

- 2.1 En la parejas de registros R5:R4 y R7:R6 se almacenan dos números de 32 bits que se quieren sumar (LSW en el registro par). Realizar un programa en ensamblador que haga la suma y la almacene en R5:R4. ¿Qué modificaciones hay que realizar al programa para que se acepten números con signo o sin signo?

SOLUCIÓN

```
add.w r6,r4      ;Sumar palabras de menor peso
addc.w r7,r5     ;Sumar palabras de mayor peso
```

La solución anterior soporta números con y sin signo.

- 2.2 Realizar en ensamblador una subrutina que permita comparar dos números de 32 bits (con o sin signo) almacenados en los pares R5:R4 (fuente) y R7:R6 (destino). El resultado debe quedar en el SR y no se debe alterar ningún registro.

SOLUCIÓN

La comparación se realiza igual que una resta, pero sin almacenar el resultado. La solución a este problema sería muy sencilla si existiese una instrucción CMPC (CoMPArar con Carry). Dado que no es así, habrá que proceder de otra forma: primero se comparan las palabras de mayor peso; si son distintas, se sale, quedando el resultado en el CCR; en cambio, si son iguales, el veredicto vendrá dado por la comparación de las palabras de menor peso.

```
cmp32    cmp.w r5,r7      ;Comparar MSW
         jne    cmp32fin  ;Si son distintas, hemos terminado
         cmp.w r4,r6      ;Si no, comparar las LSW
cmp32fin  ret
```

- 2.3 Escriba una subrutina en ensamblador (*hexa7seg*) que devuelva la representación en código de siete segmentos del nibble de menor peso de la entrada. Los requisitos son:

Entradas:

R4: Dígito hexadecimal en nibble de menor peso

Salidas:

R5.B: Código de siete segmentos.

Se conserva:

Todo

SOLUCIÓN

La subrutina almacena los códigos de siete segmentos en una tabla en memoria.

```
-----
; hexa7seg                                     v1.0
;
; Obtiene el código de 7 segmentos del nibble de menor peso de la entrada.
; Entradas:
;   R4: Dígito hexadecimal en nibble de menor peso
; Salidas:
;   R5.B: Código de siete segmentos.
; Se conserva:
;   Todo
-----
hexa7seg  push.w r4      ;Conservar R4
         and.w #0x000F,r4 ;Dejar sólo el nibble menos significativo
         mov.b Tab7Seg(r4),r5;Leer código
         pop.w r4       ;Recuperar R4
         ret           ;Vuelta al llamador
-----
; Tab7seg                                     v1.1
; Tabla de códigos de siete segmentos
; bit      76543210
; segmento -gfedcba
;-----Control de versiones
```

```

; La tabla no ha cambiado, sólo la descripción de la misma que era -abcdefg
;-----
Tab7Seg  .BYTE  0b00111111  ;0
         .BYTE  0b00000110  ;1
         .BYTE  0b01011011  ;2
         .BYTE  0b01001111  ;3
         .BYTE  0b01100110  ;4
         .BYTE  0b01101101  ;5
         .BYTE  0b01111100  ;6
         .BYTE  0b00000111  ;7
         .BYTE  0b01111111  ;8
         .BYTE  0b01100111  ;9
         .BYTE  0b01110111  ;A
         .BYTE  0b00011111  ;B
         .BYTE  0b01001110  ;C
         .BYTE  0b00111101  ;D
         .BYTE  0b01001111  ;E
         .BYTE  0b01000111  ;F

```

- 2.4 Desde un programa en ensamblador se desea llamar a la función `printf` de C. A dicha subrutina se le pasan los siguientes parámetros:

```
printf ("Total de la cuenta: %d € (%d ptas)\n", euros, pesetas);
```

Ambas variables son de tipo `int` y se encuentran en las posiciones de memoria \$1000 y \$2000 respectivamente. Genere el *trozo de código* necesario para realizar la llamada desde código ensamblador del M68000.

SOLUCIÓN

```

euros    .EQU  0x1000
pesetas  .EQU  0x2000

Texto    .CSTRING"Total de la cuenta: %d € (%d ptas)\n"

        mov.w #Texto, r12    ;Primer parámetro (cadena de formato) a R12
        mov.w &euros, r13    ;Segundo parámetro a R13
        mov.w &pesetas, r14 ;Último parámetro a R14
        call #printf        ;Imprimir

```

- 2.5 Escriba la función `strlen` que calcula la longitud de una cadena de caracteres tipo C (terminadas con un carácter 0). La subrutina usa el convenio de llamada de C y atiende al prototipo siguiente:

```
int strlen (const char *s);
```

SOLUCIÓN

```

;-----
; int strlen (const char *s)                                v1.0
;
; Calcula la longitud de una cadena.
;-----
strlen  mov.w r12, r13    ;R13=s
strlenb inc.w r12        ;avanzar puntero
        tst.b -1(r12)    ;es el final de la cadena?
        jnz  strlenb
        sub.w r13, r12   ;Calcular tamaño restando punteros
        dec.w r12       ;El terminador de cadena no se contabiliza
        ret

```

La siguiente versión usa un registro adicional (R14), pero ocupa 1 palabra menos de código y el bucle es 2 ciclos más rápido (5 frente a 7) gracias a que usa el direccionamiento indirecto con postincremento (disponible sólo en el operando fuente) en lugar del indexado. Además, el código es más claro y directo:

```

;-----
; int strlen (const char *s)                                v2.0
;
; Calcula la longitud de una cadena.
;-----
strlen    mov.w  r12, r13      ;R13=s
strlenb   mov.b  @r12+, r14    ;Leer carácter y avanzar puntero
          tst.b  r14          ;es el final de la cadena?
          jnz   strlenb
          sub.w  r13, r12     ;Calcular tamaño restando punteros
          dec.w  r12         ;El terminador de cadena no se contabiliza
          ret

```

- 2.6 Escriba la función *strcpy* que copia una cadena de caracteres de tipo C (terminadas con un carácter 0) apuntada por *s1* a otra dirección. La subrutina usa el convenio de llamada de C y atiende al prototipo siguiente:

```
void strcpy (const char *s1, char *s2);
```

SOLUCIÓN

```

;-----
; void strcpy (const char *s1, char s2);                    v1.0
;
; Copia una cadena en otro sitio.
;-----
strcpy    inc.w  r13          ;1w1c Avanzar s2
          tst.b  0(r12)      ;2w4c Fin de cadena?
          mov.b  @r12+, -1(r13);2w5c Copia carácter
          jnz   strcpy      ;1w2c El carácter 0 termina el bucle
          ret              ;Total: 6w12Nc

;-----
; void strcpy (const char *s1, char s2);                    v2.0
;
; Copia una cadena en otro sitio.
;-----
strcpy    mov.b  @r12+, r14   ;1w2c Lee carácter y avanza puntero fuente
          mov.b  r14, 0(r13)  ;2w4c Copia carácter en destino
          inc.w  r13          ;1w1c Avanza puntero destino
          tst.b  r14         ;1w1c Era fin de cadena?
          jnz   strcpy      ;1w2c ...no, siguiente carácter
          ret              ;Total: 6w10Nc

```

- 2.7 Escriba la función *strcat* que añade la cadena de caracteres *s2* a otra cadena *s1*. La subrutina usa el convenio de llamada de C y atiende al prototipo siguiente:

```
void strcat (const char *s1, char *s2);
```

SOLUCIÓN

```

;-----
; void strcat (const char *s1, char *s2);                  v1.0
;
; Añade la cadena s2 al final de s1.
;-----
strcat    ;Buscar el final de s1
strcatBuc1 inc.w  r12
          tst.b  -1(r12)     ;Es el final del cadena?
          jnz   strcatBuc1  ;...no. Seguir buscando

          ;Copiar s2 al final de s1. Ojo r12 apunta después de final cadena
strcatBuc2 inc.w  r12          ;Avanzar s1
          mov.b  @r13+, -2(r12);Copia carácter. Ojo al -2 del destino
          tst.b  -1(r13)     ;Se ha copiado el fin de cadena de s2?
          jnz   strcatBuc2  ;...no. Otro carácter más

```

```

ret

;-----
; void strcat (const char *s1, char *s2);          v2.0
;
; Añade la cadena s2 al final de s1.
;-----
strcat    ;Buscar el final de s1
          mov.b @r12+, r14    ;Leer carácter y avanzar puntero
          tst.b r14          ;es el final de la cadena?
          jnz  strcat        ;...no. Seguir buscando

          ;Copiar s2 al final de s1. Ojo r12 apunta después de final cadena
strcatBuc mov.b @r13+, r14    ;Lee carácter de s2 y avanzar puntero
          mov.b r14, -1(r12) ;Copia carácter en destino
          inc.w r12          ;Avanza puntero destino
          tst.b r14          ;Fin de cadena?
          jnz  strcatBuc    ;...no. Otro carácter más
          ret

```

- 2.8** Escriba la función *strchr* que busca el carácter *c* en la cadena de caracteres *s*. Devuelve la dirección de la primera ocurrencia o *NULL* (0) si no encontró el carácter. La subrutina usa el convenio de llamada de C y atiende al prototipo siguiente:

```
char *strchr (const char *s, char c);
```

SOLUCIÓN

```

;-----
; char *strchr (const char *s, char c);          v1.0
;
; Busca un carácter en una cadena. Devuelve la dirección de la primera
; ocurrencia o NULL en caso contrario.
;-----
strchr    mov.b @r12+, r14    ;Leer un carácter
          tst.b r14          ;Fin de cadena?
          jz   strchrErr     ;...sí, salir
          cmp.b r13, r14    ;...no. Es el carácter buscado?
          jne strchr        ;...no, siguiente carácter
          dec.w r12          ;...sí, devolver dirección del carácter
          jmp  strchrFin
strchrErr clr.w r12          ;Devolver NULL por no encontrado
strchrFin ret

```

- 2.9** La subrutina *wc* sigue el convenio de llamada de C, recibe un puntero a una cadena de caracteres *s* y devuelve una palabra larga que contiene, en la palabra menos significativa, el número de letras de la cadena, y en la más significativa, el número de palabras. Las cadenas sólo podrán contener letras y espacios. No se tendrá en cuenta el caso de que haya caracteres de control (Escape, Intro, etc.), dígitos y otros caracteres imprimibles.

```
unsigned long wc (const char *s);
```

Ejemplo: *wc* (" El perro de San Roque ya no tiene rabo "), devuelve \$0009001E, esto es, 9 palabras y 30 letras.

- Explique con palabras el algoritmo que va a emplear.
- Escriba la subrutina en ensamblador del M68000.

SOLUCIÓN

Contar el número de letras de una cadena de caracteres en las que sólo hay letras y espacios en blanco, es sencillo: basta hacer un bucle que se pare al final de la cadena y recorra los caracteres uno a uno. Si el carácter es distinto de blanco, se incrementa un contador inicializado a 0 antes del bucle (*R14* en nuestro caso). El conteo de palabras es

un poco más difícil. Para hacerlo se dispondrá de una variable temporal (en nuestro caso R_{15}), que hará las veces de bandera. Por defecto la bandera vale cero y se pone a 1 cada vez que se crea que estamos en una palabra, es decir, cuando encontramos una letra. La variable en la que se van contando las palabras (R_{13} en nuestro caso) se incrementará cada vez que encontremos un terminador de palabra, que puede ser un blanco o el final de cadena.

En la implementación siguiente, se hace un bucle que recorre los caracteres de `s`. Para cada carácter, si es no blanco, se incrementa R_{14} y se hace $R_{15}=1$. Si es blanco, se suma R_{15} a R_{13} (contabilizando la posible palabra) y borrando R_{15} (indicando que no hay palabra en curso).

Hay que tener cuidado de contabilizar la última palabra cuando se encuentra el final de cadena.

```

;-----
; unsigned long wc (const char *s);                                v2.0
;
; Cuenta el número de letras y de palabras de s. Devuelve una palabra larga
; compuesta por el número de letras (palabra menos significativa) y el de
; palabras (palabra más significativa). Se supone que sólo hay letras y
; blancos.
;-----
wc      clr.w  r13          ;r13: contador de palabras
        clr.w  r14          ;r14: contador de letras
        clr.w  r15          ;Si r15=0, no hay palabra empezada
wcBuc   mov.b  @r12+, r11   ;Leer carácter
        tst.b  r11          ;¿Fin de cadena?
        jeq   wcFin        ;...sí, salir
        cmp.b  #' ', r11   ;¿es espacio?
        jeq   wcEspacio    ;...sí, posible nueva palabra
        inc.w  r14          ;...no, incrementar contador de letras
        mov.w  #1, r15     ; e indicar que hay una palabra empezada
        jmp   wcBuc
wcEspacio add.w r15, r13    ;Contabilizar palabra
        clr.w  r15          ;Desactivar flag
        jmp   wcBuc
wcFin   add.w  r15, r13    ;Contabilizar palabra
        mov.w  r14, r12    ;Número de letras en LSW
        ret

```

2.10 Realice una subrutina llamada *Maximo* que busca la palabra mayor del vector de enteros sin signo apuntado por R_{12} y que tiene una longitud de R_{13} elementos. El resultado debe devolverse en R_{12} . No altere ningún registro.

SOLUCIÓN

```

;-----
; Maximo                                                    v1.2
;
; Encuentra el máximo de un vector de enteros sin signo (16 bits)
; Entradas: R12: Dirección del vector
;           R13: Número de elementos
; Salidas: R12: Máximo
; Se conserva: Todo
; Versiones:
; v1.2 (2/11/21). Corregido mov.w -1(r12), r14 por mov.w -1(r12), r14
;-----
Maximo  push.w r14          ;Conservar registros
        push.w r13
        mov.w  @r12+, r14   ;Tomar primer elemento como máximo inicial
        dec.w  r13          ;Primer elemento leído. Descontar
        jz    MaximoFin    ;Había 1 elemento? Sí, salir
MaximoBuc  cmp.w  @r12+, r14 ;Siguiente elemento, es mayor?

```

```

        jhs   NoCambiar      ;...no, siguiente elemento
        mov.w -2(r12), r14  ;...sí, nuevo máximo temporal
NoCambiar dec.w  r13
        jnz   MaximoBuc
MaximoFin mov.w  r14, r12   ;R12 = Máximo
        pop.w r13          ;Recuperar registros
        pop.w r14
        ret

```

- 2.11** Escriba una subrutina en ensamblador que siga el convenio de llamada de C y que busque un elemento en un vector p ordenado de n palabras. Devuelve un puntero a la primera ocurrencia o NULL si no se encuentra o la lista está vacía.

```
int *BuscaBin (int elem, int *p, int n);
```

SOLUCIÓN

Dado que el vector se encuentra ordenado, es más eficiente hacer una búsqueda binaria que una búsqueda secuencial desde el principio. La búsqueda binaria consiste en tomar el elemento central del vector y compararlo con el elemento buscado. Si coinciden, se ha terminado la búsqueda. En caso contrario, si el elemento central es menor que el buscado, se deshecha la primera mitad del vector y se repite el proceso con la segunda. Finalmente, si el elemento central fuera mayor que el buscado, se deshecharía la segunda mitad del vector y se repetiría el proceso sólo en la primera mitad.

En el algoritmo se trabajará con tres índices: i será el índice al elemento inicial del vector (inicialmente $i=0$; en el código R15); f será el índice al elemento final del vector (inicialmente $f=0$; en el código R14). El elemento central c (R11 en el código) se calcula de forma simple como $c = (i+f) / 2$. El algoritmo tiene dos condiciones de terminación: que se encuentre el elemento, ya discutido y que no se encuentre. Este extremo se dará cuando se crucen los índices i y c , es decir, cuando $i > c$.

Es interesante también notar que para acceder a un elemento del vector hay que convertir los índices (IND) en desplazamientos (DES) dentro del vector. Puesto que los elementos son de tamaño palabra, sabemos que $DES = IND * 2$.

```

;-----
; int *BuscaBin (int elem, int *p, int n);          v1.0
;
; Busca elem en el vector ordenado p de n elementos
;-----
BuscaBin  push.w r10
        dec.w r14          ;R14 = f = n-1
        jn   BuscaBinNoE  ;Si f<0, vector vacío. Salir con error
        clr.w r15          ;R15 = i = 0
BuscaBinBuc cmp.w  r15, r14 ;Comparar índices
        jlo  BuscaBinNoE  ;R14<R15? se han cruzado, no encontrado
        mov.w r15, r11    ;R11 = i
        add.w r14, r11    ;R11 = i + f
        rra.w r11         ;R11 = c = (i+f)/2
        mov.w r11, r10    ;R10 = c
        rla.w r10        ;R10 = desplazamiento del índice c
        add.w r13, r10    ;R10 = dirección del elemento central
        cmp.w @r10, r12   ;Comparar elem con central
        jeq  BuscaBinEnc  ;Iguales? Encontrado
        jlo  BuscaBinMen  ;Menor? recortar vector
                ;...no, mayor, recortar vector
        ;Mayor, recortar vector
        mov.w r11, r15    ;R15 = i = c
        inc.w r15         ;R15 = i = c+1
        jmp  BuscaBinBuc  ;Seguir buscando

        ;Menor, recortar vector
BuscaBinMen mov.w r11, r14 ;R14 = f = c

```

```

        dec.w  r14          ;R14 = f = c-1
        jmp   BuscaBinBuc  ;Seguir buscando

        ;Iguales, encontrado. Devolver dirección
BuscaBinEncmov.w r10, r12  ;Se devuelva la dirección del elemento
        jmp   BuscaBinFin  ;Salir

        ;No encontrado. Devolver NULL
BuscaBinNoEclr.w r12      ;Devolver NULL
BuscaBinFinpop.w r10
        ret

```

2.12 Escriba una subrutina en ensamblador que siga el convenio de llamada de C y que clasifique ascendentemente un vector de bytes mediante el algoritmo de la burbuja.

```
void Burbuja (char *p, int n);
```

SOLUCIÓN

```

;-----
; void Burbuja (char *p, int n);                                v1.0
;
; Clasifica ascendentemente el vector p de n elementos usando algoritmo
; de la burbuja.
;-----
Burbuja   dec.w  r13          ;R13 = n-1 pares de elementos
          jlo   BurbFin      ;Menos de 1 elemento? Salir
          push.w r10         ;Registro auxiliar para intercambios
BurbIni   mov.w  r12, r14     ;R14=p. Conservar R12
          mov.w  r13, r15     ;R15=n-1. Conservar R13
          clr.w  r11         ;R11=0 es flag de no modificado
BurbBuc   cmp.b  @r14+, 0(r14) ;Elementos bien ordenados? (Ojo direccionamiento)
          jge   BurbNoCamb   ;...sí. No hacer nada
          dec.w  r14         ;...no. Intercambiar en memoria
          mov.b  @r14+, r10
          mov.b  @r14, -1(r14)
          mov.b  r10, 0(r14)
          mov.w  #1, r11     ;R11=1 indica que hay cambios
BurbNoCamb dec.w  r15         ;Un par menos por procesar
          jnz   BurbBuc     ;Hay cambios?
          tst.w  r11         ;...sí. Hacer otra pasada
          jnz   BurbIni     ;...no. Vector ordenado
BurbFin   pop.w  r10
          ret

```

2.13 (23/24 Conv1) La subrutina *bcd2bin* usa el convenio de llamada de C y atiende al siguiente prototipo:

```
long int bcd2bin (unsigned long int bcd);
```

bcd2bin convierte el número que se pasa en formato BCD empaquetado de 32 bits (un dígito binario cada cuatro bits), a binario natural (32 bits). En caso de error devuelve -1. Ejemplos de entradas y su salida:

- BCD: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 1001 0101 (95 en BCD)
Bin: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0101 1111 (95 en binario)
- BCD: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 1011 0000
Bin: 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 (Error).

- Explique con palabras el algoritmo que va a emplear.
- Escriba la subrutina en ensamblador.

SOLUCIÓN

a) El siguiente algoritmo procesa los dígitos BCD en orden de peso decreciente y los va acumulando en el par R₁₃:R₁₂. Si el BCD es x₇x₆x₅x₄x₃x₂x₁x₀ se implementa la fórmula:

$$n = (((((((0 \cdot 10 + x_7) \cdot 10 + x_6) \cdot 10 + x_5) \cdot 10 + x_4) \cdot 10 + x_3) \cdot 10 + x_2) \cdot 10 + x_1) \cdot 10 + x_0$$

Es decir, se entra en un bucle que, comenzando por el BCD más significativo, se multiplica el acumulado por 10 y se suma un nuevo dígito.

La multiplicación por 10 se hace con un sencillo algoritmo a base de desplazamientos y sumas.

Para extraer los dígitos BCD se colocan en el par R₁₅:R₁₄ y se van rotando hacia la izquierda de 4 en 4 bits para colocar cada dígito BCD en los 4 lsb. Cada dígito se extrae con una operación AND.

b)

```

;-----
; long int bcd2bin (unsigned long int bcd)                                v1.1
;
; Convierte el número que se pasa en formato bcd empaquetado a binario natural.
; En caso de error (algún dígito BCD ilegal), devuelve -1.
; -----Control de versiones-----
; v1.1 Optimizada la rotación de 4 bits a la izquierda de R15:R14
;-----
bcd2bin    ;Salvar registros
           push    r9
           push    r10

           mov.w   r12, r14
           mov.w   r13, r15    ;R15:R14 = bcd
           clr.w   r12
           clr.w   r13    ;:R13:R12 = acumulador = 0

           mov.w   #8, r9    ;R9 contador de dígitos BCD
           jmp     bcd2binPV  ;Saltar primera multiplicación por 10

           ;Acumulador *= 10
bcd2binBuc2 rla.w   r12
           rlc.w   r13    ;R13:R12 = 2X
           mov.w   r12, r10
           mov.w   r13, r11    ;R11:R10 = acumulador = 2X
           rla.w   r10
           rlc.w   r11    ;R11:R10 = 4X
           rla.w   r10
           rlc.w   r11    ;R11:R10 = 8X
           add.w   r10, r12
           addc.w  r11, r13    ;R13:R12 = 8X + 2X = 10X

           ;Obtener dígitos BCD por la izquierda y colocarlos en los 4LSB
bcd2binPV  mov.b   #4, r11    ;R11 contador de bits
bcd2binBuc1 bis.w   #BITF, r15 ;Copiar msb en carry
           rlc.w   r14    ;Desplazar R14 a la izq 1 bit metiendo C por dcha
           rlc.w   r15    ;Desplazar R15 a la izq 1 bit metiendo C por dcha
           dec.b   r11    ;Otra vuelta más
           jnz    bcd2binBuc1

           ;Poner a 0 todo menos los 4 LSB
           mov.w   r14, r11    ;R11 = bcd rotado (sólo palabra baja)
           and.w   #0xF, r11    ;Dejar sólo los 4 LSB
           cmp.b   #10, r11    ;Es mayor que 9?
           jhs    bcd2binErr    ;...sí, salir con error

```

```

;Acumular dígito. Acumulador = 10*acumulador + dígito
add.w r11, r12      ;Sumar dígito
adc.w r13           ;Sumar posible acarreo

;Procesar otro dígito
dec.w r9
jnz   bcd2binBuc2

jmp   bcd2binFin    ;Terminado. Salir

bcd2binErr ;Se ha encontrado un dígito BCD erróneo. Salir con -1
mov.w #-1, r12
mov.w #-1, r13      R13:R12 = -1 (Error)

;Recuperar registros
bcd2binFin pop    r10
           pop    r9
           ret

```

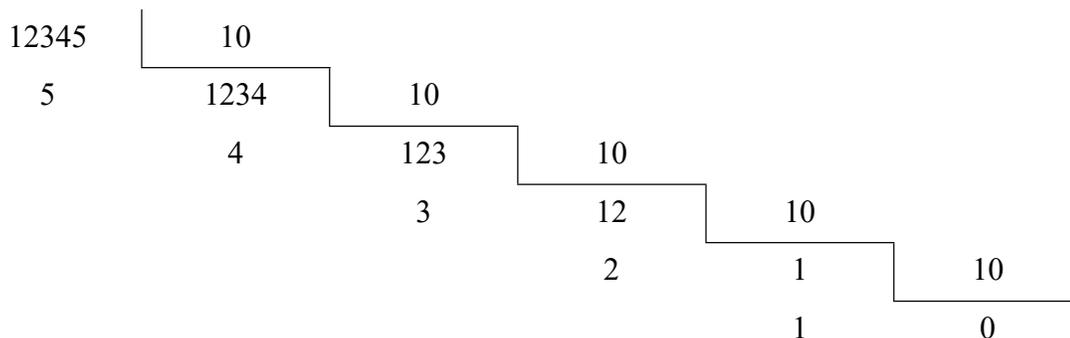
2.14 Escriba en ensamblador la subrutina *bin2bcd* que usa el convenio de llamada de C y que atiende al siguiente prototipo:

```
long int bin2bcd (unsigned int bin);
```

bin2bcd convierte el número que se pasa en formato binario natural (sin signo), a bcd empaquetado.

SOLUCIÓN

Para convertir un número binario a BCD (o decimal, es lo mismo), hay que hacer divisiones sucesivas por 10. En cada división se obtiene un resto, que será un dígito BCD del resultado, y un cociente, que se empleará en posteriores divisiones. El algoritmo termina cuando el cociente se hace cero. El resultado está compuesto por los sucesivos restos, tomados en orden inverso (esto es, el primero que sale es el menos significativo). Veamos un ejemplo:



Sin embargo, una forma más eficiente de hacer la tarea consiste en el *algoritmo de Horner*, que se basa en la definición de representación posicional de cantidades. Se inicializa una variable acumuladora a 0. Los bits del número en binario natural se extraen uno a uno empezando por el más significativo. Se incorporan al acumulador multiplicando por 2 el mismo y sumando dicho bit. Dicho proceso se hará usando aritmética decimal, por lo que, después de 16 iteraciones, tendremos el número convertido. Aunque el bucle dé 16 pasadas, éstas sólo constan de un desplazamiento y una suma con acarreo, por lo que su eficiencia es mucho mayor que la del algoritmo anterior.

```

;-----
; long int bin2bcd (unsigned int bin)                                v1.0
;
; Convierte el número que se pasa en formato binario natural, a bcd

```

```

; empaquetado.
;-----
bin2bcd   mov.w  r12, r14      ;Entrada a R14. Dejar libre salida en R12
          clr.w  r12          ;Inicializar resultado R13:R12(32 bits)
          clr.w  r13
          mov.w  #16, r15     ;R15 variable control bucle (16 vueltas)
bin2bcdBuc rla.w  r14         ;msb a carry
          dadd.w r12, r12     ;R13:R12 = 2*R13:R12 + C (suma BCD)
          dadd.w r13, r13
          dec.w  r15         ;Un bit menos por procesar
          jnz   bin2bcdBuc   ;Siguiente bit
          ret

```

2.15 Se desea realizar una subrutina que permita calcular el producto de dos números de 32 bits sin signo. Se usará el algoritmo tradicional de multiplicación, como en el ejemplo:

$$\begin{array}{r}
 1\ 1\ 0\ 1 \\
 \times\ 1\ 0\ 1 \\
 \hline
 1\ 1\ 0\ 1 \\
 0\ 0\ 0\ 0 \\
 1\ 1\ 0\ 1 \\
 \hline
 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1
 \end{array}$$

La subrutina se llamará `mul32x32` y seguirá el siguiente prototipo:

```
unsigned long long mul32x32 (unsigned long a, unsigned long b);
```

SOLUCIÓN

```

;-----
; unsigned long long mul32x32 (unsigned long a, unsigned long b);          v1.0
;
; Multiplica dos números sin signo de 32 bits y deja un resultado de 64.
;-----
mul32x32  push.w r4
          push.w r5
          push.w r6
          push.w r7
          push.w r8
          push.w r9
          mov.w  r12, r4      ;R5:R4 = A
          mov.w  r13, r5
          clr.w  R6          ;R7:R4 = A (64 bits)
          clr.w  R7
          mov.w  r14, r8     ;R9:R8 = B
          mov.w  r15, r9
          clr.w  r12        ;R15:R12 = 0 (resultado)
          clr.w  r13
          clr.w  r14
          clr.w  r15
          mov.w  #32, r11    ;Procesar 32 bits
mul32Buc  ;Desplazar un bit a la derecha B (R9:R8)
          rra.w  r9
          rrc.w  r8
          jnc   mul32NoSum   ;Si el bit saliente es 0, no acumular
          ;Sumar A desplazado al acumulador R15:R12 += R7:R4
          add.w  r4, r12
          addc.w r5, r13
          addc.w r6, r14
          addc.w r7, r15
mul32NoSum ;Desplazar A (R7:R4) un bit a la izquierda

```

```

    rla.w r4
    rlc.w r5
    rlc.w r6
    rlc.w r7
    dec.w r11           ;Siguiente bit. Quedan?
    jnz   mul32Buc     ;...sí, procesar
    pop.w r9
    pop.w r8
    pop.w r7
    pop.w r6
    pop.w r5
    pop.w r4
    ret

```

2.16 La subrutina `traspone` acepta un puntero a una tabla cuadrada de enteros (m) de $n \times n$ elementos.

```
void *traspone (int *m, int n);
```

La función realiza la trasposición de la tabla (cambia filas por columnas y viceversa) y la deja en el mismo sitio (ver ejemplo, aunque tenga en cuenta que la dimensión no tiene por qué ser de 4×4).

Antes

Después

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

1	5	9	13
2	6	10	14
3	7	11	15
4	8	12	16

- Explique con palabras el algoritmo que va a emplear.
- Escriba la subrutina en ensamblador del MSP430.

SOLUCIÓN

El proceso de trasposición consiste en intercambiar los elementos que están sobre la diagonal principal con los que están por debajo. Es decir $M_{ij} \leftrightarrow M_{ji}$, donde $i \neq j$. En C sería una cosa como la siguiente:

```

for (i = 0; i <= n-2; i++)
    for (j = i+1; j < n; j++)
    {
        temp = M[i][j];
        M[i][j] = M[j][i];
        M[j][i] = temp;
    }

```

En ensamblador resulta más eficiente hacer un acceso secuencial a las semifilas y semicolumnas. En el siguiente código se guarda en R12 la dirección de las semifilas y en R11 el de las semicolumnas.

Para encontrar la dirección del siguiente elemento de una semifila, basta con sumar 2 (el tamaño del elemento) al puntero (R12), o aprovechar el direccionamiento indirecto con postincremento. Para hacer lo mismo con la semicolumna, hay que sumar $2n$ al puntero (R11). Como $2n$ se usa mucho, se guarda en un registro (R13).

Dada la dirección de una semifila, para encontrar la de la siguiente, hay que sumar $2 * (n+1)$, mientras que para encontrar la de la semicolumna, hay que sumar $2 * (n-1)$.

El resto de registros usados es R15, que es la variable de control del bucle externo (recorre desde $n-1$ hasta 0) y R14 que es la variable de control del bucle interno (recorre desde R15 hasta 0).

```

;-----
; void *traspone (int *m, int n);                                v1.0
;
; Realiza la trasposición de la tabla (cambia filas por columnas y viceversa)
; y la deja en el mismo sitio.
;-----
traspone    push.w r10                ;R10 es registro temporal de intercambio
            mov.w  r13, r15
            dec.w  r15                ;R15=n-1 (tamaño primera semifila)
            jz    trasFin            ;n=1, luego no hay nada que hacer
            jlo   trasFin            ;n<1, luego error
            rla.w r13                ;R13=2*n
            incd.w r12               ;R12 apunta a principio primera semifila

trasBuc1    ;Este bucle intercambia los elementos que están por encima de la
            ;diagonal principal, con los que están por debajo

            ;Apuntar R11 al principio de semicolumna
            mov.w  r12, r11          ;R11 apunta a principio de semifila
            add.w  r13, r11
            decd.w r11              ;R11 apunta a principio de semicolumna

            push.w r12              ;Guardar dir de semifila
            mov.w  r15, r14          ;R14=contador de elementos de semifila
trasBuc2    ;Este bucle intercambia los elementos de una semifila con los
            ;de su semicolumna equivalente

            ;Intercambiar un elemento de semifila con semicolumna en memoria
            mov.w  @r12+, r10
            mov.w  @r11, -2(r12)
            mov.w  r10, 0(r11)

            add.w  r13, r11          ;Incrementar dirección de semicolumna
            dec.w  r14              ;Siguiente elemento en semifila
            jnz   trasBuc2

            ;Encontrar dirección de siguiente semifila
            pop.w  r12              ;Recuperar dirección de semifila
            add.w  r13, r12
            incd.w r12              ;R12 apunta principio de sig semifila

            dec.w  r15              ;Siguiente semifila
            jnz   trasBuc1
            pop.w  R10
            ret

```

2.17 Se desea realizar una subrutina `int suma(char *sf, char *sd, int n)` que permita calcular la suma de dos números enteros sin signo de `n` bytes. El primer sumando se encuentra almacenado a partir de la dirección `sf` y el segundo a partir de la dirección `sd` (formato normal de MSP430, *little endian*). El resultado se dejará almacenado en el mismo sitio que el segundo sumando. La subrutina sigue el convenio de llamada de C y devuelve un código de estado: -1 en caso de error (desbordamiento o $n < 1$); 0 si todo fue bien.

- Explique con palabras el algoritmo.
- Escriba la subrutina en ensamblador del MSP430.

SOLUCIÓN

La solución consiste en hacer un bucle que dé `n` iteraciones y vaya sumando los bytes de cada vector empezando por el menos significativo. La complicación viene del hecho de que en el bucle hay que incrementar el puntero destino y decrementar el contador de bytes. Ambos destruyen el bit de carry que habría que preservar para la suma de la siguiente

iteración. Para evitar su destrucción, se usará un registro (R15) que lo guardará temporalmente.

```

;-----
; int suma(char *sf, char *sd, int n);                                v1.1
;
; Suma dos números de n bytes.
;-----
; Control de cambios:
; v1.1 Se ha cambiado la inicialización del SR temporal en R15 que se hacía
; con clr.w r15 por dos instrucciones:
;   clrc
;   jmp PrimeraVez
; ya que la opción anterior tenía el efecto colateral de deshabilitar las
; interrupciones.
;-----
suma      cmp.w  #1, r14      ;n<1?
          jlo   sumaErr     ;...sí, salir con error
          clrc  ;Asegurar que C=0
          jmp   PrimeraVez   ;Empezar suma
sumaBuc   mov.w r15, sr      ;Recuperar SR
PrimeraVez addc.b @r12+, 0(r13) ;Sumar empezando por LSB
          mov.w sr, r15      ;Guardar SR
          inc.w r13          ;Avanzar puntero destino
          dec.w r14          ;Contabilizar elemento sumado
          jnz   sumaBuc      ;Quedan más? Seguir
          mov.w r15, sr      ;Recuperar SR. Hubo desbordamiento?
          jc    sumaErr     ;...sí. Salir con error
          clr.w r12          ;...no, salir sin error
          jmp   sumaFin      ;Salir con error
sumaErr   mov.w #-1, r12     ;Salir con error
sumaFin   ret

```