

Diseño y Simulación de un Sistema de Medición de Temperatura Orientado hacia el Aprendizaje Aplicativo

Design and Simulation of a Temperature Measuring System Oriented to Learning Application

V. Srdanovic^{a,b,1}, M.R. Fulla^{a,b,2}, J. C. Aguirre^b, H. A. Apáza^b, S. Casas^b, Y. S. Giraldo^b, C. D. Gutiérrez^b, C. A. Guzmán^b, J.J. Maya^b, S. Vargas^b

Fecha de recepción: Noviembre 12 de 2013

Fecha de aceptación: Julio 29 de 2014

Resumen

En este artículo se presenta el diseño y simulación de un sistema de medición de temperatura con el objetivo de fortalecer el aprendizaje aplicativo. El sistema registra la variable física de temperatura por medio de un sensor, cuya señal de voltaje analógica es convertida a una señal digital por medio de un microcontrolador y, finalmente, este valor digitalizado de la temperatura se visualiza en un display LCD. Se destacan los procedimientos importantes de la configuración del microcontrolador y cómo se acopla el sensor de temperatura y el display LCD con el microcontrolador. Existe múltiple literatura relacionada con el tema, pero nuestro aporte yace en el hecho de presentar la información en forma completa, detallada, clara, pero al mismo tiempo simple, que guíe amigablemente al principiante

^a Grupo de Investigación en Ciencias Electrónicas e Informáticas, Institución Universitaria Pascual Bravo, A.A 6564 Medellín

^b Semillero de Investigación en Ciencias Electrónicas e Informáticas, Institución Universitaria Pascual Bravo, A.A 6564 Medellín

¹ vesna.srdanovic@pascualbravo.edu.co

² mr.fulla@pascualbravo.edu.co

en programación de PICs en el desarrollo de una aplicación que requiera de varios de sus recursos, en particular del convertor A/D y un visualizador de datos LCD.

Palabras clave: adquisición de datos, programación de PIC, conversión analógica/digital, visualización de datos.

Abstract

This paper presents the design and simulation of a temperature measurement system with the goal to strengthening the applicative learning. The system records the physical variable using a temperature sensor whose analog voltage signal is converted to a digital signal using a microcontroller and finally this digitized value of the temperature is displayed on the LCD screen. We are highlighted important procedures of the configuration of microcontroller and how to coupling the temperature sensor and the LCD display with the microcontroller. There is a multiple literature related to the topic, but our contribution lies in the fact to present the information that is complete, detailed, clear, and at the same time simple, which friendly guides the beginners into programming of the PICs in developing an application that requires several of its resources, in particularly the A/D converter and LCD data screen.

Keywords: data acquisition, PIC programing, analog/digital conversion, data visualization.

1. Introducción

El aprendizaje aplicativo es la forma de unir el aprendizaje con las aplicaciones reales. Se explora la manera de unir aprendizaje aplicativo con el desarrollo tecnológico e investigación. En este artículo se presenta, en forma didáctica, el diseño y simulación de un sistema de medición de temperatura con el enfoque de cómo utilizar el microcontrolador en el proceso de adquisición y visualización de datos.

El sistema de medición de temperatura presentado consiste en la interconexión de un sensor de temperatura con el microcontrolador, por medio de cual la variable analógica de temperatura se convierta en una señal digital y posteriormente se visualiza en un display LCD. Los tres principales dispositivos utilizados son: el sensor de temperatura LM35, el microcontrolador PIC16F887 y el display LCD 1602. Para el diseño y simulación son utilizados los programas MPLAB y Proteus ISIS.

Realmente se trata de una implementación muy básica pero importante para el aprendizaje aplicativo porque contiene los elementos comunes de las aplicaciones reales, especialmente del campo de adquisición de datos.

2. Los dispositivos del sistema de medición de temperatura

En el proceso de adquisición de datos la parte inicial corresponde a la medición de la variable física, en este caso de la temperatura. Se utiliza el sensor de temperatura LM35, fabricado por National Semiconductor Corporation, donde el mismo fabricante presenta las características técnicas de dispositivo en el documento “Datasheet LM35 Precision Centigrade Temperature Sensor” [1]. La selección del sensor depende de la aplicación, del rango de medición, precisión, sensibilidad, linealidad, compatibilidad con el ambiente, costo, etc. [2][3][4][5].

El sensor LM35 es un circuito integrado que viene en diferentes encapsulados (TO-92, TO-46, SO-8); se utiliza frecuentemente en la experimentación y las aplicaciones prácticas. El sensor está calibrado para medir la temperatura en grados Celsius; la característica lineal del sensor garantiza que el voltaje de salida es proporcional a la temperatura medida. El sensor tiene una sensibilidad de $10\text{mV} / ^\circ\text{C}$, lo que significa que el cambio de temperatura de 1°C produce un cambio de voltaje de 10mV en la salida. El LM35 está diseñado para la medición de temperatura en el rango desde -40°C hasta 150°C , con una precisión de $\pm 1/4^\circ\text{C}$ a la temperatura ambiental [6]. Se clasifica como un sensor de alta precisión, adecuado para la medición de la temperatura ambiental [7][8].

El sensor LM35 con encapsulado TO-92 (Fig. 1) tiene los tres pines: +Vs (el pin de voltaje de alimentación positiva), Vout (el pin de voltaje de salida) y GND (el pin de conexión a la tierra). El voltaje de alimentación puede ser desde 4V hasta 20V DC ; en este diseño se utiliza el voltaje de alimentación de 5V DC . Según las características técnicas del sensor para la medición de temperatura positiva se recomienda la conexión del sensor presentada en la Fig. 1.

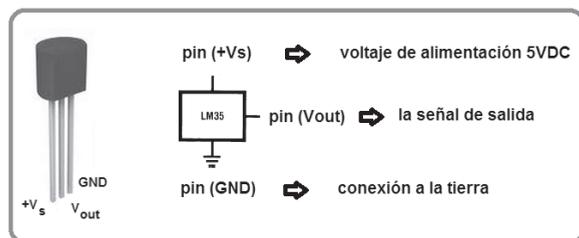


FIGURA 1. El sensor LM35 y la conexión básica del sensor para la medición de temperatura positiva.

El sistema presentado está diseñado para la medición de temperatura positiva en el rango de 0°C a 150°C con el sensor LM35. En este diseño no se utiliza el circuito electrónico para acondicionamiento de la señal a la salida del sensor, lo que significa que la salida del sensor está conectada directamente con el microcontrolador PIC16F887 [9][10].

En el caso de máxima temperatura $T=150^{\circ}\text{C}$ en la salida del sensor se obtiene el máximo voltaje de 1.5V, debido que por cada $^{\circ}\text{C}$ el voltaje del sensor aumenta 10mV. Se tiene que el voltaje en salida del sensor puede variar desde 0V hasta 1.5V, que es un dato importante para el diseño del convertidor analógico / digital (A/D).

Otro dispositivo que es fundamental para el desarrollo del sistema de medición de temperatura es el microcontrolador PIC16F887 del fabricante Microchip Technology [11]. Es un microcontrolador reprogramable, de fácil manejo, adecuado para el aprendizaje o desarrollo de prototipos. Viene en forma de circuito integrado en diferentes encapsulados (40-pin PDIP, 44-pin QNF, 44-pin TQFP). El pic16F887 de 40 pines tiene los cuatro puertos de ocho pines y un puerto de cuatro pines (Fig. 2). En las especificaciones técnicas del microcontrolador “Datasheet PIC16F882/883/884/886/887” se encuentran las detalladas instrucciones de cómo se debe configurar el microcontrolador según la aplicación [12].

Una de las aplicaciones de los microcontroladores es la conversión de señal analógica a señal digital [13][14][15][16]. El PIC16F887 tiene ocho entradas para las señales analógicas y la conversión de señal analógica a señal digital es de 10 bits.

3. Diseño y simulación de un sistema de medición de temperatura

Para el desarrollo del sistema de medición de temperatura es importante proceder la adecuada programación del microcontrolador, para lograr la correcta operación de conversión de señal analógica a señal digital.

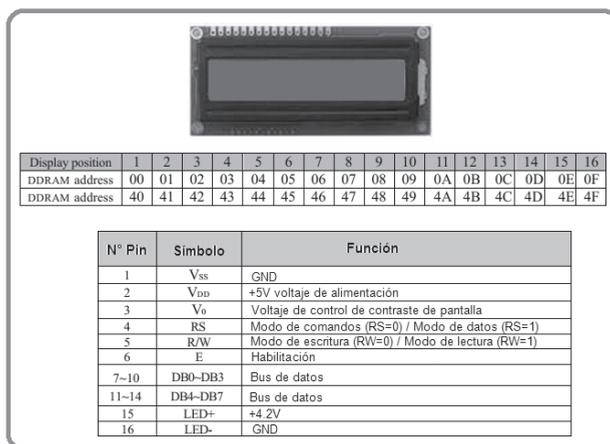


FIGURA 4. Presentación gráfica del proceso de conversión A/D de 10 bits.

En la Fig. 4 se puede observar la presentación gráfica del proceso de conversión A/D. Las siguientes especificaciones caracterizan el proceso:

- El microcontrolador PIC16F887 procede la conversión A/D de 10 bits.
- El microcontrolador tiene disponible 8 entradas para las señales analógicas. Está seleccionada la entrada AN5 (corresponde al pin 0 del puerto E) para recibir la señal del sensor de temperatura.
- El resultado de la conversión A/D es la señal digital de 10 bits. Para la salida son seleccionados: el puerto B con ocho pines (RB0 a RB7) y el puerto D con dos pines (el pin RD6 y el pin RD7).
- El voltaje de referencia seleccionado para la conversión A/D es el voltaje interno del microcontrolador: el voltaje Vref+ es igual al voltaje de alimentación del microcontrolador (Vref+=Vdd=5V) y el voltaje Vref- es igual al voltaje de la tierra del microcontrolador (Vref-=Vss = 0V).
- La frecuencia del reloj del microcontrolador es de 4MHz.

- La frecuencia del muestreo es $F_{osc}/8$ y garantiza el cumplimiento de la condición de tiempo mínimo de adquisición de datos (TAD).
- El rango de voltaje de la señal analógica es de 0V a 1.5V.

Para el diseño de un convertidor A/D se requiere determinar la resolución que depende del voltaje (V_{ref+}), (V_{ref-}) y del número de bits n del convertidor A/D. En el caso de este sistema se tiene: $((V_{ref+}) - (V_{ref-})) / 2^n = (5V - 0V) / 2^{10} = (5V / 1024) \approx 4.9mV / \text{bit}$. La resolución es 4.9mV por cambio de un bit.

El microcontrolador PIC16F887 dispone los registros especializados para proceder las funciones especiales. Para la aplicación de conversión A/D se requiere la configuración de los siguientes cuatro registros:

- ADCON0 (registro 0 de control; controla la operación del convertidor A/D)
- ADCON1 (registro 1 de control; controla las funciones de los pines de puertos)
- ADRESH (registro alto para el resultado)
- ADRESL (registro bajo para el resultado)

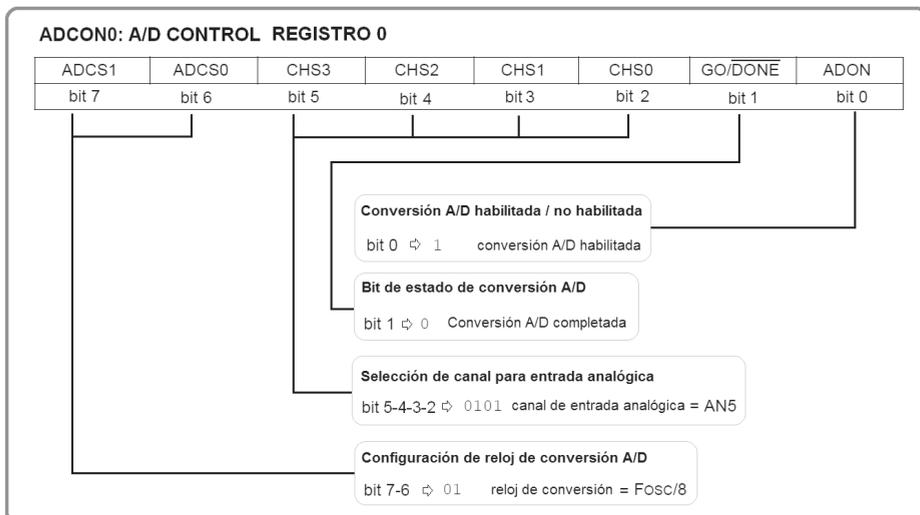


FIGURA 5. Configuración del registro ADCON0.

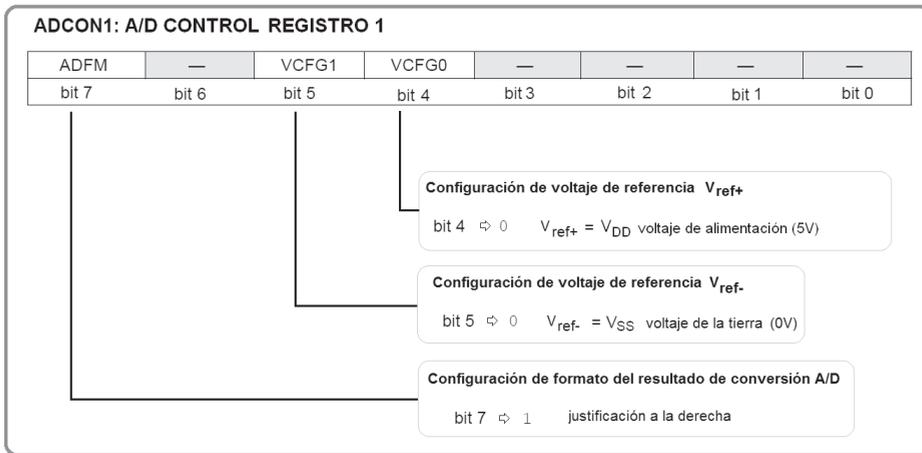


FIGURA 6. Configuración del registro ADCON1.

Con la configuración del registro ADCON0 se define: el reloj de muestreo de la conversión A/D, la entrada para la señal analógica, estado de la conversión y la habilitación de conversión A/D. Por otro lado con la configuración del registro ADCON1 se define: justificación izquierda o derecha del resultado final y el voltaje de referencia. Para el sistema de medición de temperatura, la configuración de los registros ADCON0 y ADCON1 está presentada en la Fig. 5 y la Fig. 6. Los registros ADCON0 y ADCON1 vistos en la forma binaria y hexadecimal:

`ADCON0=0b01010101=0x55; //está configurado el reloj de muestreo a $f_{osc}/8$, la entrada analógica es pin AN5 y la conversión A/D está habilitada (Fig. 5).`

`ADCON1=0b10000000=0x80; //está configurado el resultado justificado a la derecha, el voltaje de referencia $V_{ref-}=V_{SS}=0V$ y $V_{ref+}=V_{DD}=5V$ (Fig.6).`

La mayoría de los pines del microcontrolador son multifuncionales. El registro TRIS controla el flujo entrante o saliente de los pines y cada puerto tiene su propio registro TRIS (TRISA, TRISB, etc.). Si en el registro TRIS se configura un bit como 0, el pin correspondiente es una salida y al contrario es una entrada. Por medio del registro TRIS se define si los pines de los puertos son asignados como entradas o como salidas. La configuración de los pines se presenta en continuación:

TRISB=0b00000000=0x00; //todos los pines del puerto B son asignados como la salida

TRISD=0b00000000=0x00; //todos los pines del puerto D son asignados como la salida

TRISE=0b00000001=0x01; //se asigna el pin 0 del puerto E como la entrada (la entrada para la señal analógica es el pin RE0/AN5)

Los registros ANSEL y ANSELH determinan si los pines son configurados como una entrada analógica o como una entrada/salida digital. Si se quiere asignar la función de entrada analógica para un pin se utiliza el bit “1”, en el contrario se utiliza el bit “0”. En este diseño se utilizan los puertos B, D como salida digital para el resultado de la conversión A/D, y el puerto E como la entrada para la señal analógica que proviene del sensor de temperatura. La configuración de la función analógica/digital de los pines se presenta en continuación:

ANSEL=0b00100000=0x20; //se configura el pin RE0/AN5 como entrada analógica

ANSELH=0b00000000=0x00; //los demás pines se configuran como salidas digitales

En el procedimiento anterior se hizo la configuración de un sistema de medición de temperatura donde la señal analógica del sensor LM35 llega al pin cero del puerto E (RE0/AN5) del microcontrolador; este recibe la señal analógica y procede la conversión A/D; el resultado de conversión se almacena en los registros ADRESH y ADRESL. Los registros son de 8 bits; significa que en total son disponibles 16 bits. Como el resultado de la conversión A/D es de 10 bits es necesario especificar si los 10 bits son alineados a la derecha o a la izquierda. En el presente diseño se utiliza la justificación a la derecha; de los 10 bits de señal digital, los 8 bits menos significativos se encuentran en el registro ADRESL y los dos bits más significativos en el registro ADRESH ^{[20][21][22][23]}.

El objetivo es convertir los 10 bits almacenados en los registros ADRESL y ADRESH en un número decimal para posterior procedimiento y visualización en el display LCD. En la Fig. 7 se puede observar cómo un resultado de la conversión A/D de 10 bit, almacenado en los registros ADRESH y ADRESL, se puede convertir en un número decimal.

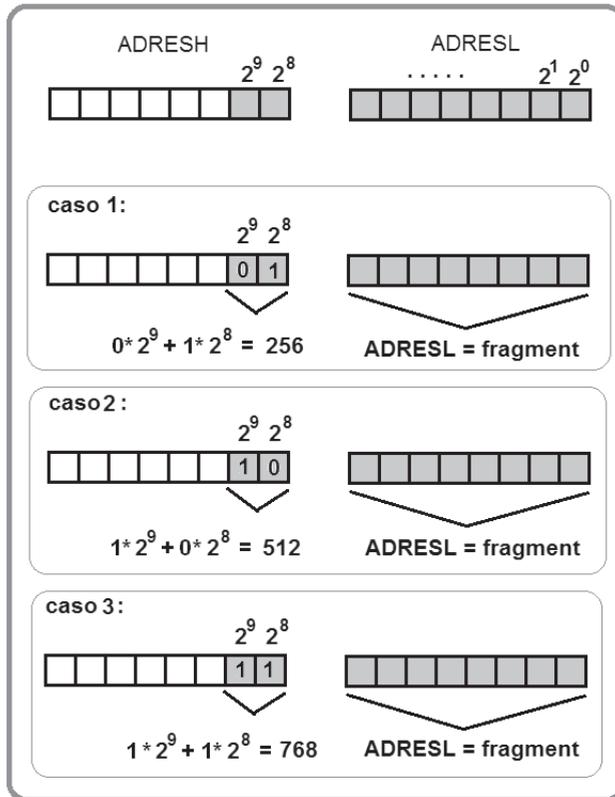


FIGURA 7. La lectura de los registros ADRESL y ADRESH.

El valor decimal del registro ADRESL se lleva como una variable denominada “fragment”.

fragment=ADRESL; // se define la variable “fragment” igual al valor del registro ADRESL.

A este valor se debe sumar el valor de otros dos bits más significativos ubicados en el registro ADRESH. Los dos bits pueden tomar una de las cuatro posibles combinaciones: 01, 10, 11 o 00. Se procede la programación utilizando la sentencia “if” para comprobar las anteriores combinaciones.

//para el caso de la combinación 01

if(ADRESH= =1) //preguntar si el valor de los dos bits del ADRESH es igual a 1 (es el valor decimal de la combinación 01); si la condición se cumple sigue:

resultado=fragment+256; //la variable “fragment” sumar con el valor decimal de los dos bits más significativos ubicados en el registro ADRESH.

//para el caso de la combinación 10

if(ADRESH= =2) //preguntar si el valor de los dos bits del ADRESH es igual a 2 (es el valor decimal de la combinación 10); si la condición se cumple sigue:

resultado=fragment+512; //la variable “fragment” sumar con el valor decimal de los dos bits más significativos ubicados en el registro ADRESH.

//para el caso de la combinación 11

if(ADRESH= =3) //preguntar si el valor de los dos bits del ADRESH es igual a 3 (es el valor decimal de la combinación 11); si la condición se cumple sigue:

resultado=fragment+768; //la variable “fragment” sumar con el valor decimal de los dos bits más significativos ubicados en el registro ADRESH.

//para el caso de la combinación 00 simplemente se tiene: resultado=fragment;

La lectura del resultado almacenado en los registros ADRESH y ADRESL nos da un número decimal. Por ejemplo, si los 10 bits almacenados en los registros ADRESH y ADRESL son la cadena binaria 0100000000 el valor decimal de esta cadena es 256. Para obtener el valor de voltaje que corresponde al valor decimal de la cadena de 10 bits se debe multiplicar el resultado decimal por el valor de la resolución del convertidor A/D; en este diseño la resolución del convertidor es 4.9mV. Para el caso anterior se tiene $256 \times 4.9\text{mV} = 256 \times 0.0049 = 1.25\text{V}$. Por evitar la multiplicación con el número decimal 0.0049V se aplica una multiplicación adicional por 10000 y posteriormente, en el proceso de visualización, se tiene en cuenta esta multiplicación ^{[24][25][26][27]}.

La visualización de la temperatura en el display LCD se lleva en el bus de datos de 8 bits. Se introduce una nueva variable “voltaje” definida como “voltaje=resultadox49”. La variable “voltaje” es un número decimal de cinco dígitos. Después de identificar cada dígito de la variable “voltaje” se procede la suma, dígito+48, para pasar el valor al código ASCII que indica la temperatura. La programación para visualizar el resultado final del sistema de medición de temperatura en °C se presenta en continuación:

lcd_goto(0x45); // ubicar en la posición 0x45 del display LCD el dígito con el peso de diez millares de la variable “voltaje”

cia menor o sea un voltaje de referencia externo de $V_{ref+}=2.5V$ y $V_{ref-}=0V$. Para una solución óptima de un sistema de medición de temperatura, con máxima precisión, se requiere un circuito electrónico de acondicionamiento de la señal analógica del sensor para amplificar la señal a nivel cercano a 5V.

5. Referencias

- [1] Datasheet LM35 “Precision Centigrade Temperature Sensors”, National Semiconductor Corporation, USA.
- [2] D. Placko, “Fundamentals of Instrumentation and Measurement”, ISTE, USA, 2007.
- [3] P. Ripka and A. Tipek, *Modern Sensors Handbook*, ISTE, USA, 2007.
- [4] P. Sydenham and R. Thorn, *Handbook of Measuring System Design*, Wiley, UK, 2005.
- [5] W. Boyes, “Instrumentation Reference Book”, 4th Edition, Butterworth-Heinemann, UK, 2010.
- [6] S. M. Sze, “Semiconductor Sensors”, Wiley, UK, 1994.
- [7] L. Michalski, K. Eckersdorf, J. Kucharski and J. McGhee, *Temperature Measurement*, 2nd Edition, Wiley, UK, 2001.
- [8] R.J. Malla Bustamante, “Diseño y construcción de un prototipo de adquisición de datos para variación de voltaje, corriente y temperatura en función del tiempo”. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2011.
- [9] F. Reverter and R. Pallas Areny, *Direct sensor to microcontroller interface circuits*, Marcombo, España, 2005.
- [10] W. Bolton, *Mediciones y pruebas Eléctricas y Electrónicas*, Marcombo, España, 1995.
- [11] D. Ibrahim, “Microcontroller Based Temperature Monitoring and Control”, Newnes, UK, 2002.
- [12] Datasheet PIC16F882/883/884/886/887, Microchip Technology, USA.
- [13] H. Navarro, “Instrumentación Electrónica Moderna”, Editorial Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1995.
- [14] F.E. Valdez Pérez y R. Pallas Areny, *Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC*. Marcombo, España, 2007.
- [15] A. K. Maini, *Digital Electronics - Principles devices and applications*, Wiley, UK, 2007.
- [16] H. R. Taylor, “Data Acquisition for sensor systems”, Chapman & Hall. 1997.
- [17] Datasheet LCD 1602A, LCD Module Manufacturer QY.

- [18] D. Ibrahim, “Using LEDs, LCDs and GLEDs in Microcontroller Projects”, Wiley, UK, 2012.
- [19] Labcenter Electronics. “Professional PCB Design and Simulation Software”.
- [20] A. Hermosa Donate, *Electrónica digital fundamental y programable*, Marcombo, España, 2010.
- [21] M. Bates, *PIC Microcontrollers - An introduction to microelectronics*, Newnes, UK, 2004.
- [22] M. Etxebarria Isuskiza, *Microcontroladores PIC teoría y práctica*. Creaciones Copyright, España, 2011.
- [23] J.M. Vergara Díaz y J.M. Vergara Ávila, *Microcontroladores PIC principios y aplicaciones*. Universidad de Medellín, Colombia, 2009.
- [24] T. Wilmshurst, *An Introduction to the Design of Small-Scale Embedded Systems*, Wiley, UK, 2010
- [25] J.D. Muñoz Frías y R. Palacios Hielscher, *Fundamentos de programación utilizando el lenguaje C*, Servicios Editoriales S.L. Universidad Pontificia Comillas, España, 2006.
- [26] J. Badenas Carpio, J.L. Llopis Borrás y O. Coltell Simón, *Curso práctico en programación en C y C++*. Publicacions de la Universitat Jaume I. Castellón de la Plana, España. 2001.
- [27] G. Tojeiro, “Proteus: Simulación de Circuitos Electrónicos y Microcontroladores a través de ejemplos”, Marcombo, España, 2008.
- [28] E. García, *Compilador, “C CCS y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC”*, Marcombo, España, 2009.
- [29] T. Wilmshurst, “*Designing Embedded Systems with PIC microcontrollers – Principles and applications*”, Newnes, 2nd Edition, UK, 2009.
- [30] J.S. Parab, V. G. Shelake, R. K. Kamat y G.M. Naik, “*Exploring C for Microcontrollers*”. Springer, Netherlands, 2007.
- [31] H. Parchizadeh and B. Vuksanovic, “*PIC Projects – A practical Approach*”, Wiley, UK, 2009.
- [33] Microchip Technology, “*MPLABX Integrated Development Environment*” (IDE) <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/mplabx/>