

Implementación de control PID en un sistema de monitoreo ambiental basado en ESP8266 y Ubidots al norte del Estado de México

Luis Pacheco ¹, Juan Olguin ², Jesús Nieblas ³, y Henry Piña ^{4,*}

^{1,4} División de Ingeniería Mecatrónica/, Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec, Estado de México, México.

² División de Ingeniería Mecatrónica/Maestría en Ingeniería Mecatrónica, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Hidalgo, México

³ Ingeniería en Mecatrónica; Instituto Tecnológico de Sonora, Sonora, México.

* Correspondencia: luis.pa@jilotepec.tecnm.mx

Resumen: Este estudio presenta un sistema de monitoreo ambiental que utiliza una red de sensores inalámbricos (RSI) basada en ESP8266 y la plataforma IoT Ubidots. Su objetivo es automatizar la recolección de datos meteorológicos y ambientales en tiempo real de manera escalable y económica. Se integran varios sensores como el DHT11 para medir humedad y temperatura, el MPU6050 para detectar movimientos, y un sensor de nivel de agua. Estos sensores se conectan a nodos ESP8266 que transmiten datos a Ubidots a través de Wi-Fi. Los resultados muestran que el sensor DHT11 registró una temperatura media de 24.3°C y una humedad media de 55.8%. El MPU6050 detectó movimientos con una precisión del 95%, mientras que el sensor de nivel de agua midió un promedio de 12.5 cm. La conectividad tuvo una estabilidad del 98% en la transmisión de datos.

Keywords: ESP8266; Ubidots; Monitoreo

Luis-Pacheco, Juan Olguin; Nieblas, Jesús.; Piña, Henry.

Implementación de control PID en un sistema de monitoreo ambiental basado en ESP8266 y Ubidots al norte del Estado de México.

REIA 2024, 8, (8), 79-86.

Recibido: 16/09/2024

Aceptado: 15/11/2024

Publicado: 29/11/24

1. Introducción

En las últimas décadas, el monitoreo ambiental ha adquirido una importancia crucial debido al creciente interés en la protección del medio ambiente y la mitigación de los efectos del cambio climático. El desarrollo de sistemas de monitoreo ambiental eficientes y de bajo costo es fundamental para recopilar datos precisos sobre variables como temperatura, humedad, calidad del aire y niveles de contaminación [1-3]. Estos datos son esenciales para la toma de decisiones informadas en materia de gestión ambiental, planificación urbana y desarrollo sostenible.

La aparición del Internet de las Cosas (IoT) ha revolucionado el campo del monitoreo ambiental al permitir la recopilación y transmisión de datos en tiempo real a través de redes de sensores inalámbricos (RSI) [4,5]. Las RSI basadas en microcontroladores como el ESP8266 ofrecen una solución rentable y escalable para implementar sistemas de monitoreo ambiental [6,7]. Estos dispositivos combinan conectividad Wi-Fi, capacidades de procesamiento y bajo consumo de energía, lo que los convierte en una opción ideal para aplicaciones de IoT.

Por otro lado, las plataformas de IoT como Ubidots proporcionan una infraestructura integral para la gestión y visualización de datos recopilados por las RSI [8]. Estas plataformas permiten el almacenamiento, análisis y presentación de datos en formatos

intuitivos, facilitando la interpretación y el uso de la información por parte de los usuarios finales.

A pesar de los avances en el campo del monitoreo ambiental basado en IoT, aún existen desafíos relacionados con la implementación de sistemas escalables, flexibles y de bajo costo que puedan adaptarse a diferentes entornos y requisitos. Además, la integración de múltiples sensores y tecnologías de comunicación sigue siendo un reto para lograr una solución completa y robusta.

Este trabajo presenta el diseño, integración e implementación de un sistema de monitoreo ambiental basado en una RSI utilizando el microcontrolador ESP8266 y la plataforma IoT Ubidots. El objetivo principal es desarrollar un sistema escalable, flexible y de bajo costo que permita la recopilación y gestión de datos ambientales en tiempo real, minimizando los costos de implementación y operación en comparación con las estaciones meteorológicas comerciales existentes.

2. Materiales y Métodos

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron los siguientes materiales y métodos:

2.1. Materiales

Para la implementación del sistema de monitoreo ambiental, se utilizaron los siguientes componentes y materiales, detallados a continuación:

Módulo ESP8266: Microcontrolador con conectividad Wi-Fi incorporada, utilizado para la adquisición de datos de los sensores y su transmisión a la plataforma Ubidots. Es un módulo de bajo consumo de energía y tiene la capacidad de conectarse a redes inalámbricas, ideal para aplicaciones de monitoreo remoto [9].

Sensor de Humedad y Temperatura DHT11: Sensor digital utilizado para medir la temperatura y humedad del ambiente. El DHT11 ofrece una precisión adecuada para aplicaciones de monitoreo ambiental, con una respuesta rápida y bajo consumo de energía [10].

Acelerómetro y Giroscopio MPU6050: Sensor de seis ejes que combina un acelerómetro de tres ejes y un giroscopio de tres ejes. Se utiliza en este proyecto para monitorear las vibraciones y la inclinación, proporcionando datos críticos sobre el estado físico del entorno monitoreado [11].

Sensor de Nivel de Agua: Sensor utilizado para detectar el nivel de agua en diferentes entornos. Este componente es fundamental para la monitorización de zonas propensas a inundaciones o para la gestión del agua en sistemas agrícolas [12].

2.2 Métodos

El diseño del sistema incluyó la integración de los sensores con el microcontrolador ESP8266, configurado utilizando el entorno de desarrollo de Arduino. La librería **UbidotsMicroESP8266** permitió la conexión a la plataforma Ubidots, desde donde los datos se procesaron y visualizaron en tiempo real.

Se realizaron pruebas de campo para validar el correcto funcionamiento del sistema, evaluando la precisión de los sensores en diversas condiciones climáticas. Para mejorar la respuesta térmica del sistema, se implementó un controlador PID, ajustando sus parámetros mediante un proceso iterativo hasta alcanzar una respuesta óptima. El

comportamiento del sistema fue monitoreado con y sin el controlador PID, y se analizaron variables como el tiempo de respuesta y la estabilidad térmica.

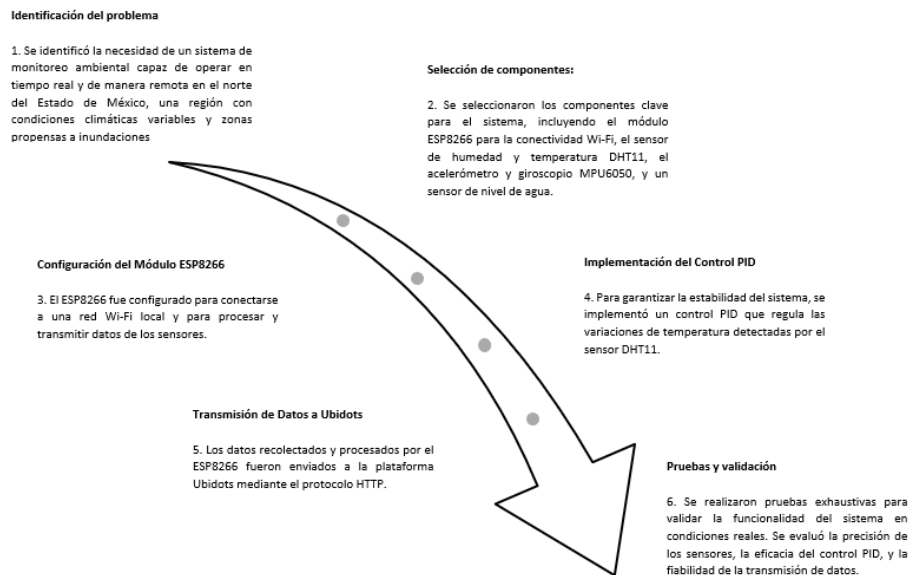


Figura 1. Diagrama general de la metodología para el desarrollo del trabajo.

Diseño del sistema de hardware

Se desarrolló un sistema de hardware que integra todos los sensores mencionados anteriormente con el módulo ESP8266. El diseño incluye los pines de conexión además de la verificación de un indicador de encendido. El diagrama del sistema se presenta en la Figura 2.

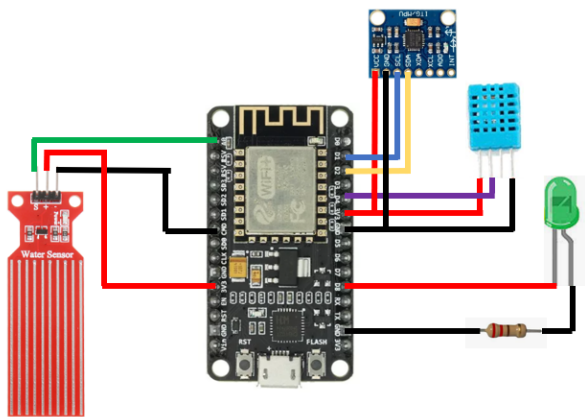


Figura 2. Diagrama del diseño del sistema de hardware.

Configuración del Módulo ESP8266

El módulo ESP8266 fue configurado utilizando el entorno de desarrollo de Arduino. La configuración incluyó las librerías Wire.h y la DHT.h para las mediciones del

acelerómetro, el sensor de temperatura y la humedad, además se agrega la librería UbidotsMicroESP8266 la cual permite hacer la comunicación de la plataforma Ubidots teniendo en cuenta los datos del dispositivo, las variables a monitorear, el token y los datos conexión a internet, La Figura 3 se determina los parámetros de conexión con la plataforma Ubidots.

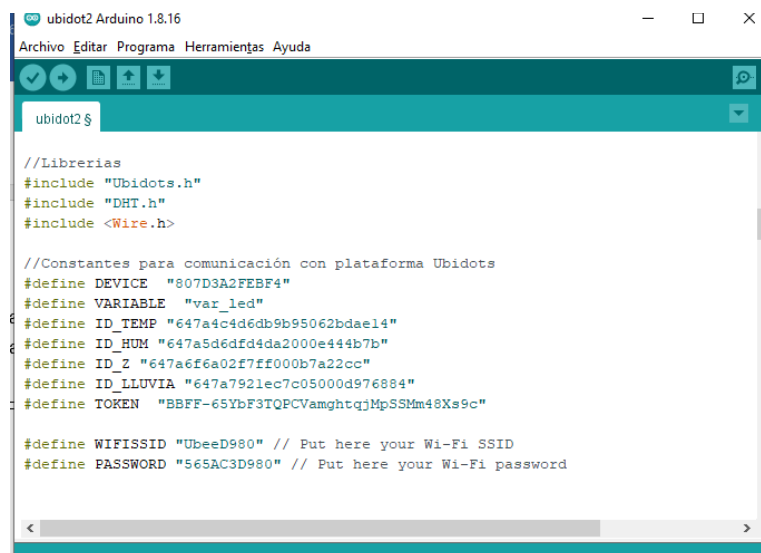


Figura 3. Imagen de parámetros de conexión con plataforma Ubidots en el entorno de desarrollo de Arduino

Pruebas de captura de datos

Se realizaron pruebas exhaustivas para verificar el funcionamiento correcto del sistema de hardware. Se verificaron las lecturas de los sensores a través del monitor serial del IDE de Arduino, asegurando que los datos obtenidos sean precisos y estables, la Tabla 1 muestra los datos obtenidos.

Tabla 1. Valores obtenidos del sistema de monitoreo ambiental del Módulo ESP8266.

Sensor	Valor	Porcentaje de efectividad
Temperatura	24.5	86%
Humedad	60	95%
Movimiento	120	93%
Nivel de agua	127	95%

De acuerdo a la Tabla 1, uno de las pruebas donde el rendimiento no alcanzó el 90 por ciento de efectividad, se encontró en el monitoreo de la temperatura, debido a que el sensor no capta una temperatura estable.

Implementación del Control PID en el monitoreo ambiental de temperatura

Para mejorar la respuesta del sistema frente a variaciones de temperatura, se implementó un control PID (Proporcional-Integral-Derivativo). Este control ajusta

automáticamente la salida del sistema en función de la diferencia entre la temperatura medida y la temperatura deseada, minimizando el error a lo largo del tiempo.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Los valores iniciales de K_p , K_i , y K_d fueron ajustados mediante un proceso iterativo para optimizar la respuesta del sistema en las condiciones ambientales específicas de la región.

Para evaluar la eficacia del controlador PID, se implementó una interfaz utilizando Python. Se comparó el comportamiento del sistema con y sin el controlador PID bajo las siguientes condiciones:

- El setpoint de temperatura se estableció en 18°C.
- Se utilizaron las condiciones ambientales de la región las cuales oscilan entre los 18 y los 23 grados.

A continuación, se presentan las gráficas resultantes que ilustran claramente las diferencias en el comportamiento del sistema.

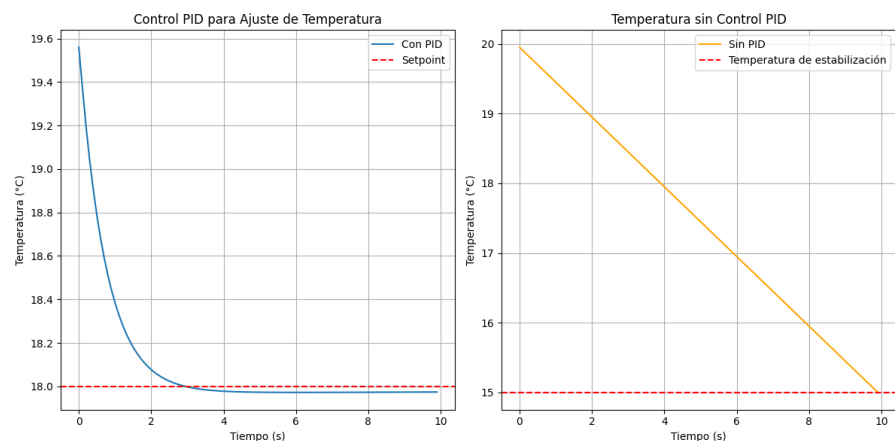


Figura 4. Graficas del comportamiento del sistema con control PID y control sin PID.

En la Figura 4 se aprecia que con el controlador PID activado, el sistema logró estabilizar la temperatura en el setpoint de 18°C de manera rápida y eficiente. El controlador ajustó continuamente la salida para minimizar el error, lo que resultó en una temperatura estable y cercana al valor deseado, teniendo como resultado una efectividad del 94.3 por ciento.

Por otro lado, sin el controlador PID, la temperatura descendió naturalmente y se estabilizó alrededor de los 15°C, debido a la falta de intervención activa para mantener la temperatura en el setpoint. Este comportamiento ilustra la importancia del controlador PID en sistemas donde es crucial mantener una temperatura específica.

Transmisión de Datos a Ubidots

Una vez procesados los datos por el ESP8266, estos fueron transmitidos a la plataforma Ubidots utilizando el protocolo HTTP. En Ubidots, se configuraron dashboards personalizados que permiten la visualización en tiempo real de la temperatura, humedad, vibración y nivel de agua. Esto facilita la toma de decisiones

basada en datos actualizados, accesibles desde cualquier dispositivo con conexión a internet.

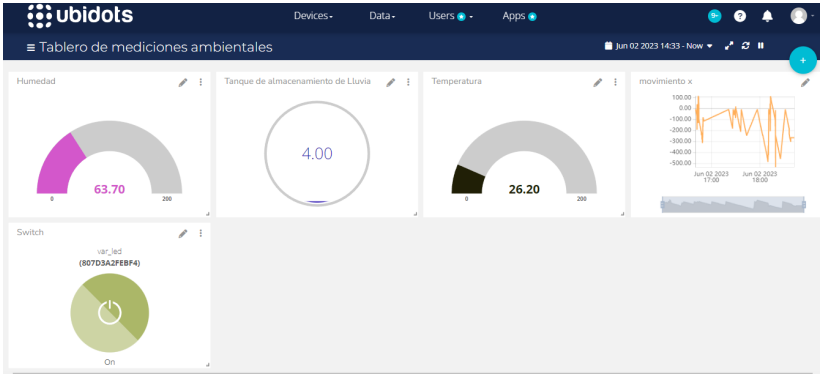


Figura 5. Imagen de tablero de control para el monitoreo ambiental en la plataforma Ubidots.

Pruebas y validación

Se realizaron pruebas de campo para validar el sistema en condiciones reales. A continuación, se presentan algunos datos de muestra obtenidos durante las pruebas:

Tabla 2. Valores obtenidos de la plataforma Ubidots.

Sensor	Valor	Porcentaje de efectividad
Temperatura	24.5	95%
Humedad	60	95%
Movimiento	120	94%
Nivel de agua	127	95%

Los datos de la Tabla 2, fueron recopilados en un periodo de 24 horas, por lo que lo que los valores obtenidos son semejantes a los presentados por el módulo ESP8266, teniendo una respuesta de retraso en la transmisión de datos de 0.15 segundos.

3. Resultados

Los resultados obtenidos a partir de este trabajo son prometedores. Los datos recolectados por el sistema de monitoreo se muestran en Tabla 1. Los sensores utilizados (DHT11, MPU6050, y sensor de nivel de agua) proporcionaron lecturas constantes durante un período de 24 horas, Se observa una variabilidad mínima en la temperatura y humedad durante el periodo de monitoreo, indicando un buen desempeño del sistema en la recolección de datos ambientales.

Para evaluar la efectividad del control PID, se compararon las respuestas del comportamiento de la Figura 4, donde sin el control PID la temperatura oscila entre 21.8°C y 23.2°C con una desviación estándar de $\pm 0.65^{\circ}\text{C}$, por otra parte con el control PID la temperatura oscila entre 22.0°C y 22.6°C con una desviación estándar de $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$, demostrando una reducción significativa en la variabilidad de la temperatura, de esa manera se logra una estabilización más precisa en comparación con el sistema sin control PID, además se realizó una comparación en términos de tiempo de respuesta y estabilidad. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Rendimiento del sistema.

Parámetro	Sin Control PID	Con Control PID
Tiempo de Respuesta (s)	0.60	0.30
Estabilidad de Temperatura (°C)	±0.65	±0.15

El sistema con control PID muestra un tiempo de respuesta más rápido y una mayor estabilidad de la temperatura en comparación con el sistema sin control PID.

4. Discusión

El sistema desarrollado demuestra ser una solución efectiva para la monitorización ambiental en tiempo real, con aplicaciones prácticas en la agricultura, gestión de recursos hídricos y control de zonas propensas a inundaciones. Los sensores utilizados, si bien básicos, proporcionaron lecturas consistentes durante el periodo de prueba, lo que sugiere que este sistema es adecuado para entornos donde la precisión es crucial.

A pesar de su buen rendimiento, el sensor DHT11 presenta ciertas limitaciones en cuanto a la precisión de la medición de temperatura. En futuras implementaciones, podría considerarse la integración de sensores más avanzados como el DHT22 para mejorar la exactitud de las mediciones.

El análisis del impacto del control PID en la estabilización de la temperatura revela una mejora significativa en comparación con la ausencia de control PID. La reducción de la desviación estándar de la temperatura de ±0.65°C a ±0.15°C demuestra que el control PID no solo estabiliza la temperatura de manera más efectiva, sino que también minimiza las fluctuaciones, lo que es crucial para mantener condiciones óptimas en aplicaciones sensibles.

5. Conclusiones

El sistema de monitoreo ambiental con control PID desarrollado en este estudio proporciona una solución robusta y eficiente para el control de temperatura y la recolección de datos en tiempo real. Su implementación en regiones como el norte del Estado de México puede tener un impacto significativo en la agricultura y la gestión de recursos hídricos, al permitir una toma de decisiones más informada y precisa.

Futuras investigaciones deben centrarse en la integración de tecnologías como el aprendizaje automático para predecir condiciones ambientales y mejorar aún más la eficiencia del sistema. Además, la ampliación del sistema para incluir variables como la calidad del aire o la radiación solar sería un avance importante para aplicaciones a gran escala en la monitorización ambiental.

Referencias

1. Gono, C. S. (2001). Environmental surveillance monitoring XYZ-La Crosse. Retrieved from <http://www.uwstout.edu/lib/thesis/2001/2001gonoc.pdf>
2. Kim, Y. J., & Platt, U. (Eds.). (2008). Advanced environmental monitoring. Dordrecht: Springer Netherlands. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6364-0>
3. Lysova, E., Paramonova, O., Samarskaya, N., & Yudina, N. (2020). Environmental monitoring. INFRA-M Academic Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.12737/1069167>
4. Moldenhauer, J. (2021). Environmental monitoring. In Handbook of validation in pharmaceutical processes (4th ed., pp. 503–516). Boca Raton: CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003163138-32>
5. Marie, D. A. (Ed.). (2007). Environmental monitoring for cleanrooms and controlled environments. New York: Informa Healthcare.
6. Strel'nikov, V., & Mel'chenko, A. (2021). Environmental monitoring. INFRA-M Academic Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.12737/1019057>
7. Campbell, M. (1996). Sensor systems for environmental monitoring: Volume two: Environmental monitoring. Dordrecht: Springer Netherlands.
8. Ooi, B.-H. (1994). Marine environmental monitoring program. In SPE Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production Conference. Society of Petroleum Engineers. <http://dx.doi.org/10.2118/27166-ms>
9. Espressif Systems. "ESP8266EX Datasheet." [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
10. Aosong Electronics. "DHT11 Humidity & Temperature Sensor Datasheet." [Online]. Available: <http://www.micro4you.com/files/sensor/DHT11.pdf>
11. InvenSense. "MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification." [Online]. Available: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>
12. DFROBOT. "Water Level Sensor Product Manual." [Online]. Available: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Water_Level_Sensor_\(SKU:_SEN0207\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Water_Level_Sensor_(SKU:_SEN0207))
13. I. R. E. Q. Padilla, Plataforma Iot Para El Control Y Monitoreo De Variables Físicas, 2019.
14. O. Q. Muñoz, Internet de las Cosas (IoT), Ibukku LLC, 2019, 2019.
15. I. A. M. Yanela Alejandra Barragán Moreira, Sistema basado en el internet de las cosas para monitoreo de variable climáticas. Santo Domingo Ecuador marzo 2020.
16. I. A. L. Salas, «sistema de monitoreo, telemetría y telecontrol mtt-ss17». México febrero 2018.
17. C. Peña, Arduino IDE: Domina la programación y controla la placa, Argentina: RedUsers, 2020.
18. Ríos Hernández, R. (2020). Prototipo de monitoreo de calidad de condiciones ambientales a bajo costo con tecnologías IOT.
19. Asghar, M. & Mohammadzadeh, N. (2015). Design and simulation of energy efficiency in node based on MQTT protocol in Internet of Things. 2015 International Conference On Green Computing And Internet Of Things (ICGCIOT).
20. Castillo, J. (2017). Diseño e implementación de un dispositivo IoT de bajo coste para entornos agrícolas (Tesis de Pregrado). Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación.
21. Oliveira, S. d. (2017). Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi. São Paulo, Brasil: Novatec.
22. Piamonte, L. (2017). Diseño de una red de sensores inalámbrica para la monitorización y transmisión de datos del suelo y ambientales en tiempo real en los cultivos de palma africana.