

# Implementación de un Sistema de Medición y Autorregulación de Temperatura de Forma Local y Remota y su Comparación Contra Plataformas Comerciales

Carlos Magallanes-Aranda,<sup>a)</sup> Herzon Germán Souza López,<sup>b)</sup> Gilberto Juárez Rangel,<sup>c)</sup> y Jesús Fabián Macías Amador<sup>d)</sup>

TECNOLÓGICO DE MONTERREY, ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

(Fecha: 2 de enero de 2024)

**Resumen:** En este reporte se diseña y implementa un regulador de temperatura de forma local utilizando un sensor de temperatura, un foco incandescente y un ventilador. También se registraron las mediciones de temperatura en la plataforma de Thingspeak, las cuáles se mostraron en un display TFT 120x120. Para controlar todo el sistema, se utilizó el procesador ESP32. Además, se hace una comparación sobre el diseño y desempeño entre plataformas comerciales y nuestro prototipo.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de sistemas autorregulados es un área importante en la electrónica y en la robótica debido a que permite mantener constantes los parámetros principales del sistema. Además, en la industria los sistemas autorregulados también sirven para ahorrar energía de una manera inteligente. Por otro lado, hay productos que llegan al cliente dónde también es necesario mantener ciertas parámetros constantes. Un ejemplo, es una incubadora de crías o un hábitat simulada, donde es necesario mantener una temperatura específica para el desarrollo saludable de los animales a cuidar.

Este proyecto permite entender el funcionamiento de distintos elementos electrónicos y la implementación de los mismos en sistemas industriales. Para este caso, se realizó un prototipo de un sistema de autorregulación de temperatura. En la sección II, se describen distintos componentes electrónicos y se muestra la representación de los mismos en diagramas de circuitos. En la sección III, se comenta sobre los componentes que se utilizaron y sus especificaciones. En la sección IV, se muestran los resultados obtenidos de la implementación del prototipo. En la sección VI, comparamos los resultados obtenidos con sus contra partes comerciales. Finalmente en la sección VII, discutimos sobre el desempeño del prototipo y posibles áreas de mejora para futuras implementaciones.

## II. MARCO TEÓRICO

En este marco teórico se explicará brevemente el funcionamiento de cada uno de los componentes utilizados y su representación en los diagramas de circuito, Además de que se definirán las cantidades a emplear a lo largo del presente.

<sup>a)</sup>Electronic mail: A01570761@tec.mx

<sup>b)</sup>Electronic mail: A00830700@tec.mx

<sup>c)</sup>Electronic mail: A01570628@tec.mx

<sup>d)</sup>Electronic mail: a00830408@tec.mx

## A. Componentes del sistema

### El Microcontrolador

El microcontrolador en este proyecto es vital, pues a través de él se pueden recibir los datos que el sensor mide y mandar instrucciones acordes. La decisión sobre el tipo y modelo de microcontrolador a emplear impactará fuertemente en el desempeño del mismo, por lo que las características de cada uno y sus capacidades se tomarán seriamente en cuenta al seleccionar el microcontrolador a utilizar. Estos microcontroladores se encuentran dentro de un chip, cómo el Arduino UNO o el ESP32.

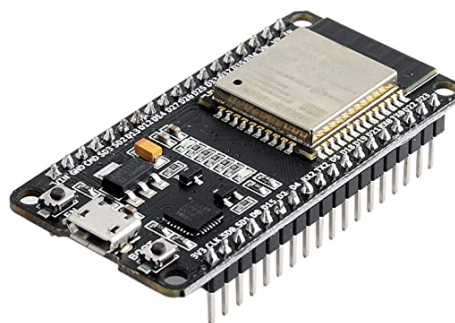


Figura 1: Chip ESP32

### El Sensor

El sensor de temperatura es el único elemento del sistema del cual obtenemos un input, por lo que el funcionamiento de este es también vital para el sistema entero. Las características de los instrumentos de medición que nos importan para este proyecto son precisión y exactitud:

- **Precisión:** Se relaciona con la repetibilidad de la medición, es decir, que tan cercanas son las mediciones entre ellas cuando el valor real no ha sido alterado.
- **Exactitud:** Se refiere a la cercanía que tienen los valores medidos con el valor real.

Se requiere un sensor de temperatura que sea preciso y

exacto.

### El Módulo Relé

El modulo Relé cumple con la misma función que un transistor, pero se emplea cuando un circuito con microcontrolador es usado para prender y apagar circuitos de voltajes más altos. Esto funciona porque se agrega un diodo en paralelo con el interruptor, el cual tiene el efecto de aislar el voltaje de retorno evitando que se dañe el microcontrolador.

### B. IoT y Comunicación Remota

El Internet de las cosas (Internet of Things) es la práctica de organizar objetos comunes y cosas del día a día en un ecosistema ciberespacial, donde estos actúan de forma autónoma y comparten información de su estado con el usuario o directamente a una base de datos.

La plataforma ThingSpeak de Mathworks cumple con esa función en este proyecto, lo que hace es crear canales de comunicación privados con sus respectivas llaves API para leer o escribir datos a través de una señal estable de Wi-Fi, además de generar automáticamente una visualización de los mismos.

### C. Variables importantes

Las variables más importantes a considerar durante el desarrollo del proyecto fueron principalmente los voltajes de alimentación que reciben los componentes del circuito, como lo son la batería de 9 V, la fuente de 5 V del ESP32 y la fuente de corriente alterna de 120 V; la falta de voltaje en nuestro sistema puede causar fallas en las mediciones de los sensores o en la detección de las señales mandadas por el ESP32, mientras que la sobre del mismo puede quemar el circuito dejándolo obsoleto.

Medir y controlar la temperatura es el principal objetivo del proyecto, por lo mismo, la temperatura es una variable que tenemos que tener bien monitoreada en todo momento.

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la construcción del prototipo se usaron principalmente piezas recicladas o recuperadas de otros sistemas:

- Microcontrolador ESP32
- Sensor de Temperatura KY-001
- Ventilador AFC0712DD
- Foco Incandescente de 40 Watts
- LEDs Verde, Amarillo y Rojo
- Display TFT 120x120

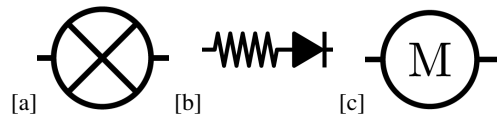


Figura 2: Diagramas de elementos empleados (a) Foco incandescente, (b) LEDs, (c) Motor de ventilador

### ■ 2 módulos Relé

El microcontrolador usado fue el ESP32 el cual cuenta con un modulo de Wi-Fi y uno de Bluetooth. Este opera a 160 MHz y cuenta con 16 canales, así como con una resolución de 12 bits.

Para este proyecto se utilizó el modulo con sensor digital de temperatura KY-001 el cual entrega información mediante el la interfaz One Wire de datos serie digital, un LED y una resistencia. Este sensor tiene un voltaje de funcionamiento de 3V a 5.5V permitiendo medir temperatura en un rango de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$  con rango de precisión de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Este sensor cuenta con una precisión de 9 a 12 bits.

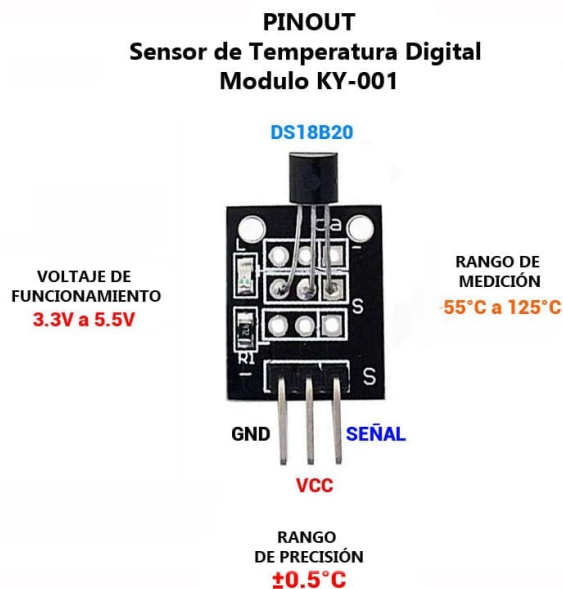


Figura 3: Pinout del sensor KY-001

### A. Circuito Final

Para la implementación del circuito completo, se conectaron todos elementos en paralelo. Este proceso es necesario para evitar dependencia de un elemento al otro. Además se conectó el sensor de temperatura a un GND diferente de los demás componentes para una mejor eficiencia. Para controlar el ventilador y el foco incandescente, fue necesario utilizar fuentes externas ya que el ventilador requiere de 9 a 12V de

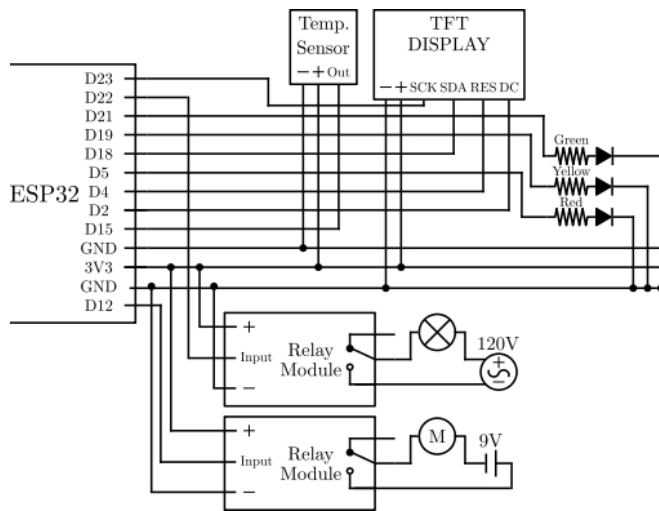


Figura 4: Diagrama del circuito final implementado

corriente directa y el foco 120V de corriente alterna. Para activar y desactivar estos componentes se utilizaron unos módulos relé controlados por el ESP32. El circuito completo se puede observar en la figura 4.

#### IV. RESULTADOS

En el programa final se incluyeron diferentes formas de funcionamiento del sistema a las que llamaremos modos. El modo principal es el de *Regulación de Temperatura*, que busca mantener una temperatura óptima a lo largo del tiempo. Los datos recuperados de este modo se muestran en la Figura 5

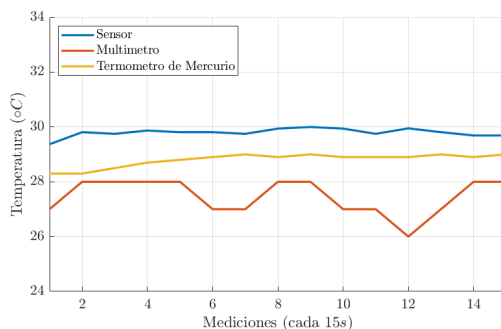


Figura 5: Comportamiento de los diferentes termómetros en la medición de temperaturas durante 15 intervalos de 15 segundos. Modo: Regulación de Temperatura

El otro modo, lo llamamos *Play Catch*, en el cuál el primer objetivo es llegar a la temperatura ambiente y en el instante en que se logró este objetivo, subir la temperatura a 40C. Esto se repite durante todo el experimento, lo cuál resulta en una oscilación de la temperatura de 25 a 40C. Los datos de este modo, están registrados en la Figura 6. Este modo se implementó como demostración de las capacidades del

sistema de controlar el foco y el ventilador cuando se requiera.

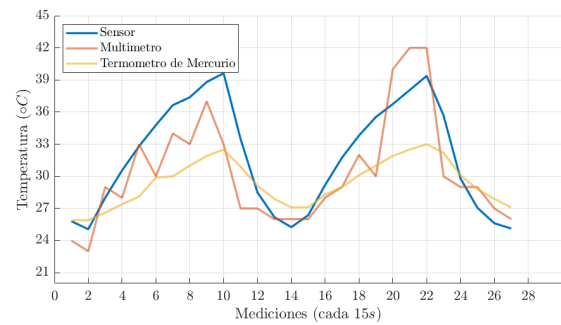


Figura 6: Comportamiento de los diferentes termómetros en la medición de temperaturas durante 27 intervalos de 15 segundos. Modo: Play catch

El sistema final mostró que el circuito implementado funcionaba como se esperaba y que los datos se transmitieron de forma satisfactoria al display TFT.

#### V. DISCUSIÓN

Para el cálculo de errores se necesitó de un instrumento de medición que sirviera como referencia (patrón) para compararlo con nuestro sensor. Se tomaron medidas con el sensor KY-001, con el termómetro de mercurio y con el multímetro Omega trueMS supermeter HHM290. A lo largo de las mediciones, pudimos percatarnos de la dificultad que tenía el termómetro de mercurio para igualar al sensor digital cuando la temperatura subía, lo que no ocurría cuando la temperatura iba en descenso. Por otra parte el multímetro no presentaba esta dificultad, pero mostraba de vez en cuando una medida muy alejada de las presentadas por el sensor digital y el termómetro de mercurio.

Otro factor a discutir es la precisión de las medidas tomadas con cada instrumento; mientras que el sensor digital mostraba temperaturas con cifras decimales, para el de mercurio teníamos que hacer una aproximación a ojo para determinar estas cifras y el multímetro solo mostraba números enteros; esto y mas factores son posibles contribuyentes al error calculado para cada instrumento de medición, siendo un determinante para la elección del instrumento que usaríamos como comparativa.

En cuanto a dificultades a lo largo del proyecto podemos mencionar cuatro situaciones en particular:

- **Voltaje de de retorno.** Administramos 9 V al ventilador, pero al intentar usar un transistor para el control del circuito, se obtenía un voltaje de retorno lo que suponía un peligro para la placa del microprocesador que se estuvo utilizando. Para resolverlo es que se optó por usar un módulo Relé, situación que dió origen a otra problemática.

- **La pantalla.** Fue un poco complicado programarla adecuadamente, en momentos no se mostraban correctamente los datos y mostraba cantidades erróneas.
- **Fuente de corriente alterna.** La fuente de calor utilizada fue un foco que recibía alimentación por corriente alterna, haciendo su manejo peligroso.
- **Voltaje de módulos relé.** Primero se usó un microprocesador que proveía 3.3 V, lo que generó mal funcionamiento en los relés al no tener suficiente voltaje; esto se corrigió cuando comenzamos a usar un microprocesador que era capaz de proveer 5 V.

## VI. COMPARACIÓN

### A. Cálculo del Error

Para calcular el error, el instrumento de medición que se empleó como patrón fue un termómetro de mercurio ordinario, y las mediciones que se emplearon fueron las de la temperatura del sistema en modo de regulación de temperatura (Figura 5). En la tabla Tabla I se muestran los datos completos.

Medición (n)	Temperatura del Sensor (T) (°C)	Desviación (vi) (T - Promedio)	vi / Desv. Estándar
1	29.37	0.426	2.80304757
2	29.81	-0.014	0.09211893
3	29.75	0.046	0.3026765
4	29.87	-0.074	0.48691437
5	29.81	-0.014	0.09211893
6	29.81	-0.014	0.09211893
7	29.75	0.046	0.3026765
8	29.94	-0.144	0.94750904
9	30	-0.204	1.34230447
10	29.94	-0.144	0.94750904
11	29.75	0.046	0.3026765
12	29.95	-0.154	1.01330828
13	29.81	-0.014	0.09211893
14	29.69	0.106	0.69747193
15	29.69	0.106	0.69747193

Cuadro I: Mediciones y datos para aplicar el criterio de Chauvenet

Por el criterio de Chauvenet y debido a que se solicita una confianza del 95 %, se toman como datos atípicos aquellas mediciones que no cumplen con el criterio de Chauvenet (2.128)<sup>1</sup> y por consecuencia se dejaron fuera del análisis de las mediciones. Los nuevos datos están mostrados en la tabla Tabla II.

Con los datos de error de la tabla Tabla II se obtuvo un error absoluto promedio de 0.99°C, y un error porcentual promedio de 3.436 %

Medición (n)	Temperatura del Sensor (T) (°C)	Patrón Hg (°C)	Error (T - Patrón)
2	29.81	28.3	1.51
3	29.75	28.5	1.25
4	29.87	28.7	1.17
5	29.81	28.8	1.01
6	29.81	28.9	0.91
7	29.75	29	0.75
8	29.94	28.9	1.04
9	30	29	1
10	29.94	28.9	1.04
11	29.75	28.9	0.85
12	29.95	28.9	1.05
13	29.81	29	0.81
14	29.69	28.9	0.79
15	29.69	29	0.69

Cuadro II: Datos filtrados y Error de cada medición del sensor KY001

Observamos que el error calculado es pequeño, siendo aproximadamente de  $\pm 1^\circ\text{C}$ , sin embargo este es mayor al de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  proporcionado por el fabricante.<sup>2</sup> El margen de error experimental del sensor de temperatura KY-001 es un poco mayor al teórico, por lo que podemos concluir que experimentalmente el módulo sensor de temperatura fue menos preciso; esto se puede deber a diversos factores, tales como un error en la programación o manera en la que se mostraban las temperaturas, en factores de calentamiento y enfriamiento (encendidos del foco y ventilador) o factores humanos al tomar medidas con el instrumento de referencia,

### B. Comparación con otros termómetros comerciales

El otro termómetro con el que se tomaron mediciones simultáneas fue el del multímetro Omega trueMS supermeter HHM290, al filtrar con el criterio de Chauvenet y realizar el mismo procedimiento que con los datos obtenidos por el sensor se obtuvieron los datos de la tabla Tabla III, y finalmente el error promedio absoluto de 1.34°C y un error porcentual de 4.63 %, por lo que el sensor de temperatura empleado en el sistema presente mejor rendimiento que el modelo comercial seleccionado

## VII. CONCLUSIONES

Consideramos que existen varias áreas de mejora para el desarrollo del prototipo empleado. Una de las principales mejoras que podrían implementarse, es la adición de una interfaz que permita modificar el modo de operación y los límites de temperatura deseados. De este modo, se evitaría tener que subir un código nuevo para diferentes casos deseados. También consideramos que podemos mejorar el circuito haciendo un análisis más extenso sobre las fuentes de voltaje necesarias para el funcionamiento ideal de cada

Medición (n)	Temperatura (T) del Termómetro 2 (°C)	patrón Hg (°C)	Error abs (T - Patrón)
1	27	28.3	1.3
2	28	28.5	0.5
3	28	28.7	0.7
4	28	28.8	0.8
5	28	28.9	0.9
6	27	29	2
7	27	28.9	1.9
8	28	29	1
9	28	28.9	0.9
10	27	28.9	1.9
11	27	28.9	1.9
13	27	29	2
14	27	28.9	1.9
15	28	29	1

Cuadro III: Datos filtrados y Error de cada medición del Termómetro del multímetro Omega trueMS supermeter HHM290

elemento. Por último, podríamos utilizar una fuente de calor más eficiente que pueda generar una distribución uniforme de la temperatura sobre todo el volumen para evitar puntos en donde el calor se pueda concentrar de más.

Sin embargo, también consideramos que el proyecto resultó exitoso debido al control que se mostró en mantener una temperatura constante. Si bien, el error fue de  $\pm 1^\circ\text{C}$ , para operaciones industriales que requieran temperaturas más elevadas, este error puede ser despreciable.

## VIII. ANEXOS

<https://drive.google.com/file/d/1NG9m7H1UGWKVTTS2FeAGm3>

## REFERENCIAS

<sup>1</sup>Lily Lin and Paul Sherman. Cleaning data the chauvenet way. *SouthEast SAS Users Group*, pages 1–11, 2007.

<sup>2</sup>Sensor de temperatura digital módulo ky-001 - unit electronics.