



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería Informática



**TFG del Grado en Ingeniería
Informática**

**Diseño de un sistema
económico IoT de
monitorización de
invernaderos de cannabis
medicinal**



Presentado por José Luis Caballero
Martínez-Quintanilla
en Universidad de Burgos — 16 de febrero de
2024

Tutor: Alejandro Merino Gómez
Tutor: Carlos Cambra Baseca



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería Informática



D. Alejandro Merino Gómez, profesor del departamento de Digitalización, área de Systems Engineering and Automation y D. Carlos Cambra Baseca, profesor del departamento de Digitalización del área de Computer Science and Artificial Intelligence,

Exponen:

Que el alumno D. José Luis Caballero Martínez-Quintanilla, con DNI 48471169-A, ha realizado el Trabajo final de Grado en Ingeniería Informática titulado Diseño de un sistema económico IoT de monitorización de invernaderos de cannabis medicinal.

Y que dicho trabajo ha sido realizado por el alumno bajo la dirección del que suscribe, en virtud de lo cual se autoriza su presentación y defensa.

En Burgos, 16 de febrero de 2024

Vº. Bº. del Tutor:

Vº. Bº. del co-tutor:

D. Merino Gómez, Alejandro

D. Cambra Baseca, Carlos

Resumen

El presente trabajo de fin de grado aborda el diseño de un sistema económico basado en el Internet de las cosas (IoT) para la monitorización de invernaderos destinados al cultivo de cannabis medicinal. El objetivo principal es mejorar la eficiencia y la calidad del cultivo mediante la implementación de sensores y dispositivos conectados que permitan la recolección y análisis de datos en tiempo real.

El hardware seleccionado para este proyecto incluye la Raspberry Pi Pico W como unidad central, una pantalla OLED 128x64 para la visualización de información, el sensor DHT22 para la medición de la temperatura y humedad ambiente, el sensor BH1750 para evaluar la intensidad lumínica, y un sensor de humedad de suelo para monitorear las condiciones de la tierra.

A lo largo del trabajo, se detalla el proceso de integración de estos componentes, se describen las tecnologías utilizadas para la comunicación y el manejo de datos, y se presenta la interfaz de usuario diseñada para la visualización de información relevante. Se destacan también las consideraciones económicas que han llevado a la elección de cada componente, buscando una solución asequible sin comprometer la calidad de los resultados.

Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad y eficacia del sistema propuesto, ofreciendo a los agricultores de cannabis medicinal un instrumento práctico y accesible para mejorar la gestión de sus invernaderos. Este trabajo contribuye al campo emergente de la agricultura inteligente y sostenible, abriendo posibilidades para futuras investigaciones y aplicaciones en el ámbito de la monitorización agrícola basada en IoT.

Descriptores

Raspberry Pi Pico W, Micropython, Autónomo, Sistema Domótico, Bot, Telegram, Python ...

Abstract

This project deals with the design of an economic system based on the Internet of Things (IoT) for the monitoring of greenhouses for the cultivation of medical cannabis. The main objective is to improve the efficiency and quality of the crop through the implementation of sensors and connected devices that allow the collection and analysis of data in real time.

The hardware selected for this project includes the Raspberry Pi Pico W as the central unit, a 128x64 OLED screen for displaying information, the DHT22 sensor for measuring ambient temperature and humidity, the BH1750 sensor for evaluating light intensity, and a soil moisture sensor for monitoring soil conditions.

Throughout the paper, the integration process of these components is detailed, the technologies used for communication and data management are described, and the user interface designed for the visualization of relevant information is presented. It also highlights the economic considerations that led to the choice of each component, seeking an affordable solution without compromising the quality of the results.

The results obtained demonstrate the feasibility and effectiveness of the proposed system, offering medical cannabis farmers a practical and accessible tool to improve the management of their greenhouses. This work contributes to the emerging field of smart and sustainable agriculture, opening possibilities for future research and applications in the field of IoT-based agricultural monitoring.

Keywords

Raspberry Pi Pico W, Micropython, Autonomous, Domotic System, Bot, Telegram, Python ...

Índice general

Índice general	iii
Índice de figuras	iv
Índice de tablas	v
1. Introducción	1
2. Objetivos del proyecto	3
2.1. Objetivos del Software	3
2.2. Objetivos Técnicos	4
3. Conceptos teóricos	5
3.1. Internet de las cosas (IoT)	5
3.2. Raspberry Pi Pico W	6
3.3. MicroPython	6
3.4. GPIO	6
3.5. Sensores (DHT22, BH1750, Sensor de Humedad de Suelo)	7
3.6. Interfaz de Usuario	7
3.7. Protocolos de Comunicación	7
3.8. WiFi	9
4. Técnicas y herramientas	11
4.1. Entorno Software	11
Bibliografía	13

Índice de figuras

4.1. IDE Thonny.	12
--------------------------	----

Índice de tablas

1. Introducción

El panorama en constante cambio de la industria del cannabis medicinal ha generado una creciente necesidad de optimizar los métodos de cultivo para garantizar la consistencia y calidad de los productos. En este contexto, el Internet de las cosas (IoT) emerge como una herramienta clave para transformar la gestión de invernaderos, permitiendo una monitorización en tiempo real y decisiones informadas por parte de los agricultores.

Este trabajo se centra en el diseño de un sistema asequible de monitorización basado en IoT para invernaderos de cannabis medicinal. La elección de hardware, liderada por la Raspberry Pi Pico W como unidad central, se fundamenta en la capacidad de esta plataforma para equilibrar eficiencia y costos. Sensores especializados, como el DHT22 para temperatura y humedad, el BH1750 para intensidad lumínica, y un sensor de humedad de suelo, complementan la infraestructura del sistema.

Más allá de la mejora en la eficiencia del cultivo de cannabis medicinal, este proyecto busca situarse en la vanguardia de la agricultura inteligente y sostenible. La combinación de IoT con prácticas agrícolas avanzadas tiene el potencial de transformar radicalmente la forma en que se gestionan los cultivos, promoviendo la sostenibilidad y ofreciendo una solución práctica para agricultores de diversos niveles de recursos.

En resumen, este trabajo se adentra en el diseño de un sistema completo y accesible para la monitorización de invernaderos, utilizando la innovación tecnológica como catalizador para mejorar la calidad de los cultivos y contribuir al avance de la agricultura moderna.

2. Objetivos del proyecto

2.1. Objetivos del Software

- **Desarrollo del Sistema de Adquisición de Datos:** Implementar un sistema eficiente de adquisición de datos que pueda recopilar información precisa proveniente de los sensores (DHT22, BH1750, sensor de humedad de suelo) instalados en el invernadero.
- **Diseño de la Interfaz de Usuario:** Desarrollar una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, que permita a los usuarios visualizar en tiempo real los datos recopilados y tomar decisiones informadas sobre el control del entorno del invernadero.
- **Implementación de Protocolos de Comunicación:** Establecer protocolos de comunicación eficientes para la transmisión de datos entre los sensores y la Raspberry Pi Pico W, así como para la conexión con otros dispositivos o sistemas externos si es necesario.

2.2. Objetivos Técnicos

- **Integración de Hardware:** Seleccionar, configurar e integrar de manera óptima el hardware necesario (Raspberry Pi Pico W, pantalla OLED 128x64, sensores) para garantizar la estabilidad y la eficacia del sistema.
- **Eficiencia Energética:** Implementar estrategias de programación y configuración de hardware que optimicen el consumo de energía, asegurando una operación sostenible del sistema en entornos con recursos limitados. Precisamente la Raspberry Pi Pico W es conocida por su bajo consumo energético.
- **Validación en Entorno Real:** Realizar pruebas exhaustivas del sistema en un entorno de cultivo de cannabis medicinal real, evaluando su rendimiento, confiabilidad y adaptabilidad a condiciones variables.
- **Consideraciones Económicas:** Evaluar y optimizar los costos asociados al desarrollo e implementación del sistema, garantizando la viabilidad económica para agricultores de diferentes escalas y recursos.
- **Documentación Completa:** Generar una documentación detallada que abarque el diseño, la implementación y la configuración del sistema, facilitando la comprensión y la replicación por parte de otros interesados. Estos objetivos, tanto del software como técnicos, se plantean con el propósito de cumplir con los requisitos del proyecto y garantizar la efectividad y utilidad del sistema de monitorización propuesto para invernaderos de cannabis medicinal.

3. Conceptos teóricos

3.1. Internet de las cosas (IoT)

El Internet de las cosas (IoT) se refiere a la red de dispositivos físicos que están integrados con tecnología, software, sensores y conectividad de red para recopilar y compartir datos. Estos dispositivos, también llamados **objetos inteligentes** o **dispositivos conectados**, pueden interactuar entre sí y con sistemas informáticos en red para realizar tareas específicas, recopilar información y ofrecer funcionalidades avanzadas.

Características clave del IoT:

- **Conectividad:** Los dispositivos IoT están equipados con tecnologías de comunicación, como Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee o incluso 5G, que les permiten conectarse a redes y compartir datos.
- **Sensores y Actuadores:** Los dispositivos IoT suelen estar equipados con sensores para recopilar datos del entorno circundante. Además, algunos dispositivos también incorporan actuadores que les permiten realizar acciones físicas en respuesta a comandos.
- **Inteligencia y Procesamiento de Datos:** Muchos dispositivos IoT cuentan con capacidad de procesamiento local o dependen de la nube para analizar y procesar datos recopilados. La inteligencia artificial y el aprendizaje automático también se aplican para extraer información significativa de grandes conjuntos de datos.
- **Interconexión:** La capacidad de interconectar dispositivos IoT permite que trabajen juntos de manera coordinada, compartiendo información y actuando en función de datos colectivos.

- **Aplicaciones Diversas:** El IoT se aplica en una amplia variedad de campos, como la agricultura inteligente, la salud, la domótica, la industria manufacturera, la logística y más. Esto permite la automatización y mejora de procesos en diversas industrias.
- **Seguridad y Privacidad:** Dado que los dispositivos IoT manejan datos sensibles, la seguridad y la privacidad son aspectos críticos. Se implementan medidas de seguridad para proteger la integridad y la confidencialidad de los datos transmitidos y almacenados.

El Internet de las cosas tiene un impacto significativo en la forma en que interactuamos con el entorno, mejorando la eficiencia, la toma de decisiones y la calidad de vida. A medida que la tecnología avanza, el alcance y la influencia del IoT continúan expandiéndose, creando un ecosistema cada vez más interconectado.

3.2. Raspberry Pi Pico W

La Raspberry Pi Pico W [5] es una placa de desarrollo de bajo costo que combina versatilidad y conectividad inalámbrica. Se elige como unidad central para el sistema, actuando como el cerebro que controla y coordina la recopilación y transmisión de datos.

3.3. MicroPython

MicroPython [1] es una implementación del lenguaje de programación Python diseñada para sistemas embebidos y microcontroladores como la Raspberry Pi Pico W. Permite una programación sencilla y eficiente de la unidad central, facilitando el desarrollo de aplicaciones en entornos limitados.

3.4. GPIO

GPIO [4], por sus siglas en inglés, General Purpose Input/Output, se refiere a los pines de propósito general presentes en microcontroladores y sistemas embebidos. Estos pines son versátiles y pueden configurarse tanto como entradas como salidas, permitiendo la interacción del microcontrolador con el entorno externo.

- **Entradas (Input):** En modo de entrada, un pin GPIO puede recibir señales eléctricas del exterior, como las provenientes de sensores o

3.5. *SENSORES (DHT22, BH1750, SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO)*

interruptores. Estos pines detectan y leen el estado de la señal, que puede ser alto (1) o bajo (0), dependiendo de la presencia de voltaje.

- **Salidas (Output):** En modo de salida, un pin GPIO puede enviar señales eléctricas al exterior, como las necesarias para controlar actuadores, LEDs u otros dispositivos. El microcontrolador puede controlar el estado del pin, estableciendo un voltaje alto o bajo según sea necesario.

La flexibilidad de los pines GPIO permite a los desarrolladores adaptar el comportamiento del microcontrolador a una amplia variedad de aplicaciones. La manipulación directa de estos pines a través de código facilita la interconexión con componentes externos y la implementación de funciones específicas en proyectos de hardware. En el contexto de la Raspberry Pi Pico W [5] y otros dispositivos similares, la gestión de los pines GPIO es esencial para controlar y coordinar la interacción con sensores, actuadores y otros periféricos.

3.5. Sensores (DHT22, BH1750, Sensor de Humedad de Suelo)

Los sensores seleccionados desempeñan roles cruciales en la monitorización del entorno del invernadero. El DHT22 [14] mide la temperatura y humedad ambiente, el BH1750 [6] evalúa la intensidad lumínica, y el sensor de humedad de suelo [2] monitorea las condiciones de la tierra.

3.6. Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario proporciona una plataforma visual para la interpretación de datos recopilados. Su diseño debe ser intuitivo, permitiendo acceder y comprender fácilmente la información relevante sobre el estado del invernadero.

3.7. Protocolos de Comunicación

Los protocolos de comunicación son conjuntos de reglas y estándares que especifican cómo los dispositivos deben intercambiar información entre sí. Estos protocolos definen el formato, la secuencia y el significado de los mensajes que se envían y reciben, facilitando la comunicación efectiva

entre sistemas o dispositivos electrónicos. Los protocolos son esenciales para garantizar la interoperabilidad y la correcta transmisión de datos en entornos tecnológicos diversos.

Existen diferentes tipos de protocolos de comunicación, cada uno diseñado para propósitos específicos y adaptado a diferentes situaciones. Algunos ejemplos comunes incluyen:

- **Protocolos de Red:** Estos protocolos se utilizan para la transmisión de datos a través de redes de computadoras. Ejemplos incluyen el Protocolo de Internet (IP) para direccionamiento y enrutamiento, y el Protocolo de Control de Transmisión (TCP) para la gestión de conexiones fiables.
- **Protocolos de Comunicación Inalámbrica:** Para la comunicación sin cables, existen protocolos específicos como el estándar IEEE 802.11 (Wi-Fi) [8] para redes inalámbricas y el Bluetooth para la conexión de dispositivos cercanos.
- **Protocolos de Comunicación Serie:** En entornos donde se requiere una comunicación punto a punto, se utilizan protocolos serie como UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) [11] y SPI (Serial Peripheral Interface) [12].
- **Protocolos de Comunicación de Periféricos:** Para la interconexión de periféricos y componentes electrónicos, se utilizan protocolos como I2C (Inter-Integrated Circuit) y SPI para la transmisión de datos entre microcontroladores, sensores y otros dispositivos.
- **Protocolos de Aplicación:** Estos protocolos se centran en la comunicación a nivel de aplicación y pueden incluir estándares como HTTP (Hypertext Transfer Protocol) [3] para la transmisión de datos en la web y MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [13] para la comunicación en el Internet de las cosas (IoT).

En cuanto a normativas, algunas organizaciones como el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) [10] establecen estándares para varios protocolos de comunicación, garantizando la consistencia y la interoperabilidad en la industria. Por ejemplo, el IEEE 802.3 [9] define estándares para Ethernet, mientras que el IEEE 802.15 [7] se centra en protocolos para redes inalámbricas de área personal (WPAN), como Bluetooth. Estas normativas son esenciales para la creación de sistemas y dispositivos que puedan comunicarse de manera efectiva y sin problemas.

3.8. WiFi

Wi-Fi, derivado de "Wireless Fidelity",^{es} una tecnología de comunicación inalámbrica que permite la conexión de dispositivos electrónicos a una red local o a Internet sin necesidad de cables físicos. Esta tecnología utiliza ondas de radio para la transmisión de datos entre dispositivos compatibles, siguiendo los estándares establecidos por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), específicamente dentro de la familia de normas 802.11.

La norma IEEE 802.11 [8] abarca diversas versiones, cada una con mejoras y características específicas. Por ejemplo, las variantes más comunes incluyen 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac, y 802.11ax. Cada una de estas normas define aspectos técnicos como la velocidad de transmisión, el rango de frecuencias utilizadas, y las características de seguridad.

La conexión a una red Wi-Fi implica que los dispositivos inalámbricos cumplen con estas normas para garantizar una comunicación eficiente y segura. Los routers Wi-Fi, que actúan como puntos de acceso, son fundamentales para establecer y gestionar estas conexiones inalámbricas, permitiendo que múltiples dispositivos se conecten y compartan recursos en un área determinada.

4. Técnicas y herramientas

A lo largo del desarrollo del proyecto, se han empleado diversas tecnologías, herramientas y elementos esenciales que requieren familiaridad antes de avanzar en la ejecución del proyecto. La elección de estas opciones en lugar de otras se basa en una evaluación detallada, la cual queda documentada en esta sección con el propósito de brindar una justificación fundamentada.

4.1. Entorno Software

Entorno de desarrollo Micropython

- **Herramientas valoradas:** [Thonny IDE](#), [Mu Editor](#), [Upycraft](#), [PyCharm](#).
- **Herramienta elegida:** [Thonny IDE](#).

Thonny IDE se presenta como la opción más idónea, proporcionando una combinación de simplicidad, integración nativa con MicroPython, herramientas de depuración eficaces y un sólido soporte comunitario, todo lo cual contribuye a un entorno de desarrollo eficiente y centrado en el usuario para la programación en la Raspberry Pi Pico W con MicroPython.

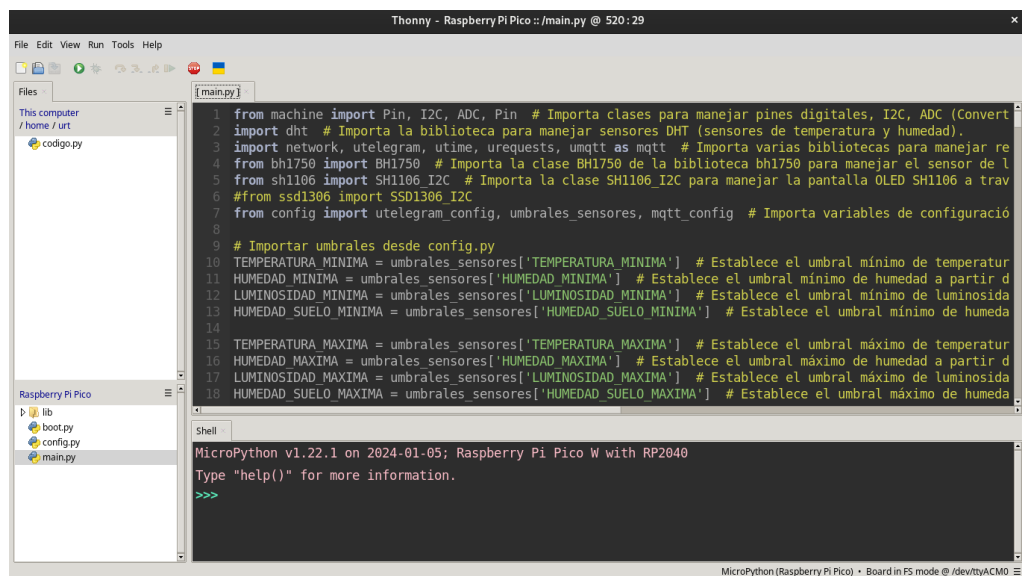


Figura 4.1: IDE Thonny.

Bibliografía

- [1] Equipo de Desarrollo de MicroPython. Micropython documentation, 1 2024. <https://github.com/micropython/micropython/wiki>.
- [2] DFROBOT. Capacitive soil moisture sensor, 1 2024. https://wiki.dfrobot.com/Capacitive_Soil_Moisture_Sensor_SKU_SEN0193.
- [3] Gettys J. Mogul J. Frystyk H. Masinter L. Leach P. & Berners-Lee T. (1999) Fielding, R. *Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1*, 1999. <https://www.ietf.org/rfc/rfc2616.txt>.
- [4] Raspberry Pi Foundation. Gpio, 1 2024. <https://projects.raspberrypi.org/en/projects/physical-computing/1>.
- [5] Raspberry Pi Foundation. Raspberry pi pico w, 1 2024. <https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/raspberry-pi-pico.html#raspberry-pi-pico-w>.
- [6] Handsontec. *BH1750 Ambient Light Sensor Module*. <https://www.handsontec.com/dataspecs/sensor/BH1750%20Light%20Sensor.pdf>.
- [7] IEEE. Ieee 802.15 working group for wireless specialty networks (wsn). <https://www.ieee802.org/15/>.
- [8] IEEE. *Normativa IEEE802.11*. <https://standards.ieee.org/ieee/802.11/5536/>.
- [9] IEEE. Ieee 802.3 ethernet working group, 7 2023. <https://www.ieee802.org/3/>.

- [10] IEEE. History of ieee, 1 2024. <https://www.ieee.org/about/ieee-history.html>.
- [11] IEEEEXPLORE. *Analysis of UART Communication Protocol*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9936199>.
- [12] IEEEEXPLORE. *An introduction to I2C and SPI protocols*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4762946>.
- [13] IEEEEXPLORE. *MQTT Protocol: Fundamentals, Tools and Future Directions*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8931137>.
- [14] Sparkfun. *DHT22 Digital-output relative humidity & temperature sensor/module*. <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>.