

Tarjeta de adquisición de temperaturas de bajo costo en construcción y en programación

Maximiano Ixtacchiuatl Gaspar-Pavón¹, Claudia del Carmen Gutiérrez-Torres¹, Gonzalo Macías-Bobadilla², José Alfredo Jiménez-Bernal¹, Pedro Quinto-Díez¹, Juan Gabriel Barbosa-Saldaña¹

¹ Instituto Politécnico Nacional, SEPI-ESIME Zacatenco (México)

² Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería (México)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7764>

1. INTRODUCCIÓN

En diversas investigaciones desarrolladas en las unidades académicas es común el uso de sistemas de registro de variables tales como temperatura, presión, densidad de flujo solar, etc. Existe toda una industria de metrología dedicada a satisfacer las necesidades de medición, sin embargo, la mayoría de los productos que se ofrecen son principalmente fabricados en países desarrollados y por ende, con precios considerablemente altos. Aunque son innumerables los sistemas de medición comerciales y diversos los precios a los que se venden, el común denominador que los distingue es la procedencia; los equipos registradores de variables provienen de algún país desarrollado, lo cual promueve la dependencia tecnológica que se viene padeciendo desde hace siglos en la comunidad latinoamericana. Es claro que para desarrollar una tarjeta de medición se requieren elementos electrónicos de alto nivel de integración, que son aún proporcionados por dichas empresas transnacionales, con lo cual se recurre de cualquier forma a la dependencia tecnológica, no obstante, es posible obtener ahorros sustanciales al soslayar los gastos de importación de tecnología extranjera y transporte, con la construcción de un dispositivo medidor nacional hecho para un propósito específico.

Este tipo de planteamientos no es nuevo, numerosas publicaciones dan cuenta del desarrollo de sistemas de medición específicos o aplicaciones muy particulares para los que equipos de adquisición de datos comerciales no son aptos ni adecuados. Tal es el caso de Ramírez-Neyra [1] en el 2009, utilizando un micro-controlador

PIC16F873A del fabricante *Microchip Technology Inc*, el sistema *LabVIEW 6.0* para programarlo y teniendo *Visual Basic 6.0* como una plataforma de programación para la interfaz gráfica, desarrolla una tarjeta de adquisición de datos básica de cuatro canales analógicos. Considerando la compra de los programas de desarrollo y elementos electrónicos se llegó a ahorrar más del 50% del precio de una tarjeta registradora de datos comercial al elaborarla en la misma unidad académica. La tarjeta fue presentada solo como un prototipo sin reportar ninguna medición ó aplicación.

Similarmente, un registrador de datos de bajo costo, multifuncional y expandible fue diseñado en una facultad de Turquía por Katrancioli et al. [2], basado en el micro-controlador PIC16F877A. Fue diseñado para hacer varias tareas con 6 entradas analógicas, 2 salidas analógicas, 1 entrada digital y 1 salida digital, todas para propósito general. En adición, podían conectarse más módulos de entradas o salidas a través de la interface paralela o la interfaz serial de periféricos (SPI). Se midió una señal de voltaje sinusoidal para verificar la velocidad de muestreo que llegó a ser 2000 muestras por segundo máximo. Está indicado que la tarjeta se usará para algunos proyectos de los estudiantes de posgrado pero no se reporta una aplicación específica.

Análogamente, un diseño e implementación de bajo costo de un medidor registrador de propiedades termo-eléctricas con dos entradas analógicas provenientes de dos termopares tipo K, fue documentado por Sumphao, et al.[3], incluyendo un micro-controlador PIC18F4550, un convertidor analógico digital de alta resolución (A/D) MCP3553, y la estructura de programación del fabricante Microchip Inc, el sistema fue programado a través de *Visual Delphi* para medir el efecto Seebeck en un determinado material satisfactoriamente.

Ahondando más en tarjetas de adquisición tradicionales, García-Juárez [4] implementa una TAD (tarjeta de Adquisición de Datos) con interfaz USB, empleando un micro-controlador AT90USB646 marca

ATMEL, contando con los siguientes recursos: convertidor de 7 canales analógicos a digitales a 15 kS/s con rango de voltaje desde 0 a 10 V, generador de señales analógicas por modulación de ancho de pulso PWM, contador de eventos, entre otros. Todo el sistema fue desarrollado en *LabView*, sobre la plataforma de *Windows versión 7*. Las pruebas para el módulo del ADC se hicieron utilizando señales sinusoidales provenientes de un generador de funciones. No se especifica aplicación.

Uno de los más recientes desarrollos de tarjetas de adquisición de datos, es el reportado por Ferrero Martín et al. [5], que se caracteriza por tener 8 entradas analógicas de ± 12 V con 16 bits de resolución a 20 kS/s, interfaz gráfica desarrollada a través del programa Python y microprogramación efectuada mediante Labview. Las pruebas llevadas a cabo sobre el dispositivo muestran que las mediciones analógicas tienen un error de 0.012% respecto al valor de referencia. Se midieron señales analógicas externas. No se especifica aplicación.

Por el lado comercial existen tarjetas de adquisición de temperaturas tales como el modelo USB-6008 de la empresa *National Instruments* con 12bits de resolución y velocidad de muestreo 10 kS/s que para su programación se requiere adquirir el programa de desarrollo *LabView* [6].

Otro modelo más sencillo que no requiere programador es el modelo TAD I-7018 de la compañía *Jameco Electronics* con 16Bits de resolución y velocidad de muestreo 10 S/s [7].

Un punto notorio es que varias de las tarjetas de adquisición de datos construidas son de propósito general con muchas características poco especializadas, es decir, tienen funciones no solo de medir señales analógicas sino también de medir señales digitales, contar, producir y entregar funciones eléctricas a la salida, etc. Tales funciones son poco especializadas porque los rangos de voltaje donde actúan son muy bajos, por ejemplo, el rango de medición puede ser de 2.2 V pico a pico, o son pocos los canales analógicos disponibles para medir, por ejemplo desde 1 a 4 canales, etc.

En las investigaciones de nuestra institución educativa muchas veces es necesario registrar en tiempo real un buen

número de temperaturas casi simultáneamente, para obtener una distribución que dé cuenta del fenómeno estudiado. Gran parte del equipo registrador con el que se cuenta es de tecnología extranjera; además de ser escaso y caro, es difícil de manipular. A veces se ha intentado manejar tales equipos pero ello conlleva a gastos de capacitación y uso exagerado de tiempo para dominarlo. Ante tal necesidad y echando mano de los recursos humanos, los estudiantes de posgrado, se propone el objetivo de este trabajo: diseñar y construir un dispositivo electrónico capaz de medir y registrar 8 niveles de temperaturas desde 0 hasta 1300°C a través de termo sensores tipo K. Adicionalmente, calibrar tal adquiridor de temperaturas (AQT8K), en el intervalo que va de 150 hasta 700 °C para obtener la incertidumbre de las mediciones y de esta manera, verificar su adecuado funcionamiento.

2. DESARROLLO

2.1. ELEMENTOS DE AQT8K

Los micro-controladores AVR marca ATMEL se consideran eficientes y poderosos en muchos aspectos, puesto que manejan frecuencias menores que las de los micro-controladores PIC de Microchips, los AVR tienen menores pérdidas térmicas, además usan un menor número de ciclos de reloj para completar sus instrucciones teniendo un mejor manejo de los datos y por ende mejor desempeño [8]. Por lo anterior, se ha elegido usar un micro-controlador muy económico y de bajo consumo, el ATMEGA48PA.

Con un convertidor analógico digital de 10 bits y velocidades de muestreo desde 1 kS/s hasta de 76 kS/s es suficiente para efectuar la conversión de las señales analógicas y mostrarlas en la pantalla de la computadora cada segundo o cada 10 segundos.

Según el fabricante la máxima desviación de una conversión real respecto a una conversión ideal es 2LSB (Bits menos significativos). Así que, para una temperatura máxima de 1300°C y 1023 divisiones posibles de la señal, la incertidumbre del convertidor analógico digital es de 2.5°C.

Para establecer comunicación entre el micro-controlador y una computadora (PC), se interconecta entre ellos el circuito integrado MAX232, que establece la transmisión de las mediciones desde el micro-controlador hacia la PC. Los dieciséis canales, resultado de la interconexión de dos multiplexores HCF4051BE, conducirán las 8 señales analógicas diferenciales hacia un amplificador de instrumentación.

El AD595CQ es un amplificador de instrumentación que cuenta con compensación por unión fría, ganancia de lazo cerrado de 247.3, terminales que permiten calibración precisa vía dos o tres resistencias conectadas, e intervalo de error de -1°C a +1°C. Fácil de conseguir en el mercado y costo reducido.

Cada señal analógica proveniente de los sensores térmicos será elevada en su tensión por el amplificador AD595AQ para luego entregarla al convertidor analógico digital contenido en el micro-controlador que digitalizando cada señal las hace pasar al transmisor MAX232 que las envía a la PC para ser desplegadas.

El dispositivo MAX232 fácil de conseguir y bajo costo adapta los niveles TTL del micro-controlador a niveles RS232.

La conexión de los elementos que conforman la AQT8K se observa en la Figura 1. Las flechas que interconectan los bloques indican el flujo de datos, excepto las que interconectan el micro-controlador con la interfaz óptica y el multiplexor las cuales son señales de control para ir seleccionando cada sensor térmico secuencialmente.

A cada termopar se le asigna un canal del

multiplexor. El micro-controlador a través de la interfaz óptica elige el canal que será conectado al amplificador, así, cada termopar es conectado hacia el amplificador. La salida del amplificador siempre está conectada al micro-controlador. Con dicha interfaz óptica se logra una mayor estabilidad en las mediciones ya que, en las pruebas, cuando se conectaba el micro-controlador directo al multiplexor aumentaban los errores aleatorios en las mediciones.

El convertidor A/D y el amplificador manejan intervalos de voltajes de 0 a 5 VCD y de 0 a 15 VCD respectivamente. Un divisor de tensión es colocado entre el amplificador y el micro-controlador para reducir el voltaje de tal forma que una señal de temperatura de 1500°C corresponde a 15 VCD del Amplificador y a su vez corresponde a 5 VCD a la entrada del convertidor A/D.

Con la introducción del divisor de tensión el voltaje convertido será de 15 ± 0.029 V, considerando que el error del convertidor A/D es de 2BLS (2 bits menos significativos) y que es capaz de muestrear la señal analógica en 1023 partes.

Una señal a la vez y durante un corto tiempo pasa a ser amplificada, digitalizada y almacenada en una componente vectorial interna declarada en el programa del micro-controlador.

Después, el micro-controlador selecciona otro canal del multiplexor para amplificar, digitalizar y almacenar la señal del siguiente termopar, una vez que tiene registrado el otro valor de temperatura en otra componente interna, selecciona otro sensor térmico, y así se repite el mismo proceso consecutivamente hasta terminar de digitalizar las temperaturas de 8 termopares.

Una parte del programa indica la transmisión y despliegue de las 8 temperaturas en la computadora, para iniciar después, otro nuevo ciclo de medición.

Teniendo interconectados los elementos principales se procede a explicar la programación del micro-controlador.

2.2. IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MEDICIÓN Y REGISTRO

El programa AVR Studio Versión 4.16, gratis para descargar y usar fue utilizado para desarrollar el programa interno del micro-controlador, escrito en lenguaje C [9].

El programa esencialmente, declara e inicializa en cero la variable RING que apunta a cada sensor térmico y también crea y empieza en cero un vector Temperatura de 8 componentes, T, en donde se registrarán cada una de las mediciones di-

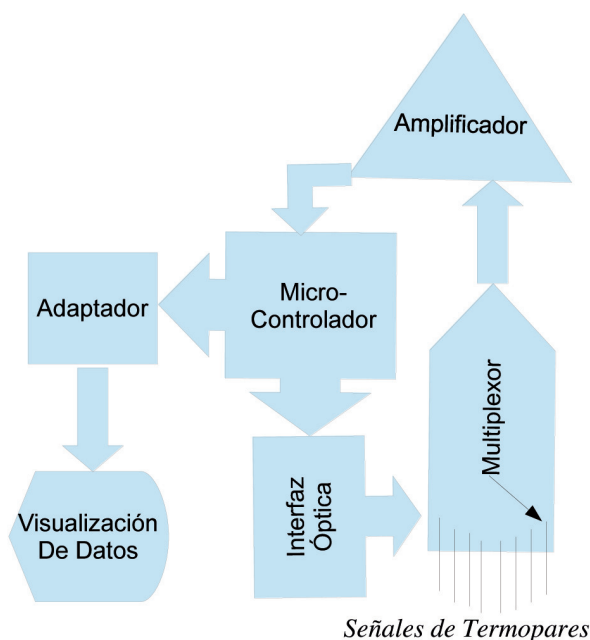


Figura 1: Diagrama a cuadros de AQT8K

gitalizadas para luego ser desplegadas en la computadora.

El convertidor A/D es puesto en el modo de apagado después de que termina una conversión y durante el tiempo que son manipulados los datos, esto con el objeto de evitar errores por interferencia.

La Figura 2 muestra en su parte central, el diagrama de flujo esencial y resumido

que hace funcionar la AQT 8K. A la derecha del diagrama se explica cada componente del mismo y a la izquierda se despliega la parte más importante del código en C correspondiente a cada bloque explicado.

La reprogramación es necesaria cuando se requiera reducir el número de sensores, cambiar el tiempo de muestreo o presentar distintas unidades como K, sin

embargo, solo se modifican pequeñas partes del programa y no la base ni esencia del mismo.

2.3. TRANSMISIÓN Y DESPLIEGUE

Una parte muy delicada de la AQT 8K es la transmisión y despliegue de las mediciones. Para efectuar tales acciones adecuadamente se optó por usar la función USART, propia del micro-controlador la conocida función *printf* del lenguaje C y el programa HyperTerminal en la computadora.

La función "printf" es habilitada en el micro-controlador, a través de una subrutina que maneja el flujo de caracteres interrelacionando las funciones "putchar", "mystdout" y TX_USART para tomar los datos de T [RING], transmitirlos y colocarlos en 8 columnas ordenadas en la pantalla de la computadora.

La Tabla 1 muestra la configuración que permite la transmisión y recepción exitosa de los datos.

2.4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

La implementación del circuito electrónico se llevó a cabo a través del programa Liveware 1.11 obteniéndose el diagrama electrónico de todo el circuito que es exportado al programa PCB Wizard 3.5 para generar una placa de circuito impreso.

La Figura 3 muestra la apariencia del sistema de adquisición de temperaturas ya terminado.

En la parte superior izquierda se encuentra indicado el conector normalizado

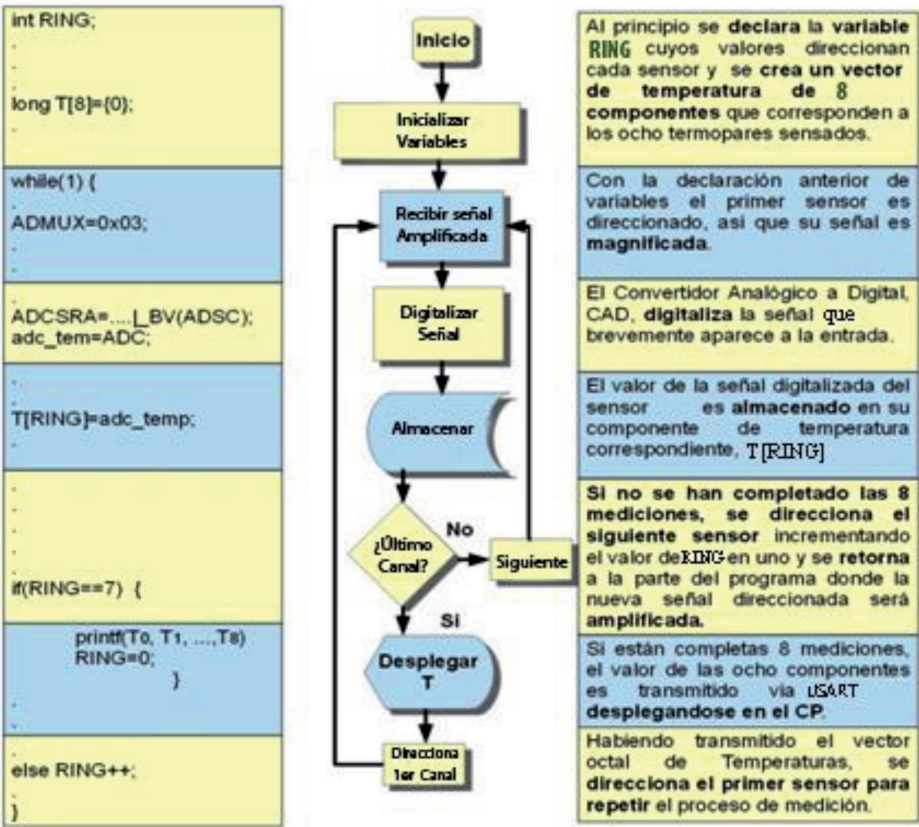


Figura 2: Diagrama de flujo esencial y código principal de AQT 8K

$\frac{Bits}{seg}$	9600
$\frac{Bits}{Datos}$	8
Paridad	Ninguno
Bits de Parada	1
Control de Flujo	$\frac{X_{on}}{X_{off}}$

Tabla 1: Configuración en HyperTerminal

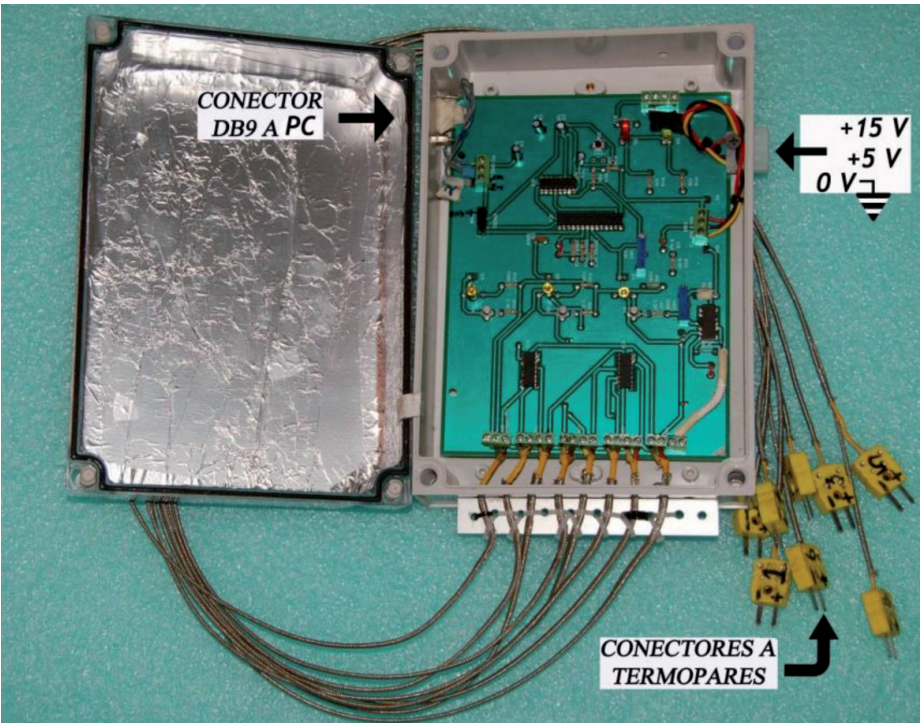


Figura 3: Aspecto físico AQT 8K

T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈
200.7	255.8	303.6	564.4	466.4	295.0	177.5	170.1
200.7	254.6	303.6	566.8	468.9	296.2	177.5	171.4
200.7	254.6	304.8	566.8	467.6	296.2	177.5	172.6
199.5	255.8	304.8	569.2	473.8	296.2	178.7	172.6
200.7	257.1	304.8	570.5	472.5	296.2	179.9	171.4
200.7	254.6	306.0	571.7	477.4	296.2	177.5	172.6
200.7	257.1	306.0	572.9	477.4	296.2	179.9	172.6
200.7	257.1	306.0	574.1	478.7	297.5	179.9	172.6
202.0	259.5	306.0	575.4	482.3	298.7	178.7	173.8
200.7	257.1	304.8	576.6	484.8	298.7	179.9	173.8
203.2	258.3	304.8	575.4	483.5	299.9	178.7	173.8
204.4	258.3	303.6	576.6	487.2	301.1	178.7	175.0
202.0	259.5	304.8	576.6	488.4	301.1	179.9	175.0
203.2	259.5	304.8	576.6	489.7	302.4	179.9	175.0
203.2	259.5	304.8	577.8	490.9	303.6	181.1	175.0
203.2	259.5	306.0	576.6	492.1	304.8	181.1	175.0
202.0	260.7	303.6	576.6	493.3	303.6	181.1	175.0
203.2	262.0	303.6	580.3	492.1	307.2	179.9	175.0
208.1	260.7	303.6	577.8	495.8	308.5	182.4	176.2
204.4	265.6	303.6	576.6	497.0	308.5	183.6	175.0
203.2	262.0	301.1	575.4	494.6	309.7	181.1	176.2
203.2	264.4	302.4	574.1	495.8	310.9	182.4	176.2
203.2	263.2	302.4	575.4	497.0	312.1	183.6	173.8
204.4	264.4	301.1	572.9	497.0	313.4	182.4	176.2

Tabla 2: Presentación de Temperaturas en la Computadora

	$\sum (T_i - T_{real})^2$	131.77	
n = 60	$\frac{1}{n} \sum (T_i - T_{real})^2$	2.196166667	
$\sigma =$	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum (T_i - T_{real})^2}$	1.481946918	Desviación Estándar Poblacional
u =	$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	0.191318524	Desviación Estándar Experimental de la Media
DNCEM	u ²	0.382637049	Desviación normal cuadrática experimental de la media
Errores	de Termopar (°C±)	de Instrumento (°C±)	e _{HT} (°C±)
	1.1	0.8	1.9
			↔ y Sensor térmico
	u ² + e _{HT} ²		3.992637049
	$\sqrt{(u^2 + e_{HT}^2)}$		1.996318524
			Incertidumbre parcial de las mediciones
Nivel de confianza 95%, * factor de Students	1.96* $\sqrt{(u^2 + e_{HT}^2)}$		3.912784308
			↔ (°C±)
			Incertidumbre Total de las Mediciones

Tabla 3: Secuencia de cálculo de incertidumbre

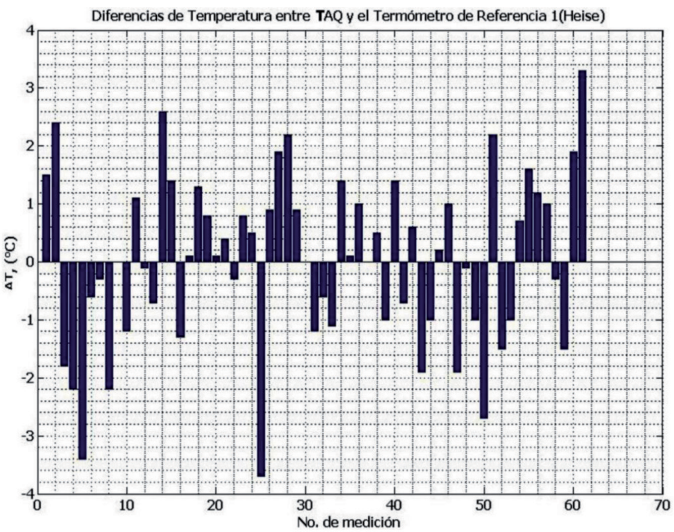


Figura 4: Diferencias de Temperatura entre AQT y Referencia

para comunicación serial DB9 (9 pines) en donde se conecta la computadora con un cable adaptador de USB a puerto serial.

En la parte inferior derecha se indican los conectores tipo K que van conectados a los termo sensores y son la parte final de los cables de extensión para termopar de 1 m de longitud aproximada, que parten del multiplexor en la tarjeta electrónica.

En la parte superior derecha, un conector blanco, con cables saliendo para introducir la energía de alimentación correspondiente a 5 y 15 Volts de corriente directa necesarios para energizar la parte de control, amplificación y multiplexado del adquiridor de temperaturas.

La cubierta del dispositivo esta forrada con papel aluminio para filtrar las interferencias electromagnéticas del exterior.

Para un futuro proceso de optimización, es posible usar solo una fuente externa de 15V o alimentar desde el puerto USB, aunque aún con la instalación de 2 fuentes de alimentación, el resultado no pierde su ventaja en economía.

Ambas fuentes suministran 3W de potencia.

Con la culminación del diseño en el dispositivo ya construido se procede a realizar pruebas de medición.

3. RESULTADOS

3.1. MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN UN ABSORBEDOR SOLAR

Con el formato indicado de la función "printf" se hizo que el sistema de adquisición presentara los datos en 8 columnas correspondientes a las temperaturas de ocho sensores.

Adicionalmente, con algunas subrutinas de retardo en el programa principal, se consiguió presentar los datos de temperatura cada 8.5 segundos como lo muestra la Tabla 2 donde se indican las temperaturas medidas en °C en un absorbedor metálico hemisférico irradiado por un flujo solar con distribución Gaussiana.

El uso de temporizadores internos para indicar los tiempos de muestreo se puede dejar para un futuro proceso de optimización.

Cada fila es presentada en el intervalo de tiempo anteriormente indicado y representa la medición en tiempo real del vector T de ocho componentes de temperatura. Los datos son guardados en un archivo de extensión ".ht" que pueden ser analizados más adelante para obtener gráficas, diagramas de barras, etc.

El micro-controlador efectúa las 8 conversiones en 3.712x s, que son suficientes para la presente aplicación que no requiere alta velocidad.

Habiendo sido la AQT8K, capaz de registrar temperaturas exitosamente se procede a calibrarla en el intervalo que va de 150 a 700°C.

3.2. ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE ERRORES EN LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA

La tarjeta fue calibrada por el método de comparación que consiste en cotejar la medición de temperatura procedente del AQT con un termómetro de referencia marca Heise. Se efectúan 60 muestras en un intervalo de temperaturas que va desde 150°C hasta 720°C.

Se realizó un ajuste eléctrico a la AQT por medio de un potenciómetro resistivo que regulaba la cantidad de voltaje a la entrada del convertidor analógico digital para reducir las diferencias de temperatura entre uno y otro medidor.

Tal diferencia se debe a la incertidumbre introducida por las resistencias del divisor de tensión, con el potenciómetro se compensa tal error para lograr una mejor coincidencia.

Puesto que el ajuste eléctrico resultó en

una coincidencia muy próxima en las mediciones de temperatura de los dos aparatos se realiza un diagrama de barras que indica las diferencias de temperatura en cada muestra, es decir, la resta de la temperatura de referencia menos la temperatura de la AQT es ΔT y se registra en la Figura 4. Una rápida apreciación de la misma permite darse cuenta que el error máximo de la medición de la AQT se encuentra dentro del intervalo $\pm 4^\circ\text{C}$.

3.3. ANÁLISIS TEÓRICO DE ERRORES

La Tabla 3 muestra el procedimiento para obtener la incertidumbre teórica total, donde a partir de 60 mediciones, $n=60$, se obtiene la desviación normal cuadrática experimental de la media, DNCEM. Además se considera e_{HT} que es el error del instrumento de referencia más el del sensor térmico, indicados ambos en las especificaciones de los fabricantes. Obteniendo la raíz de la suma de los cuadrados de la DNCEM y e_{HT} resulta la incertidumbre parcial de las mediciones. Para obtener un nivel de confianza del 95% en las mediciones, tal incertidumbre parcial debe multiplicarse por el factor de Students [10]. Siendo así que la incertidumbre total teórica de las mediciones es aproximadamente a $\pm 4^\circ\text{C}$ el valor experimental anteriormente obtenido en la sección 3.2.

4. DISCUSIÓN

Muchas de las tarjetas de adquisición de datos explicadas en la introducción requieren el uso de paquetes de programación especializados como *LabView* o *Simulink*, por los cuales se tienen que pagar licencias de uso temporal.

En contraste, el algoritmo introducido al micro-controlador del presente estudio, no requirió pagar ninguna licencia pues fue hecho en la plataforma de programación soportada por el fabricante la cual es libre de uso, además, el programa *HyperTerminal*, también de libre uso, no requiere más que el ambiente de algún sistema operativo de *Windows*.

Por supuesto que esta ventaja se reflejaría en bajos costos de producción al comercializar el presente dispositivo o al construirlo para uso académico.

En la Tabla 4 se puede notar que las tarjetas comerciales son más veloces para tomar las muestras ó tienen una mayor resolución, no obstante estas tarjetas comerciales son en extremo mucho más caras que la producida en la unidad académica. Para obtener la distribución de temperatura en un absorbedor solar como en el presente estudio requiere bajas velocidades de muestreo y resolución por lo que no se justifica el elevado costo de tales dispositivos electrónicos.

Las TADs comerciales tienen errores inferiores a los $\pm 2.5^\circ\text{C}$ porque manejan más bits. A pesar de lo anterior, considérese la incertidumbre de 4°C , dividida por la medición mínima del intervalo que es 150°C ; el porcentaje de error máximo del dispositivo es del 2.66%.

Cabe señalar que los elementos de la tarjeta AQT8K fueron los que se pudieron adquirir con los recursos asignados al proyecto dando ejemplo con esto que es posible obtener distribuciones de Temperatura con el mínimo de recursos y mínima dependencia extranjera.

Se puede considerar adicionalmente que el costo de la tarjeta AQT8K puede reducirse mucho más si se compran los elementos masivamente y si se hacen armar por estudiantes inscritos a programas académicos de prácticas profesionales o servicio social.

Sin embargo la desventaja de la AQT8K es su forma de presentación de los datos recabados pues, la medición de las ocho temperaturas se presenta en un formato de ocho columnas en la pantalla de la computadora, mientras que el dispositivo de la referencia [5], presenta los datos en una interfaz más amigable con temperaturas ya graficadas. Por lo que se requeriría tomar los datos y graficarlos en algún otro programa que podría ser de libre uso y libre licencia como *scilab* o *freemat*.

5. CONCLUSIONES

La tarjeta de adquisición de 8 niveles de temperatura, AQT8K, ya conformada y funcionando, tiene una incertidumbre de $\pm 4^\circ\text{C}$ dentro de un intervalo de temperatura que va de 150°C a 720°C .

El porcentaje de error máximo del dispositivo es del 2.66%. Tal porcentaje la hace confiable para obtener distribuciones de temperatura media que no requieren un alto nivel de exactitud.

Por todo lo anterior, se tiene un claro ejemplo de que es posible desarrollar tecnología propia de bajo costo y totalmente útil para propósitos de investigación o industriales de variables térmicas.

El presente medidor registrador de temperaturas es utilizado para la obtención de distribuciones térmicas en dispositivos solares.

PARA SABER MÁS

- [1] Ramírez-Neyra F. G. "Sistema de adquisición de datos de sensores analógicos y digitales". Directores: Murillo-Yañez LE, Lopez-Santinni E. Tesis de Licenciatura. Instituto Politécnico Nacional, México, 2009.
- [2] Katrancioli S, Savaş K, Erdal H. "A modular and low cost data acquisition card design with multitasking support", *Procedia Social and Behavioral Sciences*. Vol.2-2. P.5266-5270. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.858>
- [3] Sumphao T, Thanachayanont C, Seetawan T. "Design and implementation of a low cost DAQ system for thermoelectric property measurements". *Procedia Engineering*. Vol.32. P.614-620. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1317>
- [4] García-Juárez M. P. "Tarjeta de adquisición de datos con interfaz USB, empleando al micro-controlador AT90USB646 de ATMEL". Director: Santiago-Espinoza F. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca México, 2013.
- [5] Ferrero-Martín FJ, Villedor-Llopis M, Campo-Rodríguez JC, et al. "Low-cost open-source multifunction data acquisition system for accurate measurements". *Measurement*. Vol.55. P.265-271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2014.05.010>
- [6] Compañía National Instrument. "Multifunction Data Acquisition (DAQ)"[en línea] [ref. del 20 de Septiembre del 2015] Disponible en Internet: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/201986>>.
- [7] Compañía Jameco Electronics. "Data Acquisition & Control"[en línea] [ref. del 20 de Septiembre del 2015] Disponible en Internet: <<http://www.jameco.com/1/124371-i-7018-8-channel-thermocouple-input-data-acquisition-module.html>>.
- [8] Santiago-Espinoza F. Los Micro-controladores AVR de Atmel. 1ª edición. México: Editorial Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2012. P. 749. ISBN: 978-607-95222-7-8
- [9] Schildt H. Programación en Turbo C. 2ª edición. México: McGraw-Hill, 1991. P. 233. ISBN 84-7615-491-7
- [10] Valencia-Martínez HY, Acevedo-Amaya GF. "Implementación de la estadística de Student en el laboratorio de Física". *Básicamente Universidad Santo Tomás Colombia*. Vol.12-1. P. 1-14. 2013. revistas.usta.edu.co/index.php/basicamente/article/download/768/1050

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, al Instituto Politécnico Nacional, IPN y a la Universidad Autónoma de Querétaro en México por el apoyo a este proyecto.

Tecnología	Modelo	Costo aproximado en dólares (usda)
National Instrument	USB-6008 tad multifunción 12 bits 10ks/s +labview	\$1290,13
Jameco Electronics	TAD I-7018 16bits 10s/s + envío e impuestos	\$401,83
AQT 8K (presente estudio)	AQT8K, 10 bits, 1.6kS/s	\$112.86

Tabla 4: Comparación de costos. [13] y [14]