\leftarrow$ $Dn<0-7>+data3$
ADDQ.B	data3,dadr	2,4,6	9(1/0)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow [dadr]+data3^1$
ADDQ.W	data3,Dn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-15>\leftarrow$ $Dn<0-15>+data3$
ADDQ.W	data3,An	2	4(1/0)+						$An<0-31>\leftarrow$ $An<0-31>+data3$
ADDQ.W	data3,dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow [dadr]+data3^{2,3}$

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
ADDQ.L	data3,Dn	2	8(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-31>\leftarrow$ $Dn<0-31>+data3$
ADDQ.L	data3,An	2	8(1/0)						$An<0-31>\leftarrow$ $An<0-31>+data3$
ADDQ.L	data3,dadr	2,4,6	14(1/2)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow[dadr]+data3^{2,4}$
ADDX.B	-(sAn),-(dAn)	2	19(3/1)	X	X	X	X	X	$sAn\leftarrow sAn-1,$ $dAn\leftarrow dAn-1$ $[dAn]\leftarrow[dAn]+[sAn]+X^1$
ADDX.W	-(sAn),-(dAn)	2	19(3/1)	X	X	X	X	X	$sAn\leftarrow sAn-2,$ $dAn\leftarrow dAn-2$ $[dAn]\leftarrow[dAn]+[sAn]+X^{2,3}$
ADDX.L	-(sAn),-(dAn)	2	35(5/2)	X	X	X	X	X	$sAn\leftarrow sAn-4,$ $dAn\leftarrow dAn-4$ $[dAn]\leftarrow[dAn]+[sAn]+X^{2,4}$
ADDX.B	sDn,dDn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$dDn<0-7>\leftarrow dDn<0-7>$ $+sDn<0-7>+X$
ADDX.W	sDn,dDn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$dDn<0-15>\leftarrow X+$ $dDn<0-15>+sDn<0-15>$
ADDX.L	sDn,dDn	2	8(1/0)	X	X	X	X	X	$dDn<0-31>\leftarrow X+$ $dDn<0-31>+sDn<0-31>$
ABCD	-(aAn),-(dAn)	2	19(3/1)	X	U	X	U	X	$sAn\leftarrow sAn-1,$ $dAn\leftarrow dAn-1$ $[dAn]\leftarrow[dAn]+[sAn]+X^1$ Suma números en BCD empleando bit eXtendido, las dos direcciones son de byte
ABCD	sDn,dDn	2	6(1/0)	X	U	X	U	X	$dDn<0-7>\leftarrow dDn<0-7>$ $+sDn<0-7>+X$
NEG.B	dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow 0-[dadr]^1$
NEG.W	dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow 0-[dadr]^{2,3}$
NEG.L	dadr	2,4,6	14(1/2)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow 0-[dadr]^{2,4}$
NEG.B	Dn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-7>\leftarrow 0-Dn<0-7>$
NEG.W	Dn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-15>\leftarrow 0-Dn<0-15>$
NEG.L	Dn	2	6(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-31>\leftarrow 0-Dn<0-31>$
NEGX.B	dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow 0-[dadr]-X^1$
NEGX.W	dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow 0-[dadr]-X^{2,3}$
NEGX.L	dadr	2,4,6	14(1/2)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow 0-[dadr]-X^{2,4}$
NEGX.B	Dn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-7>\leftarrow$ $0-Dn<0-7>-X$
NEGX.W	Dn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-15>\leftarrow$ $0-Dn<0-15>-X$
NEGX.L	Dn	2	6(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-31>\leftarrow$ $0-Dn<0-31>-X$
NBCD	dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	U	X	U	X	$[dadr]\leftarrow 0-[dadr]-X^1$ Complementa a 10 en BCD si X = 0 o a 9 si si X = 1
NBCD	Dn	2	6(1/0)	X	U	X	U	X	$Dn<0-7>\leftarrow [D<0-7>]-X$

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
SUB.B	sadr,Dn	2,4,6	4(1/0)+	X	X	X	X	X	$Dn<0-7>\leftarrow$ $Dn<0-7>-[sadr]^1$
SUB.B	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow$ $[dadr]-Dn<0-7>^1$
SUB.W	sadr,Dn	2,4,6	4(1/0)+	X	X	X	X	X	$Dn<0-15>\leftarrow$ $[Dn<0-15>-[sadr]^{2,3}$
SUB.W	sadr,An	2,4,6	8(1/0)+	X	X	X	X	X	$An<0-31>\leftarrow An<0-31>$ $-[sadr](\text{expande signo})^{2,3}$
SUB.W	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow$ $[dadr]-Dn<0-15>^{2,3}$
SUB.L	sadr,Dn	2,4,6	6(1/0)+	X	X	X	X	X	$Dn<0-31>\leftarrow$ $Dn<0-31>-[sadr]^{2,4}$
SUB.L	sadr,An	2,4,6	6(1/0)+	X	X	X	X	X	$An<0-31>\leftarrow$ $An<0-31>-[sadr]^{2,4}$
SUB.L	Dn,dadr	2,4,6	14(1/2)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow$ $[dadr]-Dn<0-31>^{2,4}$
SUB.B	data8,Dn	4	8(2/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-7>\leftarrow$ $Dn<0-7>-data8$
SUB.B	data8,dadr	4,6,8	13(2/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow[dadr]-data8^1$
SUB.W	data16,Dn	4	8(2/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-15>\leftarrow$ $[Dn<0-15>-data16$
SUBA.W	data16,An	4	8(2/0)+						$An<0-31>\leftarrow An<0-31>$ $-data16(\text{expande signo})$
SUB.W	data16,dadr	4,6,8	13(2/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow[dadr]-data16^{2,3}$
SUB.L	data32,Dn	6	16(3/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-31>\leftarrow$ $[Dn<0-31>-data32$
SUBA.L	data32,An	6	16(3/0)						$An<0-31>\leftarrow$ $An<0-31>-data32$
SUB.L	data32,dadr	6,8,10	22(3/2)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow[dadr]-data32^{2,4}$
SUB.B	sDn,dDn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$dDn<0-7>\leftarrow$ $dDn<0-7>-sDn<0-7>$
SUB.W	rs,Dn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-15>\leftarrow$ $Dn<0-15>-rs<0-15>$
SUB.W	rs,An	2	8(1/0)+						$An<0-15>\leftarrow An<0-15>-$ $rs<0-15>(\text{expande signo})$
SUB.L	rs,Dn	2	8(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-31>\leftarrow$ $Dn<0-31>-rs<0-31>$
SUB.L	rs,An	2	8(1/0)						$An<0-31>\leftarrow$ $An<0-31>-rs<0-31>$
SUBQ.B	data3,Dn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-7>\leftarrow$ $Dn<0-7>-data3$
SUBQ.B	data3,dadr	2,4,6	9(1/0)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow[dadr]-data3^1$
SUBQ.W	data3,Dn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-15>\leftarrow$ $Dn<0-15>-data3$
SUBQ.W	data3,An	2	4(1/0)+						$An<0-15>\leftarrow$ $An<0-15>-data3$
SUBQ.W	data3,dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow[dadr]-data3^{2,3}$

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
SUBQ.L	data3,Dn	2	8(1/0)	X	X	X	X	X	$Dn<0-31>\leftarrow$ $Dn<0-31>-data3$
SUBQ.L	data3,An	2	8(1/0)						$An<0-31>\leftarrow$ $An<0-31>-data3$
SUBQ.L	data3,dadr	2,4,6	14(1/2)+	X	X	X	X	X	$[dadr]\leftarrow[dadr]-data3^{2,4}$
SUBX.B	-(sAn),-(dAn)	2	19(3/1)	X	X	X	X	X	$sAn\leftarrow sAn-1,$ $dAn\leftarrow dAn-1$ $[dAn]\leftarrow[dAn]-[sAn]+X^1$
SUBX.W	-(sAn),-(dAn)	2	19(3/1)	X	X	X	X	X	$sAn\leftarrow sAn-2,$ $dAn\leftarrow dAn-2$ $sAn\leftarrow sAn-2$ $[dAn]\leftarrow[dAn]-[sAn]+X^{2,3}$
SUBX.L	-(sAn),-(dAn)	2	35(5/2)	X	X	X	X	X	$sAn\leftarrow sAn-4,$ $dAn\leftarrow dAn-4$ $[dAn]\leftarrow[dAn]-[sAn]+X^{2,4}$
SUBX.B	sDn,dDn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$dDn<0-7>\leftarrow dDn<0-7>$ $-sDn<0-7>+X$
SUBX.W	sDn,dDn	2	4(1/0)	X	X	X	X	X	$dDn<0-15>\leftarrow X+$ $dDn<0-15>-sDn<0-15>$
SUBX.L	sDn,dDn	2	8(1/0)	X	X	X	X	X	$dDn<0-31>\leftarrow X+$ $dDn<0-31>-sDn<0-31>$
SBCD	-(sAn),-(dAn)	2	10(3/1)	X	U	X	U	X	$sAn\leftarrow sAn-1,$ $dAn\leftarrow dAn-1$ $[dAn]\leftarrow[dAn]-[sAn]-X^1$ Resta en BCD de byte de memoria
SBCD	sDn,dDn	2	6(1/0)	X	U	X	U	X	$dDn<0-7>\leftarrow dDn<0-7>$ $-sDn<0-7>-X$ Resta en BCD con bit de extendido
MULS	asdr,Dn	2,4,6	$<70(1/0)+$		X	X	0	0	$Dn<0-31>\leftarrow$ $Dn<0-15>\times[sadr]^{2,3}$ Multiplica dos números 16 bits con signo y genera uno de 32
MULS	data16,Dn	4	$\leq 70(1/0)+$		X	X	0	0	$Dn<0-31>\leftarrow$ $Dn<0-15>\times data16$ Multiplica dos números 16 bits con signo y genera uno de 32
MULS	sDn,dDn	2	$\leq 70(1/0)$		X	X	0	0	$dDn<0-31>\leftarrow$ $dDn<0-15>\times sDn<0-15>$ Multiplica dos números 16 bits con signo y genera uno de 32

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
MULU	asdr,Dn	2,4,6	$\leq 74(2/0)+$		X	X	0	0	$Dn\langle 0-31 \rangle \leftarrow$ $Dn\langle 0-15 \rangle \times [sadr]^{2,3}$ Multiplica dos números 16 bits sin signo y genera uno de 32
MULU	data16,Dn	4	$\leq 74(2/0)+$		X	X	0	0	$Dn\langle 0-31 \rangle \leftarrow$ $[Dn\langle 0-15 \rangle \times data16$ Multiplica dos números 16 bits sin signo y genera uno de 32
MULU	sDn,dDn	4	$\leq 70(1/0)$		X	X	0	0	$dDn\langle 0-31 \rangle \leftarrow$ $dDn\langle 0-15 \rangle \times sDn\langle 0-15 \rangle$ Multiplica dos números 16 bits sin signo y genera uno de 32
DIVS	asdr,Dn	2,4,6	$\leq 158(1/0)+$		X	X	0	0	$Dn\langle 0-15 \rangle \leftarrow$ $Dn\langle 0-31 \rangle \div [sadr]$, $Dn\langle 16-31 \rangle \leftarrow resto^{2,3}$ Divide números con signo y genera cociente y resto en 16 bits
DIVS	data16,Dn	4	$\leq 162(2/0)+$		X	X	0	0	$Dn\langle 0-15 \rangle \leftarrow$ $Dn\langle 0-31 \rangle \div data16$, $Dn\langle 16-31 \rangle \leftarrow resto$ Divide números con signo y genera cociente y resto en 16 bits
DIVS	sDn,dDn	2	$\leq 158(1/0)$		X	X	0	0	$dDn\langle 0-15 \rangle \leftarrow$ $dDn\langle 0-31 \rangle \div sDn\langle 0-15 \rangle$, $dDn\langle 16-31 \rangle \leftarrow resto$ Divide números con signo y genera cociente y resto en 16 bits
DIVU	asdr,Dn	2,4,6	$\leq 140(1/0)+$		X	X	0	0	$Dn\langle 0-15 \rangle \leftarrow$ $Dn\langle 0-31 \rangle \div [sadr]$, $Dn\langle 16-31 \rangle \leftarrow resto^{2,3}$ Divide dos números sin signo y genera cociente y resto en 16 bits
DIVU	data16,Dn	4	$\leq 74(2/0)+$		X	X	0	0	$Dn\langle 0-15 \rangle \leftarrow$ $Dn\langle 0-31 \rangle \div data16$, $Dn\langle 16-31 \rangle \leftarrow resto$ Divide dos números sin signo y genera cociente y resto en 16 bits

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
DIVU	sDn,dDn	4	$\leq 74(2/0)+$		X	X	0	0	$dDn<0-15>\leftarrow$ $dDn<0-31>\div sDn<0-15>$, $dDn<16-31>\leftarrow resto$ Divide dos números sin signo y genera cociente y resto en 16 bits
EXT.W	Dn	2	$4(1/0)$		X	X	0	0	$Dn<8-15>\leftarrow Dn<7>$ Extiende signo
EXT.L	Dn	2	$4(1/0)$		X	X	0	0	$Dn<16-31>\leftarrow Dn<15>$ Extiende signo
CMP.B	sadr,Dn	2,4,6	$4(1/0)+$		X	X	X	X	$Dn<0-7>-[sadr]^1$
CMP.W	sadr,Dn	2,4,6	$4(1/0)+$		X	X	X	X	$Dn<0-15>-[sadr]^{2,3}$
CMP.W	sadr,An	2,4,6	$6(1/0)+$		X	X	X	X	$An<0-15>-[sadr]^{2,3}$
CMP.L	sadr,Dn	2,4,6	$6(1/0)+$		X	X	X	X	$Dn<0-31>-[sadr]^{2,4}$
CMP.L	sadr,An	2,4,6	$6(1/0)+$		X	X	X	X	$An<0-31>-[sadr]^{2,4}$
CMPM.B	(sAn)+,(dAn)+	2	$12(3/0)$		X	X	X	X	$[dAn]-[sAn]$ $dAn\leftarrow dAn+1$, $sAn\leftarrow sAn+1^1$
CMPM.W	(sAn)+,(dAn)+	2	$12(3/0)$		X	X	X	X	$[dAn]-[sAn]$ $dAn\leftarrow dAn+2$, $sAn\leftarrow sAn+2^{2,3}$
CMPM.L	(sAn)+,(dAn)+	2	$20(5/0)$		X	X	X	X	$[dAn]-[sAn]$ $dAn\leftarrow dAn+4$, $sAn\leftarrow sAn+4^{2,4}$
CMP.B	data8,Dn	4	$8(2/0)$		X	X	X	X	$Dn<0-7>-data8$
CMP.B	data8,dadr	4,6,8	$8(2/0)+$		X	X	X	X	$[dadr]-data8^1$
CMP.W	data16,Dn	4	$8(2/0)$		X	X	X	X	$Dn<0-15>-data16$
CMP.W	data16,An	4	$8(2/0)$		X	X	X	X	$An<0-15>-data16$
CMP.W	data16,dadr	4,6,8	$8(2/0)$		X	X	X	X	$[dadr]-data16^{2,3}$
CMP.L	data32,Dn	4	$14(3/0)$		X	X	X	X	$Dn<0-31>-data16$
CMP.L	data32,An	4	$14(3/0)$		X	X	X	X	$An<0-31>-data16$
CMP.L	data32,dadr	4,6,8	$12(3/0)$		X	X	X	X	$[dadr]-data16^{2,4}$
CMP.B	sDn,dDn	2	$4(1/0)$		X	X	X	X	$dDn<0-7>-sDn<0-7>$
CMP.W	rs,Dn	2	$4(1/0)$		X	X	X	X	$Dn<0-15>-rs<0-15>$
CMP.W	rs,An	2	$6(1/0)$		X	X	X	X	$An<0-15>-rs<0-15>$
CMP.L	rs,Dn	2	$6(1/0)$		X	X	X	X	$Dn<0-31>-rs<0-31>$
CMP.L	rs,An	2	$6(1/0)$		X	X	X	X	$An<0-31>-rs<0-31>$
TST.B	dadr	2,4,6	$4(1/0)+$		X	X	0	0	$[dadr]-0^1$
TST.W	dadr	2,4,6	$4(1/0)+$		X	X	0	0	$[dadr]-0^2$
TST.L	dadr	2,4,6	$4(1/0)+$		X	X	0	0	$[dadr]-0^2$
TST.B	Dn	2	$4(1/0)$		X	X	0	0	$Dn<0-7>-0$
TST.W	Dn	2	$4(1/0)$		X	X	0	0	$Dn<0-15>-0$
TST.L	Dn	2	$4(1/0)$		X	X	0	0	$Dn<0-31>-0$

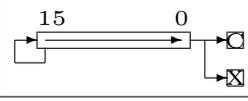
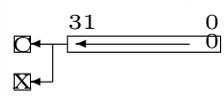
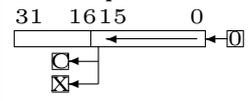
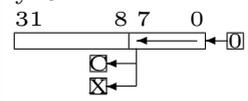
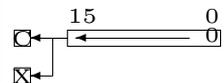
1.6.4. Lógicas

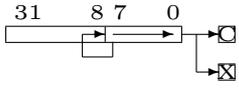
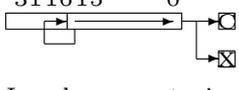
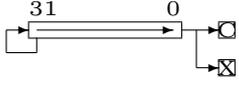
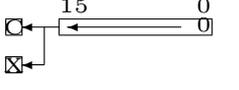
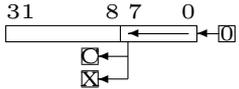
Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
NOT.B	dadr	2,4,6	9(1/1)+		X	X	0	0	$[dadr] \leftarrow \overline{[dadr]}^1$
NOT.W	dadr	2,4,6	9(1/1)+		X	X	0	0	$[dadr] \leftarrow \overline{[dadr]}^{2,3}$
NOT.L	dadr	2,4,6	14(1/2)+		X	X	0	0	$[dadr] \leftarrow \overline{[dadr]}^{2,4}$
NOT.B	Dn	2	4(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-7> \leftarrow \overline{Dn<0-7>}$
NOT.B	Dn	2	6(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-15> \leftarrow \overline{Dn<0-15>}$
NOT.L	Dn	2	6(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-31> \leftarrow \overline{Dn<0-31>}$
AND.B	sadr,Dn	2,4,6	4(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-7> \leftarrow Dn<0-7> \wedge [sadr]^1$
AND.B	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+		X	X	0	0	$[dadr] \leftarrow [dadr] \wedge Dn<0-7>^1$
AND.W	sadr,Dn	2,4,6	4(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-15> \leftarrow$ $Dn<0-15> \wedge [sadr]^{2,3}$
AND.W	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+		X	X	0	0	$[dadr] \leftarrow$ $[dadr] \wedge Dn<0-15>^{2,3}$
AND.L	sadr,Dn	2,4,6	6(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-31> \leftarrow$ $Dn<0-31> \wedge [sadr]^{2,4}$
AND.L	Dn,dadr	2,4,6	14(1/2)+		X	X	0	0	$[dadr] \leftarrow$ $[dadr] \wedge Dn<0-31>^{2,4}$
AND.B	data8,Dn	4	8(2/0)		X	X	0	0	$Dn<0-7> \leftarrow Dn<0-7> \wedge data8$
AND.B	data8,dadr	4,6,8	13(2/1)+		X	X	0	0	$[dadr] \leftarrow [dadr] \wedge data8^1$
AND.W	data16,Dn	4	8(2/0)		X	X	0	0	$Dn<0-15> \leftarrow$ $Dn<0-15> \wedge data16$
AND.W	data16,dadr	4,6,8	13(2/1)+		X	X	0	0	$[dadr] \leftarrow [dadr] \wedge data16^{2,3}$
AND.L	data32,Dn	6	16(3/0)		X	X	0	0	$Dn<0-31> \leftarrow$ $Dn<0-31> \wedge data32$
AND.L	data32,dadr	6,8,10	22(3/2)+		X	X	0	0	$[dadr] \leftarrow [dadr] \wedge data32^{2,4}$
AND.B	sDn,dDn	2	4(1/0)		X	X	0	0	$dDn<0-7> \leftarrow$ $dDn<0-7> \wedge sDn<0-7>$
AND.W	sDn,dDn	2	4(1/0)		X	X	0	0	$Dn<0-15> \leftarrow$ $dDn<0-15> \wedge sDn<0-15>$
AND.L	sDn,dDn	2	8(1/0)		X	X	0	0	$Dn<0-31> \leftarrow$ $dDn<0-31> \wedge sDn<0-31>$
OR.B	sadr,Dn	2,4,6	4(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-7> \leftarrow Dn<0-7> \vee [sadr]^1$
OR.B	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+		X	X	0	0	$[dadr] \leftarrow [dadr] \vee Dn<0-7>^1$
OR.W	sadr,Dn	2,4,6	4(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-15> \leftarrow$ $Dn<0-15> \vee [sadr]^{2,3}$
OR.W	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+		X	X	0	0	$[dadr] \leftarrow$ $[dadr] \vee Dn<0-15>^{2,3}$
OR.L	sadr,Dn	2,4,6	6(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-31> \leftarrow$ $Dn<0-31> \vee [sadr]^{2,4}$
OR.L	Dn,dadr	2,4,6	14(1/2)+		X	X	0	0	$[dadr] \leftarrow$ $[dadr] \vee Dn<0-31>^{2,4}$

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
OR.B	data8,Dn	4	8(2/0)		X	X	0	0	$Dn<0-7>\leftarrow Dn<0-7>\vee data8$
OR.B	data8,dadr	4,6,8	13(2/1)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow [dadr]\vee data8^1$
OR.W	data16,Dn	4	8(2/0)		X	X	0	0	$Dn<0-15>\leftarrow$ $Dn<0-15>\vee data16$
OR.W	data16,dadr	4,6,8	13(2/1)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow [dadr]\vee data16^{2,3}$
OR.L	data32,Dn	6	16(3/0)		X	X	0	0	$Dn<0-31>\leftarrow$ $Dn<0-31>\vee data32$
OR.L	data32,dadr	6,8,10	22(3/2)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow [dadr]\vee data32^{2,4}$
OR.B	sDn,dDn	2	4(1/0)		X	X	0	0	$dDn<0-7>\leftarrow$ $dDn<0-7>\vee sDn<0-7>$
OR.W	sDn,dDn	2	4(1/0)		X	X	0	0	$dDn<0-15>\leftarrow$ $dDn<0-15>\vee sDn<0-15>$
OR.L	sDn,dDn	2	8(1/0)		X	X	0	0	$dDn<0-31>\leftarrow$ $dDn<0-31>\vee sDn<0-31>$
EOR.B	sadr,Dn	2,4,6	4(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-7>\leftarrow Dn<0-7>\oplus [sadr]^1$
EOR.B	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow [dadr]\oplus Dn<0-7>^1$
EOR.W	sadr,Dn	2,4,6	4(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-15>\leftarrow$ $Dn<0-15>\oplus [sadr]^{2,3}$
EOR.W	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow$ $[dadr]\oplus Dn<0-15>^{2,3}$
EOR.L	sadr,Dn	2,4,6	6(1/0)+		X	X	0	0	$Dn<0-31>\leftarrow$ $Dn<0-31>\oplus [sadr]^{2,4}$
EOR.L	Dn,dadr	2,4,6	14(1/2)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow$ $[dadr]\oplus Dn<0-31>^{2,4}$
EOR.B	data8,Dn	4	8(2/0)		X	X	0	0	$Dn<0-7>\leftarrow Dn<0-7>\oplus data8$
EOR.B	data8,dadr	4,6,8	13(2/1)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow [dadr]\oplus data8^1$
EOR.W	data16,Dn	4	8(2/0)		X	X	0	0	$Dn<0-15>\leftarrow$ $Dn<0-15>\oplus data16$
EOR.W	data16,dadr	4,6,8	13(2/1)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow [dadr]\oplus data16^{2,3}$
EOR.L	data32,Dn	6	16(3/0)		X	X	0	0	$Dn<0-31>\leftarrow$ $Dn<0-31>\oplus data32$
EOR.L	data32,dadr	6,8,10	22(3/2)+		X	X	0	0	$[dadr]\leftarrow [dadr]\oplus data32^{2,4}$
EOR.B	sDn,dDn	2	4(1/0)		X	X	0	0	$dDn<0-7>\leftarrow$ $dDn<0-7>\oplus sDn<0-7>$
EOR.W	sDn,dDn	2	4(1/0)		X	X	0	0	$dDn<0-15>\leftarrow$ $dDn<0-15>\oplus sDn<0-15>$
EOR.L	sDn,dDn	2	8(1/0)		X	X	0	0	$dDn<0-31>\leftarrow$ $dDn<0-31>\oplus sDn<0-31>$

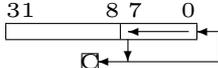
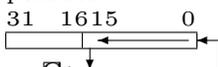
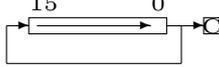
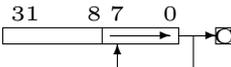
1.6.5. Desplazamientos

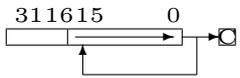
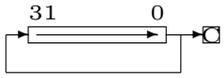
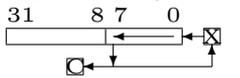
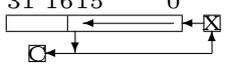
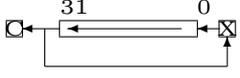
Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación Realizada
				X	N	Z	V	C	
ASL	dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	X	X	X	X	Desplazamiento aritmético un bit a izquierda, bit 0 se pone a 0. El bit 15 pasa a X y C ^{2,3}
ASL.B	count o Dn,Dn	2	6+2n(1/0)+	X	X	X	X	X	Desplazamiento aritmético de varios bit a izquierda, de byte. La cantidad la determina el contador (1-8) o el registro (1-63). Entran 0s al bit 0 el bit 7 pasa a X y C
ASL.W	count o Dn,Dn	2	6+2n(1/0)+	X	X	X	X	X	Igual que anterior, pero con palabra
ASL.L	count o Dn,Dn	2	6+2n(1/0)+	X	X	X	X	X	Igual que anterior, pero con doble palabra
ASR	dadr	2,4,6	9(1/1)+	X	X	X	X	X	Desplazamiento aritmético un bit a derecha. El bit 15 queda como estaba y pasa al 14. El 0 se lleva a X y C

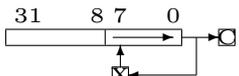
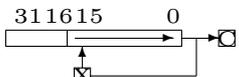


Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
ASR.B	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	X	X	Desplazamiento aritmético de varios bit a derecha de byte. El número de bit lo determina un contador (1-8) o un registro (1-63). El bit 7 conserva su valor y se propaga. El bit 0 pasa a C y X 
ASR.W	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	X	X	Igual que anterior con palabra 
ASR.L	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	X	X	Igual que anterior con doble palabra 
LSL	dadr	2,4,6	$9(1/1)+$	X	X	X	0	X	Desplazamiento lógico un bit a izquierda. El bit 0 queda a 0 y el 15 pasa a C y X. Es igual que el ASL, pero V siempre vale 0 ^{2,3} 
LSL.B	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Desplazamiento lógico varios bit a izquierda de byte. El número de bits desplazado lo determina un contador (1-8) o un registro (1-63). Entran 0s por el 0 y el bit 7 pasa a X y C 

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
LSL.W	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Igual que anterior con palabra
LSL.L	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Igual que anterior con doble palabra
LSR	dadr	2,4,6	$9(1/1)+$	X	X	X	0	X	Desplazamiento Lógico un bit a Derecha. El bit 15 pasa a valer 0 y el valor del 0 pasa a X y C
LSR.B	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Desplazamiento lógico varios bit a derecha de byte. El número de bits lo determina un contador (1-8) o un registro (1-63). Entran 0s al bit 7 y el bit 0 pasa a X y C
LSR.W	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Igual que anterior, pero con palabra
LSR.L	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Igual que anterior, pero con doble palabra

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
ROL	dadr	2,4,6	$9(1/1)+$		X	X	0	X	Rotación a la Izquierda de un bit. El bit 15 pasa al 0 y a $C^{2,3}$ 
ROL.B	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Rotación varios bit a izquierda de byte. El número de bits rotados lo determina un contador (1-8) o un registro (1-63). El bit 7 pasa al bit 0 y a C 
ROL.W	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Igual que anterior con palabra 
ROL.L	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Igual que anterior con doble palabra 
ROR	dadr	2,4,6	$9(1/1)+$	X	X	X	0	X	Rotación de un bit a derecha. El bit 15 se carga con el bit 0 que pasa también al C 
ROR.B	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Rotación de varios bit a derecha de byte. El número de bits lo determina un contador (1-8) o un registro (1-63). El bit 0 pasa bit 7 y a C 

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
ROR.W	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Igual que anterior, pero con palabra 
ROR.L	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Igual que anterior, pero con doble palabra 
ROXL	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Rotación a izquierda de un bit empleando extensión. El bit 15 pasa al X y a C y el X al 0 ^{2,3} 
ROXL.B	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Rotación varios bit a izquierda de byte empleando bit eXtensión. El número de bits desplazado lo determina un contador (1-8) o un registro (1-63). El bit X pasa al bit 0 y el bit 7 pasa a X y a C 
ROXL.W	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Igual que anterior, pero con palabra 
ROXL.L	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Igual que anterior, pero con doble palabra 

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
ROXR	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Rotación de un bit a derecha empleando bit de extensión. El bit 15 se carga con el bit X y el bit 0 pasa a X y C, y el bit 15 se carga con X 
ROXR.B	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Rotación de varios bit a derecha de byte empleando bit de extensión. El número de bits lo determina un contador (1-8) o un registro (1-63). El bit 0 pasa al bit X y a C, y el bit 7 se carga con X 
ROXR.W	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Igual que anterior, pero con palabra 
ROXR.L	count o Dn,Dn	2	$6+2n(1/0)+$	X	X	X	0	X	Igual que anterior, pero con doble palabra 

1.6.6. Manejo de bits

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
BTST	bitl,Dn	4	10(2/0)			X			$Z \leftarrow \overline{Dn} \langle bitl \rangle$
	Dn,dDn	2	6(1/0)			X			$Z \leftarrow \overline{dDn} \langle Dn \rangle$ Consulta el contenido de un bit de un registro
BTST	bitl,dadr	4,6,8	8(2/0)+			X			$Z \leftarrow \overline{[dadr \langle bitl \rangle]}$
	Dn,dadr	2,4,6	4(1/0)+			X			$Z \leftarrow \overline{[dadr \langle Dn \rangle]}$ ¹ Consulta el contenido de un bit de memoria
BSET	bitl,Dn	4	12(2/0)			X			$Z \leftarrow \overline{Dn} \langle bitl \rangle$, $Dn \langle bitl \rangle \leftarrow 1$
	Dn,dDn	2	8(1/0)			X			$Z \leftarrow \overline{dDn} \langle Dn \rangle$, $dDn \langle Dn \rangle \leftarrow 1$ Consulta el contenido de un determinado bit de un registro y lo pone a 1
BSET	bitl,dadr	4,6,8	13(2/1)+			X			$Z \leftarrow \overline{[dadr \langle bitl \rangle]}$, $[dadr \langle bitl \rangle] \leftarrow 1$
	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+			X			$Z \leftarrow \overline{[dadr \langle Dn \rangle]}$, $[dadr \langle Dn \rangle] \leftarrow 1$ ¹ Consulta el contenido de un bit de memoria y lo pone a 1
BCLR	bitl,Dn	4	14(2/0)			X			$Z \leftarrow \overline{Dn} \langle bitl \rangle$, $Dn \langle bitl \rangle \leftarrow 0$
	Dn,dDn	2	8(1/0)			X			$Z \leftarrow \overline{dDn} \langle Dn \rangle$, $dDn \langle Dn \rangle \leftarrow 0$ Consulta el contenido de un determinado bit de un registro y lo pone a 0
BCLR	bitl,dadr	4,6,8	13(2/1)+			X			$Z \leftarrow \overline{[dadr \langle bitl \rangle]}$, $[dadr \langle bitl \rangle] \leftarrow 0$
	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+			X			$Z \leftarrow \overline{[dadr \langle Dn \rangle]}$, $[dadr \langle Dn \rangle] \leftarrow 0$ ¹ Consulta el contenido de un bit de memoria y lo pone a 0

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
BCHG	bitl,Dn	4	12(2/0)			X			$Z \leftarrow \overline{Dn} \langle bitl \rangle,$ $Dn \langle bitl \rangle \leftarrow \overline{Dn} \langle bitl \rangle$
	Dn,dDn	2	8(1/0)			X			$Z \leftarrow \overline{dDn} \langle Dn \rangle,$ $dDn \langle Dn \rangle \leftarrow \overline{dDn} \langle Dn \rangle$ Consulta el contenido de un bit de un registro y lo pone al valor contrario
BCHG	bitl,dadr	4,6,8	13(2/1)+			X			$Z \leftarrow \overline{[dadr \langle bitl \rangle]},$ $[dadr \langle bitl \rangle] \leftarrow \overline{[dadr \langle bitl \rangle]}$
	Dn,dadr	2,4,6	9(1/1)+			X			$Z \leftarrow \overline{[dadr \langle Dn \rangle]},$ $[dadr \langle Dn \rangle] \leftarrow \overline{[dadr \langle Dn \rangle]}$ ¹ Consulta el contenido de un bit de memoria y lo pone al valor contrario

1.6.7. Control del programa

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
BRA	label	2,4	10(2/0)						$PC \leftarrow label$ Salto incondicional corto relativo a PC
JMP	jadr	2,4,6	4(1/0)+						$PC \leftarrow jadr$ Salto incondicional absoluto
BSR	label	2,4	10,8(1/0)						$A7 \leftarrow A7 - 4,$ $[A7] \leftarrow PC$
			10,12(2/0)						$PC \leftarrow label$ Salto subrutina corto relativo a PC
JSR	jadr	2,4,6	14(1/2)+						$A7 \leftarrow A7 - 4,$ $[A7] \leftarrow PC$ $PC \leftarrow jadr$ Salto subrutina absoluto
RTS		2	16(4/0)						$PC \leftarrow [A7],$ $A7 \leftarrow A7 + 4$ Retorno subrutina
RTR		2	20(5/0)						$SR \langle 0-4 \rangle \leftarrow [A7 \langle 0-4 \rangle],$ $A7 \leftarrow A7 + 2$ $PC \leftarrow [A7],$ $A7 \leftarrow A7 + 4$ Restaura estado y retorna subrutina

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
RTE		2	20(5/0)	X	X	X	X	X	$SR \leftarrow [A7]$, $A7 \leftarrow A7+2$ $PC \leftarrow [A7]$, $A7 \leftarrow A7+4$
Bcc	label	2,4	10,8(1/0) 10,12(2/0)						Retorno de excepción $PC \leftarrow \text{label}$, Si condición
DBcc	Dn,label	4	12,10(2/0), 14(3/0)						Salto condicional corto relativo a PC Si cumple condición nada. No cumple condición: $Dn \langle 0-15 \rangle \leftarrow Dn \langle 0-15 \rangle - 1$ Si $Dn \langle 0-15 \rangle = -1$ siguiente instrucción $PC \leftarrow \text{label}$
CHK	data16,Dn	4	49(6/3), 12(2/0)		X	U	U	U	Salto condicional corto relativo a PC, con decremento Si $Dn \langle 0-15 \rangle < 0 \vee Dn \langle 0-15 \rangle > data16$ entonces $PC \leftarrow$ vector CHK
	Dn,dDn	2	45(5/3) 8(1/0)		X	U	U	U	Si $dDn \langle 0-15 \rangle < 0 \vee dDn \langle 0-15 \rangle > Dn$ entonces $PC \leftarrow$ vector CHK
	sadr,dDn	2,4,6	45(5/3) 8(1/0)		X	U	U	U	Si $dDn \langle 0-15 \rangle < 0 \vee dDn \langle 0-15 \rangle > [sadr]$ entonces $PC \leftarrow$ vector CHK
TRAP	vector	2	37(4/3)						Comprobación de rangos $A7 \leftarrow A7-4$, $[A7] \leftarrow PC$, $A7 \leftarrow A7-2$, $[A7] \leftarrow SR$, $PC \leftarrow \text{vector}$
TRAPV		2	37(5/3)						Desvío al S.O. Si $V = 1$ TRAP vector TRAPV Comprobación bit overflow

1.6.8. Control del procesador

Nemónico	Operandos	Bytes	Ciclos reloj	Registro estado					Operación realizada
				X	N	Z	V	C	
MOVE	Dn,CCR	2	12(2/0)	X	X	X	X	X	$SR<0-4>\leftarrow Dn<0-4>$ Actualiza estado
MOVE	sadr,CCR	2,4,6	12(2/0)+	X	X	X	X	X	$SR<0-4>\leftarrow [sadr<0-4>]^{2,3}$
MOVE	data8,CCR	4	16(3/0)	X	X	X	X	X	$SR<0-4>\leftarrow data8<0-4>$
MOVE	Dn,SR	2	12(2/0)	X	X	X	X	X	$SR\leftarrow Dn<0-15>$ Ejecutable en supervisor
MOVE	sadr,SR	2,4,6	12(2/0)+	X	X	X	X	X	$SR\leftarrow [sadr]^{2,3}$ Ejecutable en supervisor
MOVE	data16,SR	4	16(3/0)	X	X	X	X	X	$SR\leftarrow data16<0-8>$ Ejecutable en supervisor
MOVE	SR,Dn	2	6(1/0)						$Dn<0-15>\leftarrow SR$
MOVE	SR,dadr	2,4,6	9(1/1)+						$[dadr]\leftarrow SR^{2,3}$
ANDI.B	data8,SR	4	20(3/0)	X	X	X	X	X	$SR<0-7>\leftarrow SR<0-7>\wedge data8$ AND inmediato a SR
ANDI.W	data16,SR	4	20(3/0)	X	X	X	X	X	$SR\leftarrow SR\wedge data16$ Ejecutable en supervisor
EORI.B	data8,SR	4	20(3/0)	X	X	X	X	X	$SR<0-7>\leftarrow SR<0-7>\oplus data8$ EOR inmediato a SR
EORI.W	data16,SR	4	20(3/0)	X	X	X	X	X	$SR\leftarrow SR\oplus data16$ Ejecutable en supervisor
ORI.B	data8,SR	4	20(3/0)	X	X	X	X	X	$SR<0-7>\leftarrow SR<0-7>\vee data8$ OR inmediato a SR
ORI.W	data16,SR	4	20(3/0)	X	X	X	X	X	$SR\leftarrow SR\vee data16$ Ejecutable en supervisor
NOP		2	4(1/0)						No hace nada
RESET		2	132(1/0)						Activa RESET. Ejecutable en supervisor
STOP	data16	4	8(2/0)	X	X	X	X	X	$SR\leftarrow data16$ Bloqueado en espera de interrupción. Ejecutable en supervisor

Capítulo 2

Controlador de líneas serie MC68681

El MC68681 es un módulo de entrada/salida perteneciente a la familia M68000 de Motorola. Su función es controlar dos líneas serie con capacidad de transmisión y recepción asíncrona, a este tipo de dispositivo se le conoce con el nombre de DUART (Dual Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).

El calificativo Universal le viene dado porque admite una gran variedad de formatos de datos y modos de operación. El modo de operación y formato de datos de cada línea se programa independientemente. Además, la MC68681 DUART tiene un mecanismo de interrupciones bastante versátil, ya que puede proporcionar un vector durante el ciclo de reconocimiento de interrupción y puede solicitar interrupción por 8 sucesos distintos enmascarables individualmente.

A pesar de que un dispositivo de estas características puede parecer complejo, las UART's son uno de los controladores de dispositivos más sencillos. Además, hay que tener en cuenta que el dispositivo simulado no realiza ningún tipo de control de errores, ni interbloqueo hardware para el control de flujo de las líneas y no tiene simulado el temporizador programable para la generación de nuevas velocidades de transmisión y recepción.

Por lo tanto, la descripción que se hace en este capítulo es incompleta y se refiere solo a las funciones que realiza la DUART MC68681 simulada que proporciona el simulador BSVC. Así, solo se describen los registros y bits de registros que proporcionan la funcionalidad simulada.

2.1. Transmisión asíncrona de caracteres por una línea serie

En el modo de transmisión asíncrono, el envío de un carácter constituye una transferencia elemental. El carácter se codifica en un formato de codificación de caracteres (habitualmente código ASCII) y se incluye en una trama cuyo formato se muestra en la figura 2.1.

Como se puede observar en la figura 2.1, el estado inactivo de la línea es a 1. Cada trama comienza con un bit de inicio (Start), que naturalmente es un 0. A continuación se transmiten los bits de datos que pueden ser desde 5 hasta 8, en la figura se utilizan 8. A continuación se puede incluir un bit de paridad, par o impar. Este bit, que es opcional, sirve para detectar errores en la transmisión y no está disponible en la MC68681 simulada, por lo que se transmitirá sin paridad. Por último, se incluye un número de bits de parada (Stop) a 1 que sirven para que el receptor se recupere antes del inicio de una nueva trama. El número

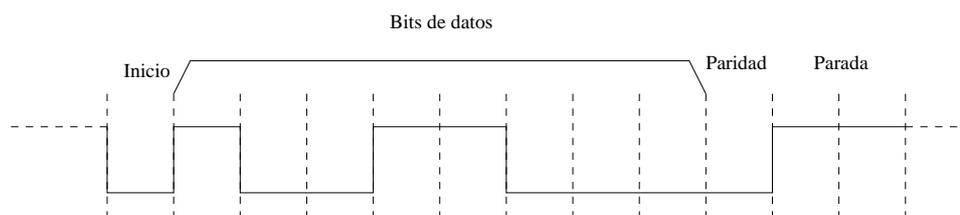


Figura 2.1: Transferencia de un carácter en modo asíncrono con 8 bits de datos

de bits de parada es variable (desde 0,5 a 2) y en la MC68681 simulada no están disponibles ya que no se necesitan al no haber una línea serie física.

El tiempo de transmisión o recepción de una trama depende de la velocidad a la que se utilice la línea y del número de bits que contenga la trama. Así, una trama como la de la figura que se compone de 12 bits y una velocidad de 9600 bits/seg, tarda en transmitirse 1,25 milisegundos pudiéndose alcanzar una velocidad de transferencia máxima de 800 bytes/seg. La velocidad de transmisión se selecciona de acuerdo a la calidad y longitud del cable y a la norma utilizada, por ejemplo RS-232, RS-422, etc.

2.2. Características de la DUART MC68681

El controlador de líneas serie simulado tiene las siguientes características:

- Dos líneas serie *full-duplex* (posibilidad de recepción y transmisión simultánea) independientes con formato de recepción/transmisión asíncrono.
- Cada línea se puede conectar a un proceso Unix.
- 18 velocidades distintas para cada transmisor y receptor, desde 50 hasta 38400 baudios.
- Formato de datos programable desde 5 hasta 8 bits por carácter.
- Modo de canal programable:
 - Normal (*full-duplex*).
 - Eco automático.
- Sistema de interrupciones versátil:
 - Posibilidad de petición de interrupción por 4 condiciones distintas enmascarables individualmente.
 - Proporciona el vector de interrupción almacenado en el registro correspondiente durante el ciclo de reconocimiento de interrupción.

2.3. Descripción de los registros

El modo de operación de la DUART se programa a través de sus registros de control. Asimismo, se pueden leer sus registros de estado para conocer el estado de operación de

la unidad. La tabla 2.1 muestra los registros de la DUART junto con su acrónimo de su denominación en inglés, la dirección que tienen asignada en el computador simulado de la práctica y si son específicos de la línea serie A, de la B o son comunes.

Dirección	Registro en lectura	Registro en escritura	Línea
EFFC01	de modo A (MR1A, MR2A)	de modo A (MR1A, MR2A)	A
EFFC03	de estado A (SRA)	de selección de reloj A (CSRA)	A
EFFC05	Sin acceso	de control A (CRA)	A
EFFC07	buffer de recepción A (RBA)	buffer de transmisión A (TBA)	A
EFFC09	Sin implementar	de control auxiliar (ACR)	Ambas
EFFC0B	de estado de interrupción (ISR)	de máscara de interrupción (IMR)	Ambas
EFFC0D	Sin implementar	Sin implementar	Ambas
EFFC0F	Sin implementar	Sin implementar	Ambas
EFFC11	de modo B (MR1B, MR2B)	de modo B (MR1B, MR2B)	B
EFFC13	de estado B (SRB)	de selección de reloj B (CSRB)	B
EFFC15	Sin acceso	de control B (CRB)	B
EFFC17	buffer de recepción B (RBB)	buffer de transmisión B (TBB)	B
EFFC19	del vector de interrupción (IVR)	del vector de interrupción (IVR)	Ambas
EFFC1B	Sin implementar	Sin implementar	Ambas
EFFC1D	Sin implementar	Sin implementar	Ambas
EFFC1F	Sin implementar	Sin implementar	Ambas

Tabla 2.1: Registros de la DUART MC68681

Todos los registros son de 8 bits y el ancho del bus de datos de esta unidad es también de 8 bits. Por lo tanto, se deberán usar instrucciones de tamaño de operando de 8 bits para leer y escribir en estos registros.

Como es habitual en los controladores de periféricos, en muchos casos 2 registros distintos comparten el mismo puerto, de forma que cuando se escribe se accede a un registro y cuando se lee se accede a otro. Además, los 2 registros de modo de cada línea comparten la misma dirección. De forma que, en el primer acceso se direcciona el registro de modo 1 y en el segundo el registro de modo 2. Todos los accesos posteriores direccionarán el registro de modo 2, a menos que se reinicialice el puntero interno que los discrimina. Este puntero se reinicializa al realizar el RESET del sistema o bien ordenando una reinicialización del puntero en el registro de control correspondiente.

A continuación se describen cada uno de los registros de la DUART MC68681 simulada. En muchos casos aparece la notación N/A que indica que la funcionalidad proporcionada por el bit correspondiente del registro no está disponible en la unidad simulada

2.3.1. Registros de modo 1 (MR1A y MR1B)

N/A	Selección RxIRQ	N/A	N/A		N/A	Bits por carácter	
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
	0 = RxRDY 1 = FFULL					00 = 5 01 = 6 10 = 7 11 = 8	

A través de este registro se le ordena a la DUART el número de bits por carácter de la línea correspondiente y cuando ha de solicitar una interrupción en recepción. En este último caso existen dos posibilidades:

RxRDY (Receiver ReaDY) Se solicita una interrupción cada vez que llega un carácter.

FFULL (Fifo FULL) Cada línea posee 3 registros de recepción organizados como una pila FIFO (*First-Input-First-Output*), lo que permite recibir 3 caracteres consecutivos. Esta opción supone por lo tanto que se solicite la interrupción cuando la pila se llene, es decir cada 3 caracteres.

2.3.2. Registros de modo 2 (MR2A y MR2B)

Modo de la línea	N/A	N/A	N/A			
Bit 7 Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
00 = Normal 01 = Eco 10 = N/A 11 = N/A						

A través de este registro se le ordena a la DUART el modo de operación de la línea correspondiente. En el modo eco, la DUART retransmite automáticamente cada carácter que recibe.

2.3.3. Registros de estado (SRA y SRB)

N/A	N/A	N/A	N/A	TxE _M T	TxRDY	FFULL	RxRDY
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
				0 = No 1 = Yes	0 = No 1 = Yes	0 = No 1 = Yes	0 = No 1 = Yes

En este registro se consulta el estado de la línea correspondiente. Los sucesos que registran son:

TxE_MT (Transmitter EMpTy) Si está habilitada la transmisión por la línea correspondiente, se pone a 1 cuando se puede cargar un nuevo carácter en el buffer de transmisión (TBA o TBB) y el carácter anterior se ha terminado de enviar.

TXRDY (*Transmitter ReaDY*) Si está habilitada la transmisión por la línea correspondiente, se pone a 1 cuando se puede cargar un nuevo carácter en el buffer de transmisión (TBA o TBB), pero puede que aún no se haya completado el envío del carácter anterior.

FFULL (*Fifo FULL*) Hay 3 caracteres en la pila FIFO de registros de recepción.

RxRDY (*Receiver ReaDY*) Se ha recibido un carácter y está en la pila FIFO de registros de recepción.

2.3.4. Registros de selección de reloj (CSRA y CSRB)

Selección de velocidad de recepción			Selección de velocidad de transmisión		
Bit 7	Bit 6	Bit 5 Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1 Bit 0
Conjunto 1		Conjunto 2	Conjunto 1		Conjunto 2
ACR Bit 7 = 0		ACR Bit 7 = 1	ACR Bit 7 = 0		ACR Bit 7 = 1
0000	50	75	0000	50	75
0001	110	110	0001	110	110
0010	134.5	134.5	0010	134.5	134.5
0011	200	150	0011	200	150
0100	300	300	0100	300	300
0101	600	600	0101	600	600
0110	1200	1200	0110	1200	1200
0111	1050	2000	0111	1050	2000
1000	2400	2400	1000	2400	2400
1001	4800	4800	1001	4800	4800
1010	7200	1800	1010	7200	1800
1011	9600	9600	1011	9600	9600
1100	38400	19200	1100	38400	19200
1101	N/A	N/A	1101	N/A	N/A
1110	N/A	N/A	1110	N/A	N/A
1111	N/A	N/A	1111	N/A	N/A

Mediante este registro en combinación con el bit 7 del registro auxiliar de control (ACR), se elige la velocidad de transmisión y recepción de la línea correspondiente.

2.3.5. Registros de control (CRA y CRB)

N/A	Misceláneos	Transmisión	Recepción
Bit 7	Bit 6 Bit 5 Bit 4	Bit 3 Bit 2	Bit 1 Bit 0
	000 = Sin efecto	00 = Sin efecto	00 = Sin efecto
	001 = Reinicializar puntero a MR1	01 = Habilitar	01 = Habilitar
	010 = Reinicializar recepción	10 = Inhibir	10 = Inhibir
	011 = Reinicializar transmisión	11 = N/A	11 = N/A
	100 = Reinicializar estado de error		
	101 = N/A		
	110 = N/A		
	111 = N/A		

Mediante este registro de control se habilita o inhibe la transmisión y/o recepción en la línea correspondiente. Además, se puede reinicializar el puntero para poder acceder al registro de modo 1 (MR1A o MR1B), la recepción, la transmisión y los estados de error de la línea correspondiente.

2.3.6. Registros del buffer de recepción (RBA y RBB)

En cada uno de estos puertos hay 3 registros organizados como una pila FIFO, donde se almacenan los caracteres que se reciben por la línea correspondiente. De modo que, si se ha recibido más de un carácter desde la última vez que se leyó, éstos se pueden leer en accesos consecutivos.

2.3.7. Registros del buffer de transmisión (TBA y TBB)

En este registro se escribe el carácter que se va a enviar por la línea correspondiente.

2.3.8. Registro de control auxiliar (ACR)

Selección del conjunto de velocidades	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
0 = Conjunto 1							
1 = Conjunto 2							

Este registro sirve para seleccionar uno de los dos conjuntos de velocidades de recepción y transmisión. La velocidad elegida dentro del conjunto se especifica a través de los registros de selección de reloj correspondiente (CSRA o CSRB).

2.3.9. Registro de estado de interrupción (ISR)

N/A	N/A	RxRDYB FFULLB	TxRDYB	N/A	N/A	RxRDYA FFULLA	TxRDYA
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
		0 = No 1 = Yes	0 = No 1 = Yes			0 = No 1 = Yes	0 = No 1 = Yes

Este registro proporciona el estado de todas las fuentes posibles de interrupción. Los contenidos de este registro se enmascaran con los contenidos del registro de máscara de interrupción (IMR). De modo que, se activará la petición de interrupción si y solo si existe algún bit de este registro a 1 y el bit correspondiente del registro de máscara de interrupción también está a 1.

Existen dos fuentes posibles de interrupción para cada línea:

RxRDY o FFULL (*Receiver ReaDY o Fifo FULL*) Se colocará a 1 si se ha recibido un carácter o la pila de registros FIFO éste llena, según lo elegido mediante el bit 6 del registro de modo 1 correspondiente (MR1A o MR1B).

TxRDY (*Transmitter ReaDY*) Es un duplicado del bit TxRDY del registro de estado correspondiente (SRA o SRB). Por lo tanto, se pondrá a 1 siempre que el registro buffer de transmisión esté vacío.

2.3.10. Registro de máscara de interrupción (IMR)

N/A	RxRDYB FFULLB	TxRDYB	N/A	RxRDYA FFULLA	TxRDYA
Bit 7 Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3 Bit 2	Bit 1	Bit 0
	0 = Inhibida 1 = Habilitada	0 = Inhibida 1 = Habilitada		0 = Inhibida 1 = Habilitada	0 = Inhibida 1 = Habilitada

Como se ha dicho, este registro se usa para habilitar o inhibir la petición de interrupción de cada una de las 4 fuentes posibles. En particular, si alguno de los bit TxRDYA y TxRDYB está a 1 se solicitará una interrupción siempre que se esté en condiciones de transmitir un nuevo carácter. Es decir, tras mandar el último carácter de un paquete se deberá colocar a 0. Si no, hasta que no se cargue un nuevo carácter en el registro del buffer de transmisión correspondiente (TBA o TBB) se solicitarán interrupciones de forma ininterrumpida, valga la redundancia.

2.3.11. Registro del vector de interrupción (IVR)

En este registro se almacenará el vector de interrupción que debe proporcionar el controlador MC68681 durante el ciclo de bus de reconocimiento de interrupción. Por lo tanto, la dirección de la rutina de tratamiento se deberá almacenar a partir de la posición de memoria resultante de multiplicar por 4 el contenido de este registro (véase sección 1.5.3).

Tras un *reset* contiene el vector 0F, que según la tabla 1.5 es el correspondiente a vector de interrupción no inicializado.

Capítulo 3

Programa ensamblador 68kasm

El programa que se describe es un ensamblador básico de dos pasadas para los microprocesadores MC68000 y MC68010. Este ensamblador traduce el juego completo de instrucciones de ambos procesadores a la vez que proporciona un juego de directivas para el ensamblador o pseudoinstrucciones. La salida que genera se compone de un fichero con el listado de ensamblaje y un otro que contiene el código objeto en el formato *S-record* de Motorola.

Paul McKee escribió la versión 1 de este programa en 1986, Mark Hollomon la versión 2.0 y Bradford W. Mott la versión 2.1.

3.1. Llamada al programa ensamblador

La sintaxis para invocar al programa ensamblador 68kasm es la siguiente:

```
68kasm [-clna] <fichero fuente>
```

```
Options: -c Show full constant expansions for DC directives
         -l Produce listing file (infile.lis)
         -n Produce NO object file (infile.h68)
         -a Produce long word absolute addresses only (infile.h68)
```

La sintaxis recomendada es:

```
68kasm -l practica.s
```

Lo que producirá un fichero con el listado de ensamblaje llamado `practica.lis` y, si no ha habido errores, un fichero con el código objeto llamado `practica.h68`. Si no ha habido errores el programa mostrará el mensaje siguiente:

```
68000 Assembler by PGM
```

```
No errors detected
No warnings generated
```

Se recomienda utilizar la opción `-l` ya que, por un lado permitirá estudiar los posibles errores en el fichero de listado y, además, permitirá al simulador BSVC mostrar el código de programa en la ventana correspondiente. Si no se utiliza esta opción el simulador no mostrará el código ensamblador del programa y no se podrán colocar puntos de ruptura con una simple pulsación del ratón.

3.2. Formato del código fuente

La entrada al programa ensamblador es un fichero que contiene instrucciones, pseudoinstrucciones y comentarios. Cada línea puede tener hasta un máximo de 256 caracteres y el programa no distingue entre mayúsculas y minúsculas.

Cada línea de código fuente puede tener los siguientes campos:

ETIQUETA	OPERACION	OPERANDO, ,	COMENTARIO
----------	-----------	-------------	------------

Por ejemplo:

LOOP:	MOVE.L	(A0)+, (A1)+	*Ejemplo
-------	--------	--------------	----------

Los campos se pueden separar por cualquier combinación de blancos y tabuladores. Sin embargo, no se permite el uso de blancos y tabuladores dentro de un campo, a excepción del campo de comentario y en tiras de caracteres entre comillas.

3.2.1. Campo de etiquetas

El campo de etiquetas se distingue, bien porque comienza en la primera columna o bien porque se termina con una coma, que no forma parte de la etiqueta sino que solo la finaliza. Una etiqueta puede tener cualquier longitud, pero **solo se tienen en cuenta los ocho primeros caracteres**.

Se recomienda finalizar las etiquetas con dos puntos para mejorar la legibilidad del código.

3.2.2. Campo de operación

Este campo especifica la instrucción que se va a ensamblar o la pseudoinstrucción para el ensamblador. Si la operación lo permite, se puede añadir el sufijo que indica el tamaño de la operación (.B, .W, .L o .S) para indicar byte, palabra, palabra larga o desplazamiento corto. Este campo no puede empezar en la primera columna.

3.2.3. Campo de operandos

Los operandos se separan de la operación por espacios o tabuladores. Si la operación tiene más de un operando, éstos se deben separar por comas. Los operandos no pueden contener espacios a menos que se entrecomillen. Además, no se pueden incluir espacios antes o detrás de la coma que separa dos operandos.

3.2.4. Campo de comentario

Un comentario es cualquier combinación de caracteres que esté en la misma línea tras el campo de operandos. Además, una línea que comience por un * se considera como línea de comentario.

Se recomienda comenzar todos los comentarios con un asterisco para mejorar la legibilidad del código.

3.2.5. Símbolos

Los símbolos aparecen en el código como etiquetas, constantes u operandos. El primer carácter de un símbolo debe de ser una letra o un punto. Los restantes pueden ser: letras, \$, . ó _. Pueden ser de cualquier longitud **aunque solo se distinguen por sus 8 primeros caracteres**. Se recuerda que el programa ensamblador no distingue entre mayúsculas y minúsculas.

3.2.6. Expresiones

Se pueden utilizar expresiones en lugar de números. Una expresión consiste en uno o más operandos (números o símbolos) y operadores de uno o dos operandos. Los cálculos se realizan con 32 bits y no se obtiene ningún resultado en caso de *overflow*. Aunque, la división por cero produce un error.

Operandos de expresiones

Un operando de una expresión puede ser un símbolo o una constante de cualquiera de los tipos siguientes:

Números decimales Están constituidos por una secuencia de dígitos decimales.

Números hexadecimales Están constituidos por una secuencia de dígitos hexadecimales precedidos por \$.

Números binarios Están constituidos por una secuencia de dígitos binarios precedidos por %.

Números octales Están constituidos por una secuencia de dígitos octales precedidos por @.

Constantes ASCII Están constituidas por una tira de caracteres ASCII, hasta un máximo de 4, entrecomilladas por comillas simples ('). Si se quiere introducir una comilla simple en la tira hay que colocar dos consecutivas.

Operadores de expresiones

Los operadores se muestran en la tabla 3.1 en orden de precedencia decreciente. Los de igual precedencia se evalúan de izquierda a derecha (a excepción de los del grupo 2).

3.2.7. Especificación de los modos de direccionamiento

La tabla 3.2 detalla como se especifican los modos de direccionamientos en el programa ensamblador.

3.3. Instrucciones de bifurcación

Las instrucciones `Bcc`, `BRA` y `BSR` son las únicas a las que se les puede añadir el sufijo `.S`. Este sufijo obliga a ensamblar estas instrucciones con direcciones de salto de 1 byte (rango -128..127). Si se usa y la dirección de destino cae fuera de rango se produce un error. Si se añade el sufijo `.L`, se usa una palabra para la dirección de salto puede estar en el rango

Precedencia	Operador	Descripción
1	()	Paréntesis
2	- ~	Negación (complementa a dos) NOT (complementa a uno)
3	<< >>	Desplaza a la izquierda (x<<y significa que x se desplaza y bits y se introducen ceros) Desplaza a la derecha (x>>y significa que x se desplaza y bits y se introducen ceros)
4	& !	AND OR
5	* / \	Multiplicación División entera Módulo
6	+ -	Suma Resta

Tabla 3.1: Operadores de expresiones

-32768..32767. Si no se usa ningún sufijo el ensamblador intenta utilizar un salto corto .S, pero si la dirección destino no está en el rango correspondiente o no se conoce tras la primera pasada, utilizará un salto largo .L.

3.4. Pseudoinstrucciones

3.4.1. Set origin ORG

Especifica en qué posiciones de memoria se ubicarán las variables o el código que aparece a continuación. El formato de una línea con esta pseudoinstrucción es:

```
<ETIQUETA>    ORG          <EXPRESION>
```

La expresión no debe contener referencias adelantadas ya que su valor se debe conocer durante la primera pasada en la línea donde ORG aparece. La etiqueta es opcional y si se usa, el símbolo adquiere el valor de la dirección <EXPRESION>.

3.4.2. Equate EQU

Se usa para definir símbolos cuyo valor permanece constante. El formato de una línea con esta pseudoinstrucción es:

```
<ETIQUETA>    EQU          <EXPRESION>
```

La expresión no debe contener referencias adelantadas ya que su valor se debe conocer durante la primera pasada en la línea donde EQU aparece. La etiqueta es obligatoria ya que se trata del símbolo que se define y adquiere el valor de <EXPRESION>.

Modo	Sintaxis
Directo a registro de datos	Dn
Directo a registro de dirección	An
Absoluto (el tamaño lo elige el ensamblador)	< ex >
Relativo a PC	< ex16 >(PC)
Relativo a PC con desplazamiento múltiple	< ex8 >(PC,Xn.s)
Indirecto a registro	(An)
Indirecto a registro con postincremento	(An)+
Indirecto a registro con predecremento	-(An)
Relativo a registro base	< ex16 >(An)
Relativo a registro base con desplazamiento múltiple	< ex8 >(An,Xn.s)
Inmediato	#< ex >
Implícito	SR,USP,PC,VBR,SFC,DFC

Leyenda:

Dn	= Registro de datos
An	= Registro de direcciones (se puede usar SP por A7)
Xn	= Registro de datos o direcciones usado como índice en los desplazamientos múltiples
.s	= Código de tamaño del registro índice (.W o .L, .W es la opción por defecto)
< ex8 >	= Expresión que se calcula a 8 bits, si no se pone se asume 0
< ex16 >	= Expresión que se calcula a 16 bits, si no se pone se asume 0
< ex >	= Cualquier expresión
SR	= Registro de estado
PC	= Registro contador de programa
USP	= Registro puntero de pila de usuario
SSP	= Registro puntero de pila de supervisor
VBR	= Registro base de la tabla de vectores (MC68010)
SFC	= Registro fuente de código de función (MC68010)
DFC	= Registro destino de código de función (MC68010)

Tabla 3.2: Especificación de los modos de direccionamiento

3.4.3. Define constant DC

Esta pseudoinstrucción es equivalente a la DATA del estándar IEEE-694. Se usa para almacenar tiras de caracteres y listas de constantes en memoria. El formato de una línea con esta pseudoinstrucción es:

```
<ETIQUETA> DC.<TAMAÑO> <ITEM>,<ITEM>,...
```

Al símbolo de la etiqueta se le asigna la dirección de memoria de comienzo de la lista de datos. El código de <TAMAÑO> especifica si cada <ITEM> tiene el tamaño de 1 byte (.B), 1 palabra (.W) o 1 palabra larga (.L). La opción por defecto es de palabra.

Ejemplo:

```
TEXT0 DC.B 'DC Ejemplo',$0D,$0A,0
```

Como consecuencia a partir de la dirección de memoria TEXTO se almacenará:

```
44 43 20 45 6A 65 6D 70 6C 6F 0D 0A 00
```

3.4.4. Define storage DS

Esta pseudoinstrucción es equivalente a la RES del estándar IEEE-694. Se usa para generar un bloque de bytes, palabras o palabras largas sin inicializar. El formato de una línea con esta pseudoinstrucción es:

```
<ETIQUETA>    DS.<TAMAÑO>    <LONGITUD>
```

3.4.5. Set symbol SET

Es similar a la anterior, pero se usa para símbolos que se pueden redefinir usando otra pseudoinstrucción SET (pero no usando EQU o REG). El formato de una línea con esta pseudoinstrucción es:

```
<ETIQUETA>    SET            <EXPRESION>
```

3.4.6. Define register set REG

Se usa para definir un conjunto de registros que se van a usar en una instrucción MOVEM. El formato de una línea con esta pseudoinstrucción es:

```
<ETIQUETA>    REG            <EXPRESION DE REGISTROS>
```

La expresión de registros es de la forma:

```
RI/RI/RI...
```

Por ejemplo:

```
CONTEXTO      REG            D0/D3-D7/A1-A5/A6
               MOVEM         CONTEXTO, -(A7)
```

equivale a:

```
MOVEM         D0/D3-D7/A1-A5/A6, -(A7)
```

3.4.7. Define constant block DCB

Se usa para generar un bloque de bytes, palabras o palabras largas que se inicializan al mismo valor. El formato de una línea con esta pseudoinstrucción es:

```
<ETIQUETA>    DCB.<TAMAÑO>    <LONGITUD>, <VALOR>, ...
```

3.5. Formato del listado ensamblador

El ensamblador produce un listado del código fuente junto con su código objeto si se le invoca con la opción `-l`. El formato de una línea de este fichero es:

```
0000102E 22D8          200 LOOP MOVE.L (A0)+,(A1)+   Sample
```

La primera columna muestra la dirección de memoria correspondiente. La segunda columna el código de operación correspondiente a la instrucción. La tercera columna la línea correspondiente del fichero de listado. Las columnas posteriores contienen los campos de la línea correspondiente del código fuente.

En caso de que se presente algún error o aviso, éste se muestra en la línea siguiente. Al final del fichero se imprime el número total de errores y avisos.

3.6. Ejemplos

En el directorio `/usr/local/datsi/bsvc/samples/m68000` existen dos programas ejemplo que se distribuyen con el simulador. Los ficheros fuentes se llaman `MatrixMultiply.s` y `example.s`. También se pueden encontrar en ese directorio los listados de ensamblaje correspondientes, cuya extensión es `.lis`.

Capítulo 4

Simulador BSVC

BSVC es una plataforma para la simulación de procesadores, memoria y controladores de periféricos, desarrollada en C++ y Tcl/Tk. BSVC fue desarrollado por Bradford W. Mott en la Universidad del Estado de Carolina del Norte para la realización de prácticas de sistemas de entrada/salida y constituyó su proyecto fin de carrera¹. Actualmente, BSVC simula el microprocesador MC68000, el controlador de líneas series DUART MC68681 y memoria RAM. Por lo tanto, permite construir computadores virtuales con procesador, memoria y unidades periféricas.

BSVC se compila y ejecuta sobre sistemas operativos Unix, con compilador de C++ gcc 2.7.2 e interfaz gráfico Tcl 7.5 y Tk 4.1. Existe una versión para Windows95, pero no incorpora el simulador de la DUART MC68681.

En este capítulo se detalla la funcionalidad de BSVC necesaria para la realización de la práctica. El manual completo de este simulador se encuentra en el directorio `/usr/local/datsi/bsvc/doc/Manual/html/` en formato hipertexto HTML o en `/usr/local/datsi/bsvc/doc/Manual/ps` en formato PostScript.

4.1. Carga de computador virtual

Para ejecutar el simulador simplemente hay que ordenar `bsvc`. A continuación aparece el interfaz de usuario del simulador que se muestra en la figura 4.1.

Si se pulsa sobre el menú **File**, aparece una persiana con tres opciones activas:

New Setup Esta opción permite crear un computador virtual.

Open Setup Esta opción permite cargar un computador virtual previamente creado.

Quit Esta opción permite salir del simulador.

Se debe pulsar la opción **Open Setup** para cargar el computador virtual sobre el que se va a realizar la práctica. Al pulsarla aparece una nueva ventana con un contenido similar a la de la figura 4.2.

El fichero que contiene el computador de la práctica se llama `practica.setup` y está en `/usr/local/datsi/bsvc/samples/m68000`. Este computador consta de:

- Un microprocesador MC68000.

¹Senior design project

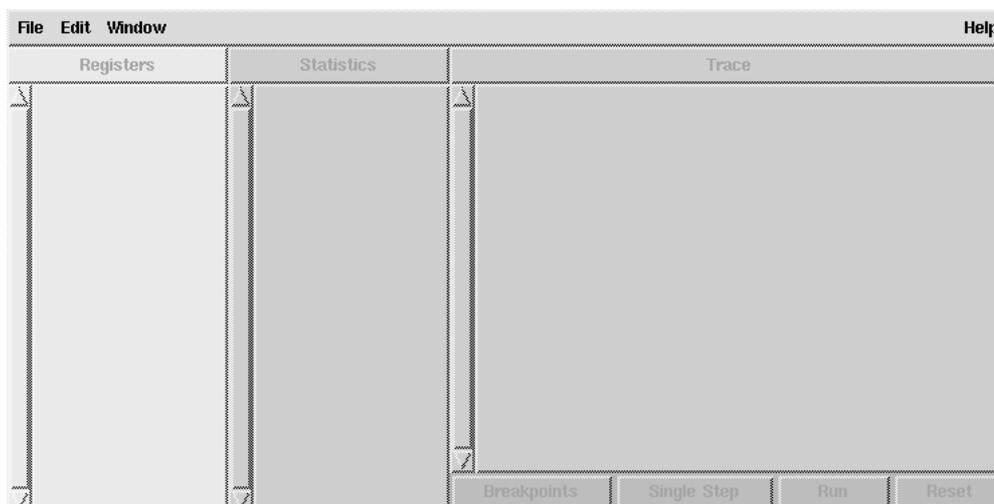


Figura 4.1: Ventana inicial del simulador BSVC



Figura 4.2: Ventana de búsqueda de ficheros

- Un módulo de memoria RAM de 32 Kbytes situado a partir de la dirección 0.
- Una DUART MC68681 situada a partir de la dirección EFFF00, conectada a la línea de petición de interrupción de nivel 4 y cuyas dos líneas series están conectadas a dos terminales alfanuméricos que a su vez se simulan con dos ventanas.

Al pulsar dos veces consecutivas sobre él se carga la configuración de dicho computador. La ventana inicial cambia de aspecto y se muestra la ventana de manejo del simulador (figura 4.3).

Además aparecen dos ventanas con las etiquetas MC68681 Línea A y MC68681 Línea B, que están conectados a las líneas correspondientes como si de terminales alfanuméricos se tratase.

Existe la posibilidad de cargar el fichero de configuración del computador (`practica.setup`) desde la línea de comandos:

```
bsvc /usr/local/datsi/bsvc/samples/m68000/practica.setup
```

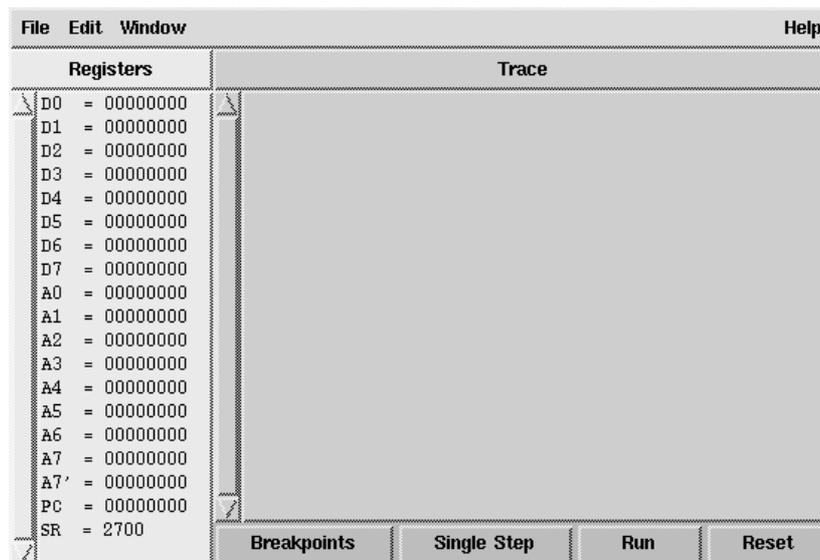


Figura 4.3: Ventana del simulador

4.2. Carga de un programa objeto

Ahora que se dispone de un computador, se puede proceder a cargar un programa en la memoria. Pulsando en la opción **File** aparece la persiana anterior pero con dos nuevas opciones activas:

Load Program Esta opción permite cargar un programa en la memoria del computador. Al pulsarla aparece una ventana como la de la figura 4.2.

Existen programas ejemplo en `/usr/local/datsi/bsvc/samples/m68000`, si se desea cargar alguno hay que cargar el programa objeto de extensión `.h68`. Para familiarizarse cargue `example.h68` pulsando dos veces consecutivas sobre él.

Save Setup Esta opción permite salvar un computador virtual.

4.3. Menús de la ventana de manejo del simulador

En la parte superior derecha de esta ventana (figura 4.3), existen tres menús:

File Es idéntica a su homónima correspondiente a la ventana inicial y sirve para para cargar, crear y salvar computadores virtuales, así como para cargar programas y salir del simulador.

Edit Sirve para ver y modificar el computador virtual que se ha cargado.

Window Sirve para generar dos nuevas ventanas. Una muestra el listado de ensamblaje del programa cargado, que contiene el código fuente. La otra permite ver y alterar el contenido del mapa de direcciones.

Registers La columna izquierda de esta ventana muestra los registros del microprocesador MC68000. En su parte superior existe un menú etiquetado **Registers** que despliega dos opciones:

Alter Permite modificar el contenido de un registro. Para ello se selecciona el registro en cuestión y a continuación esta opción. El mismo efecto se consigue pulsando dos veces consecutivas sobre el registro.

Clear All Pone a 0 todos los registros.

Trace La columna de la derecha es una zona de presentación de la traza de ejecución del programa. El menú superior etiquetado **Trace** permite seleccionar el tipo de información que se muestra y salvar la traza a fichero. Por defecto, se muestra la instrucción donde se ha detenido la ejecución y los posibles errores.

4.4. Botones de la ventana de manejo del simulador

En la parte inferior derecha, bajo la ventana de traza existen 4 botones:

Breakpoints Permite ver, añadir y quitar puntos de ruptura introduciendo una dirección de memoria. Sin embargo, para añadir un punto de ruptura basta con pulsar dos veces consecutivas sobre la instrucción correspondiente, la línea de código correspondiente cambiará al color rojo. Del mismo modo, para quitar un punto de ruptura se pulsa dos veces sobre la línea correspondiente. Este simulador únicamente acepta puntos de ruptura de tipo *fetch*.

Single Step Permite ejecutar el programa instrucción a instrucción.

Run/Stop Permite iniciar o detener la ejecución del programa.

Reset Simula la excepción de **Reset** del procesador. Como se describe en la sección 1.5.4, supone la inicialización del computador virtual. El puntero de pila de supervisor (A7') se inicializa con el contenido de la palabra larga de la dirección 0, el contador de programa (PC) se inicializa con el contenido de la palabra larga de la dirección 4 y procesador se coloca en modo supervisor con las interrupciones inhibidas (2700 en el registro de estado, SR).

Antes de ejecutar el programa se debe pulsar este botón.

4.5. Errores conocidos

Problema Cuando se ejecuta instrucción a instrucción, si se modifica el registro de estado se sigue mostrando el contenido antiguo. (**Registers**).

Posible solución Colocar un punto de ruptura en la instrucción siguiente a la que modifica el registro de estado y pulsar **Run**.

Problema Cuando se carga un programa desde la ventana del simulador (figura 4.3) se debe cargar el fichero con el código objeto cuya extensión **.h68**. Sin embargo, si se carga desde la ventana de listado no se podrá ejecutar correctamente.

Capítulo 5

Enunciado del proyecto: E/S mediante interrupciones

El objetivo del proyecto es que el alumno se familiarice con la realización de operaciones de Entrada/Salida en un periférico mediante interrupciones. El dispositivo elegido es la DUART MC68681 operando ambas líneas mediante interrupciones. En el computador del proyecto la DUART está conectada a la **línea de petición de interrupción de nivel 4**.

La estructura del proyecto se muestra en la figura 5.1. Como puede apreciarse se necesitan unos búfferes internos para almacenar los caracteres que se reciben asíncronamente por las líneas. Del mismo modo, se necesitan sendos búfferes internos para almacenar los caracteres pendientes de transmitirse por las líneas.

Además, existe una única rutina de tratamiento de las interrupciones de las líneas que será la encargada transferir la información a o desde los mencionados búfferes internos. El proyecto implica la programación de la rutina de tratamiento de las interrupciones (RTI) así como de las siguientes subrutinas que constituyen el interfaz:

INIT: Inicialización de los dispositivos. Preparará las dos líneas serie para recibir y transmitir caracteres y notificar los sucesos mediante la solicitud de interrupciones.

SCAN: Lectura de un dispositivo. Devolverá un bloque de caracteres que se haya recibido previamente por la línea correspondiente (A o B).

PRINT: Escritura en un dispositivo. Ordenará la escritura de un bloque de caracteres por la línea correspondiente (A o B).

Las subrutinas deberán tener un comportamiento **no bloqueante**. Es decir, estas subrutinas se limitarán a almacenar o recuperar la información solicitada de los búfferes internos y no esperarán en ningún caso a que termine la transmisión de los caracteres o a que se reciban nuevos caracteres.

La forma de acceder a los búfferes internos y variables compartidas entre la RTI y SCAN y PRINT debe asegurar la integridad de los datos manejados por las subrutinas, es decir, que ningún carácter es leído dos veces y que no se pierde ninguno. Esto exige realizar un estudio de concurrencia entre la RTI y el resto de subrutinas que se pueden ejecutar de forma concurrente, teniendo en cuenta **qué información** modifica cada subrutina y **en qué momento** lo hace.

Las subrutinas anteriores se depurarán y probarán escribiendo una serie de programas principales que llamen a estas subrutinas con un conjunto de parámetros distintos. Este juego de ensayo debe asegurar el funcionamiento correcto de la RTI y las otras cuatro subrutinas.

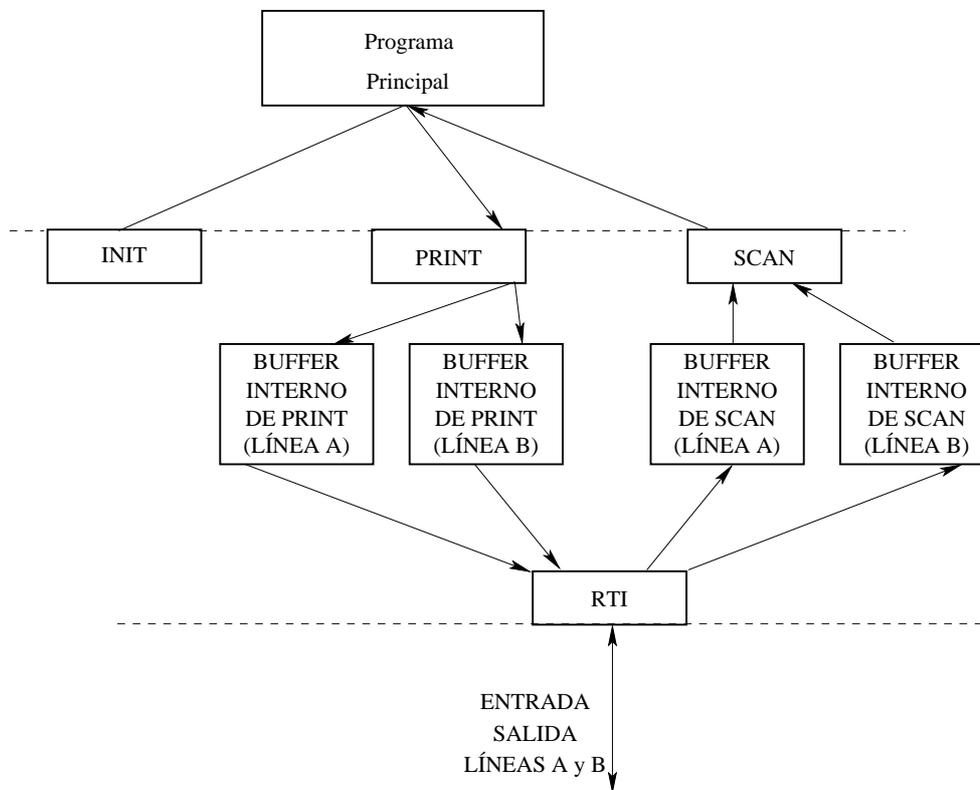


Figura 5.1: Estructura del proyecto.

Descripción de las Subrutinas

Todas las subrutinas reciben los parámetros en la pila y el valor de retorno, si lo tiene, se devuelve en el registro D0.

INIT ()

Parámetros:

No tiene.

Resultado:

Las líneas A y B deben quedar preparadas para la **recepción** y **transmisión** de caracteres mediante E/S por interrupciones. Al finalizar la ejecución de la instrucción RTS, el puntero de pila (*SP*) debe apuntar a la misma dirección a la que apuntaba antes de ejecutar la instrucción BSR. Debido a la particular configuración del emulador, esta subrutina no puede devolver ningún error y, por tanto, no se devuelve ningún valor de retorno. Se supondrá que el programa que invoca a esta subrutina no deja ningún valor representativo en los registros del computador salvo el puntero de marco de pila (A6).

Descripción:

La rutina INIT realiza la inicialización de las dos líneas disponibles en la DUART MC68681. Los parámetros de inicialización de esta subrutina son los siguientes:

- 8 bits por carácter para ambas líneas.
- No activar el *eco* en ninguna de las líneas.
- Se debe solicitar una interrupción cada vez que llegue un carácter.
- La velocidad de recepción y transmisión será de 38400 bits/s en ambas líneas.
- Funcionamiento *Full Duplex*: deben estar habilitadas la recepción y la transmisión simultáneamente.
- Establecer el vector de interrupción 40 (hexadecimal).
- Habilitar las interrupciones de recepción de las líneas correspondientes en la máscara de interrupción. Las interrupciones de transmisión sólo se activarán cuando el buffer de transmisión de la línea correspondiente contenga algún carácter.
- Actualizar la dirección de la rutina de tratamiento de interrupción en la tabla de vectores de interrupción.
- Inicializar los búfferes internos de las subrutinas indicadas anteriormente.

Nota: se recuerda que el registro de máscara de interrupción (IMR) de la DUART MC68681 no se puede leer. Si la lógica del programa necesitase conocer su contenido, se podría mantener una copia en memoria de las escrituras sobre dicho registro.

SCAN (Buffer, Descriptor, Tamaño)

Parámetros:

- **Buffer:** 4 bytes. Es el buffer en el que se van a devolver los caracteres que se han leído del dispositivo. Se pasa por dirección. Es un parámetro de salida.
- **Descriptor:** 2 bytes. Es un número entero. Es un parámetro de entrada. Indica el dispositivo sobre el que se desea realizar la operación de lectura:
 - 0 indica que la lectura se realizará de la línea A.
 - 1 indica que la lectura se realizará de la línea B.
 - Cualquier otro valor provocará que la subrutina devuelva un error.
- **Tamaño:** 2 bytes. Es un número entero sin signo. Es un parámetro de entrada. Indica el número **máximo** de caracteres que se deben leer del buffer interno y copiar en el parámetro **Buffer**.

Resultado:

- **D0:** 4 bytes. Se devuelve un código que indica el resultado de la operación:
 - **D0 = 0xFFFFFFFF** si existe algún error en los parámetros pasados.
 - **D0 es un número positivo.** Indicará el número de caracteres que se han leído y se han copiado a partir de la posición de memoria indicada por el parámetro **Buffer**.

Descripción:

La rutina **SCAN** realiza la lectura de un bloque de caracteres de la línea correspondiente (A o B).

La lectura se deberá realizar de forma **no bloqueante**, es decir, la subrutina se limitará a copiar en el parámetro **Buffer** los **Tamaño** primeros caracteres almacenados en el buffer interno correspondiente y “eliminarlos” de dicho buffer interno. Si el buffer interno contiene menos de **Tamaño** caracteres, los copiará en el parámetro **Buffer** y el buffer interno pasará a estar vacío. En **D0** se almacenará el número de caracteres que se han copiado en **Buffer**.

Además se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- El comportamiento no bloqueante es resultado de gestionar las líneas serie mediante E/S por interrupciones. Para ello la subrutina **SCAN** dispondrá de sendos búfferes internos de 2000 bytes (a los que tienen acceso dicha subrutina y la rutina de tratamiento de interrupción) que contendrán los caracteres leídos de las líneas y no consumidos por ninguna llamada a **SCAN**. En particular esta subrutina debe asegurar que ningún carácter es leído dos veces y que no se pierde ninguno (véase la figura 5.1). Los búfferes internos de la subrutina se deberán implementar como búfferes circulares.
- En ningún caso esta subrutina debe esperar a que lleguen nuevos caracteres del dispositivo.
- Se copiarán a lo sumo tantos bytes como indique el parámetro **Tamaño**.

Esta subrutina deberá dejar el dispositivo preparado para realizar lecturas posteriores y, al igual que la subrutina de inicialización, debe dejar el puntero de pila (*SP*) apuntando a la misma posición de memoria a la que apuntaba antes de realizar la llamada a subrutina.

Se supondrá que el programa que invoca a esta subrutina habrá reservado espacio suficiente en el buffer que se pasa como parámetro (**Buffer**) y no deja ningún valor representativo en los registros del computador salvo el puntero de marco de pila (*A6*).

PRINT (Buffer, Descriptor, Tamaño)

Parámetros:

- **Buffer:** 4 bytes. Es el buffer en el que se pasa el conjunto de caracteres que se desea escribir en el dispositivo. Se pasa por dirección. Es un parámetro de entrada.
- **Descriptor:** 2 bytes. Es un número entero. Es un parámetro de entrada. Indica el dispositivo sobre el que se desea realizar la operación de escritura:
 - 0 indica que la escritura se realizará de la línea A.
 - 1 indica que la escritura se realizará de la línea B.

- Cualquier otro valor provocará que la subrutina devuelva un error.
- **Tamaño:** 2 bytes. Es un número entero sin signo. Es un parámetro de entrada. Indica el número de caracteres que se deben leer del parámetro **Buffer** y escribir en el puerto.

Resultado:

- **D0:** 4 bytes. Se devuelve un código que indica el resultado de la operación:
 - **D0 = 0xFFFFFFFF** si existe algún error en los parámetros pasados.
 - **D0 es un número positivo.** Indicará el número de caracteres que se han aceptado para su escritura en el dispositivo.

Descripción:

La rutina PRINT realiza la escritura en el correspondiente buffer interno de tantos caracteres como indique el parámetro **Tamaño** contenidos en el buffer que se pasa como parámetro.

La escritura se deberá realizar de forma **no bloqueante**, es decir, la subrutina finalizará inmediatamente después de copiar los caracteres pasados en el parámetro **Buffer** al buffer interno y, si como resultado de dicha copia hay caracteres en el buffer interno, activar la transmisión de caracteres por la línea.

Además se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Al igual que en la subrutina SCAN el comportamiento no bloqueante es resultado de gestionar la línea serie mediante E/S por interrupciones. Esto indica que el MC68681 generará una interrupción cuando alguna de las líneas esté preparada para transmitir y, por tanto, la rutina de tratamiento de interrupción será la encargada de ir transmitiendo los caracteres por la línea correspondiente (véase la figura 5.1). Para permitir este comportamiento, la subrutina PRINT dispondrá de sendos búfferes internos de 2000 bytes (a los que únicamente tienen acceso dicha subrutina y la rutina de tratamiento de interrupción) que contendrá los caracteres pendientes de ser enviados por las líneas. Los búfferes internos de la subrutina se deberán implementar como búfferes circulares.
- Una llamada a PRINT para una de las líneas se limitará a copiar del parámetro **Buffer** los datos que se desean escribir al buffer interno correspondiente y “encolarlos” al conjunto de caracteres que están pendientes de transmitirse. En el caso de que los caracteres que se desean transmitir no quepan en su totalidad en el buffer interno, se “encolarán” los que quepan y se devolverá el número de caracteres copiados en **D0**. Si se ha copiado algún carácter en el buffer, se activará la transmisión de caracteres por la línea.
- En ningún caso esta subrutina debe esperar a que finalice la transmisión de caracteres del dispositivo.
- La DUART solicitará interrupciones cada vez que la línea correspondiente esté lista para transmitir si se han activado en el registro de máscara de interrupciones (IMR).

Esta subrutina deberá dejar el dispositivo preparado para realizar escrituras posteriores y, al igual que las otras subrutinas, debe dejar el puntero de pila (*SP*) apuntando a la misma posición de memoria a la que apuntaba antes de realizar la llamada a subrutina.

Se supondrá que el programa que invoca a esta subrutina habrá reservado espacio suficiente en el buffer que se pasa como parámetro (**Buffer**) y no deja ningún valor representativo en los registros del computador salvo el puntero de marco de pila (*A6*).

RTI

Descripción:

La invocación de la rutina de tratamiento de interrupción es el resultado de la ejecución de la secuencia de reconocimiento de interrupciones expuesta en la página 8. Entre otras acciones esta subrutina debe realizar las siguientes acciones:

- **Identificación de la fuente de interrupción.** Puesto que el MC68681 activa una misma señal de interrupción para las cuatro condiciones posibles, esta subrutina debe identificar cuál de las cuatro posibles condiciones ha generado la solicitud de interrupción.
- **Tratamiento de la interrupción.** Una vez identificada la fuente, se debe realizar el tratamiento de la interrupción.
 - Si la interrupción es de “recepción” indica que la cola FIFO de recepción de la línea no está vacía (véase la página 38). En este caso se debe añadir el carácter que se recibió por la línea al buffer interno correspondiente.
 - Si la interrupción es de “transmisión” indica que la línea está preparada para transmitir un carácter. En este caso si quedan caracteres en el buffer interno de transmisión, se debe transmitir un nuevo carácter por la línea y “eliminarlo” del buffer interno.
- **Situaciones “especiales”.** Hay situaciones en las que el tratamiento de la interrupción no se puede asociar al tratamiento general:
 - Si la interrupción es de “recepción” y el buffer interno está lleno, no se puede añadir el carácter que se recibe por la línea, pero se debe leer el carácter del buffer de recepción del MC68681 para desactivar la petición de interrupción. En este caso el carácter no se añade al buffer interno (se “tira”).
 - Si la interrupción es de “transmisión” y el buffer interno de la línea está vacío se deben deshabilitar las interrupciones de transmisión para la línea que ha interrumpido en el registro IMR del MC68681. Si no se realizara esta operación el dispositivo no desactivaría la señal de interrupción puesto que seguiría estando preparado para transmitir.

Nota: como complemento a la descripción de estas subrutinas, en la sección Ejemplos se proporcionan distintos casos de uso.

Variables locales y paso de parámetros

El procesador MC68000 no dispone de un registro de propósito específico que realice las tareas de puntero de marco de pila (FP). No obstante, habitualmente se suele utilizar el registro de direcciones A6 para que realice estas funciones. El procesador MC68000 dispone de dos instrucciones que ayudan a la creación y destrucción del marco de pila de una subrutina: LINK y UNLK. Estas instrucciones permiten gestionar fácilmente la creación y destrucción de las variables locales de una subrutina.

El espacio asignado para variables locales se reserva en el marco de pila de la correspondiente rutina. Para construir dicho marco de pila basta con salvaguardar el valor que tuviera el registro que actúa como puntero al marco de pila (**A6**), crear el nuevo marco de pila y reservar espacio en la pila para las variables locales. Obsérvese que todas estas funciones son realizadas por la instrucción **LINK**.

Supóngase que una rutina **SCAN** necesita utilizar dos variables locales de 32 bits (i y j). La estructura de la pila se muestra en la figura 5.2. La reserva de este espacio de variables (8 bytes) se realizará al entrar en la rutina:

```
SCAN:      LINK A6, #-8      *Se crea el marco de pila
```

Si en el código posterior de la rutina **SCAN** se desea cargar en el registro **D2** la variable i y en **D3** la variable j se realiza con el siguiente código ensamblador:

```
SCAN:      LINK A6, #-8      *Se crea el marco de pila
           MOVE.L -8(A6),D2
           MOVE.L -4(A6),D3
```

Para deshacer el marco de pila creado a la entrada de la subrutina se deberán realizar las siguientes acciones:

- Se copia el valor del puntero de marco al puntero de pila.
- Se restaura el valor que tuviera el puntero de marco antes de entrar en la subrutina.
- Se retorna a la subrutina llamante.

Las dos primeras acciones son realizadas mediante la instrucción **UNLK**. Por tanto, el código de salida de una subrutina que utilice marco de pila se muestra a continuación.

```
UNLK A6      *Se destruye el marco de pila
RTS
```

Asignación de etiquetas y de memoria

Los puntos de entrada de las subrutinas deberán ir asociados a las etiquetas **INIT**, **SCAN** y **PRINT**.

El rango de direcciones **0 a la 0x00003FFF** se reservarán para ubicar la tabla de vectores de interrupción. El alumno debe ubicar todo el código (datos y variables globales privadas a las subrutinas) a partir de la dirección hexadecimal **0x0000400** hasta la **0x00007FFF**. La pila se situará en las **posiciones altas de memoria**.

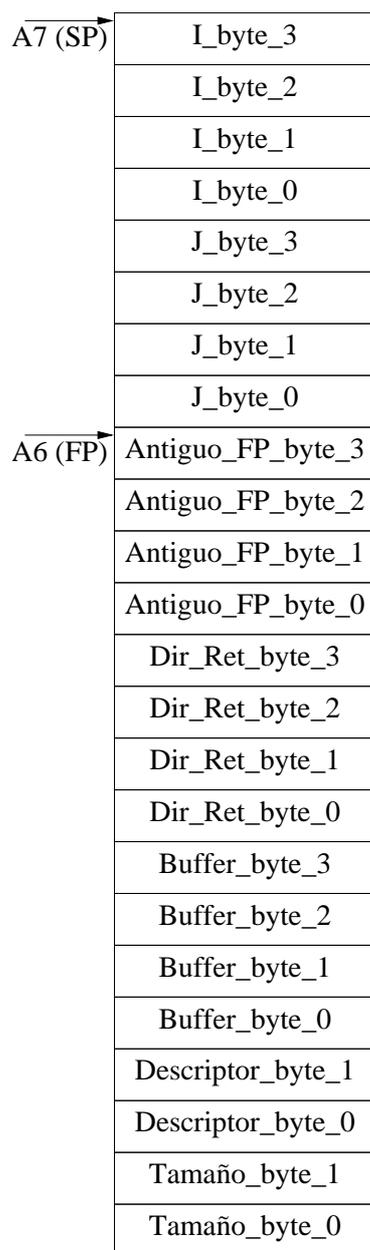


Figura 5.2: Gestión de variables locales.

Ejemplos

Como aclaración a la especificación de las subrutinas, a continuación se incluye una serie de ejemplos con los argumentos que se pasan a cada una de las subrutinas y direcciones de memoria que se modifican. Este conjunto de casos debe ser utilizado como ejemplo de la especificación a subrutinas, no como los casos de prueba con los que se evaluará el proyecto. Puesto que en este procesador el direccionamiento es a nivel de byte, cada una de las direcciones que se muestran en este apartado contendrán un byte.

NOTA: Los números que comienzan con 0x están representados en hexadecimal.

INIT

Caso 1.

A7 = 32000

Resultado:

A7 = 32000

Debe dejar las líneas A y B preparadas para la recepción y transmisión de caracteres, se habrá habilitado la recepción y transmisión en ambas líneas, se habrá establecido correctamente el vector de interrupción, se habrá actualizado la entrada de la tabla de vectores de interrupción y se habrá inicializado como buffer vacío dos búfferes de 2000 caracteres para cada una de las líneas.

SCAN

Caso 2.

A7 = 32000

Direcciones de Memoria:

32000: 0x00, 0x00, 0x13, 0x88,

32004: 0x00, 0x01,

32006: 0x00, 0x0F,

5000: ??, ??, ??, ??, ..., ??

Caracteres recibidos
por la entrada de la
línea B y almacenados
en el buffer interno

de computadores y mas

Representación ASCII:

0x64, 0x65, 0x20, 0x63, 0x6F, 0x6D, 0x70, 0x75,
0x74, 0x61, 0x64, 0x6F, 0x72, 0x65, 0x73, 0x20
0x79, 0x20, 0x6D, 0x61, 0x73

Resultado:

A7 = 32000

Direcciones de Memoria:

D0 = 15

5000: 0x64, 0x65, 0x20, 0x63, 0x6F, 0x6D, 0x70, 0x75,

5008: 0x74, 0x61, 0x64, 0x6F, 0x72, 0x65, 0x73

Caracteres recibidos
por la entrada de la
línea B y almacenados
en el buffer interno

<blanco> y mas

Representación ASCII:

0x20, 0x79, 0x20, 0x6D, 0x61, 0x73

Caso 3.

A7 = 32000	Direcciones de Memoria:
	32000: 0x00, 0x00, 0x13, 0x88,
	32004: 0x00, 0x01,
	32006: 0x00, 0x22,
	5000: ??, ??, ??, ??, ..., ??

Caracteres recibidos
por la entrada de la
línea B y almacenados de
en el buffer interno

Representación ASCII: 0x64, 0x65

Resultado:

A7 = 32000	Direcciones de Memoria:
D0 = 2	5000: 0x64, 0x65

Caracteres recibidos
por la entrada de la
línea B y almacenados <vacío>
en el buffer interno

PRINT**Caso 4.**

A7 = 32000	Direcciones de Memoria:
	32000: 0x00, 0x00, 0x13, 0x88,
	32004: 0x00, 0x10,
	32006: 0x00, 0x11,
	5000: ??, ??, ??, ??, ..., ??

Resultado:

A7 = 32000
D0 = 0xFFFFFFFF

Caso 5.**A7** = 32000

Direcciones de Memoria:

32000: 0x00, 0x00, 0x13, 0x88,**32004:** 0x00, 0x01,**32006:** 0x00, 0x0C,**5000:** 0x69, 0x6E, 0x74, 0x65, 0x72, 0x72, 0x75,**5007:** 0x70, 0x63, 0x69, 0xF3, 0x6E

Caracteres a enviar

por la línea B

(buffer interno):

<vacío>

*Resultado:***A7** = 32000**D0** = 12

Caracteres a enviar

por la línea B

(buffer interno):

0x69, 0x6E, 0x74, 0x65, 0x72, 0x72, 0x75,

0x70, 0x63, 0x69, 0xF3, 0x6E

Representación ASCII: interrupción

Caso 6.**A7** = 32000

Direcciones de Memoria:

32000: 0x00, 0x00, 0x13, 0x88,**32004:** 0x00, 0x01,**32006:** 0x00, 0x01,**5000:** 0x69

Caracteres a enviar

por la línea B

(buffer interno):

0x70, 0x65

Representación ASCII: pe

*Resultado:***A7** = 32000**D0** = 1

Caracteres a enviar

por la línea B

(buffer interno):

0x70, 0x65, 0x69

Representación ASCII: pei

Caso 7.**A7** = 32000

Direcciones de Memoria:

32000: 0x00, 0x00, 0x13, 0x88,**32004:** 0x00, 0x00,**32006:** 0x00, 0x00,**5000:** 0xF0, 0x6F, 0xFF, ...*Resultado:***A7** = 32000

Direcciones de Memoria:

5000: 0xF0, 0x6F, 0xFF, ..., ??**D0** = 0

Diseño y codificación de casos de prueba

Los ejemplos que se han expuesto anteriormente intentan aclarar la especificación de la práctica, pero para asegurar el correcto funcionamiento de las subrutinas de la práctica es necesario realizar un conjunto de casos de prueba que cubran el mayor número posible de situaciones que se puedan presentar.

Para mostrar cómo se puede construir un caso de prueba se incluye un ejemplo de programa principal que hace funcionar concurrentemente las rutinas de `SCAN`, `PRINT` y la `RTI`. El programa tiene un bucle principal, en el que cada iteración primero se queda en un bucle de llamadas a `SCAN` hasta que se consigue leer del puerto serie A un bloque de `TAMBS` caracteres y, a continuación, se queda un bucle de llamadas a `PRINT` hasta que se consigue imprimir en el puerto B todos los caracteres leídos, en bloques de tamaño `TAMPB`. El bucle principal se repite indefinidamente.

La variable `BUFFER` se utiliza para almacenar todos los caracteres que se van a leer de la línea A. En la primera lectura se pasa como parámetro la dirección de comienzo de esta variable y en las sucesivas lecturas se pasará la dirección de comienzo incrementada en el número de caracteres que se han leído (valor de `D0`)

Las variables `PARDIR` y `PARTAM` son respectivamente la dirección y el tamaño que se pasarán como parámetro a ambas rutinas `SCAN` y `PRINT`.

La variable `CONTC` contiene el número de caracteres que quedan por imprimir.

Las constantes `DESA` y `DESB` son los descriptors de lectura y escritura que se pasarán como parámetros a `SCAN` y `PRINT`.

El programa comienza invocando a la rutina `INIT` y estableciendo los manejadores de las excepciones que se pueden producir. Estos manejadores se limitan a parar la ejecución del programa.

A continuación se realiza la iteración del bucle de `SCAN` tal como se ha indicado al comienzo de esta sección.

Una vez que se ha conseguido leer el bloque completo de caracteres se ejecuta el bucle de escrituras, que consiste en escribir todos los caracteres leídos en el bucle anterior, en bloques de `TAMPB` caracteres.

En cada iteración de este bucle se resta el número de caracteres que la subrutina `PRINT` ha aceptado para la transmisión. Si no se ha escrito todo el bloque se repite la llamada a `PRINT` con el conjunto de caracteres que no se ha transmitido.

El caso especial se trata al final del bucle. Esta situación consiste en que el número de caracteres que quedan por transmitir sea menor que el tamaño de bloque de `print`. En este caso se pasa como parámetro el número de caracteres que quedan por transmitir en lugar de pasar el tamaño de bloque.

<code>BUFFER:</code>	<code>DS.B</code>	2100	* Buffer para lectura y escritura de caracteres
<code>PARDIR:</code>	<code>DC.L</code>	0	* Dirección que se pasa como parámetro
<code>PARTAM:</code>	<code>DC.W</code>	0	* Tamaño que se pasa como parámetro
<code>CONTC:</code>	<code>DC.W</code>	0	* Contador de caracteres a imprimir
<code>DESA:</code>	<code>EQU</code>	0	* Descriptor línea A
<code>DESB:</code>	<code>EQU</code>	1	* Descriptor línea B
<code>TAMBS:</code>	<code>EQU</code>	30	* Tamaño de bloque para <code>SCAN</code>
<code>TAMPB:</code>	<code>EQU</code>	7	* Tamaño de bloque para <code>PRINT</code>

INICIO:

```

* Manejadores de excepciones

MOVE.L #BUS_ERROR,8 * Bus error handler
MOVE.L #ADDRESS_ER,12 * Address error handler
MOVE.L #ILLEGAL_IN,16 * Illegal instruction handler
MOVE.L #PRIV_VIOLT,32 * Privilege violation handler
MOVE.L #ILLEGAL_IN,40 * Illegal instruction handler
MOVE.L #ILLEGAL_IN,44 * Illegal instruction handler

BSR INIT
MOVE.W #$2000,SR * Permite interrupciones

BUCPR: MOVE.W #TAMBS,PARTAM * Inicializa parámetro de tamaño
        MOVE.L #BUFFER,PARDIR * Parámetro BUFFER = comienzo del buffer
OTRAL: MOVE.W PARTAM,-(A7) * Tamaño de bloque
        MOVE.W #DESA,-(A7) * Puerto A
        MOVE.L PARDIR,-(A7) * Dirección de lectura
ESPL: BSR SCAN
        ADD.L #8,A7 * Restablece la pila
        ADD.L D0,PARDIR * Calcula la nueva dirección de lectura
        SUB.W D0,PARTAM * Actualiza el número de caracteres leídos
        BNE OTRAL * Si no se han leído todos los caracteres
        * del bloque se vuelve a leer

        MOVE.W #TAMBS,CONTC * Inicializa contador de caracteres a imprimir
        MOVE.L #BUFFER,PARDIR * Parámetro BUFFER = comienzo del buffer
OTRAE: MOVE.W #TAMBP,PARTAM * Tamaño de escritura = Tamaño de bloque
ESPE: MOVE.W PARTAM,-(A7) * Tamaño de escritura
        MOVE.W #DESB,-(A7) * Puerto B
        MOVE.L PARDIR,-(A7) * Dirección de escritura
        BSR PRINT
        ADD.L #8,A7 * Restablece la pila
        ADD.L D0,PARDIR * Calcula la nueva dirección del buffer
        SUB.W D0,CONTC * Actualiza el contador de caracteres
        BEQ SALIR * Si no quedan caracteres se acaba
        SUB.W D0,PARTAM * Actualiza el tamaño de escritura
        BNE ESPE * Si no se ha escrito todo el bloque se insiste
        CMP.W #TAMBP,CONTC * Si el n° de caracteres que quedan es menor que
        * el tamaño establecido se imprime ese número
        BHI OTRAE * Siguiendo bloque
        MOVE.W CONTC,PARTAM
        BRA ESPE * Siguiendo bloque

SALIR: BRA BUCPR

BUS_ERROR: BREAK * Bus error handler
        NOP
ADDRESS_ER: BREAK * Address error handler
        NOP
ILLEGAL_IN: BREAK * Illegal instruction handler
        NOP

```

PRIV_VIOLT: BREAK * Privilege violation handler
 NOP

NORMAS DE PRESENTACIÓN

Se recomienda a los alumnos que consulten periódicamente la página Web de la asignatura:

http://www.datsi.fi.upm.es/docencia/Estructura_09/Proyecto_E_S

En esta página se publicarán noticias relacionadas con esta práctica.

CONVOCATORIA DE FEBRERO

El plazo de entrega del proyecto terminará el día **15 de Enero de 2011 a las 21:00**. En este momento se realizará una corrección del proyecto para todos los grupos que lo hayan entregado y no se les haya corregido. A partir del 16 de Enero el sistema de entrega se configurará de tal forma que permita entregar únicamente la memoria del proyecto. Dicha memoria práctica se podrá entregar hasta el **17 de Enero a las 12:00** tanto “en papel” como en formato electrónico.

La planificación de las correcciones automáticas se realizará según el calendario que se especifica a continuación:

- Se realizarán cuatro correcciones los días 20, 21, 22 y 23 de Diciembre. Para solicitar una corrección basta con realizar correctamente la entrega del proyecto.
- Desde el 7 al 14 de Enero se realizarán correcciones de proyectos todos los días hábiles a las 21:00. De estas correcciones, el alumno podrá disponer de **tres** correcciones de proyectos (en las fechas que el alumno estime conveniente). Para solicitar una corrección basta con realizar correctamente la entrega del proyecto.

El examen del proyecto se realizará el día 17 de Enero a continuación del examen de teoría.

CONVOCATORIA DE JUNIO

En esta convocatoria sólo se podrán presentar los alumnos que se hayan matriculado en el segundo semestre.

El plazo de entrega del proyecto terminará el día **13 de Junio de 2011 a las 21:00**. En este momento se realizará una corrección del proyecto para todos los grupos que lo hayan entregado y no se les haya corregido. A partir del 14 de Junio el sistema de entrega se configurará de tal forma que permita entregar únicamente la memoria del proyecto. Dicha memoria práctica se podrá entregar hasta el **17 de Junio a las 18:00** tanto “en papel” como en formato electrónico.

La planificación de las correcciones automáticas se realizará según el calendario que se especifica a continuación:

- Se realizarán tres correcciones los días 27, 30 y 31 de Mayo. Para solicitar una corrección basta con realizar correctamente la entrega del proyecto.
- Desde el 1 al 11 de Junio se realizarán correcciones de proyectos todos los días hábiles (incluido el sábado 11 de Junio) a las 21:00. De estas correcciones, el alumno podrá disponer de **tres** correcciones de proyectos (en las fechas que el alumno estime conveniente). Para solicitar una corrección basta con realizar correctamente la entrega del proyecto.

El examen del proyecto se realizará el día 16 de Junio según la planificación que se publique en la página Web de la asignatura.

CONVOCATORIA DE JULIO

El plazo de entrega del proyecto terminará el día 4 de Julio de 2011 a las 21:00. En este momento se realizará una corrección del proyecto para todos los grupos que la hayan entregado y no se les haya corregido. El 5 de Julio se configurará el sistema de entrega de tal forma que permita entregar únicamente la memoria del proyecto. Dicha memoria se podrá entregar hasta el 6 de Julio a las 18:00 tanto “en papel” como en formato electrónico.

Los días 30 de Junio y 1 de Julio se realizarán correcciones a las 22:30 para todos los alumnos que hayan realizado la entrega del proyecto correctamente.

El examen del proyecto se realizará el mismo día que el examen final de la asignatura (7 de Julio) una vez finalizado el examen de teoría.

TUTORÍAS DEL PROYECTO

Las posibles preguntas relacionadas con la práctica se atenderán personalmente o por correo electrónico. Las consultas por correo electrónico se deberán dirigir a la dirección `pr_ent_sal_09@datsi.fi.upm.es`. En la tabla que aparece a continuación se muestra el horario de atención personal a los alumnos para cuestiones relacionadas con esta práctica en periodo lectivo. Se recomienda a los alumnos que fuera de dicho periodo (Julio y Septiembre), establezcan una cita con el profesor al que desean consultar mediante correo electrónico. No se atenderá ninguna duda fuera de este horario.

	Dir. Email	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Santiago Rodríguez D. 4107	<code>srodri@fi.upm.es</code>	11–13	11–13	16–17	16–17	
Antonio Pérez D. 4108	<code>aperez@fi.upm.es</code>		15–17	11:30– 13:30	15–17	

Tabla 5.1: Horario de tutorías.

ENTREGA DE LA PRÁCTICA

La entrega se compone de:

1. Una **memoria**, en formato DINA4, en la que deberán figurar claramente el nombre y apellidos de los autores de la práctica. Dicha memoria deberá contener los siguientes puntos:
 - Diagrama de flujo o pseudocódigo y comentario de los algoritmos utilizados.
 - Listado comentado de las subrutinas en ensamblador.

- Descripción del juego de ensayo (conjunto de casos de prueba) que el alumno haya diseñado y utilizado para probar el correcto funcionamiento de la práctica.
- Observaciones finales y comentarios personales de esta práctica, estimando asimismo el tiempo empleado en su realización.

Esta memoria se deberá depositar en el **buzón del departamento** (bloque 4, planta 1).

2. La entrega de los ficheros que contienen la práctica. Será obligatorio entregar los siguientes ficheros:

- **autores:** Es un fichero ASCII que deberá contener los apellidos, nombre, número de matrícula y DNI de los autores de la práctica. La práctica se realizará individualmente o en grupos de **dos personas**. Cada línea de este fichero contendrá los datos de uno de los autores de la práctica, de acuerdo al siguiente formato:

Nº Matrícula; DNI; apellido apellido, nombre; dir. correo electrónico

El número de matrícula que se debe indicar en el fichero es el que **asigna la secretaría de la Facultad** (por ejemplo 990999) y no el que se utiliza como identificador para abrir cuentas en el Centro de Cálculo (por ejemplo a990999). Este fichero solo se entrega cuando se registra el grupo.

- **es_int.s:** Contendrá las subrutinas que componen la parte segunda de la práctica. Además, este fichero deberá incluir un programa principal que se haya utilizado para la depuración de la práctica. Este programa principal se utilizará para indagar sobre posibles errores que se puedan producir.
- **memoria.txt:** Es un fichero ASCII que deberá contener la memoria de la práctica. Si realiza la memoria utilizando un procesador de textos (Word, WordPerfect, Corel Ventura, etc.), estos programas suelen tener alguna opción para exportar ficheros a formato ASCII o texto DOS. Basta con que utilice esa opción para generar este fichero.
Si ha decidido incluir diagramas de flujo u otro elemento gráfico, no es necesario que esté presente en el fichero **memoria.txt**.

IMPORTANTE: Se recomienda al alumno que antes de realizar una entrega de la práctica ensamble el fichero **es_int.s**, se asegure de que no generan ningún error y ejecute la práctica con sus propios casos de prueba.

FORMA DE ENTREGA DE LOS FICHEROS

Sistema de entrega en *batman*.

Se utilizará un programa de entrega denominado “**ent68000**”. Para ejecutar este programa se deberá teclear, desde el intérprete de comandos de “*batman*”, la palabra “**ent68000**”. Dicho programa, permite entregar los ficheros indicados anteriormente, así como consultar los resultados de la ejecución de un conjunto de tests de pruebas utilizados por el corrector.

Al entrar en el programa, éste pide la identificación del usuario. Tomaremos como identificación de usuario el número de matrícula de uno de los integrantes del grupo. El programa mostrará el mensaje:

Introduzca su identificador (Num. matricula): 990999

El usuario deberá introducir el número de matrícula de uno de los integrantes del grupo (p.e. 990999).

Si es la primera vez que el usuario entra en el sistema de entrega, el programa le invitará a que introduzca una palabra clave ("password") mostrando el siguiente mensaje:

Se va a establecer password.

Password:

El usuario deberá introducir una palabra clave (no se mostrará en pantalla). Para confirmar que no se ha producido ningún error al introducir el "password" se vuelve a pedir:

Repita el password tecleado anteriormente:

Si se ha producido algún error se reintentará establecer el password de nuevo.

Después de mostrar este mensaje el programa termina. Si el comando se ha ejecutado con éxito se mostrarán los datos que ha registrado el sistema de cada uno de los integrantes del grupo de prácticas. Seguidamente aparecerá el siguiente mensaje:

SE HAN DADO DE ALTA LOS SIGUIENTES ALUMNOS:

990999 123433342 PEREZ PEREZ JESUS

Se ha asignado password al usuario A990999.

- NO LO OLVIDE

- NO LO APUNTE

- NO LO DIVULGUE

suponiendo que el grupo de prácticas esté compuesto por un único alumno (Jesús Pérez Pérez con DNI n.º 123433342 y número de matrícula 990999) y la información que aparece en el fichero **autores** es:

990999 ; 123433342; PEREZ PEREZ JESUS

Si dicho alumno no aparece en las listas en poder del departamento o no ha introducido correctamente alguno de los datos, se mostrará un mensaje de error. A continuación se mostrará el siguiente menú:

OPCIONES:

- 1. Mandar Ficheros.**
- 2. Consultar Resultados.**
- 3. Cancelar Entregas.**
- 4. Bloquear la Entrega.**
- 5. Ayuda !!!!**

6. Noticias.
q Abandonar.

>>>>

A continuación se explica cada una de las opciones del menú.

MANDAR FICHEROS

Esta opción permite mandar los ficheros de una práctica, que deberán estar en el directorio de trabajo del usuario. Si el comando se ejecuta correctamente se mostrarán los siguientes mensajes:

MANDANDO EL FICHERO es_int.s ...OK.

Si alguno de los ficheros no se encuentra, el programa lo comunicará al usuario. Por ejemplo:

MANDANDO EL FICHERO es_int.s ...
No se puede abrir el fichero es_int.s
Entrega abortada.

El servidor de entregas intenta asegurar que cada uno de los ficheros tiene el formato correcto. En nuestro caso esto se traduce en que el fichero se va a poder ensamblar cuando se realice la corrección. Si el comando de ensamblado no ha finalizado con éxito se mostrará un mensaje:

EL FICHERO es_int.s NO TIENE EL FORMATO CORRECTO
ENTREGA NO REALIZADA

En este caso el alumno deberá comprobar que se puede ensamblar correctamente el fichero y comprobar que contiene todas y cada una de las etiquetas que es obligatorio que aparezcan en dicho fichero.

En el caso de que se genere un error en la entrega de los ficheros, el programa de entrega termina la ejecución del programa y se muestra el "prompt" del sistema operativo. Si se desea realizar una nueva entrega se volverá a teclear el comando.

La realización de una **entrega anula todas las entregas anteriores** pendientes de corrección. Si dicha entrega es **errónea**, también se anula esta entrega.

CANCELAR ENTREGAS

Esta opción permite cancelar todas las entregas realizadas desde la última corrección. El grupo de prácticas será eliminado de la lista de proyectos pendientes de corregir. Si se han realizado varias entregas se cancelarán todas las entregas.

CONSULTAR RESULTADOS

Esta opción permite consultar los resultados de la corrección de la entrega de una proyecto. El programa pide el nombre de fichero en el que se copiarán los resultados de la ejecución del

conjunto de *tests* de pruebas que componen el corrector. El programa pedirá un nombre de fichero donde escribir los datos generados. Se mostrará el siguiente mensaje:

La salida será redirigida a un fichero.

Nombre del fichero (ENTER para salida por pantalla) ?? result.txt

En este caso se grabarán los resultados de las pruebas en el fichero **result.txt**. Si como respuesta al mensaje se teclea ENTER, los resultados serán mostrados por pantalla. El nombre del fichero que se proporciona al programa (**result.txt**) no debe existir en el disco.

Esta opción se incluye para permitir la corrección automática de los proyectos. El alumno no debe utilizar este programa para depurar su práctica. Debe ser el propio alumno el que construya su conjunto de pruebas que le permita comprobar que la práctica funciona correctamente. Esta es la razón por la que los casos de prueba utilizados para la corrección de la práctica no se ponen a disposición del alumnado.

BLOQUEO DE LA ENTREGA

Si el usuario se compromete a no entregar más veces el proyecto, puede bloquear la entrega para mayor seguridad. Si se ejecuta esta opción no se podrá volver a realizar una nueva entrega de los ficheros asociados a la práctica. Si el comando se ejecuta satisfactoriamente se mostrará el mensaje:

ENTREGA BLOQUEADA.

AYUDA

Esta opción mostrará en pantalla una breve descripción de cada una de las opciones del programa de entrega. No significa que se vaya a proporcionar ayuda para la realización de la práctica.

NOTICIAS

Esta opción es puramente informativa. Permite notificar al alumno modificaciones en la especificación de la práctica o, en general, noticias de interés de la asignatura asociada a la práctica. El programa pide el nombre de fichero en el que se copiarán las noticias.

La salida será redirigida a un fichero.

Nombre del fichero (ENTER para salida por pantalla) ?? noticias.txt

En este caso se grabará la información relativa a la asignatura en el fichero **noticias.txt**. Si como respuesta al mensaje se teclea ENTER, la información será mostrada por pantalla.

ABANDONAR

Termina la ejecución del programa de entrega. Si se realiza con éxito se mostrará el mensaje:

Cerrando la conexión

y a continuación aparecerá el "prompt" del sistema operativo.

NOTA: NO SE CORREGIRÁ NINGÚN PROYECTO QUE NO SE ATENGA A ESTAS NORMAS Y SE CONSIDERARÁ POR LO TANTO COMO NO PRESENTADO.

PROCEDIMIENTO DE ENTREGA VÍA WEB

Se ha desarrollado una aplicación Web que permite realizar las mismas operaciones que la aplicación descrita en el apartado anterior. La URL en la que se encuentra es

`http://www.datsi.fi.upm.es/Practicas`

En esta aplicación se ha incluido la opción que permite recuperar un **Fichero Adicional**, que es un fichero comprimido (en formato Zip) que contiene los logs de las escrituras en memoria de las pruebas que han fallado. Estos logs permiten conocer qué dato se escribe en una posición de memoria y desde qué instrucción.

Apéndice A

Instalación del entorno de la práctica en un computador con sistema operativo Linux

El entorno de la práctica compuesto por el ensamblador 68kasm y el emulador bsvc, se puede instalar en un computador personal con un sistema operativo Linux.

Además del sistema operativo Linux se debe tener instalado el sistema de ventanas X y el entorno Tcl/Tk.

A.1. Instalación en Linux Red Hat

La instalación sobre esta distribución del sistema operativo Linux es la más recomendable, ya que se proporciona el entorno compilado en esta distribución para instalar en `/usr/local`. Es probable que esta versión compilada se ejecute correctamente en otras distribuciones de Linux. Si no es así debe compilar la herramienta según se indica en la sección A.2.

A.1.1. Obtención del entorno

La distribución de versiones compiladas para plataformas Linux se realiza conectándose al URL http://www.datsi.fi.upm.es/docencia/Arquitectura/E_S/. En la sección herramientas puede obtener las versiones compiladas para las versiones de Red Hat 5.2 y 6.X (6.0, 6.1 y 6.2).

A.1.2. Instalación del paquete

Se puede instalar siguiendo los pasos siguientes:

- Entre en el computador Linux como administrador (root).
- Obtenga el fichero que desea (supongamos que es `bsvc-2.1-red_hat-5.2.tar.gz`. Si tiene el fichero `bsvc-2.1-red_hat-5.2.tar.gz` en un disquete con formato MS-DOS insértelo y cópielo en un directorio (por ejemplo `/tmp`). Para ello, ya que el sistema de ficheros MS-DOS habrá acertado el nombre, teclee:

```
mcopy a:/bsvc-2.1~.gz /tmp/bsvc-2.1-red_hat-5.2.tar.gz
```

- Instálelo utilizando la utilidad `tar`, para ello sitúese en la raíz del sistema de ficheros:

```
cd /
umask 22
tar zxvf /tmp/bsvc-2.1-red_hat-5.2.tar.gz
```

Si no se notifica ningún error, el entorno de prácticas queda instalado. Los programas ejecutables, la documentación y los ejemplos se encuentran en `/usr/local/bsvc`.

```
rm /tmp/bsvc-2.1-red_hat-5.2.tar.gz
```

Si por el contrario se le notifica algún error, puede ser debido a la falta o a versiones inadecuadas de Tcl, Tk o libc. Puede utilizar la utilidad `rpm` para averiguar qué versión está instalada de estos productos, para ello teclee:

```
rpm -q tcl tk libc
```

Se ha verificado que el entorno se ejecuta sobre `tcl-7.6`, `tk-4.2` y `libc-5.3.12`.

NOTA IMPORTANTE: Asegúrese que el directorio `/usr/local/bsvc/bin` está en la variable `PATH`. Si no es así, no podrá ejecutar el simulador.

Si se produce algún error en la instalación o no puede ejecutar el programa siga las indicaciones de la sección A.2.

A.2. Instalación genérica en Linux

En esta sección se describe el procedimiento para instalar el entorno a partir de los ficheros fuente. Para compilar los fuentes se necesita el compilador de C++ `gcc 2.7.2` o superior y para ejecutarlo `tcl 7.5` y `tk 4.1`. El procedimiento que se describe se ha verificado con la versión de `gcc 2.7.2.1` y se ejecuta correctamente con `tcl 7.6` y `tk 4.2`.

A.2.1. Obtención del entorno

Siga lo indicado en la sección A.1.1 pero, en este caso, el fichero se llama `bsvc-2.1-src.tar.gz`.

A.2.2. Instalación del paquete

Se puede instalar siguiendo los pasos siguientes:

- Entre en el computador Linux como administrador (`root`).
- Si tiene el fichero `bsvc-2.1-src.tar.gz` en un disquete con formato MS-DOS insértelo y cópielo en un directorio de trabajo (por ejemplo `/tmp`). Para ello, ya que el sistema de ficheros MS-DOS habrá acertado el nombre, teclee:

```
mcopy a:/bsvc-2~1.gz /tmp/bsvc-2.1-src.tar.gz
```

- Sitúese en el directorio de trabajo y descomprima el fichero:

```
cd /tmp
tar zxvf bsvc-2.1-src.tar.gz
```

- Sitúese en el directorio que se acaba de crear (`bsvc-2.1`):

```
cd bsvc-2.1
```

- En este directorio existe un fichero llamado `Unix.doc`, donde se describe el procedimiento de compilación, instalación y comprobación del entorno.

El procedimiento de instalación es sencillo y lo único a tener en cuenta es que, si bien el directorio de instalación (`INSTALL_DIR`) puede ser cualquiera, debe estar en el `path` para que `bsvc` se ejecute correctamente.

Apéndice B

Depuración de fallos que se manifiesten como excepciones en el procesador MC68000

Una de las funciones del sistema operativo es capturar las excepciones que se producen debido al mal funcionamiento de los programas. Cuando se desarrolla código para un computador sin sistema operativo (“computador desnudo”) estas excepciones no se manejan a menos que lo haga el propio programa.

Las excepciones más frecuentes se pueden producir con un procesador de la familia M68000 cuando se desarrolla código para un computador desnudo son:

Bus error: se produce cuando se direcciona fuera del rango de la memoria física disponible.

Address error: se produce cuando se utiliza una dirección impar para acceder a una palabra o doble palabra (error de alineamiento).

Illegal instruction: se produce cuando se intenta ejecutar un código de instrucción inexistente. Si el programa se ha ensamblado correctamente se suele producir cuando se pretende ejecutar datos.

Privilege violation: se produce cuando se intenta ejecutar en modo usuario una instrucción privilegiada.

Una buena práctica consiste en instalar manejadores para estas excepciones. El programa de la figura B.1 instala estos manejadores y genera una excepción de error de dirección.

El manejador de instrucción ilegal se ha instalado también en las entradas de la tabla de vectores (véase la figura 1.5) correspondientes a las instrucciones para los coprocesadores, ya que el computador simulado carece de ellos.

Los manejadores se limitan a una instrucción **BREAK** que detiene el procesador simulado y una instrucción **NOP** cuyo propósito es servir de separador. De esta forma si se produce cualquiera de las excepciones manejadas se detiene el simulador y el PC señalará a la instrucción siguiente a **BREAK** del manejador correspondiente.

```

    ORG    $0
    DC.L   $8000           Stack pointer value after a reset
    DC.L   START          Program counter value after a reset

    ORG    $2000           Start at location 2000 Hex

START  MOVE.L #BUS_ERROR,8   Install bus error handler
       MOVE.L #ADDRESS_ER,12 Install address error handler
       MOVE.L #ILLEGAL_IN,16 Install illegal instructuion handler
       MOVE.L #PRIV_VIOLT,32 Install privilege violation handler
       MOVE.L #ILLEGAL_IN,40 Install illegal instruction handler
       MOVE.L #ILLEGAL_IN,44 Install illegal instruction handler

       LEA    EVEN,A0
       ADDQ.L #1,A0
       CLR.W  (A0)         Generate an address error exception

    ORG    $3000
EVEN   DS.W  1            Reserve one word for even

BUS_ERROR:  BREAK        Bus error handler
            NOP
ADDRESS_ER:  BREAK        Address error handler
            NOP
ILLEGAL_IN:  BREAK        Illegal instruction handler
            NOP
PRIV_VIOLT:  BREAK        Privilege violation handler
            NOP

```

Figura B.1: Programa con código para el manejo de excepciones

B.1. Identificación la instrucción que provocó la excepción

En el programa anterior resulta muy fácil identificar la instrucción que provocó la excepción. Sin embargo en un programa más complejo esto no resulta tan obvio. La solución es bastante fácil: basta con indagar en el marco de pila que creó la secuencia de procesamiento de la excepción.

El formato del marco de pila para todas las excepciones excepto los errores de bus y dirección se muestra en la figura B.2.

En este marco de pila se almacena el PC que apuntará a la instrucción que provocó la excepción. Si se tratase de una interrupción el PC apuntaría a la siguiente instrucción. El porqué de esta diferencia es clara, el procesador espera a que se complete la instrucción para reconocer una interrupción, sin embargo si se trata de una excepción no se puede proceder a la ejecución de la instrucción. El caso más claro es quizás el de una instrucción ilegal, es obvio que el procesador no puede ejecutarla.

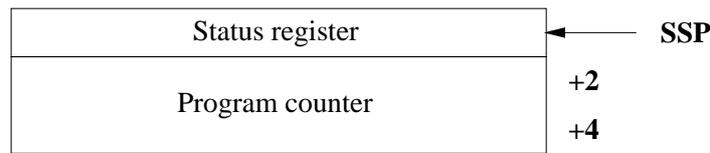


Figura B.2: Marco de pila de procesamiento de excepción

El formato del marco de pila para las **excepciones de errores de bus y dirección** se muestra en la figura B.3.

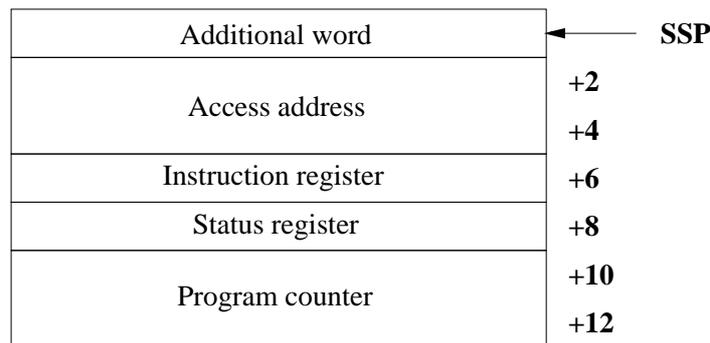


Figura B.3: Marco de pila de procesamiento de las excepciones de *bus* y *address error*

En este marco de pila se almacena mucha más información para identificar claramente cuando se produjo la excepción. Téngase en cuenta que la ejecución de una instrucción puede suponer varios accesos a memoria. Así se salva el PC y el SR como en el caso anterior pero además el contenido del registro de instrucción, la dirección que provocó la excepción y una palabra adicional donde se indica, entre otras cosas, si el ciclo de bus era de lectura o escritura.

Desafortunadamente, el simulador falla y el campo correspondiente a la dirección que provocó la excepción siempre está a cero. En cualquier caso, la información restante es suficiente para identificar el problema.

B.2. Ejemplo

Para ilustrar el procedimiento utilizaremos el programa de la figura B.1.

Si ejecutamos dicho programa obtendremos los datos en la ventana de manejo del simulador que se muestran en la figura B.4.

La zona de traza nos muestra un mensaje diciendo que la ejecución del programa se ha detenido al alcanzar una instrucción **BREAK**. Si se echa un vistazo a la ventana de listado de programa (figura B.5), se observa que el PC apunta a la instrucción siguiente de la instrucción **BREAK** del manejador de la excepción de error de dirección (**ADDRESS_ER**).

Lo que ha ocurrido es que se ha producido una excepción de error de dirección, se ha ejecutado el manejador correspondiente y se ha alcanzado la instrucción **BREAK** que contiene dicho manejador.

Para obtener información de dónde se ha producido dicha excepción, se puede indagar en el

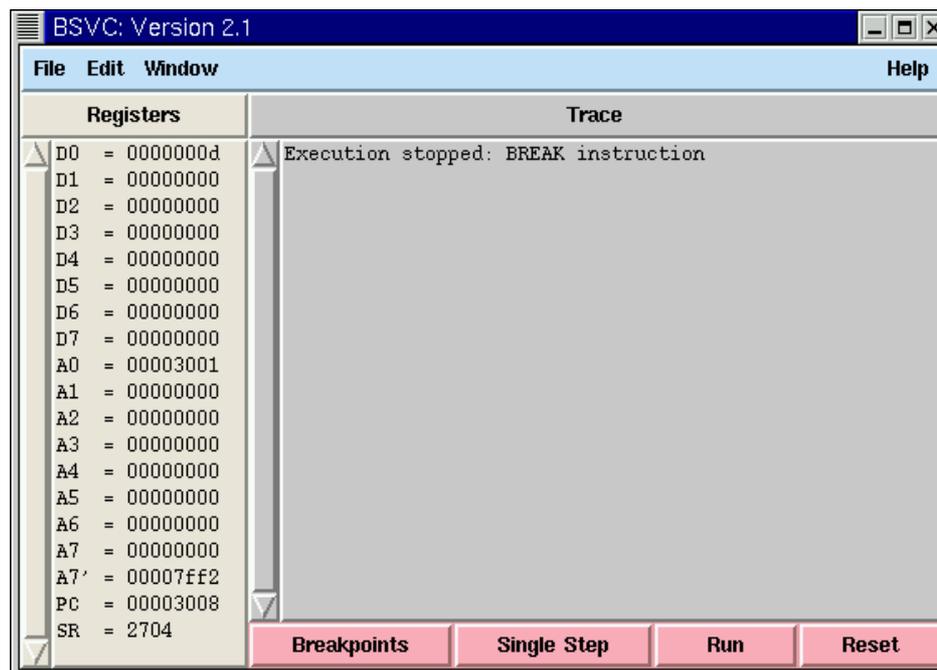


Figura B.4: Ventana del simulador

correspondiente marco de pila. En la ventana de manejo del simulador se muestra el contenido del puntero de pila de supervisor A7'. Por lo tanto, se puede mostrar el correspondiente marco de pila mediante la ventana de listado de posiciones de memoria. El resultado se refleja en la figura B.6.

El contenido de la posición apuntada por A7' = 007ff2 y las 14 siguientes posiciones de memoria se corresponden con el marco de pila de procesamiento de la excepción de error de dirección que se muestra en la figura B.3.

Additional word (00 09): El bit 5 a 1 indica que se abortó un ciclo de lectura, si estuviese a 0 se trataría de un ciclo de escritura.

Access address (00 00 00 00): Un fallo en el simulador provoca que sea siempre cero.

Instruction register (42 50): Contiene el código de operación de la instrucción que provocó la excepción (CLR.W (A0))

Status register (27 04): Indica que se encontraba en modo supervisor, con las interrupciones inhibidas y el flag Z a 1.

Program counter (00 00 20 3a): Apunta a la instrucción que provocó la excepción más dos, ya que el contador de programa se incrementa durante la ejecución de instrucciones.

Estos datos son más que suficientes para identificar la instrucción que provocó la excepción y a partir de aquí identificar el fallo del programa.

Por último, nótese que el hecho de que la dirección accedida esté siempre a cero no impide determinarla, puesto que se conoce el contenido de los registros. En este caso es obvio

```

BSVC: Program Listing - address.lis
File Edit
00000000      1      ORG      $0
00000000 00008000      2      DC,L    $8000      Stack pointer value after a reset
00000004 00002000      3      DC,L    START      Program counter value after a reset
00000008      4
00000008      5
00002000      6      ORG      $2000      Start at location 2000 Hex
00002000      7
00002000 21FC 00003002 0008      8  START  MOVE,L  #BUS_ERROR,8      Install bus error handler
00002008 21FC 00003006 000C      9      MOVE,L  #ADDRESS_ER,12     Install address error handler
00002010 21FC 0000300A 0010     10     MOVE,L  #ILLEGAL_IN,16    Install illegal instructuion handler
00002018 21FC 0000300E 0020     11     MOVE,L  #PRIV_VIOLT,32   Install privilege violation handler
00002020 21FC 0000300A 0028     12     MOVE,L  #ILLEGAL_IN,40   Install illegal instructuion handler
00002028 21FC 0000300A 002C     13     MOVE,L  #ILLEGAL_IN,44   Install illegal instructuion handler
00002030      14
00002030 41F9 00003000     15     LEA     EVEN,A0
00002036 5288      16     ADDQ,L  #1,A0
00002038 4250      17     CLR,W   (A0)              Generate an address error exception
0000203A      18
00003000      19     ORG      $3000
00003000     20  EVEN  DS,W   1              Reserve one word for even
00003002     21
00003002 4848     22  BUS_ERROR; BREAK          Bus error handler
00003004 4E71     23      NOP
00003006 4848     24  ADDRESS_ER; BREAK        Address error handler
00003008 4E71     25      NOP
0000300A 4848     26  ILLEGAL_IN; BREAK       Illegal instructuion handler
0000300C 4E71     27      NOP
0000300E 4848     28  PRIV_VIOLT; BREAK       Privilege violation handler
00003010 4E71     29      NOP
00003012     30
No errors detected
No warnings generated
    
```

Figura B.5: Ventana de listado del programa

```

BSVC: Memory Viewer
File Edit View
007ff2: 00 09 00 00 00 00 42 50 27 04 00 00 20 3a 00 00
008002: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008012: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008022: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008032: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008042: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008052: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008062: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008072: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008082: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008092: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0080a2: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0080b2: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0080c2: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0080d2: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0080e2: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0080f2: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008102: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008112: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008122: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
008132: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
    
```

Figura B.6: Contenido del marco de pila para la excepción *Address Error*

determinar que esa dirección es 3001 pero en otros casos con un modo de direccionamiento más complejo se necesitará trabajo extra.