

Programación de un sistema de medición de temperatura utilizando sensor resistivo (RTD) y microcontrolador PSoC aplicado a un calorímetro didáctico.

Machado-Díaz, E¹; Martínez-Muñoz, J. C.²; Castro-Juárez, E.¹

Datos de Adscripción:

¹Tecnológico Nacional de México (TecNM): Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Subdirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Durango; México, C.P. 35150.
eduardo.md@itslerdo.edu.mx

²Tecnológico Nacional de México (TecNM): Instituto Tecnológico de la Laguna, Departamento de Eléctrica, electrónica y Energías Renovables, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, Coahuila; México, C.P. 27000

Resumen - Uno de los grandes problemas que surgen en la enseñanza de cualquier nivel académico es la falta de equipo para la realización de prácticas de diferentes asignaturas como el caso de física, o transferencia de calor donde es importante medir la cantidad de energía que puede ser entregada por un material, siendo necesario el uso de un calorímetro. Sin embargo, estos equipos pueden ser costosos y no tienen una forma digital de obtener o guardar las mediciones del calor absorbido o liberado por los materiales.

Es por ello, que en el presente proyecto se plantea el diseño, fabricación y programación de un calorímetro digitalizado a través de un sensor de temperatura tipo resistivo (RTD), siendo este uno de los más utilizados en la industria para este tipo de mediciones. Como sistema de adquisición de datos se utilizó un microcontrolador PSoC que permite el procesamiento de señales analógicas y sistemas de acondicionamiento de señal importantes en la realización de circuitos con RTD. Así mismo, se muestran los resultados obtenidos del sistema de medición aplicados al calorímetro diseñado y fabricado.

Con el diseño propuesto, se plantea una alternativa para las instituciones educativas y laboratorios básicos para la elaboración de prácticas sencillas en donde intervenga el consumo energético de una forma digital y en la que puedan registrarse los datos en otros sistemas para ser analizados posteriormente.

Palabras Clave – Calorímetro, Didáctico, programación, PSoC, RTD.

Abstract - One of the significant challenges encountered in education at all academic levels is the absence of equipment required to conduct practical experiments in various subjects, such as physics or heat transfer, where precise measurement of energy transfer by materials is essential, necessitating the use of a calorimeter. However, these devices can be costly and lack a digital means to obtain or store measurements of the heat absorbed or released by the materials.

Therefore, this project aims to address this issue by proposing the design, fabrication, and programming of a

digitalized calorimeter utilizing a resistive temperature sensor (RTD), which is widely employed in the industry for such measurements. A PSoC microcontroller was employed as the data acquisition system, facilitating the processing of analog signals and incorporating crucial signal conditioning systems necessary for RTD circuit implementation. Additionally, the obtained results from the measurement system applied to the designed and fabricated calorimeter are presented.

The proposed design presents an alternative for educational institutions and basic laboratories to conduct straightforward experiments involving digital energy consumption, allowing data to be recorded in other systems for subsequent analysis. This design offers a valuable solution, enabling the efficient execution of practical exercises and the accurate investigation of energy consumption, while minimizing the costs associated with acquiring conventional calorimetry equipment.

Keywords – Calorimeter, Programming, PSoC, RTD, Teaching.

I. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se plantea el diseño, la fabricación y la programación de un calorímetro digitalizado utilizando un sensor de temperatura tipo resistivo (RTD), que es uno de los más utilizados en la industria para este tipo de mediciones. Se utilizó un microcontrolador PSoC como sistema de adquisición de datos, lo cual permite el procesamiento de señales analógicas y el acondicionamiento de señales, aspectos importantes en la implementación de circuitos con RTD. Además, se presentan los resultados obtenidos del sistema de medición aplicados al calorímetro diseñado y fabricado.

El diseño propuesto plantea una alternativa para instituciones educativas y laboratorios básicos, al ofrecer una solución para llevar a cabo prácticas sencillas donde se aborde el consumo energético de manera digital y se puedan registrar los datos en otros sistemas para su posterior análisis. Esto permitirá un enfoque más eficiente y preciso en la enseñanza de conceptos relacionados con la transferencia de calor, al mismo tiempo que se reducen los costos asociados con la adquisición de equipos tradicionales de calorimetría.

1.1 Resistencias dependientes de temperatura.

Un RTD (*Resistance Temperature Detector*), específicamente el tipo PT100, es un sensor resistivo utilizado para medir la temperatura con alta precisión. El término PT100 se refiere al material utilizado en el sensor, que consiste en un elemento de platino puro con una resistencia de 100 ohmios a 0 grados Celsius. Es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales y

científicas debido a su estabilidad, linealidad y precisión en un amplio rango de temperatura (Areny, 2004).

El principio de funcionamiento del RTD tipo PT100 se basa en el cambio de resistencia del platino en función de la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, la resistencia también aumenta de manera predecible y lineal. Esto permite establecer una relación matemática entre la resistencia medida y la temperatura correspondiente, lo que facilita la calibración y la conversión de la señal eléctrica en valores de temperatura.

Generalmente este tipo de resistor está construido en forma de un alambre o una película delgada de platino enrollada alrededor de un núcleo cerámico o vidrio. Un ejemplo de un RTD PT100 se muestra en la Figura 1.

Figura 1
Ejemplo de RTD PT100



Este diseño proporciona una mayor área de superficie para el intercambio de calor y mejora la sensibilidad del sensor a los cambios de temperatura. Además, el platino se utiliza debido a su estabilidad química, alta resistividad y baja resistencia a la oxidación, lo que garantiza una respuesta precisa y duradera a lo largo del tiempo.

Para medir la resistencia del elemento, se utiliza un circuito de acondicionamiento, generalmente en configuración de puente de Wheatstone, que equilibra la resistencia del RTD con resistencias conocidas. La diferencia de potencial resultante se mide y se utiliza para determinar la resistencia y, por lo tanto, la temperatura (Boylestad, 2009).

Este sensor ofrece numerosas ventajas en comparación con otros tipos de sensores de temperatura, como una alta precisión en un amplio rango de temperatura, una respuesta rápida, una buena linealidad y una excelente estabilidad a largo plazo.

1.2 Sistemas de medición de temperatura basados en RTD utilizando microcontroladores

La medición precisa de la temperatura es un aspecto fundamental en numerosas aplicaciones científicas e industriales, especialmente en el campo de la termodinámica y la calorimetría. En particular, los sistemas de medición de temperatura basados en sensores resistivos han demostrado ser altamente confiables y precisos en una amplia gama de entornos y condiciones (Pérez M., 2014).

El desarrollo de sistemas de medición de temperatura cada vez más eficientes y de fácil implementación es un área de investigación en constante evolución. En este contexto, los microcontroladores han desempeñado un papel crucial al proporcionar una plataforma versátil para la programación y el control de sistemas de medición de temperatura.

Un tipo específico de microcontrolador, el PSOC (*Programmable System-on-Chip*), ha ganado popularidad debido a su capacidad para combinar diferentes funciones y periféricos en un solo chip. Esto lo convierte en una opción atractiva para el diseño y la programación de sistemas de medición de temperatura altamente integrados (Crispi, 2007).

En el ámbito educativo, el uso de dispositivos didácticos desempeña un papel fundamental en la enseñanza de conceptos científicos y tecnológicos complejos. En el caso de la calorimetría, un calorímetro didáctico proporciona una herramienta práctica y tangible para que los estudiantes comprendan los principios fundamentales de la transferencia de calor y la medición de temperatura (Alvarado Fernández, 2019).

Sin embargo, a pesar de la amplia disponibilidad de sensores RTD y microcontroladores PSOC, existen pocos estudios que aborden específicamente la programación de un sistema de medición de temperatura utilizando estos componentes aplicados a un calorímetro didáctico. Este vacío en la literatura científica resalta la necesidad de investigar y desarrollar un enfoque efectivo para aprovechar las capacidades de los sensores RTD y los microcontroladores PSOC en la programación de sistemas de medición de temperatura para su aplicación en un contexto didáctico.

1.3 Definición y composición de un calorímetro.

El calorímetro es un dispositivo utilizado en la medición precisa de calor, que desempeña un papel fundamental en la comprensión y aplicación de los principios de la termodinámica y la transferencia de calor. Este artículo científico tiene como objetivo proporcionar una descripción exhaustiva del calorímetro y analizar sus antecedentes en el ámbito educativo (Martínez, 2006).

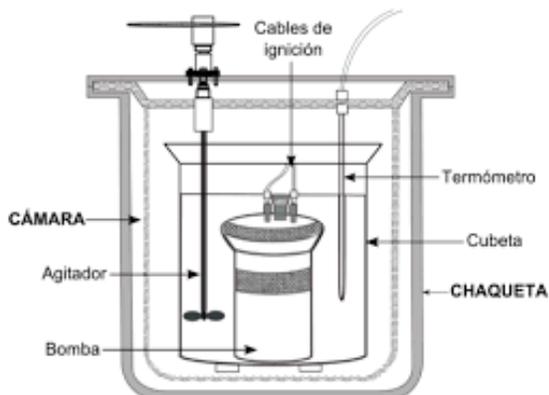
Un calorímetro es un instrumento diseñado para medir la cantidad de calor absorbido o liberado durante una reacción química, un proceso físico o un cambio de temperatura. Consiste típicamente en una cámara aislada térmicamente que contiene una muestra, un termómetro para medir cambios de temperatura y un sistema de aislamiento para minimizar las pérdidas de calor hacia el entorno. El calorímetro permite realizar mediciones precisas de calor específico, entalpía, calor de reacción y otras propiedades termo físicas de sustancias.

Existen diferentes tipos de calorímetros, como los de bomba, los adiabáticos, los de flujo constante y los de mezcla. Cada tipo tiene sus propias características y aplicaciones específicas. Los calorímetros modernos a menudo incorporan tecnologías avanzadas, como termistores, termopares y sistemas de adquisición de datos, para mejorar la precisión y facilitar el análisis de los datos obtenidos (García, 2007).

1.4 Bomba calorimétrica.

Una bomba calorimétrica es un dispositivo utilizado para medir el calor absorbido o liberado durante una reacción química o un proceso físico. Es un tipo de calorímetro que se utiliza específicamente para determinar la entalpía de una reacción, es decir, la cantidad de calor transferida durante el proceso.

La bomba calorimétrica consta de varios componentes esenciales que se muestran en la Figura 2. El elemento central es una celda de reacción, que es un recipiente cerrado donde tiene lugar la reacción química. La celda de reacción generalmente consiste en una bomba o un contenedor resistente a la presión, hecho de materiales que son químicamente inertes y térmicamente aislados para minimizar las pérdidas de calor.

Figura 2*Estructura general de una bomba calorimétrica.*

Dentro de la celda de reacción, se coloca una muestra de la sustancia o las sustancias involucradas en la reacción. Además, se añade un exceso de reactivo o reactivo limitante, dependiendo del tipo de reacción que se esté investigando.

Para controlar y medir los cambios de temperatura en la celda de reacción, se instala un termómetro sensible y preciso. Este termómetro registra los cambios de temperatura antes, durante y después de la reacción.

La bomba calorimétrica también incluye un sistema de agitación que garantiza una mezcla uniforme de los reactivos y ayuda a alcanzar la equimolaridad y la homogeneidad de la muestra.

Una vez que todos los componentes están en su lugar, se lleva a cabo la reacción química dentro de la celda de reacción. Durante la reacción, se produce un intercambio de calor entre la muestra y los reactivos. Este calor se absorbe o se libera, lo que provoca un cambio en la temperatura de la celda de reacción.

Mediante el monitoreo de los cambios de temperatura antes y después de la reacción, y teniendo en cuenta la capacidad calorífica de la celda de reacción, se puede calcular la cantidad de calor liberada o absorbida durante la reacción.

La bomba calorimétrica se utiliza en una variedad de campos, como la química, la bioquímica y la investigación farmacéutica. Es una herramienta valiosa para determinar la energía térmica involucrada en las reacciones químicas, lo que proporciona información importante sobre las propiedades termodinámicas de las sustancias y ayuda en el diseño y optimización de procesos químicos y farmacéuticos.

1.5 Calorímetros en el ámbito educativo

Los calorímetros han sido utilizados en el ámbito educativo durante décadas como herramientas didácticas para enseñar los principios fundamentales de la transferencia de calor y la termodinámica. Estos dispositivos ofrecen a los estudiantes una experiencia práctica y tangible, permitiéndoles comprender conceptos abstractos de manera más efectiva (Giraldo, 1994).

En las últimas décadas, ha habido un creciente interés en el desarrollo de calorímetros didácticos, específicamente diseñados para el entorno educativo. Estos calorímetros se caracterizan por ser seguros, fáciles de usar y de bajo costo, lo que los convierte en una herramienta accesible para profesores y estudiantes.

Los calorímetros didácticos suelen estar diseñados para realizar mediciones simples de calor, permitiendo a los

estudiantes realizar experimentos y observar de primera mano los efectos del intercambio de calor en diferentes sustancias y sistemas. Estos dispositivos proporcionan una plataforma práctica para que los estudiantes exploren conceptos como la ley de conservación de la energía, la capacidad calorífica, la transferencia de calor por conducción, convección y radiación, y la determinación de entalpías de reacción.

Además, con el avance de la tecnología, se han desarrollado simuladores y softwares interactivos que permiten a los estudiantes realizar experimentos virtuales utilizando calorímetros virtuales. Estas herramientas proporcionan una experiencia práctica similar a la de un laboratorio real, pero con la ventaja de permitir una mayor flexibilidad y repetición de experimentos.

1.6 Dispositivos PSoC

La palabra PSoC es un acrónimo de "Programmable System on Chip" y se refiere a dispositivos fabricados por la empresa Infineon. Estos dispositivos son microcontroladores que se destacan por su capacidad de integrar módulos tanto analógicos como digitales en un solo chip, lo que les confiere una característica distintiva y atractiva. Además, ofrecen la posibilidad de reconfigurar dinámicamente las entradas y salidas de estos módulos (Ashby, 2005). Esta flexibilidad en la estructura de los componentes electrónicos facilita el desarrollo de sistemas electrónicos embebidos.

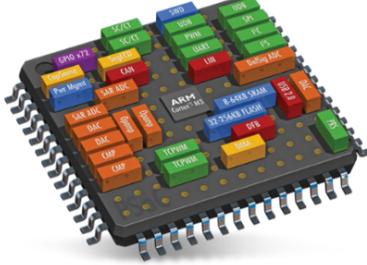
Los dispositivos PSoC contienen diferentes áreas principales que les otorgan versatilidad para adaptarse a diversas aplicaciones. Estos microcontroladores cuentan con bloques digitales y analógicos que pueden configurarse y adaptarse según las tareas que se deseen realizar. Las cuatro áreas principales que componen un microcontrolador PSoC son: el núcleo, el sistema digital, el sistema analógico y los recursos del sistema.

La versatilidad y el rendimiento del microcontrolador PSoC varían dependiendo de la versión utilizada. Para el presente proyecto, se empleó la familia PSoC 5, específicamente la tarjeta de desarrollo CY8CKIT-059 PSoC 5 LP, como se muestra en la Figura 3. Esta selección se hizo en función de las necesidades y requisitos del proyecto, aprovechando las prestaciones ofrecidas por esta versión del microcontrolador.

Figura 3*Tarjeta CY8CKIT-059.*

Las prestaciones generales en forma gráfica de este dispositivo se presentan en la Figura 4, internamente cuenta con un gran número de entradas y salidas digitales de propósito general, así como sistemas de comunicación UART, relojes internos, procesadores analógicos y bloques digitales (Kitagawa, 2021).

Figura 4
Configuración interna del microcontrolador PSOC 5

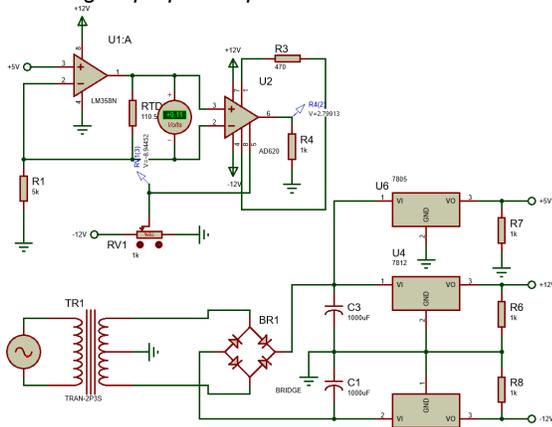


II. PARTE TÉCNICA

2.1 Propuesta de diseño con microcontroladores PIC.

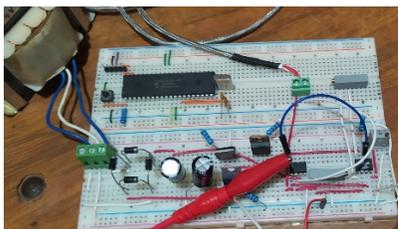
Como primer sistema de medición de temperatura se desarrolló un sistema en base a un amplificador de instrumentación INA114 y amplificadores operacionales. Se agregó una fuente de alimentación regulable para que los valores de los amplificadores operacionales estuvieran calibrados y no existieran variaciones considerables que afectaran las lecturas. El esquemático propuesto se presenta en la Figura 5.

Figura 5
Circuito analógico propuesto para microcontrolador PIC.



Con el circuito esquemático se procedió a montarlo en la tablilla de prototipo. Sin embargo, los resultados no fueron satisfactorios debido a que las lecturas eran muy inestables y la sensibilidad del sistema se veía muy afectada a perturbaciones. Por lo que, para la aplicación propuesta, no era viable. En la Figura 6 se puede ver el montaje en físico del circuito.

Figura 6
Montaje de circuito analógico propuesto con PIC18F4550



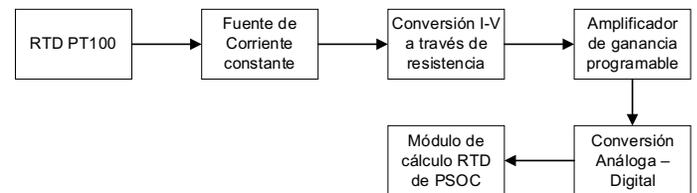
2.2 Circuito de medición utilizando PSOC.

Utilizando como referencia los diagramas analógicos usados en el circuito con microcontroladores PIC. Se implementó un acondicionamiento de señal en la plataforma PSOC 5 a través de su módulo de procesamiento analógico.

El sistema de acondicionamiento de señal se puede resumir en el diagrama de la Figura 7. En primer lugar, se conecta el RTD a una fuente de corriente constante para generar una diferencia de potencial equivalente. Posteriormente, se realiza una amplificación de ese voltaje utilizando los amplificadores de ganancia programable del módulo analógico.

Una vez que se tiene ya el voltaje necesario, se procede a realizar la conversión analógica a digital a través de los conversores.

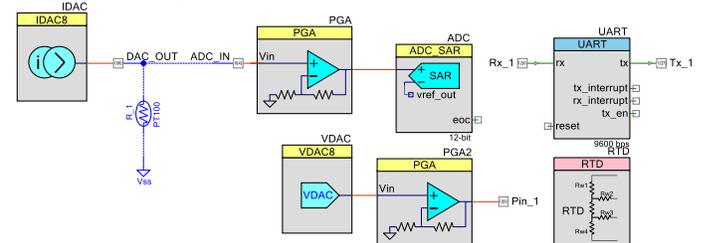
Figura 7
Diagrama de flujo del circuito de medición de temperatura.



A diferencia del circuito con PIC, la placa PSOC contiene ya todos los recursos anteriormente descritos, evitando la conexión de elementos externos a la placa y dando la posibilidad de configurarlos dependiendo de las necesidades que se presenten. El diagrama esquemático de los recursos analógicos y digitales que resuelven el diagrama de flujo es el que se presenta en la Figura 8.

De igual forma, se colocó un módulo UART que será el encargado de enviar los datos por protocolo serie utilizando el conversor FTDI – USB incluido en el microcontrolador para la comunicación con la computadora y que la temperatura pueda ser monitoreada en una interfaz con esta característica.

Figura 8
Diagrama de flujo del circuito de medición de temperatura.

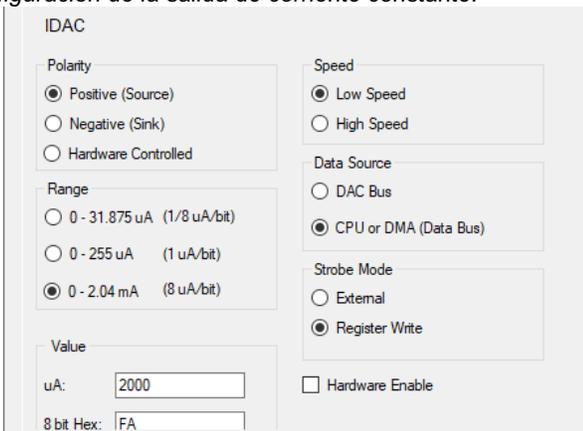


2.3 Configuraciones de bloques del diseño.

A través de los recursos internos, se procedió a configurar la fuente de corriente constante que, para este modelo en particular, es de 8 bits. En la Figura 9 se muestra la ventana de configuración para la fuente de corriente constante.

Se colocó una polaridad positiva, baja velocidad y una configuración de rango de 0 a 2.04mA, con un valor constante de 2mA. Esto es muy importante, pues es necesario tomar en cuenta que el sensor sigue siendo una resistencia que, al circular una corriente por él, la potencia será disipada en forma de calor, pudiendo afectar las mediciones. Por ello, se optó por que circulara una corriente pequeña.

Figura 9
Configuración de la salida de corriente constante.



Con la fuente de corriente configurada, se conecta el PT100 al PSOC para generar la diferencia de potencial. Este es el único elemento externo en la parte de acondicionamiento de señal.

El siguiente elemento a configurar es el Amplificador de Ganancia programable (PGA) que es el encargado de aumentar el nivel de tensión para que las lecturas tengan mejor sensibilidad. La ventana de configuración utilizada para este elemento se muestra en la Figura 10.

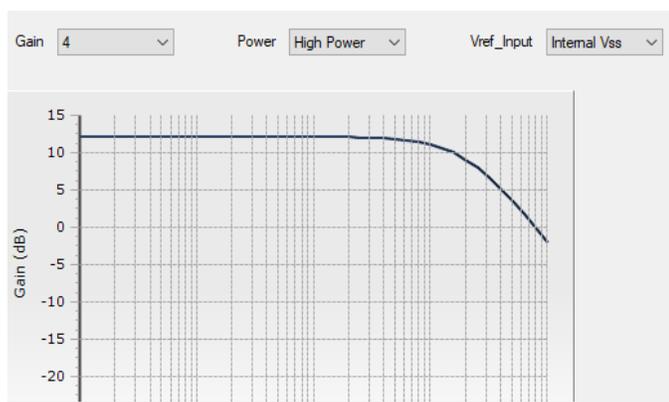


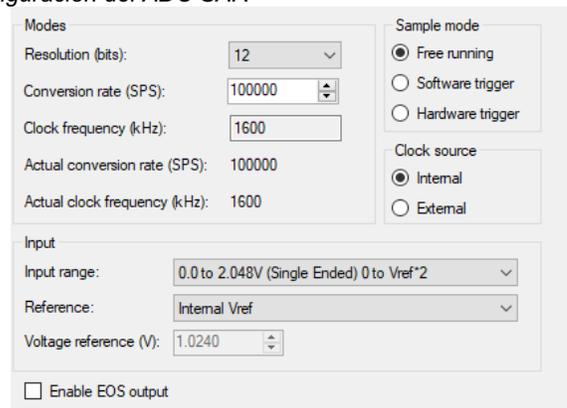
Figura 10
Configuración del amplificador de ganancia programable

Se estableció una ganancia de 4, ya que los niveles de voltajes provenientes del convertor son muy pequeños. También se utilizó un alto consumo de potencia y la alimentación interna como referencia de voltaje.

La curva que se muestra es la atenuación del amplificador en función de la ganancia y el voltaje de salida obtenido. Para esta aplicación, no tiene un impacto considerable, pues los niveles leídos no llegan a ser tan altos para generar una atenuación que cree perturbaciones en el sistema.

Ya que se tienen los elementos analógicos acondicionados y con los niveles requeridos, se hace la conversión analógica a digital utilizando el módulo ADC SAR (convertor de aproximaciones sucesivas) con la configuración que se ve en la Figura 11. Estas configuraciones pueden variarse en función de la sensibilidad que se quiera manejar en las conversiones, así como la velocidad de muestreo y la resolución.

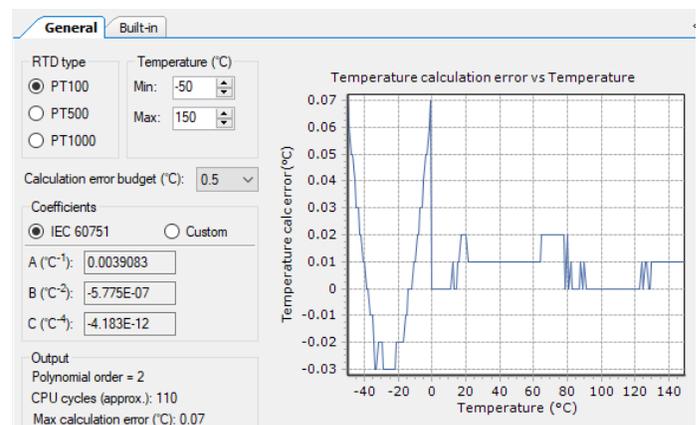
Figura 11
Configuración del ADC SAR



Se tiene un rango de muestras por segundo de 100,000 así como una frecuencia de reloj de 1600kHz. Debido a los niveles bajos de tensión se tiene un rango de entrada de voltaje de 0 – 2.048V con la finalidad de obtener una mejor sensibilidad, pues el convertor trabaja con una resolución de 12 bits. La referencia de voltaje se coloca interna para evitar la necesidad de un circuito de fuente regulable externo.

El último elemento a configurar es la herramienta RTD del PSOC. Este bloque permite realizar el cálculo de la temperatura a partir de la resistencia que se le coloque. Para este proyecto se utilizaron los parámetros que se muestran en la Figura 12.

Figura 12
Configuración del bloque de RTD



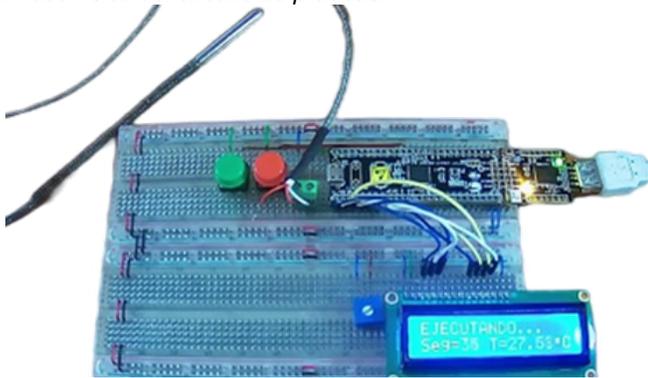
La configuración utilizada es para un PT100, con un rango de temperatura de -50 a 150°C y se utiliza un error permisible de 0.5°C. Los coeficientes son los establecidos por la norma IEC y se muestran como las variables A, B, C.

En el gráfico se puede observar la predicción de error en función de la temperatura que se está midiendo. También, se colocan cuántos ciclos máquina le llevarán al dispositivo realizar todos los cálculos, esto en caso de que se requieran aplicaciones donde el tiempo de muestreo sea determinante.

2.4 Implementación del circuito para pruebas.

Se realizaron las pruebas del sistema utilizando una tablilla de prototipos y una pantalla LCD 16x2 para la visualización de los datos. El circuito armado se presenta en la Figura 13.

Figura 13
Armado físico del circuito de pruebas.



Como se puede observar, los elementos externos son casi nulos comparados con el circuito con microcontrolador PIC, lo que facilita su montaje, así como disminuir la probabilidad de falla.

Para la realización de pruebas se colocaron 2 botones, el primero corresponde al inicio de la prueba de calor y el segundo para reiniciar el sistema para una segunda prueba.

Si bien, se tienen las configuraciones de los bloques, éstos solamente corresponden a la configuración de hardware. Para el software se realiza la programación utilizando lenguaje C en la plataforma PSoC Creator. El programa utilizado es el que se presenta en el Código Fuente 1. Que permite la transmisión de los datos de la temperatura mediante el puerto Serial.

Código Fuente 1

Programa para medición de temperatura.

```
#include "project.h"
#include "stdio.h"

int16 adato;
int32 uV;
int32 DTemp;
int32 DRes=0;

float Res;
float temp;
float mV;

char Data_String[30];
int i;

int main(void)
{
    CyGlobalIntEnable; /* Enable global interrupts. */

    UART_Start();
    IDAC_Start();
    PGA_Start();
    PGA2_Start();
    VDAC_Start();
    ADC_Start();
    ADC_StartConvert();
    ADC_IsEndConversion(ADC_WAIT_FOR_RESULT);

    for(;;)
    {
        DRes =0;
```

```
        for(i=0;i<20;i++)
        {
            adato = ADC_GetResult16();
            uV = ADC_CountsTo_uVolts(adato);
            uV = uV/8;
            DRes = DRes+uV;

            CyDelay(5);
        }
        DRes = DRes/20;
        DTemp = RTD_GetTemperature(DRes);
        mV = DRes/1000.0;
        temp = (float)DTemp/100.0;

        sprintf(Data_String, "RTD=%.2f\|tT=%.2f\r\n",mV,temp);
        UART_PutString(Data_String);
    }
}
```

Habiendo realizado las pruebas con el circuito y el código anterior, se verificó que las mediciones estuvieran correctas siendo satisfactorio el diseño.

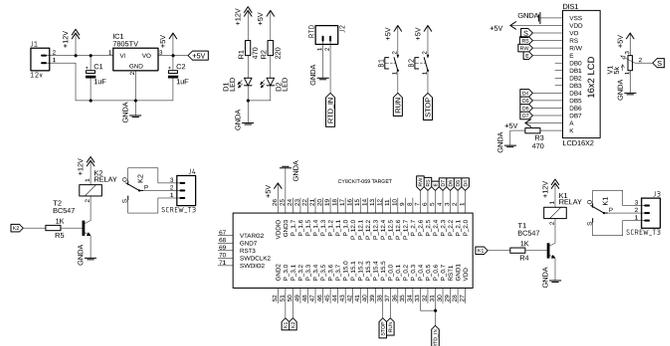
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Circuito para control de temperatura y actuadores del calorímetro.

Para realizar el control de temperatura del calorímetro fue necesario agregar circuitos externos para el control de la etapa de potencia. Es decir, el control del motor que hace que el líquido en el interior gire, los relevadores encargados de la chispa de ignición, así como los botones de inicio y reinicio de las pruebas. Los circuitos implementados para estos elementos son los que se muestran en la Figura 14.

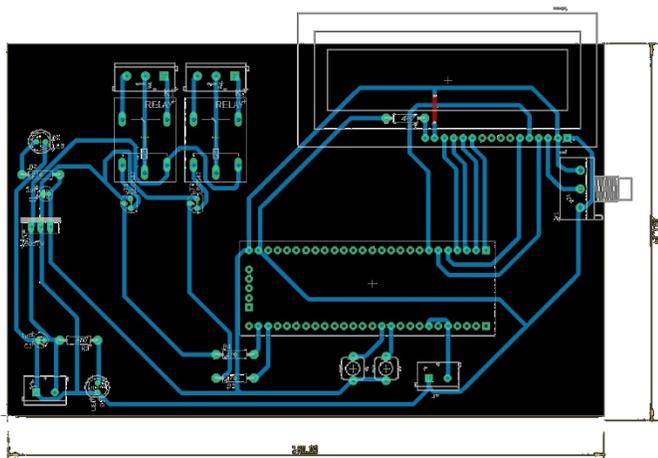
Los interruptores están conectados en configuración Pull – Down (lógica positiva) hacia las entradas del microcontrolador. Para el motor y la bobina que genera la chispa, se utilizaron transistores de potencia, pues la corriente entregada por las salidas del PSoC no son suficientes para su correcto funcionamiento.

Figura 14
Circuitos propuestos para elementos externo.



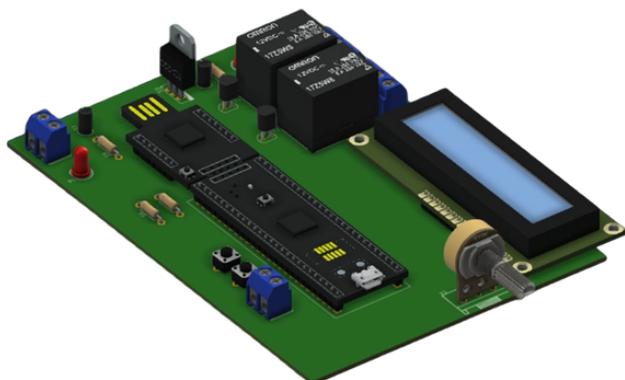
Partiendo del esquemático anterior, se procedió a diseñar la placa de circuito impreso. Para esto se utilizó el software Eagle© con la licencia educativa. El diseño PCB se presenta en la Figura 15

Figura 15
Diseño del PCB para el control de temperatura y accionamiento.



Utilizando la suite Fusion 360® se obtuvo la vista en 3D que se ve en la Figura 16 para verificar que todos los elementos colocados estuvieran en una posición accesible para el usuario final del controlador.

Figura 16
Visualización del PCB en 3D utilizando Fusion 360®.



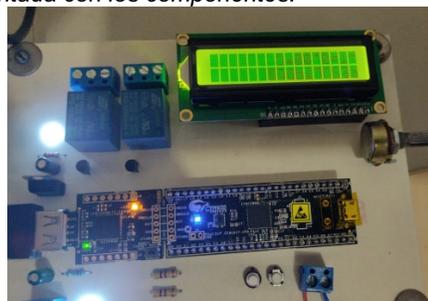
Se puede visualizar que todos los elementos se encuentran accesibles para el usuario y las conexiones a los dispositivos externos (RTD, motores y relevadores) están disponible mediante borneras de sujeción con tornillo para evitar que existan falsos contactos o que los cables se muevan de su lugar, permitiendo al circuito montarse y transportarse con más facilidad.

Para la elaboración del circuito impreso se utilizó el método de transferencia térmica y reducción de cobre a través de cloruro férrico.

Posteriormente se realizó el montaje de los componentes en el lugar indicado y tomando como guía el diseño PCB y la visualización en 3D generada para evitar errores al momento de hacer las soldaduras.

La placa terminada y montada se presenta en la Figura 17, en ella se puede comprobar que los diseños realizados en el software ajustan en los componentes propuestos para la tarjeta.

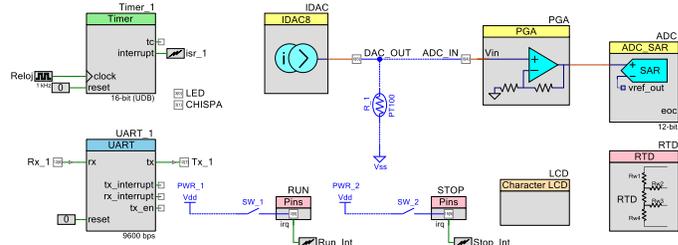
Figura 17
Tarjeta montada con los componentes.



3.2 Programación final del PSoC y montaje en la estructura mecánica

Derivado de las pruebas realizadas previamente se implementó la programación de bloques analógicos y digitales que se ve en la Figura 18.

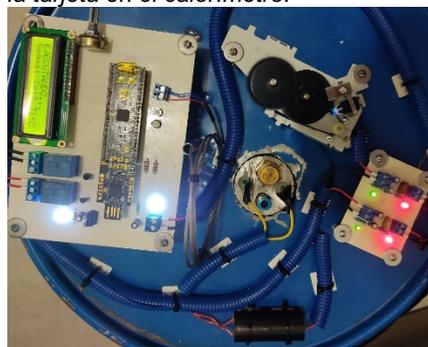
Figura 18
Diagrama de bloques final del sistema de medición.



A diferencia del presentado previamente, se añadieron bloques de temporización, debido a que las pruebas con el calorímetro deben de estar cronometradas de acuerdo a parámetros establecidos. También se agregó el bloque de pantalla LCD e interrupciones externas por hardware para los botones de inicio y de reinicio.

Una vez teniendo todos los elementos de hardware y software comprobados y en funcionamiento, se montó la tarjeta en la estructura mecánica del calorímetro. El montaje final se ve en la Figura 19.

Figura 19
Montaje de la tarjeta en el calorímetro.



Se realizaron pruebas de funcionamiento de todo el sistema del calorímetro obteniendo resultados satisfactorios y que permiten realizar prácticas sencillas de transferencia de calor y

similares. Los resultados de las pruebas se presentan en la Figura 20.

Figura 20

Resultados de las pruebas de medición.



IV. CONCLUSIONES

En conclusión, la programación de un sistema de medición de temperatura utilizando un sensor resistivo (RTD) y un microcontrolador PSOC aplicado a un calorímetro didáctico demuestra la importancia de generar dispositivos de pruebas dentro de las instituciones educativas y su impacto significativo en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

La implementación de este sistema permite a los estudiantes adquirir un conocimiento más profundo sobre los principios fundamentales de la medición de temperatura, la transferencia de calor y la termodinámica. A través de la programación del microcontrolador PSOC y la integración del sensor RTD, se logra una medición precisa y confiable de la temperatura en el calorímetro didáctico.

La disponibilidad de dispositivos de pruebas dentro de las instituciones educativas fomenta un enfoque práctico en la enseñanza de conceptos científicos y técnicos. Los estudiantes tienen la oportunidad de experimentar y observar directamente los fenómenos relacionados con la medición de temperatura, lo cual fortalece su comprensión teórica y promueve el desarrollo de habilidades prácticas.

Además, la programación de sistemas electrónicos y la integración de sensores en dispositivos didácticos proporciona a los estudiantes una experiencia de aprendizaje enriquecedora y aplicable a situaciones reales. Les permite enfrentarse a desafíos tecnológicos y desarrollar habilidades de resolución de problemas, trabajo en equipo y pensamiento crítico.

En resumen, la programación de un sistema de medición de temperatura utilizando un sensor resistivo (RTD) y un microcontrolador PSOC aplicado a un calorímetro didáctico destaca la importancia de generar dispositivos de pruebas dentro de las instituciones educativas. Su incorporación en el currículo educativo contribuye a formar estudiantes con un enfoque científico y tecnológico sólido, preparados para enfrentar los desafíos del mundo actual.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Tecnológico Nacional de México (TecNM); Instituto Tecnológico Superior de Lerdo y el Instituto Tecnológico de la Laguna por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo.

Así mismo a las divisiones a las cuales los autores se encuentran adscritos por brindar el tiempo y el equipo usado en la realización del prototipo, así como en su aplicación.

VI. REFERENCIAS

- Alvarado Fernández, D. A. (2019). *Diseño e Implementación de una Tarjeta Electrónica de Expansión Modular Basado en PSOC para el Desarrollo de Aplicaciones de Sistemas Embebidos*. Universidad Privada de Tacna.
- Areny, R. (2004). *Sensores y acondicionadores de señal*. México : Marcombo.
- Ashby, R. (2005). *Designer's guide to the Cypress PSOC*. Newnes.
- Boylestad, R. (2009). *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. México: Pearson Educación.
- Crispi, A. (2007). Sistemas Programables en un Chip (PSoC) y sus potencialidades para la instrumentación. *Revista Clepsidra* 3.4, 13-20.
- García, V. (2007). Construcción de un Calorímetro para la Determinación de Entalpías de Inmersión. *Información tecnológica*, 59-70.
- Giraldo, L. (1994). Construcción de un calorímetro isoperibólico de inmersión de precisión. *Revista Colombiana de Química* 23.1, 1-14.
- Kitagawa, A. (2021). A Study of Programmable System on Chip (PSoC). *Journal of Physics: Conference Serie*, 1899(1).
- Martínez, L. R. (2006). Calorimetría y análisis térmico. *Laboratorio de Termofísica* 1, 111.
- Pérez, M. (2014). *Instrumentación Electrónica*. España: Paraninfo.