

Análisis de Sistemas IoT Basado en Hardware y Software Libre Analysis of IoT Systems Based on Hardware and Free Software

Tnlgo. Avella Rodríguez Alex Ariel, Tnlgo. Cruz Llor Jean Carlos, Ing. Darwin Alfredo Manito Lignia, MSc. Sbte. Ing. Paul Agustín Bonilla Aguilar, Msc.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

**Julio - diciembre, V°4-N°2;
2023**

- ✓ **Recibido:** 31/08/2023
- ✓ **Aceptado:** 06/09/2023
- ✓ **Publicado:** 30/12/2023

PAÍS
Santo Domingo- Ecuador
Santo Domingo- Ecuador
Santo Domingo- Ecuador
Quito - Ecuador

INSTITUCIÓN
Instituto Superior Tecnológico
Tsachila
Instituto Superior Tecnológico
Tsachila
Instituto Superior Tecnológico
Tsachila

CORREO:

- ✉ alexavellarodriguez@tsachila.edu.ec
- ✉ jeancruzlor@tsachila.edu.ec
- ✉ darwinmanito@tsachila.edu.ec
- ✉ paulbonilla@tsachila.edu.ec

ORCID:

- <https://orcid.org/0009-0005-0790-0671>
- <https://orcid.org/0009-0001-6042-1419>
- <https://orcid.org/0009-0000-7473-1568>
- <https://orcid.org/0000-0003-1978-3079>

FORMATO DE CITA APA.

Avella, A. Cruz, J. Manito, D. Bonilla, P. (2023). Análisis de Sistemas IoT Basado en Hardware y Software Libre. Revista G-ner@ndo, V°4 (N°2,0).318 – 338.

Resumen

La implementación del Internet de las Cosas (IoT) ha permitido la conexión de dispositivos para la recolección de datos en tiempo real y ha mejorado los modelos comerciales. Sin embargo, seleccionar las opciones adecuadas en términos de hardware, software y protocolos puede resultar desafiante. En este contexto, se lleva a cabo una investigación comparativa entre una estación meteorológica y un sistema domótico IoT basados en hardware y software libre, con el objetivo de proporcionar una guía objetiva para la selección de soluciones asequibles y eficientes en la implementación de sistemas IoT. Esta evaluación destaca las problemáticas y mejoras a las que están sometidos estos sistemas en sus respectivos entornos de trabajo, como el volumen de datos, la seguridad y los costos. El sistema de estación meteorológica usa una tarjeta de desarrollo ESP32 y el servidor Thingspeak para medir datos ambientales y almacenarlos en la nube, mientras que el sistema de domótica usa la tarjeta ESP32 y Arduino Cloud para controlar diversos dispositivos y cuenta con una interfaz gráfica para el control de actuadores y monitoreo de sensores.

Palabras clave: IoT, meteorológico, hardware y software libre, prototipo.

Abstract

The implementation of the Internet of Things (IoT) has allowed for the connection of devices for real-time data collection and has enhanced business models. However, selecting the right choices in terms of hardware, software, and protocols can be challenging. In this context, a comparative investigation is carried out between a weather station and an IoT home automation system based on open-source hardware and software, with the aim of providing an objective guide for selecting affordable and efficient solutions in the deployment of IoT systems. This evaluation highlights the issues and improvements that these systems undergo in their respective work environments, such as data volume, security, and costs. The weather station system uses an ESP32 development board and the Thingspeak server to measure environmental data and store it in the cloud, while the home automation system uses the ESP32 board and Arduino Cloud to control various devices and features a graphical interface for the control of actuators and monitoring of sensors.

Keywords: IoT, meteorological, open-source hardware and software, prototype.

Introducción

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la conexión de dispositivos a sistemas para recolectar datos, lo que proporciona eficiencia y precisión. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos como el volumen de datos, seguridad y costos. Por lo tanto, se lleva a cabo un análisis comparativo para evaluar la funcionalidad de una estación meteorológica y un sistema domótico IoT basados en hardware y software libre. (Red Hat, 2023).

El análisis tiene como objetivo proporcionar una evaluación que maximice los beneficios y minimice los costos asociados con la aplicación de esta tecnología. En el análisis comparativo se evalúan dos sistemas que usan IoT para telemetría: una estación meteorológica y un sistema de domótica. Ambos sistemas emplean diferentes sensores y tecnologías para medir y transferir información. Además, la investigación proporciona una guía objetiva para seleccionar soluciones asequibles y eficientes, con este se pretende también dar apertura a la implementación de los sistemas basados en IoT en diferentes áreas, como la agricultura, la industria, el transporte, entre otras. La proliferación de dispositivos conectados a Internet, conocidos como el Internet de las cosas (IoT), ha revolucionado la forma en que interactuamos con el mundo digital y físico. Estos dispositivos abarcan desde sensores ambientales hasta electrodomésticos inteligentes y vehículos autónomos, creando un vasto ecosistema de dispositivos interconectados que generan y transmiten datos constantemente. Este fenómeno ha dado lugar a una creciente demanda de soluciones de análisis de datos y gestión de sistemas IoT que sean eficientes, escalables y enormes.

En este contexto, el presente artículo se enfoca en el análisis de sistemas IoT basados en hardware y software libre. A medida que el IoT se convierte en una parte integral de la vida cotidiana y de las operaciones empresariales, se ha vuelto crucial evaluar las opciones disponibles para implementar estas soluciones de manera efectiva y económica. La combinación de hardware y software libre ofrece una alternativa atractiva para desarrolladores, investigadores

y organizaciones que desean aprovechar al máximo el potencial del IoT sin incurrir en costos excesivos de licencias o dependientes de soluciones propietarias.

En este artículo, exploraremos los fundamentos de los sistemas IoT, destacando las ventajas y desafíos asociados con la adopción de hardware y software libre. Además, examinaremos casos de estudio y ejemplos concretos que ilustrarán cómo estas soluciones pueden aplicarse en una variedad de contextos, desde la monitorización ambiental hasta la gestión de la cadena de suministro. Al final, nuestro objetivo es proporcionar una visión integral de cómo el hardware y software libre pueden contribuir de manera significativa al análisis y gestión de sistemas IoT, promoviendo la innovación y la accesibilidad en este emocionante campo de estudio.

Materiales Y Métodos

La metodología para el análisis de sistemas IoT basados en software y hardware libre se basa en el proceso de diseño de ingeniería y tiene como objetivo guiar el desarrollo de los prototipos IoT para aplicaciones específicas, como estaciones meteorológicas y sistemas domóticos. A continuación, se detalla cada etapa de la metodología.

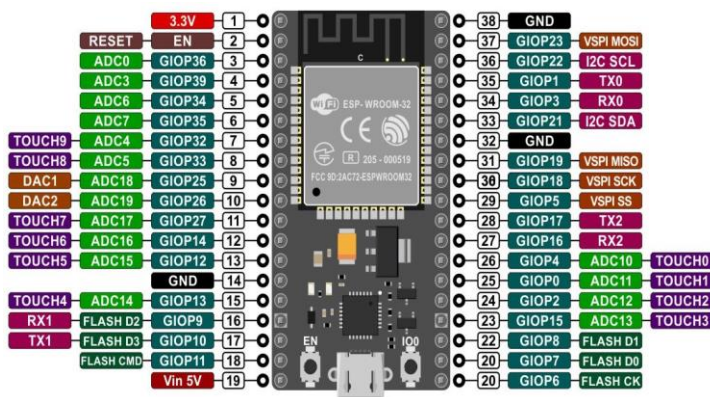
En esta etapa inicial, se realiza una investigación para comprender los componentes clave del sistema y las tecnologías involucradas. Se recopila información a partir de hojas de datos, documentación técnica, artículos académicos y recursos en línea. La investigación se centra en el análisis y la selección mediante una tabla comparativa de las diferentes opciones utilizadas en el sistema de control para lo cual se presentan 3 dispositivos:

- Tarjeta de desarrollo ESP32.
- PLC.
- Tarjeta de desarrollo NODEMCU 8266.

Además de la selección de dispositivos se analizarán 3 estaciones IoT de software libre más relevantes.

Figura. 1:

Tarjeta de desarrollo ESP32.



Nota: Cuenta con conectividad Wi-Fi y Bluetooth, ofrece pines digitales, ADC, DAC y varios buses de conectividad alámbrica. Es una placa amigable y fácil de usar en conjunto con protoboards y puede ser energizada mediante un puerto micro USB.

Figura. 2

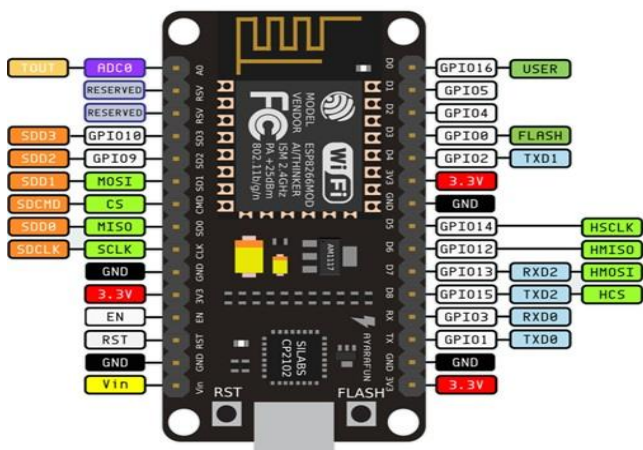
PLC (Controlador lógico programable).


Nota:

Básicamente una computadora que se utiliza en la ingeniería de automatización para las industrias, es decir, para el control de la maquinaria de una fábrica o de situaciones mecánicas.

Figura. 3

Tarjeta de desarrollo NODEMCU 8266.



Nota: Tarjeta de desarrollo similar a Arduino, especialmente orientada al Internet de las cosas (IoT). Tiene 1 pin de entradas analógicas y 13 digitales. Tiene un poderoso procesador y conectividad Wi-Fi.

Una vez revisado en el marco teórico los diferentes dispositivos que se pueden utilizar para el control de un sistema, se presenta una tabla comparativa previo a la selección de la mejor opción:

Tabla 1

Tabla comparativa entre equipos de control.

| Característica | ESP32 | | PLC | NODEMCU ESP8266 |
|----------------|---------------------------------|-----|---|--------------------------|
| Procesador | Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6 | | Varía según el modelo | Tensilica L106 32-bit |
| Frecuencia | Hasta MHz | 240 | Varía según el modelo | 80/160 MHz |
| Memoria RAM | ~520 KB | | Varía según el modelo (generalmente más grande que las tarjetas MCU) | ~80KB |
| Almacenamiento | 4MB (Flash típico) | | Varía, pero generalmente expansible | 4MB (Flash típico) |

| | | | |
|--|---|--|------------------------------------|
| Conectividad | Wi-Fi, Bluetooth, BLE | Dependiendo del modelo: Ethernet, RS232, RS485, etc. | Wi-Fi |
| Entradas/Salidas (I/O) | GPIO, ADC, DAC, PWM, etc. | Múltiples I/O – digitales, analógicas, relés, etc. | GPIO, ADC, PWM, etc. |
| Desarrollo | Arduino IDE, Espressif IDF, entre otros | Software específico fabricante | Arduino IDE, NodeMCU Lua |
| Precio | \$10-\$18 | \$100-\$800 | \$5-\$10 |
| Aplicación | Proyectos IoT, robótica, prototipos, etc. | Automatización industrial, control de maquinarias | Proyectos IoT, prototipos, etc. |
| Resistencia a Factores Externos | Limitada | Diseñado para entornos industriales (puede soportar temperaturas, vibraciones, etc.) | Limitada |

Nota: Al elegir entre estos dispositivos, es importante considerar el propósito y el entorno en el que se utilizarán. Por ejemplo, para aplicaciones industriales donde se requiere alta confiabilidad y resistencia a condiciones adversas, un PLC es generalmente la mejor elección, considerando las diversas opciones de PLC, con sistemas IoT. Sin embargo, para proyectos personales, prototipos o aplicaciones IoT, la tarjeta ESP32 podría ser la más adecuada debido a su bajo costo y facilidad de uso.

Para la selección de la plataforma IoT se realiza la exploración de soluciones de software libre disponibles, identificando herramientas relevantes y plataformas de desarrollo.

Tabla 2

Tabla comparativa entre algunas plataformas IoT.

| IoT | Plataforma | Número de dispositivos gratuitos | Seguridad | Análisis de datos | Integración |
|-------|--------------|----------------------------------|---|--|--|
| Cloud | Arduino | 2 dispositivo | La seguridad se basa en el uso de tokens y claves de API únicas para cada dispositivo. Los datos se transmiten a través de una conexión segura con SSL. | Ofrece análisis básicos de datos, como gráficos y tablas simples. | Integración limitada con otras plataformas, aunque se puede utilizar la API REST para integrar con otras aplicaciones. |
| | ThingSpeak | Hasta 3 dispositivos | Ofrece opciones de seguridad, como autenticación de usuario y cifrado SSL para la transmisión de datos. También es posible limitar el acceso a los datos mediante permisos de lectura y escritura. | Ofrece análisis avanzado de datos, incluyendo visualizaciones personalizables, integración con MATLAB y la posibilidad de enviar alertas por correo electrónico o SMS. | Amplia integración con otras plataformas, incluyendo IFTTT, MATLAB y dispositivos Arduino y Raspberry Pi. |
| IoT | Google Cloud | Hasta 10 dispositivos | Ofrece una seguridad avanzada, incluyendo autenticación de usuario, cifrado SSL y control de acceso basado en roles. También es posible utilizar hardware de seguridad adicional para proteger los datos. | Ofrece análisis avanzado de datos con herramientas como BigQuery y Dataflow. También es posible utilizar aprendizaje automático para análisis predictivo. | Amplia integración con otras plataformas de Google Cloud, así como con herramientas populares como Tableau y QlikView. |
| | AWS IoT | 1 dispositivo | Ofrece una seguridad avanzada, incluyendo autenticación de usuario, cifrado SSL y control de | Ofrece análisis avanzado de datos con herramientas como Amazon Kinesis y Amazon | Amplia integración con otras plataformas de AWS, así como con herramientas populares como Tableau y QlikView. |

| | | | |
|-----------|---------------|---|--|
| | | acceso basado en roles. También es posible utilizar hardware de seguridad adicional para proteger los datos. | Elasticsearch. También es posible utilizar aprendizaje automático para análisis predictivo. |
| Azure IoT | 1 dispositivo | Ofrece una seguridad avanzada, incluyendo autenticación de usuario, cifrado SSL y control de acceso basado en roles. También es posible utilizar hardware de seguridad adicional para proteger los datos. | Ofrece análisis avanzado de datos con herramientas como Stream Analytics y Machine Learning Studio. También es posible utilizar aprendizaje automático para análisis predictivo. |
| | | | Amplia integración con otras plataformas de Microsoft Azure, así como con herramientas populares como Tableau y Power BI. |

Nota: Es importante mencionar que estas son solo algunas características destacadas de cada plataforma y que cada una tiene sus propias fortalezas y debilidades dependiendo de las necesidades específicas del proyecto.

Dado que es una investigación de menor costo, se recurre a la plataforma de ThingSpeak y Arduino Cloud para la estación meteorológica y el sistema domótico respectivamente.

Diseño:

Para la creación de los prototipos, se recolectaron datos y conocimientos provenientes de variadas fuentes, incluyendo literatura especializada, recursos en línea, investigaciones previas y experiencias prácticas. La etapa de investigación desempeñó un papel fundamental en la construcción sólida de los mismos, al proporcionar el fundamento necesario para tomar decisiones informadas y estratégicas.

Estación meteorológica

Para la estación meteorológica la primera tarea consistió en encontrar una plataforma

que permitiera la recopilación y el envío efectivo de datos meteorológicos a la nube, sin costos adicionales. Por consiguiente, se seleccionó el hardware necesario anteriormente explicado, se ha utilizado un sensor DTH11 para medir la temperatura y humedad relativa, un anemómetro que permitirá medir la velocidad del viento, además de un sensor de radiación UV sd12d. La tarjeta ESP32 se configura como cliente y envía la información de los sensores al servidor mediante varias peticiones GET.

La elección de ThingSpeak como plataforma de nube se debió a su enfoque específico en IoT, su capacidad de personalización para las variables climáticas y su sólida capacidad de visualización y análisis de datos. Esta plataforma permitió una integración efectiva con el ESP32 y aseguró la transmisión confiable de los datos meteorológicos a través de la red Wi-Fi.

El servidor, desarrollado en ThingSpeak, presenta los valores de los sensores en una interfaz gráfica que ha sido diseñada para permitir el control y monitoreo remoto.

Figura. 4

Interfaz de control meteorológico.



Nota: Datos del control meteorológico.

Para el desarrollo de la tarjeta PCB, se tomó como referencia el tipo de señales a trabajar, sin embargo, se sobredimensionó la tarjeta para futuras mejoras y el uso de actuadores si fuera el caso.

Figura. 5

Modelo 3D de cómo quedaría la implementación de la estación Meteorológica.

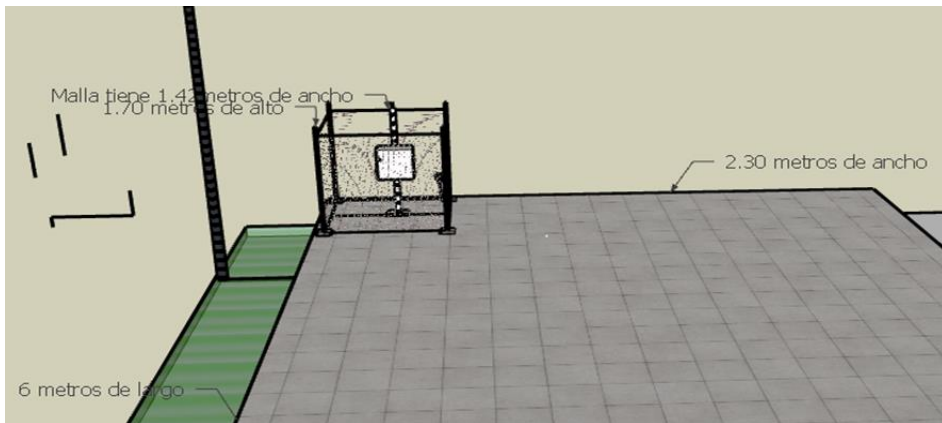


Figura. 6

Ubicación del Anemómetro.

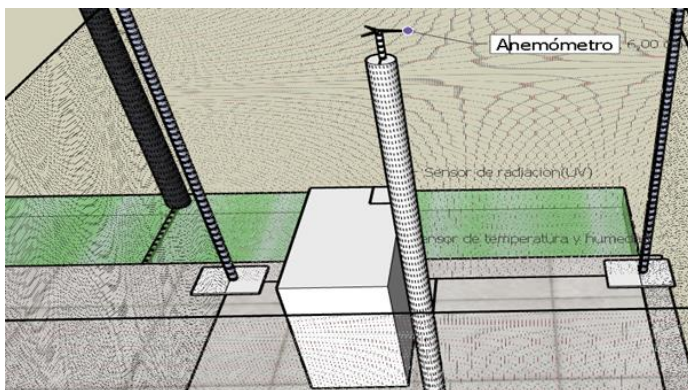
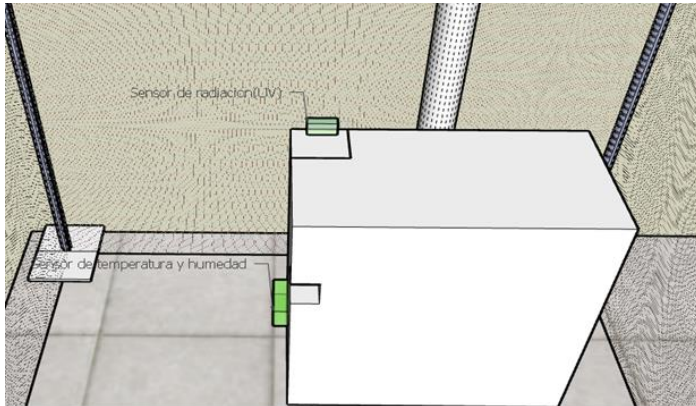


Figura. 7

Ubicación de los sensores de DHT11 Y SD12D.



Sistema Domótico

Para el sistema domótico se seleccionó la plataforma Arduino IoT Cloud por la facilidad en la creación de la interfaz gráfica, información extendida del uso de la plataforma, además de una modalidad gratuita para 2 cosas (things) y 5 variables, se diseñó una interfaz dónde se agregaron los componentes o widgets para el control y monitoreo de actuadores o sensores.

Figura. 8

Widgets para el control y monitoreo de actuadores.

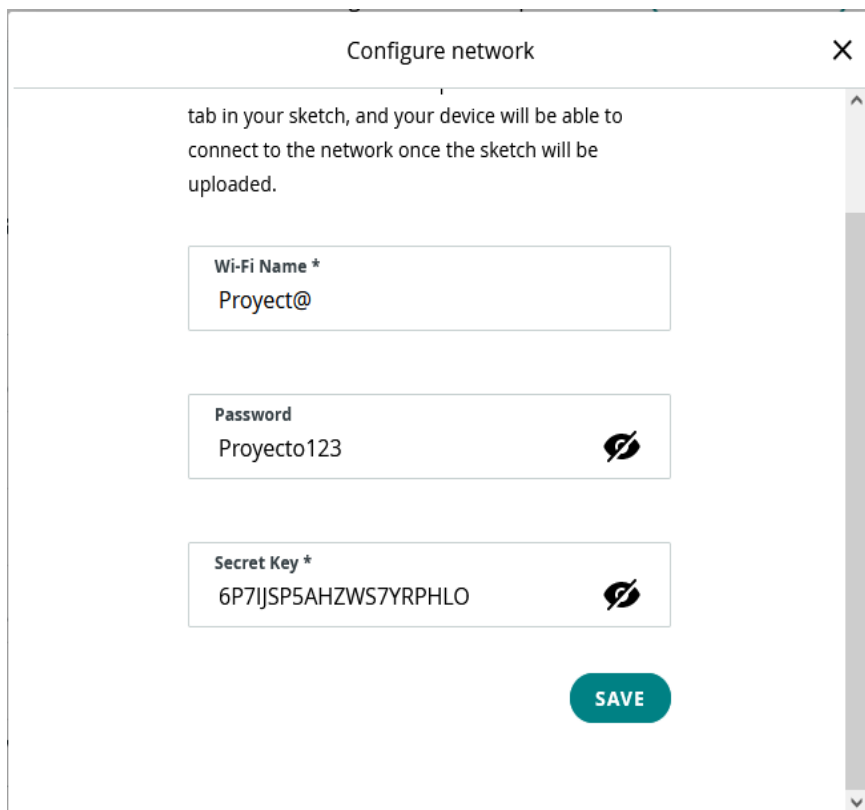


Arduino IOT Cloud envía automáticamente el estado de los widgets los mismos que pueden ser tipo switch, gauge, etc, así como cada cambio realizado en la esp32, una de las ventajas es que gestiona fácilmente las librerías necesarias para la comunicación con el ESP32,

además, declara variables y crea funciones. Para el enlace de la placa se debe incluir el código secreto generado en Arduino IOT Cloud y agregar las credenciales para la conexión a internet.

Figura. 9

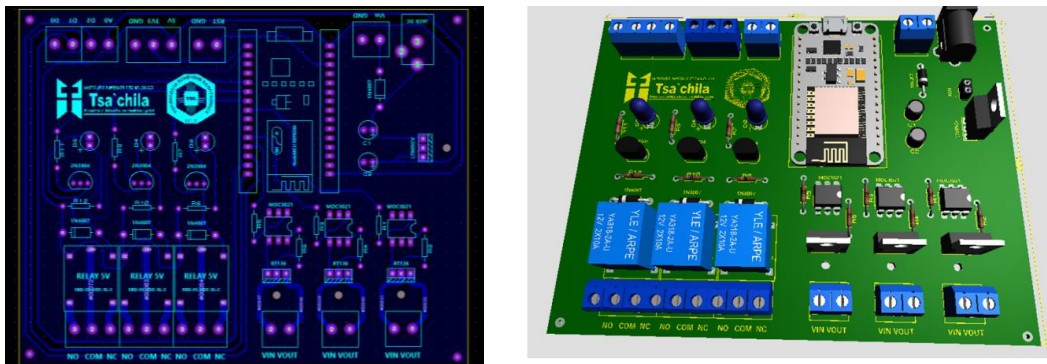
Arduino Cloud.



En cuanto al dimensionamiento de la tarjeta PCB para el sistema domótico, se ha considerado la corriente máxima de trabajo de los componentes, como el relé que soporta una corriente de 10A. Para aislar la tensión de control en DC con la tensión de potencia en AC se ha utilizado el dispositivo OptoTRIAC (MOC3021), que permite activar el TRIAC (BT136) a través del terminal TRIGGER. El diseño esquemático y el diseño PCB han sido desarrollados utilizando el programa Proteus.

Figura. 10

Diseño de tarjeta en 3D PCB.



Implementación:

Para la implementación del primer prototipo se requirió la programación del microcontrolador ESP32, lo que implicó el desarrollo de un código en C++ para leer, procesar y enviar los datos de los sensores a la plataforma ThingSpeak. Se utilizaron bibliotecas y recursos disponibles para facilitar el proceso y se aseguró que el código fuera eficiente y optimizado para garantizar el correcto manejo de las operaciones del microcontrolador. Además, se incorporaron medidas de seguridad y rutinas de manejo de errores para prevenir problemas como bloqueos o pérdida de datos.

Figura. 11: Programación en lenguaje C++, para la estación meteorológica.

```
#include <Wire.h>
#include <WiFi.h>
#include <ThingSpeak.h>
#include <DHT.h>
#include <HttpClient.h>

// Configuración de WiFi
const char* ssid = "admin1";
const char* password = "12345678";

// Configuración del sensor DHT
#define DHTPIN 32
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

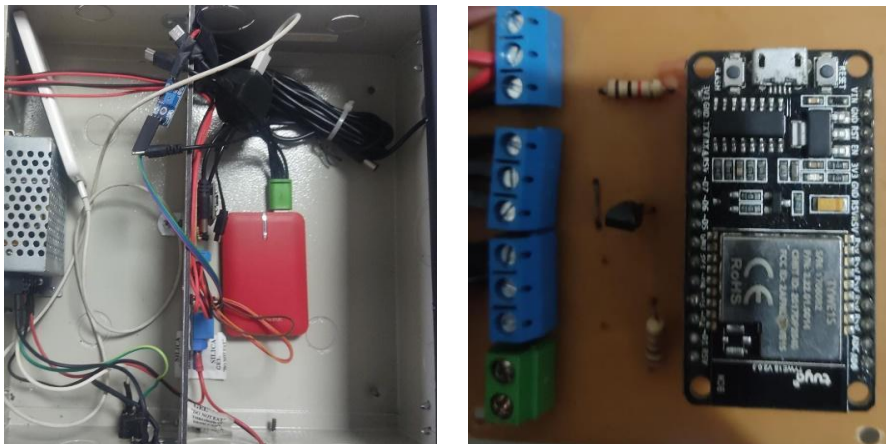
// Configuración del sensor UV
const int UV_SENSOR_PIN = 33;

// Configuración de ThingSpeak
unsigned long channelID = 2240294;
const char* writeAPIKey = "ZMP189K2XW0MN4W2";
const char* server = "api.thingspeak.com";
```

La implementación de la estación se realizó de acuerdo con el diseño previamente elaborado, se ejecutó el cableado necesario para conectar los sensores al microcontrolador ESP32. Se utilizan soldaduras y conectores adecuados para evitar problemas como cableado suelto y conexiones inestables.

Figura. 12

Implementación de la tarjeta del sistema meteorológico.



Continuando con la implementación se realiza el montaje de los componentes de protección, un sistema de abastecimiento eléctrico basado en energía solar, en el lugar asignado para el control y monitoreo. La estación meteorológica es instalada en los predios del Instituto Superior Tecnológico Tsáchila, este lugar fue analizado y autorizado por expertos en áreas relacionadas a la agroindustria.

Figura. 13

Estación Meteorológica en funcionamiento.



Fuente: Autores

Para el sistema domótico en primer lugar se realiza la programación en la plataforma Arduino IoT Cloud, para luego proceder a cargar en la tarjeta esp32.

Figura. 14

Parte del código del sistema domótico.

```
#include <ArduinoIoTCloud.h>
#include <Arduino_ConnectionHandler.h>

const char DEVICE_LOGIN_NAME[] = "6740f302-5bc5-460a-a8b1-129662895891";

const char SSID[] = SECRET_SSID; // Network SSID (name)
const char PASS[] = SECRET_PASS; // Network password (use
const char DEVICE_KEY[] = SECRET_DEVICE_KEY; // Secret device password

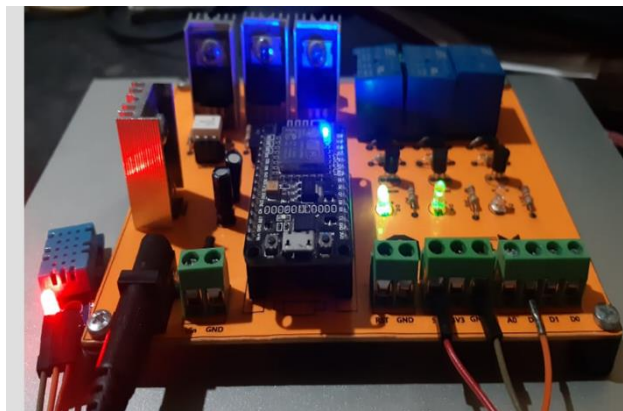
void onTemporizadorChange();
void onLed1Change();
void onLed2Change();
void onPotChange();

CloudSchedule temporizador;
bool led_1;
bool led_2;
CloudTemperature pot;
```

Se realiza el montaje de los componentes en la placa de circuito impreso (PCB) del prototipo, siguiendo el diseño electrónico previamente elaborado.

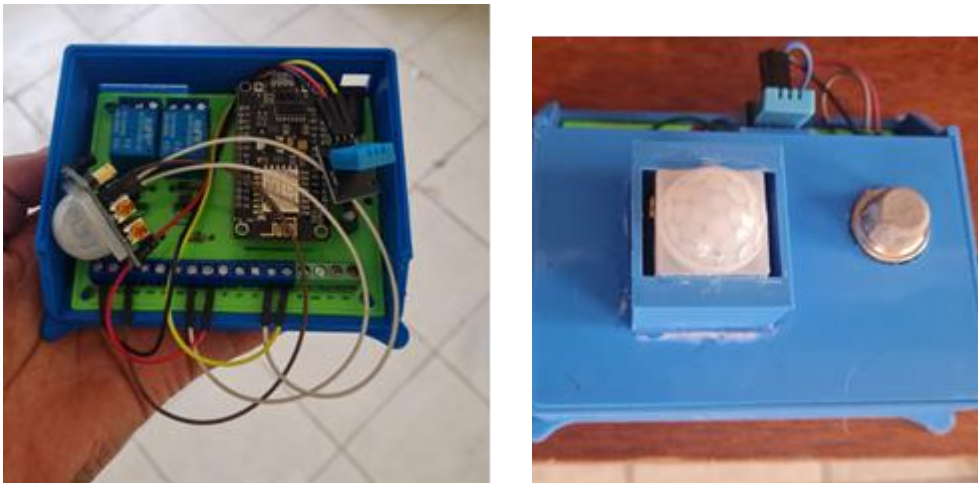
Figura. 15

Montaje de los componentes en la PCB.



Una vez realizado el montaje se procede a diseñar e imprimir las protecciones a medida para así obtener un módulo integrado con los sensores. En el caso del sistema domótico, el prototipo es instalado en el aula A32 y es probado por los estudiantes durante el periodo I-2023 siendo este parte del proyecto integrador de saberes presentado. A continuación, se muestra el módulo finalizado.

Figura. 16: *Prototipo del sistema domótico.*



Fuente: Autores.

Validación:

En esta etapa, se verifica y valida el funcionamiento del sistema IoT implementado. Se realizan pruebas exhaustivas para garantizar que los prototipos cumplan con los requisitos establecidos en la etapa de diseño. Esto implica:

- Pruebas de funcionamiento de cada componente individual, verificando que los sensores, actuadores y microcontroladores operen correctamente.
 - Pruebas de comunicación, asegurando que la transferencia de datos entre los dispositivos y la plataforma en la nube sea confiable y precisa.
-

- Pruebas de la interfaz de usuario, verificando la usabilidad y la efectividad de la visualización de datos y el control de actuadores.
- Pruebas de escalabilidad, evaluando cómo el sistema se comporta ante un aumento en el número de dispositivos conectados.

A continuación, se muestran los datos recopilados por la plataforma Thingspeak y Arduino IoT Cloud.

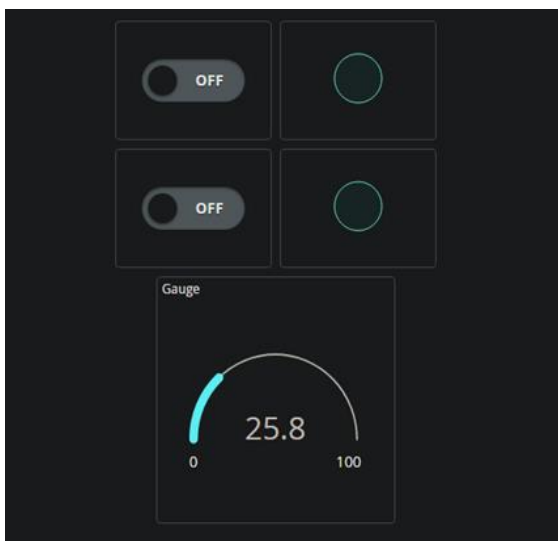
Figura. 17

Datos Recopilados por la plataforma ThingSpeak.

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TSA-CHILA

14/08/2023 10:23:45

| FECHA Y HORA | TEMPERATURA | HUMEDAD | UV-SOLAR | VELOCIDAD DEL VIENTO |
|---------------------|-------------|---------|----------|----------------------|
| 14/08/2023 10:23:45 | 25 | 55 | 6 | 8 |
| 14/08/2023 10:23:45 | 24 | 60 | 4 | 10 |
| 14/08/2023 10:23:45 | 26 | 58 | 8 | 6 |
| 14/08/2023 10:23:45 | 28 | 62 | 7 | 9 |
| 14/08/2023 10:23:45 | 23 | 57 | 5 | 7 |



Nota: datos obtenidos y recopilados por la plataforma utilizada.

Análisis de Resultados

En esta sección, se analizan los resultados obtenidos de la implementación de los dos sistemas IoT basados en hardware y software libre: la estación meteorológica y el sistema domótico. Se evalúan diversos aspectos clave, como la funcionalidad, la eficiencia, la seguridad y los costos.

Funcionalidad:

Estación Meteorológica: El sistema de estación meteorológica ha demostrado ser efectivo en la recopilación y transmisión de datos meteorológicos en tiempo real. Los sensores utilizados para medir la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación UV proporcionan información precisa y valiosa. La plataforma ThingSpeak ofrece una interfaz gráfica para el monitoreo y control remoto de la estación.

Sistema Domótico: El sistema domótico basado en Arduino IoT Cloud ha demostrado ser eficiente en el control y monitoreo de actuadores y sensores. La interfaz gráfica proporciona una experiencia de usuario intuitiva y permite el control remoto de dispositivos. La integración con Arduino Cloud facilita la gestión y la comunicación de los dispositivos.

Eficiencia:

Estación Meteorológica: El sistema es eficiente en la recopilación y transmisión de datos, y su bajo consumo de energía lo hace adecuado para aplicaciones a largo plazo. Sin embargo, la capacidad de almacenamiento en la nube (ThingSpeak) puede requerir una gestión adecuada para evitar problemas de sobrecarga de datos.

Sistema Domótico: El sistema domótico es eficiente en el control de dispositivos y utiliza un bajo consumo de energía. La plataforma Arduino IoT Cloud permite una gestión sencilla de los dispositivos y proporciona un control preciso.

Seguridad:

Estación Meteorológica: La seguridad en la transmisión de datos se basa en el uso de SSL (Secure Sockets Layer) para proteger la conexión entre la estación y la plataforma ThingSpeak. Sin embargo, se deben tomar medidas adicionales para garantizar la seguridad de los datos almacenados en la nube.

Sistema Domótico: La plataforma Arduino IoT Cloud utiliza autenticación de usuario y cifrado SSL para garantizar la seguridad de la comunicación. Además, ofrece opciones de control de acceso basado en roles. La seguridad en el sistema domótico es sólida.

Costos:

Estación Meteorológica: La implementación de la estación meteorológica es relativamente asequible, con costos principalmente asociados al hardware (ESP32, sensores, paneles solares, etc.). El uso de la plataforma Thingspeak ofrece opciones gratuitas para el almacenamiento de datos, lo que ayuda a reducir los costos a largo plazo.

Sistema Domótico: El sistema domótico también es asequible en términos de hardware (ESP32, sensores, relés, etc.). La plataforma Arduino IoT Cloud ofrece una modalidad gratuita que permite el control de un número limitado de dispositivos, lo que lo hace adecuado para proyectos de pequeña escala.

Conclusiones

La implementación de sistemas IoT basados en hardware y software libre, como la estación meteorológica y el sistema domótico, demuestra ser viable y eficaz en la recopilación de datos en tiempo real y el control de dispositivos. Estos sistemas ofrecen beneficios en términos de funcionalidad, eficiencia y asequibilidad. La elección de hardware adecuado, como la tarjeta ESP32, depende del propósito y el entorno de aplicación. Para proyectos de IoT de menor escala, la tarjeta ESP32 es una opción asequible y versátil.

En cuanto a las plataformas de desarrollo, tanto Thingspeak como Arduino IoT Cloud ofrecen soluciones sólidas y seguras para la gestión de datos y la interfaz de usuario. La elección de una plataforma debe basarse en las necesidades específicas del proyecto y los requisitos de seguridad.

Referencias Bibliográfica

- Cambra, C., Sendra, S., Lloret, J., & Garcia, L. (2017). An IoT service-oriented system for agriculture monitoring. In IEEE International Conference on Communications. doi: 10.1109/ICC.2017.7996640
- Suprem, A., Mahalik, N., & Kim, K. (2013). A review on application of technology systems, standards and interfaces for agriculture and food sector. *Computer Standards and Interfaces*, 35(3), 255-364. doi: 10.1016/j.csi.2012.09.002
- Riera, C. (2016). Cambio tecnológico en Córdoba: la categoría 'regante' y la emergencia de una nueva identidad agraria. *Revista del Museo de Antropología*, 9(2), 113–126. doi: 10.31048/1852-4826.v9.n2.13286
- Aazam, M., & Huh, E.-N. (2016). Fog computing: The cloud-iot/ioe middleware paradigm. *IEEE Potentials*, 35(3), 40–44. doi: 10.1109/MPOT.2015.2456213
- Cuasquer Chiscueth, Daniela Lisseth. 2022. "Aplicación de La Tecnología IoT (Internet of Things) Para La Medición de Variables Meteorológicas En La Agricultura Sostenible: Aplicación Del IoT En Sensores de Bajo Costo Que Monitorean Las Variables de Precipitación, Temperatura y Humedad Ambiental Par."
- Cataldi, Zulma, and Fernando Lage. 2010. "El Software Libre En Educación y Sus Aportes a La Educación y Formación Constructiva En Valores." 1–12.
- Hernández Balibrea, Ramón. 2012. "Tecnología Domótica Para El Control de Una Vivienda. (Home Automation Technology for the *Control* of a House.)." 87.
-

- Álvarez Martínez, A., & Santoyo Díaz, J. S. (2017). *Internet de las Cosas y Herramientas de Software Libre aplicadas a la Educación*. Retrieved from unab.edu.co: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/3410/2017_Articulo_Alvarez_Martinez_Adalberto.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Future Generation Computer Systems. (2013). In J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, & M. Palaniswami, *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. (pp. 29(7), 1645-1660).
- Gerardo. (2019, Febrero 26). ¿QUÉ ES UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA? Retrieved from METEOCULTURA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS & METEOROLOGÍA: <https://estaciondemeteorologia.com/que-es-una-estacion-meteorologica/>
- Kaur, A. &. (2016). Internet of Things: Applications and challenges in technology and standardization. In A. &. Kaur, *Journal of Electrical and Computer Engineering Innovations* (pp. 4(2), 1-10.).
- Koustoulas, T. &. (2019). A review of open source software and hardware tools for the Internet of Things (IoT). In T. &. Koustoulas, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* (pp. 10(8), 3263-3286.).
- Ramírez, J. G. (2022). *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*.
- Trewartha, G. (1981). *An introduction to climate*. United States: McGraw-Hill.
-