SISTEMAS BASADOS EN MICROPROCESADOR **Segunda convocatoria 2024-2025**

Apellidos:.....**SOLUCIÓN**.....

Nombre:.....

P1	P2	P3

Duración 4:00 horas

1.- (2425 Conv2 3/10) Analice el siguiente código e indique qué hace. Proponga un código alternativo que haga lo mismo, pero de forma más eficiente. Señale si sigue o no el convenio de llamada de C. En caso afirmativo, muestre el prototipo. En caso negativo, enumere los parámetros de entrada/salida, ubicación y tipo. Calcule el número de ciclos de ejecución, así como el tiempo total para f_{MCLK}=1MHz y compárelo con la alternativa que ha propuesto. Ensamble manualmente el programa dando el código máquina en hexadecimal.

```
;                                   Emulación       Ciclos Código máquina
;-------------------------------------------------------------------------------
K           .equ    0x8000          ;_______________|    |_____________________
misterio:   mov.w   #K, r11         ;_______________|    |_____________________
misterioB:  rrc.w   r12             ;_______________|    |_____________________
            rrc.w   r13             ;_______________|    |_____________________
            rrc.w   r11             ;_______________|    |_____________________
            rrc.w   r13             ;_______________|    |_____________________
            rrc.w   r12             ;_______________|    |_____________________
            rrc.w   r11             ;_______________|    |_____________________
            jnc     misterioB       ;_______________|    |_____________________
            mov.w   r11, r12        ;_______________|    |_____________________
            ret                     ;_______________|    |_____________________
```

SOLUCIÓN

a) Análisis:

```
K           .equ    0x8000
misterio:   mov.w   #K, r11         ;Contador del bucle y registro salida
misterioB:  rrc.w   r12             ;Desplazar a la derecha R12. LSB de R12 a C
            rrc.w   r13             ;Desplazar a la derecha R13. LSB de R13 a C
            rrc.w   r11             ;Desplazar a la derecha R11. Entra C por izquierda
            rrc.w   r13             ;Desplazar a la derecha R13. LSB de R13 a C
            rrc.w   r12             ;Desplazar a la derecha R12. LSB de R12 a C
            rrc.w   r11             ;Desplazar a la derecha R11. Entra C por izquierda
            jnc     misterioB       ;C=0?, Sí. Otra vuelta
            mov.w   r11, r12        ;...no, fin. Salida por R12
            ret
```

Supongamos que R12=a y R13=b. El bucle saca primero el lsb de a y b por la derecha e introduce el de b en R11 por la izquierda (el de a entra en R13, pero no se hace nada con él). Después se hace lo propio, pero invirtiendo el orden de a y b, con lo que es el bit de a el que se guarda y el de b se introduce en R12 (y no se hace nada con él). El bucle se cierra comprobando si en el último desplazamiento de R11 ha salido un bit a 1, lo que indicaría fin de bucle. Como en R11 se carga el número 0x8000, esto ocurrirá después de 8 iteraciones (16 desplazamientos de cada registro). El resultado es que los bits pares de R11 corresponden con los de b, mientras que los impares son los de a.

b) Código alternativo:

Se propone el siguiente código alternativo. No usa bucles. Sólo 3 operaciones lógicas que tardan 5 ciclos (más 3 del `RET`).

```
;-------------------------------------------------------------------------------
; uint16_t misterio (uint16_t a, b);                                      v1.0
;
; Baraja a y b y devuelve el resultado. Los bits pares de la salida son de b
; y los impares de a
;-------------------------------------------------------------------------------
```

```
misterio:  bic.w   #0x5555, r12    ;Borrar bits impares de a
           and.w   #0x5555, r13    ;Borrar bits   pares de b
           bis.w   r13, r12        ;Fusionar
           ret
```

c) Convenio de llamada:

Tal como se muestra en la cabecera de la versión optimizada de `misterio`, sigue el convenio de llamada de C, ya que se pasan 2 enteros sin signo por R12 y R13, la salida se hace por R12 (parámetros a y b mezclados) y no se alteran los registros R4-R10.

d) Cáculo de ciclos y tiempo de ejecución:

```
;                                  EmulaciónCiclosCódigo máquina
;-------------------------------------------------------------------------------
K          .equ    0x8000          ;                  |   |
misterio   mov.w   #K, r11         ;                  | 2 |
misterioB  rrc.w   r12             ;                  | 1 | \
           rrc.w   r13             ;                  | 1 | |
           rrc.w   r11             ;                  | 1 | |
           rrc.w   r13             ;                  | 1 | | 8 iteraciones
           rrc.w   r12             ;                  | 1 | |
           rrc.w   r11             ;                  | 1 | |
           jnc     misterioB       ;                  | 2 | /
           mov.w   r11, r12        ;                  | 1 |
           ret                     ;                  | 3 |
```

El bucle tarda 8 ciclos y da 8 vueltas. El saldo total de ciclos es 2 + 8*8 + 4 = 70. Compárese con los 8 ciclos de la versión optimizada. Ejecutándose a f_{MCLK}=1MHz, el ciclo de reloj es de 1μs, lo que nos lleva a un tiempo total de ejecución de 70μs.

e) Ensamblado:

Se ha comentado el código para expresar la codificación de las instrucciones de tipo I (las que tienen 2 operandos), las de tipo II (las que tienen 1 operando) y las de salto relativo. En éstas sólo hay que codificar la condición y el desplazamiento, que se calcula como el número de palabras desde el origen (instrucción posterior al salto), al destino, es decir, -7 para `jnc misterioB`, que en complemento a 2 es 1111111001. Cada instrucción ocupa una palabra salvo la primera, que tiene que almacenar la constante K, dando un total de 11 palabras o 22 bytes.

```
;                                  Emulación        Código máquina
;                                                   OpCd -Rf- DdBDf -Rd-(tipo I)
;                                                   000100 OpC BDf -Rd-(tipo II)
;                                                   001 Cnd Desplazami (salto)
;-------------------------------------------------------------------------------
K          .equ    0x8000          ;                |
misterio   mov.w   #K, r11         ;                | 0100 0000 0011 1011 = 403B 8000
misterioB  rrc.w   r12             ;                | 0001 00 00 0 000 1100 = 100C
           rrc.w   r13             ;                | 0001 00 00 0 000 1101 = 100D
           rrc.w   r11             ;                | 0001 00 00 0 000 1011 = 100B
           rrc.w   r13             ;                | 0001 00 00 0 000 1101 = 100D
           rrc.w   r12             ;                | 0001 00 00 0 000 1100 = 100C
           rrc.w   r11             ;                | 0001 00 00 0 000 1011 = 100B
           jnc     misterioB       ;(salto -7)      | 001 010 11 1111 1001  = 2BF9
           mov.w   r11, r12        ;                | 0100 1011 0000 1100 = 4B0C
           ret                     ;mov.w @sp+, pc  | 0100 0001 0011 0000 = 4130
```

CRITERIO DE CORRECCIÓN

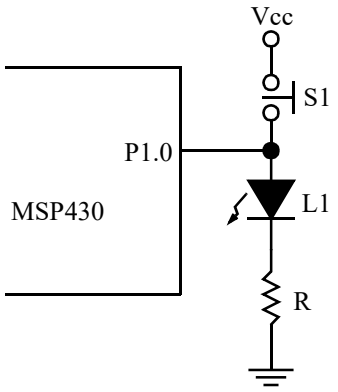
- Análisis: 30%
- Código alternativo: 15%
- Convenio de llamada: 10%
- Tiempo de ejecución: 15%
- Codificación: 30%

2.- (2425 Conv2 3/10) Considere el circuito de la figura. Haga un programa en ensamblador del

MSP430 ***basado en multitarea cooperativa*** que inicialmente configura el puerto como entrada para poder leer la tecla. Cuando el usuario la pulsa, el led se enciende sin intervención del MSP. El objetivo del programa es alargar el encendido del led para asegurar que el mismo está encendido un segundo más que el tiempo que ha estado pulsada. Para ello, cuando se suelta, se pone el puerto en modo salida para encender el led. Después de un segundo, el puerto se vuelve a poner como entrada, apagándose el led (si el pulsador no está accionado). Para evitar observar el apagado momentaneo del led, ejecute la tarea con un periodo máximo de 10ms.

Notas:

- Nótese que se pide un programa que use multitarea cooperativa, no que lea las teclas por interrupciones ni use el TimerA.
- Minimice el consumo del sistema manteniéndolo todo el tiempo posible en modo de bajo consumo.
- Considere el pulsador libre de rebotes, el perro guardián desactivado, los puertos desbloqueados, pila inicializada y LFXT en marcha con cristal de 32768Hz.
- Dispone del módulo `st.asm` y la función `cmp32`.



SOLUCIÓN

Dado que el pulsador no tiene resistencia externa, hay que usar la interna. En este caso debe ser de *pull-down*. El control del led es con lógica positiva (1 enciende, 0 apaga).

Hay que medir tiempos con una resolución de 10ms (más que suficiente para una pulsación de tecla). Eso supone que el proceso de medida debe tener una frecuencia de al menos 100Hz. Se ha escogido 128Hz.

Inicialmente el proceso establece una frecuencia de trabajo de 128Hz con la que escaneará la tecla. Cuando la misma se pulse (es decir, en una lectura estaba suelta y en la siguiente pulsada), se guardará el instante actual más 3 segundos en la variable `TFin`. Una vez que se suelte se comparará el tiempo actual con `TFin`. Si es mayor o igual, no se hará nada. En cambio, si es menor, se cambiará a modo encendido, en el que el puerto se pondrá como salida con un 1 y se ajustará la variable de próxima ejecución a `TFin`. No se volverá a entrar en la tarea hasta que se hayan completado los 3 segundos, momento en el que se volverá al estado inicial (puerto como entrada, led apagado y esperando pulsación). Una forma sencilla de gestionar todo esto es con una variable `Estado` que pasará por lo modos `ENOPUL`, `EPUL` y `EENC`. Se han añadido otros dos estados adicionales para encapsular el código de inicialización (`EINI`) y de error (`EULTIMO`). Nótese cómo, en el estado `ENOPUL`, cuando se pulsa la tecla, se lee el tiempo actual y se almacena en `TFin` dicho tiempo más 3 segundos. Después se pasa al estado `EPUL` en el que se va a esperar hasta que se suelte la tecla. Una vez que se suelte, se va a comparar dicho instante con `TFin`, para comprobar si se ha alcanzado la cifra de 3 segundos. En ese caso, se pasa al estado `ENOPUL` a la espera de otra pulsación. En caso contrario, se pasa al estado `EENC` y se actualiza la variable `teclaPE` para que sea igual a `TFin` y se pone el puerto como salida con un 1, para que se encienda manualmente el led. Esto permite un control sencillo del tiempo de encendido y evita numerosas ejecuciones del proceso para ver si ha transcurrido el tiempo.

La existencia de 2 estados para saber si la tecla está pulsada o no (`ENOPUL` y `EPUL`) puede parecer caprichosa, pero es necesario para detectar los flancos de la tecla. Nótese que la

liberación de la tecla ocurre cuando, en dos lecturas consecutivas de la tecla, la primera da pulsada y la segunda no. Muy distinto de, simplemente, ver si la tecla está libre, ya que, en ese caso, generaríamos un segundo de encendido del led cada vez que se leyera la tecla suelta.

```
            .cdecls C,LIST,"msp430ports.h"

;-------------------------------
; Datos de configuración
;-------------------------------
; *** Puertos de E/S ***
LEDBIT      .equ    BIT0
LEDPORT     .equ    P1IN

;Tiempo de alargamiento del encendido del led
TALARGA     .equ    1*FST           ;Tiempo añadido al encendido
;Frecuencia de los distintos procesos. En Hz
FTECLA      .equ    128             ;Frecuencia de escaneo de la tecla

; *** Frecuencia del System Timer ***
FTA         .equ    32768           ;Frecuencia del reloj del TA. Hz
FST         .equ    128             ;Frecuencia del SystemTimer. Hz

;-------------------------------
; Constantes calculadas
;-------------------------------
CCR0        .equ    FTA/FST-1       ;Valor a programar en CCR0 para stIni
PERIODO     .equ    FST/FTECLA      ;Tiempo entre ejecuciones (TICs)

;-------------------------------
; Variables
;-------------------------------
            .bss    teclaPE, 4      ;Próxima Ejecución del proceso de Parpadeo
            .bss    Estado, 1       ;Estado del proceso
;-------------------------------
; Codificación de estados
;-------------------------------
EINI        .equ    0*2             ;Estado inicial. Ficticio. Sólo para inicializar
ENOPUL      .equ    1*2             ;Estado tecla no pulsada
EPUL        .equ    2*2             ;Estado tecla pulsada
EENC        .equ    3*2             ;Estado led encendido manualmente
EULTIMO     .equ    EENC            ;Último estado. Sólo a efectos de comprobación
;-------------------------------------------------------------------------------
; main                                                                    v1.0
;-------------------------------------------------------------------------------
main        ;Inicializar SystemTimer
            mov.w   #CCR0, r12
            call    #stIni

            ;Inicializar procesos
            call    #Inicializa

superbucle  call    #AlargaTecla    ;Tarea que alarga la pulsación de la tecla
            bis.w   #LPM3+GIE, sr   ;Entrar en bajo consumo
            jmp     superbucle
            .intvec RESET_VECTOR, main
            .text

;-------------------------------------------------------------------------------
; Inicializa                                                              v1.0
;
; Inicializar proceso
;-------------------------------------------------------------------------------
Inicializa  clr.w   &teclaPE        ;Ejecutar desde el principio
            clr.w   &teclaPE+2
            mov.b   #EINI, &Estado
            ret

;-------------------------------------------------------------------------------
```

```
; Proceso AlargaTecla                                                    v1.0
;-------------------------------------------------------------------------------
AlargaTeclamov.w   &teclaPE, r12   ;R15:R14=Instante de próxima ejecución
           mov.w   &teclaPE+2, r13
           call    #stComp         ;Comparar con SystemTimer
           tst.w   r12             ;Toca?
           jlo     teclaFin        ;...no. Salir
           add.w   #PERIODO, &teclaPE;...sí.Actualizar instante próxima ejecución
           adc.w   &teclaPE+2

           ;Proceso útil de la tarea. Procesar máquina de estados
           mov.b   &Estado, r14
           cmp.b   #EULTIMO+1, r14
           jhs     MdError
           add.w   r14, pc
           jmp     MdIni           ;Inicialización
           jmp     MdNoPul         ;No pulsada
           jmp     MdPul           ;Pulsada
           jmp     MdEnc           ;Encendido
           ;jmp    MdError         ;Error

           ;Estado Error. Desactivar tarea con el puerto como entrada
MdError    bic.b   #LEDBIT, &PDIR+LEDPORT;Puerto como entrada
           bic.b   #LEDBIT, &PREN+LEDPORT;sin resistencia de pulldown
           mov.w   #-1, &teclaPE   ;Próxima ejecución... en el infinito
           mov.w   #-1, &teclaPE+1
           jmp     teclaFin
           ;Estado inicialización. Puerto como entrada con resistencia de pulldown
MdIni      ;bic.b  #LEDBIT, &PDIR+LEDPORT;Puerto como entrada
           bis.b   #LEDBIT, &PREN+LEDPORT;Resistencia ...
           bic.b   #LEDBIT, &POUT+LEDPORT;... de pulldown
           mov.b   #ENOPUL, &Estado;Pasar a esperar pulsación de tecla
           ;jmp    teclaFin        ;Descomentar para esperar un ciclo
           ;Estado tecla no pulsada. Esperar a que se pulse
MdNoPul    bit.b   #LEDBIT, &PIN+LEDPORT;Tecla pulsada?
           jz      teclaFin        ;...no. Salir
           mov.b   #EPUL, &Estado  ;Cambiar de estado a esperar liberación
           jmp     teclaFin
           ;Estado tecla pulsada. Esperar a que se suelte
MdPul      bit.b   #LEDBIT, &PIN+LEDPORT;Tecla pulsada?
           jnz     teclaFin        ;...sí. Salir
           bis.b   #LEDBIT, &PDIR+LEDPORT;...no. Alargar encendido
           bis.b   #LEDBIT, &POUT+LEDPORT;Puerto salida. Led encendido
           mov.b   #EENC, &Estado  ;Cambiar estado a encendido
           add.w   #TALARGA-PERIODO, &teclaPE;Próxima ejecución:fin de tiempo añadido
           adc.w   &teclaPE+2
           jmp     teclaFin
           ;Estado led encendido. Apagar el led, poner puerto como entrada
MdEnc      bic.b   #LEDBIT, &PDIR+LEDPORT;Puerto como entrada
           bic.b   #LEDBIT, &POUT+LEDPORT;con resistencia de pulldown
MdANoPul   mov.b   #ENOPUL, &Estado;Pasar a leer tecla
           ;jmp    teclaFin

teclaFin   ret
```

CRITERIO DE CORRECCIÓN

- Constantes: 10%
- Prinicipal: 30%
- Proceso: 60%

3.- (2425 Conv2 4/10) Se desea hacer un transmisor que usa el código Morse (ver tabla). La duración del punto es T = 0’25s. Una raya tiene una duración de 3T. Entre cada par de símbolos de una misma letra existe una ausencia de señal con duración T. Entre las letras de una misma palabra, la ausencia es de tres puntos (3T). Para la separación de palabras transmitidas el tiempo es de tres veces el de la raya (9T). En la tabla siguiente se recogen los códigos internacionales para las letras y los dígitos. Existen algunos símbolos más que no

vamos a tener en cuenta:

A	.-	G	--.	M	--	S	...	Y	-.--	4	....-
B	-...	H	....	N	-.	T	-	Z	--..	5	.....
C	-.-.	I	..	O	---	U	..-	0	-----	6	-....
D	-..	J	.---	P	.--.	V	...-	1	.----	7	--...
E	.	K	-.-	Q	--.-	W	.--	2	..---	8	---..
F	..-.	L	.-..	R	.-.	X	-..-	3	...--	9	----.

Codificación en binario de los códigos Morse: se sustituyen los puntos por 0 y las rayas por 1. Sea N la longitud del código. Se añadirán 7-N '0' y un '1' por la izquierda. Por ejemplo, para la letra C, el código es "-.-." lo que se traduce en "1010" de longitud 4. Se añade un "0001" por la izquierda, quedando "00011010". De esta forma se codifica la longitud de la secuencia Morse y la propia secuencia en 8 bits. El proceso de descodificación consistirá en desplazar el código a la izquierda hasta que salga el primer 1. 8 menos el número de desplazamientos es la longitud de la secuencia, que ha quedado justificada a la izquierda en el byte desplazado. A continuación se muestran algunos ejemplos más:

```
TabMrsLetra.byte   0b00000101      ; A .-
            .byte   0b00011000      ; B -...
            .byte   0b00011010      ; C -.-.
```

La transmisión se hará por el puerto P1.0 que tiene conectado un led con lógica positiva. La función primaria del puerto está asociada a TA0.1. Implemente el módulo `morse.asm` que recoge los siguientes servicios con el mínimo consumo posible:

a) `void morseIni (void)`. Inicializa las variables del módulo, configurando el puerto de salida y arrancando el TA0.

b) `int morseTx (char c)`. Transmite el carácter `c` cuyo código ASCII se pasa. Si el carácter es un espacio, emite un silencio interpalabra. Si es una letra o un dígito, primero obtiene el código morse asociado y transmite el primer símbolo del mismo. El resto se hace por interrupciones. Devuelve 0 si todo fue bien, 1 si había una transmisión en marcha y 2 si el carácter `c` no es correcto (no es una letra, espacio o dígito). No se distingue entre mayúsculas y minúsculas.

c) `ISR`. Subrutina de servicio de interrupciones del TA0. Transmite los símbolos morse salvo el primero que se hace en la función anterior. Añade los espacios intersímbolos e intercarácter y se desactiva cuando la tranmisión ha terminado.

SOLUCIÓN

```
;Datos de configuración
MRSPORT     .equ    P1IN            ;Puerto de salida
MRSBIT      .equ    BIT0            ;Bit de salida

FACLK       .equ    32768           ;Frecuencia de ACLK. En Hz
TPUNTO      .equ    250             ;Tiempo base del transmisor morse (en ms)

DIVPRI      .equ    8               ;Divisor primario del TA0
DIVSEC      .equ    8               ;Divisor secundario del TA0

;Constantes calculadas
FTA         .equ    FACLK/(DIVPRI*DIVSEC);Frecuencia del TA0. En Hz
NPUNTO      .equ    FTA*TBASE/1000  ;Número de ciclos del punto
NRAYA       .equ    3*NPUNTO        ;Número de ciclos de la raya

;Variables
            .bss    mrsEstado,1     ;Estado del transmisor morse
            .bss    mrsLong,1       ;Longitud de la trama de interrupciones
```

```
            .bss    mrsCaracter,1   ;Resto del carácter a transmitir
;*** Constantes simbólicas ***
;Estado del transmisor
MRS_LIBRE   .equ    0               ;Transmisor morse libre
MRS_TXSIMB  .equ    1               ;Transmisor morse transmitiendo símbolo
MRS_TXSLNC  .equ    2               ;Transmisor morse tx silencio inter símbolo
MRS_TXEND   .equ    3               ;Transmisor morse terminando
;Códigos de salida del transmisor
MRS_OK      .equ    0               ;Transmisión de carácter iniciada
MRS_BUSY    .equ    1               ;Transmisor ocupado
MRS_BADCHAR.equ     2               ;Carácter no transmisible

;-------------------------------------------------------------------------------
; void morseIni (void);                                                  v1.0
;
; Inicializa el transmisor Morse.
;-------------------------------------------------------------------------------
morseIni    ;Inicializar variables
            mov.b   #MRS_LIBRE, &mrsEstado;Puerto morse libre
            ;Inicializar puerto
            bis.b   #MRSBIT, &PDIR+MRSPORT;Puerto morse como salida
            bis.b   #MRSBIT, &PSEL0+MRSPORT;Puerto morse controlado por Timer A0
            ;Inicializar CCR
            mov.w   #OUTMOD_0, &TA0CCTL1;Puerto morse no transmite
            ;TA0 con ACLK/DIVTA modo CONT
            mov.w   #DIVSEC-1, &TA0EX0;Divisor extra
            mov.w   #TASSEL__ACLK|ID__8|MC__CONTINUOUS|TACLR, &TA0CTL
            ret

;-------------------------------------------------------------------------------
; int morseTx (char c);                                                  v1.0
;
; Transmite el carácter c en código morse. Después transmite un silencio
; interletra. El primer símbolo se transmite aquí mismo. El resto se encola y se
; hace por interrupciones. Si el carácter es una espacio, transmite un silencio
; interpalabra. Devuelve un código de estado:
; 0: Ok
; 1: Transmisor ocupado
; 2: Carácter no soportado
;-------------------------------------------------------------------------------
morseTx     mov.b   r12, r13        ;Liberar R12
            mov.w   #MRS_BUSY, r12  ;Código de salida: transmisor ocupado
            cmp.b   #MRS_LIBRE, &mrsEstado;Transmisor libre?
            jne     morseTxFin      ;...no. Salir con error
            mov.w   #MRS_BADCHAR, r12;...sí. Código de salida: carácter no soportado
            ;Traducir código ASCII a Morse
            cmp.b   #' ', r13       ;Es espacio? (se usa para separar palabras)
            jeq     morseTxPal      ;...sí, Tx silencio interpalabra
            cmp.b   #'z'+1, r13     ;Es minúscula?
            jge     morseTxFin      ;...no, salir sin transmitir
            cmp.b   #'a', r13       ;Es minúscula?
            jlo     morseNoMin      ;...no, ver otras posibilidades
            mov.b   TabMrsLetra-'a'(r3), r13;Convertir a morse
            jmp     morseLong       ;Es mayúscua?
morseNoMin  cmp.b   #'Z'+1, r13     ;Es mayúscula?
            jge     morseTxFin      ;...no, salir sin transmitir
            cmp.b   #'A', r13       ;Es mayúscula?
            jlo     morseNoMay      ;...no, ver otras posibilidades
morseLetra  mov.b   TabMrsLetra-'A'(r3), r13;Convertir a morse
            jmp     morseLong
morseNoMay  cmp.b   #'9'+1, r13     ;Es dígito?
            jge     morseTxFin      ;...no, salir sin transmitir
            cmp.b   #'0', r13       ;Es dígito?
            jlo     morseTxFin      ;...no, salir sin transmitir
            mov.b   TabMrsDigit-'0'(r3), r13;Convertir a morse
            ;Encontrar longitud de la cadena morse
morseLong   mov.b   #8, r12         ;R12=Longitud del código morse
morseLBuc   dec.b   r12             ;Descontar longitud
```

```
            rlc.b   r13             ;Desplazar código
            jnc     morseLBuc       ;Ha salido un 1? No, seguir
            ;Transmitir primer símbolo y encolar el resto
            mov.w   #NPUNTO, r14    ;R14=Longitud del punto (por defecto)
            dec.b   r12             ;Actualizar longitud
            rlc.b   r13             ;Desplazar código
            jnc     morsePunto      ;Es un punto? Seguir
            mov.w   #NRAYA, r14     ;R14=Longitud de la raya
morsePunto  mov.w   #OUTMOD_0|OUT, &TA0CCTL1;Empezar transmisión
            mov.w   #CAP|CM_1|CCIS_2, &TA0CCTL1;Capturar TA0
            mov.w   #CAP|CM_2|CCIS_2, &TA0CCTL1;TA0CCR0=Ahora
            add.w   r14, &TA0CCR1   ;Programar fin del símbolo
            mov.w   #OUTMOD_4|CCIE, &TA0CCTL1;En la IRQ, apagar símbolo (silencio)
            mov.w   r12, &mrsLong   ;Guardar cuántos símbolos quedan
            mov.w   r13, &mrsCaracter;Guardar el resto del carácter
            mov.b   #MRS_TXSIMB, &mrsEstado;Cambiar estado a transmitiendo símbolo
            mov.w   #MRS_OK, r12    ;Salida Ok
            jmp     morseTxFin      ;Salir
            ;Transmitir un espacio interpalabra (con la aparición de un espacio)
morseTxPal  mov.w   #OUTMOD_0, &TA0CCTL1;Línea en silencio
            mov.w   #CAP|CM_1|CCIS_2, &TA0CCTL1;Capturar TA0
            mov.w   #CAP|CM_2|CCIS_2, &TA0CCTL1;TA0CCR0=Ahora
            add.w   #3*NRAYA, &TA0CCR1;Programar fin del silencio interpalabra
            mov.w   #OUTMOD_5|CCIE, &TA0CCTL1;Apagar línea después. Ya por IRQ
            mov.b   #MRS_FIN, &mrsEstado;Cambiar estado a Fin
            clr.w   r12             ;Salida Ok
morseTxFin  ret

;-------------------------------------------------------------------------------
; TA00ISR                                                               v1.0
;
; Subrutina de gestión de interrupciones del TA0CCR0. Gestiona la transmisión
; de los caracteres morse, incluyendo los silencios intersímbolos e intercarácter.
;-------------------------------------------------------------------------------
TA01ISR     bic.b   #CCIFG, &TA0CCTL1;Limpiar IRQ
            cmp.b   #MRS_FIN, &mrsEstado;Silencio generado?
            jeq     TA00ISREnd      ;...sí. Terminar
            cmp.b   #MRS_SLNC, &mrsEstado;Trama terminada?
            jeq     TA01ISRSil      ;...sí. Generar silencio intercarácter
            bit.b   #MRSBIT, &PIN+MRSPORT;...no. Transmitiendo trama. Salida a 1?
            jnz     TA01ISRSimb     ;...sí. Transmitir símbolo
            add.w   #NPUNTO, &TA0CCR1;...no. Transmitir silencio.Duración del punto
            jmp     TA01ISRFin      ;Salir
TA01ISRSimbadd.w    #NPUNTO, &TA0CCR1;Se transmitirá al menos un punto
            rlc.b   &mrsCaracter    ;Siguiente elemento de la trama
            jnc     TA01ISRPunt     ;Es 0? Sí, es un punto
            add.w   #NRAYA-NPUNTO, &TA0CCR1;...no. Añadir tiempo de raya
TA01ISRPuntdec.b    &mrsLong        ;Elemento trasmitido. Quedan?
            jnz     TA01ISRFin      ;...sí, salir
            mov.b   #MRS_SLNC, &mrsEstado;...no. Añadir el silencio entre letras
            jmp     TA01ISRFin      ;Salir
TA01ISRSil  add.w   #3*NPUNTO, &TA0CCR0;3 tiempos de punto en silencio
            mov.w   #OUTMOD_5|CCIE, &TA0CCTL0;Dejar línea apagada después de tiempo
            mov.b   #MRS_FIN, &mrsEstado;Trama terminada
            jmp     TA01ISRFin      ;Salir
TA01ISREnd  mov.w   #OUTMOD_0, &TA0CCTL0;...sí. Salida a 0. IRQ desactivada
            mov.b   #MRS_LIBRE, &mrsEstado;Cambiar estado a libre
TA01ISRFin  reti
;-------------------------------------------------------------------------------
; TabMrsDigit                                                           v1.0
;
; Tabla de codificación de los dígitos en Morse.
; Los puntos son 0 y las rayas 1. Dado que son códigos de longitud variable, se
; antepone 01 al código para indicar dónde empieza el mismo. Se completa con 0
; por la izquierda hasta 8 bits.
;-------------------------------------------------------------------------------
TabMrsDigit.byte    0b00111111      ; 0 -----
            .byte   0b00101111      ; 1 .----
```

```
            .byte   0b00100111      ; 2 ..---
            .byte   0b00100011      ; 3 ...--
            .byte   0b00100001      ; 4 ....-
            .byte   0b00100000      ; 5 .....
            .byte   0b00110000      ; 6 -....
            .byte   0b00111000      ; 7 --...
            .byte   0b00111100      ; 8 ---..
            .byte   0b00111110      ; 9 ----.
;-------------------------------------------------------------------------------
; TabMrsLetra                                                           v1.0
;
; Tabla de codificación de las letras en Morse
; Los puntos son 0 y las rayas 1. Dado que son códigos de longitud variable, se
; antepone 01 al código para indicar dónde empieza el mismo. Se completa con 0
; por la izquierda hasta 8 bits.
;-------------------------------------------------------------------------------
TabMrsLetra.byte    0b00000101      ; A .-
            .byte   0b00011000      ; B -...
            .byte   0b00011010      ; C -.-.
            .byte   0b00001100      ; D -..
            .byte   0b00000010      ; E .
            .byte   0b00010010      ; F ..-.
            .byte   0b00001110      ; G --.
            .byte   0b00010000      ; H ....
            .byte   0b00000100      ; I ..
            .byte   0b00010111      ; J .---
            .byte   0b00001101      ; K -.-
            .byte   0b00010100      ; L .-..
            .byte   0b00000111      ; M --
            .byte   0b00000110      ; N -.
            .byte   0b00001111      ; O ---
            .byte   0b00010110      ; P .--.
            .byte   0b00011101      ; Q --.-
            .byte   0b00001010      ; R .-.
            .byte   0b00001000      ; S ...
            .byte   0b00000011      ; T -
            .byte   0b00001001      ; U ..-
            .byte   0b00010001      ; V ...-
            .byte   0b00001011      ; W .--
            .byte   0b00011001      ; X -..-
            .byte   0b00011011      ; Y -.--
            .byte   0b00011100      ; Z --..
```

CRITERIO DE CORRECCIÓN

Definiciones e inicialización (main): 20%

ISR: 80%