Microcontroladores

Profesor: Kalun José Lau Gan

Semestre 2023-2

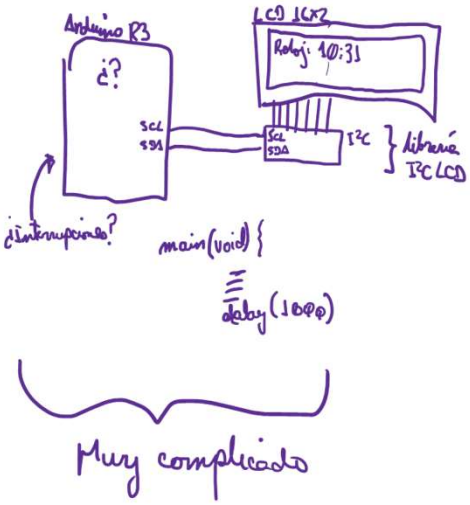
Semana 9

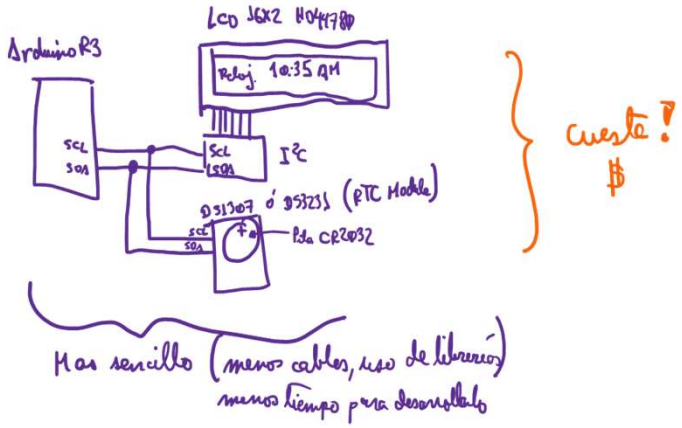
¿Preguntas previas?

- El hecho de usar C lo hace mas fácil?
  - El proceso de diseño es el mismo tanto para lenguaje Assembler como en lenguaje C, se tiene que implementar primero el hardware, desarrollar el algoritmo y finalmente aterrizar el algoritmo en un lenguaje de programación.
  - El lenguaje XC se va a permitir el uso de librerías y funciones especializadas, además de manejar mejor las operaciones matemáticas y manipulación de datos

Quiero hacer un reloj, pero solo se desarrollar aplicaciones con Arduino

- El reloj debe de ser preciso



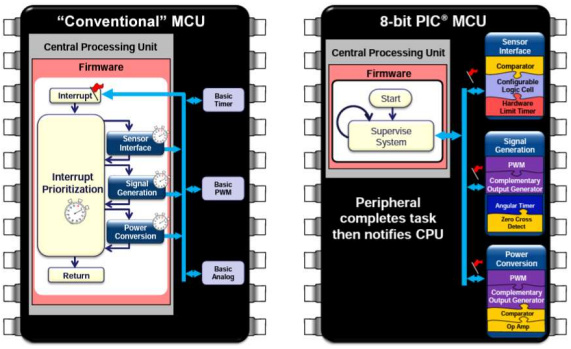


Agenda

- Tecnología de periféricos independientes de Microchip
- Lenguajes de alto nivel en el desarrollo con microcontroladores
  - El XC8 de Microchip
- Herramientas de apoyo al desarrollo
  - MPLAB Xpress
  - MCC
- Mi primer proyecto en lenguaje XC8 de alto nivel en el MPLAB X IDE
- Uso del LCD alfanumérico 16x2 HD44780
- El conversor ADC del PIC18F57Q43
- El conversor DAC del PIC18F57Q43

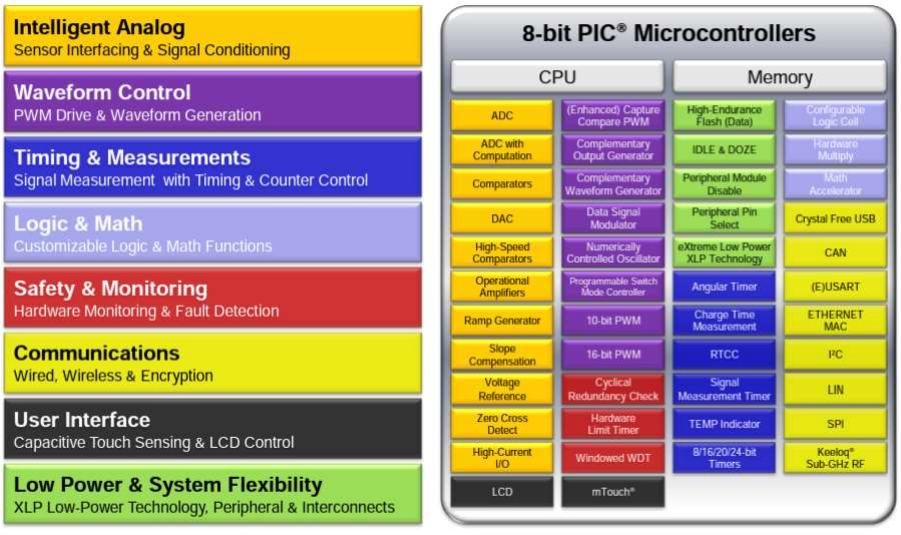
Tecnología de Periféricos Independientes (Core-Independent Peripherals – CIP)

- Independizando el funcionamiento de los periféricos en el microcontrolador se logra un mejor rendimiento del CPU
- Los periféricos independientes administran sus tareas sin código ni supervisión del CPU para mantener su funcionamiento



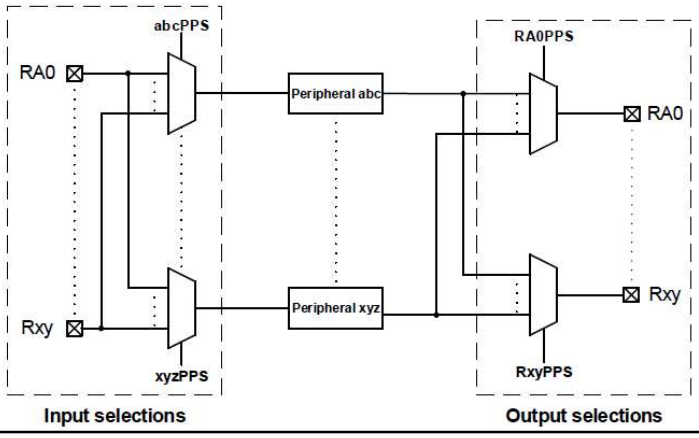
Tecnología de Periféricos Independientes (Core-Independent Peripherals – CIP)

- Dependiendo del modelo y familia el microcontrolador tendrá un conjunto de periféricos CIP
- Los CIPs poseen conexiones adicionales con otros CIP para lograr la independencia del CPU
- Estos CIP se apoyan en el sistema de interconexión de pines (PPS)



El PPS en el PIC18F57Q43

- Referencia: capítulo 21 del datasheet
- Sistema de asignación personalizada de señales de E/S desde o hacia los periféricos.
- Tener en consideración las tablas 21-1 (PPS Inputs) y 21-2 (PPS Outputs) para las asignaciones por defecto y el alcance de la personalización



Panorama de los lenguajes de alto nivel para microcontroladores

Cada dispositivo microcontrolador tendrá sus propias plataformas de lenguaje de programación.

Va a depender del desarrollador del lenguaje de alto nivel para determinado microcontrolador (No todos los desarrolladores soportan todos los dispositivos de un fabricante)

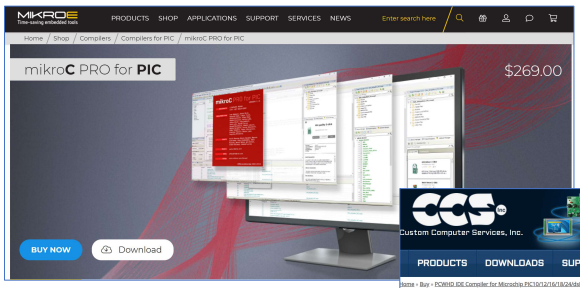
Hay varias compañías que desarrollan lenguajes de alto nivel para un microcontrolador.

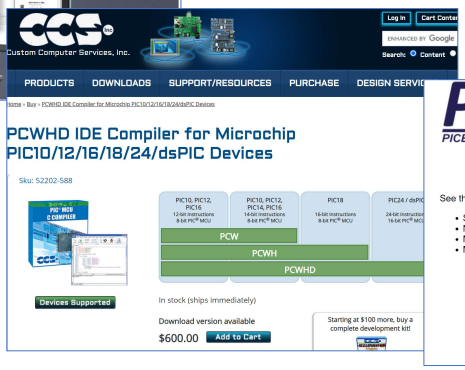
Problema de compatibilidad entre distintas plataformas de desarrollo aún empleando un mismo lenguaje.

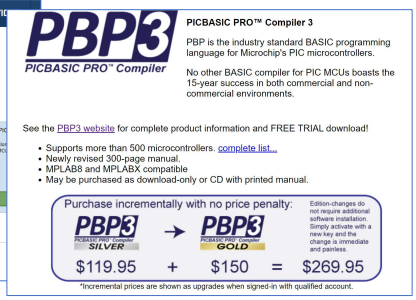
- Basic
- C
- Java (muy poco utilizado y soportado)
- Python (Rpi Pico y el ESP32)

Panorama de los lenguajes de alto nivel para microcontroladores

- Los compiladores de lenguajes de alto nivel (de terceros) mas empleados en la actualidad.
- Estas empresas ofrecen versiones DEMO para que el usuario pueda probar las bondades de cada uno.
- Cada empresa ofrece un pack de librerías especializadas para crear aplicaciones con periféricos especializados en el menor tiempo.



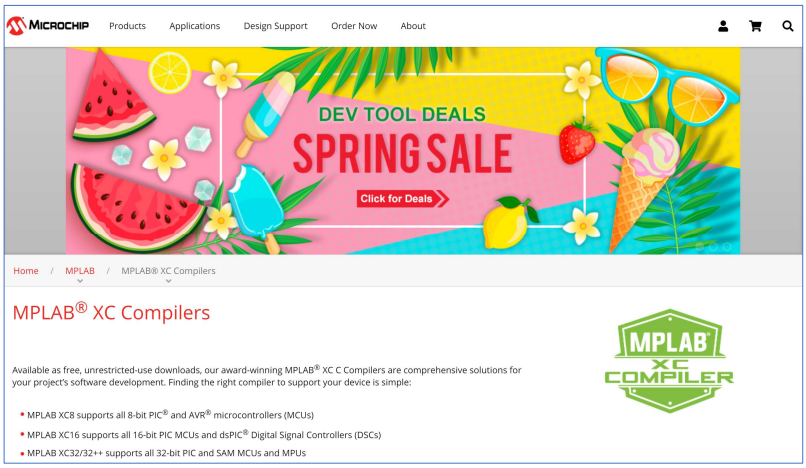




9

El compilador XC de Microchip

- Disponible versión gratis sin límite.
- La versión PRO no es gratis. Provee optimización de código compilado para que ocupe menos espacio.
- Tres versiones:
  - XC8 – PIC10, PIC12, PIC16, PIC18
  - XC16 – PIC24, dsPIC
  - XC32 – PIC32



10

El compilador XC de Microchip

- Los XC8, XC16 y XC32 vienen separados…
- Ej. El bootloader HID para el microcontrolador PIC18F4550 requiere que se compile el código en XC8 PRO para que entre en su memoria.

Part Number: SW006021-DGL - MPLAB XC8 Compiler PRO Dongle License

The MPLAB XC8 is a full-featured, highly-optimized ANSI C compiler for all 8-bit AVR® and PIC® MCUs. This compiler integrates into Microchip's MPLAB(R) X IDE, is compatible with all Microchip debuggers and emulators, and runs on Windows, Linux and Mac OS X.

The dongle license is a USB flash drive that contains a single-user encrypted license. It is a perpetual license and unlocks PRO optimizations for all versions of the MPLAB XC8 compilers, **version 1.41 and later**, and does not include High Priority Access (HPA). The Dongle License allows a user to unlock PRO optimizations on any computer it is plugged into. If lost, the Dongle License can be replaced one time for a processing fee of $200 and the dongle must be registered to the user.

More Info »

Standard Pricing:

Order Quantity	USD per Unit
1+	$1,695.00

In Stock: **9**
Delivery and scheduling options available in the cart

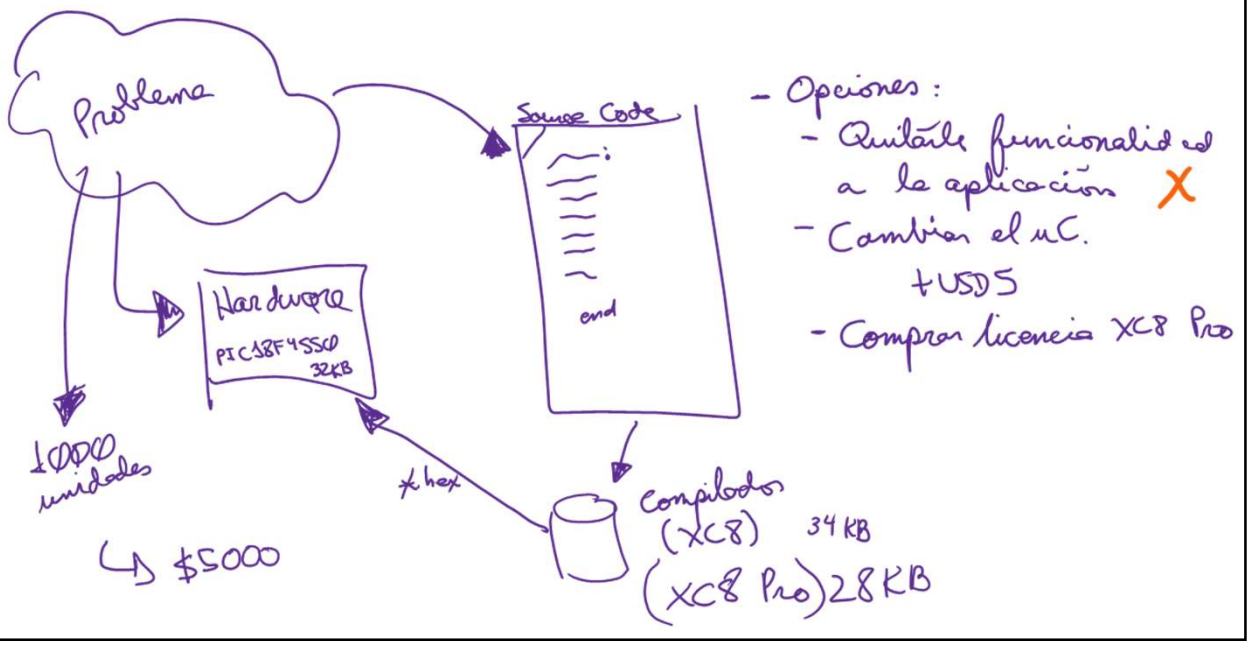
Order now, up to **9** can ship on **20-May-2020**

Lead Time For Additional Quantities
Additional quantities can ship by **11-Aug-2020**

Quantity:

11

Caso:



12

Optimización en el compilador XC

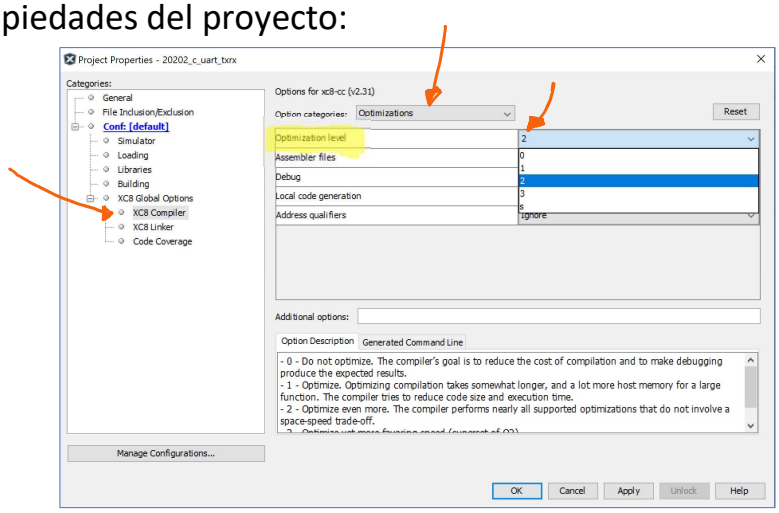
- **Optimization levels:**
  - Level 0: Fastest compilation time, minimal optimizations
  - Level 1: Optimizations with low debugging impact
  - Level 2: All optimizations that give the best balance between speed and size
  - Level 3: Program execution will be as fast as possible
  - Level s: Code size will be as small as possible
- **Where available use:**
  - Use Whole-program and Link-time setting
  - Procedural abstraction

- En la versión gratuita del XC tenemos optimización hasta el nivel 2
- Por defecto el nivel de optimización esta en 0.
- Para acceder al nivel 3 o nivel s requerimos tener la licencia PRO

13

Optimización en el compilador XC

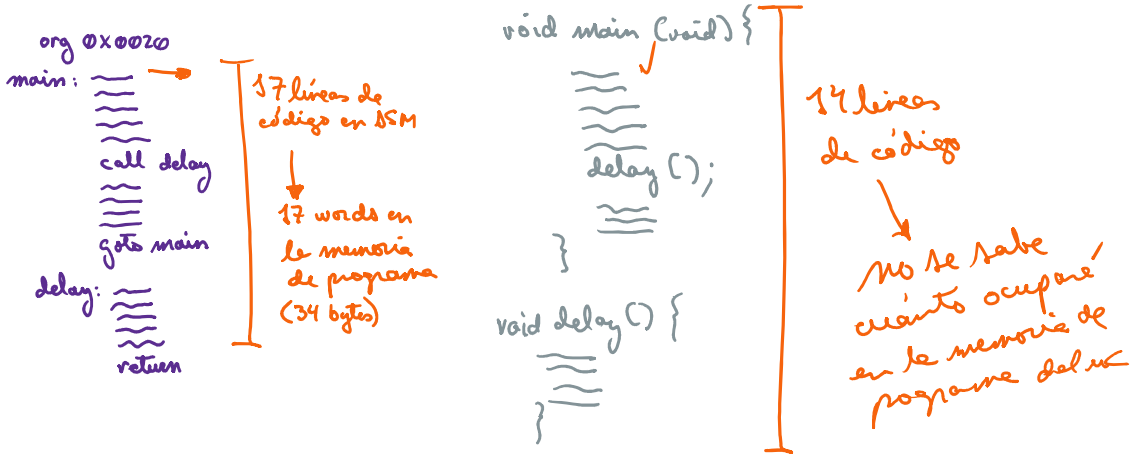
- Para acceder a las opciones de optimización ingresamos a las propiedades del proyecto:



14

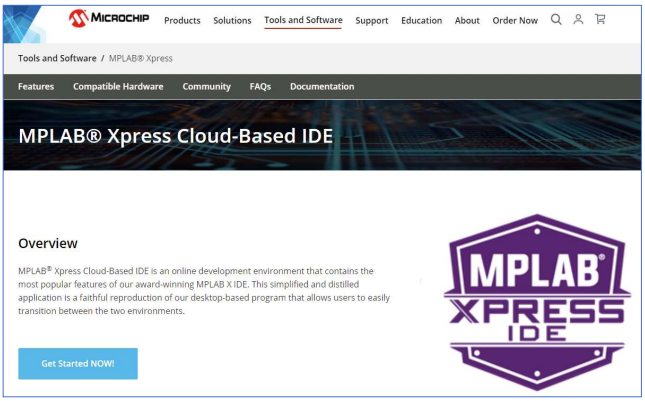
Eficiencia de código en Assembler vs C

¿Por qué Assembler y por qué C?



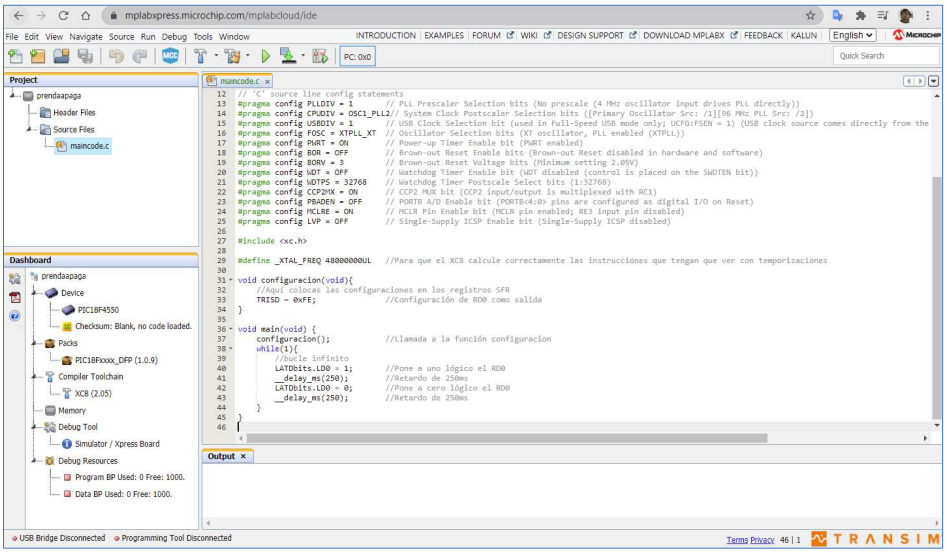
El MPLAB Xpress

- Link: https://www.microchip.com/en-us/development-tools-tools-and-software/mplab-xpress
- Entorno de trabajo online
- Permite realizar proyectos en XC sin tener que instalar el MPLAB X en el computador.



El MPLAB Xpress

- Los proyectos se almacenan en la nube de Microchip
- Soporte solo para algunos modelos de microcontrolador PIC

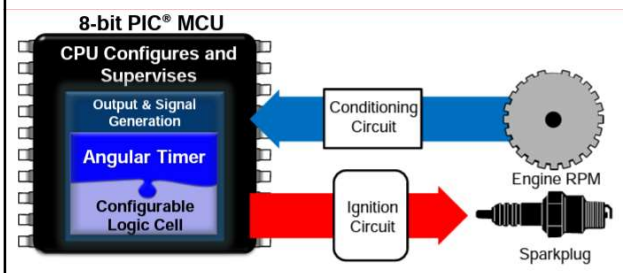


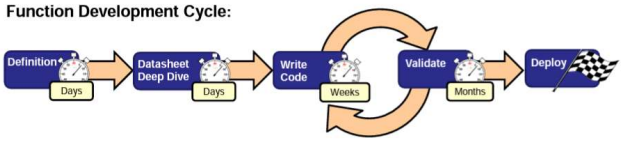
El Microchip Code Configurator (MCC)

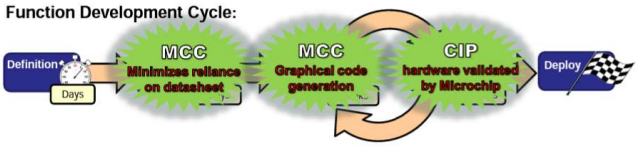
- Entorno de programación/configuración gráfico
- Interface intuitiva para desarrollos rápidos de prototipos
- Configuración automatizada para periféricos y funciones
  - Minimiza el uso de la hoja técnica para configuraciones
  - Reduce el esfuerzo y tiempo dedicado a la configuración

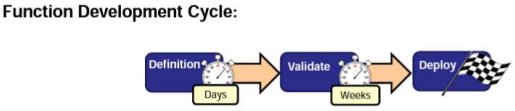
El Microchip Code Configurator (MCC)

- Caso de uso









19

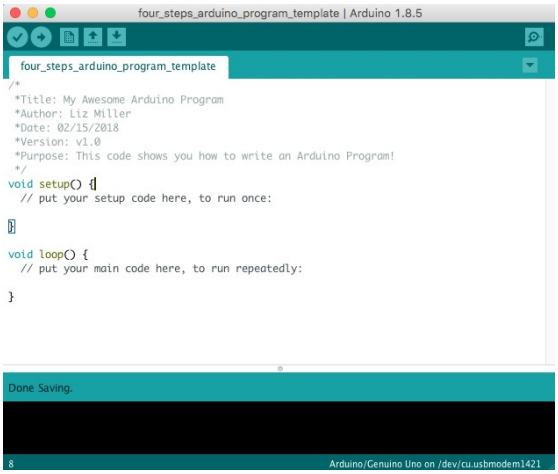
MPLAB X: Creación de un proyecto en XC8 (lenguaje de alto nivel)

- Link del manual de XC8:
  - http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/50002053g.pdf
- Link de descarga del XC8 v2.45:
  - https://www.microchip.com/mplabxc8windows

20

Referencia de plantilla:

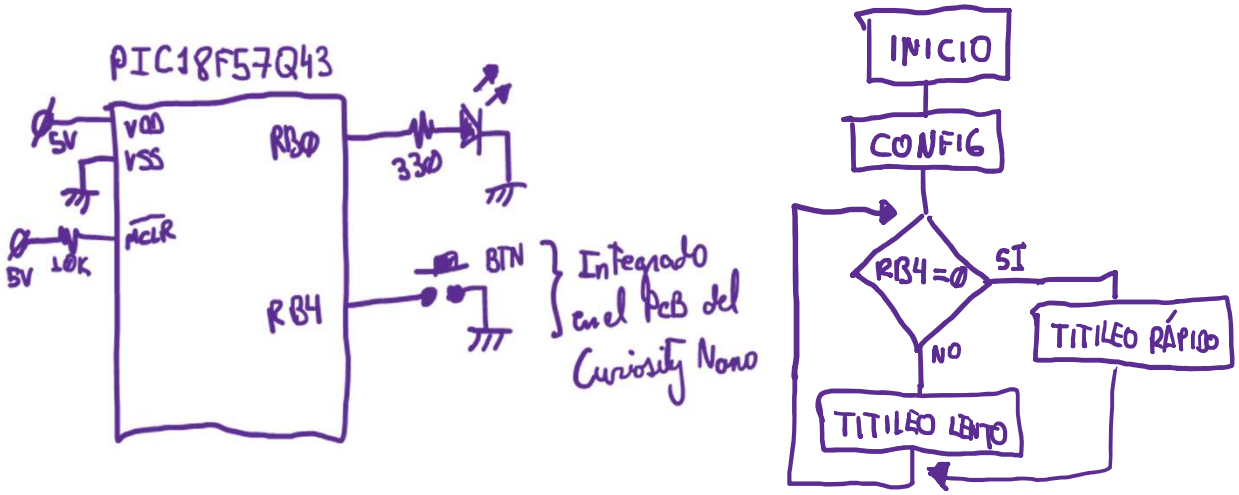
- La plantilla para los códigos en C se ha basado en la plantilla de programas en Arduino IDE:
  - Uso de función setup() donde se coloca los aspectos iniciales de configuración antes de correr el programa de la aplicación. En XC8 crearemos una función similar. Por ejemplo configuración()
  - Uso de función loop() donde se detalla el programa de la aplicación. En XC8 usaremos la función main() donde dentro llamaremos a la función configuración antes de detallar el programa de usuario.



Plantilla de código en XC8:

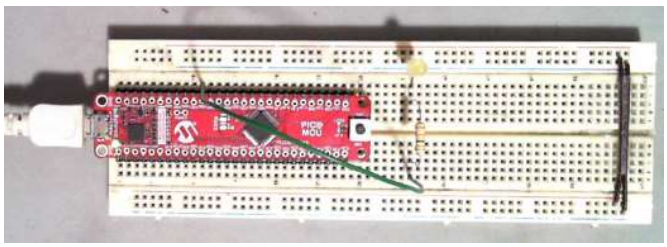
```
#include <xc.h>

#define _XTAL_FREQ 48000000UL   //Frecuencia de trabajo 48MHz

void configuracion(void) {
    //Aqui colocas las configuraciones iniciales
}

void main(void) {
    configuracion();
    while (1) {
        //Tu programa de usuario
    }
}
```

Ejemplo: Titileo de un LED en RB0 con opción de cambio de velocidad con RB4



Ejemplo: Titileo de un LED en RB0 con opción de cambio de velocidad con RB4

- Implementación en físico con el Curiosity Nano PIC18F57Q43



- Bits de configuración modificados:

```
#pragma config FEXTOSC = OFF    // External Oscillator Selection (Oscillator not enabled)
#pragma config PWRTS = PWRT_64  // Power-up timer selection bits (PWRT set at 64ms)
#pragma config BOREN = OFF      // Brown-out Reset Enable bits (Brown-out Reset disabled)
#pragma config LVP = OFF        // Low Voltage Programming Enable bit (HV on MCLR/VPP must be used for programming)
#pragma config WDTE = OFF       // WDT operating mode (WDT Disabled; SWDTEN is ignored)
```

Ejemplo: Titileo de un LED en RB0 con opción de cambio de velocidad con RB4

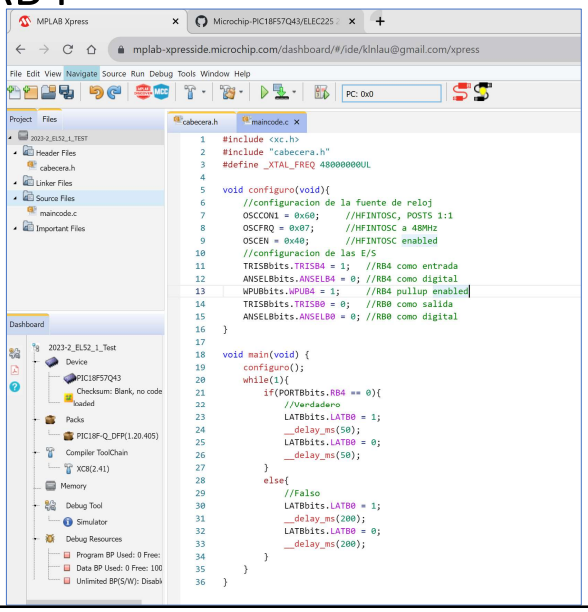
- Código en XC8 (con HFINTOSC a 48MHz)

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <xc.h>
#include "cabecera.h"

#define _XTAL_FREQ 48000000UL

void configuro(void){
    //configuracion del reloj
    OSCCON1 = 0x60;
    OSCFRQ = 0x07;      //HFINTOSC a 48MHz
    OSCEN = 0x40;
    //configuracion de las E/S
    TRISBbits.TRISB0 = 0;    //RB0 como salida
    ANSELBbits.ANSELB0 = 0; //RB0 como digital
    TRISBbits.TRISB4 = 1;    //RB4 como entrada
    ANSELBbits.ANSELB4 = 0; //RB4 como digital
    WPUBbits.WPUB4 = 1;      //RB4 pullup activado
}
```

```c
void main(void){
    configuro();
    while(1){
        if(PORTBbits.RB4 == 0){
            //parpadeo rapido
            LATBbits.LATB0 = 1;      //enciendo LED
            __delay_ms(100);
            LATBbits.LATB0 = 0;      //apago LED
            __delay_ms(100);
        }
        else{
            //parpadeo lento
            LATBbits.LATB0 = 1;      //enciendo LED
            __delay_ms(200);
            LATBbits.LATB0 = 0;      //apago LED
            __delay_ms(200);
        }
    }
}
```


Ejemplo: Titileo de un LED en RB0 con opción de cambio de velocidad con RB4

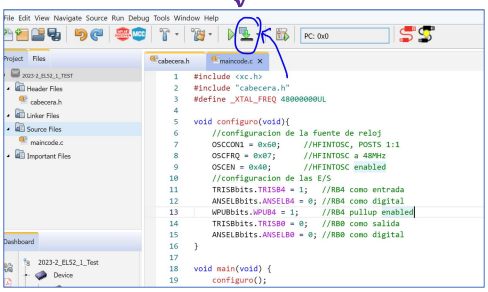
- Procedimiento para implementar este ejemplo utilizando el MPLAB Xpress
  - URL: https://www.mplab-xpresside.microchip.com/
  - Debes de registrarte para crear una cuenta dentro de dicha plataforma
  - Seguir las mismas indicaciones para crear un proyecto como en el MPLABX



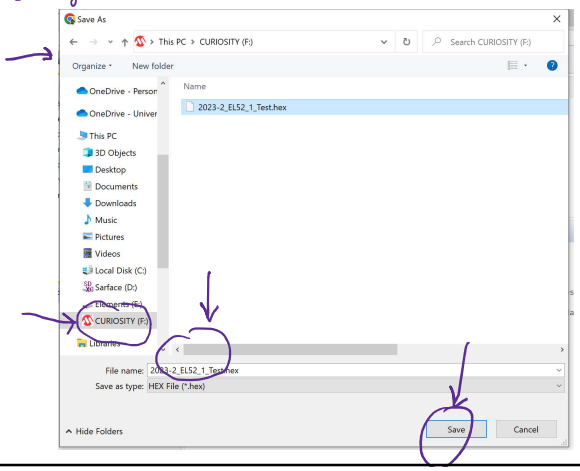
Ejemplo: Titileo de un LED en RB0 con opción de cambio de velocidad con RB4

- Procedimiento para implementar este ejemplo utilizando el MPLAB Xpress

1º Presionas el boton "Make and Program Device"

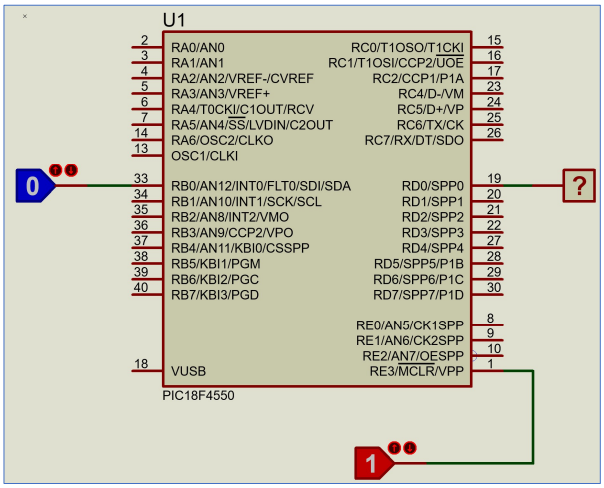


2. Se abrirá una ventana de exploración de archivos
3: Conectar el Curiosity Nano a la PC
4: Aparecerá una unidad de disco "Curiosity"
5: Escoger dicha unidad para grabar el archivo Hex

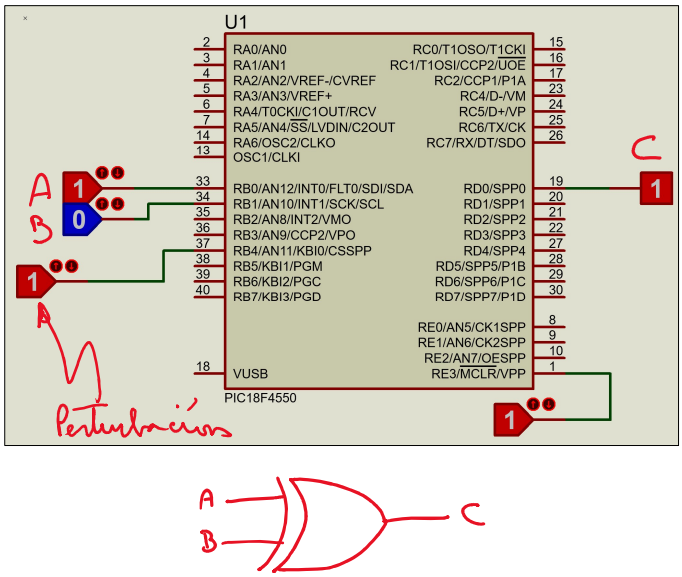


Ejemplo en XC8: Negador lógico de un bit

```
#include <xc.h>
#define _XTAL_FREQ 48000000UL

void init_conf(void){
    //Aca colocaremos las configuraciones iniciales de la aplicacion
    //TRISDbits.RD0 = 0;          // RD0 como salida
    asm("bcf TRISD, 0");          // Escribiendo instrucciones en mpasm
}

void main(void) {
    init_conf();
    while(1){
        if (PORTBbits.RB0 == 1) {
            LATDbits.LD0 = 0;
        }
        else{
            LATDbits.LD0 = 1;
        }
    }
}
```



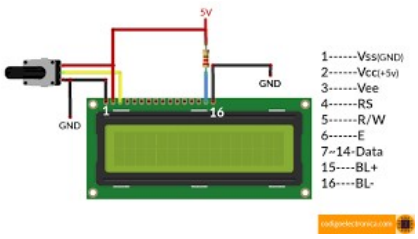
Ejemplo en XC8: Compuerta XOR




```
28  void configuracion(void) {
29      TRISDbits.RD0 = 0;          //Puerto RD0 como salida
30  }
31
32  void main(void) {
33      configuracion();
34      while(1) {
35          //Bucle infinito
36          //Con switch-case
37          switch (PORTB & 0x03) {
38              case 0x00:
39                  LATDbits.LD0 = 0;
40                  break;
41              case 0x01:
42                  LATDbits.LD0 = 1;
43                  break;
44              case 0x02:
45                  LATDbits.LD0 = 1;
46                  break;
47              case 0x03:
48                  LATDbits.LD0 = 0;
49                  break;
50          }
51      }
52  }
```


El LCD alfanumérico HD44780

- Basado en el controlador Hitachi HD44780A
- Diferentes tamaños, desde 1x8 hasta 4x40
- Interface paralela de datos (4 ó 8 bits)
- Tiene control de contraste y luz de fondo
- Posee un ROM de caracteres predefinidos



El LCD alfanumérico HD44780

- ROM de caracteres:
  - Muy similar al código ASCII en 7 bits
  - El símbolo de grado (°) en ASCII es Alt+0167, en el ROM de caracteres del HD44780 es 0xDF
  - El símbolo "ñ" en ASCII es Alt+164, en el ROM de caracteres del HD44780 es 0xEE
  - Capacidad de ocho caracteres personalizados (CGRAM 0x00-0x07)

El LCD alfanumérico HD44780

- Tabla de caracteres ASCII de 7 bits

Dec	Hx	Oct	Char	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr
0	0	000	NUL (null)	32	20	040		Space	64	40	100	@	@	96	60	140	`	`
1	1	001	SOH (start of heading)	33	21	041	!	!	65	41	101	A	A	97	61	141	a	a
2	2	002	STX (start of text)	34	22	042	"	"	66	42	102	B	B	98	62	142	b	b
3	3	003	ETX (end of text)	35	23	043	#	#	67	43	103	C	C	99	63	143	c	c
4	4	004	EOT (end of transmission)	36	24	044	$	$	68	44	104	D	D	100	64	144	d	d
5	5	005	ENQ (enquiry)	37	25	045	%	%	69	45	105	E	E	101	65	145	e	e
6	6	006	ACK (acknowledge)	38	26	046	&	&	70	46	106	F	F	102	66	146	f	f
7	7	007	BEL (bell)	39	27	047	'	'	71	47	107	G	G	103	67	147	g	g
8	8	010	BS (backspace)	40	28	050	(	(	72	48	110	H	H	104	68	150	h	h
9	9	011	TAB (horizontal tab)	41	29	051	)	)	73	49	111	I	I	105	69	151	i	i
10	A	012	LF (NL line feed, new line)	42	2A	052	*	*	74	4A	112	J	J	106	6A	152	j	j
11	B	013	VT (vertical tab)	43	2B	053	+	+	75	4B	113	K	K	107	6B	153	k	k
12	C	014	FF (NP form feed, new page)	44	2C	054	,	,	76	4C	114	L	L	108	6C	154	l	l
13	D	015	CR (carriage return)	45	2D	055	-	-	77	4D	115	M	M	109	6D	155	m	m
14	E	016	SO (shift out)	46	2E	056	.	.	78	4E	116	N	N	110	6E	156	n	n
15	F	017	SI (shift in)	47	2F	057	/	/	79	4F	117	O	O	111	6F	157	o	o
16	10	020	DLE (data link escape)	48	30	060	0	0	80	50	120	P	P	112	70	160	p	p
17	11	021	DC1 (device control 1)	49	31	061	1	1	81	51	121	Q	Q	113	71	161	q	q
18	12	022	DC2 (device control 2)	50	32	062	2	2	82	52	122	R	R	114	72	162	r	r
19	13	023	DC3 (device control 3)	51	33	063	3	3	83	53	123	S	S	115	73	163	s	s
20	14	024	DC4 (device control 4)	52	34	064	4	4	84	54	124	T	T	116	74	164	t	t
21	15	025	NAK (negative acknowledge)	53	35	065	5	5	85	55	125	U	U	117	75	165	u	u
22	16	026	SYN (synchronous idle)	54	36	066	6	6	86	56	126	V	V	118	76	166	v	v
23	17	027	ETB (end of trans. block)	55	37	067	7	7	87	57	127	W	W	119	77	167	w	w
24	18	030	CAN (cancel)	56	38	070	8	8	88	58	130	X	X	120	78	170	x	x
25	19	031	EM (end of medium)	57	39	071	9	9	89	59	131	Y	Y	121	79	171	y	y
26	1A	032	SUB (substitute)	58	3A	072	:	:	90	5A	132	Z	Z	122	7A	172	z	z
27	1B	033	ESC (escape)	59	3B	073	;	;	91	5B	133	[	[	123	7B	173	{	{
28	1C	034	FS (file separator)	60	3C	074	<	<	92	5C	134	\	\	124	7C	174			|
29	1D	035	GS (group separator)	61	3D	075	=	=	93	5D	135	]	]	125	7D	175	}	}
30	1E	036	RS (record separator)	62	3E	076	>	>	94	5E	136	^	^	126	7E	176	~	~
31	1F	037	US (unit separator)	63	3F	077	?	?	95	5F	137	_	_	127	7F	177	&#127;	DEL

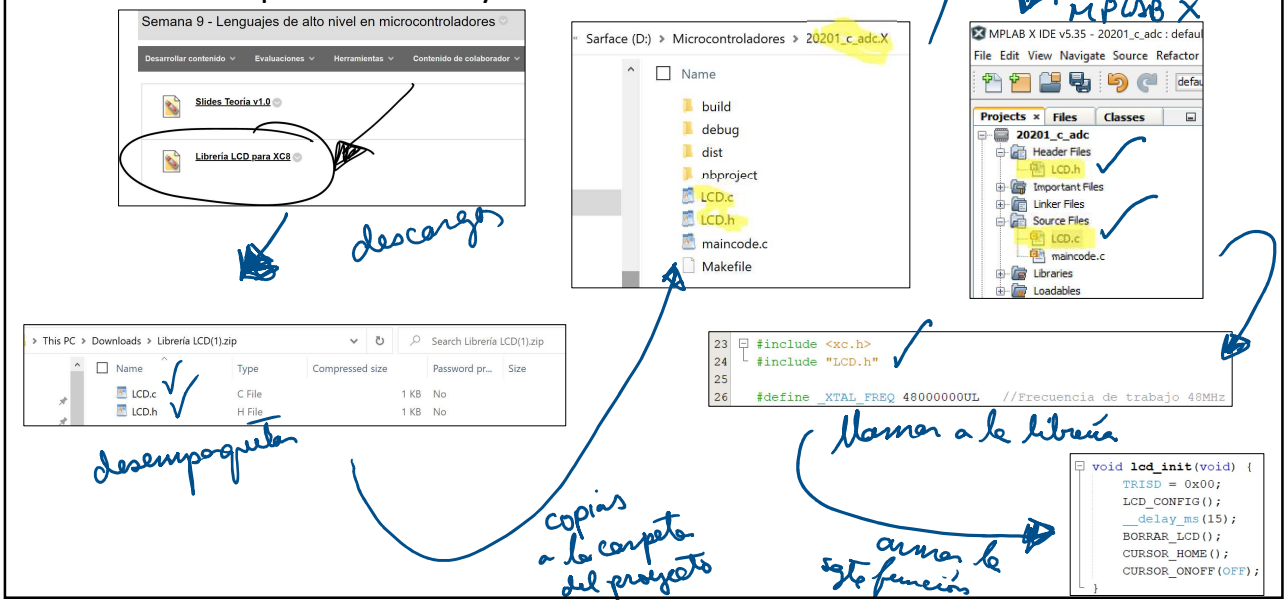
Source: www.LookupTables.com

El LCD alfanumérico HD44780

- Referencia: Hoja técnica del HD44780
  - http://academy.cba.mit.edu/classes/output_devices/44780.pdf
- Para trabajar con el display se ha creado una librería de comandos (desarrollado por Sergio Salas y Kalun Lau) en la cual posee las siguientes características:
  - Interface de 4 bits
  - Comandos para: Limpiar pantalla, ocultar cursor, pasar de línea, caracteres personalizados, etc.
  - Puerto D empleado (RD0→RS, RD1→RW, RD2→E, RD4→D4, RD5→D5, RD6→D6, RD7→D7)
  - Tener en cuenta FOSC especificado dentro de la librería (4MHz)
- Video de manipulación de LCD sin microcontrolador:
  - https://www.youtube.com/watch?v=cXpeTxC3_A4

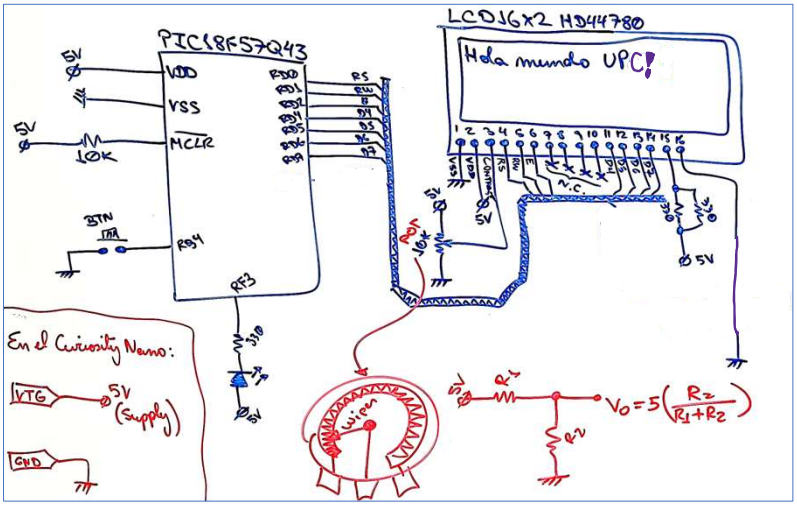
Uso del LCD en XC8 (librería S_SAL)

- Crear primero el Proyecto en el MPLABX



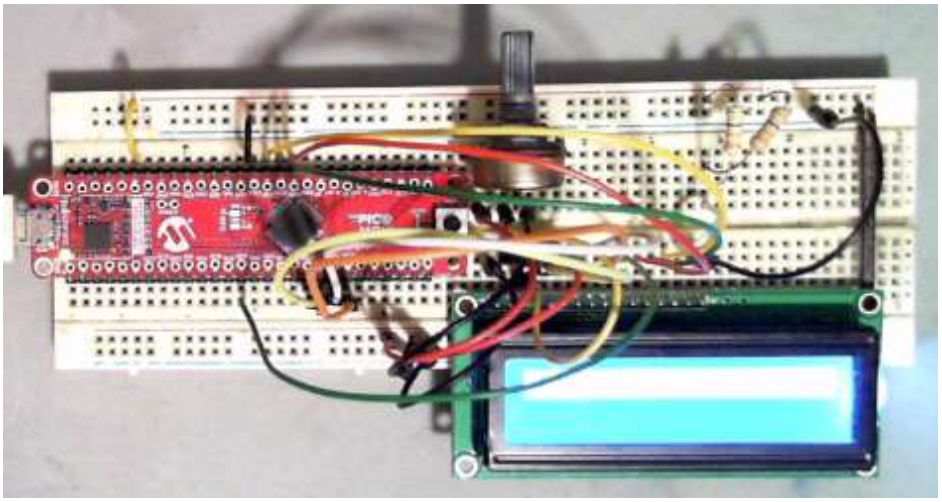
Ejemplo: Visualizar “Hola mundo UPC!” en el LCD

- Hardware



Ejemplo: Visualizar “Hola mundo UPC!” en el LCD

- Hardware



Ejemplo: Visualizar “Hola mundo UPC!” en el LCD

- Se ha agregado un mensaje adicional en la segunda línea del LCD
- Tener en cuenta que se está trabajando a 48MHz como fuente de reloj al CPU
- Revisar si la librería del LCD también se encuentre el _XTAL_FREQ a 48MHz

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <xc.h>
#include "cabecera.h"
#include "LCD.h"
#define _XTAL_FREQ 48000000UL

void configuro(void){
    //configuracion del reloj
    OSCCON1 = 0x60;
    OSCFRQ = 0x07;      //HFINTOSC a 48MHz
    OSCEN = 0x40;
    //configuracion de las E/S
}

void lcd_init(void){
    TRISD = 0x00;
    ANSELD = 0x00;
    LCD_CONFIG();
    __delay_ms(15);
    BORRAR_LCD();
    CURSOR_HOME();
    CURSOR_ONOFF(OFF);
}

void main(void){
    configuro();
    lcd_init();
    POS_CURSOR(1,0);
    ESCRIBE_MENSAJE("Hola mundo UPC!",15);
    POS_CURSOR(2,0);
    ESCRIBE_MENSAJE("Kalun Lau Gan",13);
    while(1){
        //aqui va el codigo de la aplicacion
    }
}
```


Juntando ambos ejemplos (titileo de LED e impresión de mensajes en el LCD)

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <xc.h>
#include "cabecera.h"
#include "LCD.h"
#define _XTAL_FREQ 48000000UL

void configuro(void){
    //configuracion del reloj
    OSCCON1 = 0x60;
    OSCFRQ = 0x07;      //HFINTOSC a 48MHz
    OSCEN = 0x40;
    //configuracion de las E/S
    TRISFbits.TRISF3 = 0;   //RF3 como salida
    ANSELFbits.ANSELF3 = 0; //RF3 como digital
    TRISBbits.TRISB4 = 1;   //RB4 como entrada
    ANSELBbits.ANSELB4 = 0; //RB4 como digital
    WPUBbits.WPUB4 = 1;     //RB4 pullup activado
}

void lcd_init(void){
    TRISD = 0x00;
    ANSELD = 0x00;
    LCD_CONFIG();
    __delay_ms(15);
    BORRAR_LCD();
    CURSOR_HOME();
    CURSOR_ONOFF(OFF);
}
```

```c
void main(void){
    configuro();
    lcd_init();
    POS_CURSOR(1,0);
    ESCRIBE_MENSAJE("Kalun Lau Gan",13);
    while(1){
        //aqui va el codigo de la aplicacion
        if(PORTBbits.RB4 == 0){
            POS_CURSOR(2,0);
            ESCRIBE_MENSAJE("Parpadeo rapido",15);
            //parpadeo rapido
            LATFbits.LATF3 = 1;     //enciendo LED
            __delay_ms(100);
            LATFbits.LATF3 = 0;     //apago LED
            __delay_ms(100);
        }
        else{
            POS_CURSOR(2,0);
            ESCRIBE_MENSAJE("Parpadeo lento ",15);
            //parpadeo lento
            LATFbits.LATF3 = 1;     //enciendo LED
            __delay_ms(200);
            LATFbits.LATF3 = 0;     //apago LED
            __delay_ms(200);
        }
    }
}
```

Conversor A/D

Revisar Capítulo 40 del datasheet

- Resolución:
- Cantidad de canales analógicos:
- Tiempo de adquisición:
- Rango de voltaje de entrada:
- ¿Cuáles son los valores límites de Vref+ y Vref-?
- Proceso de adquisición de una señal analógica
- ¿Interviene el teorema de muestreo?
- ¿Hay interrupciones?

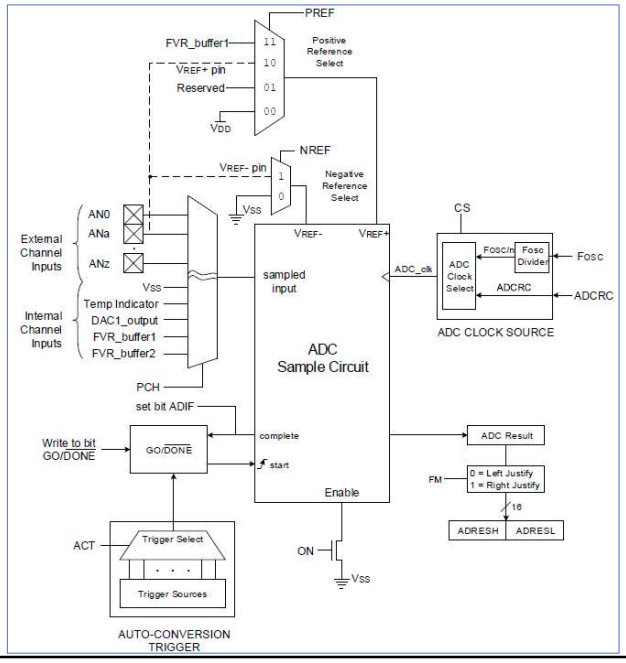
39

Conversor A/D

- Resolución: 12bits (ADRESH:ADRESL)
  - Posee un bit ADFM (justificación del resultado)
- Cantidad de canales analógicos: 43
- Se lee un canal analógico a la vez
- ¿Interviene el teorema de muestreo? Si.
- Rango máximo de voltaje de entrada por canal: 0-5V? (Vref+ = VDD, Vref- = VSS)
- Proceso de adquisición de una señal analógica (ver datasheet)
- ¿Hay interrupciones? Si. (ADIE, ADIF)

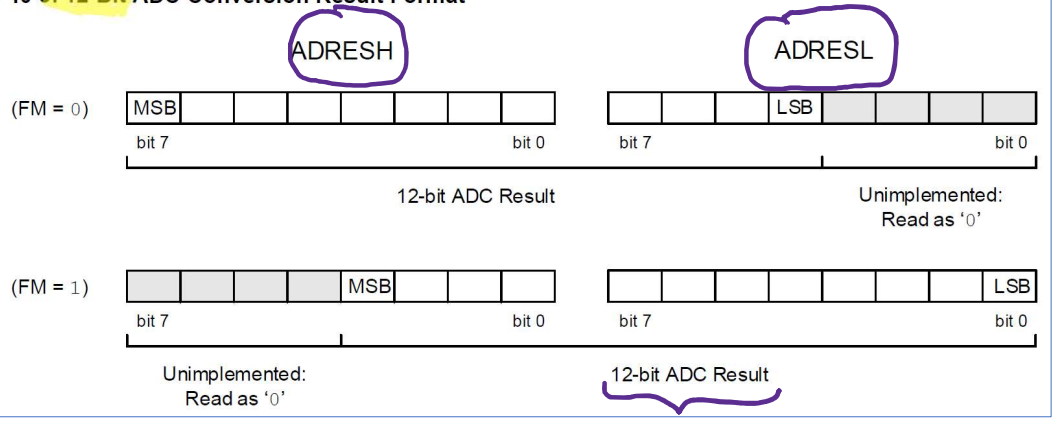
40

Conversor A/D: Diagrama de bloques



Conversor A/D: Justificación del resultado

Figure 40-3. 12-Bit ADC Conversion Result Format




```
unsigned int lectura = 0;   //lectura es una variable de 16 bits
lectura = (ADRESH << 8) + ADRESL
```

Conversor A/D: Registros

Address	Name	Bit Pos.	7	6	5	4	3	2	1	0
0x03D8	ADCP	7:0	CPON							CPRDY
0x03D9	ADLTH	7:0	LTH[7:0]							
		15:8	LTH[15:8]							
0x03DB	ADUTH	7:0	UTH[7:0]							
		15:8	UTH[15:8]							
0x03DD	ADERR	7:0	ERR[7:0]							
		15:8	ERR[15:8]							
0x03DF	ADSTPT	7:0	STPT[7:0]							
		15:8	STPT[15:8]							
0x03E1	ADFLTR	7:0	FLTR[7:0]							
		15:8	FLTR[15:8]							
0x03E3	ADACC	7:0	ACC[7:0]							
		15:8	ACC[15:8]							
		23:16							ACC[17:16]	
0x03E6	ADCNT	7:0	CNT[7:0]							
0x03E7	ADRPT	7:0	RPT[7:0]							
0x03E8	ADPREV	7:0	PREV[7:0]							
		15:8	PREV[15:8]							
0x03EA	ADRES	7:0	RES[7:0]							
		15:8	RES[15:8]							
0x03EC	ADPCH	7:0			PCH[5:0]					
0x03ED	Reserved									
0x03EE	ADACQ	7:0	ACQ[7:0]							
		15:8				ACQ[12:8]				
0x03F0	ADCAP	7:0				CAP[4:0]				
0x03F1	ADPRE	7:0	PRE[7:0]							
		15:8				PRE[12:8]				
0x03F3	ADCON0	7:0	ON	CONT		CS		FM		GO
0x03F4	ADCON1	7:0	PPOL	IPEN	GPOL					DSEN
0x03F5	ADCON2	7:0	PSIS	CRS[2:0]			ACLR	MD[2:0]		
0x03F6	ADCON3	7:0		CALC[2:0]			SOI	TMD[2:0]		
0x03F7	ADSTAT	7:0	AOV	UTHR	LTHR	MATH		STAT[2:0]		
0x03F8	ADREF	7:0				NREF			PREF[1:0]	
0x03F9	ADACT	7:0			ACT[5:0]					
0x03FA	ADCLK	7:0			CS[5:0]					

Conversor A/D: Registros

Name: ADCON0
Address: 0x3F3

ADC Control Register 0

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	ON	CONT		CS		FM		GO
Access	R/W	R/W		R/W		R/W		R/W/HC/HS
Reset	0	0		0		0		0

Bit 7 – ON ADC Enable

Value	Description
1	ADC is enabled
0	ADC is disabled

Bit 6 – CONT ADC Continuous Operation Enable

Value	Description
1	GO is retriggered upon completion of each conversion trigger until ADTIF is set (if SOI is set) or until GO is cleared (regardless of the value of SOI)
0	ADC is cleared upon completion of each conversion trigger

Bit 4 – CS ADC Clock Selection

Value	Description
1	Clock supplied from ADCRC dedicated oscillator
0	Clock supplied by F_{OSC}, divided according to ADCLK register

Bit 2 – FM ADC Results Format/Alignment Selection

Value	Description
1	ADRES and ADPREV data are right justified
0	ADRES and ADPREV data are left justified, zero-filled

Bit 0 – GO ADC Conversion Status(1,2)

Value	Description
1	ADC conversion cycle in progress. Setting this bit starts an ADC conversion cycle. The bit is cleared by hardware as determined by the CONT bit
0	ADC conversion completed/not in progress

Conversor A/D: Registros

Name: ADCON1
Address: 0x3F4

ADC Control Register 1

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	PPOL	IPEN	GPOL					DSEN
Access	R/W	R/W	R/W					R/W
Reset	0	0	0					0

Bit 7 – PPOL Precharge Polarity
Action During 1st Precharge Stage

Value	Condition	Description
x	ADPRE = 0	Bit has no effect
1	ADPRE > 0	External analog I/O pin is connected to V_{DD}. Internal AD sampling capacitor (C_{HOLD}) is connected to V_{SS}.
0	ADPRE > 0	External analog I/O pin is connected to V_{SS}. Internal AD sampling capacitor (C_{HOLD}) is connected to V_{DD}.

Bit 6 – IPEN A/D Inverted Precharge Enable

Value	Condition	Description
x	DSEN = 0	Bit has no effect
1	DSEN = 1	The precharge and guard signals in the second conversion cycle are the opposite polarity of the first cycle
0	DSEN = 1	Both conversion cycles use the precharge and guards specified by PPOL and GPOL

Bit 5 – GPOL Guard Ring Polarity Selection

Value	Description
1	ADC guard Ring outputs start as digital high during Precharge stage
0	ADC guard Ring outputs start as digital low during Precharge stage

Bit 0 – DSEN Double-Sample Enable

Value	Description
1	Two conversions are processed as a pair. The selected computation is performed after every second conversion.
0	Selected computation is performed after every conversion

45

Conversor A/D: Registros

Name: ADCON2
Address: 0x3F5

ADC Control Register 2

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	PSIS	CRS[2:0]			ACLR	MD[2:0]		
Access	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W/HC	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7 – PSIS ADC Previous Sample Input Select

Value	Description
1	ADFLTR is transferred to ADPREV at start-of-conversion
0	ADRES is transferred to ADPREV at start-of-conversion

Bits 6:4 – CRS[2:0] ADC Accumulated Calculation Right Shift Select

Value	Condition	Description
1 to 6	MD = 'b100	Low-pass filter time constant is 2^{CRS}, filter gain is 1:1[2]
1 to 6	MD = 'b011 to 'b001	The accumulated value is right-shifted by CRS (divided by 2^{CRS})[1,2]
x	MD = 'b000	These bits are ignored

Bit 3 – ACLR A/D Accumulator Clear Command[3]

Value	Description
1	The ADACC and ADCNT registers and the AOV bit are cleared
0	Clearing action is complete (or not started)

Bits 2:0 – MD[2:0] ADC Operating Mode Selection[4]

Value	Description
111-101	Reserved
100	Low-Pass Filter mode
011	Burst Average mode
010	Average mode
001	Accumulate mode
000	Basic (Legacy) mode

Notes:

1. To correctly calculate an average, the number of samples (set in ADRPT) must be 2^{CRS}.
2. CRS = 'b111 and 'b000 are reserved.
3. This bit is cleared by hardware when the accumulator operation is complete; depending on oscillator selections, the delay may be many instructions.
4. See the Computation Operation section for full mode descriptions.

46

Conversor A/D: Registros

Name: ADCON3
Address: 0x3F6

ADC Control Register 3

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
		CALC[2:0]			SOI	TMD[2:0]		
Access		R/W	R/W	R/W	R/W/HC	R/W	R/W	R/W
Reset		0	0	0	0	0	0	0

Bits 6:4 – CALC[2:0] ADC Error Calculation Mode Select

CALC	ADERR: DSEN = 0 Single-Sample Mode	ADERR: DSEN = 1 CVD Double-Sample Mode(1)	Application
111	Reserved	Reserved	Reserved
110	Reserved	Reserved	Reserved
101	ADFLTR-ADSTPT	ADFLTR-ADSTPT	Average/filtered value vs. setpoint
100	ADPREV-ADFLTR	ADPREV-ADFLTR	First derivative of filtered value(3) (negative)
011	Reserved	Reserved	Reserved
010	ADRES-ADFLTR	(ADRES-ADPREV)-ADFLTR	Actual result vs. averaged/filtered value
001	ADRES-ADSTPT	(ADRES-ADPREV)-ADSTPT	Actual result vs. setpoint
000	ADRES-ADPREV	ADRES-ADPREV	First derivative of single measurement(2)
			Actual CVD result(2)

Notes:
1. When DSEN = 1 and PSIS = 0, ADERR is computed only after every second sample.
2. When PSIS = 0.
3. When PSIS = 1.

Bit 3 – SOI ADC Stop-on-Interrupt

Value	Condition	Description
x	CONT = 0	This bit is not used
1	CONT = 1	GO is cleared when the threshold conditions are met, otherwise the conversion is retriggered
0	CONT = 1	GO is not cleared by hardware, must be cleared by software to stop retriggers

Bits 2:0 – TMD[2:0] Threshold Interrupt Mode Select

Value	Description
111	Interrupt regardless of threshold test results
110	Interrupt if ADERR > ADUTH
101	Interrupt if ADERR ≤ ADUTH
100	Interrupt if ADERR < ADLTH or ADERR > ADUTH
011	Interrupt if ADERR > ADLTH and ADERR < ADUTH
010	Interrupt if ADERR ≥ ADLTH
001	Interrupt if ADERR < ADLTH
000	Never interrupt

47

Conversor A/D: Registros

Name: ADRES
Address: 0x3EA

ADC Result Register

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8
	RES[15:8]							
Access	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	RES[7:0]							
Access	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

Bits 15:0 – RES[15:0] ADC Sample Result

Notes: The individual bytes in this multibyte register can be accessed with the following register names:
- ADRESH: Accesses the high byte ADRES[15:18]
- ADRESL: Accesses the low byte ADRES[7:0]

48

Conversor A/D: Registros

Name: ADPCH
Address: 0x3EC

ADC Positive Channel Selection Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
			PCH[5:0]					
Access			R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset			0	0	0	0	0	0

Bits 5:0 – PCH[5:0] ADC Positive Input Channel Selection

PCH	ADC Positive Channel Input
111111	Fixed Voltage Reference (FVR) Buffer 2(1)
111110	Fixed Voltage Reference (FVR) Buffer 1(1)
111101	DAC1 output(2)
111100	Temperature Indicator(3)
111011	V_{SS} (Analog Ground)
111010-110000	Reserved. No channel connected.
101111	RF7/ANF7(5)
101110	RF6/ANF6(5)
101101	RF5/ANF5(5)
101100	RF4/ANF4(5)
101011	RF3/ANF3(5)
101010	RF2/ANF2(5)
101001	RF1/ANF1(5)
101000	RF0/ANF0(5)
100111-100011	Reserved. No channel connected.
100010	RE2/ANE2(4)
100001	RE1/ANE1(4)
100000	RE0/ANE0(4)
011111	RD7/AND7(4)
011110	RD6/AND6(4)
011101	RD5/AND5(4)
011100	RD4/AND4(4)
011011	RD3/AND3(4)
011010	RD2/AND2(4)
011001	RD1/AND1(4)
011000	RD0/AND0(4)
010111	RC7/ANC7
010110	RC6/ANC6
010101	RC5/ANC5
010100	RC4/ANC4
010011	RC3/ANC3
010010	RC2/ANC2
010001	RC1/ANC1
010000	RC0/ANC0
001111	RB7/ANB7

.....continued

PCH	ADC Positive Channel Input
001110	RB6/ANB6
001101	RB5/ANB5
001100	RB4/ANB4
001011	RB3/ANB3
001010	RB2/ANB2
001001	RB1/ANB1
001000	RB0/ANB0
000111	RA7/ANA7
000110	RA6/ANA6
000101	RA5/ANA5
000100	RA4/ANA4
000011	RA3/ANA3
000010	RA2/ANA2
000001	RA1/ANA1
000000	RA0/ANA0

Notes:
1. Refer to the **"Fixed Voltage Reference Module"** chapter for more details.
2. Refer to the **"Digital-to-Analog Converter Module"** chapter for more details.
3. Refer to the **"Temperature Indicator Module"** chapter for more details.
4. 40/44/48-pin devices only.
5. 48-pin devices only.

Conversor A/D: Registros

Name: ADREF
Address: 0x3F8

ADC Reference Selection Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
				NREF			PREF[1:0]	
Access				R/W			R/W	R/W
Reset				0			0	0

Bit 4 – NREF ADC Negative Voltage Reference Selection

Value	Description
1	V_{REF}- is connected to external V_{REF}-
0	V_{REF}- is connected to AV_{SS}

Bits 1:0 – PREF[1:0] ADC Positive Voltage Reference Selection

Value	Description
11	V_{REF}+ is connected to internal Fixed Voltage Reference (FVR) module
10	V_{REF}+ is connected to external V_{REF}+
01	Reserved
00	V_{REF}+ is connected to V_{DD}

Conversor A/D: Procedimiento para configurar y adquirir un dato de un canal analógico

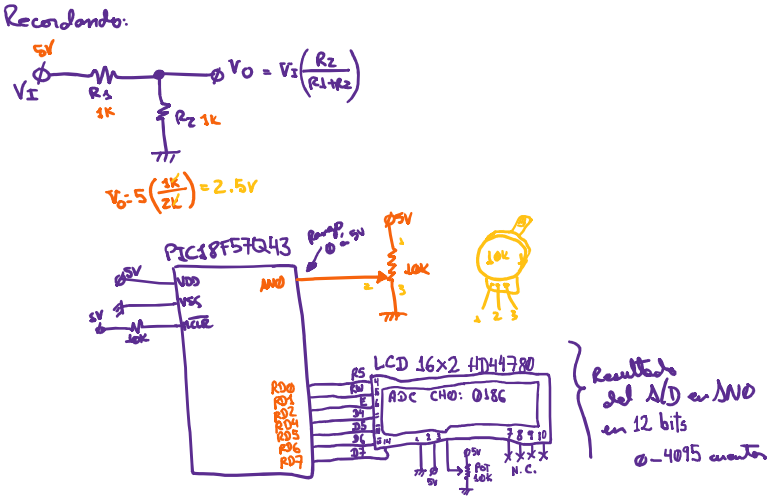
Configuración:

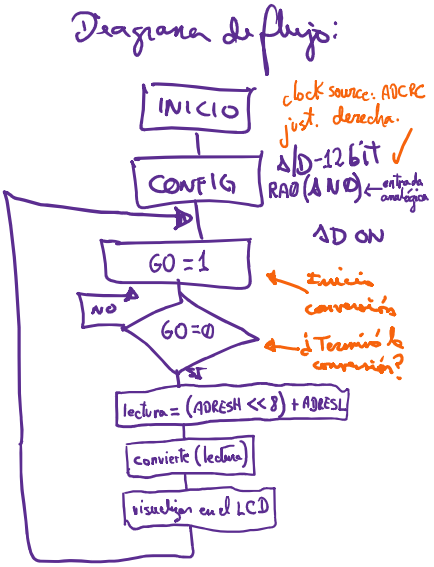
- Establecer qué puerto será el que reciba la señal analógica
- Configurar dicho puerto para que sea del tipo entrada y analógico (TRISx.y y ANSELx.y donde “x” es el puerto y “y” el pin)
- Definir el bit FM: 0 para justificación del resultado a la izquierda, 1 para justificación a la derecha
- Definir la base de tiempo del ADC con el bit CS
- Habilitar el funcionamiento del ADC con el bit ADON

Adquisición:

- Seleccionar el canal de lectura con el registro ADPCH
- Iniciar la conversión con el bit GO=1
- Esperar a que el bit GO baje a cero (término de la conversión)
- El resultado estará en el par de registros ADRESH:ADRESL

Ejemplo, leer en AN0 el valor de voltaje de un potenciómetro configurado como divisor de tensión y el resultado (12 bits) emitirlo al LCD en formato decimal





Ejemplo, leer en AN0 el valor de voltaje de un potenciómetro configurado como divisor de tensión y el resultado (12 bits) emitirlo al LCD en formato decimal

- La función *convierte()* se encarga de individualizar los dígitos de una variable *int*. (solo entre 0 y 9999)
- Tener en cuenta que las variables *millar*, *centena*, *decena* y *unidad* deben de estar declaradas como **variables globales**.

```
void convierte(unsigned int valor){
    millar = valor / 1000;
    centena = (valor % 1000) / 100;
    decena = (valor % 100) / 10;
    unidad = valor % 10;
}
```

53

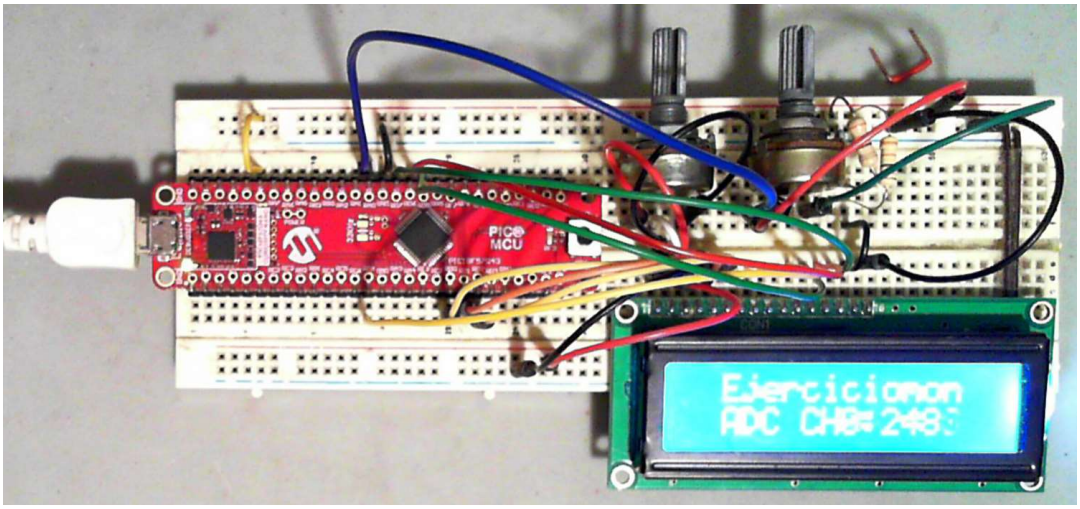
Ejemplo, leer en AN0 el valor de voltaje de un potenciómetro configurado como divisor de tensión y el resultado (12 bits) emitirlo al LCD en formato decimal

```
#include <xc.h>
#include "cabecera.h"
#include "LCD.h"
#define _XTAL_FREQ 48000000UL

unsigned int resultado = 0;     //resultado del ADC en 12bits
unsigned int millar, centena, decena, unidad;

void configuro(void){
    //configuracion del oscilador
    OSCCON1 = 0x60;             //HFINTOSC, POSTS 1:1
    OSCFRQ = 0x07;              //HFINTOSC a 48MHz
    OSCEN = 0x40;               //HFINTOSC enabled
    //configuracion de E/S
    TRISBbits.TRISB4 = 1;       //RB4 como entrada
    ANSELBbits.ANSELB4 = 0;     //RB4 como digital
    WPUBbits.WPUB4 = 1;         //RB4 con pullup activado
    TRISFbits.TRISF3 = 0;       //RF3 como salida
    ANSELFbits.ANSELF3 = 0;     //RF3 como digital
    //configuracion del ADC
    ADCON0bits.FM = 1;          //right justify
    ADCON0bits.CS = 1;          //ADCRC Clock
    ADPCH = 0x00;               //RA0 is Analog channel
    TRISAbits.TRISA0 = 1;       //Set RA0 to input
    ANSELAbits.ANSELA0 = 1;     //Set RA0 to analog
    ADCON0bits.ON = 1;          //Turn ADC On
}

void lcd_init(void){
    TRISD = 0x00;       //RD salidas
    ANSELD = 0x00;      //RD digitales
    LCD_CONFIG();
    __delay_ms(19);
    BORRAR_LCD();
    CURSOR_HOME();
    CURSOR_ONOFF(OFF);
}
```

```
void convierte(unsigned int valor){
    millar = valor / 1000;
    centena = (valor % 1000) / 100;
    decena = (valor % 100) / 10;
    unidad = valor % 10;
}

void main(void) {
    configuro();
    lcd_init();
    POS_CURSOR(1,2);
    ESCRIBE_MENSAJE("Ejerciciomon", 12);
    while(1){
        ADCON0bits.GO = 1; //Start conversion
        while(ADCON0bits.GO); //Wait for conversion done
        resultado = (ADRESH << 8) + ADRESL;
        convierte(resultado);
        POS_CURSOR(2,2);
        ESCRIBE_MENSAJE("ADC CH0:", 8);
        ENVIA_CHAR(millar+0x30);
        ENVIA_CHAR(centena+0x30);
        ENVIA_CHAR(decena+0x30);
        ENVIA_CHAR(unidad+0x30);
    }
}
```

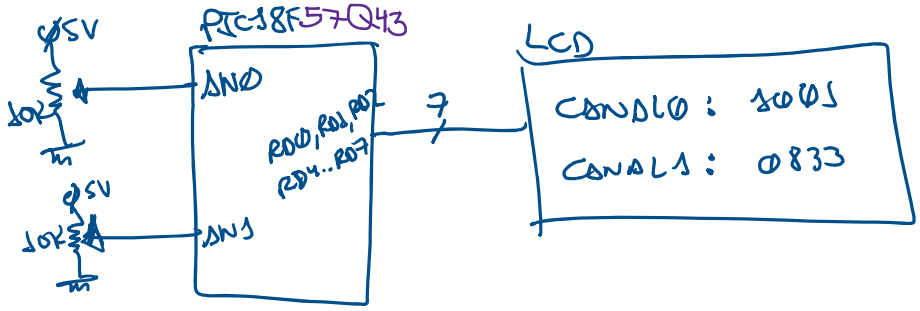
54

Ejemplo, leer en AN0 el valor de voltaje de un potenciómetro configurado como divisor de tensión y el resultado (12 bits) emitirlo al LCD en formato decimal



Asignación:

- Leer dos canales analógicos y mostrarlos en el LCD



El módulo DAC del PIC18F57Q43

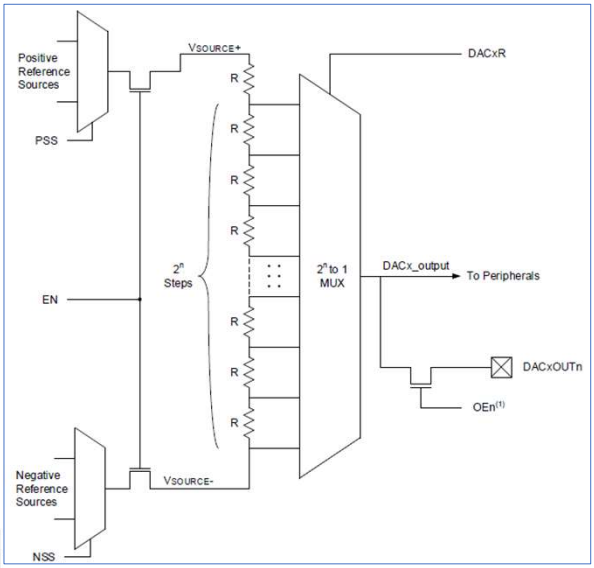
- Referencia: capítulo 41 del datasheet
- Resolución: 8bits
- Tipo arreglo R-2R
- Se puede usar el FVR como voltaje de referencia positivo (bits PSS)
- Fórmula:

Equation 41-1. DAC Output Equation

$$DACx\_output = \left((V_{REF+} - V_{REF-}) \times \frac{DACR}{2^n}\right) + V_{REF-}$$

- Registros:

Address	Name	Bit Pos.	7	6	5	4	3	2	1	0
0x7D	DAC1DATL	7:0	DAC1R[7:0]							
0x7E	Reserved									
0x7F	DAC1CON	7:0	EN		OE[1:0]		PSS[1:0]			NSS



El módulo DAC del PIC18F57Q43

Name: DACxCON
Address: 0x7F

Digital-to-Analog Converter Control Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	EN		OE[1:0]		PSS[1:0]			NSS
Access	R/W		R/W	R/W	R/W	R/W		R/W
Reset	0		0	0	0	0		0

Bit 7 – EN DAC Enable

Value	Description
1	DAC is enabled
0	DAC is disabled

Bits 5:4 – OE[1:0] DAC Output Enable

OE	DAC Outputs
11	DACxOUT is disabled
10	DACxOUT is enabled on pin RA2 only
01	DACxOUT is enabled on pin RB7 only
00	DACxOUT is disabled

Bits 3:2 – PSS[1:0] DAC Positive Reference Selection

PSS	DAC Positive Reference
11	Reserved, do not use
10	FVR Buffer 2
01	V_{REF+}
00	V_{DD}

Bit 0 – NSS DAC Negative Reference Selection

NSS	DAC Negative Reference
1	V_{REF-}
0	V_{SS}

El módulo DAC del PIC18F57Q43

- Procedimiento:
  - Establecer el puerto de salida de la señal (RA2 ó RB7) con DAC1CON bits 5-4 (OE)
  - Seleccionar referencia positiva (PSS) y referencia negativa (NSS) del DAC
  - Establecer puerto seleccionado anteriormente como salida analógica (TRISx y ANSELx)
  - Habilitar el módulo con DAC1CON bit 7 (EN)
  - Establecer el valor de 8 bits en DAC1DATL

Ejercicios:

Fin de la sesión