

Diseño e implementación de un sistema de medición de temperatura con Arduino y termopares tipo K

Design and implementation of a temperature measurement system with Arduino Uno and type K thermocouples

Osmel Piña Pérez ^a, José L. Rodríguez Muñoz ^b, Ventura Rodríguez Lugo ^c, Josué E. Muñoz Pérez ^d, Carlos E. Borja Soto ^e, Jorge Zuno Silva ^f

Abstract:

Something fundamental in industrial processes, laboratories, and especially in automation systems is temperature control, which involves measuring different operating conditions in a system, to improve the overall performance of a product or service. This paper presents the design and implementation of a temperature control system using an Arduino UNO, a K-type thermocouple, and a MAX6675 signal conditioning module. It discusses data acquisition, signal processing, and the control algorithm. The results indicate that the system can measure four temperature values, with a maximum temperature difference of up to 4°C compared to values obtained by a temperature standard instrument. The system is design for use in automotive cooling equipment to monitor inlet and outlet conditions of hot and cold water containers and the radiator, thereby enhancing process efficiency. This system provides a cost-effective and flexible solution for thermal data measurement and analysis, capable of measuring temperatures up to 1024°C.

Keywords:

Arduino, thermocouple, Max6675, PID, automation.

Resumen:

Algo fundamental en procesos industriales, en laboratorios y sobre todo en sistemas de automatización es el control de temperatura la cual resulta en medir diferentes condiciones de operación en un sistema, el cual permita mejorar las condiciones de operación en cualquier producto o servicio. Es así que en este trabajo se presenta el diseño e implementación de un sistema de control de temperatura utilizando un Arduino UNO, un termopar tipo K y un módulo de acondicionamiento de señal MAX6675. Se detalla la adquisición de datos, procesamiento de la señal y el algoritmo de control. Los resultados del trabajo mostraron que el sistema permite la medición de cuatro valores de temperatura, sin embargo, al compararlo con los valores obtenidos por un instrumento patrón de temperatura se pudo encontrar una máxima diferencia de temperatura de hasta 4°C. También, se busca que el sistema sea implementado en un equipo de enfriamiento automotriz para monitorear las condiciones de entrada y salida de los contenedores de agua caliente y fría, así como las del radiador y con ello, se pueda comprender mejor su proceso y mejora del mismo. Finalmente, este sistema puede resultar en una opción viable para medición y análisis de datos térmicos, ya que resulta ser más económico y flexible que los sistemas comerciales y puede medir valores de temperatura de hasta 1024°C.

Palabras Clave:

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0006-4504-5415>, Email: pi464366@uaeh.edu.mx

^b Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-4108-9414>, Email: jose_rodriguez@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales | Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería | México, <https://orcid.org/0000-0001-8767-032X>, Email: ventural65@gmail.com

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales | Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería | México, <https://orcid.org/0000-0003-4205-2151>, Email: ingtelecom617@gmail.com

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-3385-8348>, Email: carlos_borja@uaeh.edu.mx

^e Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-1997-5399>, Email: jorge_zuno@uaeh.edu.mx

Introducción

Los sistemas de control tienen una amplia variedad de aplicaciones dentro de todas las ramas de la ingeniería. Su objetivo principal es regular y manejar procesos o sistemas de manera eficiente, asegurando el cumplimiento de estándares y parámetros previamente establecidos. Estos sistemas evolucionan constantemente para optimizar el desempeño y la estabilidad en diversas aplicaciones, que van desde la industria aeroespacial y la automatización agrícola, hasta sistemas de seguridad y control de climatización. En términos generales, un sistema de control puede estar compuesto por sensores, controladores y actuadores, los cuales trabajan en conjunto para regular una o varias variables dentro de un sistema. En el caso del control de temperatura, es fundamental contar con un sensor adecuado, como los termopares, capaces de medir temperaturas en un rango amplio y con alta precisión. Para interpretar estas mediciones y tomar decisiones en tiempo real, se emplea un microcontrolador como Arduino, que ejecuta algoritmos de control, como PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para ajustar la salida del sistema y estabilizar y obtener las condiciones adecuadas de temperatura (Nise, 2011).

Hablando propiamente de un sistema de control, este es el encargado de verificar si todo ocurre con las condiciones determinadas, así como con las instrucciones emitidas y con los principios establecidos, lo cual a su vez puede entenderse como un proceso de medir los resultados en relación con los planes, diagnosticando la razón de las desviaciones y tomando las medidas correctivas necesarias (Henry Fayol, 1971). También, desde una función administrativa, se define al control como la fase del proceso administrativo que mide y evalúa el desempeño y toma la acción correctiva cuando se necesita, por lo cual se puede manejar al control como un proceso regulador que permite lograr alcanzar ciertas condiciones de operación dada (Chiavenato, 2013).

Como es mencionado anteriormente, se requiere de alguna herramienta para llevar la medición dentro de un proceso o de un sistema que permita monitorear las condiciones de operación en tiempo real. A nivel educativo se emplea el uso de un microcontrolador monoplaca de hardware libre y de fácil uso como lo es Arduino, esto gracias a su entorno de desarrollo IDE (Integrated Developmet Enviroment) desarrollada en Java, esto para permitir la supervisión remota y el análisis en tiempo real, facilitando así la toma de decisiones y la optimización de procesos (Herranz, 2015).

Basado en lo anterior, Cornaglia de la Cruz, 2018 presentó la implementación práctica de un sistema de control de temperatura para un invernadero a escala utilizando la plataforma Arduino como una tarjeta de

adquisición y tratamiento de datos. Talenas Bustamante, 2018 incorporó un módulo HC-05 en modo de esclavo al sistema Arduino UNO para el control de iluminaciones mediante el uso del teléfono.

Por tal motivo, la monitorización de temperatura en sistemas industriales, sistemas de almacenamiento o laboratorios es crucial para garantizar condiciones óptimas de operación y evitar fallos en los equipos. En muchos casos, las mediciones se realizan manualmente, lo que implica errores humanos y falta de registros históricos. Estos errores originados por múltiples factores, como la falta de precisión al leer un termómetro, la omisión accidental de registros o la transcripción incorrecta de los datos en reportes físicos o digitales y esto sumado a los factores personales de cada encargado de realizar las mediciones generando puede generar información imprecisa, afectando la toma de decisiones y poniendo en riesgo la calidad del proceso o la seguridad del equipo. Por tal motivo, al tener implementado un sistema de medición automatizado, permite generar un registro de la información de forma continua, precisa y en tiempo real. Otra de las ventajas de la implementación de un sistema de monitoreo y control, es que permite tener la información en el momento que se necesita, garantizar la optimización de procesos y el análisis de tendencias (Rodríguez, 2007). El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema de monitoreo térmico basado en Arduino UNO y termopares tipo K, capaz de medir en tiempo real diferentes condiciones de temperatura. El sistema busca registrar los valores obtenidos y facilitar la toma de decisiones mediante una interfaz de visualización local y remota. Hablando específicamente de sistemas térmicos, es importante llevar un control de la temperatura, ya que este permitiría tener una idea clara del estado o condición que se encuentran los fluidos que circulan por el interior de los conductos de un sistema, aquellos que se encuentran contenidos en diferentes recipientes, así como para poder monitorear la temperatura ambiente a la cual estará expuesta el sistema. Esto ayudará no solo a mejorar la eficiencia operativa de un sistema, sino que también ofrece confiabilidad en el control de parámetros térmicos.

Automatización Térmica

El proceso de automatización en el control de temperatura se fundamenta en tres principios esenciales: 1) Adquisición Continua de Datos, 2) Procesamiento Inteligente y 3) Control Realimentado. El primer principio es la base de un sistema automatizado, el cual comienza con el registro constante de datos térmicos. Los

termopares tipo K, en conjunto con el módulo MAX6675, realizan mediciones continuas que son procesadas por medio del microcontrolador Arduino. Este proceso elimina los intervalos de muestreo manual y proporciona una imagen en tiempo real del comportamiento térmico del sistema. El segundo principio está relacionado a cómo el microcontrolador ejecuta algoritmos de control que analizan las lecturas de temperatura y las comparan con los valores deseados (setpoints), lo que implica en la detección temprana de desviaciones, aplicación de correcciones automáticas, optimización del consumo energético y a la generación de registros históricos. Finalmente, el control realimentado tiene que con un ciclo de control cerrado donde cada acción se basa en el análisis de resultados previos, lo cual ayuda a realizar ajustes automáticos de parámetros, compensación de perturbaciones externas y mantenimiento estable de la temperatura objetivo.

Este proceso elimina los intervalos de muestreo manual y proporciona un panorama en tiempo real del comportamiento térmico del sistema. En la Figura 1 se muestra el esquema empleado para el procesamiento de señales de temperatura, así como la visualización de los resultados. Como se aprecia en la figura, en la entrada se tiene la adquisición de temperatura empleando los termopares tipo K. Los valores obtenidos son procesados por medio de un módulo de acondicionamiento y conversión digital MAX6675 para que estos puedan ser visualizados por el usuario por medio de una pantalla LCD.

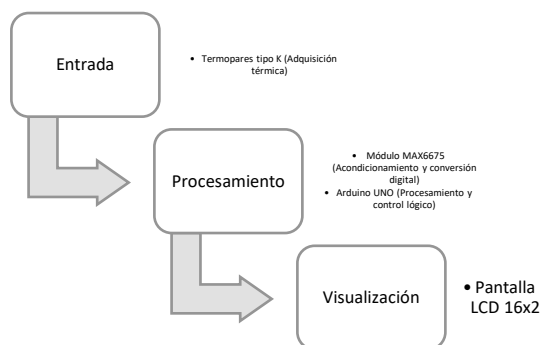


Figura 1. Diagrama esquemático del procesamiento de señales en el sistema de medición de temperaturas. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del sistema

En la Figura 2 se presenta el esquema de un sistema de monitoreo y control de temperatura basado en Arduino. Este sistema utiliza un termopar tipo K como sensor principal, el cual genera una señal de voltaje proporcional a la temperatura medida. Dado que la señal producida por el termopar es de muy baja magnitud y requiere compensación de unión fría, se emplea el módulo

MAX6675 para amplificar, compensar y convertir esta señal analógica en una lectura digital precisa. El sensor MAX6675 se comunica con el Arduino a través de un protocolo de comunicación serial unidireccional (SPI), permitiendo al microcontrolador procesar y visualizar las lecturas de temperatura de manera eficiente.

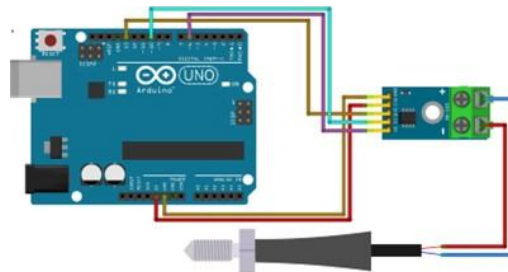


Figura 2. Representación del medidor con termopar y módulo MAX6675. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Hardware

Los termopares, junto con los módulos MAX6675, permiten medir temperaturas con precisión. Sin embargo, su implementación en proyectos con múltiples sensores requiere una gestión eficiente de datos y visualización en tiempo real (ver Figura 3). Sin embargo, el puro módulo MAX6675 no puede realizar individualmente la medición, por lo cual es necesario incorporar un termopar tipo K.



Figura 3. Representación digital del módulo MAX6675. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4 se ilustra la representación digital del termopar tipo K. Este módulo se utiliza para la lectura del sensor, el cual se encarga de convertir la señal del termopar en un valor digital que se puede leer a través de la interfaz SPI. Cabe mencionar que este tipo de sensor tiene la capacidad para registrar temperaturas en el rango de medición de 0 °C a +1024 °C.



Figura 4. Representación digital del termopar tipo K. Fuente: Elaboración propia.

Para que el correcto funcionamiento del termopar tipo K, es necesario conocer el efecto Seebeck, el cual es un fenómeno termoeléctrico descubierto por Thomas Johann Seebeck en 1821 que consiste en la conversión directa de diferencias de temperatura. Este efecto está ligado a la forma en la cual se genera una diferencia de potencial

eléctrico ΔE cuando existe una diferencia de temperaturas ΔT entre dos puntos de un circuito formado por dos metales diferentes; cuando se unen los conductores diferentes y esta se somete a una temperatura mayor.

Para registrar y visualizar los valores obtenidos de temperatura, es necesario el uso de una pantalla LCD como la mostrada en la Figura 5. Dentro de la variedad de instrumentos y herramientas disponibles al alcance se optó el utilizar una pantalla LCD I2C, con 16x2 caracteres. La pantalla LCD I2C es una herramienta muy útil la cual permite mostrar la información visual. Dentro de sus principales ventajas es que utiliza el protocolo de comunicación I2C, simplificando la conexión y programación en comparación con las pantallas LCD tradicionales.

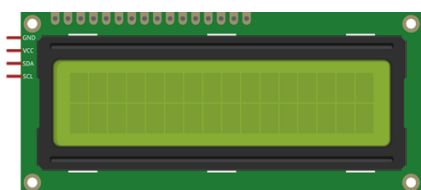


Figura 5. Representación digital de la Pantalla LCD con módulo I2C. Fuente: Elaboración propia.

Conexiones del módulo Max6675

Para llevar a cabo las conexiones físicas del sistema de medición de temperaturas es necesario tomar en cuenta los siguientes puntos:

- DO (Data Out): El Pin 4 es el encargado de enviar los datos de temperatura al Arduino.
- CS (Chip Select): El Pin 5 es empleado para activar el modulo que permite leer la información.
- CLK (Clock): Pin 13 del Arduino- Proporciona la señal de reloj para sincronizar la comunicación.

Para el caso de la pantalla LCD I2C, las conexiones que se deben considerar son las siguientes:

- SDA y SCL son las líneas por la que se transmiten los datos entre Arduino y la pantalla LCD.

Con las conexiones realizadas a través de Arduino, la pantalla LCD, el módulo Max6675 y el termopar tipo K se tiene un sistema de medición para el registro y procesamiento de un valor de temperatura, como el mostrado en la Figura 6.

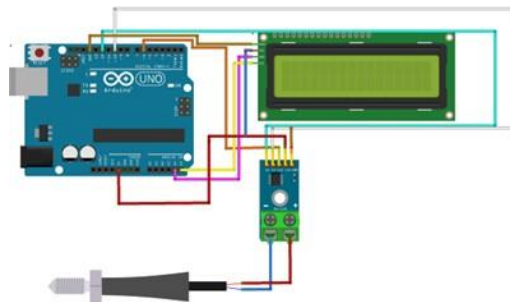


Figura 6. Sistema de medición de temperatura basado en Arduino. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de algunas aplicaciones donde se requiere monitorear y controlar la temperatura se encuentran los hornos, calderas, intercambiadores de calor, radiadores, equipos de manufactura que operan a altas temperaturas, etc. En este tipo de sistemas se requiere medir diferentes puntos de temperatura, por lo que un sistema de medición con un termopar sería imposible de realizar. Para tal caso, es necesario realizar el diseño de un sistema más robusto que sea capaz de medir varios valores de temperatura. Tal es el caso del sistema mostrado en la Figura 7, el cual tiene la capacidad de medir en tiempo real hasta cuatro valores de temperatura, ampliando la posibilidad de aplicación industriales, científicas y comerciales. Como se observa en la figura, este sistema está constituido por un microprocesador Arduino Uno, en el que se conectan cuatro módulos Max6675 que conectan a los termopares y permiten medir la temperatura del sistema. Mientras que en la pantalla LCD se registran en tiempo real los valores obtenidos en cada una de las mediciones.

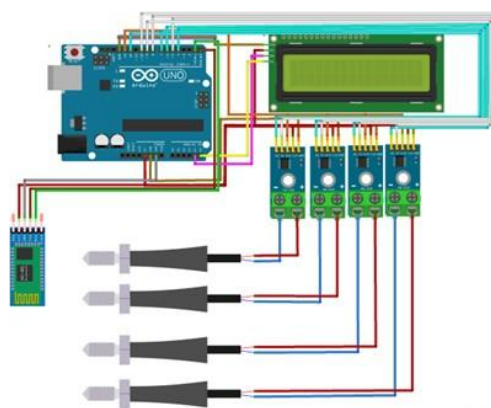


Figura 7. Representación del medidor con cuatro termopares y cuatro módulos MAX667. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las aplicaciones en las que se puede usar el sistema de medición de temperatura con cuatro termopares se describen a continuación:

- Hornos industriales y sistemas de tratamiento térmico. En hornos de tratamiento térmico, la uniformidad de temperatura es crucial. Cuatro termopares

distribuidos estratégicamente permiten verificar que todas las zonas del horno se mantengan a temperaturas consistentes, asegurando que los materiales reciban un tratamiento homogéneo y de calidad (Cáceres Hernández 2003).

- Sistemas de refrigeración y cámaras frigoríficas. En almacenes refrigerados grandes, cuatro termopares pueden monitorear diferentes alturas o zonas, detectando problemas de estratificación térmica o fallas en el sistema de refrigeración antes de que afecten a los productos almacenados (Castro Vizcaíno, 2022).
- Incubadoras y equipos de Laboratorio. En incubadoras científicas donde se requiere control preciso de temperatura, múltiples termopares aseguran que no existan zonas frías o calientes que puedan afectar los cultivos o experimentos.
- Industria alimentaria. En procesos de cocción industrial, pasteurización o secado, múltiples termopares garantizan que los alimentos alcancen las temperaturas de seguridad requeridas en todas sus partes, asegurando inocuidad y calidad consistente.
- Para estudios científicos sobre conductividad térmica de materiales o eficiencia en intercambiadores de calor, cuatro puntos de medición permiten crear mapas térmicos detallados y analizar los patrones de transferencia de calor, mientras que en electrónica de Potencia y Centros de Datos, puede ser empleado en racks de servidores o sistemas de electrónica de potencia, múltiples termopares monitorizan diferentes componentes o zonas, identificando puntos calientes que podrían comprometer el rendimiento o la vida útil de los equipos.
- Sistemas de Energía Solar Térmica. En colectores solares térmicos, cuatro termopares pueden monitorear la entrada y salida de fluido en diferentes puntos, optimizando la eficiencia y detectando problemas como acumulación desigual de calor o bloqueos en el sistema.

El sistema con cuatro termopares representa una ventaja notable respecto al sistema de un solo sensor, tanto en capacidades como en complejidad en la medición, análisis y procesamiento de datos térmicos, así como en la arquitectura del sistema. cabe mencionar que el sistema con cuatro termopares mantiene la base del hardware del sistema al de un solo termopar (Arduino, pantalla, LCD), pero expande su capacidad de detección. Los cuatro termopares comparten el mismo pin de reloj (CLK), aunque cada uno tiene su propio pin de datos (DO) y selección (CS), permitiendo al microcontrolador comunicarse selectivamente con cada sensor.

Sistema de medición de temperatura

En la Figura 8 se muestra el sistema de medición de temperatura para la medición. Como se puede observar, este está constituido de un microprocesador Arduino Uno en el que se conectan cuatro módulos Max6675 que son empleados para incorporar al sistema los cuatro sensores de temperatura tipo K empleados para medir la temperatura en tiempo real. Finalmente, en la pantalla LCD se muestran los valores de temperaturas por cada uno de los termopares.

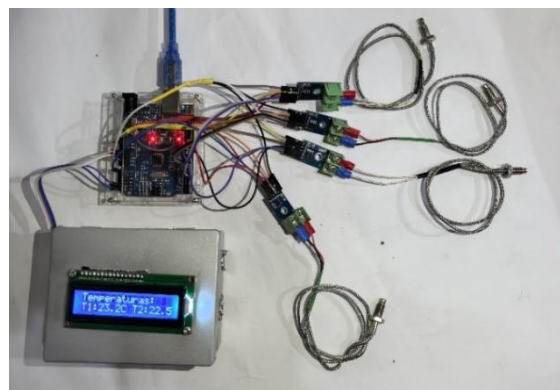


Figura 8. Sistema de medición de temperatura con cuatro termopares. Fuente: Elaboración propia.

Procesamiento de datos

El sistema de cuatro termopares implementa técnicas de procesamiento más sofisticadas como las que se describen a continuación:

- Validación de Lecturas: El código incluye comprobaciones para detectar valores no válidos (NaN o infinito) y los reemplaza con un valor de error (-999), mejorando la robustez del sistema.
- Alternancia automática de visualización: El sistema alterna automáticamente la visualización entre los dos primeros termopares y los dos últimos cada 3 segundos, optimizando la presentación de datos en una pantalla pequeña.
- Transmisión de datos estructurados: Los datos tienen la opción de ser enviados en formato CSV por medio de Bluetooth, permitiendo que aplicaciones externas reciban y procesen fácilmente todas las lecturas en conjunto.

Pruebas experimentales

Para determinar que el sistema registra correctamente los valores de temperatura en cada uno de los termopares tipo K, primeramente, se prepararon cuatro vasos, cada uno con agua a diferentes temperaturas, para cubrir un rango amplio de medición. Las temperaturas específicas de cada muestra se registraron utilizando un termómetro manual auxiliar tipo Taylor, reconocido por su precisión

en mediciones de referencia. Antes de iniciar las mediciones, se verificó la calibración del termómetro tipo Taylor y del sistema de termopar para asegurar la precisión de las lecturas y en cada vaso se sumergieron simultáneamente el termómetro Taylor y el termopar tipo K. Posteriormente, se esperó un tiempo suficiente para que ambos dispositivos alcanzaran la estabilidad térmica y se registraron las temperaturas medidas por cada uno de los sensores. Este procedimiento se repitió para las cuatro muestras, asegurando condiciones consistentes en cada medición. Una representación de dicho procedimiento se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Comparación de temperatura en el sistema de medición. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se muestra la comparativa de los cuatro termopares en comparación del termómetro Taylor con el objetivo de determinar las diferencias y evaluar la precisión del sistema de medición de temperatura. Los resultados muestran que la diferencia entre el termómetro tipo Taylor respecto a los valores obtenidos por el sistema es menor a 4°C. Esta diferencia se puede atribuir a varios factores, incluyendo las condiciones ambientales, el punto de medición entre cada sensor de temperatura, el modo de montaje, así como un error inherente a cada sensor de temperatura.

Tabla 1. Comparativa de medición de temperaturas. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Termómetro Taylor (°C)	Termopar (°C)	Diferencia (°C)
1	45.5	44.5	1
2	45	41	4
3	44	40.7	3.3
4	43	41.5	1.5

El sistema de adquisición de datos de temperatura tiene como objetivo ser implementado en un sistema para monitorear la temperatura en un sistema de enfriamiento automotriz construido en el taller de manufactura de la

Escuela Superior de Ciudad Sahagún (ver Figura 10). Este consiste en medir la temperatura en los depósitos de agua caliente y agua fría, así como en la entrada y salida del radiador, el cual pueda servir de apoyo para que los estudiantes realicen prácticas de laboratorio en las materias de mecánica de fluidos, termodinámica, instrumentación y control, etc., ayudando en su formación académica, así como impulsar el desarrollo de nuevos proyectos científicos y tecnológicos en beneficio de la sociedad.

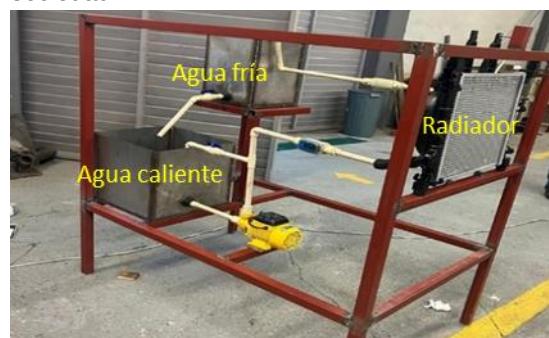


Figura 10. Sistema de enfriamiento automotriz empleado para la implementación del sistema de medición de temperaturas. Fuente: Elaboración propia.

Comparativa con otros sistemas de medición

En la literatura existen múltiples sistemas de medición de temperatura basados en diferentes tecnologías de sensores. A continuación, se presentan algunos de ellos, junto con sus márgenes de error y una comparación con el sistema desarrollado en este trabajo:

Termómetros de mercurio tradicionales, este tipo de sensores presentan un error típico de ± 0.5 °C a ± 1 °C dependiendo del rango de medición. Sin embargo, las limitaciones de este tipo de sistemas es que no permiten realizar el registro de manera digital ni integración con sistemas de control automático. Comparativamente, el sistema propuesto con Arduino y termopares logra errores en el rango de 1 a 4 °C según las pruebas experimentales realizadas, pero ofrece la ventaja de automatización, almacenamiento digital y monitoreo en tiempo real.

Comparado con los sensores digitales DS18B20, estos presentan un error típico: ± 0.5 °C en el rango de -10 °C a $+85$ °C, tienen un bajo costo, conexión sencilla mediante protocolo One-Wire, buena estabilidad, aunque sus limitaciones son su rango de operación (-55 °C a $+125$ °C). A diferencia del DS18B20, los termopares tipo K permiten medir temperaturas de hasta 1024 °C, lo que hace que el sistema desarrollado sea más adecuado para aplicaciones industriales de alta temperatura. Finalmente, los sistemas comerciales de adquisición multicanal (ej. NI-DAQ con LabVIEW) presentan un error típico: $< \pm 0.2$

°C con sensores calibrados, presentando alta confiabilidad, capacidad de registro y análisis avanzado. Sin embargo, su costo puede ser hasta 40 veces superior al de una implementación con Arduino. Comparativamente, el sistema propuesto logra un desempeño aceptable para aplicaciones académicas y de bajo costo, aunque con menor precisión, representando una solución accesible para entornos educativos y proyectos de investigación básica.

Discusión y perspectiva del sistema propuesto

El desarrollo de sistemas de medición de temperatura constituye una de las áreas más relevantes en la instrumentación y el control de procesos, tanto en entornos industriales como en el ámbito académico. Dentro de este contexto, es fundamental establecer el alcance y las limitaciones del sistema planteado en el presente trabajo, con el fin de comprender su posición frente a otras tecnologías disponibles en el mercado.

En primera instancia, es importante destacar que el sistema desarrollado no busca competir con equipos de laboratorio de alta precisión. Tecnologías como los RTD tipo Pt100 de cuatro hilos o los sistemas de adquisición NI-DAQ con software LabVIEW ofrecen mayor exactitud, pero también un costo y complejidad considerablemente superiores. Los sistemas de alta gama garantizan errores mínimos cercanos a ± 0.1 °C; sin embargo, exigen condiciones de operación estandarizadas, calibraciones periódicas e instrumentación compleja. Además, su costo elevado los hace poco accesibles para instituciones educativas y proyectos de investigación con recursos limitados.

En el sector industrial, puede emplearse para la supervisión de hornos, calderas, tanques de almacenamiento o intercambiadores de calor, contribuyendo a la optimización energética y la detección temprana de fallas.

En el campo del mantenimiento predictivo, permite registrar variaciones de temperatura en rodamientos, motores o transformadores, lo que facilita la prevención de sobrecalentamientos y reduce paros no programados. Asimismo, en instalaciones HVAC y sistemas de climatización, el uso de múltiples termopares distribuidos espacialmente permite identificar gradientes térmicos, mejorando la eficiencia y el confort ambiental.

En la industria alimentaria y farmacéutica, su capacidad de registro continuo y bajo costo lo convierten en una herramienta útil para procesos de cocción, pasteurización, almacenamiento y transporte térmico controlado.

Conclusiones

El desarrollo de sistemas de medición de temperatura constituye una de las áreas más relevantes en la instrumentación y el control de procesos, tanto en

entornos industriales como en el ámbito académico. El sistema es capaz de emplear cuatro sensores de temperatura, aunque este puede ampliarse a más dispositivos dependiendo de las necesidades o parámetros a medir. La diferencia registrada de temperatura entre el instrumento patrón y los sensores de temperatura en las pruebas experimentales realizadas fue de entre 1 a 4 °C, el cual se encuentra dentro de los parámetros aceptables para aplicaciones de supervisión básica y de prototipado. Aunque este valor es superior al alcanzado por instrumentos de precisión, resulta suficiente para el monitoreo de procesos donde la estabilidad y la continuidad de los datos priman sobre la exactitud absoluta.

Es necesario reconocer que el sistema presenta ciertas limitaciones inherentes a su diseño, entre ellas se encuentran la variabilidad en la calibración de los termopares, la sensibilidad a interferencias electromagnéticas en entornos industriales y la necesidad de estrategias adicionales de procesamiento de datos para reducir desviaciones en las mediciones. Sin embargo, estas limitaciones no desvirtúan el valor del sistema, sino que más bien refuerzan su propósito: ofrecer una solución flexible y asequible que sirva como puente entre la teoría académica y la práctica aplicada en la ingeniería.

Finalmente, el sistema propuesto no busca competir con equipos de laboratorio de alta gama en términos de precisión absoluta, sino que se consolida como una herramienta económica, de amplio rango de operación y con capacidad de automatización, capaz de atender necesidades reales en escenarios de formación, investigación y procesos industriales de bajo presupuesto. Su diseño modular, facilidad de implementación y costo accesible lo convierten en un aporte significativo dentro del campo de la instrumentación térmica, abriendo nuevas oportunidades para la enseñanza y el desarrollo de proyectos tecnológicos en diversos contextos.

Referencias

- Cornaglia de la Cruz, P. S. (2018). En busca del calor perdido: Efecto Seebeck y materiales termoeléctricos.
- Rayón Encinas, E., & López Martínez, J. (2020). Propiedades termoeléctricas de los materiales. Efecto Seebeck y Peltier. Fundamentos teóricos y propuesta experimental.
- Rodríguez, E. J. A., Ocampo, J. W. M., & Ortega, C. A. S. (2007). Medición de temperatura: sensores termoeléctricos. *Scientia et technica*, 1(34).
- Yepez-López, I., Villalvazo-Laureano, E., Flores-Benítez, R., & Pérez-González, M. A. (2019). Activación de cargas eléctricas a través de comandos de voz vía módulo HC-05 y Arduino. *Conciencia Tecnológica*, (57).0
- Herranz, J. C. H. (2015). Una mirada al mundo Arduino. *Tecnología y desarrollo*, 13, 21.

Tirado, J. S., & Amaya, M. T. MONITOREO DE PRESION Y TEMPERATURA EN UN NEONATAL POR MEDIO DE ARDUINO.

Cornaglia de la Cruz, P. S. (2018). En busca del calor perdido: Efecto Seebeck y materiales termoeléctricos.

Talenas Bustamante, A. J. (2018). IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DOMÓTICO CON TECNOLOGÍA ARDUINO EN APP INVENTOR PARA MEJORAR EL CONTROL DE TEMPERATURA E ILUMINACIÓN DEL HOTEL SAN LUIS EN AMARILIS.

Lozano, R. (2020, 5 julio). Medir temperatura con termopar tipo K y MAX6675. Recuperado de <https://www.taloselectronics.com/blogs/tutoriales/medir-temperatura-con-termopar-tipo-k-y-max6675>

Rodríguez, E. J. A., Ocampo, J. W. M., & Ortega, C. A. S. (2007). Medición de temperatura: sensores termoeléctricos. *Scientia et technica*, 1(34).

Chiavenato, I. (2013). *Teoría general de la administración*. MCGRAW-HILL INTERAMERICANA-MUA.

Fayol, H. (1971). *Administración industrial y general: previsión, organización, mando, coordinación, control* (Vol. 11). Editorial Universitaria.

Cáceres Hernández, A. A., Vázquez Romero, R. R., & Funes Martínez, C. M. (2003). Diseño de un horno para tratamientos térmicos enfocado a la industria cerámica.

Castro Vizcaíno, Á. (2022). Almacenamiento térmico de frío en materiales de cambio de fase. Aplicación a una cámara frigorífica industrial.

Cherres Fajardo, D. A., & Ñauta Chuisaca, J. J. (2015). *Estudio de Implementación del sistema de mantenimiento predictivo en la compañía Ecuatoriana del Caucho Erco* (Bachelor's thesis).

Anexo A Código del sistema de medición con un termopar

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_PCF8574.h>
#include <max6675.h>
#include <SoftwareSerial.h>

// Configuración de pines para el único MAX6675
// DO (Data Out) -> Pin 4
// CS (Chip Select) -> Pin 5
// CLK (Clock) -> Pin 13
const int THERMO_DO = 4;
const int THERMO_CS = 5;
const int THERMO_CLK = 13;

// Configuración del módulo Bluetooth
// RX -> Pin 2, TX -> Pin 3
SoftwareSerial btSerial(2, 3);

// Inicialización del termopar
MAX6675 thermocouple(THERMO_CLK,
THERMO_CS, THERMO_DO);

// Inicialización de la pantalla LCD con dirección I2C
0x27
LiquidCrystal_PCF8574 lcd(0x27);

void setup() {
  // Inicialización de la comunicación serial para
  debugging
  Serial.begin(9600);

  // Inicialización del módulo Bluetooth
```

```
btSerial.begin(9600);

// Configuración inicial de la pantalla LCD
lcd.begin(16, 2);
lcd.setBacklight(1);
lcd.clear();
lcd.print("Temperatura:");
}

void loop() {
  // Lectura de la temperatura en grados Celsius
  double temperatura = thermocouple.readCelsius();

  // Mostrar temperatura en la pantalla LCD
  lcd.setCursor(0, 1); // Mover cursor a la segunda
  línea
  lcd.print(temperatura, 1); // Mostrar con 1 decimal
  lcd.print(" C "); // Agregar unidad y espacios para
  limpiar residuos

  // Enviar temperatura por Bluetooth
  btSerial.println(temperatura);

  // También mostrar en el Monitor Serial para
  debugging
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.println(temperatura);

  // Esperar un segundo antes de la siguiente lectura
  delay(1000);
}
```

Anexo B Código del sistema de medición con cuatro termopares Tipo K

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_PCF8574.h>
#include <max6675.h>
#include <SoftwareSerial.h>

// Configuración de pines para los cuatro MAX6675
// Todos comparten el mismo pin CLK (pin 13)
const int THERMO_CLK = 13;

// Termocupla 1
const int THERMO_DO1 = 4;
const int THERMO_CS1 = 5;

// Termocupla 2
const int THERMO_DO2 = 7;
const int THERMO_CS2 = 8;

// Termocupla 3
const int THERMO_DO3 = 10;
const int THERMO_CS3 = 11;

// Termocupla 4
const int THERMO_DO4 = 12;
const int THERMO_CS4 = A0;

// Configuración del módulo Bluetooth (RX->2, TX->3)
SoftwareSerial btSerial(2, 3);
```

```

// Inicialización de las termocuplas
MAX6675 thermocouple1(THERMO_CLK,
THERMO_CS1, THERMO_DO1);
MAX6675 thermocouple2(THERMO_CLK,
THERMO_CS2, THERMO_DO2);
MAX6675 thermocouple3(THERMO_CLK,
THERMO_CS3, THERMO_DO3);
MAX6675 thermocouple4(THERMO_CLK,
THERMO_CS4, THERMO_DO4);

// Inicialización de la pantalla LCD con dirección I2C
0x27
LiquidCrystal_PCF8574 lcd(0x27);

// Tiempo de espera entre lecturas (ms)
const int DELAY_TIME = 1000;

// Variable para controlar qué par de termocuplas se
muestran en la LCD
bool showFirstPair = true;
unsigned long lastScreenToggle = 0;
const int SCREEN_TOGGLE_TIME = 3000; //
Alternar cada 3 segundos

void setup() {
  // Inicialización de la comunicación serial para
  debugging
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Sistema de 4 termocuplas iniciado");

  // Inicialización del módulo Bluetooth
  btSerial.begin(9600);

  // Configuración inicial de la pantalla LCD
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(0x27);

  // Verificar si el LCD está conectado
  if (Wire.endTransmission() == 0) {
    Serial.println("LCD encontrado");
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.setBacklight(1);
    lcd.clear();
    lcd.print("Sistema Termopar");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Iniciando...");
    delay(1000);
  } else {
    Serial.println("Error: LCD no encontrado");
  }
}

void loop() {
  // Obtener tiempo actual para control de alternancia
  unsigned long currentTime = millis();

  // Leer todas las temperaturas
  double temp1 = thermocouple1.readCelsius();
  double temp2 = thermocouple2.readCelsius();
  double temp3 = thermocouple3.readCelsius();
  double temp4 = thermocouple4.readCelsius();

```

```

// Verificar si los valores leídos son válidos (no son
NaN o infinito)
if (isnan(temp1) || isinf(temp1)) temp1 = -999;
if (isnan(temp2) || isinf(temp2)) temp2 = -999;
if (isnan(temp3) || isinf(temp3)) temp3 = -999;
if (isnan(temp4) || isinf(temp4)) temp4 = -999;

// Cambiar qué par de temperaturas mostrar cada
SCREEN_TOGGLE_TIME
if (currentTime - lastScreenToggle >
SCREEN_TOGGLE_TIME) {
  showFirstPair = !showFirstPair;
  lastScreenToggle = currentTime;
}

// Limpiar la línea inferior del LCD
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Temperaturas: ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(" ");

// Mostrar el par correspondiente de temperaturas
lcd.setCursor(0, 1);
if (showFirstPair) {
  lcd.print("T1:");
  lcd.print(temp1, 1);
  lcd.print("C T2:");
  lcd.print(temp2, 1);
  lcd.print("C");
} else {
  lcd.print("T3:");
  lcd.print(temp3, 1);
  lcd.print("C T4:");
  lcd.print(temp4, 1);
  lcd.print("C");
}

// Enviar todas las temperaturas por Bluetooth
btSerial.print(temp1, 1);
btSerial.print(",");
btSerial.print(temp2, 1);
btSerial.print(",");
btSerial.print(temp3, 1);
btSerial.print(",");
btSerial.println(temp4, 1);

// Mostrar en Serial para debugging
Serial.print("T1:");
Serial.print(temp1, 1);
Serial.print("°C, T2:");
Serial.print(temp2, 1);
Serial.print("°C, T3:");
Serial.print(temp3, 1);
Serial.print("°C, T4:");
Serial.print(temp4, 1);
Serial.println("°C");

// Esperar antes de la siguiente lectura
delay(DELAY_TIME);
}

```