

**V Jornadas Nacionales y I
Latinoamericanas de Ingreso y
Permanencia en Carreras
Científico-Tecnológicas**



18 al 20 de Mayo de 2016.

Bahía Blanca. Argentina

**EXPERIENCIA INTEGRADORA Y DE ACCESO TEMPRANO A LAS
TECNOLOGÍAS Y PRÁCTICAS SOBRE SISTEMAS EMBEBIDOS, EN
INFORMÁTICA II DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

3. Prácticas de enseñanza para la promoción de procesos de aprendizaje que contribuyan al desarrollo de capacidades requeridas para favorecer el ingreso y el avance regular.

3.3 Innovaciones e integraciones de contenidos en la formación profesional para la permanencia en carreras científico-tecnológicas.

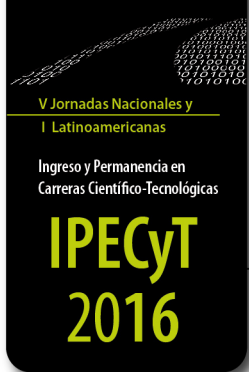
Friedrich, Guillermo Rodolfo¹; Pellegrino, Sergio²

^{1,2} Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, Departamento de Ingeniería Electrónica

gfried@frbb.utn.edu.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se describe una experiencia innovadora y de integración de contenidos que se realiza en Informática II, materia integradora del segundo nivel de Ingeniería Electrónica en la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional. Consiste en el desarrollo de un pequeño sistema de medición de temperatura basado en microcontrolador, que efectúa la medición en función del tiempo de descarga de un capacitor a través de un termistor. Además de ser la integradora del segundo nivel, esta asignatura tiene como objetivos profundizar conocimientos y habilidades de programación en lenguajes C/C++ e introducir fundamentos y aplicaciones de cálculo numérico. La principal área en que los ingenieros electrónicos trabajan en programación es la de sistemas embebidos. Éstos se componen de hardware y software, y se encuentran embebidos (o incrustados) dentro de otros sistemas, a los cuales controlan y/o supervisan. En el diseño curricular vigente, los alumnos recién en el tercer nivel comienzan a trabajar en el laboratorio de electrónica; y con sistemas embebidos (microprocesadores y microcontroladores) en el cuarto. En tal sentido, esta experiencia representa un atajo, que acerca tempranamente a trabajar en el laboratorio para la construcción y ensayo del circuito; también introduciendo conceptos básicos de la arquitectura del microcontrolador utilizado. El contacto temprano con tecnologías y prácticas de la especialidad, además de la integración vertical con asignaturas posteriores, resulta motivador. También se integra horizontalmente con Física II, porque el método de medición empleado es una aplicación concreta de los circuitos RC estudiados en la misma. Finalmente, el interés de los alumnos por desarrollar otros proyectos luego del cursado (incluso algunos han sido publicados), motiva a seguir perfeccionando la experiencia. Por ejemplo: buscar la integración



V Jornadas Nacionales y I Latinoamericanas de Ingreso y Permanencia en Carreras Científico-Tecnológicas

UTN  bhi
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Bahía Blanca

18 al 20 de Mayo de 2016.

Bahía Blanca. Argentina

horizontal con Química General, proponiendo investigar la causa de la variación de la resistencia del termistor con la temperatura.

Palabras clave: materia integradora, sistema embebido, circuito RC, microcontrolador.

1. INTRODUCCIÓN

Los conocimientos y habilidades para la programación de computadoras, microprocesadores y microcontroladores son un tópico importante en la formación y en el campo de acción de los ingenieros electrónicos. Si bien se ha venido enseñando programación en las carreras de ingeniería electrónica desde la aparición de las primeras computadoras, el objetivo y la orientación de esta enseñanza se debe ir adecuando a la evolución tecnológica y a la realidad de la práctica profesional. Es preciso tener en claro por qué y para qué un ingeniero electrónico debe saber programación. Asimismo, para el ingeniero electrónico el software no es una abstracción independiente del hardware, sino que ambos están estrechamente vinculados.

En la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional se viene trabajando en una cierta renovación de la enseñanza de programación en Ingeniería Electrónica, tendiente a que los alumnos conozcan y experimenten tempranamente la vinculación entre software y hardware que es propia de la carrera (Coppo, Iparraguirre, Feres, Ursua y Cavallo, 2011) (Friedrich, Iparraguirre y Coppo, 2013) (Friedrich y Pellegrino, 2014).

Como Informática II es la materia integradora del segundo nivel, se intenta integrar en forma horizontal, desde la práctica, conceptos de otras materias del mismo nivel. Además, el contacto temprano con conceptos y tecnologías que serán tratados con mayor profundidad en los niveles posteriores, implica una integración vertical. En esta asignatura se profundizan conocimientos y habilidades de programación en lenguaje C y se realiza una introducción a su aplicación para la programación de sistemas embebidos. Ésto requiere brindar al alumno conceptos básicos de la arquitectura de un microcontrolador. El contacto temprano con tecnologías específicas de la carrera resulta desafiante y motivador para los alumnos, como se puede observar en otros proyectos afines, que muchos continúan realizando por su cuenta.

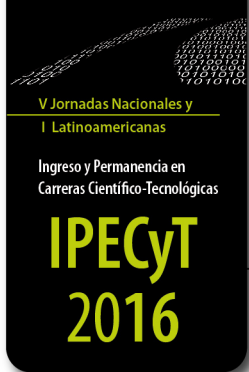
El trabajo a realizar por parte de los alumnos consiste en el desarrollo y ensayo de un pequeño sistema basado en microcontrolador, para la medición de temperatura, cuyo principio de funcionamiento se basa en la medición del tiempo de descarga de un capacitor a través de una resistencia variable con la temperatura (Quiring, 2006). Esto presenta una posibilidad de integración horizontal con Física II, en la que se tratan temas de electricidad y electromagnetismo, incluyendo los circuitos RC (resistencia-capacidad) usados como base en este proyecto.

También se da una oportunidad de integración horizontal con Química General, adonde pueden recurrir para investigar las causas de la variación de la resistencia con la temperatura en los termistores.

2. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

Los diseños curriculares de las carreras de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional están basados en un tronco integrador, formado por las denominadas materias integradoras (UTN, 2005).

Por otra parte, el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería viene promoviendo que la formación de los ingenieros esté basada en competencias, es decir, focalizada desde el inicio según "el eje de la profesión, es decir desde el desempeño, desde lo que el ingeniero efectivamente debe ser capaz de hacer en los diferentes ámbitos de su quehacer profesional y



V Jornadas Nacionales y I Latinoamericanas de Ingreso y Permanencia en Carreras Científico-Tecnológicas

18 al 20 de Mayo de 2016.

Bahía Blanca. Argentina

social” (CONFEDI, 2014). En tal sentido, también se pretende que este trabajo sea una experiencia formativa que contribuya a la generación de dichas competencias profesionales.

Los objetivos de esta experiencia, algunos de los cuales ya se han ido mencionando, son:

- ✓ Integrar horizontalmente conceptos de Física II y, en cierta medida, también de Química General, aplicándolos a la resolución de un problema de interés práctico.
- ✓ Integrar verticalmente con Informática I, profundizando conceptos y prácticas, y con Técnicas Digitales II, sentando una base que facilite el trabajo inicial en la misma.
- ✓ Relacionar magnitudes físicas con magnitudes eléctricas que las representan y con los procedimientos (software y hardware) que permiten medirlas y procesarlas.
- ✓ Introducir más tempranamente el contacto con tecnologías y técnicas propias de la carrera, a fin de favorecer la motivación de los alumnos.
- ✓ Contribuir a la generación de competencias profesionales en los alumnos.

3. DESARROLLO

A fin de guiar y motivar a los alumnos, desde la cátedra se realizan las siguientes acciones:

- ✓ Introducción, a nivel de bloques, de la arquitectura del microcontrolador a utilizar, poniendo atención solamente en aquellas unidades que son de interés para el trabajo.
- ✓ Ejemplos de manejo de recursos internos del microcontrolador, mediante trozos de código en lenguaje C.
- ✓ Descripción del problema a resolver y la técnica a emplear.
- ✓ Descripción más detallada de las unidades internas directamente involucradas en la resolución del problema (comparador, temporizador, interrupciones).
- ✓ Pautas para el armado del circuito asociado, componentes y materiales a adquirir, ensayos preliminares a realizar.
- ✓ Pautas para la selección de ciertos parámetros y valores a fijar desde el software (por ejemplo: frecuencias de operación, tiempo de carga, frecuencia de refresco del display, conversión de valores (cuenta → tiempo → resistencia → temperatura).

También se aprovecha para que los alumnos experimenten la importancia del trabajo en equipo, especialmente para la detección y solución de fallas y errores. Si bien se brinda asistencia desde la cátedra, se motiva a que los alumnos intenten resolver los problemas entre ellos y no esperar una receta de la cátedra. Los mensajes que se intentan transmitir son:

- ✓ El trabajo en equipo es de gran ayuda para la búsqueda de errores. Ante la existencia de un error, es más probable que lo descubra otro y no el autor del mismo.
- ✓ En general no hay una única solución para un problema. Las consignas son las mismas para todos los grupos, pero puede haber variantes en las soluciones implementadas.

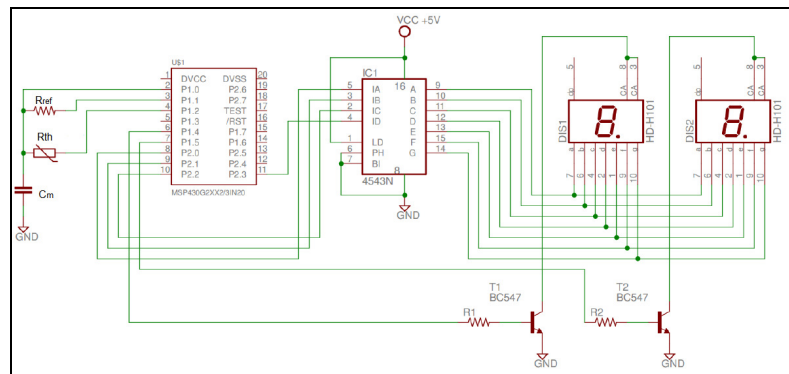
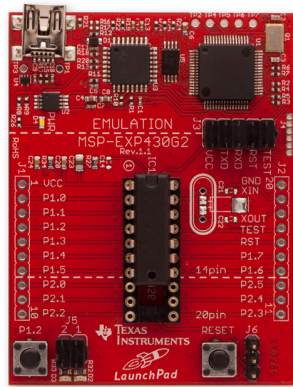
3.1. Detalles técnicos

Para efectuar la medición del tiempo de descarga del capacitor se utilizó el comparador analógico incluido en el microcontrolador utilizado, un MSP430G2553 de Texas Instruments (Texas Instruments, 2013), montado en un kit LaunchPad MSP-EXP430G2 (Texas Instruments, 2014) usado como base para el trabajo (Fig. 1a). Dicho comparador controla el funcionamiento de un temporizador, que entrega un valor de cuenta linealmente proporcional al tiempo que

18 al 20 de Mayo de 2016.

Bahía Blanca. Argentina

demora la descarga del capacitor, desde el valor de plena carga (V_{cc}) hasta un cierto valor de referencia ($0.25 V_{cc}$). Midiendo dicho tiempo de descarga, primero a través de una resistencia de referencia de valor conocido (R_{ref}) y luego a través de un termistor (R_{th}), y aplicando algunos cálculos sencillos se obtiene el valor de R_{th} . Luego se ingresa con este valor de R_{th} a la tabla característica del termistor utilizado y se obtiene la temperatura.



(a)

(b)

Fig. 1 (a) Kit MSP-EXP430G2 – (b) Diagrama esquemático del circuito

Debido a que se trata de una asignatura del segundo nivel, cuando los alumnos todavía no han adquirido los conocimientos básicos necesarios para el diseño de circuitos, desde la cátedra se les entrega el esquemático del circuito (Fig. 1b) para que ellos lo puedan implementar.

El procedimiento para efectuar la medición consiste en:

- ✓ Cargar el capacitor durante un tiempo (t_{ch}) varias veces mayor que la constante de tiempo τ del circuito RC ($\tau=RC$). Se recomienda que $t_{ch} \geq 5 \tau$.
- ✓ Descargar el capacitor a través de R_{ref} y registrar el tiempo (t_{Rref}) que demora en llegar la tensión en bornes del capacitor a $0.25 V_{cc}$.
- ✓ Cargar nuevamente el capacitor durante un tiempo $t_{ch} \geq 5 \tau$
- ✓ Descargar el capacitor a través del termistor, cuyo valor de resistencia (R_{th}) en función de la temperatura es conocido, y obtener el tiempo (t_{Rth}) que demanda para que la tensión en bornes del capacitor llegue a $0.25 V_{cc}$.
- ✓ Calcular el valor de temperatura del termistor:

La tensión en bornes de un capacitor C, durante su descarga a través de una resistencia R, está dada por: $V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$. Debido a que la tensión inicial y final es la misma, tanto para la descarga a través de R_{ref} como a través de R_{th} , se llega a la siguiente relación:

$$\frac{R_{th}}{t_{Rth}} = \frac{R_{ref}}{t_{Rref}}, \text{ de donde se obtiene: } R_{th} = R_{ref} \frac{t_{Rth}}{t_{Rref}}.$$

Finalmente, ingresando con el valor de R_{th} a la tabla característica del termistor utilizado, y aproximando al valor más cercano, se obtiene el valor de temperatura. A modo de ejemplo, en la Tabla I se muestran algunos valores de resistencia versus temperatura para un cierto termistor NTC (coeficiente negativo de temperatura).

18 al 20 de Mayo de 2016.

Bahía Blanca. Argentina

Otra cuestión de interés práctico es trabajar sobre la hoja de datos del termistor, para obtener la curva característica que da lugar a la tabla de valores sobre los que luego se trabaja.

TABLA I. RESISTENCIA VS TEMPERATURA PARA UN DADO TERMISTOR

Temperatura (°C)	Resistencia (Ω)	Temperatura (°C)	Resistencia (Ω)	Temperatura (°C)	Resistencia (Ω)	Temperatura (°C)	Resistencia (Ω)
10	1964	18	1359	26	958	34	688
11	1874	19	1299	27	919	35	661
12	1788	20	1243	28	881	36	635
13	1707	21	1189	29	845	37	611
14	1629	22	1138	30	810	38	587
15	1556	23	1090	31	778	39	565
16	1487	24	1044	32	746	40	543
17	1421	25	1000	33	717		

3.2. Programación y ensayos

La implementación, el desarrollo de software y el posterior ensayo presentan dudas y dificultades, que se intentan aprovechar como una oportunidad para el aprendizaje. Resolver los inconvenientes que se presentan, con el esfuerzo que ellos implica, también resulta motivador. A continuación se mencionan algunos de estos tópicos:

- ✓ Configuración de relojes y temporizados:

El sistema de relojes del microcontrolador tiene tres relojes: MCLK (principal), SMCLK (secundario) y ACLK (auxiliar), que pueden generarse desde distintos osciladores, de acuerdo a como se lo configure desde el programa. Esto requiere comprender el sistema a nivel de bloques y relacionarlo con los registros de control correspondientes.

- ✓ Selección de la frecuencia más adecuada para la medición de tiempos con precisión:

Debido a que los registros del temporizador utilizados para la cuenta de tiempo tienen una cantidad finita de bits, debe elegirse una frecuencia que resulte una solución de compromiso entre la resolución y el rango de temperatura a medir.

- ✓ Configuración del comparador y manejo de la carga y descarga del capacitor:

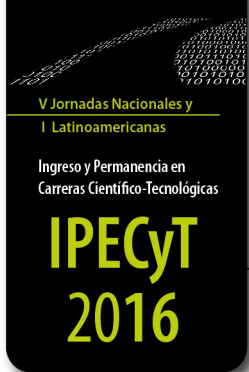
La carga y descarga del capacitor, como así también la operación del comparador que controla la cuenta de tiempo, requieren tener en cuenta aspectos del mundo analógico. Esto representa una cierta complejidad, pero también una oportunidad para relacionar con conceptos de electricidad que han adquirido en Física II.

- ✓ Manejo del display:

La presentación del valor de temperatura implica mostrar un dígito o el otro en forma alternada, aprovechando la persistencia del ojo humano que produce la ilusión de ver ambos dígitos encendidos al mismo tiempo. Una cuestión a resolver, incluso de manera experimental mediante prueba y error, es la selección de la frecuencia de refresco más conveniente, que ofrezca un buen balance entre intensidad y parpadeo imperceptible.

- ✓ Manejo de interrupciones:

El concepto de interrupción y su programación asociada representa un cierto salto en la complejidad, lo que inicialmente representa un desafío. Se aplica a la medición del tiempo de descarga del capacitor y para la alternancia entre dígitos del display.



V Jornadas Nacionales y I Latinoamericanas de Ingreso y Permanencia en Carreras Científico-Tecnológicas

UTN  bhi
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Bahía Blanca

18 al 20 de Mayo de 2016.

Bahía Blanca. Argentina

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se presentó la experiencia realizada en la asignatura Informática II, de segundo año de Ingeniería Electrónica en la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional. En dicha asignatura se enseña programación en C y se realiza una introducción a su aplicación para la programación de sistemas embebidos.

Paralelamente los alumnos cursan Física II, en la que se estudia electricidad y electromagnetismo, viendo, entre otros temas, capacitores, resistencias, ley de ohm y circuitos RC. Por ello se propuso realizar un proyecto integrador, consistente en el desarrollo de un pequeño sistema para la medición de temperatura en función del tiempo de descarga de un capacitor a través de un termistor (resistencia variable con la temperatura). Para la medición de dicho tiempo/temperatura y su presentación se utilizó un microcontrolador y un circuito ad-hoc.

Cabe señalar que la dificultad para los alumnos es media/alta, por la complejidad de los elementos internos del microcontrolador que han tenido que conocer y controlar (reloj, temporizador, comparador, interrupciones). Sin embargo, los resultados son satisfactorios, tanto por el aprendizaje de los alumnos como por la motivación con respecto a la carrera.

5. REFERENCIAS

CONFEDI (2006). *Acuerdo sobre Competencias Genéricas*. Recuperado el 23 de febrero de 2016 de <http://www.confedi.org.ar>

CONFEDI (2014). *Competencias en Ingeniería*. Recuperado el 23 de febrero de 2016 de http://www.confedi.org.ar/sites/default/files/documentos_upload/Cuadernillo%20de%20Competencias%20del%20CONFEDI.pdf

Coppo R., Iparraguirre J., Feres G., Ursua G. y Cavallo A. (2011). Sistema didáctico para la enseñanza de la programación con metodologías de aprendizaje basado en problemas. *XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2011)*. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agronomía, Universidad Nacional de Rosario, 5 y 6 de mayo de 2011, ISBN 978-950-605-570-7.

Friedrich G., Iparraguirre J. y Coppo R. (2013). Experiencias de actualización de la enseñanza de programación en la carrera de Ingeniería Electrónica. *Artículos de las III Jornadas de Enseñanza de la Ingeniería (JEIN 2013)*, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Bahía Blanca, 5 y 6 de septiembre de 2013, Año 3, Vol 2, 2013, pág. 21 a 26. ISSN 2313-9056.

Friedrich G., Pellegrino S. (2014). Experiencia práctica de integración de contenidos de Física II en un laboratorio de programación de microcontroladores. Resúmenes *IV Jornadas de Enseñanza de la Ingeniería (JEIN 2014)*, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Avellaneda, 4 y 5 de septiembre de 2014, pág. 53.

Quiring K. (2006). *Implementing An Ultralow-Power Thermostat With Slope A/D Conversion*. Recuperado el 23 de febrero de 2016 de <http://www.ti.com/lit/an/slau129b/slau129b.pdf>

Texas Instruments (2013). *MSP430x2xx Family, User's Guide*. Recuperado el 23 de febrero de 2016 de <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ug/slau144j/slau144j.pdf>

Texas Instruments (2014). *Kit Launchpad MSP-EXP430G2*. Recuperado el 23 de febrero de 2016 de <http://www.ti.com/tool/msp-exp430g2#2>

UTN (2005). *Ordenanza 1077: Adecua el Diseño Curricular de la carrera Ingeniería Electrónica*. Recuperado el 23 de febrero de 2016 de <http://csu.rec.utn.edu.ar/docs/php/salida.php3?tipo=ORD&numero=1077&anio=0&facultad=CSU>