

# Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo  
Sustentable

Ra Ximhai  
Universidad Autónoma Indígena de México  
ISSN: 1665-0441  
México

2011

## **MÓDULO DE ENTRENAMIENTO BASADO EN MICROCONTROLADORES PIC®: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

Jaime Fonseca-Beltrán; Gerardo Cazarez-Ayala; José de Jesús Montes de Oca-Flores;  
Huémac Israel Del Ángel Bahena; Carlos Alberto Aguilar-Avelar  
Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 7, Número 3  
Universidad Autónoma Indígena de México  
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 325-331.



**e-revist@s**

## MÓDULO DE ENTRENAMIENTO BASADO EN MICROCONTROLADORES PIC®: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

### PIC® MICROCONTROLLER BASED TRAINING MODULE: DESIGN & IMPLEMENTATION

Jaime Fonseca-Beltrán<sup>1</sup>; Gerardo Cazarez-Ayala<sup>1</sup>; José de Jesús Montes de Oca-Flores<sup>1</sup>; Huémac Israel Del Ángel Bahena<sup>2</sup>; Carlos Alberto Aguilar-Avelar<sup>2</sup>.

Profesor Investigador Instituto Tecnológico de Los Mochis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Batiz y 20 de Noviembre, Los Mochis, Sinaloa<sup>1</sup>. Residente Profesional, Instituto Tecnológico de Los Mochis<sup>2</sup>.

#### RESUMEN

Este trabajo describe el diseño e implementación de un Módulo de Entrenamiento basado en Microcontroladores PIC®, cuyo principal objetivo es desarrollar un sistema el cual haga posible la implementación de aplicaciones para el control de proceso y monitoreo de datos basados en un microcontrolador (MCU), de tal manera que proporcione al usuario final una herramienta poderosa, flexible y fácil de utilizar para el desarrollo de aplicaciones de control basadas en un MCU.

Este sistema fue concebido para desarrollar en el usuario la habilidad en el diseño e implementación de unidades de control para su aplicación en problemáticas en las cuales se requiera un sistema capaz de monitorear variables ambientales y de procesos. Coadyuvando de esta manera en la rápida asimilación de la tecnología y reduciendo los tiempos y costos de desarrollo.

**Palabra clave:** Microcontrolador, PIC®, Módulo.

#### SUMMARY

This paper describes the design and implementation of a PIC microcontroller based training module, whose main purpose is to develop a system, which allow the implementation of process control and data monitoring applications based in a microcontroller (MCU), so that it provides the user a powerful, flexible and easy to use tool to develop MCU based control applications.

This system was conceived so the user develops skills in design and implementation of control units for application in problems which require a system capable of monitoring environmental variables and processes, helping in this way in the quick understanding of the technology and reducing time and cost of development.

**Keyword:** Microcontroller, PIC®, module.

#### INTRODUCCIÓN

Por definición “un microcontrolador es un sistema microprocesado el cual contiene memoria de datos y de programa, E/S serie y paralelo, temporizadores, e interrupciones externas e internas, todo integrado en un simple chip” [1]. La evolución que han

experimentado los microcontroladores desde sus orígenes a la fecha, lo ha llevado a ser de tan solo un dispositivo genérico a uno tan especializado, que hoy en día se pueden encontrar en aplicaciones como pueden ser un simple juguete hasta llegar a equipos tan complejos como son los aeroespaciales, lo anterior ha sido posible en primera instancia por los requerimientos propios de las aplicaciones que necesitan de mayores funcionalidad en menores espacios, al mismo tiempo que un reducido consumo de energía; y en segundo término gracias al desarrollo que ha presentado la microelectrónica es posible tener una mayor integración en menor espacio físico.

Por lo anterior expuesto, se ve la necesidad de desarrollar un sistema que permita al usuario incursionar en el uso de los microcontroladores a través de aplicaciones de diferentes niveles de complejidad, en un primer momento se propone conocer la arquitectura y forma de programación de estos dispositivos, esto es posible realizar tan solo con la tarjeta principal, ya que ella cuenta con todas las herramientas necesarias para desarrollar una serie de aplicaciones simples de entrada/salida digital. Conforme al usuario vaya obteniendo las habilidades requeridas, se puede incrementar la complejidad de las aplicaciones, ya sea a través de diferentes protocolos de comunicación con la que cuenta el sistema, aunado a los módulos de entrada/salida que pueden ser acoplados a él, con los que es posible trabajar con diferentes tipos de sensores de las variables más utilizadas en el medio ambiente y los procesos industriales.

Sin duda alguna, la compañía que ha tenido un mayor crecimiento en la fabricación de microcontroladores PIC de 8 bits ha sido Microchip Technology Inc. Los PIC es una familia de microcontroladores que dentro del ámbito de desarrollo, han tenido una gran aceptación y a través de los años presentan una gran evolución, mejorando sus características, precio, consumo de energía, tamaño, calidad y fiabilidad, además que existe una gran abundancia de información, lo que los convierte en un dispositivo fácil, cómodo y rápido de utilizar.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del sistema se determinó utilizar el microcontrolador PIC18F4550, ya que éste cumple con todos los requerimientos del proyecto antes especificados, aunado a su bajo costo y disponibilidad en el mercado nacional. Para su programación se optó por el compilador CCS compiler, debido al gran cantidad de librerías con que cuenta para este dispositivo, al igual que permite agregar otras librerías desarrolladas específicamente para ciertas funciones.

## RESULTADOS

El módulo cuenta con una tarjeta principal en el cual se integró el microcontrolador PIC18F4550, al mismo tiempo cuenta con el hardware necesario para su grabación y/o depuración, el cual es compatible con el PICKit2 y PICKit3 de Microchip, por lo que es posible utilizar las herramientas IDE originales del fabricante como son: MPLAB-IDE y PICKit.

Dentro de la misma tarjeta principal se integraron diversos dispositivos para llevar a cabo una serie de aplicaciones con diferentes niveles de complejidad, como son: elementos de entrada/salida digital, tales como interruptores y leds, elementos gráficos como son display de 7 segmentos y LCD alfanumérico de 2 líneas por 16 columnas. Además cuenta con todo lo necesario para realizar actividades de comunicación mediante los protocolos RS232 y USB, los

cuales pueden ser utilizados para llevar a cabo los procesos de monitoreo y control a través de una computadora personal, del mismo modo la etapa de comunicación USB nos proporciona la herramienta necesaria para llevar a cabo la programación del microcontrolador mediante el bootloader. De igual forma cuenta con un reloj/calendario de tiempo real (RTC), sensor de temperatura y memoria EEPROM conectados a través del bus I2C, lo que le permite el aprendizaje en este protocolo de comunicación.

Los elementos de entrada análoga que presenta la tarjeta se implementaron mediante unos divisores de voltaje de tal forma que el usuario comprenda el funcionamiento de los ADC incorporados al PIC, de igual manera cuenta con una sección que presenta una salida digital con frecuencia variable, que utiliza las herramientas de contador de eventos externos del mismo microcontrolador.

A la tarjeta se le incorporaron una serie de interruptores on/off y push bottom con el propósito de que trabajen como entradas digitales, para realizar aplicaciones de control on/off y manejo de interrupciones externas al PIC.

Las principales partes que conforman la tarjeta principal son:

1. Microcontrolador PIC18F4550
2. Interruptores SPST
3. Push Bottom
4. Potenciómetros
5. LEDs
6. LCD de 16x2
7. Display de 7 segmentos
8. Manejador de teclado 4x4
9. Módulo de comunicación RS232
10. Módulo de comunicación USB
11. Módulo de alimentación para la tarjeta principal
12. Conectores para la interconexión con los diferentes módulos.

En la figura 1, se muestra una representación de la tarjeta principal, en ésta se encuentran delimitadas y enumeradas cada una de las partes principales de la misma, con la

referencia numérica de cada una de las partes el usuario puede localizar en la tabla una descripción detallada de la parte o componente a la que se hace referencia.

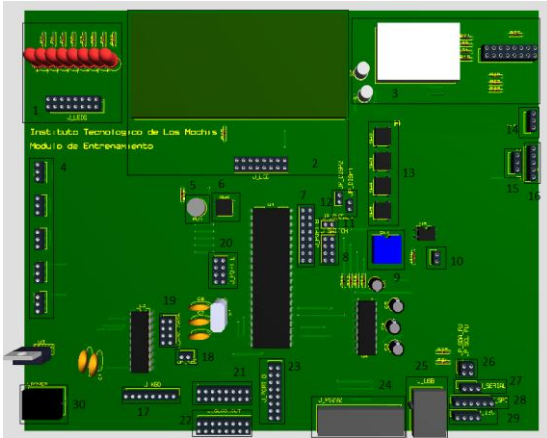


Figura 1. Representación simulada de la tarjeta principal.

Una de las principales ventajas que presenta el sistema, es la capacidad de agregarle módulos de expansión tanto para entradas analógicas y digitales como diferentes módulos de salida que se conectan de acuerdo a las necesidades de la aplicación en cuestión.

Cada uno de los módulos de entrada como los de salida se encuentran debidamente acopladas de tal manera que el usuario no requiere de aditamentos adicionales para su correcto funcionamiento, aunado a lo anterior, cada uno de ellos cuenta con su hoja técnica tanto escrita como en la interface visual, de esta manera el usuario podrá acotar los rangos de operación para cada uno de ellos y así tendrá un conocimiento pleno de los alcances de cada uno de los módulos.

Con el objetivo de que el usuario se familiarice con distintas aplicaciones se optó por elegir las variables de uso más común, lo que derivó en la elección de sensores que se pueden encontrar fácilmente en el mercado nacional mismos que fueron implementados en diferentes módulos de entradas analógicas y digitales, tales variables son: temperatura, presión, humedad, iluminancia, velocidad, de igual forma, debido a la característica de modularidad del sistema es posible ir

agregando otros variables a las ya mencionadas.

**Módulos de expansión de entrada**

Los módulos de entradas analógicas (sensores) se desarrollaron con la finalidad de facilitar al usuario la implementación de prácticas donde involucren el módulo de convertidos análogo-digital del PIC, se determinó elaborar tres módulos como una muestra representativa de todas las señales que se pueden trabajar con ellas, de tal forma que al dominar el manejo de ellas, será más fácil para el usuario elaborar sus propios módulos de acuerdo a sus necesidades. A continuación se da una descripción de los sensores implementados:

**Sensor de Temperatura LM35**

El sensor de temperatura LM35 tiene como rango de temperaturas a medir, de -50 a +150°C, con cambios lineales de 10mV por cada 1°C, por lo que su rango de voltaje de salida es de -500mV a +1.5V. El microcontrolador PIC18F4550 en la tarjeta principal está siendo alimentado con +5Volts, por lo que cualquier dispositivo que se conecte a sus entradas deberá mantener su señal de salida a no más de +5V, y no menor a 0V. Un opamp sirve como sumador inversor, y el otro como inversor. En el primer caso, la señal de salida del LM35 es sumado a una señal de 1V, obtenida con el potenciómetro de precisión. El segundo opamp invierte la señal, para que sea leída por el microcontrolador.

El integrado ICL7662 sirve para proveer el voltaje VEE en el opamp doble LM358.

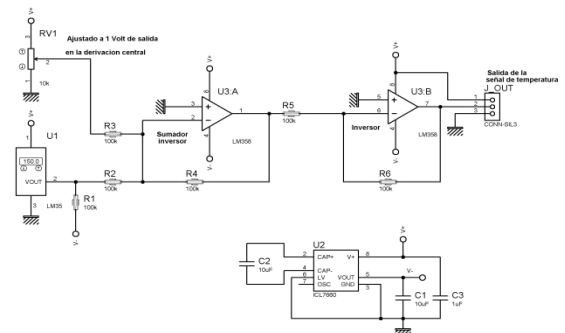


Figura 2. Diagrama esquemático del sensor de temperatura.

### Sensor de Luminosidad TEMT6000

El sensor TEMT6000, no requiere de componentes externos para que entregue una señal lineal como respuesta a la intensidad luminosa. El capacitor sirve como filtro de ruido.

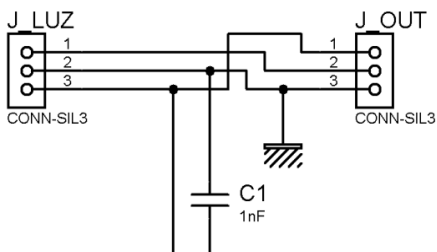


Figura 3. Placa base del módulo de sensor de luminosidad.

### Sensor de Humedad HMZ-433A1

El sensor HMZ433A1 sólo necesita un capacitor de valor  $\geq 100\text{nF}$  para que arroje una señal lineal de humedad.

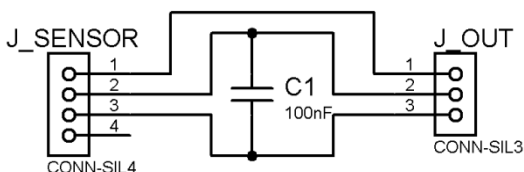


Figura 4. Placa base del módulo de sensor de humedad.

### Módulos de expansión de salida

Una de las características fuertes con que cuenta el PIC18F4550 son sus salidas PWM, lo cual lo hace más poderoso en relación a sus PICs antecesores, ya que es posible seleccionar diferentes modos de operación como son de salida simple, medio puente o puente completo aunado a otras características relacionadas con ello, es por esto que se opto por darle un mayor enfoque al control de motores de corriente continua y motor de pasos, además se desarrollo un módulo para el control de temperatura con un PID, y un módulo para el uso de pantalla grafica.

### Control de Motores

Los tres módulos de control de motores utilizan un único conector de 5 terminales: A,

B, C, D y GND; los motores son alimentados externamente, a través de conectores en los mismos módulos.

### Motor CC Puente Completo

El módulo hace uso del ECCP del microcontrolador (Extended Capture Compare PWM), por lo que la entrada es un conector de 5 terminales, contador GND.

El motor se alimenta a través de una fuente externa. Con este módulo es posible realizar el control de velocidad y giro de un motor de cc.

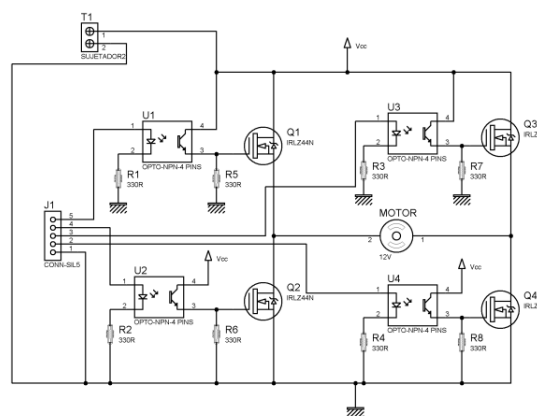


Figura 5. Diagrama esquemático del módulo de control de velocidad y giro de un motor de cc, con puente completo.

### Motor CC Medio Puente

Se utiliza el mismo conector del módulo de puente completo, aunque sólo necesita dos señales (de las 4 disponibles en el conector). El motor se alimenta a través de una fuente externa.

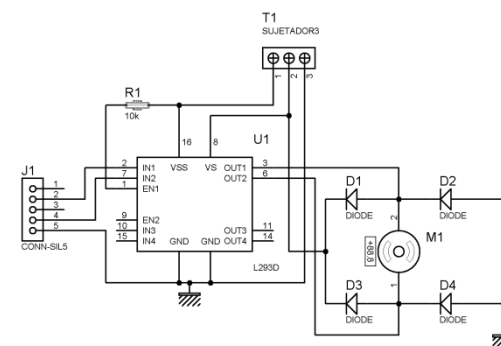


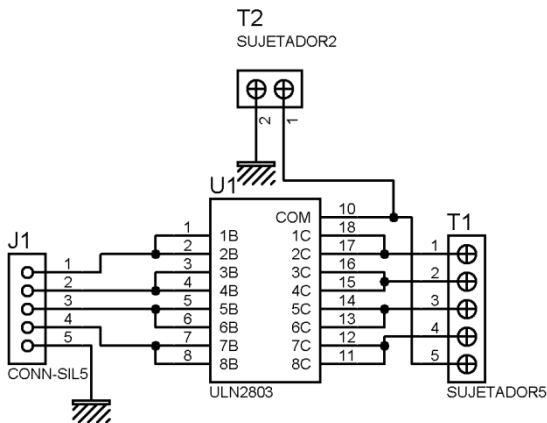
Figura 6. Diagrama esquemático del módulo de control de velocidad de un motor de cc, con medio puente.

**Motor a Pasos**

Este módulo es utilizado para controlar el giro y velocidad de un motor a pasos de 5 hilos.

Se utilizó el integrado ULN2803 el cual cuenta con ocho salidas Darlington, para cada una de sus ocho entradas, pero como sólo se necesitan cuatro señales, se puentean cada dos entradas entre sí, al igual que sus respectivas salidas, para aprovechar el integrado en su totalidad.

El conector de entrada no contiene señal de voltaje por lo que el motor deberá ser alimentado externamente, a través del conector doble, ubicado en la parte inferior del PCB.



**Figura 7. Módulo de control de velocidad y giro de un motor a pasos.**

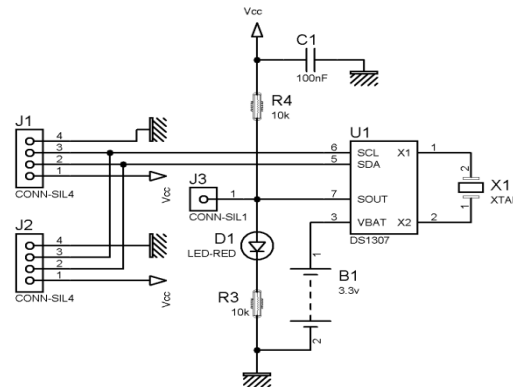
De igual forma, se provee al usuario final de diversas interfaces de comunicación seriales como I2C, SPI y USART, destacando entre estos la interface USB cliente con conexión directa al PC para programación y depuración de aplicaciones.

**Protocolo de comunicación I2C**

Utilizan conectores de 4 terminales: VCC, GND, SDA y SCL. Como el protocolo I2C permite que hasta 128 dispositivos se conecten en el bus a través de sólo dos líneas, y como la tarjeta principal cuenta con sólo un conector I2C, cada módulo cuenta con dos conectores de 4, para que tantos módulos como se tengan se puedan conectar al bus.

**DS1307, RTC**

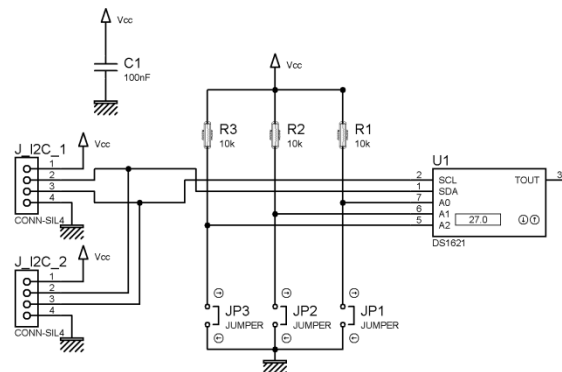
El integrado cuenta con un generador de onda cuadrada de frecuencia variable en una de sus terminales; para habilitarla es necesaria activar el bit correspondiente en un registro del dispositivo, y colocar una resistencia de tal pin a voltaje. En esta terminal se conectó un LED, para que en caso de seleccionar la frecuencia más baja, que es de 1Hz, sirva como tick, o indicador de segundos. El diseño está basado en el circuito de aplicación típico, sugerido en la hoja de especificaciones del DS1307. El capacitor de 100nF sirve para reducir el ruido.



**Figura 8. Módulo del RTC DS1307.**

**DS1624, Sensor de Temperatura**

Este integrado cuenta con tres terminales de direccionamiento, por lo que se pueden utilizar hasta 8 módulos iguales en el bus. El módulo cuenta con resistencias de pull-up en dichas terminales, por lo que estarán siempre en estado ALTO, a menos que se conecten jumpers (con lo cual se direccionarán a un estado BAJO). El capacitor de 100nF sirve para reducir el ruido.



**Figura 9. Módulo del sensor de temperatura DS1624.**

### M24C04, EEPROM

Este integrado cuenta con dos terminales de direccionamiento, por lo que se pueden utilizar hasta 4 módulos iguales en el bus.

El módulo cuenta con resistencias de pull-down en dichas terminales, por lo que estarán siempre en estado BAJO, a menos que se conecten jumpers (con lo cual se direccionarán a un estado ALTO).

Además cuenta con un tercer jumper que conecta la terminal de WC\_ a voltaje, para inhibir las escrituras a la memoria. El capacitor de 100nF sirve para reducir el ruido.

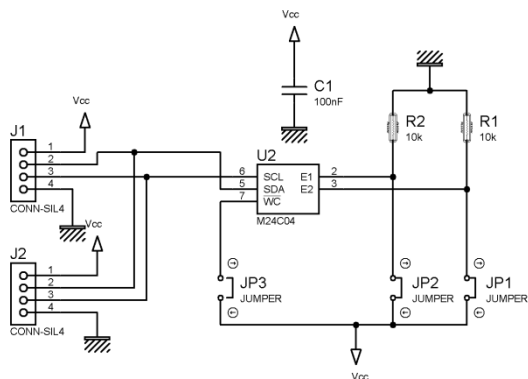


Figura 10. Módulo de la memoria EEPROM M24C04.

### Comunicación SPI

Expansor de Entradas y Salidas, MCP23S17  
Este módulo se conecta a la tarjeta principal con un conector único de 6 terminales: SDI, SDO, SCL, Vcc, GND, CS.

Los pines de direccionamiento del integrado están conectados a GND. Una resistencia de pull-up mantiene el pin de RESET en estado ALTO, el cual puede ser cambiado a BAJO presionando el botón normalmente abierto.

Cuenta con pines para hacer pruebas de los puertos GPA y GPB, así como de las salidas de las interrupciones, y un pin de GND.

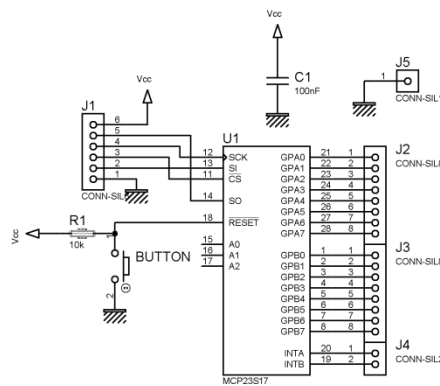


Figura 11. Módulo de expansión de puertos SPI, MCP23S17.

### CONCLUSIONES

El modulo de entrenamiento desarrollado le da al usuario un instrumento poderoso para el aprendizaje en la programación e implementación de aplicaciones basadas en PICs, de tal forma que una vez completado su entrenamiento a través de las aplicaciones propuestas, pueda él a su vez implementar una serie de aplicaciones más específicas de acuerdo a sus necesidades. Por otro lado se sigue trabajando en el desarrollo de otros módulos de entrada como de salida a los ya antes mencionados, de tal forma que el número de aplicaciones inicialmente desarrolladas para el presente módulo se vaya enriqueciendo sin necesidad de realizar cambios en la tarjeta principal, eso es posible lograrlo gracias a la gran modularidad que presenta el sistema.

Por otro lado todos los programas desarrollados para el presente prototipo fueron elaborados en el compilador de C CCS, si bien, el propio compilador tiene un gran número de librerías para el manejo de un sinnúmero de dispositivos externos como los internos del PIC, fueron creadas unas librerías que servirán de apoyo complementario en el manejo de los módulos implementados para el manejo del presente prototipo.

## LITERATURA CITADA

- Dogan Ibrahim. 2008. **Advanced PIC Microcontroller Projects in C**. Elsevier, Microchip Technology Inc 2007 **PIC18F2455/2550/4450/4550 Data Sheet**,.544 p.
- García Breijo Eduardo. 2008, **Compilador C CCS y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC**, 1ª. Ed., Ed, México D.F.: Alfaomega.263 p.
- Sid Catzen. 2010. **The Essential PIC18® Microcontroller**: Springer. 643 p.
- Wilmshurst Tim. 2007. **Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers, Principles and applications**, 1a. ed., Great Britain: Newnes. 750 p.
- Bates Martin. 2006. **Interfacing PIC Microcontrollers, Embedded Design by Interactive Simulation**, 1a. Ed. Great Britain: Newnes. 298 p.
- Gardner Nigel. 2002. **PICmicro MCU C® An introduction to programming The Microchip PIC in CCS C.**, USA.167 p.  
[www.microchip.com](http://www.microchip.com)

### **Jaime Fonseca Beltrán.**

Profesor Investigador Instituto Tecnológico de Los Mochis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Batiz y 20 de Noviembre s/n, C.P. 81279, Los Mochis, Sinaloa, México.

### **Gerardo Cázarez Ayala**

Profesor Investigador Instituto Tecnológico de Los Mochis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Bátiz y 20 de Noviembre s/n, C.P. 81279, Los Mochis, Sinaloa, México.

### **José de Jesús Montes de Oca Flores**

Profesor Investigador Instituto Tecnológico de Los Mochis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Bátiz y 20 de Noviembre s/n, C.P. 81279, Los Mochis, Sinaloa, México.

### **Huémac Israel del Ángel Bahena**

Residente Profesional de la carrera de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Los Mochis, Blvd. Juan de Dios Bátiz y 20 de Noviembre s/n, C.P. 81279, Los Mochis, Sinaloa, México.

### **Carlos Alberto Aguilar Avelar**

Residente Profesional de la carrera de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Los Mochis, Blvd. Juan de Dios Batiz y 20 de Noviembre s/n, C.P. 81279, Los Mochis, Sinaloa, México.