

# SISTEMA DE CONTROL Y MEDIDA DE TEMPERATURAS PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

L.ZORZANO, J. ZORZANO

*Departamento de Ingeniería Eléctrica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial.  
Universidad de La Rioja. España.*

[luis.zorzano@unirioja.es](mailto:luis.zorzano@unirioja.es), [jose.zorzano@unirioja.es](mailto:jose.zorzano@unirioja.es)

*Este documento presenta un sistema de bajo coste que pretende ser una ayuda al desarrollo de prácticas de instrumentación electrónica sobre medida de temperaturas, abarcando las diferentes etapas: sensores de temperatura, circuitos acondicionadores y las técnicas de medida hardware y software, apoyándose en microcontroladores programables en lenguaje de alto nivel que proporcionan una rápida curva de aprendizaje focalizada en los asuntos esenciales de la medida de temperatura.*

*Palabras clave: Instrumentación electrónica, Sensores, Temperatura.*

## 1. Introducción

Nadie pone en duda que la enseñanza de la electrónica requiere de un trabajo de tipo práctico. Esta necesidad cobra, aún, más fuerza cuando se trata de la enseñanza de materias que tienen una alta vinculación con el mundo real, como es el caso de Instrumentación Electrónica, en su faceta de los sistemas de adquisición de señales. Por otra parte, los títulos de grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática (implantados o por implantar) requieren otro tipo de docencia más participativa por parte del alumno y en la que éste tenga una actitud más activa.

Se presenta en este documento un sistema de medida de la temperatura para favorecer el proceso enseñanza-aprendizaje del alumno sobre los sensores de temperatura y sus circuitos acondicionadores, así como el diseño de programas de adquisición de señales e instrumentación virtual. El objetivo del módulo diseñado, y aquí presentado, es el de proporcionar un sistema de bajo coste y fácil realización, puesto a disposición del alumno para que lleve a cabo diseño de circuitos de medida de temperaturas. Una de las dificultades que pretende superar es la de disponer de una variable física (objeto de la medida) perfectamente controlable.

La propuesta aquí presentada proporciona elementos suficientes para que los alumnos puedan elaborar pequeños proyectos integrales de medida de temperatura, basados en el diseño de circuitos de acondicionamiento de señal, de conversión analógica/digital, y de adquisición de señales (hardware y software).

## 2. Descripción del sistema de medida de temperaturas

La medida de cualquier variable física en un laboratorio con propósitos docentes necesita de la existencia de esa variable física y de su control para que pueda medirse. En el caso del sistema de medida de temperatura se ha optado por la utilización de módulos termoelectrónicos que varíen la temperatura en un recinto cerrado respecto a la temperatura ambiente. Se han dispuesto diferentes sensores de temperatura

con salidas directas para el usuario (sin acondicionamiento de señal) y de unos microcontroladores básicos para efectuar el pre-procesamiento de la señal y su transmisión al ordenador, de una forma sencilla (ya que se quiere hacer hincapié en el acondicionamiento de señal). La ventaja del sistema propuesto frente a propuestas anteriores radica en la facilidad de su interconexión con ordenador, su bajo coste, la rapidez en su construcción, programación y puesta a punto.

## 2.1. Módulo termoelectrico

En el siglo XIX, Thomas Seebeck y Jean Peltier descubrieron el fenómeno que es la base de la industria termoelectrica actual [1]. Seebeck encontró que si se provoca un gradiente de temperatura en la unión de dos conductores diferentes circula una intensidad eléctrica. Por otro lado, Peltier descubrió que haciendo pasar corriente eléctrica a través de dos conductores diferentes unidos ocasionaba la emisión o absorción de calor en la unión de los materiales. Fue a mediados del siglo XX cuando los avances en la tecnología de semiconductores ocasionaron que las aplicaciones prácticas llegasen a ser factibles. Con técnicas modernas se pueden producir módulos termoelectricos que funcionan como eficientes bombas de calor de estado sólido, tanto para producir calentamiento como enfriamiento.

Un módulo termoelectrico típico [2] consta de una estructura matricial de pastillas semiconductoras de Teluro de Bismuto que han sido dopadas de manera que cada una es de un tipo: P o N. Los pares de pastillas P/N se configuran para estar conectados en serie, desde el punto de vista eléctrico, y en paralelo, desde el punto de vista térmico (Figura 1). Finalmente, unos substratos cerámicos metalizados proporcionan la plataforma para que las pastillas y unas pequeñas láminas metálicas conductoras las conecten (Figura 2). Los tamaños de los módulos van desde 0.25"x0.25" a 2"x2", aproximadamente.

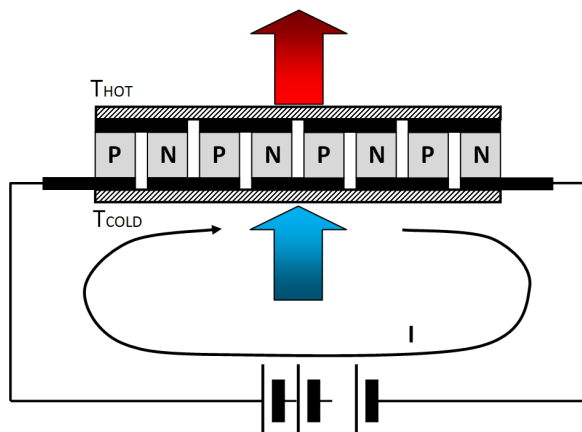


Figura 1 Módulo termoelectrico



Figura 2 Aspecto externo de un módulo Peltier

Cuando se aplica un voltaje continuo al módulo termoelectrico se produce un calentamiento en una de las caras y un enfriamiento en la cara opuesta. Utilizando esta simple aproximación a la bomba de calor la tecnología termoelectrica se utiliza en muchas aplicaciones, como: refrigeradores de pequeños diodos laser, neveras portátiles, acondicionamiento térmico científico, enfriadores de líquidos, etc.

El módulo termoelectrico utilizado es Melcor CP1.4-127-06, cuyas especificaciones se indican en la Tabla 1, se puede alimentar desde una fuente de alimentación de 12 voltios, utilizando una pequeña resistencia limitadora de corriente para cumplir las especificaciones.

**Tabla 1** Especificaciones del módulo Peltier Melcor CP1.4-127-06

Temperatura del lado caliente (°C)	25°C	50°C
Qmax (Watts)	51.4	56.2
Vmax (Volts)	15.4	16.3
I <sub>max</sub> (Amps)	6.0	6.0
Delta Tmax (°C)	67	77
Module Resistance (Ohms)	2.25	2.53

Con éste módulo se pueden conseguir incrementos o decrementos máximos de temperatura de unos 70°C, pudiendo llegar a alcanzar temperaturas de hasta unos 90°C, suponiendo temperaturas ambiente cercanas a los 25°C.

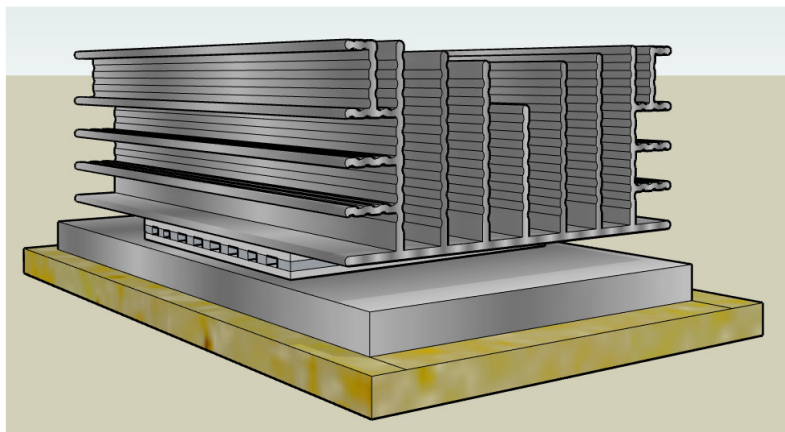
## 2.2. Microcontrolador PICAXE

El microcontrolador elegido pertenece a la familia de microcontroladores PICAXE, programables en BASIC y mediante diagramas de flujo. La elección de esta familia de dispositivos se basa en la facilidad de utilización de los mismos. Se pretende que el alumno haga énfasis en el diseño de circuitos de medida de temperatura, eludiendo al máximo la complicación impuesta por la incorporación de los tradicionales microcontroladores. En concreto, los microcontroladores PICAXE aportan al sistema presentado los siguientes beneficios:

- Eliminación de la necesidad de circuito o equipo programador, programándose a través del puerto serie RS232 (o mediante el bus USB), utilizando un cable suministrado por el fabricante.
- Programación en BASIC, con un extenso repertorio de instrucciones, reutilizable en la mayor parte de miembros de la familia de microcontroladores.
- Realización de gran cantidad de aplicaciones derivadas directamente de la ejecución de las instrucciones del microcontrolador (consulta de entradas digitales, adquisición de voltajes analógicos, decodificación de señales derivadas de mandos a distancia por infrarrojos, generación de señales digitales, generación de señales PWM, comunicación con ordenador, comunicación con dispositivos SPI e I2C, visualización de mensajes en dispositivos LCD).

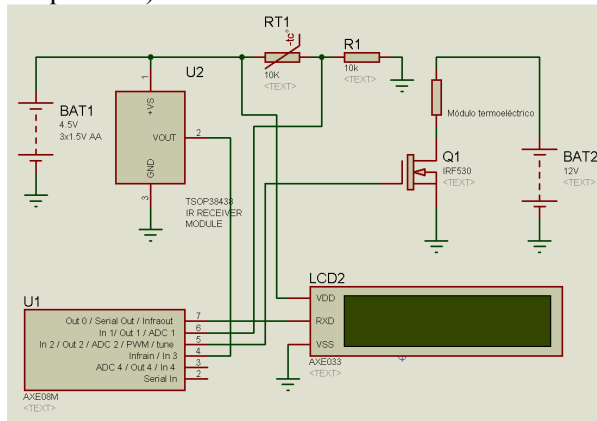
## 2.3. Módulo controlador de temperatura

El controlador de temperatura está formado por un módulo termoeléctrico, basado en efecto Peltier, que se encuentra dispuesto entre un radiador de aletas y un radiador plano (Figura 3). Adosado al radiador plano se ha dispuesto una base dónde hay capacidad para alojar los diferentes sensores de temperatura.

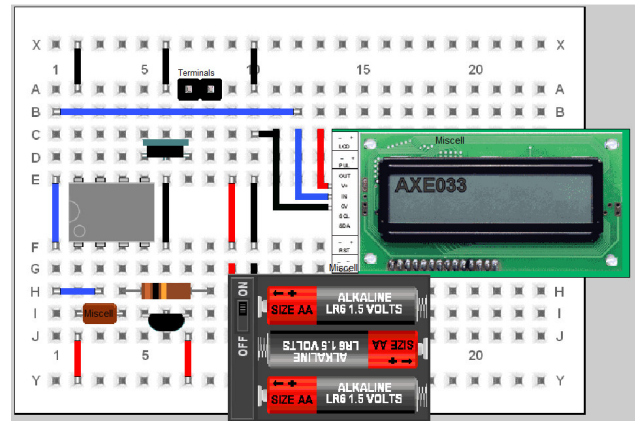


**Figura 3** Disposición del módulo termoeléctrico y los radiadores

El módulo termoelectrico es gobernado por un pequeño microcontrolador (Figura 4 y Figura 5) de la familia PICAXE [3]. Para poder controlar la temperatura se utilizará un mando a distancia por infrarrojos, el cual puede hacer funcionar al controlador de temperatura en forma manual (seleccionando la temperatura el usuario) o de forma automática (generando diferentes perfiles de forma de onda de la temperatura).



**Figura 4** Módulo controlador de temperatura



**Figura 5** Tarjeta de montaje de prototipos con el circuito controlador de la temperatura

El sistema desarrollado utiliza una fuente de 12 voltios para alimentar el módulo termoelectrico y un circuito de control ON/OFF para variar la temperatura. La medida de la temperatura se realiza por un termistor NTC, que junto con un resistor fijo forma un divisor de tensión, llevando la tensión de salida a la entrada analógica del microcontrolador. Internamente, un programa de control todo-nada con histéresis, gobierna la aplicación de potencia al módulo termoelectrico.

El módulo controlador de temperatura mide la temperatura del habitáculo, mediante un termistor NTC de 10K y temperatura característica 4000°K. Este sensor, junto con un resistor de 10K, forman un divisor de la tensión de alimentación (4.5 voltios) que permite llevar a la entrada analógica del microcontrolador una tensión variable con la temperatura. Por otra parte el módulo incorpora el circuito receptor de infrarrojos Vishay TSOP34838, que permite recoger las selecciones efectuadas por un mando a distancia de TV convencional. Con él se pueden seleccionar hasta 10 valores de temperatura diferentes (Tabla 2), mediante las teclas numéricas del mando a distancia.

**Tabla 2** Selección de temperatura con el mando a distancia

Tecla	t (°C)	RT(Ω)	V(voltios)	N
0	0.00	34184.79	1.018	232
1	10.00	20369.57	1.482	337
2	20.00	12574.15	1.993	454
3	30.00	8013.17	2.498	568
4	40.00	5255.73	2.950	671
5	50.00	3538.37	3.324	756
6	60.00	2439.46	3.618	823
7	70.00	1718.71	3.840	874
8	80.00	1235.17	4.005	911
9	90.00	903.98	4.127	939
10	100.00	672.76	4.216	959

Tras pulsar una tecla, el programa residente en el microcontrolador AXE08M (Figura 6) recoge el código y, mediante la instrucción “lookup”, localiza en una tabla el valor numérico que le correspondería recoger del convertidor analógico/digital. Se lee el valor numérico del ADC mediante la instrucción “readadc” y se compara el valor numérico obtenido en el ADC con el valor obtenido de la tabla, procediendo a activar/desactivar la circulación de corriente por el módulo Peltier según proceda.

Utilizando este módulo exclusivamente, pueden elaborarse prácticas de medida de temperaturas con termistor NTC, profundizando en el estudio de la función de transferencia del sensor y del acondicionador de señal, en la obtención de las curvas en “S”, en los sistemas de medida mediante “lookup table”.

Además, puede incidirse en algún aspecto de regulación y de teoría de control (sistemas de control con realimentación), Por otra parte, cambiando el termistor NTC y su circuito acondicionador por otro basado en RTD o termopar, se pueden llevar a cabo prácticas adicionales.

El sistema utiliza un visualizador LCD de 2 filas de 16 caracteres (AXE033) con entrada serie para presentar la temperatura seleccionada desde el mando a distancia y la temperatura medida por el sensor, a la vez que sirve como un sencillo sistema de comunicación con el usuario.

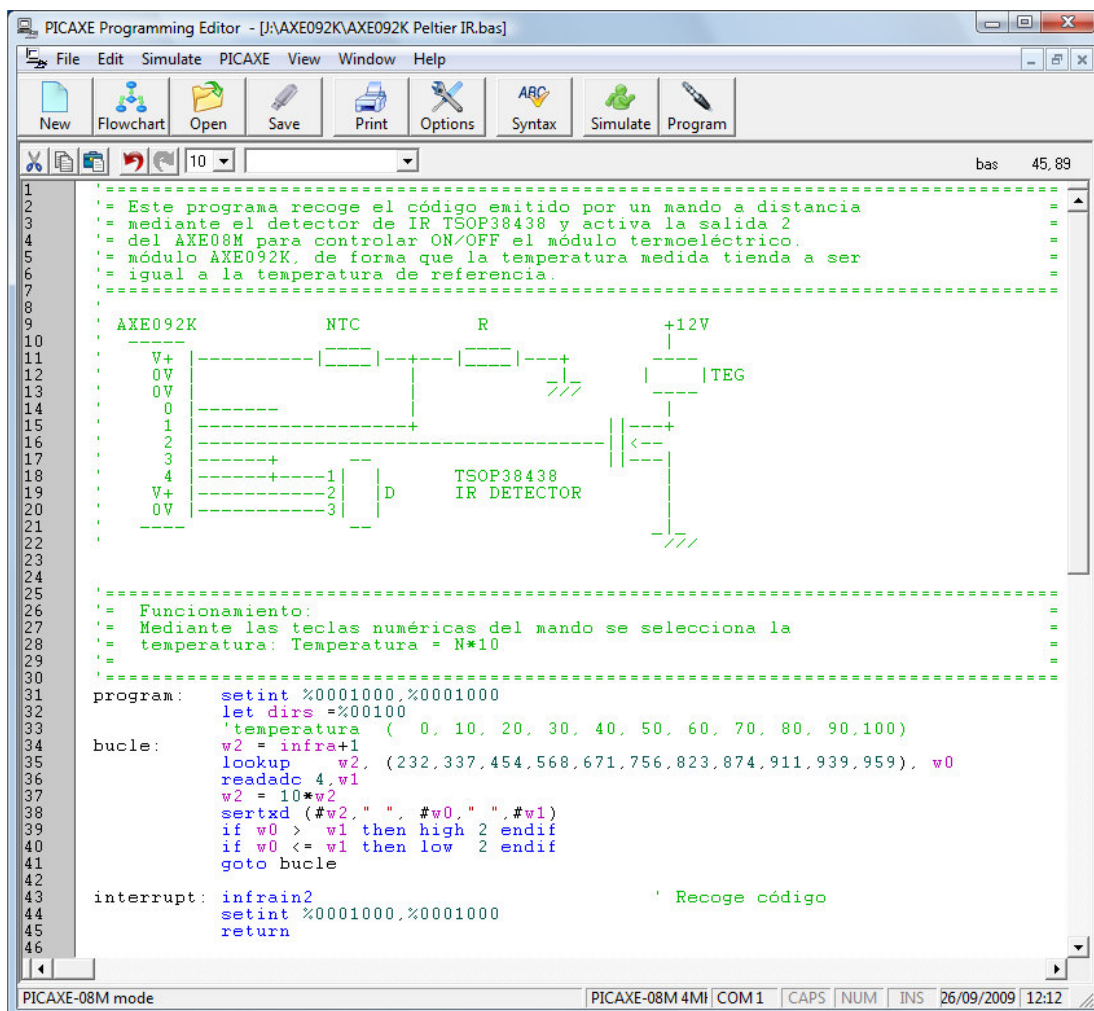


Figura 6 Programa fuente escrito en Basic para controlar la temperatura con el módulo termoeléctrico

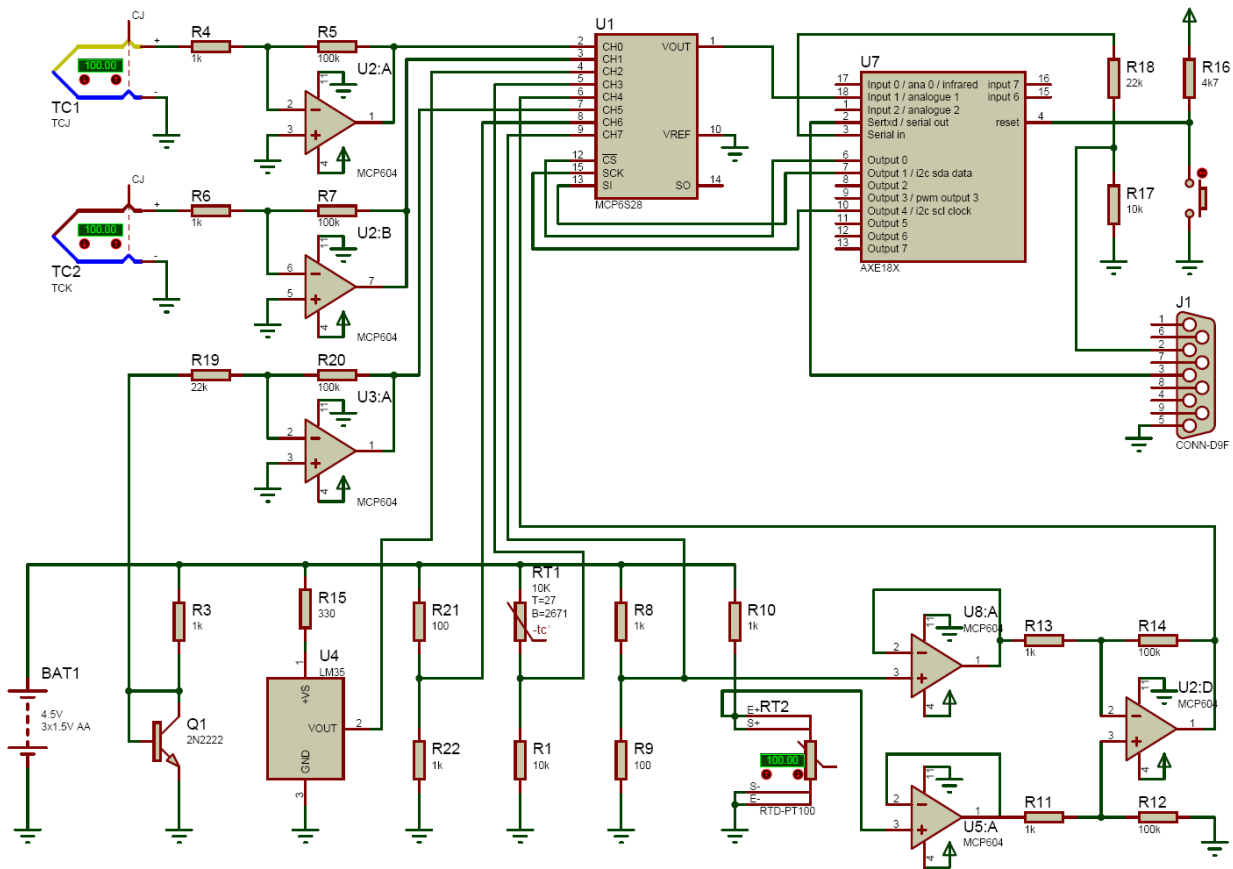
La simplicidad de los programas escritos para el microcontrolador, así como la facilidad para su rápida modificación, simulación, programación y comprobación, hacen de este sistema una herramienta versátil que cada docente o alumno puede cambiar a su conveniencia.

### 2.3. Módulo de medida de temperatura

El objeto de este módulo es proporcionar al estudiante una colección de circuitos medidores de temperaturas utilizando diferentes sensores (Figura 7), con objeto de dar a conocer la función de transferencia del sensor, el circuito de acondicionamiento y los métodos de cálculo de la temperatura. Entre los sensores empleados están: RTDs, NTCs, circuitos basados en uniones semiconductoras (diodos, LM335) y termopares J y K.

Las señales proporcionadas por los circuitos de medida se llevan hasta el multiplexor/amplificador de ganancia programable MCP6S28 de Microchip[4], que es controlado por el microcontrolador AXE-18X, que además envía las muestras obtenidas al ordenador a través del puerto serie.

La utilidad de este circuito se basa en la comprensión de los diferentes circuitos de acondicionamiento: divisores de tensión, puentes [4], amplificadores para termopares [5], circuitos de compensación de la unión fría [6], amplificadores de ganancia programable, multiplexores y sobre la interconexión de estos circuitos con microcontroladores [7].



**Figura 7** Módulo de medida de temperatura multisensorial con microcontrolador PICAXE

## 2.4. Instrumentación virtual

El sistema queda integrado con el paquete de programación LabVIEW 8 Student Edition [8], disponiendo de programas de muestra para recoger la información proporcionada por el sistema de adquisición, a través del puerto serie. Además, se incorporan las funciones de transferencia inversas de cada uno de los sensores, y la utilización de diferentes métodos de cálculo de la temperatura como el uso de tablas, de linealización por tramos y de aproximación polinómica.

Desde el punto de vista de generación de resultados se muestran gráficos de representación de los valores instantáneos de la temperatura medida por los diferentes sensores y los errores de medida. También se ha dotado de la posibilidad de guardar los resultados en ficheros o enviarlos electrónicamente. Dado que LabVIEW es un programa que permite diseñar instrumentos virtuales de forma completamente gráfica y con una gran potencia para el trabajo con sensores y acondicionadores de señal [9], su uso por parte del estudiante representa una doble ventaja: aprende un lenguaje de programación gráfica para instrumentación y obtiene resultados gráficos de una forma rápida y sencilla.

## 3. Prácticas, trabajos y proyectos

El sistema proporciona todos los elementos básicos para la elaboración de diferentes prácticas y trabajos sobre sensores de temperatura, acondicionamiento, procesado de señal, y sistemas de adquisición de datos. Entre las prácticas que pueden llevarse a cabo están:

- Diseño de circuitos de acondicionamiento de señal para termistores NTCs, RTDs, termopares y sensores de temperatura basados en uniones semiconductoras.
- Diseño de circuitos de compensación de la unión fría para termopares
- Diseño de software de cálculo de la temperatura para diferentes sensores.
- Diseño de métodos de linealización software (linealización a tramos, etc.)
- Diseño de circuitos de linealización por tramos
- Diseño de software de instrumentación virtual (termómetros, registradores de temperatura, reguladores de temperatura, laboratorios remotos, etc.,).
- Diseño de programas de microcontrolador para la medida de temperaturas con diferentes sensores.
- Diseño de proyectos de medida de la distribución espacial de las temperaturas y de la propagación del calor.

## 4. Conclusiones

Se ha diseñado un sistema de medida de temperatura para la enseñanza de sensores de temperatura, acondicionadores de señal, microcontroladores e instrumentación virtual, con bajo coste económico, y con una curva de aprendizaje elevada y focalizada en los asuntos de interés propiciando, sin embargo, el trabajo con un sistema funcional completo, desde la magnitud física real hasta la magnitud medida, incluyendo el tratamiento de todos los bloques de un sistema de adquisición de señales.

## Referencias

- [1] H. Julian Goldsmid. *Introduction to thermoelectricity*, Springer, Heidelberg, 2010
- [2] *An Introduction to Thermoelectrics*, Tellurex Corporation, Michigan, 2006.
- [3] David Lincoln. *Programming and customizing the PICAXE Microcontroller*, McGraw-Hill/TAB Electronics; 1ª edición, 2005.
- [4] B. Baker. *Bridge Sensing with the MCP6S2X PGAs, AN251*, Microchip Technology, Inc. 2003.
- [5] B. Baker. *Single Supply Temperature Sensing with Thermocouples, AN684*, Microchip Technology, Inc. 1998.
- [6] J. Williams, Thermocouple measurement, Linear Technology, AN28, 1988.

- [7] Ibrahim, Dogan. *Microcontroller-based temperature monitoring and control*. Butterworth Heinemann Pub., Oxford, 2002.
- [8] Robert H Bishop, *LabVIEW 8 Student Edition*, National Instruments, Inc., Prentice Hall, 2007.
- [9] B. Paton. *Sensors, Transducers & LabVIEW*. Ed. Prentice-Hall PTR, New Jersey, 1998.