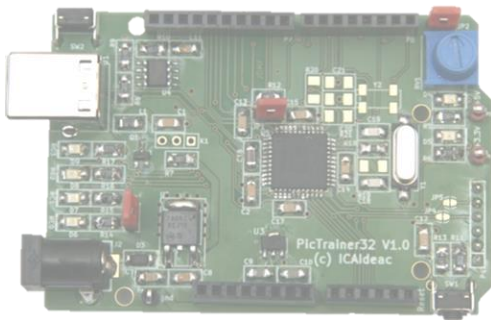


Microprocesadores

# Práctica 4: Programación en ensamblador

Francisco Martín Martínez



Jorge Calvar, Fernando Santana  
1 de febrero de 2021

## Contenido

---

Introducción .....	2
2. Inspección del código máquina generado por el compilador .....	2
2.1 Ejercicio .....	3
Tipo I.....	3
Tipo R .....	3
Tipo J .....	3
3. Ensamblador en línea .....	4
4. Función para generar retardos en ensamblador .....	5
Función Retardo.....	5
Main .....	6
Conclusión.....	7
Anexo .....	8

## Introducción

En esta práctica nos familiarizaremos con los temporizadores del PIC32MX230F064D. También aprenderemos a realizar programas que incluyan otros ficheros .c y a crear archivos de cabecera.

## 2. Inspección del código máquina generado por el compilador

En este apartado vamos a ver cómo inspeccionar el código máquina generado por el compilador. Para ello vamos a partir del programa que enciende el LED RC0 cuando se pulsa el pulsador RB5

```
#include <xc.h>
#define PIN_PULSADOR 5

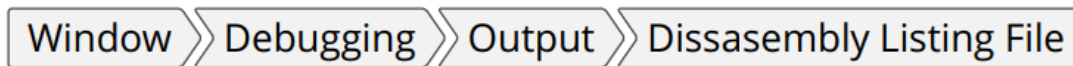
int main(void)
{
    int pulsador;

    TRISC = 0;          // Configuramos todo como output
    LATC = 0xFFFFE;    // El LED es activo a nivel bajo
    TRISB = 1 << PIN_PULSADOR;    // Pin de pulsador como input

    while (1)
    {
        // Se lee el estado del pulsador
        pulsador = (PORTB >> PIN_PULSADOR) & 1;
        if (pulsador == 0)
        {
            LATC &= ~1;
        }
        else
        {
            LATC |= 1;
        }
    }
}
```

## 2.1 Ejercicio

Compilamos el programa en modo debug y mostramos el código máquina de la siguiente forma:

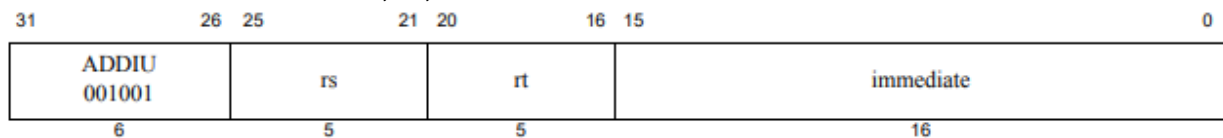


El código máquina se encuentra anexo al final del documento.

A continuación analizaremos una instrucción de cada tipo

### Tipo I

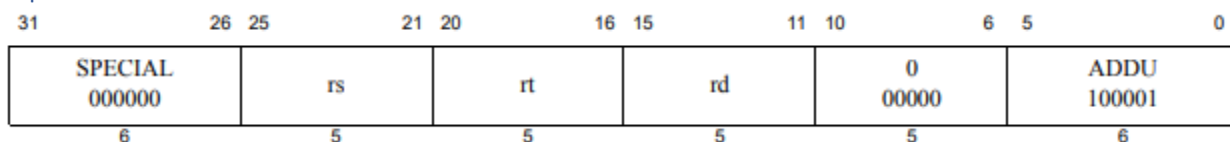
9D000194 27BDFFF0 ADDIU SP, SP, -16



Suma -16 al registro del puntero a la pila. Aunque solo queremos mover cuatro posiciones cada *word* tiene 4 bytes, al ser el PIC32 de 32 bits, tal y como explica su nombre.

### Tipo R

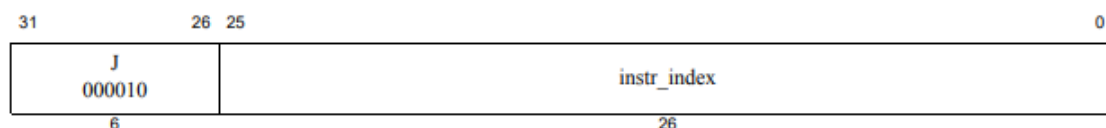
9D0002EC 03A0F021 ADDU FP, SP, ZERO



Esta instrucción copia en *Frame Pointer* el contenido del registro del *Stack Pointer*. Se trate de una instrucción de tipo R ya que recibe tres direcciones de registros en su entrada.

### Tipo J

9D00023C 0B400081 J 0x9D000204



Salto incondicional a la dirección de la instrucción donde empieza el bucle de scan, es decir, while(1). Es de tipo J al recibir solo un inmediato.

### 3. Ensamblador en línea

El compilador no optimiza al máximo al generar el código máquina a partir del código en C. Si queremos optimizar los tiempos para ahorrar ciclos de reloj podemos usar el ensamblador en línea recodificando las instrucciones manualmente. Otra opción sería adquirir la versión PRO del compilador XC32, que cuesta 24,60€ al mes.

A continuación, se recodifica el programa expuesto en el ejercicio 3

```
#include <xc.h>
#define PIN_PULSADOR 5

int main(void)
{
    int pulsador;

    TRISC = 0; // Configuramos todo como output
    LATC = 1; // El LED es activo a nivel bajo
    TRISB = 1 << PIN_PULSADOR; // Pin de pulsador como input

    while(1){
        // Se lee el estado del pulsador
        pulsador = (PORTB>>PIN_PULSADOR) & 1;
        if(pulsador == 0){
            //LATC &= ~1;
            asm(" lui $v0, 0xBF88"); //0xBF88 = -16504
            asm(" lw $v1, 25136($v0)");
            asm(" addiu $a0, $0, -2");
            asm(" and $v1, $v1, $a0");
            asm(" sw $v1, 25136($v0)");

        }else{
            LATC |= 1;
        }
    }
}
```

## 4. Función para generar retardos en ensamblador

Se va a escribir una función que genere un retardo con el temporizador 2 utilizando el siguiente encabezado:

### Función Retardo

```
/*  
 * File: Retardo.h  
 * Author: Jorge & Fernando  
 *  
 * Created on February 5, 2020  
 */  
int Retardo (uint16_t retardo_ms);
```

En este caso, hemos aprovechado que todos los retardos son múltiplos de 1 ms para que el temporizador siempre tenga 1 ms de periodo y lo utilizaremos varias veces hasta conseguir el retardo deseado.

En concreto, la función en ensamblador sigue realiza los siguientes pasos:

1. Comprueba si el retardo es 0, en cuyo caso la función devolverá directamente un 0.
2. A continuación, se inicializa el temporizador, configurando T2CON, el bit correspondiente de IFS0 y TMR a 0. Y el periodo a 4999, lo que corresponde con 1 ms.
3. Encendemos el temporizador activando el bit 15 de T2CON.
4. Entramos en un bucle y esperamos tantas veces a que termine el temporizador como milisegundos hay que esperar.
5. Paramos el temporizador (T2CON = 0) y devolvemos un 0.

```
#include <xc.h>  
  
.text # sección de código  
  
# Se define el nombre de la función global para poder llamarla desde  
C  
.global Retardo  
.ent Retardo # Introduce el símbolo Retardo en el código para  
depuración  
  
Retardo:  
    addi v0, zero, 0  
    # Se recibe el periodo en ms en a0  
    beq a0, zero, Fin0 # return 0 si periodo == 0  
  
    # T2CON = 0  
    la t1, T2CON  
    sw zero, 0(t1)  
    # IFS0bits.T2IF = 0  
    la t4, IFS0  
    addi t9, zero, 0x200 # t9 = 1 << 9  
    nor t9, t9, zero     # t9 = not (1<<9)  
    lw t0, 0(t4)  
    and t0, t0, t9       # IFS0 &= ~(1<<9)
```

```

    sw t0, 0(t4)
    la t2, TMR2          # TMR2 = 0
    sw zero, 0(t2)

    # PR2 = 4999
    addi t0, zero, 4999
    la t3, PR2
    sw t0, 0(t3)

    # Encendemos
    addi t0, zero, 0x8000
    sw t0, 0(t1)          # T2CON = 1<<15

Buc:   beqz a0, FBuc
    addi t9, zero, 0x200 # t9 = 1 << 9
    nor t9, t9, zero     # t9 = not (1<<9)
    lw t0, 0(t4)
    and t0, t0, t9        # IFS0 &= ~(1<<9)
    sw t0, 0(t4)
    sw zero, 0(t2)        # TMR2 = 0

    # Esperamos 1ms
Esp:   lw t0, 0(t4)        # t0 = IFS0
    andi t0, t0, 0x200    # t0 = IFS0 & (1<<9)
    beqz t0, Esp
    nop
    addi a0, a0, -1
    j Buc
    nop

    # T2CON = 0
FBuc:  sw zero, 0(t1)
    j Fin0
    nop

Fin1:  addi v0, zero, 1
Fin0:  jr ra

.end Retardo

```

## Main

Finalmente se crea un main para probar la función. El programa cambia el estado del LED RC0, que inicialmente esta apagado, cada 500ms. Es decir, el LED parpadea con una frecuencia de 1Hz.

```

/*
 * File:    main4.c
 * Author:  Jorge & Fernando
 *
 * Created on February 5, 2020
 */

#include <xc.h>
#include "Pic32Ini.h"
#include "retardo.h"

```

```
#define PIN_LED 0

int main(void) {

    InicializarReloj();

    // Pines del LED como digital
    ANSEL0 &= ~(1 << PIN_LED);
    LATA = 0; // En el arranque dejamos todas las salidas a 0
    LATB = 0;
    LATC = 0xF; //apagados al empezar

    // Como salidas
    TRISA = 0;
    TRISB = 0;
    TRISC = 0;
    while(1) {
        Retardo(1000); //0.5s para que la frecuencia de parpadeo = 1Hz
        LATC ^= 1 << PIN_LED; // Se invierte el LED
    }
}
```

## Conclusión

En esta práctica hemos aprendido a:

- Generar un listado en ensamblador de un programa en C para ver el código generado por el compilador.
- Insertar instrucciones en ensamblador en línea dentro de un programa en C
- Escribir funciones en ensamblador para ser llamadas desde C.



## Anexo

El archivo consta de tres columnas: la primera contiene o bien el número de línea del código fuente en C o bien la dirección de la instrucción de código máquina. La segunda columna contiene el código máquina y la tercera o bien la instrucción en C o bien la instrucción en ensamblador.

```

1:                                     #include <xc.h>
2:                                     #define PIN_PULSADOR 5
3:
4:                                     int main(void)
5:                                     {
9D0001D8  27BDDFF0  ADDIU SP, SP, -16
9D0001DC  AFBE000C  SW FP, 12(SP)
9D0001E0  03A0F021  ADDU FP, SP, ZERO
6:                                     int pulsador;
7:
8:                                     TRISC = 0; // Configuramos todo como output
9D0001E4  3C02BF88  LUI V0, -16504
9D0001E8  AC406210  SW ZERO, 25104(V0)
9:                                     LATC = 1; // El LED es activo a nivel bajo
9D0001EC  3C02BF88  LUI V0, -16504
9D0001F0  24030001  ADDIU V1, ZERO, 1
9D0001F4  AC436230  SW V1, 25136(V0)
10:                                     TRISB = 1 << PIN_PULSADOR; // Pin de pulsador como
input
9D0001F8  3C02BF88  LUI V0, -16504
9D0001FC  24030020  ADDIU V1, ZERO, 32
9D000200  AC436110  SW V1, 24848(V0)
11:
12:                                     while(1){
13:                                     // Se lee el estado del pulsador
14:                                     pulsador = (PORTB>>PIN_PULSADOR) & 1;
9D000204  3C02BF88  LUI V0, -16504
9D000208  8C426120  LW V0, 24864(V0)
9D00020C  00021142  SRL V0, V0, 5
9D000210  30420001  ANDI V0, V0, 1
9D000214  AFC20000  SW V0, 0(FP)
15:                                     if(pulsador == 0){
9D000218  8FC20000  LW V0, 0(FP)
9D00021C  14400009  BNE V0, ZERO, 0x9D000244
9D000220  00000000  NOP
16:                                     LATC &= ~1;
9D000224  3C02BF88  LUI V0, -16504
9D000228  8C426230  LW V0, 25136(V0)
9D00022C  2404FFFE  ADDIU A0, ZERO, -2
9D000230  00441824  AND V1, V0, A0
9D000234  3C02BF88  LUI V0, -16504
9D000238  AC436230  SW V1, 25136(V0)
17:                                     }else{
18:                                     LATC |= 1;
9D000244  3C02BF88  LUI V0, -16504
9D000248  8C426230  LW V0, 25136(V0)
9D00024C  34430001  ORI V1, V0, 1
9D000250  3C02BF88  LUI V0, -16504
9D000254  AC436230  SW V1, 25136(V0)
19:                                     }

```

```
20:                                     }  
9D00023C  0B400081  J  0x9D000204  
9D000240  00000000  NOP  
9D000258  0B400081  J  0x9D000204  
9D00025C  00000000  NOP  
21:  
22:                                     }
```